

Точность изделий из полимерных материалов – наиболее трудный этап в сложном процессе проектирования изделия. Поскольку детали из полимерных материалов и формирующий их инструмент взаимозависимы, вопрос универсальности формообразующих элементов для полимеров с различным колебанием усадки приобретает особую важность. Зачастую это касается оснастки, в которой получают образцы для различных физико-механических испытаний, как это отмечалось в работе [1]. Использование программ компьютерного инжиниринга для моделирования процесса формования изделий из пластмасс литьем под давлением позволяет увидеть все его особенности, оценить возможные причины появления брака изделий, предложить способы их устранения еще на стадии проектирования изделия и оснастки для его получения. Следует отметить, что такой анализ изготовления изделия выполняется с использованием базы данных свойств для большого количества полимеров, что дает возможность производить оценку влияния выбора того или иного полимера на особенности формирования изделия. В работе представлен анализ изготовления образцов для физико-механических испытаний – лопаток (рис. 1). Данное изделие изготавливают согласно ГОСТ 11262-80 и предназначено для определения прочностных и деформационных характеристик целого ряда термопластов. Формование изделий производится в литьевой стационарной форме, с одной плоскостью разъема, двух гнездной, форма установлена на термопласт автомат YIZUMI (серии A2). Формообразующие размеры определены с учетом переработки полипропилена. Учитывая часто возникающую потребность в формообразовании образцов из других термопластов (полиэтилен, полистирол, их сополимеры и пр.) была поставлена задача: рассмотреть влияние полимеров различной природы на свойства получаемых изделий, обратив наиболее серьезное внимание на усадку и степень проявления утяжин в изделии, и предложить возможные способы улучшения этих показателей. Целью исследований являлась оценка влияния технологических факторов процесса формования на достижение максимально возможной точности размеров формируемых образцов из выбранных полимеров при их изготовлении в одной и той же оформляющей полости. Для анализа процесса изготовления изделий использовалась программа Autodesk MoldFlow Insight 2012 [2]. Рис. 1 – Изделие «лопатка» Для проведения анализов были выбраны полимеры: два вида кристаллических полимеров – две марки полипропилена с различными показателями текучести: Honyam J-370 (показатель текучести расплава 35 г/10 мин., температура 230°C, масса груза 2.16 кг), Honyam JI-360 (показатель текучести расплава 16 г/10 мин., температура 230°C, масса груза 2.16 кг), две марки полиэтилена: Sabic M30053S (показатель текучести расплава 4 г/10 мин., температура 190°C, масса груза 2.16 кг), Sabic M80063S (показатель текучести расплава 21.5 г/10 мин., температура 230°C, масса груза 5 кг), и два аморфных полимера с высокой и низкой вязкостью – ударопрочный

полистирол Nova 564 (показатель текучести расплава 18 г/10 мин., температура 200°C, масса груза 5 кг), и Nova 840 (показатель текучести расплава 18 г/10 мин., температура 200°C, масса груза 5 кг). Твёрдотельная модель изделия была передана в Autodesk MoldFlow Insight, где по ней была построена поверхностная сетка конечных элементов для выполнения анализа с использованием метода Dual-Domain [2], сетка была проверена на наличие дефектов и исправлена с помощью соответствующих инструментов программы. Используя средства построений MoldFlow Insight, построена сетка конечных элементов для литниковой системы и системы охлаждения, аналогичные используемым в реальной форме (рис. 2). Рис. 2 - Сетка конечных элементов для изделия, литниковой системы и системы охлаждения. Для оценки влияния на качество изделия таких факторов, как время заполнения, выдержка под давлением, температура формы и расплава, давление подпитки, а также конфигурация литниковой системы выполнялся анализ FLOW. В данном виде анализа моделируются все стадии литья, при этом предполагается что охлаждение происходит по всей поверхности - равномерно. При рассмотрении результатов анализа основное внимание уделялось объёмной усадке при извлечении изделия, а также разнице в усадке в соседних областях, обуславливающую степень проявления утяжин вдоль продольной оси лопаток. При исследовании влияния времени заполнения на объёмную усадку изделия, были выбраны три области тестирования с максимальным и минимальным значением усадки (области приведены на рисунке 2). При оценке влияния того или иного фактора, остальные факторы фиксировались. С целью определения влияния времени заполнения на процесс формования изделия были выполнены анализы FLOW. Времени заполнения варьировалось в диапазоне 0.3 – 4 секунд. На основе изучения проведенных анализов были проведено сравнение изменения максимального давления литья, температуры фронта потока расплава в начале и конце заполнения, а также объёмной усадки при извлечении изделия и разницы в объёмной усадке для указанных областей (рис. 2). Следует обратить внимание на зависимость максимального давления литья от времени заполнения. Для полипропилена Honyam J-370 при соответствующих временах заполнения, давление большее чем у Honyam JI-360. В то же время значение ПТР для этого полимера больше (J-370=35 г/10мин, JI-360=18 г/10мин), таким образом на первый взгляд кажется, что полипропилен J-370 менее вязкий и должен иметь меньшее давление литья. Однако если обратить внимание на зависимость вязкости от скорости сдвига, мы увидим, что кривые описывающие данную зависимость имеют пересечение при 100 1/сек. Таким образом вязкость полипропилена J-370 при низких скоростях сдвига, при которых определяется ПТР меньше чем у полипропилена JI-360, а в области скоростей сдвига порядка 1000 1/с она становится больше и таким образом полипропилен J-370 в условиях переработки ведет себя как более вязкий полимер. Для остальных полимеров

