УДК 621.74

**Моделирование процесса затвердевания детали ответственного назначения**

Сушко Т.И., Ильинский С.В., Пашнева Т.В.

 Инженерную подготовку курсантов на наш взгляд, можно улучшить посредством формирования междисциплинарной компетенции. Рассмотрим процесс формирования междисциплинарной компетенции курсантов на примере решения практической задачи, а именно, моделирования теплофизических процессов затвердевания детали ответственного назначения. Курсанты, обучающиеся по специальности «Техническая эксплуатация и восстановление боевых летательных аппаратов и двигателей», при решении практико–ориентированных задач приобретают инженерные навыки в разработке технических заданий и проектов для обеспечения ремонта авиационного оборудования с использованием компьютерных технологий, [1]. Компьютерное моделирование позволяет проследить связь реализацию конкретной практической задачи, так как в основе создания математических моделей, заложены теоретические сведения для решения возникшей технологической проблемы. В качестве моделирующей программы нами выбрана программа LVM Flow на основе русского интерфейса. Использование и применение специализированных пакетов прикладных программ (ППП) создают эффект зрительного графического восприятия статической и динамической информации для создания оптимальных конструкций деталей, облегчая инженерный анализ, быстроту их отработки. В ходе имитационного моделирования с помощью ППП по сути промышленная установка представляется как «черный ящик»: на вход подаются различные параметры, определяемые граничными условиями поставленной перед исследователем задачей, на выходе полученные результаты исследований представлены в виде графических зависимостей, где визуализируется полный цикл создания детали от чертежа до трехмерного изображения с возможностью последующей корректировки в графических системах. Такая проектная работа позволяет курсантам ознакомиться и изучить алгоритмы настроек и работы как специализированных, так и универсальных САПР, получить основы инженерной подготовки производства деталей любой сложности и назначения, усвоить межпредметные понятия и логические взаимосвязи между ними. Так, с помощью программных сред SolidWorks и LVMFlow создаются трехмерные модели деталей авиационной техники (двигателей). Таким образом, прививаются навыки компьютерного моделирования процессов затвердевания применительно к реальным производственным условиям, анализируются качество и способы восстановления деталей. Комплекс САПР SolidWorks обладает всеми возможностями для оформления чертежей во многих системах стандартов, с визуальным наблюдением направленности затвердевания деталей, гидравлических потоков. Процесс охлаждения отливки происходит в результате теплообмена между залитым металлом и смесью, облицовывающей стенки отливки. Математическая модель процесса затвердевания представляется системой дифференциальных уравнений с граничными и начальными условиями, технологическими данными и геометрическими параметрами отливки и формы, согласующиеся с диаграммой состояния.

 В данной работе проведено компьютерное моделирование процесса затвердевания отливки «Корпус клапана» из стали 30ХМЛ ответственного назначения на основе аналитических возможностей программы LVM Flow, способ литья- ЛВМ, [3]. К детали особо предъявляют высокие требования по качеству, а именно по плотной структуре металла, отсутствию недоливов и пустот, обусловленных газовой пористостью, герметичности и износостойкости. Дефекты в отливке в виде усадочных раковин и газовой пористости при литье в большинстве случаев связаны с неправильным устройством и влиянием различных технологических факторов: температура формы, температура заливки, количество слоев огнеупорного покрытия. Влияние этих факторов на отливку «корпус клапана» будет рассмотрено в данной работе. Основная цель исследования состоит в том, чтобы визуально посмотреть течение процесса направленного объемного охлаждения и затвердевания стенок отливки при параметрах, задаваемых пользователем, т.е. курсантом и определить для каждой выделенной области значение параметра теплоаккумуляции огнеупорного покрытия, обеспечивающее получение плотной структуры металла, [5].

 При имеющейся технологии изготовления детали «Корпус клапана» возможны дефекты, а именно рыхлота и пористость в тепловом узле и в нижней зоне фланцев патрубков.. Первоначально в CAD- системе SolidWorks, [4] была построена геометрическая трехмерная модель отливки, а также литейной формы с системой питания. Выбор толщины стенок детали проводился в зависимости от теплоаккумуляции материала и расположения термических узлов, препятствующих направленному затвердеванию отливки. На рисунке 1 показаны в трехмерном изображении отливка с элементами системы питания (СП) и вероятные дефектные места в отливке. Масса детали составляет 160 кг, размеры 561 × 249 × 302 мм. Для имеющегося геометрического образа объекта моделирования была сгенерирована, конечно-разносная сетка отливки и сетка, для всех объёмов формы, импортируемая в систему компьютерного моделирования.



