

В настоящее время многие виды потребительских товаров продают в пакетах, укрепленных на вешалку, плечики. Существует большое количество вариантов подобных изделий, изготовленных, как правило, из наиболее доступных, дешевых полимерных материалов или вторичного сырья: полипропилен, полиэтилен, их сополимеров, смесей и др. Оптимальным способом их формования является литье под давлением. Вместе с тем, очень часто, эти изделия имеют некачественный вид, искаженную форму, дефекты (например: коробление, утяжины, следы потоков, стыковые швы и пр.), что свидетельствует о недостаточной продуманности конструкции пресс-формы и нарушении ряда важных принципов конструирования и оптимизации параметров технологического процесса формования. Основной задачей данной работы является компьютерное моделирование процесса изготовления изделия «вешалка-плечики» двух видов (рис. 1) методом литья под давлением с целью изучения влияния параметров процесса литья, особенностей конструкции изделия и особенностей конструкции технологической оснастки на качество получаемого изделия, проведение оптимизации процесса литья, выявление причин появления брака, разработка обоснованных компромиссных решений для его устранения. Основное отличие этих вариантов наличие ребер жесткости по всему периметру (изделие 1), призванное повысить прочность изделия при меньшем весе, или их отсутствие (изделие 2). Для анализа процесса изготовления изделий использовалась программа Autodesk MoldFlow Insight 2012 [1-3]. Одним из наиболее существенных дефектов изделий данного типа является неравномерность усадки в разных местах изделия, которая может вести к короблению изделия и ухудшению его внешнего вида. Данный дефект связан с особенностями заполнения расплавом полимера различных областей оформляющей полости и определяется особенностями геометрии изделия, а также выбором точки впуска расплава в оформляющую полость. а б Рис. 1 – Изделие «вешалка»: а) вариант 1; б) вариант 2 Другой дефект, который может иметь место для данных изделий – неравномерность усадки по ширине изделия, приводящая к образованию утяжин, причем степень проявления утяжин в разных точках изделия не постоянна. Причиной такого дефекта является особенность заполнения расплавом полимера оформляющей полости, подпитки расплавом при выдержке под давлением и охлаждения расплава в каждой точке изделия. Следует отметить, что все эти дефекты наиболее сильно проявляются для кристаллизующихся полимеров, таких как полиэтилен, полипропилен, имеющих значительно большую усадку, чем у аморфных полимеров. Для проведения анализов из базы данных MoldFlow были выбраны полимеры: кристаллический полимер – полипропилен фирмы Honam Petrochemical Company марки J-370 (показатель текучести расплава 35 г/10 мин., температура 230°C, масса груза 2.16 кг), и аморфный полимер – ударопрочный полистирол фирмы Chi Mei Corporation марки Polyrex PG-33 (показатель текучести расплава 8 г/10

мин., температура 200°C, масса груза 5 кг). Твёрдотельные модели изделий были переданы в Autodesk MoldFlow Insight, где по ним были построены поверхностные сетки конечных элементов для выполнения анализа с использованием метода Dual-Domain [1], сетки были проверены на наличие дефектов и исправлены с помощью соответствующих инструментов программы. Перед проведением анализа формования изделия необходимо было определить оптимальное место впуска расплава в оформляющую полость, то есть расположить впуск таким образом, чтобы все потоки расплава в полости заполняли отливку равномерно, с наименьшим перепадом давления, что частично устраняет причины возникновения в изделии таких дефектов, как колебание усадки и коробление. Анализ оптимальности местоположения впуска был выполнен при помощи “быстрого” анализа Gate Location MoldFlow Insight. Результаты анализа выдаются в виде градиентной цветовой закрашки (рис. 2). Наилучшему местоположению впуска соответствует синяя область, красная показывает нежелательное место впуска расплава. В данном случае, как видно из рис. 2, впуск расплава целесообразней расположить в центральной части изделия. В дальнейшем, с учетом этого обстоятельства, с помощью средств построения MoldFlow Insight были построены литниковые системы двух вариантов: с трапецеидальным разводящим каналом и тунельным и точечно-отрывным впусками для обоих вариантов конструкции вешалок (рис. 3). Следует заметить, что подобные впуски позволяют сократить время цикла несмотря на некоторое удорожание формы за счет автоматического отделения литникового остатка от изделий в момент раскрытия. Размеры литниковых систем приведены в таблице 1.

Вид канала	Вариант впуска №1	Вариант впуска №2
Центральный	Диаметр D <sub>1</sub>	Диаметр D <sub>2</sub>
Разводящий	Ширина А	Ширина В
Впускной	Высота	Длина
Впускной	Диаметр D <sub>1</sub>	Диаметр D <sub>2</sub>
Впускной	Длина	Длина

Для оценки влияния технологических параметров на качество изделия таких факторов как время заполнения, температуры расплава, температура формы был использован полный анализ Fill/Flow/Warp (заполнение, выдержка под давлением, коробление) без системы охлаждения. В данном виде анализа моделируются все стадии литья, при этом предполагается что охлаждение происходит по всей поверхности равномерно. В качестве характеристики, по которой оценивался процесс литья, использовалась объемная усадка при извлечении (рис. 3а), при этом оценивалась усадка в зоне 1 (соответствует минимальной усадке), и в зоне 2 (максимальная усадка). Так же оценивалось максимальное коробление изделия (рис. – 3б), синей зоне соответствует минимальное коробление, красной – максимальное. При оценке влияния того или иного фактора все остальные факторы фиксировались.

