

УДК 532.542

О.Н. РЕПАЛОВА

Национальный научный центр Харьковский физико-технический институт, Харьков

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИГРАНИЧНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ ДВИЖЕНИИ НЕЛИНЕЙНО-ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ПО ТРУБОПРОВОДАМ И КАНАЛАМ

Описан эксперимент по визуализации приграничных процессов кристаллизации движущейся нагретой неньютоновской жидкости у холодной стенки при ее движении под давлением. Такие течения могут реализовываться в процессе работы подающих магистралей и в технологических процессах литья полимеров. В качестве нелинейно-вязкой жидкости исследовался полипропилен, обладающий псевдопластическими свойствами. Получены зависимости роста пристеночного слоя от времени, температурные режимы на границе, и изменение давления в процессе запрессовки при различных начальных температурах жидкого ядра потока. Описаны технические особенности реализации течения с заданными для исследования условиями.

Ключевые слова: неньютоновские жидкости, нелинейно-вязкие жидкости, граница раздела фаз, полимеры, кристаллизация полимеров, псевдопластические свойства

Введение

Эксперименты по визуальному наблюдению процессов происходящих при течении вязких жидкостей по каналам и трубопроводам имеют большое значение для выяснения процессов происходящих у «холодной» стенки при контакте с ней нагретой жидкости. В случае сильных перепадов температур между ядром течения и стенкой трубопровода на последней будет возникать корка кристаллизованной неподвижной фазы, которая может расти, со временем приводя к зарастиванию проходного сечения, либо быть устойчивой сохраняя некую равновесную толщину [1]. Течения такого рода характерны для работы подающих магистралей в условиях холода, многих технологических процессов – таких как литье и переработка полимеров.

Экспериментальные методы наблюдения подобных течений сопряжены с техническими трудностями. К ним относятся организация перепада температур для интенсификации тепловых процессов в интересующем направлении и выполнение канала с прозрачной стенкой, которая могла бы выдерживать давление жидкости. Поэтому проведение подобных экспериментов интересно не только с точки зрения получения собственно результатов, но и отладки самой экспериментальной методики и аппаратуры.

Схема эксперимента

С целью отладки техники эксперимента и получения экспериментальных данных по поведению неньютоновских жидкостей при наличии процессов

пристеночной кристаллизации был проведен эксперимент с течением псевдопластической жидкости (расплавленного полипропилена). Схема эксперимента показана на рис. 1. Течение неньютоновской жидкости происходит по узкому каналу, выполненному в плите специальной пресс-формы 1. Канал выполнен открытым, для того чтобы текущая жидкость свободно выходила в направлении 4, приложенное давление имело линейный характер спада и течение имело паузейлев профиль скорости. Верхняя часть канала закрыта прозрачным стеклом 2, которое позволяет вести видеосъемку процесса течения с помощью цифровой камеры 10, и которое способно выдерживать литьевое давление при впрыске. Для измерения граничных тепловых режимов на металлической стенке канала установлена термопара 6, на нижней границе стекла установлена

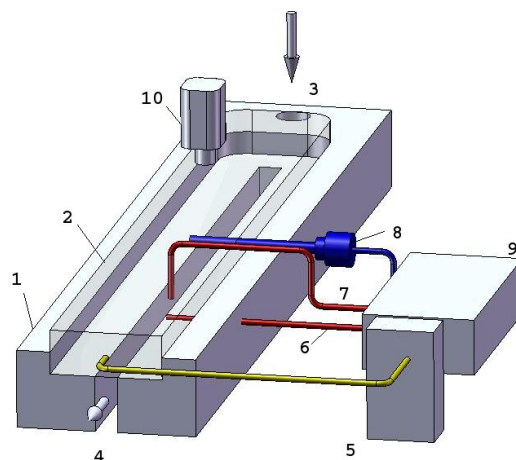


Рис. 1. Схема эксперимента

термопара 7. Обе термопары подсоединены к регистрирующему устройству 9. Датчик давления 8 соединен медной трубкой с каналом и также подсоединяется к блоку 9. Впрыск расплавленного материала осуществляется в точке 3 через сопло литьевой машины. С помощью блока 5 и через оптоволоконный кабель осуществляется подсветка канала для улучшения качества видеосъемки.

Общую схему эксперимента можно описать следующим образом. Во время впрыска горячая нелинейно-вязкая жидкость протекает по каналу, контактируя с холодной стенкой пресс-формы. За счет процесса кристаллизации вдоль этой стенки образуется пристеночный кристаллизованный неподвижный слой. Наличие этого слоя, динамика изменения его толщины, скорость потока в канале контролируются с помощью видеозаписи. Для облегчения визуального наблюдения используются визуализирующие частицы - мелкозернистые твердые добавки в расплавленную массу потока. Течение неньютоновской жидкости происходит до полной остановки течения, т.е. закупорки канала из-за кристаллизации полимера. В течение всего времени течения контролируется изменение температур на периферии потока, давление по показаниям датчика литьевой машины (которая обеспечивает впрыск материала в полость канала) и датчика давления, выполняется видеозапись течения. Для выяснения влияния тепловых режимов на процесс роста неподвижного слоя запрессовки повторяются для различных величин температуры ядра потока нелинейно-вязкой жидкости.

