

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ

Андреева Ю. Н.

Научный руководитель- доцент Ясинский В.Б.

Сибирский федеральный университет

В настоящее время для изготовления антенных устройств бортовых комплексов космических аппаратов (АУ БК КА) широко применяются полимерные композиционные волокнистые материалы (ПКВМ). Свойства элементов антенных устройств, такие как прочность, жесткость, термостойкость, герметичность, влагостойкость, точностные параметры и другие - определяются структурой материала и зависят от полей технологических напряжений и деформаций, которые образуются в материале при изготовлении изделия как результат взаимодействия ряда механических, физических и химических процессов. Технические характеристики антенных устройств из ПКВМ сильно зависят от точности и оптимальности построения технологического процесса.

При изготовлении рефлектора антенн основным критерием пригодности является минимизация погрешности формы поверхности.

Для управления характеристиками изделий, в том числе и точностными, необходимы модели, отражающие зависимость этих характеристик от технологических факторов (температуры, давления, времени выдержки, скорости нагрева и охлаждения и др.). Однако сложность протекающих при формировании процессов не позволяет достаточно точно описать влияние технологических факторов на основные характеристики ПКВМ и качество изделий из них с помощью строгих математических моделей.

Условно весь процесс формования можно разделить на три основных этапа. Первый этап характеризуется сравнительно низкой температурой и давлением. На этом этапе связующее разогревается и вязкость его падает, что создает возможность для удаления остатков растворителя (удаления летучих веществ) и снижения пористости материала (его уплотнения). Начинается химическая реакция отверждения связующего, характеризующаяся на данном этапе ускоренным ростом степени конверсии. Волокна наполнителя, связующее и оснастка претерпевают тепловые деформации.

На втором этапе температуру и давление формования увеличивают. Избыток связующего под действием давления отфильтровывается в дренажный слой и к периферии изделия. Миграция связующего и внешнее давление приводят к искривлению и, в ряде случаев, к разрушению волокон. По мере перехода связующего из жидкого состояния в гелеобразное и далее в высокоэластичное скорость фильтрации уменьшается, а доля высокоупругой деформации возрастает. Данный этап характеризуется также высокой скоростью роста степени конверсии, сопровождается интенсивными экзотермическими эффектами. При переходе связующего в высокоэластичное состояние его фильтрация прекращается, а степень конверсии стабилизируется, при этом доля упругой деформации возрастает. Усадка связующего, неравномерность температурного поля, тепловые деформации и различие КЛТР волокон, отверждающего связующего и оснащения приводят к возникновению механических напряжений, большая часть которых релаксируется.

На третьем этапе формования происходит охлаждение материала от температуры отверждения до нормальной. Значительные температурные градиенты и возникающие вследствие этого деформации порождают дополнительные напряжения, скорость

релаксации которых падает. При достижении температуры стеклования связующее переходит в стеклообразное состояние, что вызывает резкое изменение свойств материала (модуля упругости, КЛТР, прочности и т. п.). Скорость релаксации напряжений становится крайне низкой, вследствие чего возникающие в процессе охлаждения внутренние напряжения накапливаются и остаются в материале после окончания формования.

Для определения влияния технологических факторов на параметры качества ПКВМ и изделий из них было проведено большое число экспериментальных исследований. Из множества факторов, влияющих на характеристики получаемого изделия, можно выделить три основных технологических параметра: температуру, давление формования и время выдержки. Однако немаловажными являются и другие факторы: скорость нагрева и охлаждения, градиенты температуры и давления и т. п.

Температура прессования, в основном, определяется исходя из свойств связующего, однако она может назначаться в зависимости от размеров и требуемых свойств изделий, режимов предварительного прогрева и термообработки. Низкая температура отверждения приводит к неполной сшивке полимерного связующего и, как результат, уменьшаются прочность и жесткость ПКВМ. Особенно сильно это проявляется при повышенных температурах эксплуатации. Недостаточный прогрев связующего приводит к его низкой текучести, что вызывает увеличение пористости ПКВМ, его значительную неоднородность, низкую прочность на межслоевой сдвиг. Высокая температура отверждения приводит к увеличению степени отверждения матрицы и росту ее когезионной прочности. С другой стороны, в композитах, полученных при более высокой температуре формования, возрастают внутренние напряжения, что служит причиной снижения механической прочности, ударной вязкости, влагостойкости и т. д.