Рисунок 1- Модельное представление отливки

Отметим, что тепловые свойства сплава были смоделированы в подпроцессорном модуле. Выбраны теплофизические свойства материала отливки и формы, также заданы усадочные свойства сплава. Полученная трехмерная модель конвертировали в формат CVG для дальнейшей работы по условия моделирования. В этом модуле определяли размер ячейки сетки для расчетов количества всех ячеек и объема необходимой памяти процесса. При выборе способа подвода жидкого металла в керамическую форму учитывались следующие параметры: обеспечение направленного затвердевания отливки снизу вверх, конструктивные элементы литниково-питающей системы, методика изготовления парафиновой модели и керамической формы, число слоев, материал пресс-формы для получения модельных звеньев и другие. Для данной отливки оптимальным вариантом конструкции системы питания является восьмой (система местных прибылей) тип, трехмерная модель, которой представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 - Модельное представление системы питания отливки

Следующим этапом стала серия собственно расчетов затвердевания детали. Расчет усадочных дефектов проводили на модели со сложной структурированной двухфазной зоной сплава 30ХМЛ с критическими точками, определяемыми количеством жидкой фазы по объему расплава в любой момент времени. К ним относятся следующие точки: первая - начала линейной усадки, вторая - гравитационного течения жидкости и третья - полного прекращения междендритных каналов, изменяющихся в широких пределах. К исходным данным для компьютерного моделирования отнесли: шамотный наполнитель с теплофизическими параметрами из банка подпрограммного модуля, опока без наполнителя, температуру заливки выбирали из банка «Сплав» 1600о С; толщину нанесенной оболочки для деталей ответственного назначения выбрали порядка 16 мм; начальную температуру огнеупорной формы выбирали 700 оС, время заливки порядка 30-40с. Граничные условия: излучение в среду с температурой 20°С. Соотношение критических точек в нашем случае жесткие- 0,5-0,45-0,4. Отливку считаем бездефектной, если значение усадки и микропористости попадут в допустимый интервал, он представлен на шкале и окрашен в цвета от белого до красного для усадки и от белого до зеленого для пористости. Все что меньше 1 % в объеме одного узла сетки является допустимым значением. Максимальное значение пористости в нашем расчете на один объем сетки составило порядка 6% в тепловом узле под центральной прибылью отливки, что является недопустимым значением. На рисунке 3 представлен результат компьютерного моделирования отливки « Корпус клапана» с формовкой в опоке для выявления мест со значениями, превышающие допустимые, как усадки и газовой пористости.



а) усадка б) пористость

Рисунок 3 - Усадка и пористость , выявленная в детали по расчетам

 Полный анализ результатов расчетов выявил большую вероятность образования усадочных дефектов в районе тепловых узлов, что по – нашему мнению, связано с несовершенной системой питания отливки. Основной объем усадочной раковины в верхней части прибылей. Усадка в размере до 6 % на единицу объема конечно-разносной сетки отливки. обнаружена в тепловом узле под центральной прибылью отливки. Дефекты усадочного характера присутствуют в нижней зоне фланцев отливки, значение усадки составило порядка 4 % и входит в диапазон, приводящий последующему разрушению детали, вследствие не плотной структуры в отмеченных зонах отливки. Расчет критерия Нияма (он характеризует газовую пористость) указал на крупные области микропористости в тех же самых областях. Места их залегания, как в центральной части отливки, так и во фланцах. Таким образом, можно сделать вывод о недостаточной работе по питанию отливки центральной прибыли. Металл в последнюю очередь затвердевает в тепловом узле, а не в прибыли, что по нашему мнению и приводит к образованию усадочных дефектов. центральная прибыль не справляется со своей задачей, [6].

 Процесс моделирования позволил наглядно увидеть недостатки способа заливки стали через центральную прибыль. Данная система питания сильно разогревает керамическую оболочку в месте соединения проходных каналов и приводит к значительным дефектам. По –нашему мнению, необходимо провести оптимизацию как конструкции литниково-питающей системы, так и технологического процесса, посредством подбора оптимальных технологических параметров для литья по выплавляемым моделям.

Список источников

1 Сушко Т. И., Караев Р. Ш., Пашнева Т. В. Междисциплинарное обучение курсантов физике посредством моделирования физических процессов затвердевания [Текст] // Научный альманах. 2019. № 6. С.128–134.

2 Турищев, В.В. Моделирование литейных процессов: что выбрать? [Текст] // САПР и графика. – 2005. N 11. С. 27- 30.

3Программное обеспечение LVMFlowCV. Разработка НПО МКМ.//URL: http://wp\_lvm.mkmsoft.ru/?page\_id=2 (дата обращения 12.04.2024)

4 SolidWorks 3D CAD. // URL: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-3d-cad> (дата обращения 12.04.2024) 3D CAD Design Sofware SolidWorks [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.solidworks.ru (06.10.2018).

 5 Баландин Г.Ф. Теория формирования отливки: Основы тепловой теории. Затвердевание и охлаждение отливки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 360 с.

 6 Сушко Т.И., Караев Р.Ш. Компьютерное моделирование как способ корреляции снижения затрат на изготовлении стальных отливок / Сб. науч. ст. по материалам X Национальной научно-практической конференции с международным участием «Моделирование энергоинформационных процессов» (21–23 декабря 2021 г.) [Текст]:Воронеж: ВГУИТ, 2022. С. 207–211.