

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ AUTODESK ДЛЯ ПЛАСТИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Е.М. Ключев (ООО «НИП - Информатика»)

Показана актуальность литья под давлением с помощью пластика для изготовления больших партий деталей. Для повышения качества данного технологического процесса предлагается использовать пакет Autodesk Moldflow. В Moldflow конструктор импортирует 3D модель детали из любой САПР, выбирает материал, конфигурирует литниковую систему и систему охлаждения, назначает другие данные, необходимые для расчета, и проводит анализ проливаемости. Приведены примеры эффективного устранения дефектов с помощью Autodesk Moldflow.

Ключевые слова: литье под давлением, пластик, 3D модель детали, САПР, конфигурация литниковой системы, анализ проливаемости.

Из пластика сделано огромное число предметов вокруг нас: элементы интерьера, мебель, корпуса приборов, детали автомобилей, летательных аппаратов, спортивное снаряжение и т. д. Более трети от общего объема пластиковых изделий производится методом литья под давлением.

Литье под давлением применяется для изготовления больших партий деталей, так как при этом каждая деталь изготавливается быстро (обычно < 1 мин). Примером применения является производство тонкостенных изделий (для снижения веса и экономии материала), таких как корпуса компьютерных мониторов, ноутбуков, мобильных телефонов и др.

Производство методом литья под давлением осуществляется на специальных машинах — термопластавтоматах. Производственный процесс представляет собой следующее: материал в виде гранул или порошка разогревается и плавится, а затем под давлением впрыскивается в пресс-форму, заполняя ее, а затем, остывая, образует отливку, то есть продукцию.

Пресс-форма является сложным устройством, состоящим из собственно формы, толкателей и элементов для извлечения деталей из формы, литниковой системы, системы охлаждения и других компонентов.

Для каждой конкретной детали нужна соответствующая ей пресс-форма. Таким образом, для массового производства партии деталей, каждая из которых изготавливается быстро и дешево, необходимо разработать и изготовить сложную и дорогую пресс-форму. Некоторой аналогией здесь является производство электронных чипов, где для массового из-

готовления электронных устройств предварительно разрабатываются и изготавливаются сложные дорогостоящие и ответственные маски для выращивания слоев интегральной схемы.

Для создания пресс-форм широко используются цифровые технологии [1]. 3D модели, кинематический анализ работы механизмов, выпуск чертежей и спецификаций выполняются в Autodesk Inventor. Задачи прочности и долговечности решаются в Autodesk Nastran. Для проектирования обработки на оборудовании с ЧПУ используется Autodesk PowerMill, а для контроля точности применяется Autodesk PowerInspect. Существует тенденция объединения CAD/CAE/CAM инструментов в единое решение [2–3], например в коллекцию Autodesk для машиностроения Product Design & Manufacturing Collection. Также примером многофункциональной CAD/CAE/CAM системы является популярная облачная программа Fusion 360. Коллективная работа над проектом ведется в PDM, например, в Autodesk Vault.

Но ни одна из этих систем не отвечает на важнейшие при производстве пластиковых деталей вопросы: получится ли результат качественным, с требуемой формой, цветом, без дефектов? Для разработки качественной пресс-формы конструктору необходимо учитывать свойства пластика, особенности формы детали, разрабатывать конфигурации литниковой системы и системы охлаждения и т. д. Конструктору необходимо рассмотреть различные варианты решений и выбрать наиболее эффективное на основе квалификации, опыта и интуиции. Затем выбранное



