

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЬЯ ТИТАН-АЛЮМИНИЕВОГО ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО СПЛАВА

А.В. Карпинский

Рассмотрен процесс моделирования центробежного литья интерметаллидных титан-алюминиевых сплавов на примере турбинной лопатки тракта низкого давления. Для моделирования заливки и затвердевания использована СКМ ЛП ProCast. С учетом результатов моделирования разработана литниково-питающая система, позволяющая получать ответственные отливки требуемого качества.

Ключевые слова: центробежное литье, компьютерное моделирование, интерметаллиды, титановый сплав, литниковая система, лопатка турбинная, двигатель газотурбинный.

В последнее время с развитием технологий все более возрастают требования к изделиям машиностроения. В частности, к отливкам, к их качеству, химсоставу, механическим свойствам и себестоимости. С целью выполнения этих требований в разработке современных технологических процессов литья целесообразно использовать САЕ моделирующие программные комплексы. САЕ комплексы работают совместно с САД системами, в которых предварительно создается 3D модель отливки вместе с литниковой системой. Процессы моделирования основываются на физических законах гидравлики и теплопередачи. При наличии каких либо реальных практических данных их рекомендуется учитывать при задании граничных условий для моделирования.

В авиационном моторостроении существует тенденция перевода материалов деталей на новые титановые интерметаллидные сплавы, имеющие невысокую плотностью и способные работать при температурах до 750 °С.

Процесс компьютерного моделирования литья из таких сплавов был изучен на примере одной из наиболее перспективных отливок из титан-алюминиевого интерметаллидного сплава – турбинной лопатки тракта низкого давления газотурбинного двигателя. Эта лопатка имеет тонкое и длинное перо, которое практически невозможно пролить при заполнении

формы металлом под действием гравитационных сил. Кроме того в начале пера имеется массивный тепловой узел – замок для присоединения лопатки к диску, а на конце бандажная полка, также имеющая большой объем металла. Турбинная лопатка по модели которой осуществлялся процесс моделирования имеет массу 550 грамм и общую длину 310 мм.

Литье турбинных лопаток из титановых интерметаллидных сплавов ведется в вакуумных плавильно-заливочных установках, в которых металл заполняет форму под действием центробежных сил. Для моделирования заливки и затвердевания такой лопатки была выбрана система компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) ProCast. Она позволяет моделировать процесс центробежного литья, а также в базе данных ProCast присутствуют необходимые материалы, в частности, интерметаллидный сплав и керамическая форма.

При расчетах в СКМ ЛП ProCast используется метод конечных элементов, что в отличие от метода конечных разностей обеспечивает более точную геометрию модели после создания объемной сетки. Это особенно важно в тонких частях отливки, где даже небольшие нарушения геометрии значительно сказываются на полученных результатах. Программа также позволяет рассчитать тепловые поля в отливке и форме, оценить напряжения, возникающие в отливке и металлической оснастке. Кроме этого программный комплекс способен рассчитать цикличные нагрузки при центробежном литье. Течение расплава рассчитывается полным уравнением Навье-Стокса и может проводиться вместе с анализом температуры и напряжений. Комплекс проводит анализ турбулентных потоков, позволяет получить представление о характере заполнения формы расплавом, размывании формы, воздушных карманах, засорах, непроливах и холодных спаях.

Предварительные теоретические расчеты [1] и практические данные показали, что прибыль необходимо располагать ближе к оси вращения по отношению к питаемому узлу отливки, необходимая скорость вращения для заливки полости формы составляет около 200 об/мин. При меньшей скорости вращения наблюдались непроливы в форме, особенно в пере лопатки, максимальная толщина которого 2,5 мм. Если задать скорость вращения более 200 об/мин, то возрастает давление на стенку формы и при наличии термоудара повышает вероятность ее разрушения. При задании граничных условий в ProCast ориентировались на полученные практические и теоретические данные.

