

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Системы автоматизированного проектирования в машиностроении
(профиль)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему “ Разработка методов конструирования пластмассовых деталей
автомобиля на ранней стадии проектирования”

Студент (ка)

Н.С. Красовский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель
Консультанты

Е.Н Почекуев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

к.т.н., доцент

Е.Н.

Почекуев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Тольятти 2016

Оглавление

Аннотация	Ошибка! Закладка не определена.
Введение.....	4
1.1 Состояние вопроса, актуальность	5
1.1.1 Классификация автомобильных изделий из пластмасс	5
1.1.2 Описание типовых конструкций пресс-форм для литья под давлением изделий автомобильной промышленности.	8
1.1.3 Описание возможностей систем инженерного анализа для моделирования процесса литья под давлением	11
1.1.4 Анализ программных продуктов и проектирование прессформ в CAD системах.	22
1.4.1.1 Анализ программных продуктов	22
1.1.4.2 Проектирование прессформ в CAD системах.	24
Вывод.....	31
2.1 Методы построения сложных поверхностей изделий из пластмасс	32
2.2 Разработка электронных моделей изделий автомобиля	34
2.2.1 Трехмерное геометрическое моделирование	35
2.2.2 Методы получения твердотельных моделей.....	36
2.2.3 Функции моделирования.	37
2.2.4 Параметрическое моделирование.....	39
2.3 Расчет параметров литой детали и моделирование.....	41
2.4 Причины образования брака при литье под давлением, рекомендации по его устранению	60
3. Моделирование тех. процесса литья под давлением.....	68
3.1 Моделирование тех процесса в модуле Moldex 3D в NX 9.0	68
3.2 Моделирование тех процесса в Mold Flow.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Устранение дефекта коробление	80
4.1 Сравнение результатов анализ в продуктах Mold Flow и Moldex 3D	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

В условиях нарастающей глобализации рынка способность современного машиностроительного предприятия конкурировать в сфере производства наукоемких изделий, в первую очередь, определяется возможностями технологической подготовки производства (ТПП). Эти возможности выражаются через категории повышение качества, снижения сроков и затрат, и т.д. Именно с улучшением показателей деятельности в этом направлении связывает мировое сообщество существенный прогресс в развитии современного машиностроительного производства.

Динамичное развитие такого производства при расширении номенклатуры выпускаемых изделий предполагает постоянный рост потребностей в технологической оснастке (штампы, пресс - формы, режущий и мерительный инструмент, приспособления и т.д.). В производственных условиях при освоении нового изделия трудоемкость проектирования и изготовления технологической оснастки зачастую бывает, сравнима с трудоемкостью производства собственно изделия, для материализации которого и предназначена последняя.

Поэтому задача повышения качества, сокращения сроков и снижения трудоемкости проектирования технологической оснастки занимает важное место при производстве любых изделий машиностроения. Успешное решение этой задачи машиностроительными предприятиями может быть достигнуто только при переходе к использованию достижений информационной технологии, связанных с инженерным анализом, твердотельным моделированием и компьютерными базами знаний. Именно поэтому многие машиностроительные предприятия связывают свое будущее с внедрением и использованием CAD/CAM/CAE систем. Литье под

давлением пластмасс - один из самых популярных методов изготовления изделий из пластика. В настоящее время сложно представить себе процесс проектирования детали без использования систем инженерного анализа. Кроме экономии времени и снижения финансовых затрат на прототипирование изделий, компьютерный анализ дает возможность избежать потенциальных проблем до старта производства, а также сократить время конструирования изделия, что положительно влияет на процесс появления нового изделия. Целью магистерской диссертации является разработка методов разработки деталей из пластмасс на ранней стадии проектирования, которые позволяют снизить затраты на техническую и производственную подготовку изделий к изготовлению.

1.1 Состояние вопроса, актуальность

1.1.1 Классификация автомобильных изделий из пластмасс

Применение пластмасс в конструкции отечественного автомобиля приобретает все более широкие масштабы. Это объясняется в первую очередь тем, что по ряду показателей — плотности, коррозионной стойкости, антифрикционным и электротехническим, а также технологическим свойствам — пластические массы значительно превосходят традиционные материалы, используемые при изготовлении автомобиля.

За последние 10 лет произошли принципиальные сдвиги в области применения пластмасс в отечественном автомобилестроении. Ранее из пластмасс изготавливали детали только электротехнического, антифрикционного и декоративного назначения. В автомобилях новых моделей применяется более 500 различных пластмассовых деталей, в том числе таких, как внутренние панели дверей, бамперы, вентиляторы, кожухи систем охлаждения и отопления, колпаки колес, панели приборов, решетки радиаторов, топливные баки, расширительные бачки и т. д.

Основными факторами, обуславливающими значительное внедрение пластмасс в конструкцию отечественного автомобиля, являются:

- снижение материалоемкости конструкции, что достигается применением пластмасс для изготовления крупногабаритных деталей типа капотов, внутренних панелей дверей, бамперов и т. д.;
- повышение безопасности эксплуатации автомобиля, что обеспечивается изготовлением из пластмасс бамперов, подлокотников, подголовников, мягких панелей приборов, рулевых колес и интерьера автомобиля из новых полимеров;
- повышение долговечности и эксплуатационных характеристик автомобиля, что обусловлено антикоррозионными и другими свойствами

пластмасс (дополнительные ниши колес, брызговики и др.); — совершенствование технологии производства автомобильных деталей и узлов, что достигается возможностью объединить многочисленные детали в единый узел, который имеет меньшую массу, и сократить время сборки на конвейере.

Пластическими массами (пластмассами, пластиками) принято называть материалы, представляющие собой композицию полимера или олиго-мера с различными ингредиентами, находящуюся при формовании изделий в вязкотекучем или высокоэластическом состоянии, а при эксплуатации — в стеклообразном (аморфном) или кристаллическом состоянии.

В качестве ингредиентов могут входить наполнители — тальк, каолин, слюда, древесная мука, стеклянные, органические, углеродные и другие волокна; пластификаторы, отвердители, стабилизаторы, красители и т. д.

В зависимости от характера процессов, сопутствующих формованию изделий, пластмассы делятся на термопласты и реактопласты.

К числу реактопластов, или термореактивных пластмасс, относятся материалы, переработка которых в изделия сопровождается химическими реакциями образования трехмерного полимера — отверждением. При этом полимеры утрачивают способность переходить при нагревании в вязкотекучее состояние и стойки к растворителям.

По назначению и отличительным признакам пластмассы бывают общего назначения, высокопрочные, антикоррозионные, прозрачные, морозо- и теплостойкие, электроизоляционные.

Пластмассы общего назначения — материалы, к показателям физико-механических и химических свойств которых не предъявляют особых требований. К этим материалам относятся отделочные, декоративные, упаковочные, хозяйственно-бытовые и другие изделия из пластмасс (поливинилхлорида, полипропилена, фенопластов и др.).

Высокопрочные пластмассы— полиформальдегид, полиэфирные пластики, поликарбонаты — характеризуются высоким пределом прочности при сжатии и изгибе, большой износостойкостью и высоким коэффициентом трения (фрикционные свойства). Эти материалы способны заменить бронзу и баббит, например, в подшипниках, втулках; их используют для изготовления труб, зубчатых колес, гребных винтов.

Антикоррозионные пластмассы— каучуки, полиизобутилен, эпоксипласты — обладают высокой химической стойкостью к воде, кислотам, растворам солей и органическим растворителям. Эти материалы используют вместо металлических деталей в оборудовании и конструкциях, эксплуатирующихся в агрессивных средах, из них изготавливают контейнеры-цистерны жидкого топлива.

Прозрачные пластмассы — полиметилметакрилат, полистирол — пропускают лучи света в широком диапазоне волн, и в частности ультрафиолетовую часть спектра, благодаря чему они не уступают по своим оптическим свойствам лучшим сортам стекла и хрусталя и значительно превосходят в этом силикатное стекло. Из таких пластмасс изготавливают оптические системы осветительной арматуры.

Морозостойкие пластмассы — полиизобутилен, этилцеллюлоза, поликарбонат — сохраняют эластичные свойства и гибкость при низких (минусовых) температурах. Изделия и конструкции, изготовленные из таких пластмасс, можно эксплуатировать в атмосферных условиях.

Теплостойкие пластмассы— полиорганосилоксаны, политрихлор-этилен, фенопласты — обладают способностью не размягчаться при повышении температуры. Такие пластмассы широко применяют в промышленности и быту, в отдельных случаях они заменяют металл и керамику.

Электроизоляционные пластмассы — полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол — характеризуются низкой диэлектрической постоянной, высокой электрической прочностью, высоким объемными поверхностным сопротивлением. Их применяют для изоляции проводов и электрооборудования в электротехнике, для замены эбонита.

Теплоизоляционные пластмассы — поливинилхлорид, полистирол, полиуретан, фенопласты — отличаются низкой теплопроводностью. К таким пластмассам относятся пористые газонаполненные материалы — пенопласты и поропласты, применяемые для теплоизоляции холодильных приборов и установок, жилых помещений, многослойных стеновых панелей и т. п.

1.1.2 Описание типовых конструкций пресс-форм для литья под давлением изделий автомобильной промышленности.

Прессформы для компрессионного и литьевого прессования терморезистивных материалов и формы для литья под давлением термопластичных материалов можно классифицировать по следующим признакам

- 1) По технологическим – метод переработки пластических масс;
- 2) По эксплуатационным – характер связи с прессом
- 3) По конструктивным – тип прессформы, количество формующих полостей, характер разъема матрицы и выталкивания отпрессованных деталей.

По технологическому признаку прессформы делятся на три группы: компрессионные, литьевые, устанавливаемые на гидравлические прессы, и формы литья под давлением для термопластов, устанавливаемых на литьевые машины.

По эксплуатационному признаку прессформы разделяются на съемные, которые периодически снимаются с прессы для извлечения изделий,

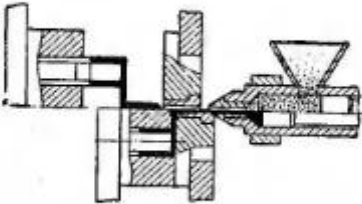
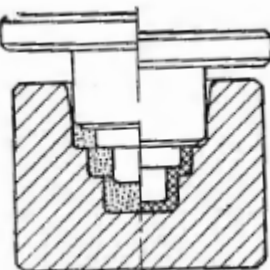
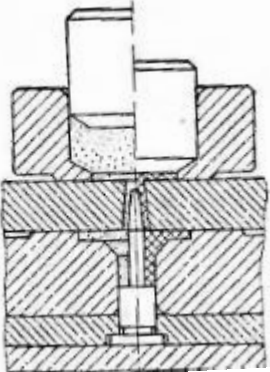
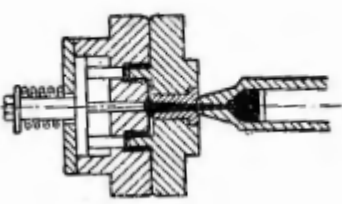
полустационарные, в которых извлекается только матрица, и стационарные, закрепляемые на прессе или машине.

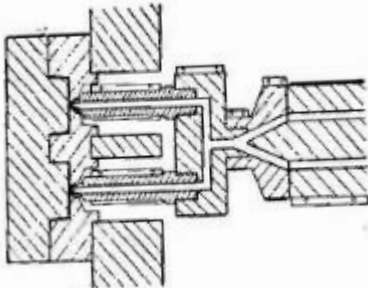
По конструктивному признаку пресс-формы разделяются на следующие:

- 1) компрессионные прессформы открытого, полужакрытого и закрытого типов, с общей загрузочной камерой, с индивидуальными загрузочными камерами для каждой формующей полости, со встречными пуансонами.
- 2) Литые прессформы с верхней загрузочной камерой, устанавливаемые на прессе с одним рабочим давлением, с нижней загрузочной камерой, устанавливаемые на прессе с двумя рабочими давлениями.
- 3) Формы для литья под давлением с общим впрыском пластика в несколько формующих плоскостей, с отдельным впрыском в каждую формующую полость самостоятельно, с автоматическим выдвижением формующих знаков или вывинчиванием резьбовых знаков, с автоматической установкой арматуры

Кроме того, все группы прессформ конструктивно делятся на одногнездные и многогнездные, а по характеру разреза матрицы - на прессформы с одной, двумя или несколькими горизонтальными плоскостями разреза, с одной или двумя вертикальными плоскостями разреза и с комбинированным разрезом.

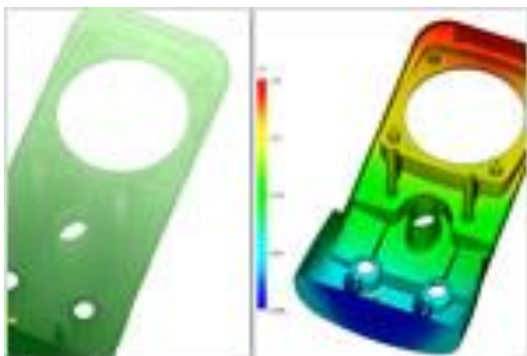
Таблица 1.1. Технические признаки классификации пресс-форм (справочник по пресс-формам Е.Н Демин)

По техническим признакам	Форма для литья под давлением устанавливаемые на термопласт автоматах с подачей материала в формующую полость под давлением из цилиндра машины.		Для изделий любой конфигурации, обеспечивает высокую точность изделий
	Компрессионные прессформы с прямым воздействием давления пресса на пресс материал, загружаемый в формующую полость		Для изделий плоскостных, монолитных, полых, равно стенных, с отверстиями
	Литьевые прессформы с давлением пресса, воздействующим на материал, загружаемый в камеру-тигель, откуда он в результате действия тепла и давления перетекает в литниковую втулку и литники		Для изделий из термореактивных пластмасс почти всех марок с двусторонней арматурой, разностенных, склонных к деформации, с отверстиями
	Формы для литья под давлением с впрыском материала на одно сопла одновременно в несколько формующих плоскостей.		Наиболее распространена конструкция форм для литья под давлением. Недостаток - неполное использование полезной мощности, необходима

			зачистка литника
	Форма для литья под давлением с числом сопел запорного крана, равным количеству формирующих полостей в форме, с отдельным впрыском в каждую полость		Большое применение в связи с наличием точечного литника, отпадает необходимость в последующей зачистке отлитых изделий

1.1.3 Описание возможностей систем инженерного анализа для моделирования процесса литья под давлением

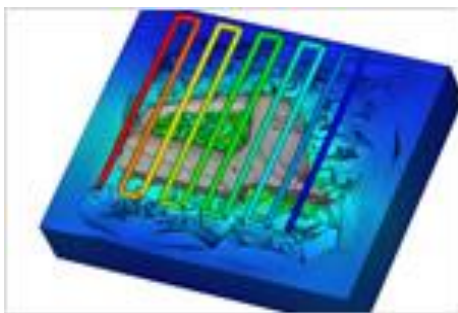
Современные CAE предоставляют средства для моделирования литьевых форм, изделий из пластмассы, а также проверки и оптимизации процесса литья под давлением. Продукт позволяет изучать влияние толщины стенок, расположения литников, материалов и геометрии деталей на технологичность производства изделий из термоактивных материалов и термопластмасс. Ключевые возможности:



Импорт файлов из других САПР
Позволяет оценивать конструкции деталей из пластмассы по 3D-моделям из любых САПР (рис.1.1).

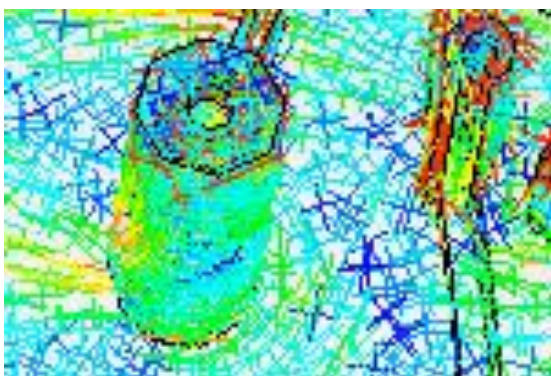
Рис.1.1

Охлаждение и нагревание литьевых форм при переменном режиме



Изменение температуры в литьевой форме можно определять во время цикла литья. Также можно прогнозировать количество циклов, необходимых для достижения стабильной температуры формы. (рис.1.2).

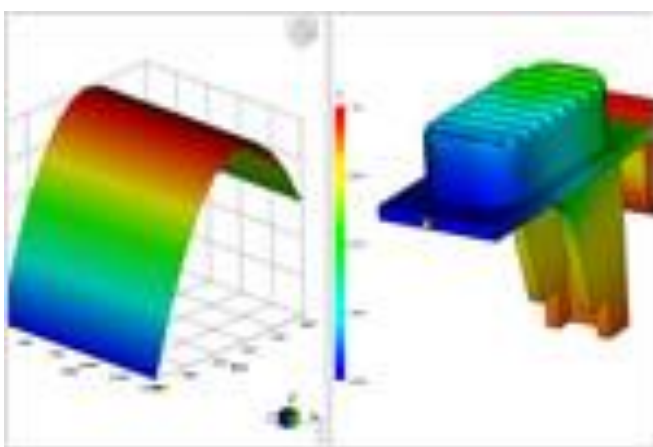
Рис 1.2



Ориентация волокон в деталях из пластмассы

Можно более точно прогнозировать ориентацию короткого и длинного стекловолокна, включая обрывы длинных волокон, что является критически важным фактором для общего качества, формы, прочности и массы деталей из металлопластика. (рис.1.3).

Рис.1.3



Оптимизация проекта

Поддерживаются все типы сеток, процессов литья и средств моделирования, что помогает лучше оптимизировать проектирование и производство литых пластмассовых деталей. (рис.1.4).

Рис.1.4

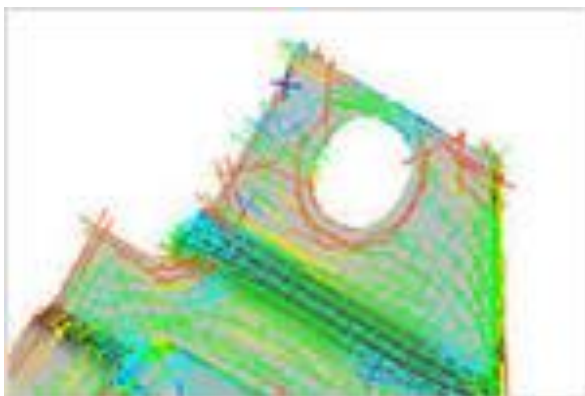


Рис.1.5

Моделирование усадки и деформаций

Моделирование конструктивной целостности литого изделия помогает оценивать проект детали и формы, контролируя при этом усадку и деформации на основе параметров обработки и данных материалов. Точно скорректированные модели можно использовать для формирования инструментальной оснастки и дальнейшего изменения геометрии, (рис.1.5).

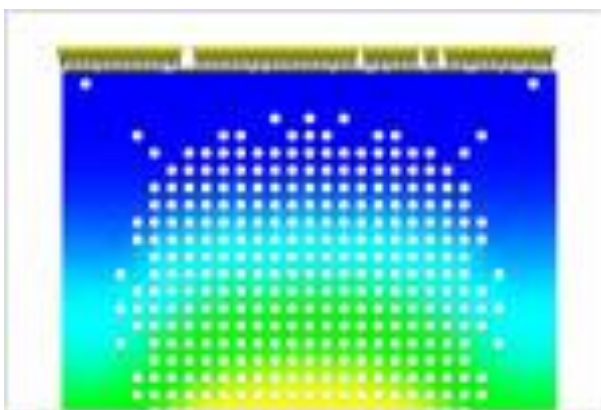


Рис.1.6

Моделирование литья термореактивных пластмасс

Продукт позволяет моделировать процессы термореактивного литья под давлением, литья реакционноспособной массы, структурного литья реакционноспособной массы, формования пропиткой смолой и литья резины под давлением, (рис.1.6).



Рис.1.7

Редактирование геометрии

Позволяет быстрее и удобнее редактировать и упрощать геометрию, повышая тем самым технологичность и качество деталей из пластмассы, (рис.1.7).

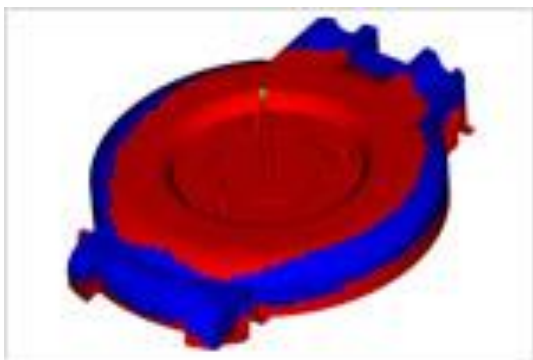


Рис.1.8

Специализированные процессы литья

Вы можете моделировать множество процессов литья пластмасс и специализированных методов обработки деталей, (рис.1.8).

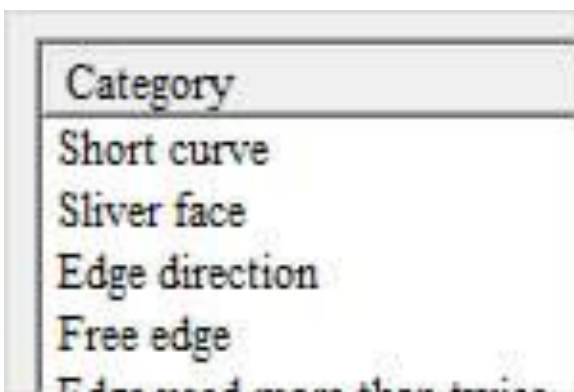


Рис.1.9

Взаимодействие с другими САПР

Встроенные средства позволяют преобразовывать и оптимизировать модели САПР, (рис.1.9).

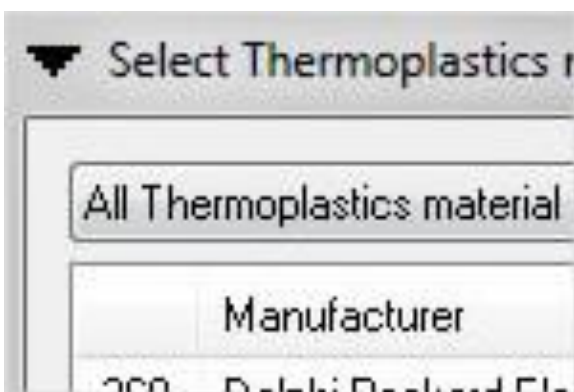


Рис.1.10

Сведения о материалах

Использование точных данных о материалах помогает обеспечить безошибочность моделирования изделий из более 8700 типов пластмасс. Услуги по испытанию дополнительных материалов и согласованию данных, а также обширные базы материалов. (рис.1.10).

