

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ВХОДА РАСПЛАВА ПРИ ЛИТЬЕ КРОНШТЕЙНОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Куркин Е.И., Кишов Е.А., Эспиноса Барсенас О.У., Чертыковцева В.О.  
Самарский университет, г. Самара, [kurkin.ei@ssau.ru](mailto:kurkin.ei@ssau.ru)

*Ключевые слова: оптимизация, литье под давлением, кронштейн аэрокосмического назначения, точка входа расплава, линия спая.*

Для соединения многих основных компонентов самолета, в том числе для крепления двигателей к пилонам, используются кронштейны [1]. Для изготовления пространственно-нагруженных узлов сложной формы могут быть использованы термопластичные композиционные материалы, армированные короткими высокопрочными волокнами. Изготовление кронштейна навески двери Airbus A350-900 из полиэфирэфиркетона (ПЕЕК), армированного короткими углеродными волокнами, привело к снижению его веса и стоимости на 40% [2]. Ряд отказов в авиационной технике связан с разрушением кронштейнов, поэтому обеспечение прочности кронштейнов является важной задачей [3]. Линии спая, образующиеся при встрече двух или более потоков расплава, снижает прочность используемого материала [4]. Формирование и расположение линии спая зависит от толщины стенок изделия и расположения точки входа расплава [5]. Пример оптимизации точки входа расплава на основе времени заполнения элементов литейной формы представлен в работе [6]. Метаэвристические алгоритмы оптимизации используются в случаях, когда функция цели терпит разрыв или ее градиенты недоступны. В статье [7] показан пример использования генетического алгоритма для оптимизации расположения точек входа расплава и вентиляционных отверстий для минимизации числа непролитых мест конструкции. Целью данной работы является разработка алгоритма оптимизации точек входа расплава в пространственных кронштейнах аэрокосмического назначения, обеспечивающих максимальное удаление линии спая от наиболее нагруженных мест конструкции.

В качестве критерия оптимизации применяется минимизация полусуммы максимальных и средних эквивалентных напряжений по Мизесу на линии спая изделия. Использование такого критерия позволяет обеспечить расположение линии спая вдали от наиболее нагруженных мест, обладает устойчивостью и допускает вычисления поля напряжений однократно до начала процесса оптимизации. Для расчета поля напряжений используется ANSYS Workbench. Нахождение линии спая в зависимости от точки расположения входа расплава проводится в Autodesk Moldflow в пакетном режиме с использованием Synergy API.

Проектными переменными являются координаты точки входа расплава. Оптимизация проводится в дискретной постановке – на элементах сетки расчёта литья изделия. После определения координат точки входа расплава ее расположение определяется расположением ближайшего узла сетки на поверхности изделия. Для оптимизации используется метаэвристический алгоритм генетического типа. В процессе итераций определяются множества наилучших элементов, мутации и скрещивания. Наилучшими признаются элементы с наименьшим значением целевой функции. Для мутации берутся случайные отклонения от наилучших элементов, а также добавляется ряд случайно определенных узлов. Скрещивание проводится на основе определения среднего арифметического положения между лучшими элементами по круговой системе. Критерием сходимости алгоритма является относительная разница между минимальным и медианным значением целевой функции, не превышающая 7%.

В качестве примера рассмотрена оптимизация расположения точек входа расплава при литье кронштейна размером 112 × 70 × 24 мм, нагруженного перерезывающей силой и изготавливаемого литьем под давлением из полиамида-6, армированного 30% коротких угольных волокон. Для оптимизации используется популяция из 30 точек, в том числе 6

лучших решений, 15 результатов скрещивания и 9 результатов мутации (6 ближайших мутаций лучших решений и 3 случайного засева). Для проверки повторяемости алгоритма рассмотрено три случая случайного засева начальной популяции. Сходимость алгоритма оптимизации для каждого случая достигается на третьей итерации. Наилучшим местом расположения точки входа расплава для данного кронштейна является проушина, соответствующая месту расположения перерезывающей силы.

Предложенная методика позволяет повысить прочность изготавливаемых литьем под давлением из короткоармированных композитов кронштейнов аэрокосмического назначения, включая кронштейны навески двигателей. Учёт технологических ограничений, накладываемых на расположение точек входа расплава является вопросом дальнейших исследований.

Исследование выполнено финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-79-10205.

### Список литературы

1. Levatti H., Morgan H., Bould D.C., Gil A.J., Sienz J. GE Jet Engine Bracket Challenge: A Case Study in Sustainable Design // InImpact: The Journal of Innovation Impact. V. 7(2). 2014 P. 95-107.
2. Miaris A., Edelmann K., Boeligen M.H. A350 WXB: thousands of thermoplastic composite parts in an frp aircraft. The breakthrough to a highly automated composite manufacturing// SAMPE Conf. Proc., Seattle, 2014. P. 1-9.
3. Kenchappa B., Chikmath L., Dattaguru B. A study on prognostic analysis of attachment lugs under off-axis loading // Int. J. Struct. Integr. V. 10(6). 2019. P. 809–824.
4. Wu C.H., Liang W.J. Effects of geometry and injection-molding parameters on weld-line strength // Polym. Eng. Sci., vol. 45(7), pp. 1021–1030, 2005.
5. Chun D.H. Cavity Fillings analyses of injection molding simulation: bubble and weld line formation // J. Mater. Process. Tech. V. 89–90. 1999. P. 177-181.
6. Lam Y.C., Britton G.A., Liu D.S. Optimisation of gate location with design constraints // Int. J. Adv. Manuf. Technol. V. 24, 2004. P. 560-566.
7. Mathur R., Fink B.R., Advani S.G. Use of genetic algorithms to optimize gate and vent locations for the resin transfer molding process // Polym. Composite. V. 20(2). 1999. P. 167-178.

### Сведения об авторах

Куркин Евгений Игоревич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник. Область научных интересов: механика короткоармированных композиционных материалов и конструкций.

Кишов Евгений Алексеевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник. Область научных интересов: топологическая и параметрическая оптимизация конструкций.

Эспиноса Барсенас Оскар Улиссес, магистрант. Область научных интересов: решение совместных задач механики сплошной среды и деформированного твердого тела.

Чертыковцева Владислава Олеговна, аспирант, инженер-конструктор. Область научных интересов: литье под давлением короткоармированных полимеров.

## OPTIMIZATION OF INJECTION MOLDED AEROSPACE BRACKETS GATE LOCATION USING METAHEURISTIC ALGORITHMS

KurkinE.I., KishovE.A., EspinosaBarcenao.U., ChertykovtsevaV.O.  
Samara National Research University, Samara, Russia, [kurkin.ei@ssau.ru](mailto:kurkin.ei@ssau.ru)

*Keywords: optimization; injection molding; aerospace bracket; gate position; weld line.*

An algorithm for the injection molding gate optimization for minimization the stress on the weld lines in the structure was developed and considered at aerospace bracket example.