а б Рис. 3 – Варианты расположения литниковой системы: а) вариант 1; б) вариант 2 С целью определения влияния времени

заполнения на процесс формования изделия были выполнены анализы Fill/Flow/Warp для времен заполнения в диапазоне 0.5 – 1.5 секунд. Анализы проводились при одинаковых условиях: температура формы 25°C, температура расплава 220°C для J-370 и температура формы 35°C, температура расплава 220°C для PG-33. В исследованном диапазоне наблюдается снижение максимального давления литья при увеличении времени заполнения для кристаллического полимера J-370, для аморфного PG-33 наблюдается некоторое увеличение давления литья. При этом вязкость расплавов данных полимеров при температуре переработки и скоростях сдвига, соответствующих условиям переработки (~1000 с<sup>-1</sup>) практически одинаковая. Увеличение давления литья при увеличении времени заполнения связано с тем, что при больших значениях времен заполнения формы начинает играть роль теплообмен между расплавом и стенками формующей полости, что ведет к увеличению вязкости расплава в удаленных областях оформляющей полости и нарастанию толщины застывшего слоя полимера на стенках формы. Анализ объемной усадки для разных областей изделий (рис. 4) свидетельствует о том, что в интервале времен заполнения 0.5 – 1.5 секунд она существенно не изменяется. Максимальное коробление при увеличении времени заполнения для J-370 практически не изменяется, а для PG-33 несколько снижается, причем более значительно для варианта изделия 2. Следует отметить, что величина объемной усадки, ее разброс в изделии для аморфных полимеров меньше чем у кристаллических полимеров приблизительно в два раза, а максимальное коробление соответственно в четыре раза. Для варианта литниковой системы 2 закономерности изменения объемной усадки и максимального коробления аналогичны варианту 1, однако соответствующие значения несколько ниже. Кроме того объемная усадка, ее разброс и коробление несколько больше в изделии 1, имеющем ребра жесткости по периметру изделия (рис. 1).

а б Рис. 4 – Области оценки процесса формования изделий: а) объемная усадка при извлечении изделия; б) коробление изделия, (масштаб коробления x10)

Учитывая, что усадка, ее разброс и максимальное коробление изменяются не очень сильно, можно рекомендовать время переработки 0.5 – 1.5 секунд для всех исследованных полимеров и вариантов прессформы. С целью определения влияния температуры расплава на качество изделия был проведен анализ Fill/Flow/Warp, при этом температура расплава варьировалась во всем рабочем интервале значений для данного полимера, а величины времени заполнения, температуры формы, времени и давлению подпитки оставались постоянными. При повышении температуры расплава наблюдается снижение максимального давления литья в форме для всех конфигураций изделий, литниковых систем и полимеров, что связано с происходящим при этом снижением вязкости расплава. При увеличении температуры расплава усадка для всех полимеров практически не изменяется. Максимальное коробление при этом снижается, причем наиболее существенное снижение максимального коробления наблюдается у

ударопрочного полистирола PG-33 (8-12% для изделия 1 и 30-33% для изделия 2, при изменении температур от 1800С до 2600С), у полипропилена J-370 уменьшение максимального коробления менее значительно (3-6% для изделия 1 и 2-5% для изделия 2, при изменении температур от 2000С до 2700С), при этом большие значения изменения максимального коробления наблюдаются для изделия 2 для обоих вариантов литниковой системы. Повышение температуры расплава несколько увеличивает время охлаждения расплава (в среднем на 10 %), что увеличивает длительность цикла. Таким образом, повышение температуры расплава способно снизить максимальное коробление изделий, особенно из ударопрочного полистирола. При этом необходимо учитывать некоторое снижение производительности, вследствие увеличения времени охлаждения расплава. С целью определения влияния температуры формы на качество изделия были проведены анализы Fill/Flow/Warp для всех рассматриваемых полимеров с температурой формы в интервале от 25°С до 70°С, с фиксированными значениями времени заполнения, температуры расплава и времени и давлении подпитки. В обоих случаях расположения впускного литника для полипропилена J-370 на обоих вариантах изделия при увеличении температуры формы наблюдается увеличение максимального коробления изделия (на 17-20%). Для ударопрочного полистирола PG-33 наблюдается менее значительное изменение для варианта изделия 1 (2-3%) и небольшое уменьшение (2-4%) для варианта 2. Для литниковой системы №1 увеличивается на 17%, в случае литниковой системы №2 увеличивается на 19%. Следует отметить, что при увеличении температуры формы происходит существенное увеличение времени охлаждения (~20%). Анализ влияния системы охлаждения был проведен с двумя вариантами ее расположения – продольно и поперечно плечикам вешалок – два канала, с диаметром 10 мм и расстоянием до поверхности оформляющей полости 25 мм. Для учета влияния системы охлаждения в MoldFlow Insight необходимо выполнения анализа Flow/Cool/Warp, позволяющем рассчитывать теплообмен с учетом системы охлаждения. Как показало сравнение с аналогичными результатами анализа Fill/Flow/Warp (равномерный отвод тепла по всей поверхности оформляющей полости), при наличии системы охлаждения несколько снижается усадка, ее разброс, а также максимальное коробление. Наиболее значительно это имеет место при расположении каналов охлаждения перпендикулярно плечикам вешалки. При этом имеет место снижение времени охлаждения (на 20 – 30 %).