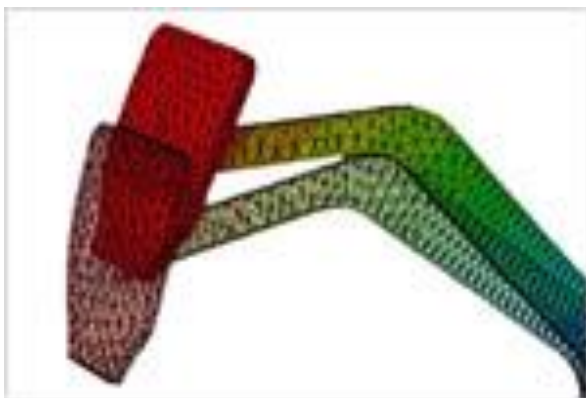


Рис.1.11

Обмен **САЕ-данными**
 Средства обмена данными с
 системами структурного
 моделирования позволяют
 проверять и оптимизировать
 проекты деталей. Можно
 обмениваться САЕ-данными
 (рис.1.11).

Проектирование качественных деталей из пластмассы и литейных форм

На любом этапе проектирования и производства пластмассовых деталей и форм для них инженерный анализ позволяет уменьшить количество дорогостоящих изменений и производственных дефектов

Анализ заполнения полости расплавами термопластов

Для выполнения анализа необходимо задать места впуска, выбрать марку материала из базы данных, определить технологические параметры процесса (температуры расплава и формы и т.д.) и другие условия расчета.

Моделирование стадии заполнения литейной формы может быть проведено с применением нескольких алгоритмов, в том числе – при разнице температур между матрицей и пуансоном, а также для различных материалов формообразующих деталей (ФОД). При моделировании можно учесть расположение и геометрию воздухоотводов, процесс вытеснения воздуха из формирующей полости движущимся потоком расплава, спрогнозировать недолив, вызванный запиранием воздуха в полости формы.

Анализ с автоматической оптимизацией скорости впрыска помогает выбрать оптимальные условия заполнения литевой формы. В анализе с планированием эксперимента можно определить факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс литья конкретного изделия (анализ чувствительности Тагути), и найти оптимальные условия (факторный анализ) с учетом взаимовлияния параметров процесса.

Условия стадии впрыска, задаваемые для анализа, соответствуют возможностям современных литевых машин: в частности, могут использоваться различные способы задания профиля скорости впрыска, условий переключения на режим управления давлением.

Предусмотрена возможность анализа с автоматическим выбором места впуска, построением «окна переработки», автоматической балансировкой литниковых каналов.

Построение моделей литниковых каналов осуществляется как в автоматическом, так и в ручном режимах. Расчет литниковых каналов может быть выполнен для необогреваемых (холодноканальных), обогреваемых (горячеканальных, в том числе – запирающихся) и комбинированных (холодноканальных и горячеканальных) литниковых систем, горячеканальных систем с последовательным впуском («каскадное» литье) и, кроме того, для систем с «динамическим» управлением давлением расплава непосредственно в горячеканальном сопле (технология Dynamic Feed). При моделировании горячеканальной литниковой системы можно учесть конструкцию электрического нагревателя (в том числе – со встроенным датчиком температуры) и метод управления температурой, соответствующий возможностям применяемого оборудования.

Графические результаты анализа содержат подробную информацию о процессе заполнения литевой формы, включая распределение температуры и давления расплава, напряжения и скорости сдвига, время охлаждения, вязкость, плотность, а также расположение спаев и мест запираания воздуха, зависимости от времени распорного усилия, давления, температуры и др.

Анализ уплотнения

Анализ уплотнения включает моделирование стадий выдержки под давлением и выдержки на охлаждение при литье термопластов. Анализ может проводиться при постоянном давлении выдержки или с использованием ступенчатого профиля, а также профиля с линейным изменением давления выдержки.

В результате моделирования рассчитываются характеристики процесса уплотнения и охлаждения отливки, такие как объемная усадка, температура отливки, прогнозируемые утяжины и т.д. Ряд специальных технологий литья может быть смоделирован. К таким технологиям относятся некоторые варианты двухцветного или двухкомпонентного литья.

Моделирование двухцветного или двухкомпонентного литья может быть использовано в случае, когда второй компонент впрыскивается в форму с закладным элементом из 1-го компонента или при последовательном впрыске 1-го и 2-го компонентов в одном литьевом цикле.

Анализ течения и отверждения реактопластов и резин

В анализе течения и отверждения реактопластов и резин моделируются процессы литья под давлением, литьевого формования (RIM, SRIM, RIM-MBI) и литьевого прессования.

Инженерный анализ предназначен для заполнения и уплотнения при литье термопластичных материалов под давлением, анализа охлаждения литьевой формы, анализа коробления, анализа линейной усадки, анализа ориентации волокнистого наполнителя, анализа разрушения волокнистого наполнителя, анализа с автоматической оптимизацией профилей скорости впрыска и давления выдержки, прогнозирования поведения литьевого изделия при эксплуатации, анализа деформаций знаков и пуансонов, анализа течения и отверждения реактопластов и резин.

Анализ охлаждения литьевой формы

В анализе охлаждения литейной формы моделируется процесс теплопереноса между отливкой и формой с учетом конструкции системы охлаждения, материалов формы и других факторов, влияющих на процесс отвода тепла от отливки.

Для анализа охлаждения применяется модель литейной формы с внешней границей, контурами охлаждения и линиями разъема. Модель охлаждающих контуров может включать соединенные шлангами охлаждающие каналы (в том числе – каналы с фонтанирующей трубкой и перегородкой), изготовленные из различных материалов закладные элементы: вставки изделия (извлекаются вместе с отливкой) и формы (не извлекаются). При анализе может учитываться предварительный нагрев закладных элементов.

Анализ охлаждения литейной формы позволяет учесть влияние неравномерности охлаждения на процесс литья, оптимизировать конструкцию охлаждающих каналов и технологический режим охлаждения формы (расход и температуру хладагента) для обеспечения равномерного охлаждения отливки и сокращения литейного цикла, определить требования к термостату формы.

Моделирование может выполняться для стационарных и нестационарных условий соответственно с использованием методов граничных элементов и конечных элементов. При моделировании в стационарных условиях учитывается среднее в цикле литья распределение температуры формирующей поверхности. Анализ в нестационарных условиях позволяет учесть влияние на процесс литья изменения температуры формирующей поверхности в литейном цикле, а также оценить время выхода на стабильный тепловой режим литейной формы при запуске процесса.

Анализ коробления

Анализ коробления включает анализ устойчивости, анализ линейных и нелинейных деформаций отливки, а также анализ причин коробления. Расчеты могут проводиться с использованием методов остаточных

деформаций или остаточных напряжений.

Анализ линейной усадки

В анализе линейной усадки рассчитываются значения технологической усадки и оценивается возможность использования средних значений усадки для изготовления ФОД с учетом допусков на размеры литьевого изделия. Пользователь может определить распределение усадки по изделию, найти средние значения усадки в направлении осей координат и по всему изделию, а также усадку между узлами отливки.

Прогнозирование поведения литьевого изделия при эксплуатации

Прогнозирование поведения литьевого изделия в условиях эксплуатации производится при статических кратковременных и долговременных (анализ ползучести) нагрузках для изотропного или анизотропного полимерного материала.

Анализ ориентации волокнистого наполнителя

Данный вид анализа применяется для полимерных материалов, содержащих короткое или длинное жесткое волокно (стекловолокно, углеродное волокно и др.). Анализ позволяет спрогнозировать ориентацию частиц наполнителя в полимерной матрице, а также определить механические характеристики полученного композита, такие как продольный и поперечный модули упругости и сдвига. Эти данные применяются для анализа усадки, коробления и прогнозирования поведения литьевого изделия при эксплуатации с учетом анизотропии материала, вызванной ориентацией наполнителя.

Анализ разрушения волокнистого наполнителя

Анализ разрушения длинного волокна в литниковой системе и полости формы при продольном изгибе и под действием напряжений сдвига в процессе течения расплава проводится с использованием статистического подхода.

Анализ кристаллизации

Расчет кристаллизации на стадиях заполнения формы, уплотнения и охлаждения в форме позволяет учесть тепловой эффект кристаллизации в тепловом балансе системы, зависимость скорости кристаллизации от температуры, давления и скорости течения расплава (явление ориентационной кристаллизации). Результаты анализа кристаллизации включают распределения степени кристалличности, степени ориентации кристаллической части, продольного и поперечного модуля упругости, рассчитанного с учетом влияния кристаллизации.

Анализ деформаций знаков и пуансонов

Данный вид анализа предназначен для расчета деформаций знаков и пуансонов под действием неравномерного распределения давления в полости формы на стадиях заполнения и уплотнения.

Анализ двулучепреломления

Расчет двулучепреломления для изделий оптического назначения выполняется с использованием оптического закона напряжений.

Анализ специальных технологий литья

В анализе двухкомпонентного сэндвич-литья моделируется течение расплава при последовательной подаче в литниковую систему и полость формы материалов, а также его уплотнение.

Анализ компрессионного формования (литья с подпрессовкой) позволяет моделировать процессы заполнения формы и уплотнения расплава за счет подпрессовки.

Анализ литья с газом используется для моделирования различных вариантов процесса литья с газом при подаче газа в расплав полимера (Gas-assisted injection molding).

Анализ литья со вспениванием позволяет смоделировать процесс по технологии микровспенивания MuCell (разработка компании Trexel).

Технологии анализа

В продуктах анализ может выполняться с использованием технологий трехмерного моделирования (3D), моделирования на сетке,

построенной на оболочке объемной модели (Dual-Domain), а также по «средней линии» (Midplane).

Подготовка геометрической модели

Интерфейс STL обеспечивает чтение модели литьевого изделия практически из любых систем автоматизированного проектирования.

Модель изделия можно создать с помощью поверхностного моделировщика, Дополнительные возможности по созданию и модификации параметрических моделей изделия предоставляет встроенный.

Генератор сетки позволяет автоматически построить сетку заданного типа (3D,Dual-Domain,Midplane), в том числе – получить сетку по «средней линии» из «твердотельной» модели. Имеются широкие возможности по выявлению дефектов и «лечению» сетки с использованием автоматических или «ручных» алгоритмов.

Модель литьевой формы может импортироваться из Autodesk Inventor Professional.

Параллельные расчеты и расчеты на графических процессорах

Поддерживаются параллельные расчеты и расчеты на графических процессорах двойной точности типа NVIDIA с технологией CUDA и AMDc технологией OpenCL.

Базы данных

Пользователь имеет возможность создавать и редактировать свои базы данных.

База данных по отечественным термопластичным материалам (содержит более 250 марок) поставляется компанией CSoft.

Преимущества инженерного анализа

Широкие функциональные возможности по расчету процесса литья пластмасс и его разновидностей;

Промышленный стандарт (де-факто);

Динамично развивающиеся программные продукты;

Использование новейших научных разработок;

Крупнейшая экспериментальная база данных по полимерным материалам;

1.1.4 Анализ программных продуктов и проектирование проессформ в CAD системах.

1.4.1.1 Анализ программных продуктов

В отличие от CAD/CAM систем, CAE системы, как правило, не имеют мощных геометрических моделеров, а представляют собой только средства для разбиения на конечные элементы (КЭ) и расчетно-аналитическую часть. Большинство систем имеют модули для проведения многокритериальной оптимизации. Как уже говорилось в данной работе, встроенные CAE модули имеют Pro/E, Unigraphics, Catia, I-DEAS, позволяющие в знакомой CAD-среде провести статический, динамический и кинематический анализ.

ADAMS – обеспечивает полное компьютерное моделирование сложных механических систем, включая полный статический, динамический, кинематический анализ механизмов, в том числе в масштабе реального времени. Пакеты имитации и моделирования ADAMS/Android, ADAMS/Driver, ADAMS/Tire и ADAMS/Vehicle используются для изучения взаимодействия антропологической модели человека с любыми механическими системами, реакции водителя, взаимодействия покрышек с дорожным покрытием.

ABAQUS – семейство конечно-элементных программ для многоцелевого инженерного анализа, является универсальным, мощным, надежным программным продуктом для решения в рамках одной конечно-элементной модели самых сложных и ответственных задач: прочность, теплопередача, теплообмен и излучение, диффузионный массоперенос, акустика, контактный анализ, пьезоэлектрика, комбинация всех типов анализа.

ABAQUS – приобрел всемирную известность как лучший инструмент для решения задач с преобладанием всех типов нелинейного поведения. Модели материалов позволяют описывать металлы, чугун, резину, пластмассы, композитные материалы, упругие и хрупкие пены, бетон, песок, глину и т.д.

ANSYS – универсальный, многофункциональный конечно-элементный пакет. Позволяет проводить статический и динамический анализ конструкций с учетом геометрической (в том числе, 2D и 3D контактные задачи абсолютно жестко-деформируемого тела) и физической нелинейности, анализа усталостных характеристик, решение задач линейной и нелинейной устойчивости. Позволяет выполнять электромагнитные, гидроаэродинамические, акустические расчеты. Существует возможность многокритериальной оптимизации. Система ANSYS получила на западе [4] и у нас в стране [5] большое распространение и при проектировании режущего инструмента. Примером может служить (рис. 3.4) анализ напряжений в теле концевой цилиндрической фрезы.

DESIGN SPACE – позволяет в процессе проектирования предсказать поведение изделия и провести оценку прочности, тепловой анализ. Не требует глубокого знания МКЭ. С ANSYS объединяется при помощи совместных шаблонов. LS-DYNA – многоцелевой конечно-элементный комплекс предназначен для анализа высоконелинейных и быстротекущих процессов в задачах механики твердого и жидкого тела, таких как: процессы обработки металлов давлением (прокат, экструзия, штамповка, резка, сверхпластическое формование и т.п.), ударно-контактные взаимодействия с разрушением (аварии транспортных средств с оценкой безопасности пассажира – удар автомобиля о преграду, взаимодействие пассажира с ремнем безопасности и воздушной подушкой, и т.д.), сейсмические воздействия, взрывные воздействия на конструкцию, взаимодействия жидкости с элементами конструкции, падение, пробивание.

DYNAFORM – специализированные программы для моделирования процессов глубокой листовой штамповки-вытяжки, а также проката листового, профильного, гидроформования.

MOLD FLOW – анализ литья пластмасс, выдержки под давлением и выдержки на охлаждение, течения, охлаждения, деформаций и напряжений, подбор материала, оптимизация формы и системы впрыска, поиск

оптимального технологического режима усадки и исполнительных размеров формообразующих деталей (ФОД), анализ ориентации волокна.

PLASTIC ADVISER – система для проведения предварительного анализа литья пластмасс и определения режимов литья.

SIMTEC, MAGMA – анализ литья металлов моделирование процесса заливки и затвердения металла, микроструктура, пористость.

Moldex 3D - анализ литья пластмасс, выдержки под давлением, течение материала, система охлаждения

1.1.4.2 Проектирование прессформ в CAD системах.

Особенности проектирования прессформ.

Конструирование оснастки для получения детали сложной пространственной формы из термопласта, в отличие от процесса проектирования штампов листовой штамповки, протекает значительно сложнее. Во-первых, при производстве изделия (детали) используется один способ ее изготовления на термопласт автоматах (т.е. применяется одна пресс-форма, а не несколько штампов для получения сложных деталей в листовой штамповке), но деталь сложной пространственной формы может быть одновременно и простой, и сложной в изготовлении. Например, наружная поверхность изделия имеет простую форму, например, цилиндра, а внутренняя поверхность может быть представлена полостями различных форм. В этом случае в пресс-форме (ПФ) требуются вставки в обоймы полуматриц (матрицы), имеющие рабочие поверхности сложной формы, а сама пресс-форма конструктивно становится более сложной, так как в ней появляются дополнительные разъемы в различных плоскостях. Во-вторых, проектирование ПФ в двухмерном представлении будет успешным, если конструктор выберет оптимальное сечение заданной детали (изделия). Однако на практике конструкторы зачастую вынуждены выбирать несколько сечений для более полного представления всех особенностей детали сложной

пространственной формы, особенно когда объект проектирования имеет сложные поверхности. Поэтому задача опытного конструктора заключается в умении выбрать оптимальное количество сечений, т.е. минимизировать количество дополнительных сечений. В-третьих, исходя из второго замечания, проектирование прессформы сводится прежде всего к грамотному конструированию рабочей зоны, а именно выбору нужного сечения (или нужных сечений) изделия, расчету и подбору схемы расположения гнезд, их количества, конструированию литниковой системы, системы охлаждения (термостатирования) и системы выталкивания полуфабрикатов из гнезд. Решения конструкторских задач зависят от многих факторов: например, от материала изделия, его сложности по форме, от применяемого оборудования и многого другого. Поэтому существует несколько вариантов решения этих проблем, и задача конструктора состоит в выборе оптимального варианта, с точки зрения технологических возможностей процесса производства изделия на данном предприятии. Основные задачи САПР прессформ Исходя из вышеизложенного, САПР (Системы Автоматизированного Проектирования) ПФ должна иметь возможность реализовывать две задачи проектирования: первая: создание оптимальных условий конструктору для проектирования рабочей зоны ПФ (математическое моделирование рабочей зоны с ее визуальным контролем и корректировкой в диалоговом режиме) и определение типа и общих габаритов блока и пакета прессформы в автоматизированном режиме; вторая: минимум ручного проектирования блока и пакета ПФ, т.е. автоматизация данной части проектирования в зависимости от результатов конструирования рабочей зоны и расчета общих размеров ПФ. Моделирование рабочей зоны Процесс проектирования рабочей зоны разбивается на два этапа, включающих в себя ручное проектирование необходимых сечений изделия с учетом рассчитанных на компьютере исполнительных размеров формообразующих деталей и их элементов, т.е. фактически сечений гнезд получаемого полуфабриката изделия, в виде фрагментов, и автоматизированное проектирование рабочей

зоны, с учетом данных по сечениям с привязкой их фрагментов, и расчет общих размеров прессформы. Первый этап – это получение (или анализ существующего) чертежа детали и необходимых данных для дальнейшего проектирования ПФ (материал и его свойства, общие габариты изделия и т.д.), расчет размеров формообразующих деталей, автоматическое создание чертежа полуфабриката изделия по выполненному чертежу детали или по импортированной трехмерной модели детали, ручное проектирование на компьютере сечений изделия, оформление и объявление сечений в качестве фрагментов для сборочных чертежей прессформы и чертежей всех ее деталей. Второй этап предполагает (на основании данных детали и ее формообразующих размеров) расчет и выбор числа гнезд, оптимального варианта схемы литниковой системы и ее расположения на зеркале ПФ, системы термостатирования, расчет габаритов рабочей зоны прессформы в плане, расчет общих габаритов ПФ (габариты пакета прессформы и плит крепления в плане, толщин всех плит и обойм, общая высота прессформы), расчеты и выбор систем (литниковой и термостатирования), выбор оборудования и контроль всех параметров на протяжении проектирования рабочей зоны и прессформы в целом. Кроме того, на втором этапе в процессе проведения расчетов (или после выбора схемы) также осуществляется визуальный контроль за формированием рабочей зоны в виде наложения отдельных фрагментов друг на друга. Например, после расчета и выбора схемы расположения гнезд на экране выдается изображение эскиза рабочей зоны с фрагментами схемы расположения гнезд и самого гнезда (общие габариты изделия) в плане и отдельные элементы в виде следующих фрагментов: гнезда в плане; литниковой системы в плане; рабочей зоны в плане. Выбор типов систем (литниковой, термостатирования) осуществляется на основании просмотра перечня слайдов изображений схем (т.е. вариантов) и подтверждением оптимальной выбранной схемы. Диалоговый режим при моделировании рабочей зоны есть возможность “на ходу” производить корректировку ранее рассчитанных значений.

Автоматизированное проектирование прессформ для литья термопластов под давлением на термопласт автоматах. Выбранное оборудование не прошло очередной проверочный контроль, следовательно, необходимо повторить предыдущие расчеты с момента выбора оборудования, изменив значения некоторых необходимых данных. Или после выбора схемы несколько раз повторить один и тот же расчет с введением других данных до получения удовлетворительных результатов. Проектирование пакета прессформы и плит крепления. Для ускорения процесса проектирования блока и пакета ПФ на большинстве заводов конструкторы используют принципы типизации и унификации, т.е. практически для каждой детали прессформы составляется математический аппарат с входными и выходными данными, таблицами (в случае вариантов) и расчетами. Все единое математическое обеспечение опирается на результаты моделирования рабочей зоны и общие параметры прессформы. Задается строгая последовательность проектирования прессформы по заранее определенному опытным конструктором (или по литературным источникам) алгоритму проектирования. Реализация процесса проектирования прессформы на базе САПР ИМ (Системы Автоматизированного Проектирования Изделий Машиностроения) Весь расчет построен по блочно-модульному принципу построения, т.е. разбивается на логически законченные блоки или модули (набор блоков), между которыми определяются связи. Каждый такой элемент построен на основе производственных отношений с таблицами фиксированных значений (с целью сохранения ранее разработанных проектов по проектированию технологической оснастки, в том числе и литьевых прессформ) или в виде системы алгоритмов (что предпочтительнее), представляющих собой визуальное программирование. Причем возможно использование этих методов без участия программистов, лишь силами конструкторов. Полученные результаты проектирования затем интерпретируются. Таким образом исключается передаточное звено (в лице системных программистов) между специалистами и системой, что позволяет конструкторам оперативно

и с меньшими ошибками вносить и сохранять свои наработки. Весь алгоритм расчета образует расчетное дерево, отражающее особенности конструкции прессформы. Для удобства работы в системе имеются три модификации, отличающиеся друг от друга функциональностью. Первый уровень доступа предназначен для пользователей приложений, разработанных, т.е. на этом уровне пользователю доступно проектирование по шаблону (аналогу). Он на этом уровне доступа может изменять чертежи и пополнять базы данных (например, по материалам и др.). На втором уровне специалисту конструктору предоставлена возможность модифицировать заложенные в системе САПР ИМ расчеты по любому другому варианту. Например, изменение табличных и аналитических зависимостей, двунаправленных связей между расчетами и чертежами, а также корректировка рассматриваемых в системе методик проектирования ПФ. Третий уровень доступа позволяет специалисту разрабатывать свои модули проектирования и применять их для проектирования прессформ, причем имеется возможность защиты своих алгоритмов от несанкционированного доступа со стороны других пользователей. Но не все элементы прессформ могут быть рассчитаны, поэтому, например, для реализации процесса моделирования рабочей зоны подключаются внешние программные модули, обеспечивающие те алгоритмы, которые не могут быть решены методами производственных отношений или алгоритмов (например, метод конечноэлементного анализа).

Для решения таких задач САЕ система должна иметь набор внешних API функций, при помощи которых системный программист может подключать к нему любые другие внешние программные модули. Процесс сборки на компьютере Все чертежи деталей прессформы выполняются в предлагаемой версии при помощи системы параметрического проектирования и черчения Catia.

У Catia есть возможности, позволяющие создавать сборочные чертежи на основе разрезов деталей, объявляемых в качестве фрагментов (рис. 1.1).

