

УДК 621.74.04

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТОПОЛОГИЧЕСКИ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ОТЛИВКИ «ВЕРХНИЙ РЫЧАГ»

Гончаров Кузьма Романович

*Студент 6 курса*

*кафедра «Литейные технологии»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент кафедры «Литейные технологии» Д. Э. Хилков*

Проектирование литниково-питающей системы является ключевым этапом получения качественных отливок из алюминиевых сплавов, поскольку конструкция подвода металла определяет характер заполнения, уровень турбулентности, вовлечение газовой фазы и последующую направленность затвердевания. Для деталей со сложной ветвистой топологией данные факторы становятся критичными и напрямую связаны с риском недоливов, холодных спаев, газовой пористости и усадочных дефектов.

Объектом исследования является алюминиевая отливка верхний рычаг с топологически оптимизированной геометрией (рис. 1).



Рис. 1 – Верхний рычаг

Конструкция включает два симметричных цилиндрических силовых узла, удалённый опорный цилиндр на конце ветви и центральный малый цилиндр-стойку. Материал отливки — сплав АК7-ПЧ, масса детали 1,16 кг, программа выпуска — малосерийное производство.

На первом этапе исследования выполнен расчёт элементов литниковой системы по справочным методикам. Определено узкое место, оценено время заливки, назначены параметры стояка, питателей и шлакоуловителя, а также выбран пенокерамический фильтр для алюминиевых сплавов FCF-3.

Далее разработаны (рис. 2) и сопоставлены три принципиальные схемы подвода:

- 1) подвод к одному дальнему цилиндрическому узлу;
- 2) симметричный подвод при наклонной ориентации отливки;
- 3) подвод к двум симметричным цилиндрическим узлам через два питателя;

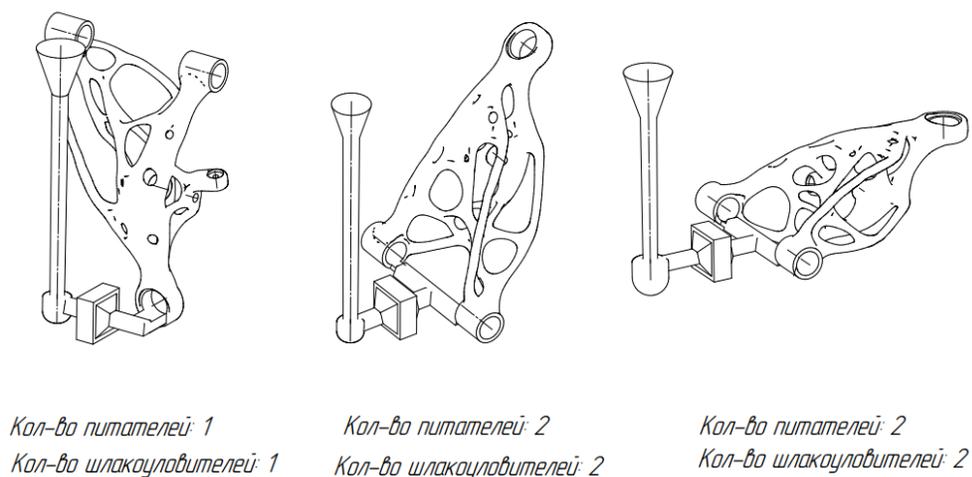


Рис. 2 – Варианты литниковых систем

Для обоснованного выбора выполнено компьютерное моделирование заполнения в FLOW-3D для трёх принципиальных схем подвода. По совокупности результатов наилучшей была выбрана литниково-питающая система с подводом расплава к двум боковым симметричным цилиндрическим узлам. Данный вариант обеспечивает наиболее устойчивое заполнение и наиболее благоприятное сочетание тепловых и гидродинамических показателей.