Фотография экспериментальной пресс-формы представлена на рис. 2. Верхняя и нижняя плиты сделаны из обычной конструкционной стали, причем закалка, в отличие от общепринятой технологии изготовления оснастки, не производилась. В верхней плите имеется освобождение под крепление оргстекла, толщина которого составляла 12 мм. Канал выполнен чистовой фрезеровкой без последующей обработки поверхности. Ширина канала составляла $h = 3$ мм, высота $s = 10$ мм, длина $l = 150$ мм. Такое соотношение размеров выбиралось из следующих соображений. Соотношение $s \gg h$ необходимо, для того чтобы нивелировать тепловые эффекты по высоте, так как мы изучаем поведение кристаллизационной границы по высоте канала h . Достаточно большая величина l нужна, для того чтобы была возможность производить измерения и видеосъемку на достаточном удалении от точки впрыска, для того чтобы устранить влияние переходных процессов на начальном участке течения. Для равномерности подачи материала к началу канала и отсутствия эффекта «течения по незаполненной полости» переход между точкой впрыска и телом канала выполнен по специальной расширяющейся образующей. Геометрия расширения выбиралась из практического опыта и рекомендаций специальной литературы по конструированию пресс-форм [2]. Точка впрыска на пресс-форме

имела радиусную выборку под сопло литьевой машины, выборка была сделана согласно стандартным технологическим рекомендациям. Видеосъемка производилась короткофокусной цифровой камерой SONY DCR-NC35, расстояние от стекла пресс-формы до объектива составляло не более 3см. Подсветка течения осуществлялась лупой бинокулярной ЛБВО № 88250.

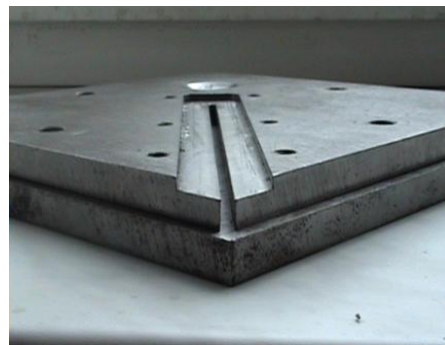


Рис. 2. Фотография экспериментальной пресс-формы

Для замеров температуры и давления использовались термопары ХА, датчик давления – ДТМ-15. Наполнителем переходной трубки к датчику давления служило машинное масло. Для подготовки расплавленного полипропилена и подачи его в канал использовалась стандартная компактная литьевая машина для ручных пресс-форм вертикального типа с подвижным нижним столом и материальным цилиндром объемом 50см^3 . Установленные на ней датчики температуры давления позволяли контролировать температуру расплава и давление на впрыск. В качестве неньютоновской жидкости использовался стандартный полупрозрачный гранулированный полипропилен марки Lipol украинского производства (ТУ 424.1-32292929-003:2007). Характеристики этого материала представлены в табл. 1.

Таблица 1
Характеристики полипропилена Lipol

Текущность расплава, г/10 мин	2,5-4,0
Разброс значений показателя текучести, не более, %	10
Температура размягчения по VICAT при 10 Н, не менее, °С	153
Температура пенетрации по НДТ, °С	93
Плотность, ρ кг/м ³	500

В качестве частиц, визуализирующих течение, была использована мелкая абразивная крошка с размером частиц порядка 0,05 мм. Концентрация визуализирующих частиц в материале составляла не более 2 %, добавка осуществлялась путем равномерного подмешивания перед засыпкой в материальный цилиндр литьевой машины. Количество визуализирующей добавки определялось согласно

аналогии с литьевыми технологиями по добавлению красителей: величина добавки не более 3 % не меняет литьевые характеристики материала.