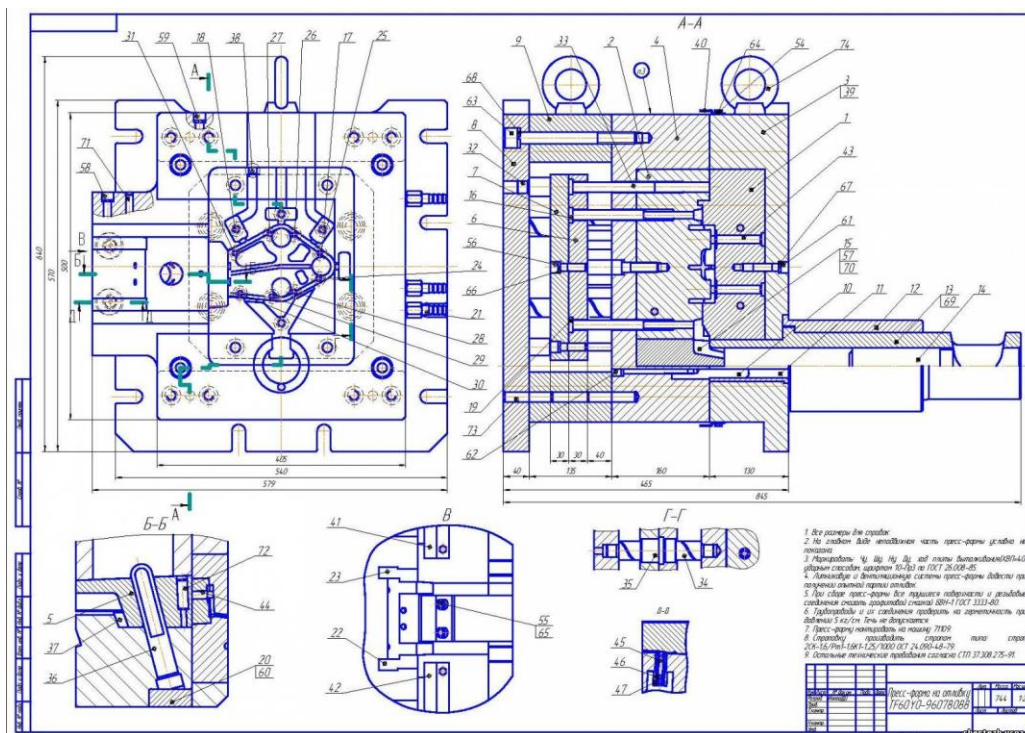


Рис.1.1 Чертеж пресс-формы

Сборка пресс-формы производится практически так же, как и сборка штампа листовой штамповки. Однако есть следующие нюансы: сборка делится на ряд сборок узлов или Рис 2. Пример трехмерной сборки прессформы Рис 1. Пример сборочного двухмерного чертежа спроектированной пресс-формы под узлов, состоящих из нескольких фрагментов, например, сборка рабочей зоны; в отличие от штамповой оснастки, виды главных сборок прессформы оформляются отдельно, и общий чертеж главных видов сборок создается по усмотрению конструктора (пользователя); главные виды сборок создаются последовательно не только из фрагментов деталей, но и из сборок отдельных узлов (под узлов); может понадобиться вмешательство конструктора (пользователя) в процесс оформления сборок при необходимости изменить расположение (и/или ориентации) того или иного фрагмента, не влияющего в целом на сборку прессформы; например, расположение каналов системы охлаждения на виде “План” в сборке рабочей зоны; в отличие от сборки ЛШ в сборке ПФ больше нефиксированных точек привязки фрагментов, что позволяет выполнять

сборочные операции с большей точностью (конструктор, как правило, сам принимает те или иные решения по фиксации точек привязки фрагментов); некоторые фрагменты требуют ручной установки в сборочный чертеж, например, вставки формообразующих деталей (ФОД). Catia также обеспечивает создание трехмерных параметрических моделей отдельных деталей и сборочных моделей на их основе (рис. 1.2).

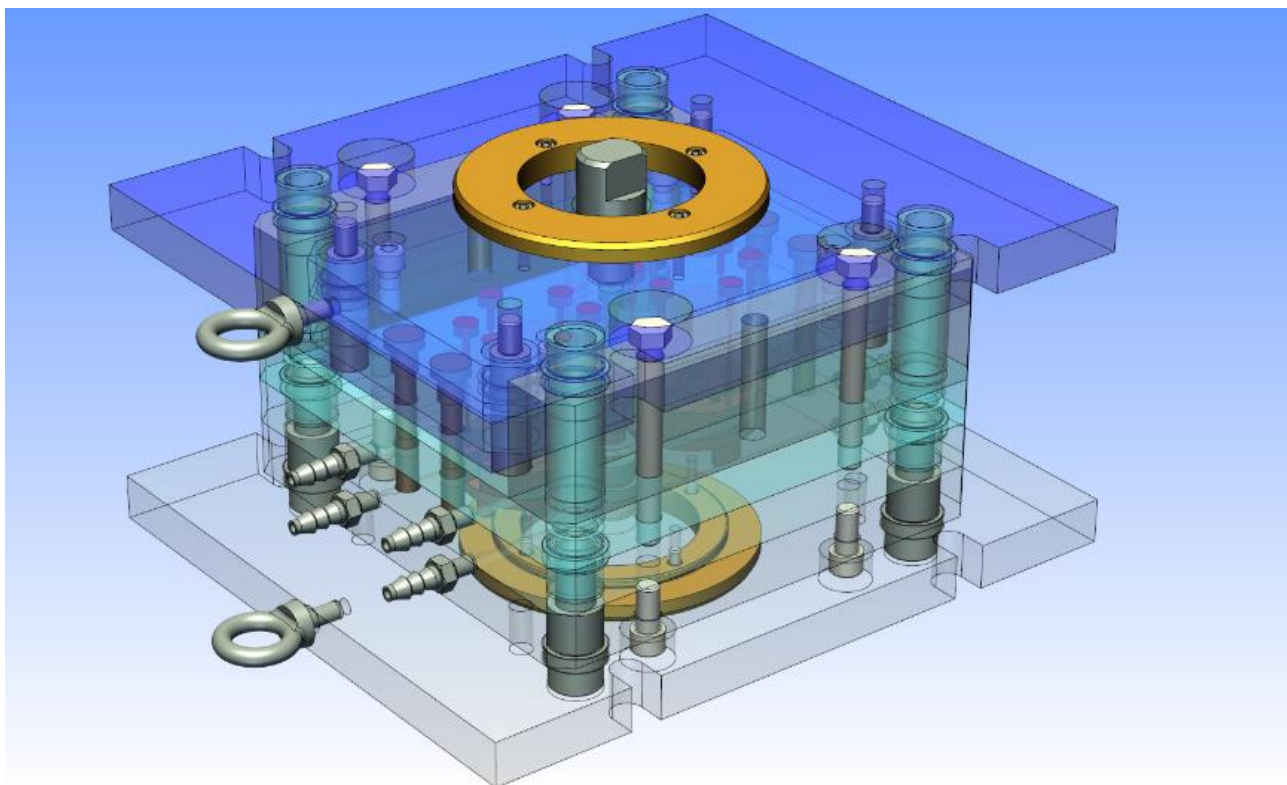


Рис.1.2. Трехмерная модель

Причем можно быстро получать двухмерные чертежи с этих моделей, а также любые сечения с них. К тому же применение 3D позволяет визуально проконтролировать сложные места конструкции и посчитать инерционные характеристики ее массы. Результатом работы является получение необходимого набора конструкторской документации, оформленной в соответствии с ЕСКД. Дальнейшее развитие САПР прессформ Данную САПР ПФ можно развивать в следующих направлениях: разработка автоматизированной генерации в

рамках графического моделирования (программного обеспечения проектирования и вычерчивания) необходимых сечений (разрезов) изделия для последующей автоматической привязки их в качестве фрагментов в сборочных чертежах; расширение возможностей автоматизированного проектирования прессформ со вставками (т.е. проектирование переналаживаемых прессформ и унифицированных блоков); дальнейшие типизация и унифицирование прессформ и их отдельных блоков, а также расширение банка унифицированных и типизированных деталей ПФ; разработка САПР прессформ для прессования изделий; трехмерное моделирование: а) для проектирования рабочей зоны и передачи графической информации в системы проектирования программ ЧПУ. б) для визуального контроля “собираемости” прессформы, а также правильного “построения” чертежей в рамках используемого программного графического инструмента.

Вывод.

Процесс проектирования прессформ для литья термопластов под давлением на термопласт автоматах, реализованный в САПР, осуществляется со значительной экономией времени, способствует уменьшению объективных и субъективных ошибок и позволяет получать качественную конструкторскую документацию на литьевые прессформы. Данная система является полностью открытой, что позволяет опытному конструктору по пресс-формам вносить в систему свои наработки и методики для автоматизации процесса проектирования.

Задачами магистерской диссертации являются:

1. Разработка методы построения сложных поверхностей изделий из пластмасс в САД системах с учетом технологичности изделия.

2. Разработка методик ускоренного моделирования процессов литья под давлением на стадии раннего проектирования

2.1 Методы построения сложных поверхностей изделий из пластмасс

На рис. 1.1 приведены методы построения поверхностей. Здесь отражены лишь наиболее распространенные способы. В авиастроении широко используются различные поверхности сопряжения. Кроме того, можно построить поверхности с характерными особенностями фичерные поверхности (*feature surface*). Способы их построения могут быть различными и зависят от спецификации области применения. Рисунок 3 отражает процесс построения поверхностей при чтении его слева направо. Изначально поверхности могут быть построены или по местной системе координат или скалярным параметрам, или по характерным точкам, или на основе линий. Далее эти поверхности могут быть продлены или усечены, на их основе могут быть получены эквидистантные поверхности. Все упомянутые поверхности имеют прямоугольную или треугольную область определения параметров. На базе поверхностей с прямоугольной или треугольной областью определения параметров можно построить ограниченные контурами поверхности произвольной формы. Все поверхности являются равноправными по отношению и выполняемым ими функциям и выполняемыми над ними операциям. Кроме общих функций произвольного геометрического объекта поверхности должны выполнять функции вычисления радиус-вектора поверхности, частных производных радиус-вектора по параметрам, нормали поверхности и ее частных производных,



Рис. 2.1 Способы построения поверхностей

Коэффициентов первой и второй квадратичных форм поверхности, функции предоставления информации об области определения параметров поверхности (замкнутости, граничных контурах), функции определения принадлежности заданных параметров области определения поверхности, функции изменения положения и ориентации в пространстве, функции модификации формы поверхности.

Математическая модель поверхности должна быть дополнена функциями, обеспечивающими взаимодействие поверхности с другими геометрическими объектами и выполнение над ними различных операций.

2.2 Разработка электронных моделей изделий автомобиля

Современный автомобиль представляет собой сложный технический объект, состоящий из сотен узлов, десятков систем и нескольких десятков тысяч деталей, размещенных в очень ограниченном пространстве, движущихся и взаимодействующих между собой.

При этом он должен удовлетворять определенным, часто противоречивым критериям – быть безопасным и экономичным, обладать минимальной массой, обеспечивать высокую среднюю скорость движения, обладать большой грузоподъемностью и (или) вместимостью. Очевидно, что процесс создания (проектирования) такого автомобиля характеризуется большой трудоемкостью и наукоемкостью и невозможен без широкого использования систем автоматизированного проектирования (САПР), основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов. Одним из наиболее важных этапов проектирования автомобиля является этап конструирования. Значимость его не только в том, что на этом этапе формируется концептуальный облик будущего изделия, но и в том, что именно на этапе конструирования создаются математически точные геометрические модели как отдельных деталей, так и всего автомобиля, которые будут играть определяющую роль на всех последующих этапах его жизненного цикла. В настоящее время при проектировании таких сложных изделий как автомобили и их агрегаты в подавляющем большинстве случаев используется объемное геометрическое моделирование, в результате которого формируется геометрическая трехмерная модель объекта проектирования. В предлагаемом учебном пособии рассматриваются основные методы и приемы работы с трехмерными геометрическими моделями на примере известного программного пакета SolidWorks, выпускаемого компанией Dassault Systems.

2.2.1 Трехмерное геометрическое моделирование

В соответствии с ГОСТ 22487-77, **проектирование технического объекта** – это процесс составления описания, необходимого для создания еще несуществующего объекта, который осуществляется преобразованием первичного описания (технического задания), оптимизацией характеристик объекта и алгоритма его функционирования, устранением некорректности первичного описания и последовательным представлением описаний детализируемого объекта для различных этапов проектирования. При работе с двухмерными графическими пакетами (типа КОМПАС или AutoCAD) промежуточные и окончательное описания объекта проектирования строятся на основе его проекций на координатные плоскости. Ограниченность такого подхода вынуждала широко применять физическое макетирование при проектировании сложных изделий, которое позволяло разработчикам оперировать физическими моделями в трехмерном пространстве.

Системы трехмерного геометрического моделирования были созданы для того, чтобы преодолеть проблемы, связанные с использованием физических моделей в процессе проектирования. Эти системы создают среду, подобную той, в которой создаются и изменяются физические модели. Другими словами, в системе геометрического моделирования разработчик изменяет форму модели, добавляет и удаляет ее части, детализируя форму визуальной модели. Визуальная модель может выглядеть точно так же, как физическая, но она нематериальна. Однако трехмерная визуальная модель хранится в компьютере вместе со своим математическим описанием, благодаря чему устраняется главный недостаток физической модели – необходимость выполнения измерений для последующего прототипирования или серийного производства. При использовании пакетов трехмерного моделирования для обозначения геометрических объектов применяются специальные термины.

Твердое тело (рис. 2.2) образуется в пространстве одной или несколькими

поверхностями, образующими замкнутый объем. Оно включает в себя грани, ребра (или кромки) и вершины. **Грань** – часть граничной поверхности, образующей тело, граница которой состоит из криволинейных сегментов, при пересечении которых происходит существенное изменение вектора нормали к поверхности, т.е. нарушается непрерывность изменения кривизны поверхности (рис. 1.3). Криволинейные сегменты, ограничивающие грань, называются **ребрами**. Точки, в которых встречаются соседние ребра, называются **вершинами**.

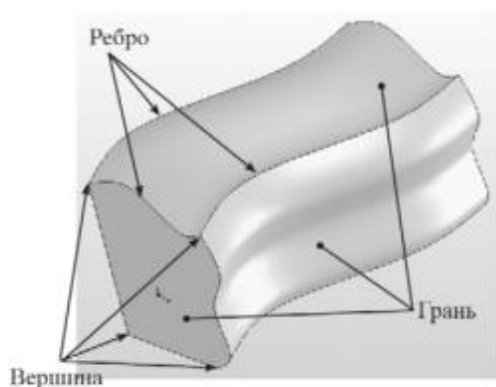


Рис.2.2 Твердое тело

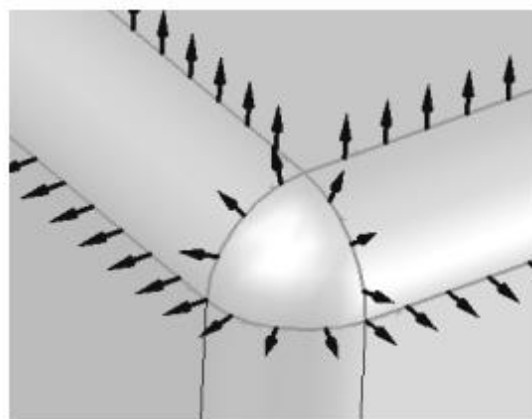


Рис.2.3 Грани, ребра и нормали

2.2.2 Методы получения твердотельных моделей

Системы геометрического моделирования делятся на каркасные, поверхностные, твердотельные. В настоящее время наибольшее распространение получили системы твердотельного моделирования, позволяющие оперировать в трехмерном пространстве твердыми телами (solid). Следует отметить, что большинство систем твердотельного моделирования позволяют работать и с поверхностными (surface) моделями, которые могут быть эффективно использованы на этапах концептуального проектирования или выступать инструментом при построении твердотельных моделей.

2.2.3 Функции моделирования.

При создании трехмерной модели твердого тела конструктор может использовать различные инструменты (функции), входящие в арсенал того или иного программного пакета. Количество подобных инструментов может достигать от нескольких десятков (для простых систем) до нескольких сотен (для сложных систем). Однако все это множество функций может быть разбито на несколько основных групп.

К первой группе относятся функции создания объемных тел путем перемещения плоской фигуры. Функция *заметания* (sweeping) позволяет создавать объемное тело перемещением или вращением фигуры, заданной на плоскости (рис. 2.1 , а, б). Кроме того, может быть задана произвольная траектория движения фигуры (рис. 2.1 , в).

Создавая замкнутую плоскую фигуру, так называемый *производящий эскиз*, пользователь может указывать геометрические ограничения или вводить данные о размерах. Здесь под геометрическими ограничениями понимаются соотношения между элементами фигуры (перпендикулярность отрезков, касание дуги окружности отрезком и т. д.). В этом случае система построит точную форму, удовлетворяющую ограничениям, самостоятельно. Изменение геометрических ограничений или размеров даст другую плоскую фигуру и другое, следовательно, объемное тело. Такой подход называется *параметрическим моделированием*, поскольку изменение параметров позволяет получить разные тела. Параметрами могут быть постоянные, входящие в геометрические ограничения, а также размеры. К функциям данной группы также относится функция *скиннинга* (skinning),

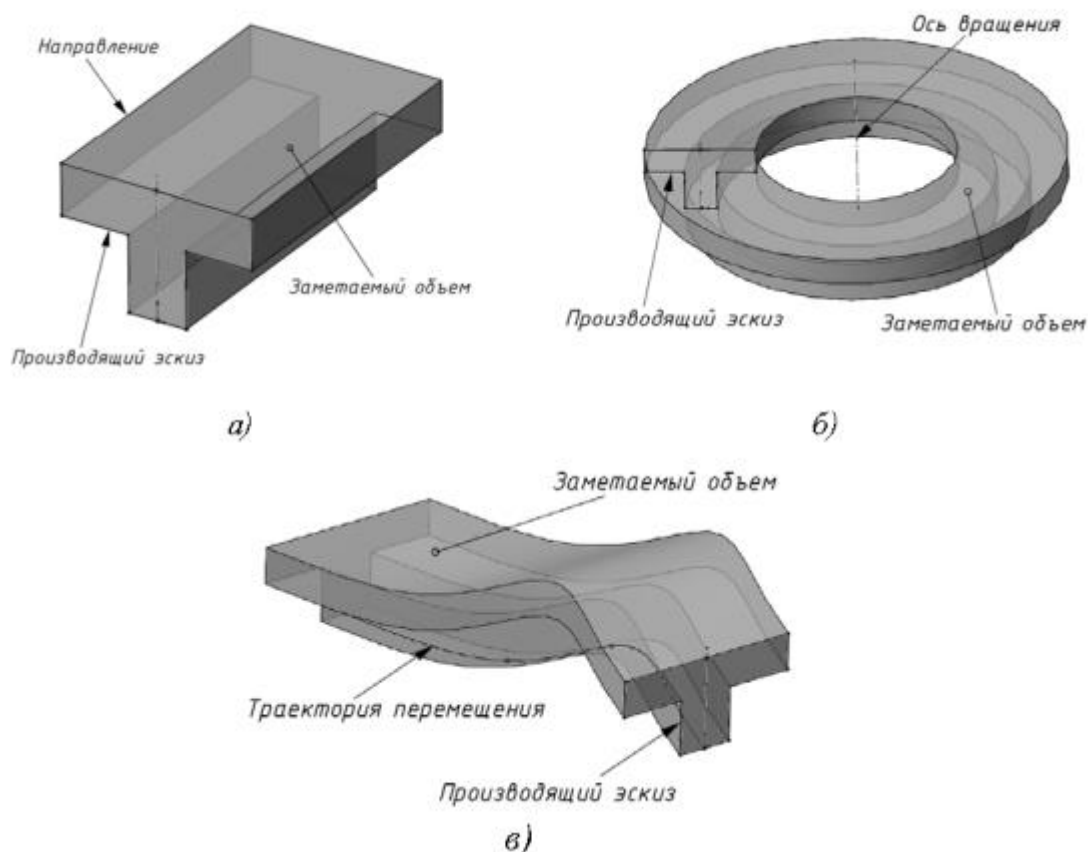


Рис. 2.3. Функция заметания: а – перемещение производящего эскиза по прямой; б – вращение производящего эскиза; в – перемещение производящего эскиза по траектории

которая позволяет создавать объемное тело, натягивая поверхность на заданные плоские поперечные сечения тела (рис. 2.2). Функция заметания: а – перемещение производящего эскиза по прямой; б – вращение производящего эскиза; в – перемещение производящего эскиза по траектории. Функции моделирования первой группы позволяют проектировщику начать моделирование с формы, весьма близкой к конечному результату, поскольку одних поперечных сечений вполне достаточно для точного описания конечного твердого тела.

Именно с использования функций этой группы обычно и начинается процесс построения модели какой-либо детали. Отметим, что функции заметания и скиннинга могут быть не только аддитивными, то есть добавлять

получаемый объем к модели, но и быть субтрактивными – получаемый в результате выполнения функции объем вычитается из уже существующего твердого тела (рис. 2.3).

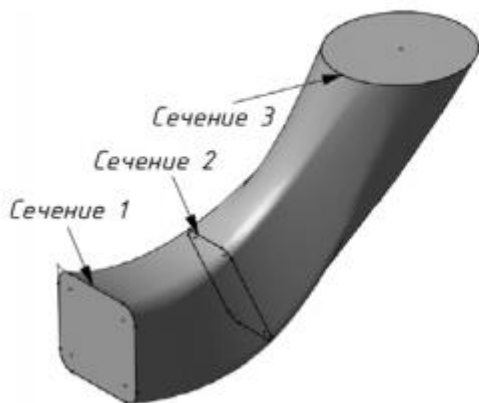


Рис. 2.4 Функция скининга

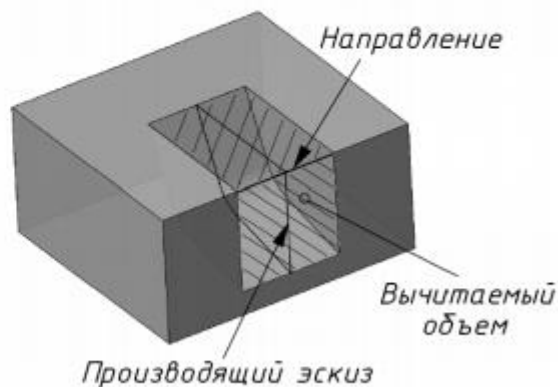


Рис. 2.5. Функция заметания с

Ко второй группе относятся функции моделирования, позволяющие оперировать с уже существующими геометрическими объектами – гранями, ребрами, вершинами. Примером таких функций могут служить функции создания скругления граней, придания граням уклона или кривизны и т.д.

К третьей группе можно отнести оставшиеся многочисленные функции, в том числе и реализующие принципы объектно-ориентированного моделирования (например, создание отверстий различного типа).

2.2.4 Параметрическое моделирование

Параметрическое моделирование (parametric modelling) заключается в том, что конструктор определяет форму заданием геометрических взаимосвязей и некоторых размерных параметров. Геометрические взаимосвязи описывают отношения геометрических элементов. Примерами взаимосвязей являются: параллельность двух граней, компланарность двух ребер, касательность криволинейного ребра к соседнему прямому и т. д. К размерным данным

относятся не только заданные размеры формы, но и соотношения между размерами. Соотношения записываются конструктором в виде математических уравнений. Таким образом, параметрическое моделирование заключается в построении формы путем решения уравнений, выражающих геометрические взаимосвязи, и уравнений, описывающих заданные размеры и соотношения между ними.

