



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КИНЕТИКИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ ЭД-20 И ТРИЭТИЛЕНТЕТРААМИНА В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОГО КОСМОСА С УЧЕТОМ ИСПАРЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ С НИЗКОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССОЙ

Комар Л.А.¹, Кондюрин А.В.², Свистков А.Л.¹, Терпугов В.Н.³

¹ИМСС УрО РАН, Пермь

²Эвингар Сайентифик, Эвингар

³Пермский государственный университет, Пермь

komar@icmm.ru, alexey.kondyurin@gmail.com, svistkov@icmm.ru, terpugov@psu.ru

Полимерные материалы на основе эпоксидных смол, благодаря уникальности своих свойств, имеют широкое применение в космической промышленности. Они обладают необходимой прочностью и низким весом. Высокая радиационная стойкость позволяет использовать эти материалы для создания достаточно крупных космических объектов, например, антенн с радиусом отражающей части в несколько десятков метров. В настоящее время наибольший интерес разработчиков заключается в создании таких объектов, конструкционные элементы которых сделаны из препрегов. Они значительно легче по сравнению с металлическими и способны быть плотно упакованными для помещения в контейнер космического аппарата, который доставит этот объект на околоземную орбиту, где он в дальнейшем должен быть развернут и принять жесткую форму за счет отверждения конструкционных элементов из препрега. В процессе отверждения эти элементы подвергаются действию высокого вакуума и резким изменениям температуры от -150 до +150 градусов Цельсия, то есть, в условиях существенно отличающихся от земных. По этой причине актуальность изучения кинетики химической реакции полимеризации препрегов в условиях приближенных к условиям открытого космоса имеет высокое значение.

Предлагается математическая модель, которая специально разработана для изучения кинетики химической реакции полимеризации, протекающей в особо сложных условиях. Например, решение задачи в постановке без учета испарения позволяет получить полное представление о молекулярно-массовом распределении во времени всех групп реакции, как аминных так и эпоксидных. Время отверждения в этом случае определяется эквимолярным соотношением реагирующих эпоксидных и аминных групп и значениями коэффициентов скорости химической реакции, существенно зависящих от внешней температуры. При решении задачи с учетом испарения предполагалось, что на границе отверждаемого эпоксидного материала имеется тонкая пограничная пленка с особыми свойствами, через которую в открытый космос испаряются молекулы с низкой молекулярной массой. Процесс испарения определяется присутствием диффузионной составляющей в системе уравнений. Накладываемое при этом дополнительное граничное условие выводится из предположения о том, что испарение происходит в том случае, когда значение кинетической энергии молекулы с заданной молекулярной массой превысило величину работы, затрачиваемой этой молекулой на преодоление энергетического барьера. В математической формулировке это означает, что за некоторый малый момент времени и некоторую малую площадь поверхности испарится определенное количество молекул, зависящее не только от массы молекул и величины работы, затрачиваемой этими молекулами на преодоление энергетического барьера, но и от их плотности распределения на границе с пленкой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Пермского края в рамках научного проекта N С-26/1025.