

УДК 621.7.044

В.В. ДРАГОБЕЦКИЙ, В.М. ШМАНДИЙ, Е.В. ХАРЛАМОВА*Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского, Украина*

КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрены основные отличительные особенности листовых деталей газотурбинных двигателей летательных аппаратов. Обосновано, что задача выбора технологии их формоизменения является вариантной и подразумевает множество варьируемых значений параметров технологического процесса. Установлено, что при решении задач оптимизации процессов пластического формоизменения необходимо учитывать несколько противоречащих целей. Рассматриваемый обобщенный критерий включает математическое ожидание величины наносимого ущерба. Показатели экологической безопасности разделены на детерминированные и случайные. Введен вероятностный параметр оценки нанесенного ущерба конкретным видом вредного воздействия. Проведено сопоставление вредных воздействий при выполнении сварочных и взрывных работ.

Ключевые слова: экологическая безопасность, критерий эффективности, авиационные двигатели, вероятностный параметр, экологическая опасность.

Введение

Основной особенностью листовых деталей двигателей летательных аппаратов является сложность конструктивной формы.

Задача выбора технологии их формоизменения является вариантной и подразумевает множество варьируемых значений параметров технологического процесса. Современный уровень развития механики деформируемого тела позволяет уже сегодня проектировать технологический процесс формоизменения с позиций поиска оптимального решения.

Выбор оптимального технологического решения предполагает наличие определенного критерия, по которому проектируемый процесс будет сравниваться с другими. Как правило, такой критерий, с одной стороны, должен отражать определенные требования (экономические, конструктивные, технологические, экологические, производственные и т.д.), предъявляемые к процессам, а с другой – находится в функциональной зависимости от оптимизируемых параметров. Критерии оптимальности выбирают в зависимости от условий поставленной задачи с учетом возможности формирования его математического выражения. И если вариантов выбора критериев оптимизации, направленных на повышение технико-экономических показателей процесса формоизменения, достаточно много [1 – 3], то критерии, учитывающие и требования к экологической безопасности, отсутствуют.

Обзор литературных данных по вопросам эффективности процессов листовой штамповки и анализ критериев [4] указывает на недостаточную изученность этого направления.

Целью нашего исследования является разработка обобщенного критерия эффективности для оптимального выбора процесса формоизменения листовых деталей газотурбинных двигателей и его параметров с учетом обеспечения экологической безопасности.

Материалы исследования

Разработка оптимальных технологических процессов формоизменения представляет собой многоуровневый процесс последовательной детализации и оптимизации, включающий многократное повторение процедур анализа – синтеза – оценки. При решении задач оптимизации процессов пластического формоизменения листовых деталей в большинстве случаев приходится учитывать несколько противоречащих целей. Т.е., принимая решения, улучшающие ситуацию при использовании определенного критерия, мы ухудшаем одновременно качество оценки по другим критериям. В этом случае используют обобщенные критерии, которые являются скалярной функцией частных критериев и учитывают степень достижения всех целей в совокупности, отражая их относительную значимость, исходя из общих целей. Обобщенный критерий можно рассматривать как некоторую целевую функцию

управляемых переменных. Такой подход является свертыванием векторного критерия. Задача выбора оптимального решения сводится к выбору способа свертывания и определения значения коэффициентов, присутствующих в этом свертывании.

Существуют следующие способы и критерии свертывания [2]:

- аддитивный,
- мультипликативный,
- конъюнктивный,
- дизъюнктивный.

Из набора частных критериев эффективности, как правило, выделяется один, который принимается в качестве обобщенного. Остальные критерии рассматриваются как критерии допустимости. При таком подходе, который фактически является методом последовательных уступок, все количественные цели и соответствующие критерии можно упорядочить в порядке убывания их значимости. Для выбора способа свертывания необходимо рассмотреть критерий оценивания экологической безопасности процесса формоизменения. В качестве такого критерия можно применить математическое ожидание величины наносимого ущерба окружающей среде и здоровью людей. При этом данные по показателям экологического ущерба могут быть определены и описаны таким образом:

– детерминированные (фиксированные), значения которых известны (выделение вредных веществ, вибрация, шум, сейсмическое воздействие и т.д.);

– случайные (взрыв газовых баллонов, самовозгорание, детонация взрывчатых веществ).

Ущерб, нанесенный всем объектам производства, определяется следующим образом:

$$m(n) = \sum_{i=1}^{n_n} k_i p_i, \quad (1)$$

где n_n – общее количество объектов производства;

p_i – вероятность поражения i -го объекта;

k_i – условная величина ущерба для i -го объекта.