Моделирование проводилось для скорости вращения 200 об/мин по часовой стрелке, металл заливался в уже раскрученную до максимального числа оборотов форму, температура расплава перед заливкой – 1640 °С, температура формы – 700 °С. Использовались стандартные материалы, представленные в базе данных ProCast – сплав «Ti_45.5at%Al_8at%Nb» и керамическая оболочковая форма «Refractory Alumia».

С помощью ProCast были проверены различные варианты расположения отливки в форме и конфигураций ЛПС. По результатам моделирования выявлены такие недостатки, как образование усадочных дефектов в бандажной полке и (или) в замке лопатки; либо, при увеличении размеров прибылей или уменьшении количества отливок в форме, значительное уменьшение технологического выхода годного (ТВГ), что экономически нецелесообразно.

По результатам проведенных компьютерных экспериментов удалось определить наиболее рациональную литниковую систему для получения отливок из интерметаллидных титан-алюминиевых сплавов методом центробежного литья.

В таком варианте используется прибыль минимально необходимых размеров, при этом, чтобы прибыль качественно сработала, лопатка располагается в форме так, чтобы бандажная полка вместе с установленной на ней прибылью была приближена к оси вращения. Питатель подводится в замок лопатки и имеет коническую форму. Эти меры позволили вывести усадочные раковины из замка и бандажной полки, соответственно, в питатель и в прибыль. С целью повышения ТВГ в одном блоке размещается 16 лопаток, как показано на рис. 1. ТВГ при этом составляет 58,5 %, что почти в 3 раза больше, чем при схеме, когда в форме располагается по 4 отливки – по одной на литниковом ходе. Основные размеры блока отливок приведены на рис. 2.

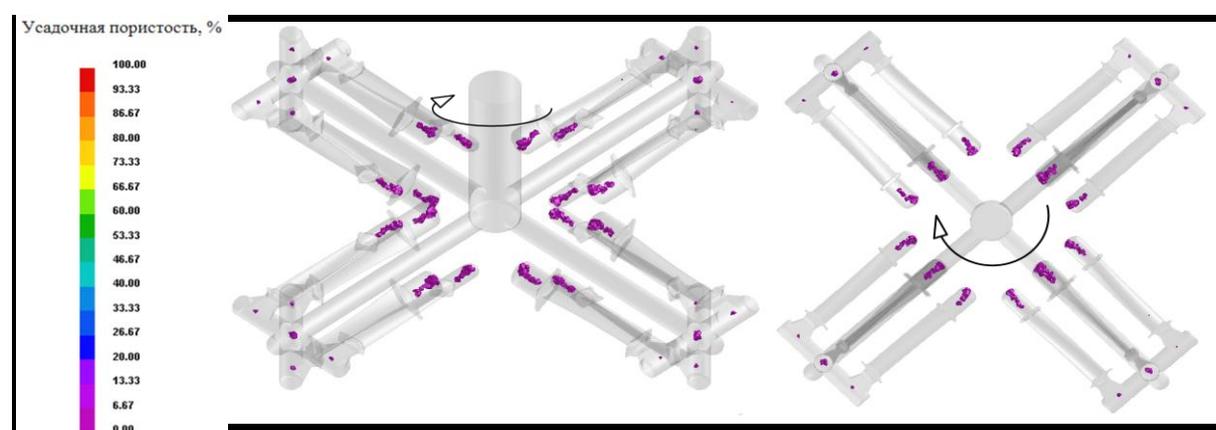


Рис. 1. Схема расположения лопаток и усадочных раковин с обратным направлением заполнения

Как видно (см. рис. 1) при использовании данной литниковой системы тело отливок получается без усадочных раковин.

Результаты моделирования показали, что на протяжении всего периода заполнения формы температура расплава была выше температуры ликвидус (1586 °С по данным ProCast), т.е. металл полностью, без затруднений заполняет форму.