Рис. 1. Дефект при расчете с одной точкой впрыска



Рис. 2. Расчет с двумя точками впрыска без дефектов

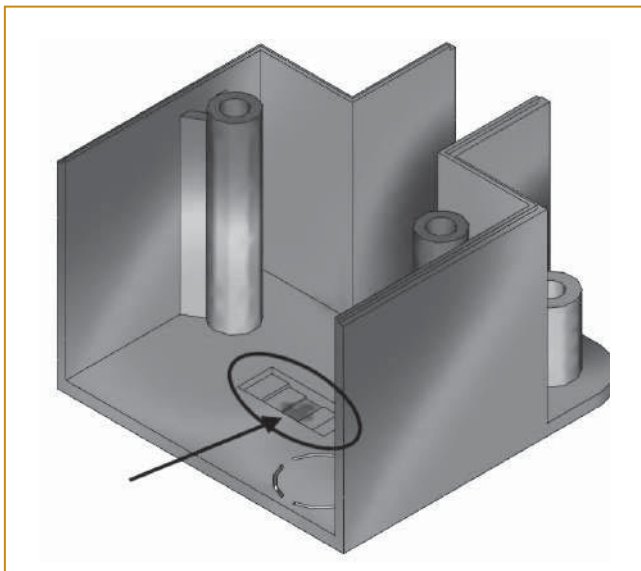


Рис. 3. Дефект при заливке – отверстие в пазу

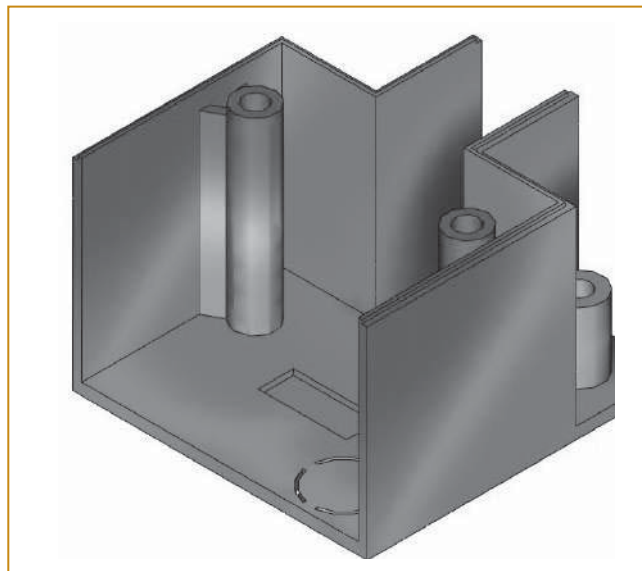


Рис. 4. Паз без дефектов

решение необходимо проверить, например, после изготовления пресс-формы в металле. Такой подход является рискованным и может потребовать дорогостоящих изменений и потери времени.

Для проверки выбранного решения предназначено программное обеспечение Autodesk Moldflow. В Moldflow конструктор импортирует 3D модель детали из любой САПР, выбирает материал, конфигурирует литниковую систему и систему охлаждения, назначает другие данные, необходимые для расчета, и проводит анализ проливаемости. Если результаты не удовлетворительные, то необходимо изменить материал, деталь, температуру или иные параметры и провести анализ проливаемости снова, и так до достижения оптимального результата.

Пакет Moldflow позволяет не только проанализировать процесс заливки, но и рассматривать такие эффекты, как появление воздушных пузырей, линий спая и вероятных незаполненных зон. Также можно проверять литниковые системы и системы охлаждения на оптимальность их расположения и качество работы. Одним из важных факторов, который создает проблемы для всех производителей изделий из пластика, это коробление. Этот процесс сложно прогнозировать без каких-либо предварительных испы-

таний, поскольку и выбор материала, и охлаждение, и усадка могут по-разному влиять на итоговую форму детали. Moldflow выполняет расчеты с высокой точностью и его применение заменяет проверку выбранных решений на реальных образцах в металле.

Рассмотрим на примерах, какие проблемы встречаются при подготовке производства изделий из пластика и как анализ проливаемости с помощью Moldflow позволяет проверить конструкторские и технологические решения.

Обычно в начале проектирования пресс-формы выбирают точку впрыска. Если точка впрыска выбрана некорректно или число точек впрыска недостаточно, то в 95% случаев это приведет к появлению дефектов в отливке. На рис. 1 изображены результаты анализа проливаемости корпуса устройства с точкой впрыска по центру и виден дефект — незаполненная зона слева внизу. Используем систему с двумя точками впрыска и выполним анализ снова. Результаты на рис. 2 показывают, что данное решение обеспечило корректную заполняемость. Moldflow позволяет находить до 10 точек на одной детали и показывать оптимальные области для их расположения.