По первому температурному критерию (рис. 3), симметричный подвод к двум цилиндрам оказался наиболее предпочтительным, поскольку расплав в первую очередь поступает в массивные силовые узлы, формируя устойчивый тепловой резерв в наиболее ответственных зонах детали.

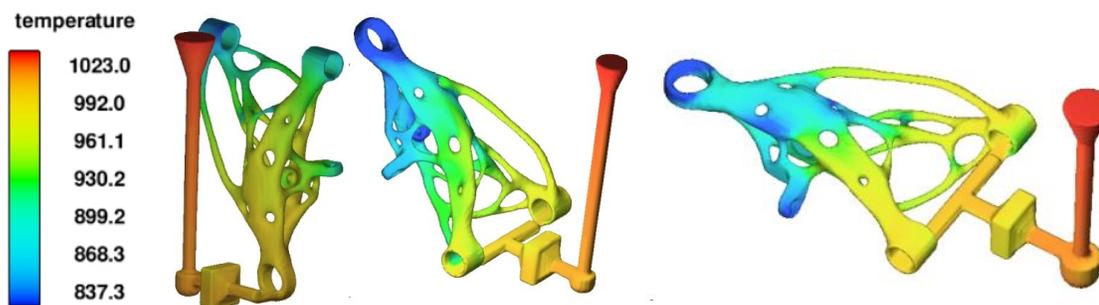


Рис. 3 – Анализ распределения температуры

В ходе заполнения температурное поле сохраняет более равномерный характер, а минимальные температуры проявляются в основном в наиболее удалённых тонких ветвях, заполняемых в последнюю очередь, при сохранении достаточного теплового потенциала в цилиндрических узлах и основных переходах.

По второму критерию вовлечения воздуха (рис. 4) выбранная схема также показала преимущество. Повышенные значения вовлечённого воздуха носят локальный характер и концентрируются преимущественно в конечной зоне заполнения, тогда как основной объём отливки заполняется при низких значениях захваченного воздуха. Это указывает на более спокойный характер течения и снижение риска газовой пористости в рабочей части детали.

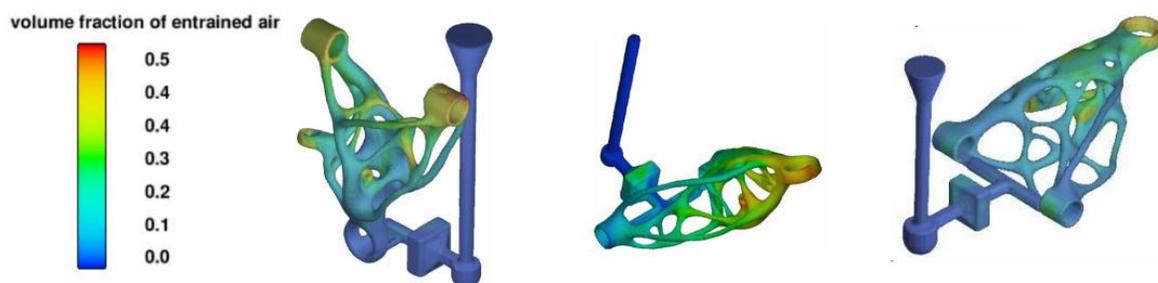


Рис. 4 – Моделирование захвата воздуха

По третьему критерию вертикальной составляющей скорости подтвердилась устойчивость выбранного варианта. Зоны повышенных скоростей локализируются в области подвода и в массивных узлах, после чего значения скорости быстро выравниваются и не распространяются протяжённо по тонким ветвям. Более равномерный подъём фронта расплава снижает вероятность локальной турбулентности и образования дефектов, связанных с неустойчивым заполнением.