Вероятность поражения i -го объекта может быть выражена в виде

$$p_i = \iiint_{-\infty}^{\infty} G(x, y, z) \cdot J_i(x, y, z) \cdot d_x d_y d_z, \quad (2)$$

где $G(x, y, z)$ – координатный закон поражения – представляет собой вероятность нанесения ущерба данным вредным воздействиям при координатах источника вредного воздействия (x, y, z) ;

$J(x, y, z)$ – дифференциальный закон перемещения (флуктуации траектории) источника загрязнения или воздействия.

Основными тенденциями в отношении листовых деталей двигателей летательных аппаратов сложной пространственной конфигурации являются

рост габаритных размеров; относительная стабильность генеральных форм; применение высокопрочных малопластичных материалов; наличие локального рельефа для увеличения жесткости и локальных углублений и полостей для размещения гидropневмооборудования и электронной аппаратуры; использование конструкций с элементами несимметричного сечения.

С увеличением сложности листовых деталей возникает необходимость проектирования как деталей с оптимальными конструктивными параметрами, так и разработкой оптимальных процессов формоизменения. При этом возникает необходимость оптимизации параметров силового нагружения, оптимальном управлении пластическими свойствами материала заготовки, оптимизации граничных условий и параметров качества.

Не менее важным является и обеспечение максимального удовлетворения геометрических параметров отштампованной детали оптимальным конструктивным параметрам. Повышение сложности деталей и использование в конструкциях двигателей летательных аппаратов конструкций с элементами несимметричного сечения связаны с повышением их стоимости и необходимостью увеличения эффективности метода формоизменения, повышения его рентабельности, сокращения сроков освоения при минимальном вредном воздействии на окружающих и среду.

При проектировании оптимальных конструкций, содержащих элементы с несимметричными поперечными сечениями, асимметрия сечения, как правило, выбирается по условию равенства напряжений в крайних точках сечения расчетному сопротивлению материала конструкции при действии соответствующих комбинаций внешней нагрузки.

Величина оптимальной асимметрии связана с определением наиболее рационального распределения внутренних усилий и материала при заданной схеме конструкции облицовочных элементов газотурбинных двигателей.

Таким образом, в реальных задачах формоизменения листовых деталей особенно сложной конфигурации имеет смысл учитывать нескольких критериев оптимизации. Один из путей решения задачи – это оптимизация в пространстве некоторых критериев. Мы считаем целесообразным в обобщенный критерий ввести показатель экологической безопасности технологического процесса (1). В этом случае в качестве последнего целесообразно использовать аддитивный критерий, включающий сумму частных критериев $k_i(x)$, где x – управляемые переменные. Частные критерии выражаются через квадратичный функционал Гаусса

$$\begin{aligned}
 F(x_i) = & \left(\frac{S_p}{S_k}\right)^2 \lambda_1 + \left(\frac{E_{\max}}{E_{\min}}\right)^2 \lambda_2 + \\
 & + \left(\frac{E_{\max}}{E_{\min}}\right)^2 \lambda_3 + \left(\frac{\Delta Z_p}{\Delta Z}\right)^2 \lambda_4 + \\
 & + \left(\frac{C_p}{C_{\min}}\right)^2 \lambda_5 + \left(\frac{\mathcal{E}_p}{\mathcal{E}_{\min}}\right)^2 \lambda_6,
 \end{aligned} \quad (3)$$

где S_p , S_k – показатели разношенности детали, реализуемые в процессе формоизменения и заданные эксплуатационными требованиями;

E_{\max} , E_{\min} – максимальные и минимальные значения логарифмических скоростей деформаций;

ΔZ_p , ΔZ_{\min} – реализуемое и минимальное значение корня кубического из суммы кубов пиковых значений контактных напряжений по координатным осям;

C_p , C_{\min} – технологическая себестоимость (p – реализуемая и \min – минимальная);

\mathcal{E}_p , \mathcal{E}_{\min} – экологические ущербы, реализуемый в принятом технологическом процессе формоизменения;

$\lambda_1 - \lambda_6$ – весовые коэффициенты.

Первая слагаемая критерия (3) соответствует конструктивно-эксплуатационным требованиям к штампуемой детали, второе и третье – идеальному технологическому процессу формоизменения [5], четвертое – обеспечению необходимого качества поверхности получаемой детали по минимуму контактных напряжений, пятое – стоимостному показателю процесса, шестое – показателю экологической безопасности.