Однако проблема может быть не только в неверном выборе точек впрыска. Часто дефекты в отливке явля-



Рис. 5. Крышка, выполненная в 3D САПР и не имеющая искажений



Рис. 6. Форма крышки, полученная в результате коробления

ются следствием некорректно разработанной формы детали. На рис. 3 показано, что на самом тонком участке (паз слева внизу) пластик застывает раньше, чем займет все свободное пространство, и вместо части паза образуется отверстие.

После изменения паза в 3D САПР и повторном анализе в Moldflow на рис. 4 видно, что дефект исправлен.

Другие затруднения могут возникать при таком типе дефектов, как коробление,

то есть изменения формы детали при литье. Коробление трудно прогнозируемо, и оно может существенно влиять на функционал изделия, особенно, если изделие составное. В таком случае изделие будет просто невозможно собрать из деталей с искаженными формами. Как пример, рассмотрим изображение крышки, выполненной в 3D САПР и представленной на рис. 5. Видно, что крышка не имеет искажений. На рис. 6 показано изображение отливки крышки с видимыми вогнутостями в правой части.

Выявление величины отклонения отливки от первоначальной 3D модели с помощью критериев оценки в Moldflow поможет понять, насколько существенно отличие, что его могло вызвать усадка, охлаждение или свойства материала, и внести изменения для устранения этих дефектов.

Коробление может вызывать не только деформацию изделия, но и изменение цвета, которое можно выявить с помощью компьютерного моделирования. На рис. 7 показан элемент мебели с дефектом цвета посередине.

Подобный дефект может возникать при больших сдвиговых скоростях во время процесса заливки, соответственно, нужно знать, как значение давление впрыска может на это влиять. Используя Moldflow, можно провести ряд испытаний, варьируя и давление, и сам материал, чтобы в итоге выбрать то сочетание, которое не будет приводить к дефектам

Функционал Moldflow позволяет также решать задачи для специальных применений: литье реактопла-

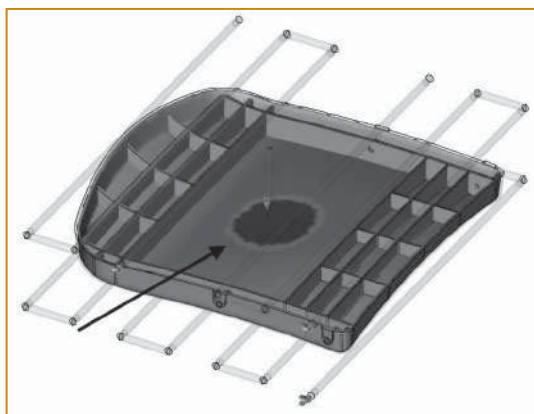


Рис. 7. Коробление изделия в зоне впрыска

стов, порошковых материалов с металлическими наполнением, добавление газа в поток пластика. Для изделий, в которых используется больше одного вида пластика, имеется широкий диапазон вариантов по настройке впрыска: использование двух материалов с независимыми друг от друга параметрами литья, последовательная заливка, когда одна из залитых в пресс-форму частей детали используется

в качестве вставки для заливки другой; последовательная и параллельные заливки нескольких материалов.

Одним из примеров применения подобных специализированных функций является изготовление изделий методом горячего штампования. В силу специфики аэрокосмической отрасли деталь должна быть достаточно прочной, чтобы выдерживать ударные нагрузки, поэтому при ее штамповке используется пластик с армирующим наполнителем. Моделирование проливаемости подобных изделий является сложной задачей. С помощью Moldflow такие задачи можно решить успешно. На рис. 8 изображены дефекты, найденные Moldflow для данной детали.

На рис. 9 приведены фотографии проливки этой детали в реальных условиях, подтверждающие результаты моделирования в Moldflow. Как видно, на поверхности изделия отсутствуют части материала, что вызвано недоливом в результате изготовления детали.

Из-за анизотропии данного армирующего наполнителя изделие может иметь ряд дефектов: недоливы, коробление, воздушные полости. Все это сильно влияет на форму изделия и на его прочностные характеристики. Экспорт результатов из Moldflow в сторонние CAE системы позволяет проверить, как сильно может измениться прочность детали.