При параметрическом моделировании построение формы обычно осуществляется в приведенной ниже последовательности.

1. Строится грубый набросок плоской фигуры.
2. В интерактивном режиме вводятся геометрические взаимосвязи и данные о размерах.
3. Строится плоская фигура, отвечающая ограничениям и требованиям к размерам.
4. Шаги 2 и 3 повторяются с изменением ограничений или размеров до тех пор, пока не будет получена нужная модель (рис. 2.6)

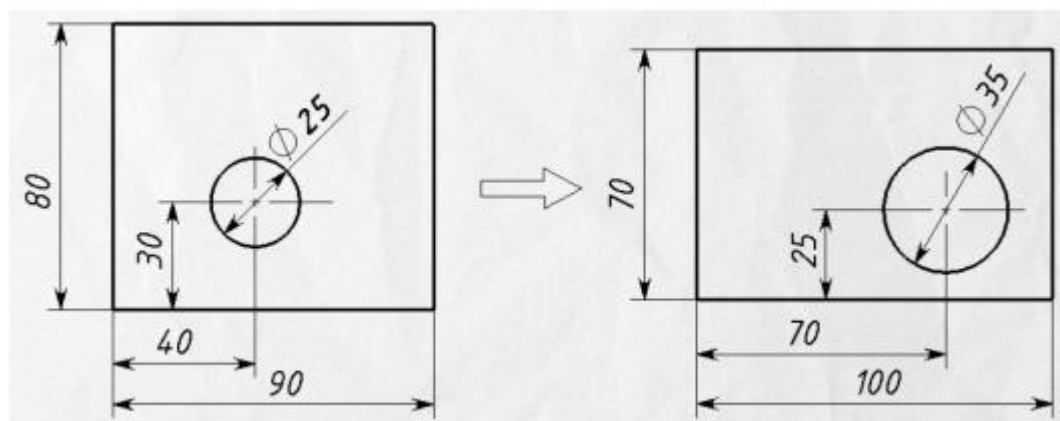


Рис. 2.6 . Изменение формы через ограничения

5. Объемное тело создается заметанием или вращением плоской фигуры. Толщина и угол поворота также могут стать размерными параметрами, что позволит при необходимости легко изменить созданную трехмерную форму. Отметим, что форма в параметрическом моделировании изменяется не непосредственно, а через использование геометрических взаимосвязей и

размеров. Поэтому конструктор может разработать множество альтернативных проектов, не заботясь о деталях, но сосредоточившись на функциональных аспектах.

2.3 Расчет параметров литой детали и моделирование

Для моделирования процесса литья под давлением термопластичных материалов необходимо определить технологические условия расчета, которые, хотя и являются аналогами технологических параметров, задаваемых в системе управления литейной машины и вспомогательного оборудования, имеют существенные отличия от них в ряде случаев. Корректное задание технологических условий и учет различий параметров, указываемых при расчете и в реальном процессе литья, имеют большое значение для правильной интерпретации полученных в результате моделирования данных при прогнозировании дефектов или анализе причин брака, а также при воспроизведении рассчитанного технологического режима в литейном производстве. Ниже рассмотрены основные технологические параметры, задаваемые при 3D-расчете литья термопластов под давлением в продуктах Moldex3DR13 компании CoreTechSystem[1]

Мастер технологического режима

Технологические параметры литейного процесса задаются в Moldex3D с помощью Мастера технологического режима с использованием нескольких методов, (рис. 2.7). Так называемый «метод CAE» применяют в том случае, когда требуемые характеристики литейной машины определяются в ходе расчетов. В методах «для литейной машины» (по времени или по профилю скорости впрыска) предполагается, что известна модель термопластавтомата, Она может быть выбрана из базы данных Moldex3D, или ее характеристики могут быть указаны перед проведением расчетов.

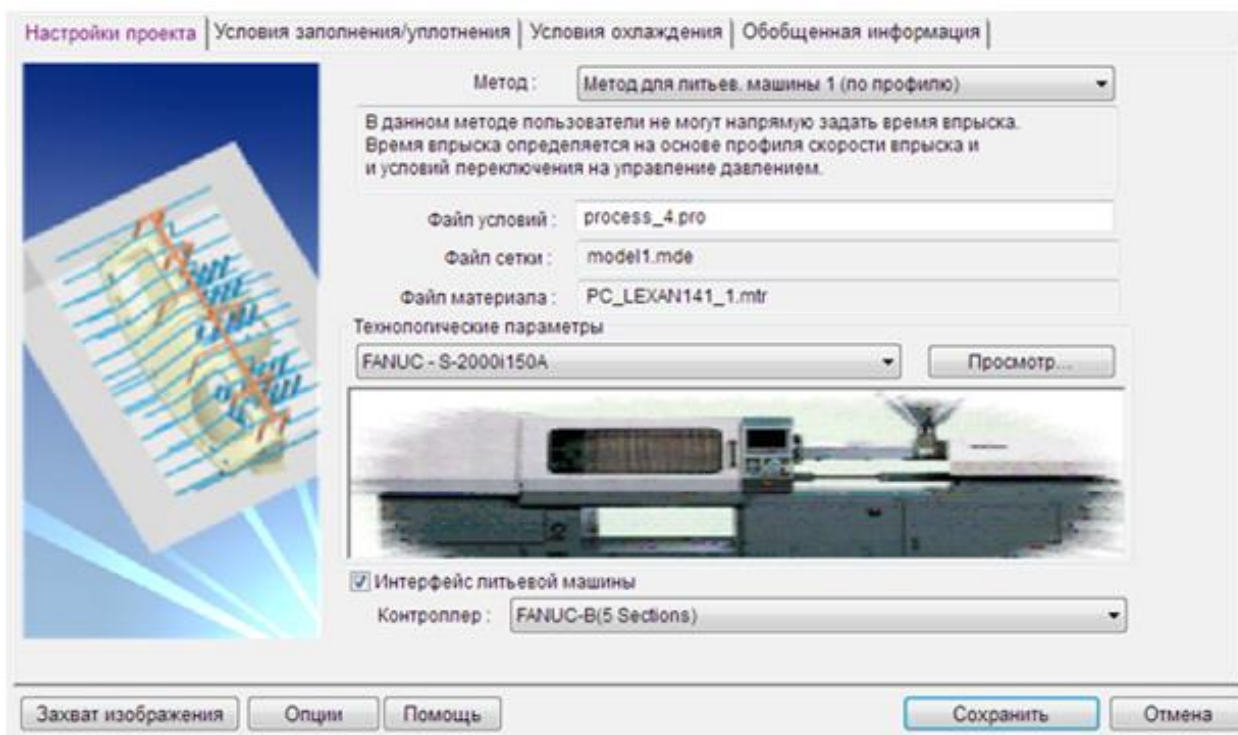


Рис. 2.7. Мастер технологического режима Moldex3D

Для некоторых литьевых машин технологический процесс в Moldex3D может быть определен в том виде, в каком он задается в контроллере термопластавтомата. В этом случае в Мастере технологического режима воспроизводится интерфейс контроллера (рис. 2.8).

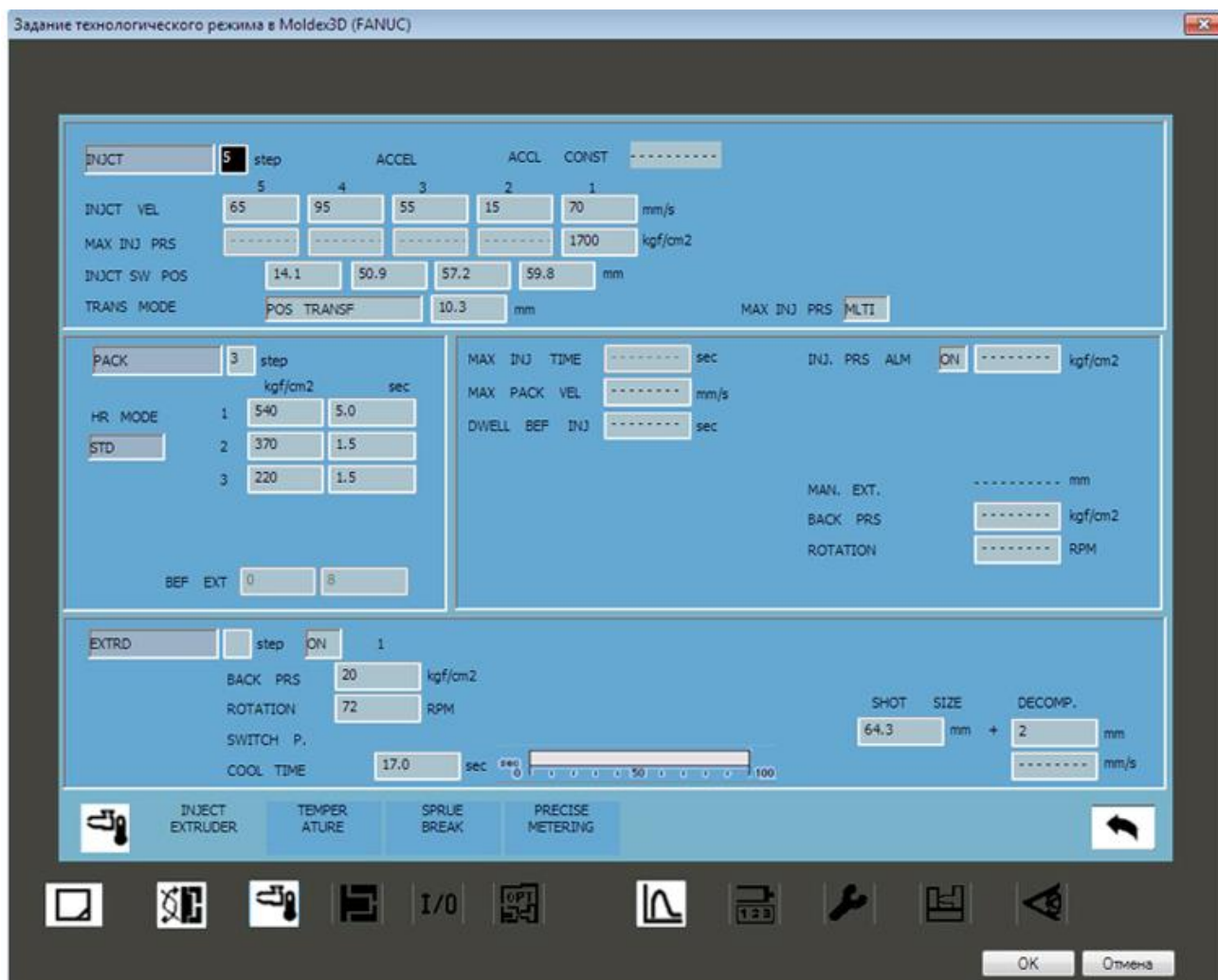


Рис. 2.8. Интерфейс контроллера литьевой машины Fanuc-S2000i в мастере технологического режима MolDEX3D

Технологические параметры стадии впрыска

Объемная скорость впрыска (ей соответствует линейная скорость поступательного движения шнека) относится к важнейшим технологическим параметрам процесса литья термопластов под давлением. Скорость впрыска влияет на уровень диссипативного тепловыделения в полимерном расплаве при сдвиговом течении в каналах литниковой системы и оформляющей полости и определяет температуру фронта расплава для заданной конструкции изделий малой или средней толщины. При уменьшении толщины стенки скорость впрыска должна быть увеличена, так как это позволяет компенсировать (за счет увеличения диссипации тепла в расплаве) повышенные потери тепла в процессе течения расплава. При большой

толщине оформляющей полости скорость охлаждения внутренних слоев крайне мала, а диссипативное тепловыделение при сдвиговом течении расплава незначительно, поэтому для толстостенных изделий скорость впрыска не оказывает существенного влияния на температуру фронта расплава.

От скорости впрыска зависят внешний вид, слоевая структура отливки, термические и ориентационные остаточные напряжения, усадка, механические свойства и другие характеристики качества литьевого изделия [2]. Слишком высокая или низкая скорость впрыска может вызвать различные виды неустойчивого заполнения [3] и прочие проблемы.

В Мастере технологического режима скорость впрыска задается так же, как и в реальных литевых машинах: в виде профиля со ступенчатым (рис. 2.9) или линейным изменением скорости впрыска. В последнем случае для построения профиля используется так называемая полилиния. В Moldex3D автоматически учитывается сжатие расплава в материальном цилиндре при впрыске под действием давления.

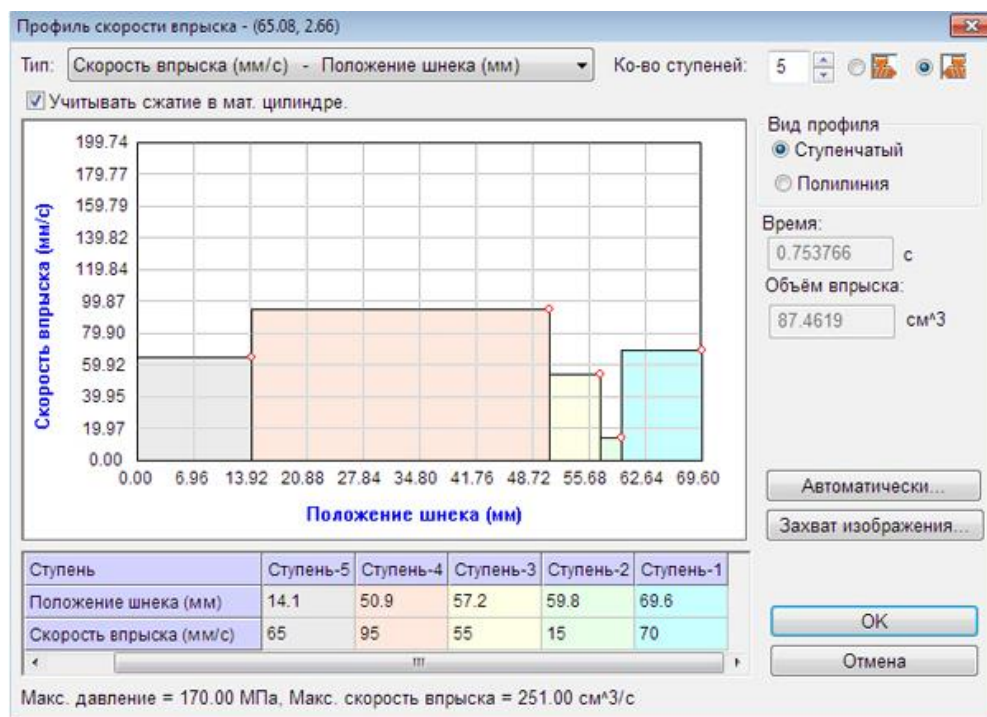


Рис. 2.9. Задание ступенчатого профиля скорости впрыска

Давление впрыска, определяющее предельное давление на стадии впрыска, задается в виде профиля как в реальном процессе литья, так и в условиях моделирования. В реальном производстве давление впрыска применяется для предотвращения так называемого пикового давления, опасность возникновения которого высока во время настройки литьевого процесса, а также в процессе производства при высокой нестабильности реологических характеристик полимерного сырья. При выполнении расчетов для большей части задач давление впрыска можно задать равным 100% от допустимого максимального давления при впрыске, которое оценивается, исходя из максимального давления литьевой машины с учетом ее износа, а также особенностей модели отливки (например, с литниковой системой или без литниковой системы).

Поскольку на стадии впрыска в условиях нормального процесса (в отсутствие неустойчивого течения и запираания воздуха в оформляющей полости) давление расплава на фронте потока равно атмосферному давлению, максимальное давление при впрыске равно потерям давления по длине потока. Зависимость максимального давления при впрыске от скорости впрыска (в широком диапазоне скоростей впрыска) имеет вид функции с минимумом (рис. 2.10): снижение давления на первом участке определяется уменьшением толщины застывшего пристенного слоя (из-за повышения диссипации при течении расплава), тогда как повышение давления на втором участке связывают, главным образом, с увеличением напряжений сдвига из-за высоких скоростей сдвига [4].

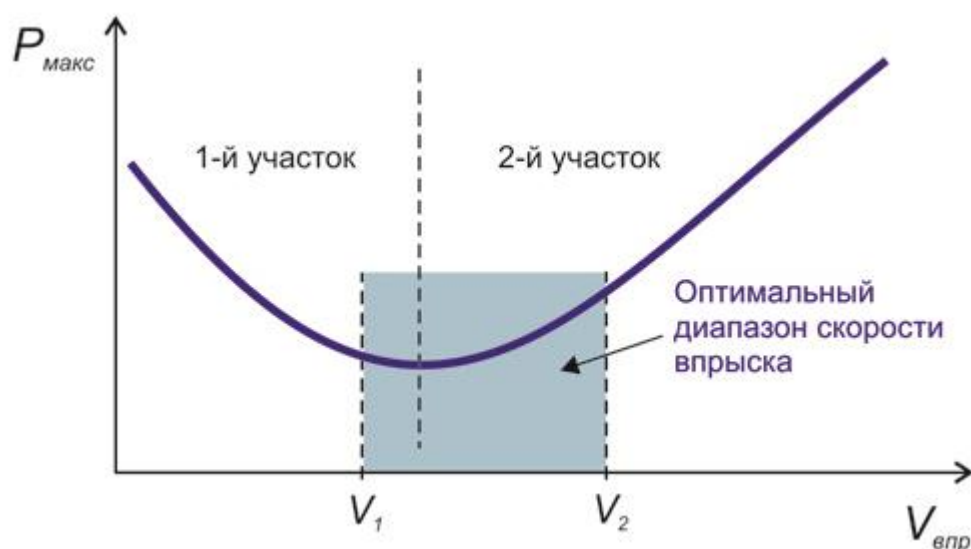


Рис. 2.10. Зависимость максимального давления расплава при впрыске ($P_{\text{макс}}$) от объемной скорости впрыска ($V_{\text{впр}}$) с участками снижения давления (1-й участок) и повышения давления (2-й участок) при повышении скорости впрыска и оптимальный диапазон скорости впрыска (от V_1 до V_2)

Температура расплава при расчете задается постоянной величиной для входа в оформляющую полость, впускной литниковый канал, литниковую систему или в начале дозы расплава (в предсопловой области материального цилиндра литьевой машины) в зависимости от того, какие из этих участков представлены в модели отливки. По умолчанию она соответствует температуре расплава, рекомендуемой изготовителем термопластичного материала, и обычно равна среднему значению его температурного диапазона.

Диапазон температур переработки марки термопласта приводится в базе данных Moldex3D в соответствии с рекомендациями изготовителя материала. Поскольку не существует общепринятой методики определения минимального и максимального значений температур расплава, они оцениваются на основе комплексного подхода, учитывающего практический опыт и данные по особенностям реологического поведения, стабильности химической структуры и состава, а также по эксплуатационным характеристикам получаемых изделий.

При литье конкретного изделия диапазон температур расплава, обеспечивающих получение качественной продукции, оказывается гораздо более узким по сравнению с рекомендуемым температурным диапазоном.

Температура расплава оказывает очень большое влияние на результаты моделирования, особенно для материалов с сильной зависимостью вязкости от температуры (*temperature sensitive*). Для таких материалов повышение температуры приводит к существенному увеличению длины затекания расплава в оформляющей полости. В общем случае увеличение температуры расплава способствует повышению качества спаев, снижению остаточных напряжений, но может вызывать термоокислительную деструкцию для материалов с малой термостабильностью. Для предотвращения деструкции при задании температуры расплава необходимо учитывать время пребывания термопластичного материала при температуре переработки, а также особенности регулирования температуры расплава в реальном литевом процессе.

На рис. 2.11 приведена типичная диаграмма «температура расплава – время пребывания при температуре переработки» для литевых термопластов со сравнительно высокой термической стабильностью и указаны характерные проблемы стадии пластикации.

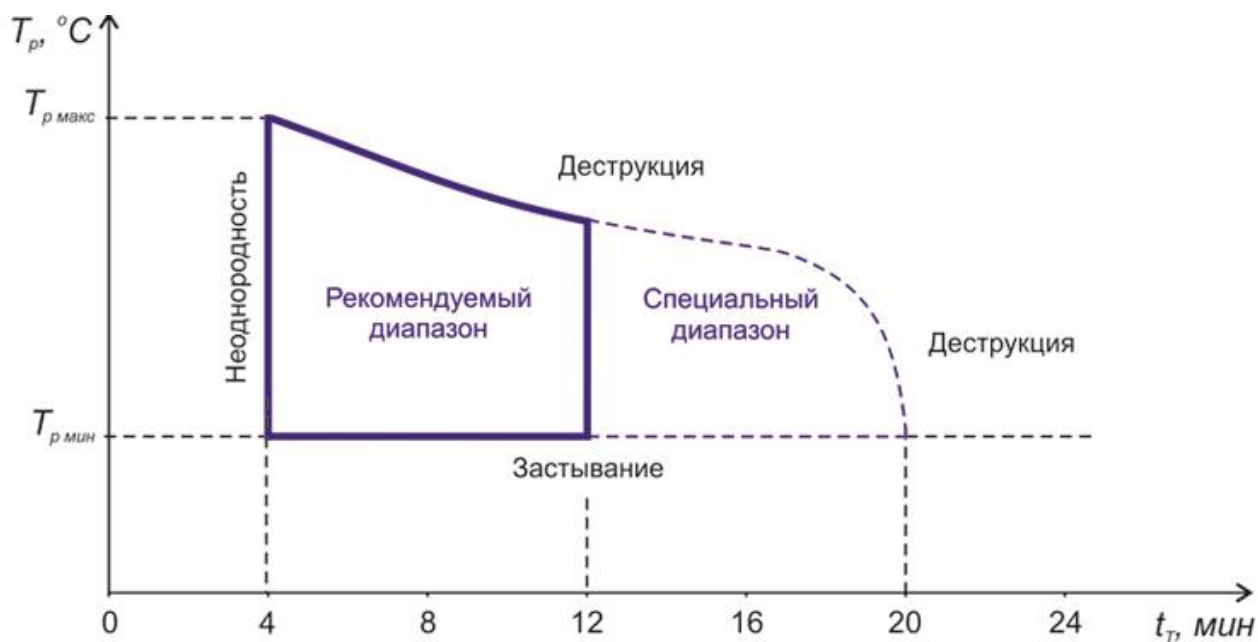


Рис. 2.11. Диаграмма «температура расплава (T_p) – время пребывания при температуре переработки (t_T)» для термопластов со сравнительно высокой термической стабильностью и характерные проблемы стадии пластикации; $T_{p \text{ мин}}$ – минимальная температура расплава, $T_{p \text{ макс}}$ – максимальная температура расплава (на основе [5])

Для обеспечения температурной однородности расплава минимальное время его пребывания в материальном цилиндре должно составлять около 4 минут [5]. Для термопластов с низкой термической стабильностью (таких как непластифицированный ПВХ, термопластичный полиуретан, гомополимер формальдегида и прочие) максимальное время пребывания при минимально рекомендуемой температуре переработке уменьшается до 6-10 минут.