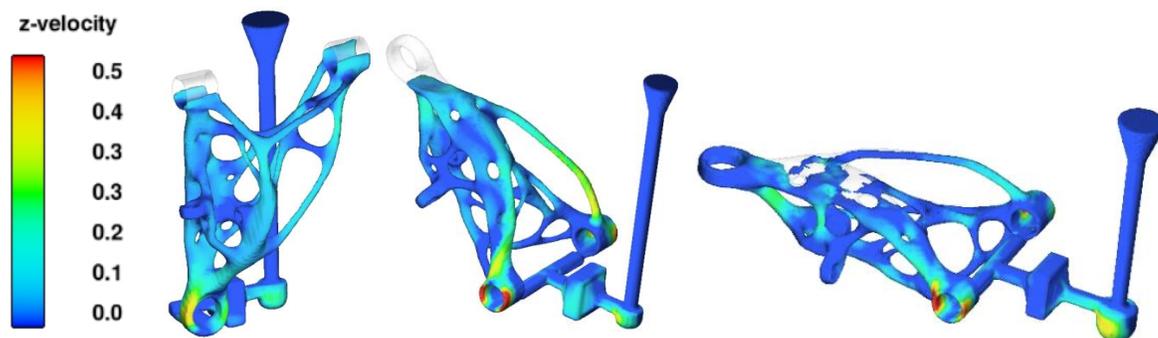


Рис. 5 – Моделирование скорости подъема расплава

По четвертому критерию площади свободной поверхности расплава (рис. 6) симметричный подвод к двум цилиндрам обеспечивает компактный и быстро затухающий характер изменения графика площади свободной поверхности.

Меньшая площадь контакта расплава с воздухом и меньшая длительность существования свободной поверхности уменьшают риск окисления и образования оксидных плёнок, а также снижают вероятность их последующего вовлечения в металл.

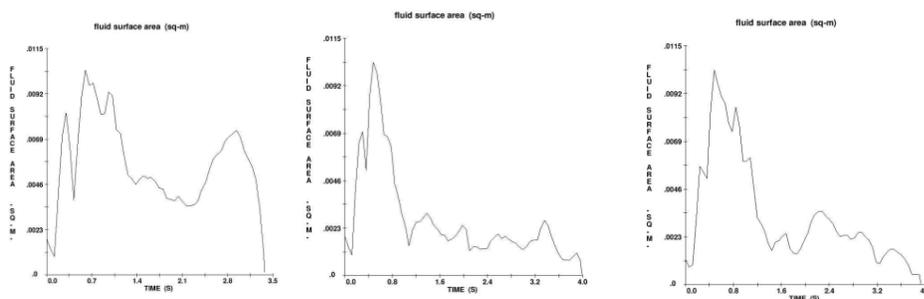


Рис. 6 – Анализ площади свободной поверхности

После анализа критериев заполнения следующим этапом выполнено моделирование затвердевания и распределения усадочных дефектов для всех схем (рис. 7). Для выбранной базовой схемы характерна более управляемая картина усадки. Основные дефектные области концентрируются в зонах утолщений и в элементах литниково-питающей части, что подтверждает технологическую рациональность выбранного варианта.

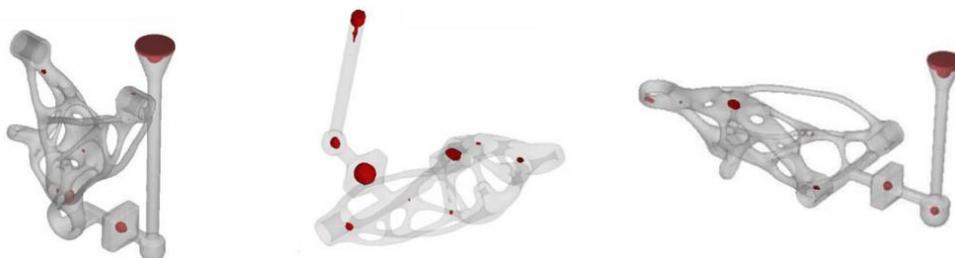


Рис. 7 – Моделирование затвердевания

Заключительный этап работы был посвящён оптимизации выбранной схемы за счёт установки прибылей и холодильников (рис. 8).

