

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

*Днепропетровский национальный университет,  
пер. Научный, 13, г. Днепропетровск, 49050, Украина, [naza@ua.fm](mailto:naza@ua.fm)*

Существующая технология изготовления стеклопластиковых изделий включает отверждение сформированной конструкции в термокамерах конвективного нагрева. При применении фенолоформальдегидных связующих для удаления летучих веществ, выделившихся в процессе поликонденсации, используют вакуумно-отсасывающие системы, а требуемую плотность материала получают за счет проведения отверждения под давлением. Тепловой поток при конвективном нагреве идет от внешних слоев к внутренним. Это затрудняет удаление летучих веществ из внутренних слоев и может привести к ухудшению монолитности изделий. Для исключения возникновения термических напряжений и обеспечения монолитности стеклопластика применяют продолжительные режимы термохимического отверждения (ТХО), что удлиняет цикл изготовления конструкции.

Актуальной проблемой при создании стеклопластиковых изделий является интенсификация технологического процесса за счет сокращения времени отверждения при улучшении показателей качества материала, обеспечиваемых существующей технологией. Одним из перспективных направлений поиска эффективных технологий является применение энергии ускоренных электронов. Радиационное отверждение (РО) отличается от ТХО высокой скоростью, простотой управления и контроля, возможностью снижения энергетических затрат.

Исследования проводили на образцах стеклотекстолита на основе кремнеземной ткани КТ-11 и бакелитового лака ЛБС-4. Радиационное отверждение плоских образцов препрега осуществляли на серийном ускорителе электронов ЭлТ-1,5. Образцы, помещенные на транспортер, последовательно попадали в зону выпускного окна ускорителя и облучались параллельным пучком электронов. Параметры процесса облучения выбирали с учетом положительного опыта применения ускоренных электронов в технологии изготовления стеклопластиков на основе термореактивных связующих полимеризационного типа [1, 2]. При исследованиях применяли следующие режимы РО:

– энергия электронов, МэВ	1,0
– мощность дозы изучения, Мрад/с	2,33
– поглощенная доза, Мрад	40; 60; 80
– ток пучка, мА	7

Предварительное формирование образцов стеклотекстолита, имеющих форму прямоугольных плит размером 200x200x3,5 мм, проводили в пресс-форме при давлении 0,5–1,5 МПа. Сформированные заготовки термостатировали при температуре 353±2 К в течение 0,5 ч. После подъема температуры давление повышали до 0,8–1,0 МПа. Часть образцов подвергали последующей термообработке (ПТО) в течение 1–1,5 ч при температурах 373 и 393 К с целью комбинирования метода ТХО в печах с радиационной дополимеризацией [3]. Заготовки охлаждались до комнатной температуры вместе со свободным остыванием печи. Для оценки адгезионной прочности между слоями стеклотекстолита изготавливали образцы для определения сдвиговой межслоевой деформации, представляющие собой наложенные "внахлест" полоски препрега размером 120x20 мм с перекрытием 25 мм (толщина покрытия – 0,5 мм). Время облучения образцов толщиной 3,5 мм составляло 108 с, образцы толщиной 0,5 мм выдерживали в зоне облучения в течение 60 с. Для сравнительных испытаний изготавливали контрольные образцы, ТХО которых проводили по режиму, включающему подъем температуры до 353 К в течение 2 ч, плавный переход температур от 353 до 433 К в течение 4 ч, выдержку при 433 К в течение 1 ч и последующее свободное охлаждение в печи.

При исследованиях определяли разрывную нагрузку при растяжении, степень поликонденсации и характеристики термостойкости стеклопластика при нагреве. Разрывные усилия, характеризующие полноту отверждения связующего, определяли методом экстрагирования растворимой фракции, а термические процессы, происходящие при нагреве стеклопластика, изучали дериватографическим методом.

Результаты прочностных испытаний показали, что уменьшение дозы облучения РО до 40 Мрад приводит к снижению разрывной прочности, а ПТО способствует увеличению разрывных усилий по сравнению с РО при дозе 80 Мрад. Предварительная термообработка препрега при температуре 393 К в течение 1,5 ч повышает межслоевую прочность радиационно отвержденного стеклопластика, обеспечивая значения усилий разрыва, близкие к значениям разрывной прочности образцов, изготовленных методом ТХО. ПТО приводит к частичному отверждению связующего, степень поликонденсации которого определяется термовременным режимом, а последующее облучение потоком ускоренных электронов способствует практически полному отверждению. В образцах, изготовленных с применением комбинированного отверждения (ПТО + РО), степень поликонденсации связующего в стеклопластике составила 97,2–98,5%. Данные дериватографического анализа показали, что значения термостойкости образцов стеклотекстолита, изготовленных как с применением ПТО + РО, так и термоотвержденных, примерно одинаковы.

В результате экспериментальных исследований установлено, что комбинированное терморadiационное отверждение по схеме ПТО + РО сокращает длительность процесса примерно в 4 раза, обеспечивая сохранение прочностных показателей, термостойкости и степени отверждения стеклопластика.

Проведенные исследования позволяют предложить технологию изготовления тонкостенных стеклопластиковых конструкций, формируемых методом намотки, включающую ПТО намотанного до необходимой толщины изделия и последующее радиационное доотверждение вращающейся конструкции потоком ускоренных электронов. Для повышения эффективности процесса отверждения в схеме терморadiационного отверждения целесообразна замена операции ПТО в печах послойно последовательным отверждением ИК нагревом. Реализация предлагаемой технологии будет способствовать значительному сокращению цикла изготовления изделий из стеклопластиков на основе фенолформальдегидных связующих.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Омельченко С. И., Шлапацкая В. В.* Адгезия связующих к стекловолоконным наполнителям при радиационном отверждении и пластические массы. 1980. № 8.
2. *Цаплин А. И., Бочкарев С. В.* Нестационарное температурное поле вращающегося стеклопластикового цилиндра, облучаемого параллельным пучком электронов // *Механика композитных материалов.* 1980. № 5.
3. *Калинчев В.А., Макаров М.С.* Намотанные стеклопластики. М.: Химия, 1986. 286 с.

*Поступила 02.06.10*

#### Summary

The questions of intensification technological processes are considered at created flowed plastics of wares by the search of effective technologies from apply energy of speed-up electrons and possibilities of decline power expenses.

---