**Реология и перерботка полимеров**

**Polymer Rheology and Processing**

*Иванов И.И.1, Петров П.П.1, Сидоров С.С.2*

*1Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН,*

*119991, Москва, Ленинский пр. 29*

*2Московский технологический университет, Москва, пр. Вернадского, 78*

[*avtor@ips.ac.ru*](mailto:avtor@ips.ac.ru)

Общеизвестно, что знание реологических свойств необходимо для успешной переработки полимеров в изделия. Однако выбор из многочисленных реологических характеристик ключевых для данного вида переработки и данного полимера является конкретной задачей, решение которой позволяет получать бездефектные продукты и с максимально возможной производительностью. Итак, два фактора являются основными при переработке: отсутствие дефектов и максимально возможная скорость формования. Каким образом реология поможет совместить эти два требования?



**Рис. 1** Зависимость сдвиговой вязкости от скорости сдвига

Одной вязкости для удовлетворения этих требований мало. Необходимы и упругие характеристики, а в целом – комплекс вязкоупругих свойств. Отсюда следует алгоритм действий исследователя для выполнения поставленной задачи, а именно успешной переработки в изделия данного полимера. Прежде всего, необходимо раскрыть понятие «данный полимер». Для этого мы должны знать или узнать его физико-химические и термодинамические характеристики: плотность, точки перехода для аморфного (температуры стеклования и размягчения) или кристаллического (температуры плавления и кристаллизации, наличие полиморфных переходов), молекулярный вес и т.п. Затем полезно определить спектр релаксационных переходов. Это можно сделать с помощью термомеханики, но реология дает более полную картину как по температурным зависимостям модуля сдвига, так и по частотным зависимостям комплексного модуля упругости или его действительной части (принцип температурно-временной суперпозиции). Совместно с температурной зависимостью вязкости мы получаем «технологическое окно», в котором возможна переработка данного полимера.

Естественно, что способ переработки уже выбран, а это могут быть экструзия, литье под давлением, раздув, прессование, формование волокон и пленок… Далее мы должны реализовать как можно более высокую производительность процесса и рассмотреть условия стабильной бездефектной переработки. Как общее правило, появление дефектов происходит при высоких скоростях деформации, и все они связаны с различного рода неустойчивостями, которые, кстати, могут быть как нерегулярными, так и регулярными.

Наиболее популярными методами получения продуктов из полимеров являются экструзия и литье под давлением. Реологическая ситуация в этих методах существенно разная. В процессе литья под давлением процесс существенно нестационарный, ибо расплав полимера с высокой скоростью буквально нагнетается в пресс-форму, которая имеет гораздо более низкую температуру. При этом происходит значительное замедление потока, особенно у стенок формы и, в случае кристаллизующегося полимера, неоднородная кристаллизация по объему изделия. Поэтому в этом методе лучше использовать аморфные термопласты, но даже и в их случае возможности повышения производительности практически исчерпаны – современные термопластавтоматы способны выполнять десятки циклов в минуту и снабжать смежные отрасли промышленности сложными изделиями для бытовой техники: корпусами мобильных телефонов, подложками для печатных плат и вообще сложными по форме деталями. Похоже, что в данном способе переработки основные усилия конструкторов (обязательно со знанием реологии и гидродинамики) сосредоточены на создании прецизионных пресс-форм.

В случае экструзии происходит непрерывное течение расплава через формующую головку, которая имеет различную геометрию в зависимости от изделия: стержня, трубы, листа, двутавра и т.д. Однако несмотря на сложное деформационное и напряженное состояния в зоне вращения червяка (или червяков), в головке происходит фактически изотермическое капиллярное (пуазейлевское) течение. И здесь благодаря, в частности, работам Г.В.Виноградова, мы знаем практически все о возникновении и развитии неустойчивости потока при высоких скоростях, начиная с его периферии с распространениями вглубь материала (акулья кожа, скольжение-прилипание, спирализация, турбулентность). Определяющей причиной неустойчивости является упругие деформации расплава, которые не должны существенно превышать пластические.

*Упомянутые в тексте сообщения результаты в большей своей части были поддержаны Российским Научным Фондом (проект №11-22-33333).*