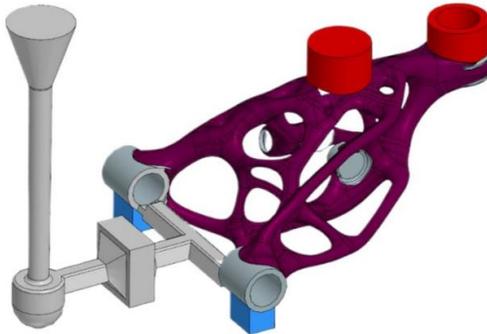


Рис. 8 – Оптимизированная система

Оптимизация позволила сформировать более направленное затвердевание и обеспечить подпитку наиболее массивных зон, в результате чего усадочные дефекты смещаются в элементы питания и литниковую часть (рис. 9).

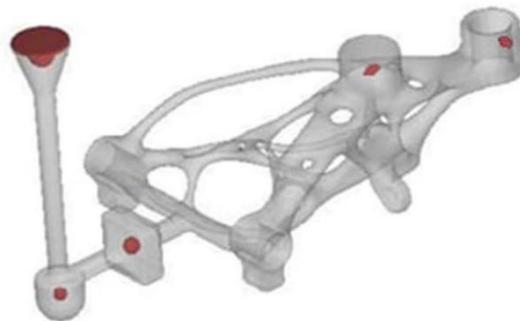


Рис. 9 – Моделирование затвердевания оптимизированной системы

В рабочем объёме отливки выраженные дефектные зоны исчезают либо сохраняются в виде единичных малозначимых проявлений.

**Вывод:** Проведённое моделирование заполнения и затвердевания позволило обоснованно выбрать наиболее технологичную схему подвода расплава к двум симметричным цилиндрическим узлам и выполнить её оптимизацию. Полученные результаты подтверждают, что цель работы достигнута: обеспечено устойчивое заполнение и направленное затвердевание, а усадочные дефекты сведены к элементам питания и литниковой части, снижая риск дефектов в теле отливки.

**Таблица 1. Ключевые исходные данные и параметры принятой схемы**

№	Параметр	Значение
1	Материал отливки	АК7-ПЧ
2	Масса отливки	1,16 кг
3	Программа выпуска	Малосерийная (10 шт./год)
4	Время заливки	~2,1 с.
5	Отношения между каналами литниковой системы	$F_{ст}: F_{шл}: F_{п} = 1: 2: 2$
6	Площадь стояка	201 мм <sup>2</sup>
7	Площадь шлакоуловителя и питателя	402 мм <sup>2</sup>
8	Фильтр	FCF-3, 50×50×30 мм
9	Принятая схема подвода	2 питателя в 2 симметричных цилиндра
10	Температура солидус	544 °С (817 K)
11	Температура ликвидус	649 °С (912 K)
12	Температура заливки	750 °С (1023 K)

Данные приведены по расчётно-пояснительной записке НИР

## Литература

1. Галдин Н.М., Чистяков В.В., Моисеев Ю.В. Справочник по цветному литью. Под ред. Н.М. Галдина. 1989 г., — 519 с.
  2. Галдин Н.М. Варианты литниковых систем для отливок из лёгких сплавов. 1978 г., — 126 с.
  3. Хилков Д. Э. Основы научных исследований: курс лекций.
  4. Гольдштейн А. Н. Литниковые и питающие системы. — М.: Машиностроение, 1985 г., — 240 с.
  5. Flow Science, Inc. FLOW-3D CAST: User Manual. — Santa Fe, NM, 20XX. — URL: <https://www.flow3d.com>
  6. Трухов, А.П. Технология литейного производства. Литье в песчаные формы: Учебник. Трухов А.П. – М.: Машиностроение, 2005 г., — 365 с.
  7. Campbell J. Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design. — 2nd ed. — Oxford: Elsevier, 2015. — 1050 с.
-