Таким образом, в статье рассмотрены примеры, демонстрирующие возможности Moldflow по снижению рисков появления дефектов при подготовке производства новых изделий, рисков выхода за рамки бюджета и сроков, как следствие, дорогостоя-

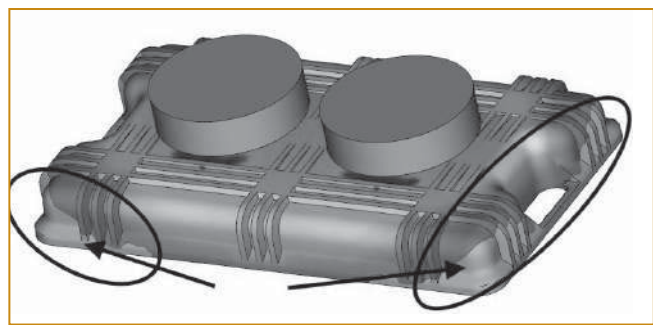


Рис. 8. Недолив в результате моделирования горячей штамповки

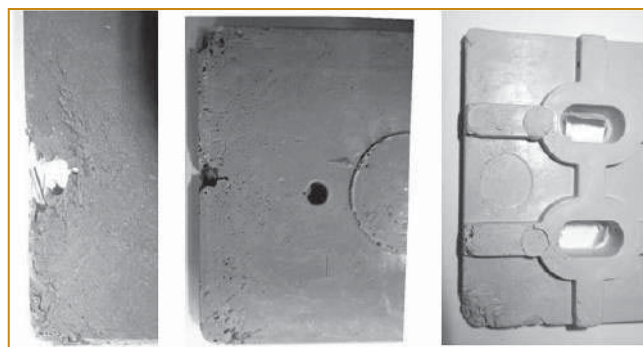


Рис. 9. Недолив при натуральном изготовлении

щих изменений уже выполненной в металле пресс-формы.

Другой областью применения Moldflow является оптимизация выпуска старых изделий на используемых пресс-формах. Моделирование полного цикла изготовления по времени с заданием по секундам фазы впрыска, выдержки, охлаждения и раскрытия пресс-формы поможет понять пути сокращения времени цикла. Снижение времени изготовления изделия даже на несколько секунд в рамках больших партий обеспечит сокращение времени производства и, соответственно, снизит себестоимость.

Проекты анализа проливаемости, выполненные в Moldflow, могут быть представлены широкому кругу специалистов, участвующих в создании нового изделия или оптимизации старого изделия: поставщиков, партнеров, заказчиков. Все они имеют возможность с помощью бесплатной программы Autodesk Moldflow

Communicator детально ознакомиться с результатами моделирования с целью принятия оптимальных решений.

Для эффективного использования Moldflow, необходимо не только изучить интерфейс программы и методологию ее применения, но и получить навыки успешной самостоятельной работы. Начать можно со скачивания бесплатной версии на один месяц и опробования на собственных примерах или на прилагаемых учебных проектах.

Список литературы

1. Муленко В.В. Компьютерные технологии и автоматизированные системы в машиностроении. 2015. М. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина.
2. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). 2004. Изд. Питер.
3. Кондаков А.И. САПР технологических процессов: учебник для студентов высших учебных заведений. 2007. Изд. Академия.

*Клюев Евгений Михайлович — инженер-конструктор ООО «НИП — Информатика»
Контактный телефон +7 (812) 321-00-55.
[Http://www.nipinfor.ru](http://www.nipinfor.ru)*

Дürr выпустит первое в мире приложение с искусственным интеллектом (ИИ) для покрасочных цехов

Компания Dürр вывела на рынок первое в мире приложение с ИИ для организации работы покрасочных цехов. Созданная на основе новейших ИТ технологий с учетом передового инжиниринга программа обнаруживает причины производственных дефектов, рассчитывает оптимальные графики техобслуживания оборудования, выявляет скрытые производственные корреляции и оптимизирует алгоритм работы цеха на основе самообучения. Приложение Advanced Analytics входит в качестве модуля в состав продуктовой линейки DXQanalyze. Опыт эксплуатации ПО Dürр показал, что оно оптимизирует техническую готовность оборудования и качество покраски кузовов.