выполняется правило – больше ПТР, меньше максимальное давление литья. В исследованном диапазоне наблюдается снижение максимального давления литья при увеличении времени заполнения для всех кристаллических полимеров. Для аморфных наблюдается небольшое увеличение, что говорит о том что в этом случае мы находимся в области минимальных давлений U-образной кривой зависимости максимального давления литья от времени заполнения. С увеличением времени впрыска наблюдается увеличение разности температур фронта потока расплава в начале и конце заполнения. Это связано с тем, что при больших значениях времен заполнения формы начинает играть роль теплообмен между расплавом и стенками формующей полости. Следует отметить, что для кристаллических полимеров этот прирост более существенен. Анализ усадки и ее значений для разных областей изделия свидетельствует о ее стабильности в интервале времен заполнения 0.3 - 2 секунд и небольшом росте при дальнейшем увеличении времени. Объемная усадка, а также разброс усадки в изделии для аморфных полимеров меньше чем у кристаллических. Кроме того, полимеры с большей вязкостью имеют большую усадку. Так если сравнивать марки полипропилена: Honam J-370 (ПТР=35 г/10 мин, VI(240)0070) имеет значение усадки 10-14 %, а Honam JI-360 (ПТР=18 г/10 мин, VI(240)0047) – 6-9%. Стоит отметить различие в подпитке в разных зонах, так у Honam J-370 различие в усадке между зоной вблизи впуска и в удаленной части лопатки больше чем у Honam JI-360 как видно из рис. 3, это объясняется меньшей эффективностью подпитки удаленной области лопатки вследствие большей вязкости расплава полимера Honam J-370. Учитывая, что усадка и ее разброс изменяются не очень сильно, можно рекомендовать время переработки 0.5 – 2 с. для всех исследованных полимеров. а) б) Рис. 3 – Зависимость объемной усадки от времени (время впрыска 2с., $T_f=25^{\circ}\text{C}$, $T_p=220^{\circ}\text{C}$) для: а) Honam J-370, б) Honam JI-360 С целью определения влияния температуры расплава на качество изделия был проведен анализ Flow для рассматриваемых марок полимеров. Температура расплава варьировалась, при постоянных значениях времени заполнения, температуры формы, времени и давлении подпитки. При повышении температуры расплава наблюдается снижение максимального давления литья в форме для всех полимеров, что связано с происходящим при этом снижением вязкости расплава. При увеличении температуры расплава усадка для всех полимеров повышается. Причем наиболее существенный рост усадки у полипропилена (Honam J-370: 7-14 %, Honam JI-360: 5-11 %), а также у полиэтилена (Sabic M30053S: 6-11 %, Sabic M80063S: 5-11 %). Для ударопрочного полистирола рост усадки при повышении температуры расплава менее значительный. Разброс усадки в тестируемых зонах, обуславливающих степень проявления утяжин, наиболее существенен для кристаллических полимеров – около 6 %. Для аморфного ударопрочного полистирола разброс усадки составляет 2 %. Следует отметить, что повышение температуры расплава