Общее время пребывания термопластичного материала при высокой температуре складывается из времени пребывания в каналах шнека, в предсопловой области перед шнеком на стадиях пластикации, впрыска и выдержки под давлением, а также в горячеканальной литниковой системе. Время пребывания при высокой температуре может значительно увеличиваться, если максимальный объем впрыска литьевой машины намного превосходит объем дозы материала, необходимой для получения изделия (с учетом стадии подпитки), а также если суммарный объем изделий,

получаемых в форме, намного превышает объем горячеканальной литниковой системы.

Расчетное время пребывания термопластичного материала в горячеканальной литниковой системе выводится на странице обобщенной информации Мастера технологического режима.

Понятие температуры расплава широко используется в технологической литературе, однако в реальном процессе литья под давлением при стандартной комплектации литьевых машин контролируется только температура материального цилиндра вблизи его внутренней поверхности, а собственно температура расплава в каналах шнека и в предсопловой области зависит от большого количества факторов. Температура расплава внутри дозы впрыска существенно изменяется в зависимости от координаты точки как по длине дозы, так и в направлении ее диаметра, а также во времени.

На эти изменения влияют конструкция шнека и условия стадии пластикации (скорость вращения шнека, противодавление), характеристики термопластичного материала в гранулированном и расплавленном состоянии, износ шнека, а также условия стадии впрыска, конструкция изделия и формы [2]. Реальная температура расплава термопласта при пластикации может существенно превышать заданную температуру (на 5-20°C и более). По этой причине «специальный диапазон» условий, приведенный на рис. 2.13, в большинстве случаев не позволяет получить качественное изделие, если ориентироваться на контролируемую температуру по зонам материального цилиндра.

Некоторые проблемы литья, обусловленные температурой расплава на входе в оформляющую полость формы и максимальным давлением при впрыске, представлены на рис. 2.13. Снижение максимального давления при впрыске или уменьшение температуры расплава приводят к недоливу, тогда как высокие значения максимального давления при впрыске являются причиной появления облоя из-за высокого среднего давления в оформляющей полости. Нижняя часть температурного диапазона не

позволяет получить нормальное качество спаев, снижает блеск отливки (при полированных формообразующих деталях) или приводит к дефектам текстуры и другим проблемам текстурированной поверхности изделия.

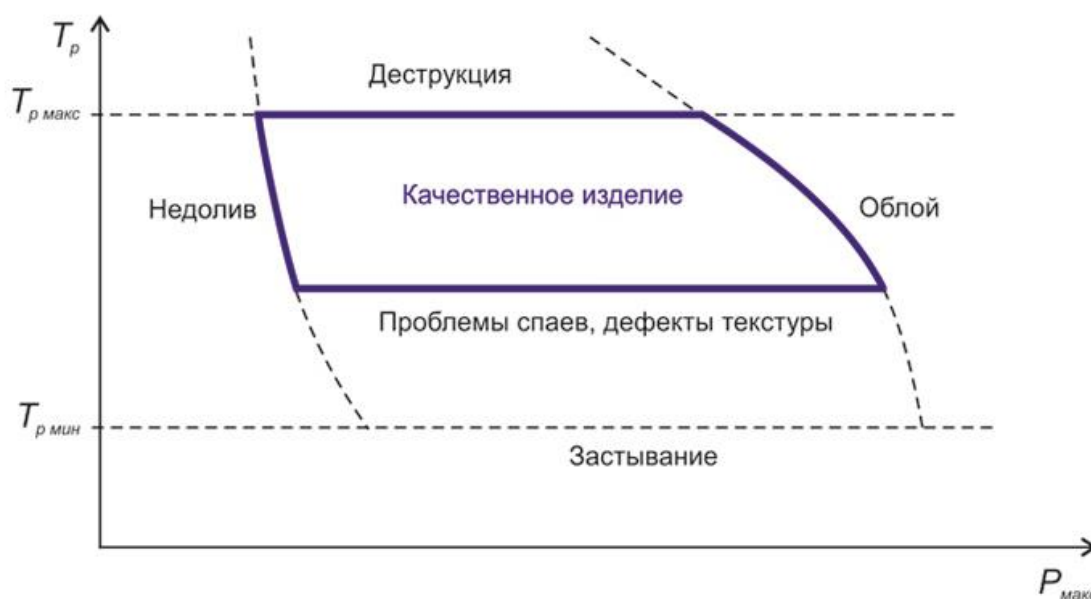


Рис. 2.12. Диаграмма «температура расплава (T_p) – максимальное давление при впрыске ($P_{\text{макс.}}$)» и типичные проблемы литья; $T_{p \text{ мин}}$ – минимальная температура расплава, $T_{p \text{ макс}}$ – максимальная температура расплава

При использовании горячеканальных сопел с запорными клапанами в реальном литейном процессе и при его моделировании в Moldex3D появляются дополнительные технологические параметры, обеспечивающие регулирование режима открытия и закрытия каждого сопла. В литейных формах для «каскадного литья» («последовательного впуска») обычно процесс впрыска начинается через одно сопло, тогда как другие группы сопел открываются после прохождения фронтом расплава соответствующих мест впуска (рис. 2.13).

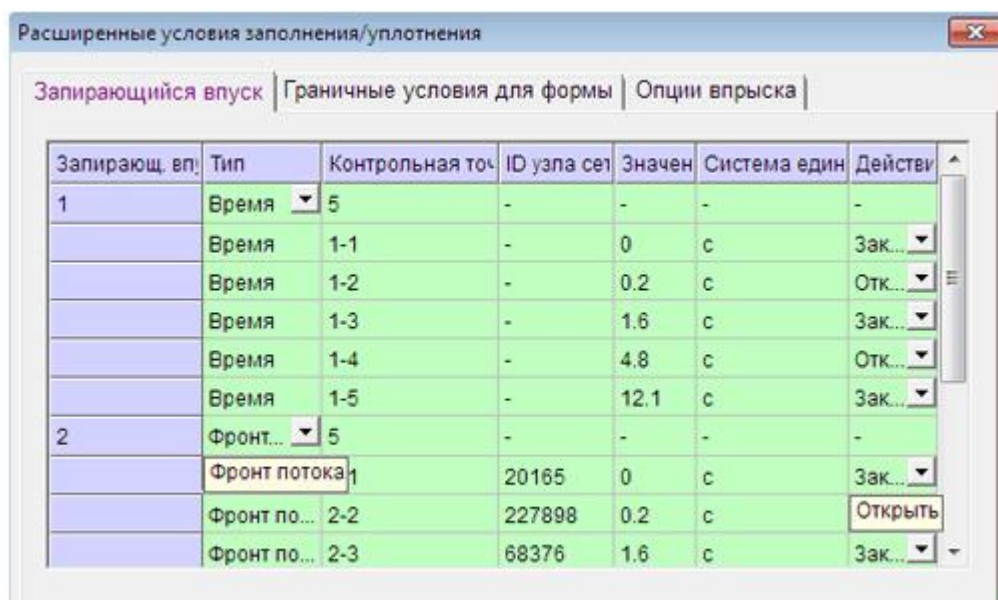


Рис. 2.13. Окно технологических параметров для горячеканальных сопел с запирающимися впусками («каскадное литье»)

«Контрольные точки» в условиях расчета (рис. 2.12) задают моменты времени, соответствующие начальному состоянию, а также операциям открытия и закрытия сопла на стадиях заполнения и уплотнения. При регулировании режима открытия сопла по «фронту потока» указывается промежуток времени от момента прохождения фронтом потока заданного узла сетки (определяется автоматически) до открытия сопла.

К важнейшим технологическим параметрам процесса литья относится момент переключения с режима управления скоростью впрыска на режим управления давлением [4-5]. Этот параметр оказывает очень большое влияние на характер изменения давления в оформляющей полости (рис. 2.14) и определяет окончание стадии впрыска (промежуток времени от начала впрыска до момента переключения называется «временем впрыска»).

При позднем переключении на режим управления давлением и заданном высоком давлении впрыска возникает «пиковое давление» (рис. 2.14б), которое ведет к образованию облоя, снижению размерной точности, повышенным остаточным напряжениям в изделии, а также нередко вызывает поломки литейной формы вследствие гидроудара.

Преждевременное переключение на режим управления давлением приводит к резкому снижению давления в литьевой форме – на графике зависимости давления в оформляющей полости от времени возникает локальный максимум давления (рис. 2.14 в). Оставшаяся часть оформляющей полости заполняется при скорости течения расплава, которая определяется заданным профилем давления выдержки. При постоянном давлении выдержки происходит снижение скорости течения расплава, что ведет к уменьшению температуры фронта расплава из-за пониженной диссипации тепла в расплаве. Последнее негативно влияет на качество изделия и может быть причиной недолива.

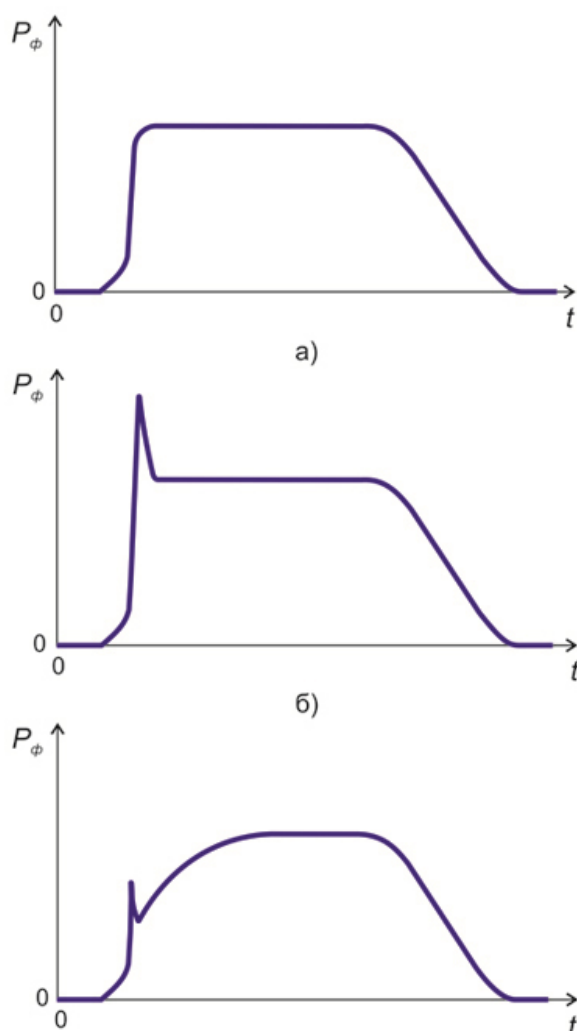


Рис. 2.14. Изменение давления в оформляющей полости формы (P_ϕ) во времени (t) от начала впрыска при нормальном (а), позднем (б) и преждевременном (в) переключении на выдержку под давлением [5]

В производственной практике применяют несколько способов переключения на режим управления давлением [4-5]. Чаще всего используется переключение по положению шнека, которое обеспечивает высокую точность задания дозы впрыска при стабильных реологических характеристиках термопластичного материала.

В условиях расчета момент переключения может быть задан в процентах от объема отливки или положением шнека (если расчет выполняется для конкретной литьевой машины). Обычно момент переключения соответствует 98-99% от объема отливки.

Технологические параметры стадии выдержки под давлением

Как для реального процесса литья, так и при моделировании стадии выдержки под давлением задается профиль давления выдержки со ступенчатым или линейным изменением давления во времени (рис. 1.9). Давление выдержки для каждой ступени может быть задано в абсолютных или относительных величинах (к максимальному давлению выдержки).

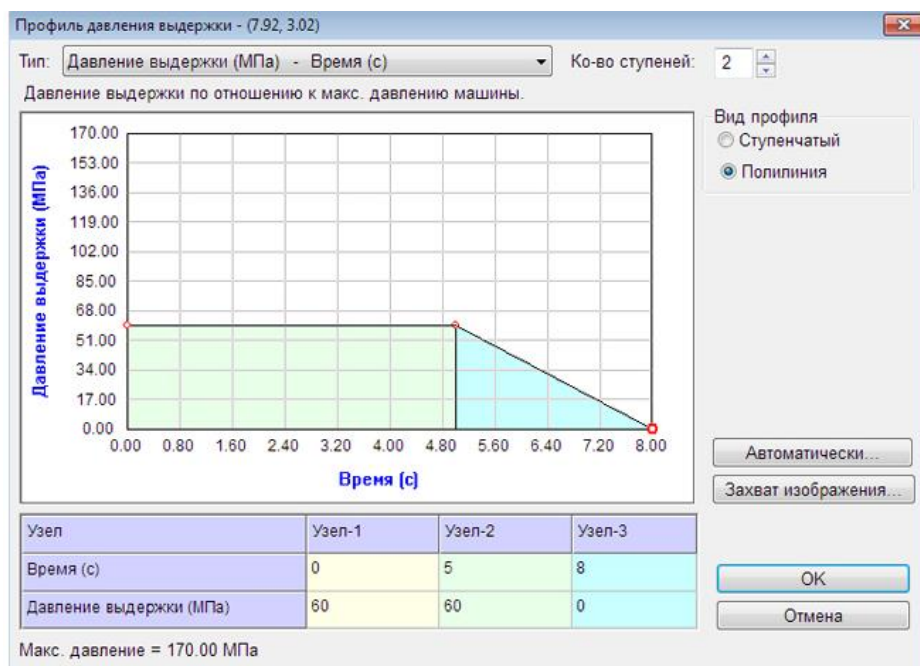


Рис. 2.15. Задание профиля давления выдержки с линейным снижением давления

Начальное давление выдержки определяет скорость течения расплава в оформляющей полости в фазе заполнения после переключения на режим

управления давлением. Низкое начальное давление выдержки при литье крупногабаритных, тонкостенных и других видов изделий может быть причиной охлаждения фронта расплава и, как следствие, вызывать поверхностные дефекты, высокие остаточные напряжения и прочие проблемы. Слишком высокое начальное давление выдержки приводит к высокой скорости течения расплава в конце процесса заполнения оформляющей полости, что также может стать причиной высоких остаточных напряжений и других проблем.

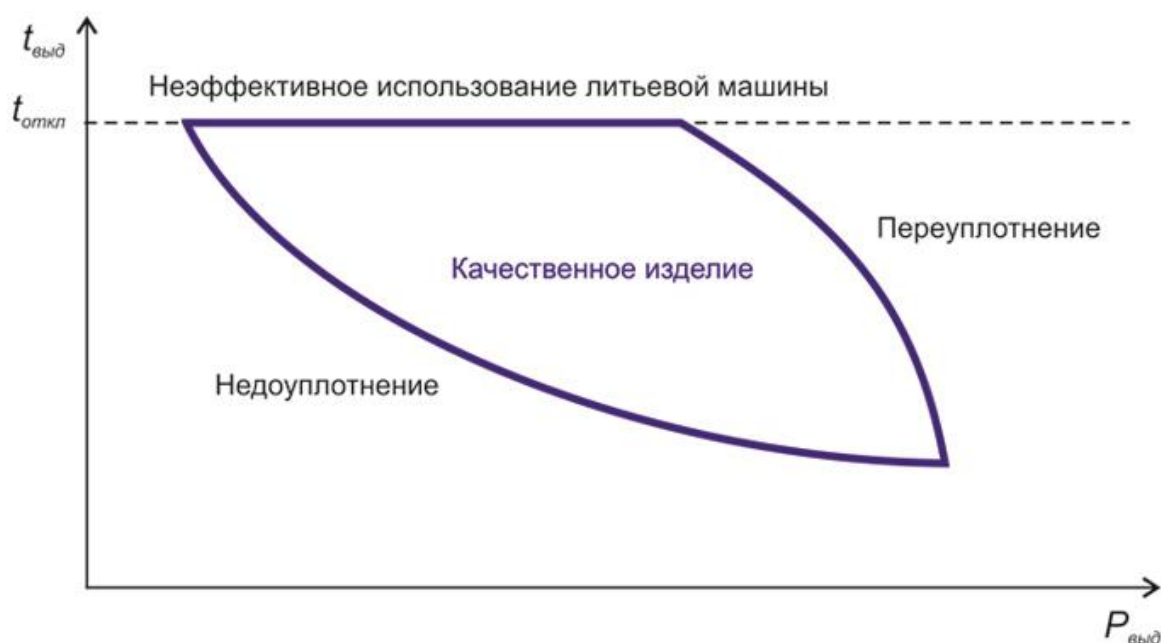


Рис. 2.16. Диаграмма «время выдержки под давлением ($t_{\text{выд}}$) – давление выдержки ($P_{\text{выд}}$)» и проблемы уплотнения изделия

Время выдержки под давлением выбирается так, чтобы оно немного превышало время до отключения оформляющей полости от материального цилиндра. Во многих случаях (например, в холодноканальных многогнездных формах) отключение оформляющей полости происходит в момент застывания впускных литниковых каналов. Этот момент времени в расчете можно определить в автоматическом или ручном режимах несколькими методами: по стабилизации массы изделия во времени, по резкому снижению расхода расплава через литниковый канал и т.д.

Увеличение давления выдержки способствует снижению объемной усадки, что улучшает уплотнение относительно толстостенных областей, особенно в тех случаях, когда они удалены от места впуска. Одновременно с этим, высокое давление выдержки может приводить к негативным последствиям: переуплотнению относительно тонкостенных участков (в первую очередь тех, которые расположены вблизи впуска), повышению остаточных напряжений и другим проблемам [6].

Тип профиля давления выдержки (с постоянным давлением или со снижением давления) выбирается с учетом конструкции изделия, расположения впусков и особенностей термопластичного материала. Снижение давления выдержки в конце стадии подпитки позволяет снизить неравномерность уплотнения по длине изделия, однако может повысить неравномерность процесса кристаллизации для кристаллизующихся материалов, что повышает неравномерность усадочных процессов, коробление и высокие остаточные напряжения.

Технологические параметры нагрева и охлаждения формы

В самом простом варианте при моделировании процесса охлаждения отливки в Modex3D задается одинаковая температура формы.

Повышение температуры формы в пределах диапазона, рекомендуемого изготовителем термопластичного материала, позволяет увеличить длину затекания расплава в оформляющей полости, снизить скорость охлаждения и тем самым повысить качество поверхности изделия и уменьшить остаточные напряжения. Это повышает стойкость к растрескиванию аморфных материалов с высокой температурой стеклования (в частности, поликарбоната) и размерную стабильность литевых изделий при хранении и эксплуатации, однако увеличивает технологическую усадку. Одной из проблем, связанных с высокой температурой формы, является появление

следов от толкателей и локальные деформации в областях с затрудненным отводом тепла («горячих пятнах»), которые обычно возникают вблизи высоких ребер. Уменьшение температуры формы негативно влияет на внешний вид и прочность спаев, особенно для тонкостенных изделий.

При моделировании процесса охлаждения литейной формы с учетом конструкции охлаждающих каналов в стационарных (для средней температуры в литейном цикле) или нестационарных (при изменении температуры в цикле литья) условиях в качестве технологических параметров используются температура и расход хладагента (при наличии расходомера на производстве), определяемые для термостата формы (рис. 2.17). Расход хладагента подбирается так, чтобы течение хладагента в охлаждающих каналах было турбулентным (рекомендуемый диапазон числа Рейнольдса – от 5000 до 10 000).

Расширенные условия охлаждения

Охлаждающий канал/Нагревательный элемент | Начальная температура вставки фо

Охлаждающий канал

Условия : По расходу

ID канала	Контрольная т.	Время (с)	Q (см³/с)	Хладагент	D (т)	Число Рейнольдса
EC1 (Группа 1)	0	0	9, 25	Вода	10	9819.09
EC2 (Гру...	0	0	9, 25	Вода	10	9819.09

Применить ко всему Применить к группе

Нагревательный элемент

ID нагрев. элеме	Метод нагрев.	Контрольная то	Время (с)	Значе	Система еди
RH1	По температуре	0	0	300	оС
RH2	По темп...	0	0	300	оС
RH3	По темп...	0	0	295	оС
RH4	По темп...	0	0	295	оС

Применить ко всему Управление температурой

Захват изображения OK Отмена

Рис. 2.17. Технологические параметры для охлаждающих каналов литейной формы и нагревателей горячеканальной литниковой системы

Время выдержки на охлаждение задает промежуток времени от момента окончания стадии выдержки под давлением до начала раскрытия литевой формы. Как правило, длительность выдержки на охлаждение должна обеспечивать охлаждение литевого изделия до температуры выталкивания (она указана в базе данных в качестве одной из характеристик марки материала). Преждевременное извлечение изделия из формы приводит к его короблению. Толстостенные изделия, которые обладают достаточно высокой жесткостью (при использовании термопластичного материала с высоким модулем упругости), обычно можно извлекать из формы, не дожидаясь полного застывания их внутренних областей. Исключением являются изделия с высокими требованиями к размерной точности.

Увеличение времени выдержки на охлаждение способствует уменьшению коробления изделия (благодаря процессу релаксации напряжений), но снижает производительность литевого оборудования, увеличивая время цикла литья.

При моделировании предварительного нагрева литевой формы (такой расчет доступен для моделирования в нестационарных условиях) технологическим параметром является время нагрева формы от комнатной до рабочей температуры.

При выполнении расчетов тепловых процессов в горячеканальной литниковой системе в модуле Advanced Hot Runner учитываются конструкция нагревателей, металлических деталей горячеканального сопла и коллектора, области теплоизоляции, места расположения термодатчиков и метод регулирования температуры (по температуре, мощности нагревателя или с использованием ПИД-регулирования). В первых двух случаях к технологическим параметрам относится соответственно температура (рис. 2.17) или мощность нагрева. Для ПИД-регулирования задается целевая температура и коэффициенты усиления.

Мастер технологического режима Moldex3D позволяет задать несколько шагов нагрева и охлаждения формы в литьевом цикле для нестационарного расчета, что предоставляет широкие возможности при моделировании процесса литья с использованием различных методов регулирования температуры. Это обеспечивает, в частности, выполнение расчетов литья с вариотермическим термостатированием литьевой формы, при котором форма на стадиях впрыска и уплотнения имеет повышенную температуру (превышающую температуру выталкивания термопластичного материала), а на стадии охлаждения отливки в форме температура формы понижается до значений ниже температуры выталкивания. Литье с вариотермическим термостатированием формы позволяет повысить качество поверхности изделия и улучшить внешний вид спаев, не снижая производительности литьевого оборудования.

Моделирование стадии пластикации

Moldex3D включает модуль ScrewPlus (совместная разработка компаний Compuplast International и CoreTech System), предназначенный для моделирования и оптимизации стадии пластикации термопластичного материала, а также учета влияния технологических параметров этой стадии на температуру расплава. При расчете для стандартного шнека моделируются процессы плавления гранулированного материала, массо- и теплопереноса в зонах питания, сжатия и дозирования с учетом технологического режима пластикации, особенностей термопластичного материала и конструкции шнека. Предусмотрен расчет для специальных шнеков, в том числе барьерных, с зоной смешения и прочих.

При моделировании стадии пластикации технологическими параметрами являются температура по зонам материального цилиндра, частота вращения шнека и противодавление. Результаты расчета температуры расплава на стадии пластикации могут использоваться при расчете стадии впрыска как входные данные.