Новая самообучающаяся система мониторинга производственных процессов Advanced Analytics дополнила линейку цифровых продуктов DXQanalyze концерна Dürр, которая уже включает модули Data Acquisition для сбора производственных данных и Visual Analytics для их визуализации, а также систему анализа производственных данных Streaming Analytics, которая работает в близком к реальному времени режиме на малокодовой платформе. С её помощью операторы определяют отклонения от предустановленных целевых значений работы производства.

Особенностью Advanced Analytics является то, что модуль накапливает большой объем данных, включая параметры прошлых производственных циклов, и сочетает это со способностью к машинному самообучению. В переносном смысле это означает, что самообучающееся приложение с искусственным интеллектом имеет собственную память, то есть оно способно распознавать комплексные корреляции в большом массиве данных и прогнозировать события в будущем с высокой точностью на основе данных о текущем состоянии оборудования. В покрасочных цехах есть много областей применения данного модуля как на уровне отдельных компонентов и процессов, так и всего производства в целом.

На основе мониторинга параметров работы цеха и отдельных агрегатов система Advanced Analytics позволяет прогнозировать оптимальное время проведения техобслуживания цеха или ремонта агрегатов, например, путем расчета оставшегося срока службы смесителя. Если компонент заменить слишком рано, вырастут необязательные расходы на запасные части или на ремонт, а слишком поздняя замена может привести к проблемам с качеством во время нанесения покрытия и остановке оборудования. На основе непрерывно поступающих данных о функционировании робота приложение Advanced Analytics выявляет степень износа агрегата и рассчитывает график его износа во времени. Так как все данные непрерывно регистрируются и анализируются, модуль машинного обучения программы распознает тенденции износа каждого компонента на основе данных его факти-

ческого использования и рассчитывает оптимальное время замены.

Приложение Advanced Analytics помогает улучшить качество, выявляя аномалии производственного процесса путем моделирования температурной кривой разогрева печи. До сих пор производители оперировали лишь данными датчиков, полученными во время измерительных циклов. Однако кривые разогрева, от которых напрямую зависит качество поверхности кузова автомобиля, меняются, поскольку печь изнашивается в промежутках между измерительными циклами. А это означает изменение в воздействии внешних условий на процесс, например, меняется мощность воздушного потока.

На уровне завода ПО DXQplant.analytics вместе с модулем Advanced Analytics используется для повышения общей эффективности оборудования. Модуль ИИ отслеживает системные дефекты, в том числе повторяющиеся в определенных типах моделей, цветах покраски и элементах кузова. На основе полученных данных можно делать выводы, на каком этапе производственного процесса происходят отклонения. Установление связи между дефектами и их причинами позволяет повысить показатели работы при первом прогоне оборудования и вносить коррективы на ранней стадии.

Разработка самообучающихся цифровых моделей производства — сложный процесс. Машинное обучение не работает путем закладки неопределенных объемов производственных данных в «умный» алгоритм, который выдает интеллектуальный результат. Необходимо собирать только значимые сигналы датчиков, тщательно отсортировать их и дополнять структурированными данными, описывающими производственный процесс.

Система Advanced Analytics компании Dürр представляет собой многоплановое программное обеспечение, способное имитировать различные условия производства и отрабатывать в них модели, созданные на основе машинного обучения.

Модуль Advanced Analytics разработан междисциплинарной группой, состоящей из специалистов по цифровым данным, экспертов в области вычислительных машин и специалистов по процессам. Работа по проекту велась в партнерстве с несколькими автопроизводителями. В результате разработчики имели в своем распоряжении реальные производственные данные и ряд экспериментальных заводских площадок для выработки различных сценариев использования приложения. Сначала алгоритмы отработывались в лаборатории с использованием обширного набора тестовых данных. Затем алгоритмы автономно прогонялись в реальных условиях эксплуатации на различных типах производственных площадок в разных условиях и средах. Недавно был успешно завершен этап бета-тестирования, доказавший высокий потенциал использования ИИ на производстве.

[Http://www.durr.com](http://www.durr.com)