Моделирование гидравлических процессов показало, что расплав течет в форме без завихрений, по ламинарному режиму. Заполнение происходит от дальней стенки к центру вращения всех отливок, что обеспечивает их одинаковые физико-механические свойства.

Полностью кристаллизация металла в полостях отливки, питателей, литниковых ходов и стояка формы происходит после 102 секунды моделирования, однако в стояке заливочного контейнера жидкая фаза присутствует дольше из-за его значительного объема.

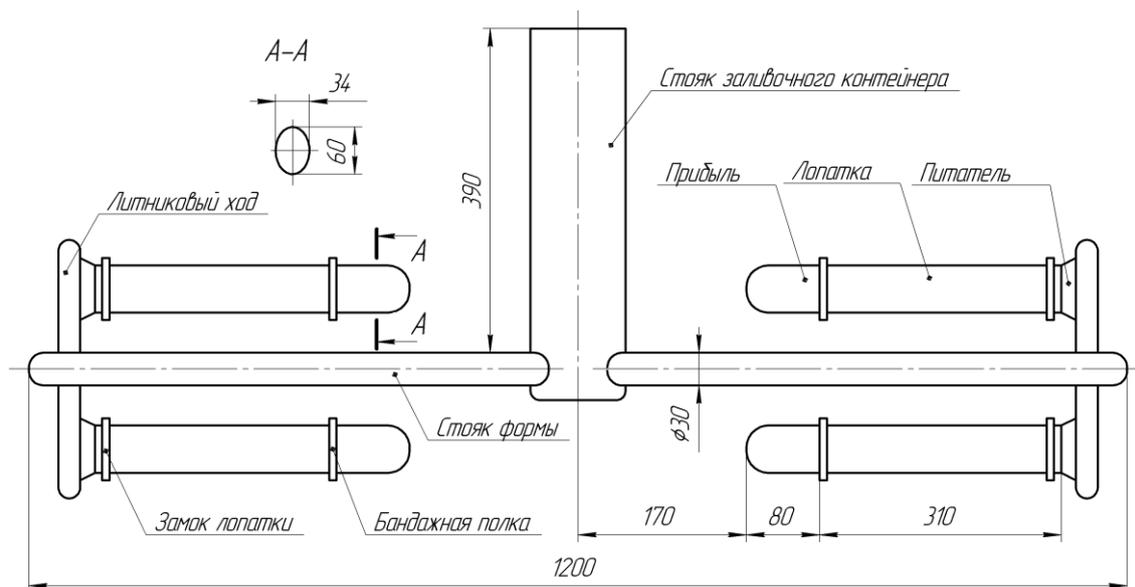


Рис. 2. Основные размеры блока отливок

Результаты моделирования также показали, что увеличение скорости вращения формы с 200 до 400 об/мин приводит к повышению скорости потока металла с 9,4 м/с до 18,7 м/с, давления металла на стенки формы с 5 до 12 бар, турбулизации потока металла. На процессы формирования усадочных дефектов увеличение скорости вращения влияния практически не оказывает.

Стоит отметить, что в реальных условиях заливки форм результаты могут несколько отличаться от полученных моделированием, так как программный комплекс ProCast не учитывает ряд свойств литейной формы и сплава (к примеру, точный состав формовочной смеси), что может незначительно изменить характер движения расплава и интенсивность теплоотвода через форму. Разработанная литниковая система более всего подходит для тонкостенных отливок типа крыльчаток, лопаток и им подобным. Для обеспечения направленной кристаллизации отливки рекомендуется располагать ее массивными узлами к оси вращения, а также обеспечить металлостатический подпор для каждой отливки в форме ее литниковой системой.

Библиографический список

1. Кулаков, Б.А. Влияние расположения отливок на параметры заполнения форм при центробежном литье / Б.А. Кулаков, А.А. Чесноков, В.К. Дубровин, А.В. Карпинский // Литейщик России. – 2014. – № 3. – С. 24–27.