Оптимизация технологических параметров

В реальном процессе литья под давлением диаграммы для двух или даже трех факторов не дают полной информации о приемлемом диапазоне технологических условий из-за взаимодействия параметров и сложности механизмов формирования дефектов.

Характеристики качества изделий, получаемых литьем под давлением, хотя и зависят от технологических параметров процесса, в большой степени определяются локальными условиями полимерного материала (температурой, давлением, скоростью и направлением течения, скоростью охлаждения и др.) в конкретной области оформляющей полости. Эти характеристики претерпевают значительные изменения при переходе от одной области к другой из-за влияния диссипации тепла при течении полимерного расплава, его сжимаемости, вязкоупругости, изменения геометрических условий (толщины стенки и прочих особенностей конструкции), неравномерности охлаждения и других факторов.

При формировании литьевого изделия происходят сложные структурные процессы, такие как кристаллизация (для кристаллизующихся термопластов), разрушение и ориентация волокнистых наполнителей, неравномерная концентрация волокнистых и дисперсных наполнителей под действием течения расплава, оказывающие очень большое влияние на качество продукции. Эти процессы также можно моделировать в Moldex3D. Условия течения и охлаждения являются причиной формирования слоистой структуры литьевых изделий.

Определение параметров технологического режима, обеспечивающего получение качественного изделия, и его оптимизация по одной или нескольким характеристикам качества осуществляется в ходе выполнения расчетов в несколько этапов. Их содержание и последовательность зависят от особенности задачи (термопластичного материала, конструкции изделия и литьевой формы, требований к размерной точности и прочего).

Вначале обычно выполняют «пробный» расчет при типичных условиях процесса, который дает необходимую информацию для выбора основных технологических параметров.

Одной из задач начального этапа работы является оценка скорости впрыска, обеспечивающей тепловой баланс при течении расплава в оформляющей полости для основной толщины стенки, поскольку скорость впрыска в большинстве случаев значительно влияет на все другие характеристики литейного процесса [2].

Moldex3D включает несколько методов оптимизации технологических параметров литья под давлением. Для быстрых оценок полезны алгоритмы автоматического определения профилей скорости впрыска и давления выдержки, которые можно вызвать клавишей Автоматически... в Мастере технологического режима. Эти алгоритмы используют данные из предварительно выполненного расчета для той же модели отливки и марки термопластичного материала.

В модуле Expert можно получить рейтинг технологических параметров, влияющих на выходные характеристики процесса, и найти оптимальный режим литья с применением метода планирования эксперимента.

2.4 Причины образования брака при литье под давлением, рекомендации по его устранению

Классификация дефектов отливок. Брак возникает из-за недоработки конструкции детали или технологии, из-за нарушения технологического процесса.

Брак появляется, если при конструировании детали не учитывают особенности литья под давлением.

Недоработка технологии — наиболее часто встречающаяся причина брака, поэтому очень важно выбрать правильную технологию и опробовать ее на партии отливок. Брак, вызванный нарушениями технологии, может появиться на отливке во время любой операции, например в результате небрежного приготовления сплава, при несоблюдении температурных режимов в процессе литья, а также из-за неудовлетворительного состояния литейных машин и пресс-форм. Контроль за соблюдением технологии входит в обязанность мастера и технолога.

Брак подразделяется на внутренний и внешний в зависимости от того, где он обнаруживается. *Внутренний брак* — выявленный в литейном цехе. *Внешний брак* — это брак, обнаруженный в механическом или других цехах завода. Наибольшие убытки производству приносит внешний брак, так как к стоимости отливок добавляется стоимость их последующей обработки. Для того чтобы принять необходимые меры по предупреждению брака, следует правильно определять его причины (табл. 1.1).

Табл. 1.1 Причины брака при литье под давлением и меры его устранения

Вид брака	Причины	Меры устранения
Трещины в отливках из цинковых сплавов	Повышенное содержание свинца в сплаве; перекосы при удалении отливки из пресс-формы; слишком быстрое удаление отливки из пресс-формы	Заменить сплав новым; отрегулировать ход плиты выталкивателей; увеличить время выдержки отливки в пресс-форме
Трещины в отливках из сплавов алюминия с кремнием	Повышенное содержание железа в сплаве; пониженное содержание кремния в сплаве; холодная пресс-форма	Снизить содержание железа до 1,5%; добавить лигатуру алюминий-кремний; подогреть пресс-форму или увеличить темп работы
Трещины в отливках из сплавов алюминия с магнием	Наличие резких переходов от тонких сечений отливки к толстым; повышенное содержание магния в сплаве; холодная пресс-форма	Изменить конструкцию детали, скруглить переходы; добавить в сплав чистого алюминия; подогреть пресс-форму или увеличить темп работы
Трещины в отливках из магниевых сплавов	Повышенное содержание кремния или алюминия; наличие резких переходов в отливках; холодная пресс-форма; перекося отливки при удалении из пресс-формы	Добавить в сплав магния или заменить сплав; ввести радиусы перехода; подогреть пресс-форму или увеличить темп работы; отрегулировать работу выталкивателей

Вил брака	Причины	Меры устранения
Трещины в отливках из медных сплавов	Повышенное содержание цинка или кремния в сплаве; замедленное удаление стержней из отливки и отливки из пресс-формы; холодная пресс-форма	Заменить сплав; ускорить выемку отливки из пресс-формы; подогреть пресс-форму или увеличить темп работы
Узорчатая поверхность отливки («мороз»)	Низкая температура заливки; холодная пресс-форма; слишком тонкое сечение впуска	Повысить температуру заливки; подогреть пресс-форму; увеличить сечение впуска
Неслитины, нечеткое выполнение острых контуров отливки	Малое давление на металл; слишком большое сечение питателя и малая скорость заполнения; холодная пресс-форма или металл; неправильное расположение питателя	Повысить давление В сети; уменьшить сечение впуска и увеличить скорость прессования; повысить температуру; подвести питатель так, чтобы не было раздробленности струи
Воздушная пористость во всех сечениях отливки	Большая скорость потока металла; неправильная или недостаточная вентиляция пресс-формы; неправильное расположение питателя	Уменьшить скорость прессования и увеличить сечение впуска; исправить вентиляционную систему; направить металл так, чтобы воздух постепенно вытеснялся из пресс-формы

Вил брака	Причины	Меры устранения
Усадочная пористость и раковины в утолщениях	Плохая конструкция отливки; отсутствие питания утолщенного места отливки	Обеспечить равностенность в отливке; подвести питатель к утолщенному месту или применить армирование этого места вкладышем из того же сплава
Включения шлаков и окислов	Наличие в сплаве большого количества окислов; замешивание окислов и шлака при неаккуратном черпании металла разливочной ложкой	Добавить флюс для раскисления; аккуратно черпать сплав
Включения кремния в отливках из алюминиевых сплавов	Заливка сплавов в кашеобразном состоянии	Повысить температуру заливки

Вил брака	Причины	Меры устранения
Надиры на поверхностях отливки	Малый литейный уклон; забоины на стержнях и в пресс-форме, приваривание сплава к стержням и пресс-форме; недостаточная смазка; высокая температура заливаемого сплава	Исправить пресс-форму; устранить забоины; увеличить содержание железа в алюминиевых сплавах до 1,5%, уменьшить скорость впуска металла в пресс-форму; увеличить смазку в местах приваривания; снизить температуру заливки
Пятнистость поверхности отливки	Избыток смазки; повышенное содержание графита в смазке	Уменьшить смазку, после смазки обдуть пресс-форму сжатым воздухом; сменить смазку
Несоответствие геометрии отливки требованиям литейного чертежа	Неправильное определение усадки; неточное изготовление пресс-формы; коробление отливки из-за недостаточной жесткости ее конструкции	Исправить размер пресс-форм в соответствии с правильно подсчитанной усадкой; привести размеры пресс-формы в соответствие с литейным чертежом; проверить работу толкателей с тем, чтобы устранить выталкивание отливки из пресс-формы с перекосом. При необходимости ввести дополнительные толкатели или изменить их пресс-форму. Ввести в соответствующих местах отливки ребра жесткости

Причинами появления различных дефектов может быть неисправность пресс-форм и машин, нарушение технологии, неправильное конструирование и т. д.

Линии спая

При заполнении формы на поверхности могут образовываться швы, так называемые линии спая.

Они образуются в результате соединения двух или более потоков при заполнении формы. Данный дефект возможно устранить при уменьшении влаги и загрязнений в расплаве, т.е. материал необходимо просушивать перед обработкой.

Облой.

В результате высокого давления при открывании половинок формы, туда попадает материал, данный дефект так же называют подливом. В результате этого изделие проходит цикл мех. обработки.

Решением данной проблемы является возможность подобрать машину с большим усилием запираения или уменьшение давления с увеличенным временем выдержки.

Увеличение толщины изделия.

Основная причина — это появление это облой. В результате его появления половинки формы опираются на задиры и полость формы оказывается толще.

Решением данной проблемы является необходимость правильно задавать жесткость формы и использование режимов формования со сбросом давления

Коробление

Этот дефект представляет собой отклонение от поверхности изделий от базовой плоскости. Данный дефект может возникать по разным причинам:

- Неравномерное охлаждение на разных участках
- Разная скорость кристаллизации
- Термическое изменение детали

Данный вид дефекта недопустим при выпуске деталей при литье под давлением. Для уменьшения дефекта рекомендуется использовать равномерное охлаждение а так же уменьшение давления и увеличение скорости впрыска.

Утяжка

Это локальное углубление на поверхности изделия. Они образуются в результате местных утолщений (ребер жесткости или бобышек на обратной стороне) или неравномерного охлаждения.

Способ устранения – соблюдать правила равнотолщинности во время проектирования изделия и не допускать

Пустоты

Пустоты представляют собой пузыри внутри детали.

Необходимо проверить работу клапана наконечника шнека. При впрыске материала не допускаются утечки материала.

Пустоты появляются в связи с технологическими параметрами литья.

Для уменьшения пустот нужно увеличить подпитку материалом формы при охлаждении для компенсации усадки. Устранению дефекта способствует уменьшение температуры расплава

Увеличение размеров впуска так же благоприятно влияет на устранение дефекта.

3. Моделирование тех. процесса литья под давлением

3.1 Моделирование тех процесса в модуле Moldex 3D в NX 9.0

Целью данного раздела является сравнение результатов моделирования в разных программных продуктах с их плюсами и минусами и понимание на каких этапах проектирования их необходимо использовать.

Используемое ПО Moldex 3D и Moldflow Synergy 2016 .

Рассмотрим деталь автомобиля ВАЗ «молдинг передней двери», которая была спроектирована в CAD программе Catia. (рис. 3.1)

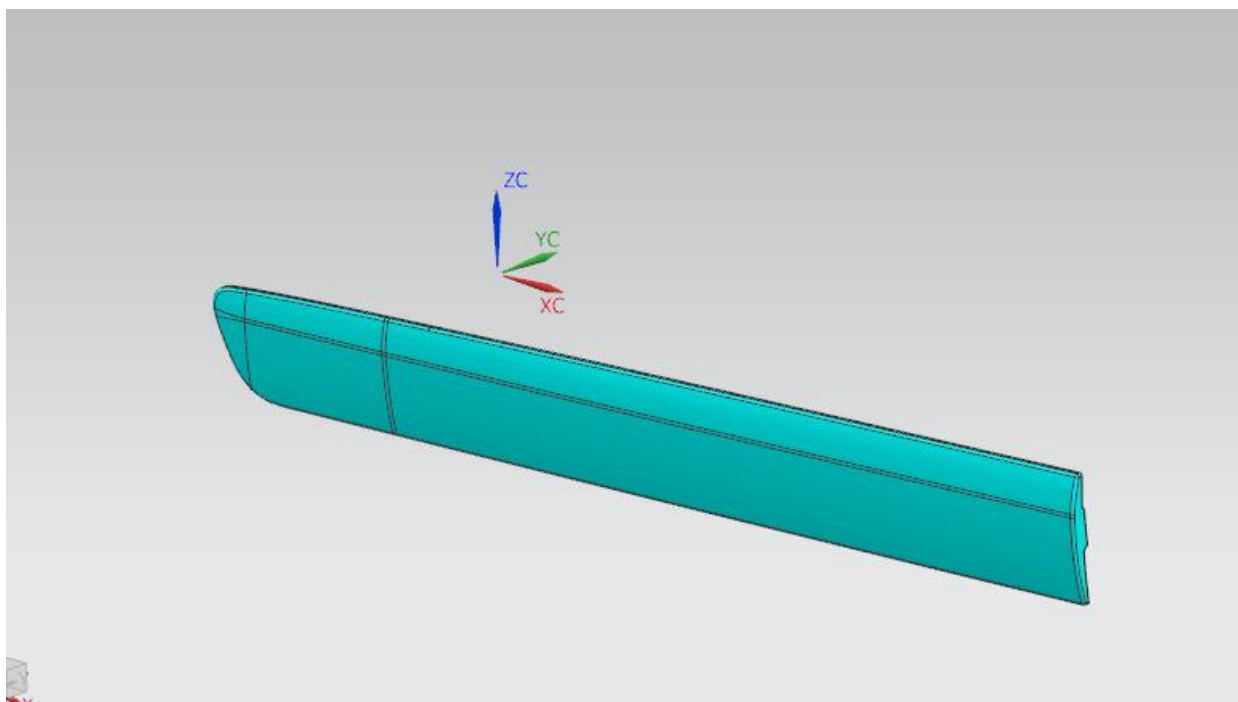


Рис. 3.1. Молдинг передней двери

Смоделируем процесс литья под давлением в модуле Moldex 3D программного продукта NX 9.0

После открытия детали в NX выбираем анализ – проверка правильности литой детали- простая заливка- выполнить анализ потоков. (рис. 3.2).

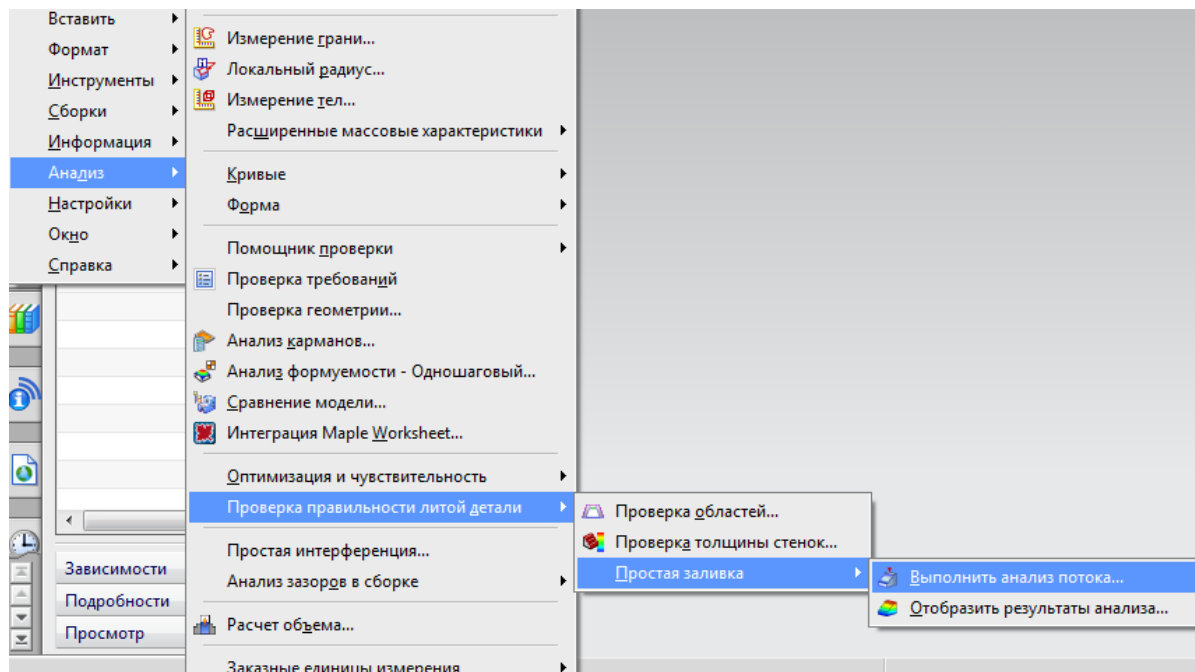


Рис. 3.2. Анализ проливаемости.

Далее необходимо указать места точек впрыска (рис. 3.3)

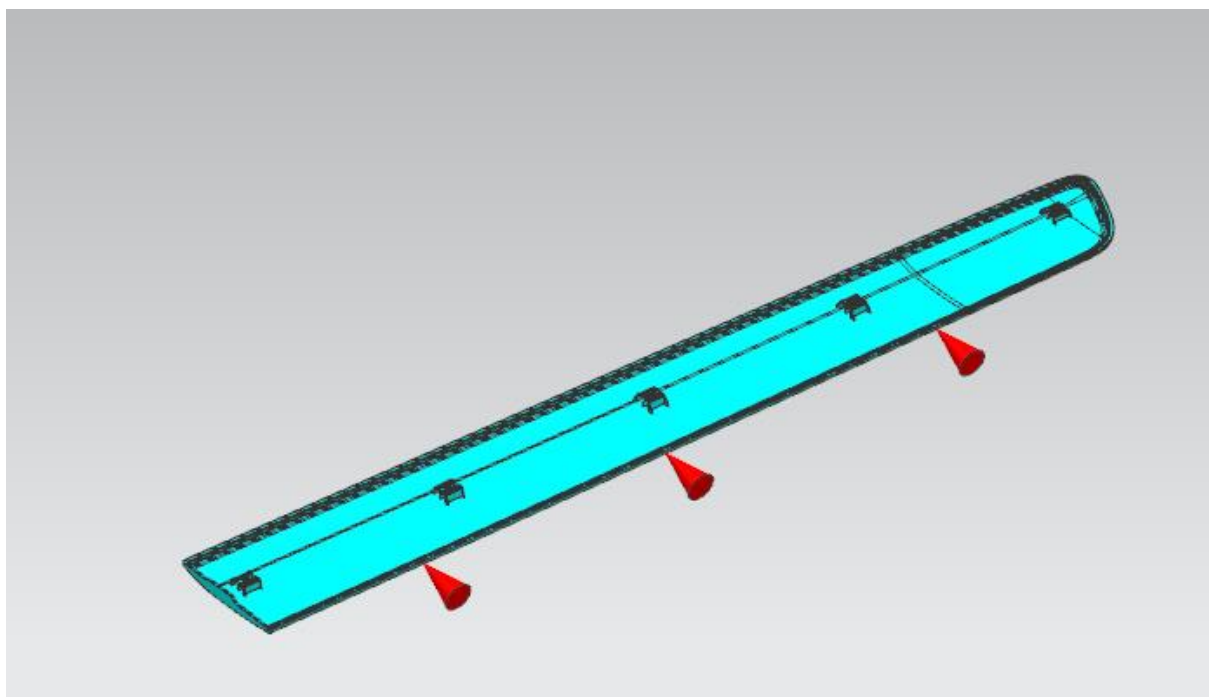


Рис. 3.3 Точки впрыска

В появившемся окне (рис.3.4), Moldex 3D необходимо указать материал и точность расчета. Точность выберем среднюю между, материал данной детали Армлен ПП СК 15-5М

Так же там будут отображаться значения времени заливки формы, температура расплава и формы.

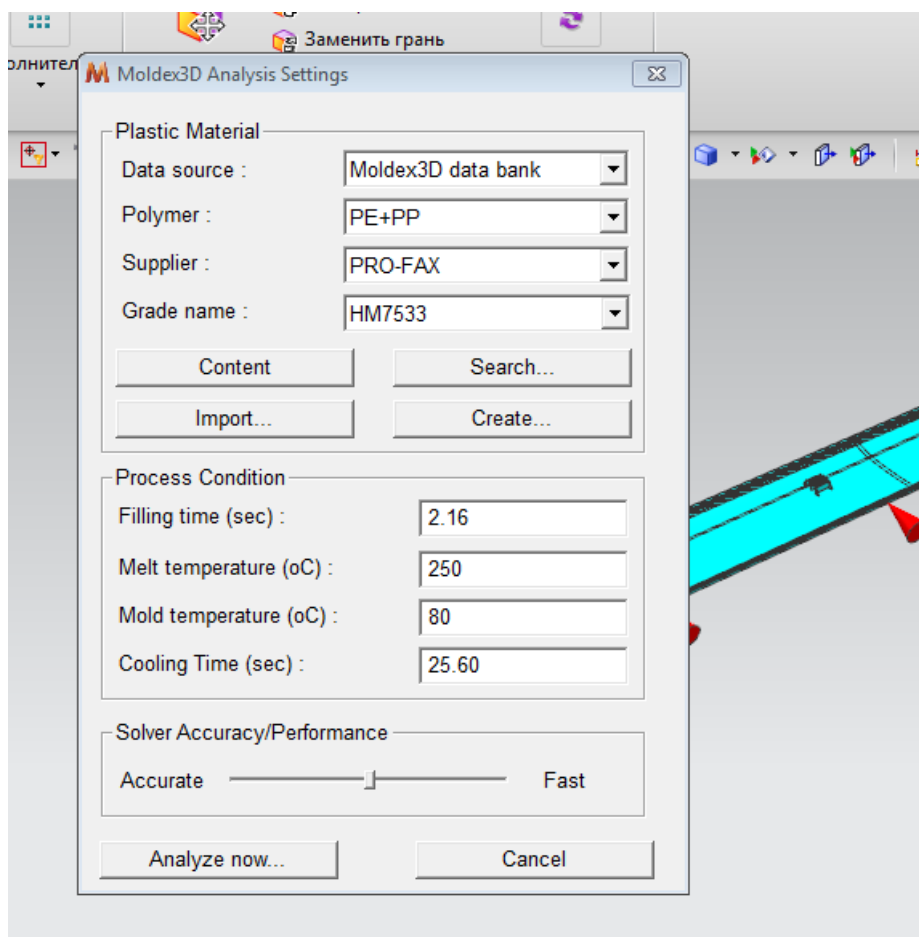


Рис. 3.4. Настройки симуляции

В итоге после проведения расчетов мы получаем результаты по параметрам:

- Коэффициент линейного расширения (рис. 3.5)
- Время заливки (рис. 3.6)
- Линии спая (рис. 3.7)
- Давление (рис. 3.8)
- Время охлаждения
- Места отвода воздуха