Анализ результатов

Были выполнены десять запрессовок с различными значениями температуры расплава. Температуры выбирались таким образом, чтобы перекрыть весь тепловой диапазон для данного материала – от минимальной температуры, при которой материал еще сохраняет текучесть, и до максимальной, когда уже начинается деструкция полимера. Кривые изменения температурного режима во время запрессовок показаны на рис. 3. Сравнение температурных зависимостей для стенки и границы стекла показывает, что температуры для металлической стенки канала в два раза превосходят температуры на границе стекла. Таким образом, можно сказать, что достигнуто условие интенсификации теплообмена в изучаемом направлении – по высоте канала. Зависимости для температуры имеют характерный всплеск с последующим понижением, что свидетельствует об интенсивных процессах отдачи тепла от потока к стенке, причем с течением времени теплообмен приближается к стационарному. При повышении температуры расплава значительно повышается и максимально достигаемая температура на стенке. При понижении температуры максимум не столь ярко выражен, и кривая имеет гораздо более пологую форму. Все это свидетельствует о том, что изменение температуры расплава значительным образом меняет характер и темп процессов теплообмена в течении. Это означает, что вариация этого параметра интересна с точки зрения получения экспериментальных результатов. Зависимость давления от времени показана на рис. 4 и имеет характерный для литья полимеров вид: резкое нарастание давления и небольшой спад после выхода на максимум с последующим переходом к стационарной величине [3].

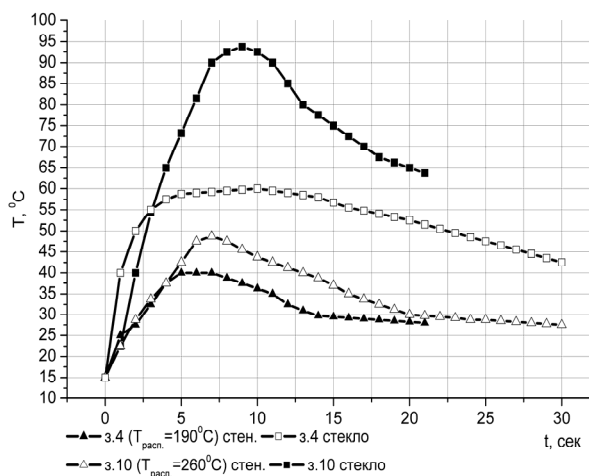


Рис. 3. Изменение температуры на стенке канала и на границе стекла

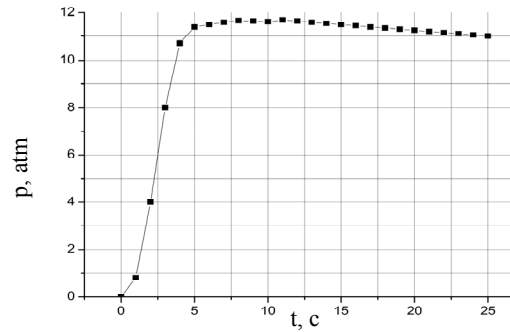


Рис. 4. Изменение давления в течении

Таким образом, анализ характера течения показал, что оно вполне соответствовало требованиям поставленной цели эксперимента – изучение поведения кристаллизованной неподвижной фазы в ламинарном течении нелинейно-вязкой жидкости при интенсивном теплообмене по высоте канала. Анализ полученных в эксперименте видеозаписей показал, что рост пристеночного слоя хорошо визуализируется и темп этого роста достаточно «визуально» медленен (более 15 секунд). Это позволяет отчетливо наблюдать, на всех сделанных видеозаписях постепенное нарастание неподвижного слоя в режиме реального времени, что выглядит как медленный рост к центру канала замутненной пристеночной полосы при наличии прозрачного течения в ядре потока, в котором находятся визуализирующие частицы. При этом отчетливо виден параболический характер профиля скорости: визуализирующие частицы в центре потока движутся быстрее, чем на периферии (ближе к кристаллизованной фазе). Последовательные стоп-кадры видеозаписи одной из запрессовок представлены на рис. 5. Обработанные результаты экспериментов представлены в виде наборов экспериментальных точек на рис. 6. Видно, что экспериментальные точки ложатся на вполне плавную кривую, причем для разных запрессовок все кривые имеют достаточно характерную сходную форму.