Одним из прогрессивных методов, позволяющих осуществить формоизменения крупногабаритных деталей газотурбинных двигателей, имеющих сложную конфигурацию и изготавливаемых из титановых и высокопрочных сплавов, является штамповка. Этот процесс в полной мере удовлетворяет требованиям качества, конструктивной прочности и надежности. Основное достоинство его состоит в сокращении количества сварных швов.

При оценке степени экологической опасности процесса сопоставляются вредные воздействия сварочных и взрывных работ.

Взрывы газовых баллонов, используемых для сварки в среде защитных газов, происходят достаточно часто.

Устранение сейсмического воздействия импульсных нагрузок требует дополнительных затрат.

Оценка эффективности по предложенному критерию для деталей типа „патрубок” показал, что процессы гидровзрывной штамповки в 1,8 – 2,2 раза более эффективны по сравнению с традиционными процессами листовой штамповки.

Заключение

Предложен обобщенный критерий эффективности для выбора процесса формоизменения листовых деталей газотурбинных двигателей, позволяющий оптимизировать процесс выбора метода формоизменения и его параметров с точки зрения минимальной технологической себестоимости, максимального удовлетворения конструктивным требованиям к получаемым деталям, обеспечения экологической безопасности.

Дальнейшие исследования следует выполнять по совершенствованию процессов формоизменения и моделирования оценки вредных воздействий производства.

Литература

1. Тарасов Е.В. Алгоритм оптимального проектирования летательного аппарата / Е.В. Тарасов. – М.: Машиностроение, 1970. – 304 с.
2. Рыжов Э.В. Оптимизация технологических процессов механической обработки / Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
3. Дракин И.И. Основы проектирования беспилотных летательных аппаратов с учетом экономической эффективности / И.И. Дракин. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.
4. Борисевич В.К. Выбор оптимальных параметров вытяжки листовых деталей / В.К. Борисевич, М.В. Загирняк, В.В. Драгобецкий // Кузнечно-штамповочное производство. – 2009. – № 2. – С. 38-41.
5. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов / С.И. Губкин. – М.: Металлург-Издат, 2001. – 376 с.

Поступила в редакцию 31.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры БЖД В.Н. Чебенко, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, Кременчуг, Украина.

**КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ, ЩО ВРАХОВУЄ ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ
ПРОЦЕСІВ ФОРМОЗМІНИ ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ
ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ**

В.В. Драгобецький, В.М. Шмандій, О.В. Харламова

Розглянуті основні відмітні особливості листових деталей газотурбінних двигунів літальних апаратів. Обґрунтовано, що завдання вибору технології їх формозміни є варіантним і має значну кількість варіюваних значень параметрів технологічного процесу. Встановлено, що при вирішенні задач оптимізації процесів пластичної формозміни необхідно враховувати декілька цілей, що суперечать одна іншій. Запропонований узагальнений критерій включає математичне очікування величини збитку, що завдається. Показники екологічної безпеки розділені на детерміновані і випадкові. Введено імовірнісний параметр оцінки завданого збитку конкретним видом шкідливої дії. Проведене зіставлення шкідливих дій при виконанні зварювальних і вибухових робіт.

Ключові слова: екологічна безпека, критерій ефективності, авіаційні двигуни, імовірнісний параметр, екологічна безпека.

**CRITERION OF EFFICIENCY THAT TAKES INTO ACCOUNT ECOLOGICAL SAFETY
OF PROCESSES OF RESHAPE OF SHEET DETAILS
OF TURBO-ENGINES**

V.V. Dragobetsky, V.M. Shmandiy, O.V. Kharlamova

The basic distinctive features of sheet details of turbo-engines of aircrafts are considered. Grounded, that task the choice of technology them reshape is a variant and specifies the far of the varied values of parameters of technological process. It is set that at the decision of tasks of optimization of processes of plastic reshape it is necessary to take into account a few aims which contradict one to other. The proposed criteria include generalized expectation value of the damage inflicted. The indexes of ecological safety part on determined and casual. The probabilistic parameter of estimation of the inflicted harm is entered by the concrete type of harmful action. Comparison of harmful actions in the performance of welding and explosive works.

Key words: ecological safety, criterion of efficiency, aviation engines, credible parameter ecological danger, plastic reshape.

Драгобецький Владимир Вячеславович – д-р техн. наук, проф., заведуючий кафедрой технологии машиностроения Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского, Кременчуг, Украина, e-mail: ecol@kdu.edu.ua

Шмандій Владимир Михайлович – д-р техн. наук, проф., заведуючий кафедрой экологии Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского, Кременчуг, Украина, e-mail: ecol@kdu.edu.ua.

Харламова Елена Владимировна – ассистент кафедры экологии Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского, Кременчуг, Украина, e-mail: ecol@kdu.edu.ua.