- Максимальное время охлаждения

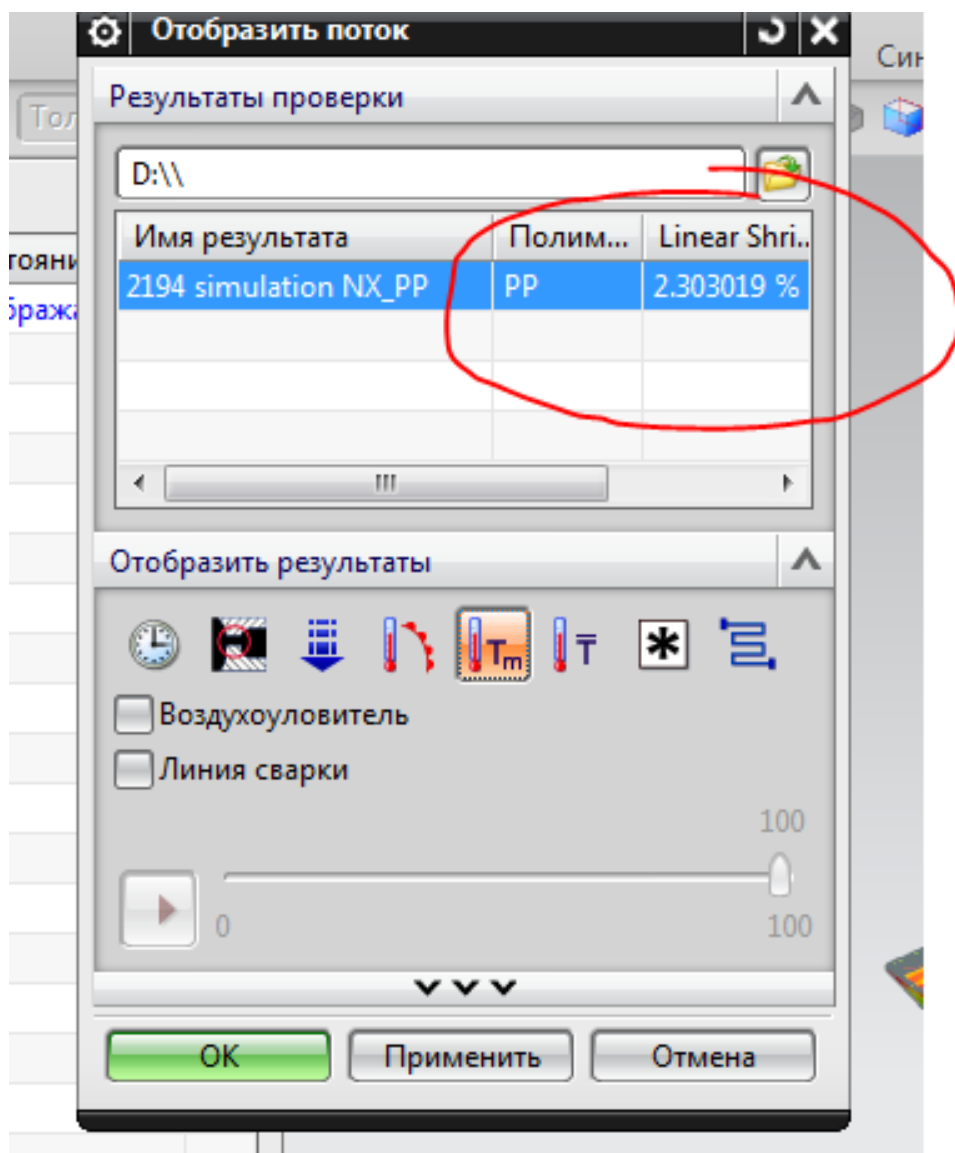


Рис. 3.5. Коэффициент линейного расширения

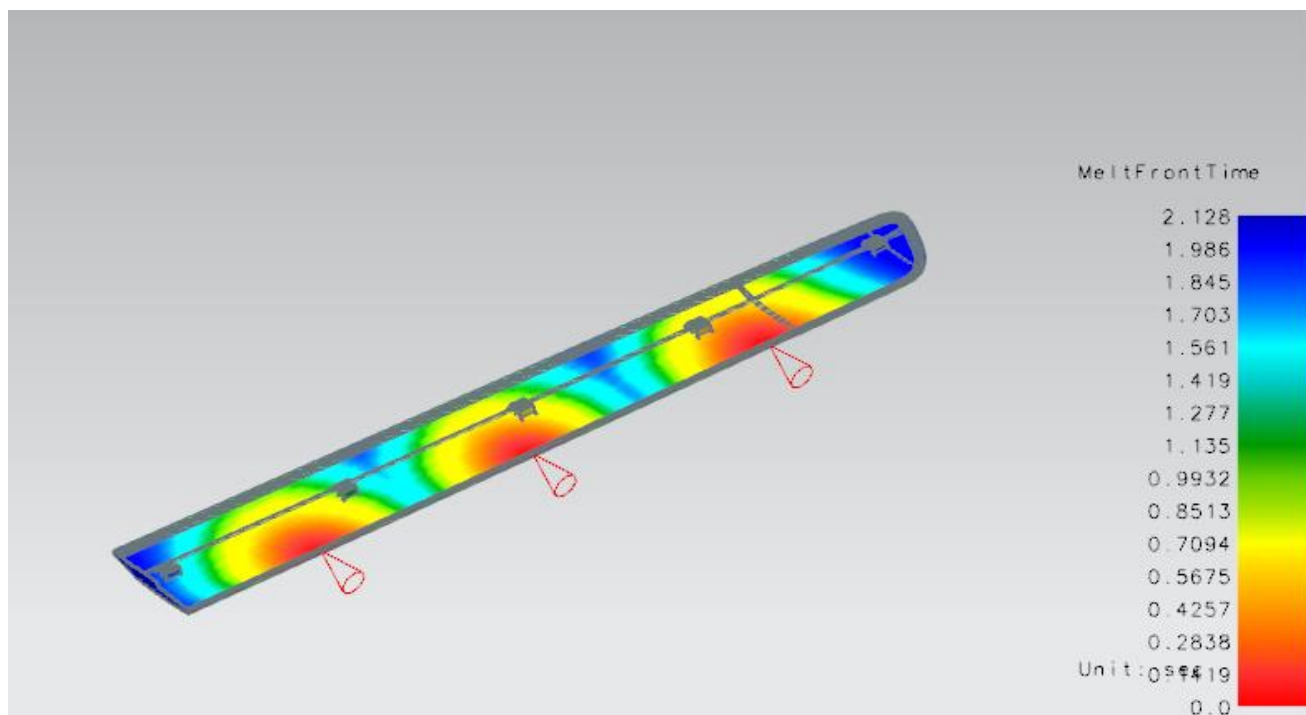


Рис.3.6. Время заливки формы

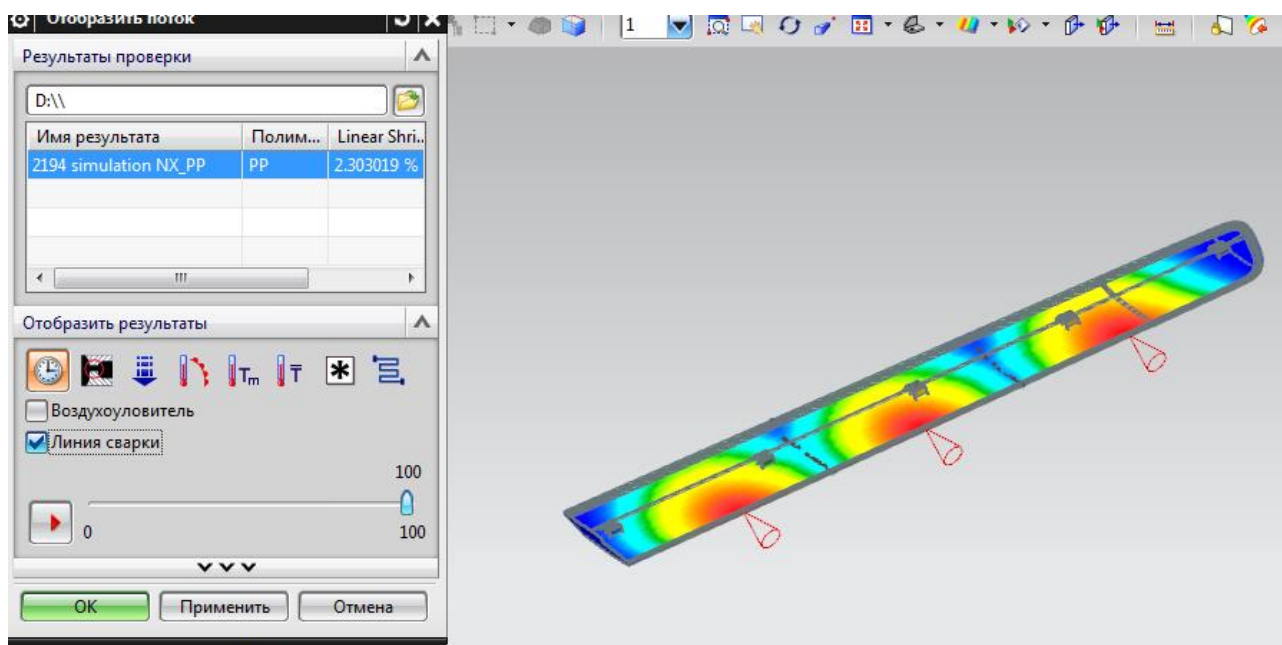


Рис.3.7. Линии спая

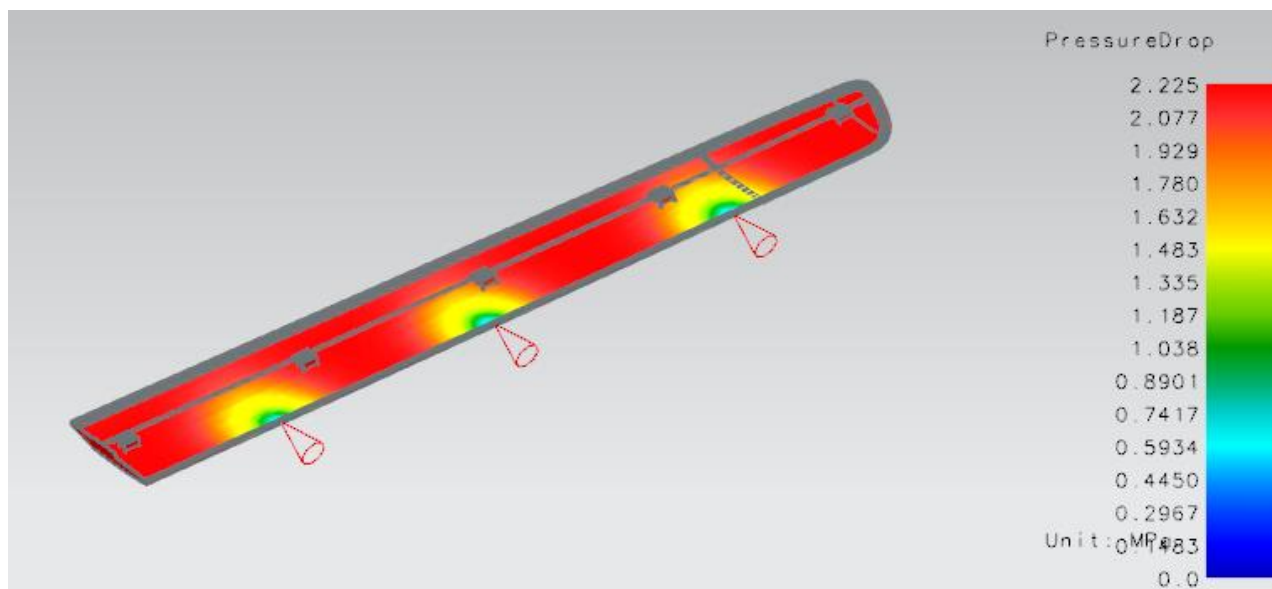


Рис.3.8. Давление

Данный анализ позволил нам определить основные значения, необходимые для литья детали.

Эти данные позволяют конструктору на ранней стадии проектирования оценить те или иные параметры будущего изделия и ориентируясь на них, избегать возможных проблем, связанных с ее изготовлением и разработкой оснастки.

3.2 Моделирование тех процесса в Mold Flow

При работе с данным программным обеспечением, последовательность моделирования остается практически такой же.

Начинаем с импорта необходимой детали (рис. 3.9)

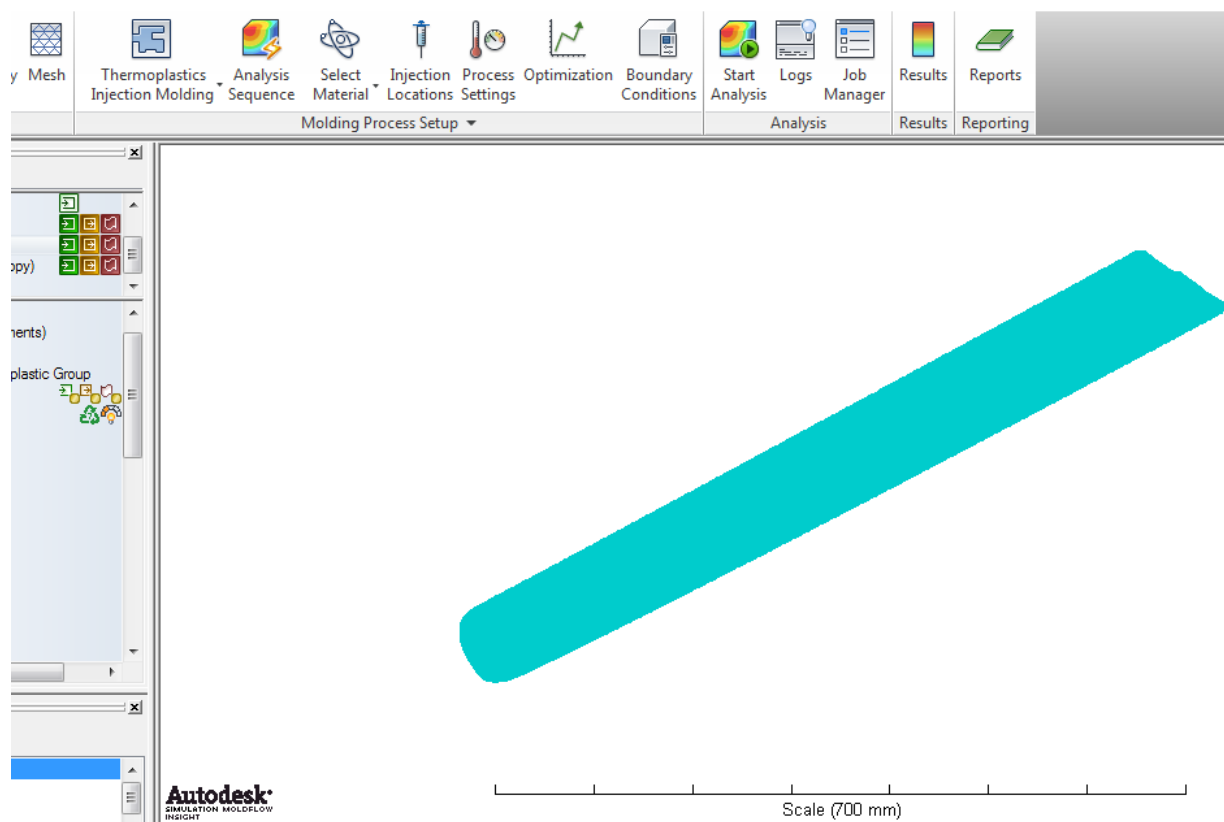


Рис. 3.10. Добавление детали

Далее выбираем тип сетки КЭ (Dual domain) и материал (Армлен PP SK 15-5мс). (рис 3.11)

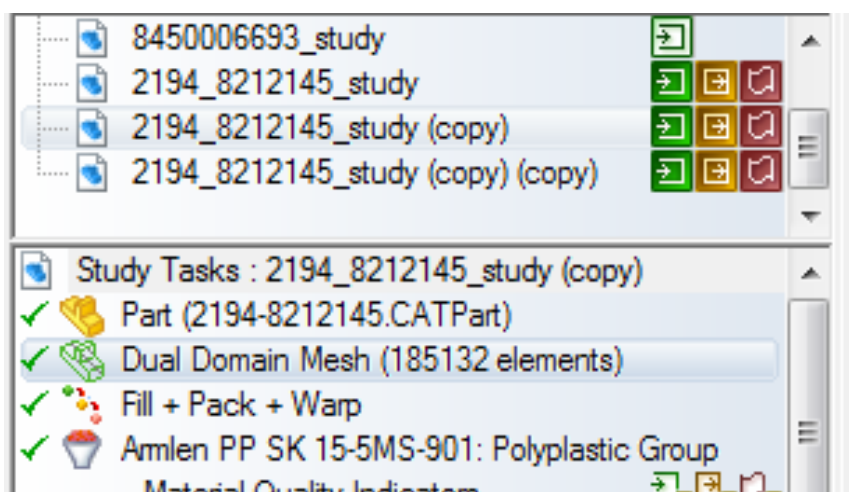


Рис. 3.11. Выбираем материал и тип сетки КЭ

Далее необходимо выбрать необходимый тип анализа.

Mold Flow позволяет провести множество расчетов (рис. 3.12):

1. Анализ проливаемости
2. Объёмной усадки
3. Коробления
4. Утяжки
5. Охлаждения и.т.д

Мы выбираем (Fill+Pack+Warp) – заливку + деформации

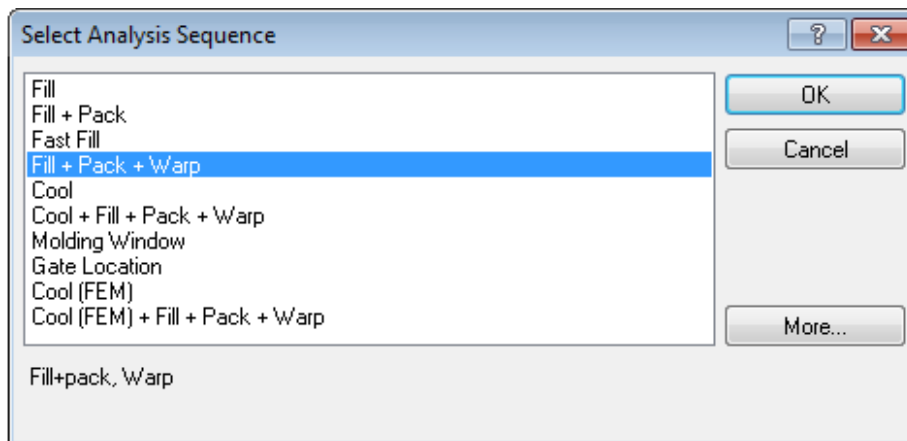


Рис. 3.12. Типы анализов

Далее обозначаем точки впрыска по аналогичной методике Moldex 3D (рис. 3.13)

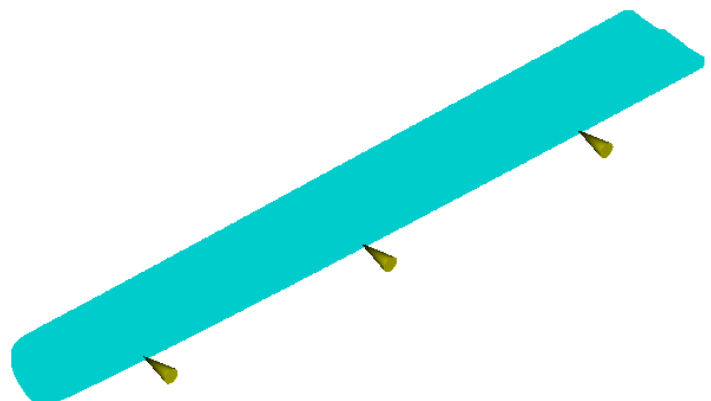
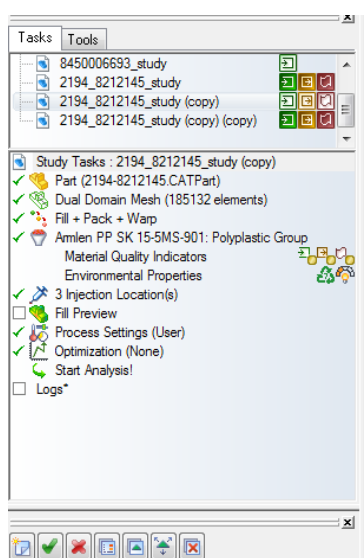


Рис. 3.13. Расположение точек впрыска

По сравнению с Moldex 3D, время расчета занимает большее количество времени:

Moldex 3D – 5 мин

Mold Flow - около 5 часов

После окончания расчет мы получаем множество возможных расчетов нашей детали.

