

УДК 629.7

ВЫБОР АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕРОВ ПРОУШИНЫ С ВТУЛКОЙ С УЧЕТОМ АДГЕЗИИ

© Чертыковцева В.О., Эспиноса Барсенас О.У.,
Куихада Пиокуинто Х.Г., Кишов Е.А., Куркин Е.И.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: kurkin.ei@ssau.ru

Одним из актуальных вопросов в аэрокосмической области является вопрос автоматизации и оптимизации проектирования [1]. Применение численных методов и алгоритмов оптимального проектирования позволяет получать прочные конструкции с наименьшим весом. Рассматривается задача минимизации массы полиамидной проушины с алюминиевой втулкой путем подбора ширины проушины и втулки при ограничении по прочности обоих деталей. Задача оптимизации в терминах нелинейного математического программирования сформулирована следующим образом:

$$\begin{array}{ll} \text{минимизация} & f(x) \\ \text{при условии} & \underline{x}_i \leq x_i \leq \bar{x}_i \quad i = 1, \dots, n_x \\ & g_j(x) \leq 0 \quad j = 1, \dots, n_g \\ & h_l(x) = 0 \quad l = 1, \dots, n_h \end{array}$$

Размеры проушины показаны на рисунке. Характеристики исследуемых материалов приведены в таблице. Данная задача характеризуется нелинейностью материала и контактного взаимодействия между проушиной и втулкой.

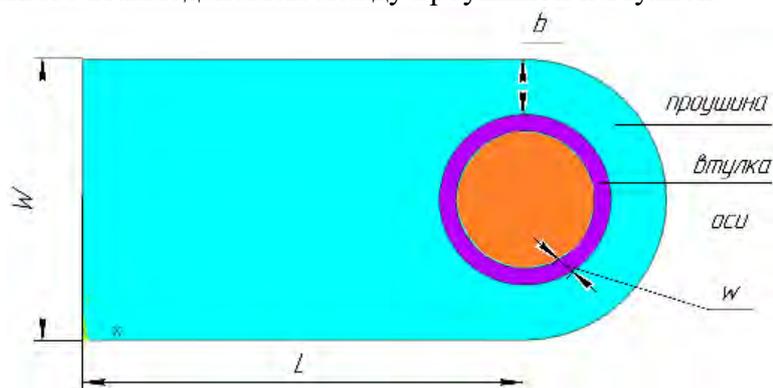


Рисунок – Размеры проушины

Таблица – Характеристики материалов

Параметр	Алюминий	Полиамид ПА6, армированный 30% углеродного волокна
Плотность, кг/м ³	2770	1285
Модуль Юнга, МПа	71000	8000
Коэффициент Пуассона	0,33	0,37
Предел текучести, МПа	280	80

Проведена оптимизация с использованием последовательного квадратичного программирования (SLSQP), метода Нелдера – Мида и дифференциального эволюционного алгоритма с непрерывным адаптивным сокращением популяции (DE with Continuous Adaptive Population Reduction, DE-CAPR) [2]. Для достижения сходимости введено дополнительное уравнение для аналитического вычисления значений целевой функции и функций ограничений. Целевая функция со штрафом имеет аддитивный вид $\hat{f}(x) = f(x) + \pi(x)$ и формулируется следующим образом:

$$L(x) = \begin{cases} f(x) & \text{if } \eta_{pl} \text{ и } \eta_{al} < 1 \\ f(x) + \eta_{pl}(b, w) & \text{if } \eta_{pl} > 1 \text{ и } \eta_{al} < 1 \\ f(x) + \eta_{al}(b, w) & \text{if } \eta_{pl} < 1 \text{ и } \eta_{al} > 1 \\ f(x) + \eta_{pl}(b, w) + \eta_{al}(b, w) & \text{if } \eta_{pl} \text{ и } \eta_{al} > 1 \end{cases}$$

где $\eta_{al} = \frac{\sigma_{al}^{max}}{\sigma_{al}^{lim}}$, $\eta_{al}(b, w) = 18,59 \times 0,8325^b \times 0,543^w$;

$$\eta_{pl} = \frac{\sigma_{pl}^{max}}{\sigma_{pl}^{lim}}, \eta_{pl}(b, w) = 18,59 \times 0,8325^b \times 0,543^w.$$

Из трех протестированных алгоритмов эволюционный алгоритм показал лучшую сходимость и меньшее число требуемых вычислений при поиске глобального минимума. Это связано с возможностью поиска, предлагаемой эволюционными алгоритмами, и с сокращением размеров популяции, используемым в методе CAPR.

Эволюционный алгоритм был протестирован на исходных популяциях из 20 особей. Популяция сгенерирована с использованием стохастической модели латинского гиперкуба. В качестве условия останова разница между лучшим и худшим значением дает целевую функцию в одном поколении. При значении критерия останова 10^{-3} эволюционному алгоритму потребовалось 25 поколений для достижения хорошей сходимости.

Несмотря на то что алгоритм дифференциальной эволюции требует больше вычислений целевой функции по сравнению с другими алгоритмами, он является наиболее устойчивым, достигает минимума, который удовлетворяет ограничениям и, что не менее важно, более устойчив к разрывам целевой функции и функций-ограничений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-79-10309.

Библиографический список

1. Болдырев А.В., Комаров В.А. Использование высокоточного моделирования на ранних стадиях проектирования конструкций летательных аппаратов // Вестник СГАУ. 2012. № 1 (32). С. 15–23.
2. Wong I., Liu W., Ho C.-M., Ding X. Continuous Adaptive Population Reduction (CAPR) for Differential Evolution Optimization // SLAS TECHNOLOGY: Translating Life Sciences Innovation. 2017. Vol. 22 (3). P. 289–305.