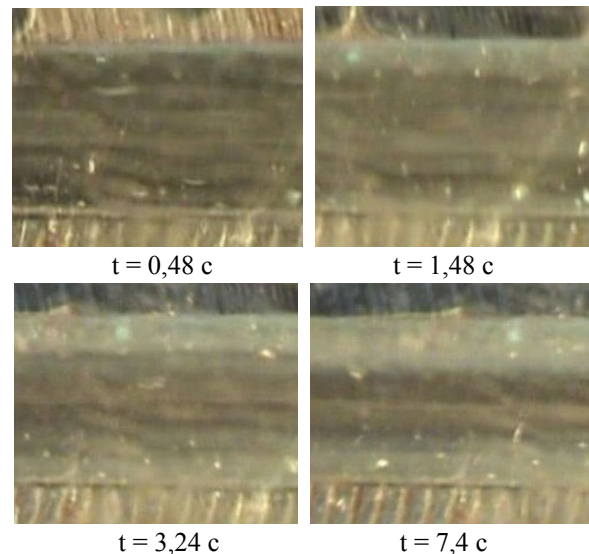


Рис. 5. Стоп-кадры роста кристаллизационной корки

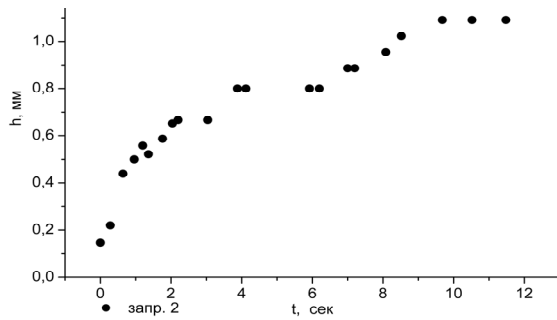


Рис. 6. Экспериментальная кривая роста пристеночного слоя во времени

Учитывая тот факт, что в ходе экспериментов был перекрыт весь диапазон возможных температур течения (от минимальной, когда материал еще течет, и максимальной, когда уже начинается деструкция материала), можно сказать, что полученная форма кривой отражает процесс роста пристеночного слоя. Качественно характер процесса вполне однотипен для различных значений температуры расплава. Все полученные зависимости имеют достаточно большой угол наклона для начального времени течения, что соответствует очень быстрому нарастанию кристаллизационного слоя во времени. Далее с течением времени кривая становится более пологой, что означает уменьшение скорости роста.

Такое поведение можно объяснить следующим образом: по мере роста кристаллизационный слой увеличивает тепловую изоляцию ядра потока от

холодной стенки. Это препятствует оттоку тепла от жидкого нагретого потока через границу кристаллизации к стенке, и, следовательно, замедляет темп кристаллизационных процессов.

Заключение

В результате проведения эксперимента получены следующие результаты: адекватный профиль течения и требуемое направление тепловых процессов; видеозаписи позволили установить темп роста кристаллизованной фазы, оценить время зарастивания канала и выяснить качественный характер протекания всего процесса; анализ экспериментальной кривой роста пристеночного слоя (рис. 6) показывает, что скорость его роста снижается по мере нарастания его толщины.

Литература

1. Репалова О.Н. Влияние теплообмена на формуемость под давлением / О.Н. Репалова, А.В. Бастеев, А.В. Дашков, О.В. Кравченко // Проблемы машиностроения. – 2005. – Т. 8, № 1. – С. 95-101.
2. Видгоф Н.Б. Основы конструирования литевых форм для термопластов / Н.Б. Видгоф. – М.: Машиностроение, 1979. – 264 с.
3. Калинин Э.Л. Оборудование для литья пластмасс под давлением / Э.Л. Калинин. – М.: Химическое машиностроение, 1985. – 300 с.

Поступила в редакцию 1.06.2008

Рецензент: д-р физ.-мат. наук В.И. Ткаченко, Национальный научный центр Харьковский физико-технический институт НАН Украины “ННЦ ХФТИ”, Харьков.

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРИКОРДОННОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ПРИ ЗМУШЕНОМУ РУСІ НЕЛІНІЙНО-ГРУЗЛОЇ РІДИНИ ПО ТРУБОПРОВОДАХ І КАНАЛАХ

О.М. Репалова

Описано експеримент по візуалізації приміжових процесів кристалізації у нагрітій неньютонівській рідині, що рухається під тиском біля холодної стінки. Як нелінійно-грудла рідина досліджувався поліпропілен, який має псевдо пластичні властивості. Отримано залежності росту пристінного шару від часу, температурні режими на межі розподілу фаз і зміна тиску в процесі запресовування при різних початкових температурах рідкого ядра потоку. Описано технічні особливості реалізації плинину із заданими для дослідження умовами.

Ключові слова: неньютонівські рідини, нелінійно-грудлі рідини, межа розподілу фаз, полімери, кристалізація полімерів, псевдо пластичні властивості.

VISUALIZATION OF BOUNDARY CRYSTALLIZATION PROCESSES IN THE EMERGENCY MOVEMENT UNDER THE PRESSURE OF NONLINEARLY-VISCOUS LIQUID INSIDE THE PIPE LINES AND CHANNELS

O.N. Repalova

The experiment of visualization of boundary crystallization processes in the moving under the pressure non-Newtonian liquid is described. As non-Newtonian liquid the polypropylene is chosen as it has pseudo plastic characteristics. The time variation of parietal layer rise, pressure and temperature regimes on the phase boundary while pressing with different initial temperatures of the flow are obtained. The engineering properties of the flow realization with given for investigation conditions are described.

Key words: A non-Newtonian liquid, the phase boundary, the polymers, the pseudo plastic characteristics, polymers crystallization, polymers moulding.

Репалова Ольга Николаевна – младший научный сотрудник, Национальный научный центр, Харьковский физико-технический институт, Харьков, e-mail: avd_ron@ukr.net.