несколько увеличивает время охлаждения расплава в среднем на 10 %, что, увеличивает длительность цикла. Таким образом, учитывая, что усадка и ее разброс в изделии при повышении температуры расплава растут для всех исследованных полимеров, изделие лопатка следует формовать при минимально допустимых для каждого вида полимера температурах расплава. С целью определения влияния температуры формы на качество изделия были проведены анализы Flow для всех рассматриваемых полимеров с температурой формы в интервале от 25°C до 70°C, с фиксированными значениями времени заполнения, температуры расплава и времени и давлении подпитки. Максимальное давление в форме в процессе заполнения несколько снижается однако значительно в меньшей степени, чем при повышении температуры расплава. Для кристаллических полимеров усадка с увеличением температуры формы с 25°C до 70°C повышается: у полипропилена Honam J-370 с 9 до 15 %, у Honam JI-360 с 6 до 10 %, у полиэтилена Sabic M30053S и Sabic M80063S с 6 до 11%; для ударопрочного полистирола Nova Chemicals 840 с 4 до 6 %, ударопрочного ПС марки Nova Chemicals 564 с 3 до 4,5 %. При этом разброс в усадке также увеличивается но в меньшей степени: для кристаллических полимеров составляет 4%, для аморфных – 2%. Следует отметить, что при увеличении температуры формы происходит существенное увеличение времени охлаждения. Выдержка под давлением служит для компенсации объемной усадки при охлаждении изделия в форме. Время выдержки под давлением зависит от конструктивных особенностей формы, системы охлаждения, параметров переработки материала и определяется временем полного застывания расплава в каком-либо участке литниковой системы или в формирующей полости. Однако эффективность процесса подпитки во многом определяется давлением выдержки. Для оценки влияния данного параметра на качество изделия был проведен анализ Flow при различных давлениях подпитки и фиксацией остальных условий: времени заполнения, температур расплава и формы. Как следует из результатов анализов, с повышением давления выдержки наблюдается снижение объемной усадки для всех марок исследуемых полимеров. Однако степень проявления утяжин при этом увеличивается. Это является следствием того, что усадка по краям лопаток (области с минимальными значениями усадки) уменьшается значительно быстрее, чем в областях в центре лопаток (области с максимальными значениями усадки) (рис.4). Следует отметить, что наиболее существенное увеличение происходит в удаленных от впуска расплава областях, что связано с меньшей эффективностью подпитки для этих зон. Таким образом, увеличение давления выдержки сопровождается снижением значений усадки, но в то же самое время степень проявления утяжин несколько возрастает, поэтому существенное повышение давления выдержки нецелесообразно. Система охлаждения форм для литья под давлением ответственна за равномерное и интенсивное

охлаждение отливки по всему объему. Одновременное окончание охлаждения отливки по всей ее поверхности устраняет одну из главных причин коробления. Следовательно, основные требования, предъявляемые к конструкции систем охлаждения, заключаются в обеспечении однородного температурного поля при максимальном отводе тепла из зоны отливки и минимальном – из зоны литниковых каналов. Для учета влияния системы охлаждения в MoldFlow Insight необходимо выполнения анализа FLOW/COOL. Была построена система охлаждения, аналогичная системе реальной формы (рис. 2). Рис. 4 - Объемная усадка при извлечении изделия в системе Moldflow Как показало сравнение с аналогичными результатами анализа FLOW (равномерный отвод тепла по всей поверхности оформляющей полости), при наличии системы охлаждения несколько возрастает усадка и ее разброс в изделии. Данный вид зависимости обусловлен тем, что данная система охлаждения охлаждает не только изделие, но еще более эффективно охлаждает область формы в которой находится литниковая система (рис. 2) Таким образом при наличии системы охлаждения усадка и ее разброс, приводящий к появлению утяжин несколько увеличиваются. На основании проведенных исследований можно сформулировать следующие рекомендации для получения качественных изделий:

- рассмотрено влияние времени заполнения, показано, что в исследованном диапазоне наблюдается незначительное увеличение усадки. Рекомендуется использовать диапазон времени заполнения от 0.5 до 2.0 сек;
- повышение температуры расплава и формы ведет за собой повышение усадки для всех рассматриваемых полимеров, кроме того возможен небольшой рост степени проявления утяжин. Также увеличивается время охлаждения изделия (особенно при повышении температуры формы). Поэтому рекомендуется использовать минимально возможную температуру как формы так и расплава для достижения наилучшего качества;
- увеличение давления выдержки сопровождается снижением значений усадки, повышая качество изделия, но в то же самое время степень проявления утяжин несколько возрастает;
- произведена оценка работы системы охлаждения; обнаружено, что с учетом системы охлаждения степень проявления усадки несколько выше, чем при равномерном охлаждении формы.