Рассмотрим наиболее важные из них:

- ✓ Время заливки
- ✓ Средняя температура расплава
- ✓ Давление
- ✓ Места утяжек
- ✓ Объёмная усадка
- ✓ Линии спая
- ✓ Коробление

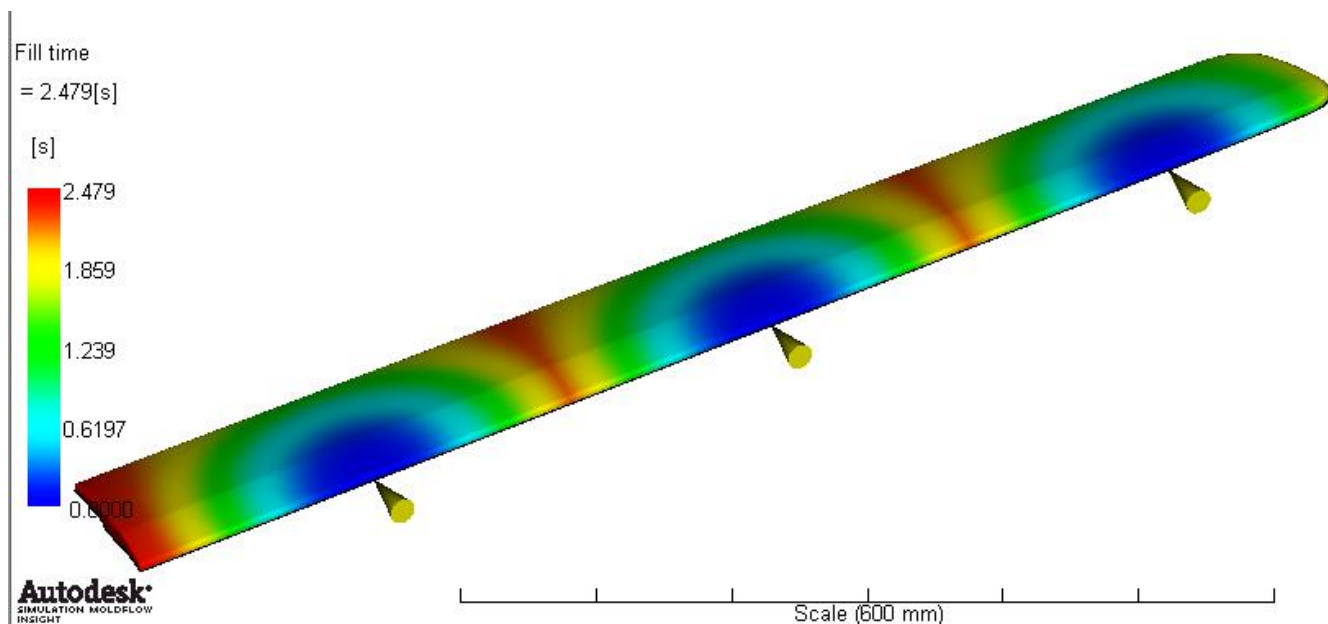
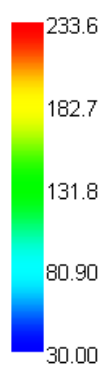


Рис. 3.14. Время заливки

Bulk temperature
Time = 0.6621[s]

[C]



Autodesk
SIMULATION MOLDFLOW
INSIGHT

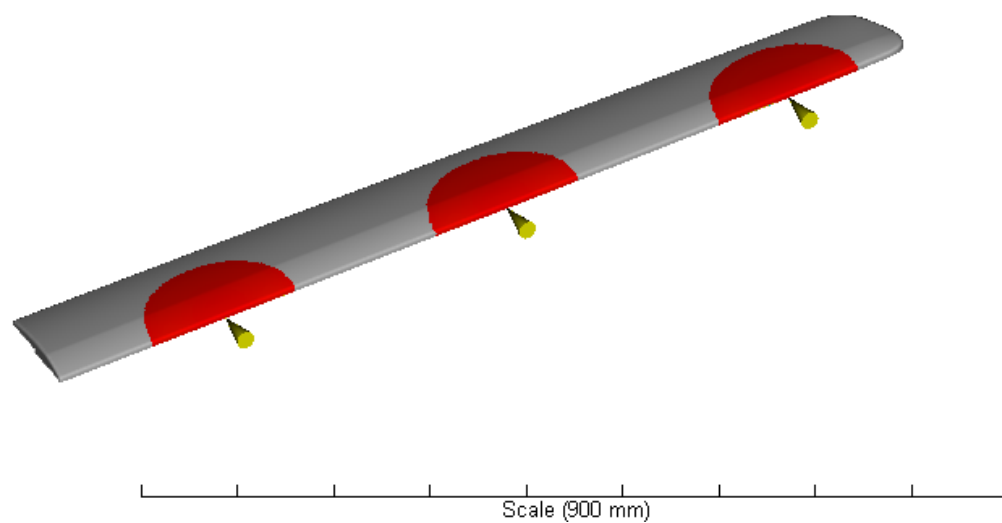
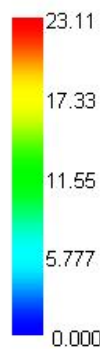


Рис. 3.15. Температура расплава средняя

Pressure

Time = 2.092[s]

[MPa]



Autodesk

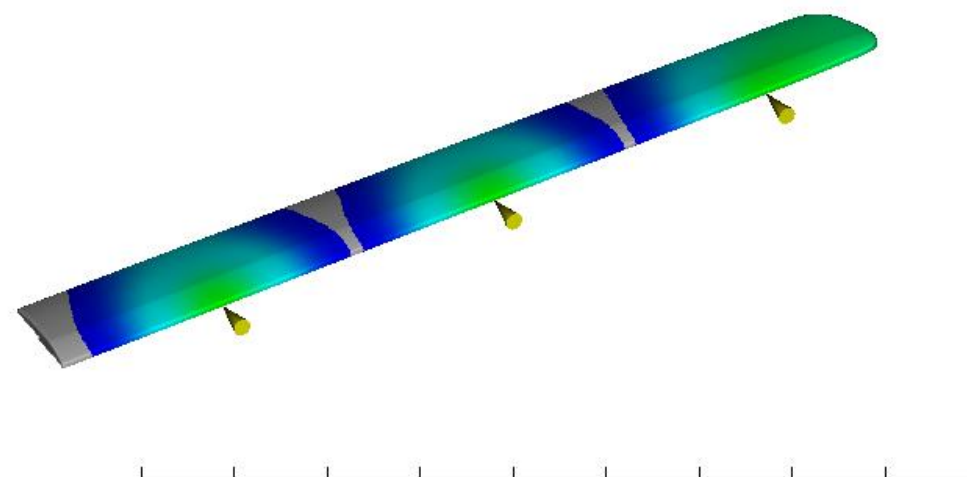


Рис. 3.16. Давление

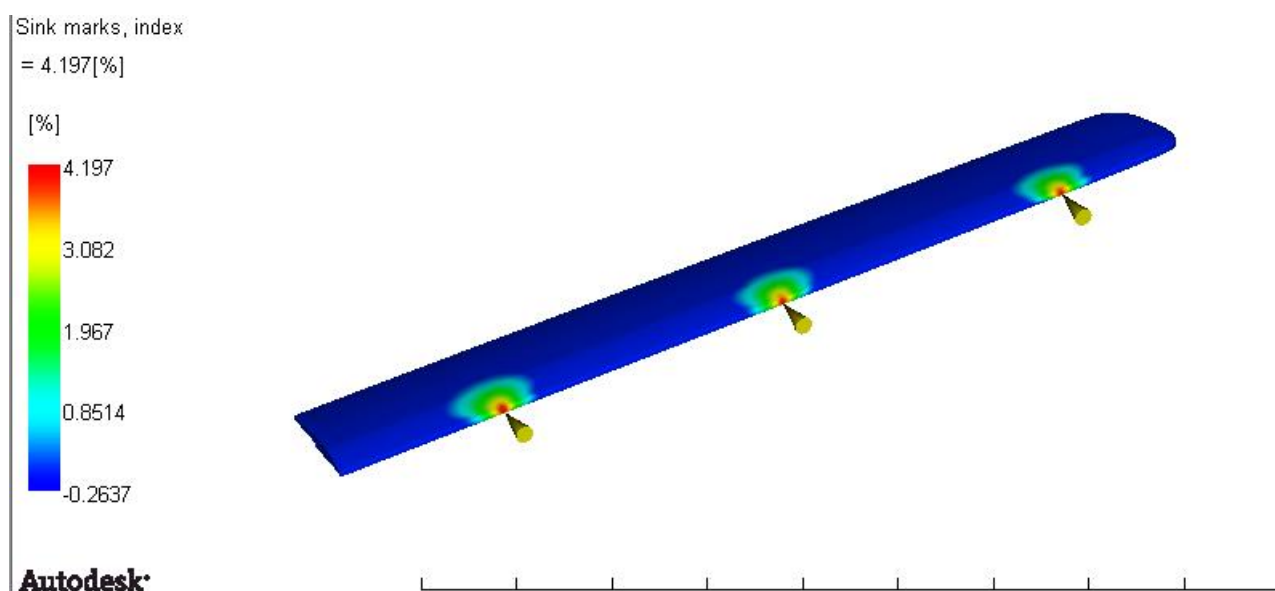


Рис. 3.17. Места возможных утяжек

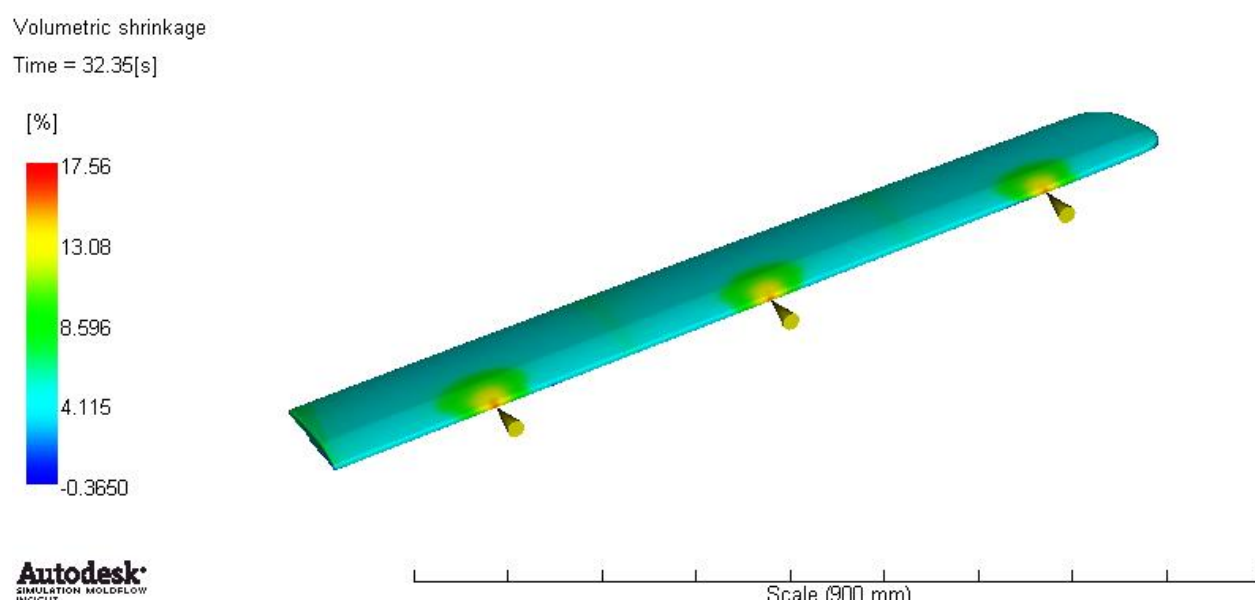


Рис. 3.18. Объемная усадка

Weld lines
= 135.0[deg]

[deg]

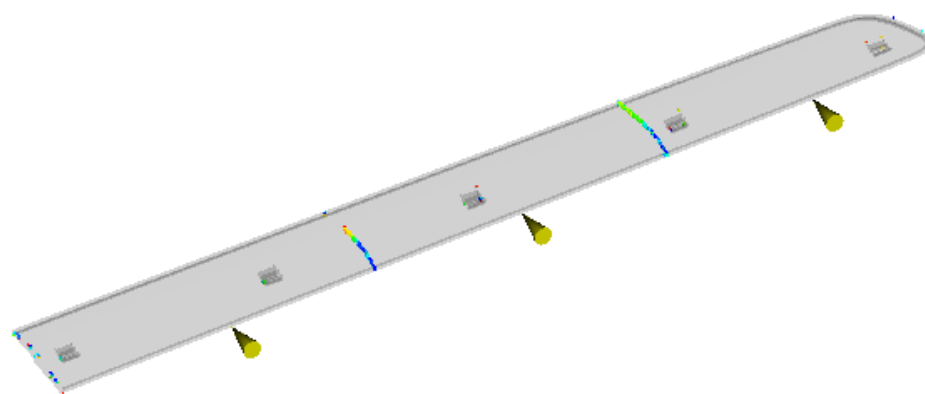


Рис. 3.19. Линии спая

Deflection, all effects:Deflection
Scale Factor = 1.000



Рис. 3.20. Коробление

3.3 Устранение дефекта коробление

Как показал анализ проливаемости в Mold Flow, в конструкции данной детали есть определенные проблемы. Рассмотрим устранение дефекта на примере данных анализа коробления. Данный дефект не допустим для деталей, т.к. влияет на итоговые размеры и воспринимаемое качество детали.

Чтобы устранить данный дефект, было принято решения о введении ребер жесткости на краях детали.

В результате была получена ММ с данной доработкой (рис. 1.1)

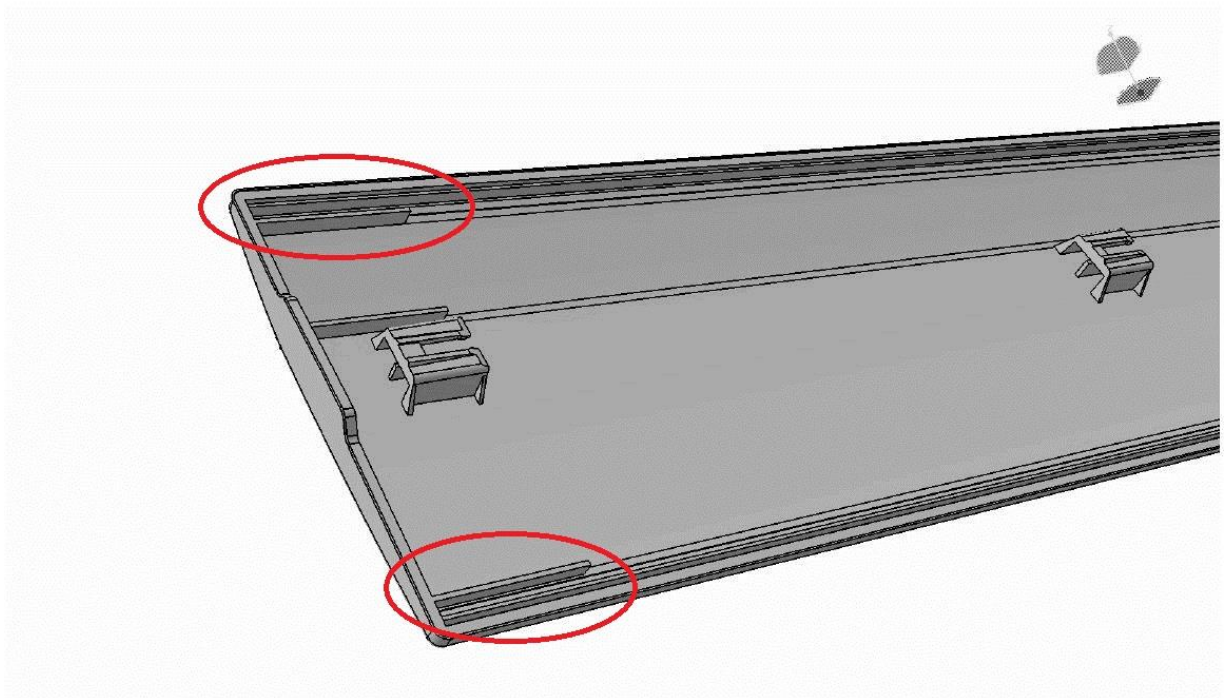


Рис. 3.21. Деталь после доработки

Проведем повторный анализ коробления с помощью Mold Flow, и посмотрим, как изменится картина после доработки детали.

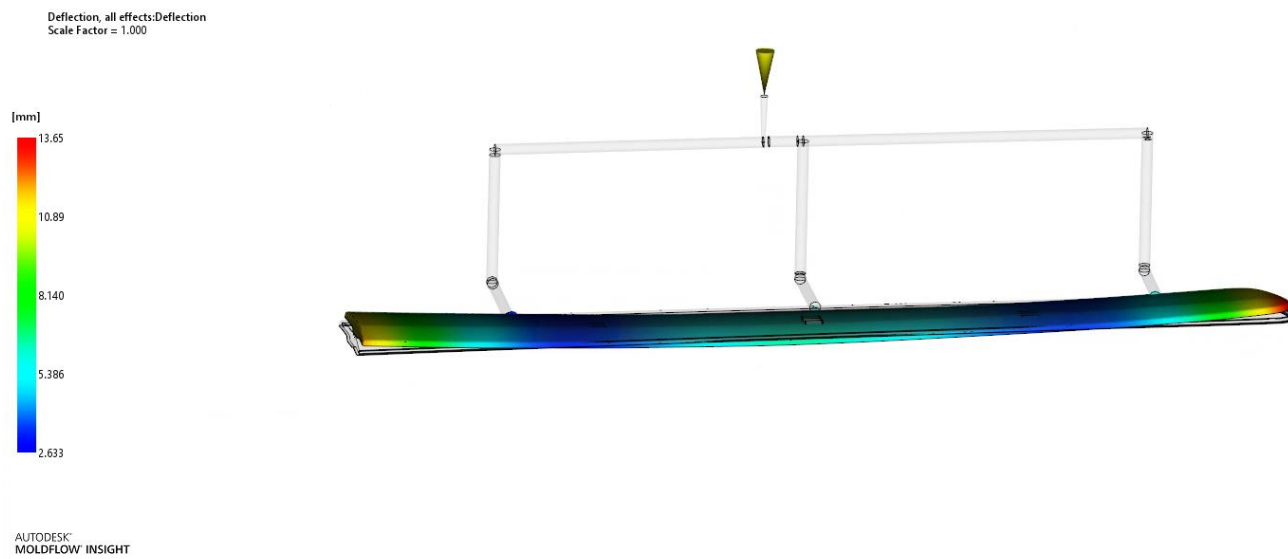


Рис. 3.22. Результат анализа после доработки

После сравнения полученных результатов, очевидно, что благодаря введению ребер, нам удалось уменьшить данный дефект почти в 2 раза, с 23 мм до 1 мм на концах детали.

4.1 Сравнение результатов анализ в продуктах **Mold Flow** и **Moldex 3D**

Данные CAE системы позволяют сэкономить большое количество времени на доработках деталей и остратки, в связи с возможностью еще на раннем этапе проектирования изделия, получить информацию о возможных дефектах детали и потенциальных проблемах при ее изготовлении.

Модуль Moldex 3D демонстрирует быструю скорость расчёта и возможность интеграции в CAD систему, что помогает сосредоточить необходимые инструменты для конструктора в одном ПО.

Данный продукт подходит больше разработчикам оснастки, т.к. на его результатах помогают:

- Прогнозировать развитие объёмного фронта расплава с целью визуализации заполнения литевой формы;
- Рассчитывать пространственные распределения температуры и давления;
- Предсказывать расположение линий спая;
- Прогнозировать возможные дефекты, вызываемые захваченным газом;
- Рассчитывать давление впрыска и оценивать требуемое усилие смыкания;
- Оценивать схему расположения и типы литниковых каналов, чтобы минимизировать затрачиваемый объём материала и достичь балансировки литниковой системы;
- Оптимизировать расположение и размеры впускных литников, чтобы минимизировать наличие линий спая и достичь сбалансированного заполнения формы.
- Оптимизировать параметры процесса на стадии заполнения формы.

Mold flow же в свою очередь предоставляет большой объем выходных данных и подходит как помощник проектировщику изделия, так и пресс форм поскольку дает возможность избегать дефектов на стадии разработки за счет изменения конструкции изделия, что является огромным плюсом для конструктора и так же предоставляет всю информацию о процессе литья и его оптимизации разработчику пресс форм.

Сравнительная таблица выходных данных представлена ниже. (Табл. 4.1).

Табл. 4.1 Сравнение некоторых результатов Mold Flow и Moldex 3D

	Время заливки	Линейное расширение	Линии спая	Максимальная температура
Moldex 3D	2,128с	2,303%	Места линий спая	232,6С
Mold Flow	2,479с	2,975%	совпадают	231,2С

Таким образом можно сделать вывод:

Заключение

Многие машиностроительные предприятия связывают свое будущее с внедрением и использованием CAD/CAM/CAE систем для предотвращения дефектов и снижения затрат как на этапе проектирования, так и во время производственного цикла.

1. Разработана методика проектирования изделий из пластмасс на раннем этапе разработки с учетом их технологичности.
2. Разработаны методы устранения коробления и других дефектов на стадии проектирования.
3. Благодаря использованию программных продуктов удалось повысить качество, сократить сроки изготовления детали и снизить трудоемкости проектирования деталей и затраты на прототипирование.

Список используемой литературы

1. Освальд, Т. Литье пластмасс под давлением/ Т. Освальд, Л.-Ш Тунг, П. Дж. Грэмманн- Профессия, 2006 – 308с.
2. Беккер М.Б. Литье под давлением / М.Б. Беккер - Высшая школа , 1978 -349
3. Черников Д.Г. Моделирование процессов литья /Д.Г. Черников, В.Г. Смелов, Р.А. Вдовин, А.Г. Шляпугин. — Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2012. — 183 с.
4. Кацнельсон М. Ю., Балаев Г. А. Пластические массы. Свойства и применение/ Справочник /- М.: Химия, 1978 – 567 с.
5. Стеинко В. Оптимизация литья пластмасс под давлением/ Стеинко В. – Профессия, 2012 -620.
6. Фишер Дж . Усадка и коробление отливок из термопластов / Фишер Дж – Профессия, 2009 -424.
7. Давид О. Казмер. Разработка и конструирование литьевых форм / Казмер. Давид. О – Профессия, 2011-464.
8. Горюнов И.И. Пресс-формы для литья под давлением. Справочное пособие / И.И. Горюнов - Машиностроение 1973-256с.
9. Глазман Б.С. Автоматизированное и роботизированное литье под давлением /Б. С. Глазман - Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2014 - 137с.
10. Категоренко Ю.И. Автоматизированная система расчета технологических параметров при литье под регулируемым давлением / Ю. И. Категоренко - Екатеринбург: РГППУ , 2013 - 103 с
11. Садова. А.Н. Проблемы выявления и устранения возможных дефектов в процессе получения изделий из реактопластов прессованием и литьем под давлением / А. Н. Садова – Казань ; КНИТУ, 2011-246с.

12. Хохлов С.В. Компьютерное моделирование теплового и напряженно-деформированного состояния непрерывнолитой заготовки/ С.В. Хохлов, О.В. Мартынова - Тула, 2002 - 189с.
13. Temperierung von Spritzgusswerkzeugen durch vollständig integrierte induktive Beheizung / Michael Zülch Stuttgart: Inst. für Konstruktion u. Fertigung in der Feinwerktechnik der Univ. Stuttgart , 2011 – 129.
14. Rosato.D.V. Injection molding handbook / / Ed. by Dominick V. Rosato [et al.]. - 3. Ed. Boston [etc.]: Kluwer acad. publ., Cop. 2000 - XXXI, 1457.
15. Olmsted, Bernie A. Practical injection molding / Bernie A. Olmsted, Martin E. Davis New York Basel : Dekker , Cop. 2001 - XII, 217
16. Почекуев, Е. Н Проектирование в Siemens NX технологических процессов изготовления деталей листовой штамповкой: электронное учеб.- Метод, пособие / Е.Н. Почекуев, П.А. Путеев, П.Н. Шенбергер. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2014.- 1 электрон, опт. Диск.
17. Мэллой Р.А Конструирование пластмассовых изделий для литья под давлением/ Р.А.-Мэллой Профессия, 2006-512с.
18. Гордон Дж. М. Управление качеством литья под давлением / М. Дж. Гордон – Научные основы и технологии, 2012 -823с.
19. Ложечко Ю.П. Литье под давлением термопластов / Ю.П. Ложечко – Профессия, 2010 -224с.
20. Авери Дж. Специальные технологии литья под давлением / Дж. Авери, Кельвин. Т, Т. Окамото – Профессия, 2009-416с.
21. Гастров. В. Конструирование литьевых форм в 130 примерах / В. Гастров, А. П. Пантелеева – Профессия, 2006-336с.
22. Бихлер М. Параметры процессов литья под давлением / М. Бихлер – Demag Plastservice, 2001-129с.
23. Белопухов А. К. и др. Литье под давлением. Под ред. А. К. Белопухова. М., «Машиностроение», 1975.
24. Видгоф Н.Б. Точечное литье термопластов. ЛДНТП, 1961.

25. В.В. Абрамов. Состояние и перспективы развития промышленности переработки пластмасс в России. Пластические массы, 1999, № 5.
26. Кондрашенко В.И. Компьютерное материаловедение полимеров. Том 1. Атомно-молекулярный уровень М.: Научный мир, 1999. – 544 с.
27. Campo E.A. Complete Part Design Handbook. For Injection Molding of Thermoplastics/ E.A Campo -Hanser Publications, 2006 -870с.
28. Tadmor Z. Principles of Polymer Processing /Z. Tadmor Wiley-Interscience; 2 editions. 2006-984 с
29. Вольфсон С.И. Прогрессивные технологии переработки динамических термоэластопластов / С.И. Вольфсон – Казань, КГТУ, 200- 40с.
30. Лейкин Н.Н. Конструирование пластмассовых прессованных изделий /Н.Н. Лейкин – Изд. Машиностроение, 1964.-220с
31. Douglas M. Bryce Plastic Injection Molding: Manufacturing Process Fundamentals / Douglas M.B Society of Manufacturing Engineers, 1996 – 227с
32. Jerry Fischer Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage / Fischer.J William Andrew, 2003- 263с.