Время выдержки изделия при температуре формования также зависит от многих факторов: химической природы связующего, отвердителя и катализатора, теплофизических свойств ПКВМ, его качества и режимов предварительного подогрева, от температуры формования, размеров и формы изделия. Время выдержки непосредственно влияет на степень отверждения связующего. Обычно время выдержки при температуре формования рассчитывают по эмпирическим формулам или назначают на единицу толщины прессуемого изделия в зависимости от марки материала. Такие эмпирические зависимости справедливы, естественно, лишь для ограниченного круга моделей.

Зависимость большинства физико-механических характеристик ПКВМ от времени выдержки, как и от температуры формования, имеет экспериментальный характер. Это объясняется тем, что при малых длительностях выдержки степень отверждения оказывается недостаточной для эффективной передачи нагрузки от волокна к волокну в ПКВМ, а при значительной выдержке при большой температуре в материале быстро развиваются процессы термостарения. Необходимо отметить, что время выдержки должно выбираться с учетом скорости подогрева, распределения температуры по объему заготовки и наличия экзотермических эффектов. Влияние последних проявляется особенно сильно при изготовлении крупногабаритных и толстостенных изделий. При наличии на поверхности волокон аппретирующих составов зависимость свойств ПКВМ от времени формования может быть более сложной, так как состояние поверхности раздела матрицы и волокна во многом определяет прочность и жесткость изделия.

При формовании антенных устройств давление придает изделию необходимую форму, удаляет воздух, влагу и летучие вещества из материала, уплотняет его. Давление формования влияет, в первую очередь, на плотность получаемого ПКВМ и, следовательно, на важнейшие физико-механические характеристики материала. Величина давления определяется, в основном, типом наполнителя и вязкостью связующего при температуре формования. Анализ экспериментальных данных о зависимости прочности

от давления формования показывает, что, начиная с некоторого нижнего предельного значения, оно не влияет на прочность ПКВМ. С увеличением давления до определенного критического значения происходит дополнительная пропитка армирующих жгутов жидким связующим и уплотнение материала. Это подтверждается экспериментальными зависимостями плотности, толщины монослоя, коэффициента армирования и пористости стеклопластиков от давления формования.

Ряд экспериментальных данных позволяет говорить о том, что кроме критического давления существует верхнее предельное значение давления формования, при котором начинается разрушение армирующих волокон, снижение качества формируемых изделий. Хрупкость углеродных волокон, а также использование препрегов нетканой структуры делает эти материалы чувствительными к давлению формования, поскольку даже незначительное превышение верхнего предельного значения может привести к разрушению волокон от местных контактных усилий. Кроме того, необходимо учитывать неравномерный характер распределения давления по поверхности и по объему заготовки. Особое значение имеет правильное сочетание всех технологических факторов по времени. Таким образом, оптимизация режимов формования представляет собой достаточно сложную задачу.

По результатам проведенного анализа изготовления рефлектора, выполненного из полимерного композиционного волокнистого материала, следует выделить следующие факторы играющие существенное значение при минимизации отклонения формы рефлектора:

- Процентное содержание связующего в препреге
- Точность укладки препрега на технологическую оснастку
- Точность вырезки заготовок препрега из ламината
- Минимизация процесса смещения волокон препрега в процессе автоклавного формования
- Характер контакта на поверхности инструмент-изделие
- Оптимальный градиент температуры, особенно на участке охлаждения рефлектора

В связи с этим можно рекомендовать следующие мероприятия, позволяющие снизить влияние неконтролируемых параметров технологического процесса изготовления изделия путем внедрения в технологический процесс следующих приспособлений:

1. Обязательный контроль процентного содержания связующего при изготовлении препрега путем непрерывной регистрации наноса связующего с помощью бесконтактных датчиков, позволяющих оперативно контролировать и регулировать процесс изготовления препрегов.

2. Внедрение на операции раскроя препрега автоматизированных раскройных машин, позволяющих с высокой точностью и повторяемостью осуществлять раскрой заготовок препрега.

3. При укладке препрега на технологическую оснастку (болван) следует предусмотреть систему контрольных маркерных линий, проецируемых на изделие с помощью лазерного проектора, что позволит с высокой точностью производить операцию укладки препрега и его контроля.

4. Для обеспечения хорошей адгезии уложенного препрега на технологическую оснастку, следует предусмотреть внедрение на участке выкладки препрега обогреваемых прикаточных валиков, а также осуществлять предварительную опрессовку уложенного пакета до установки сотового наполнителя.

5. Следует провести работы по обеспечению оптимального уровня контактных нагрузок в процессе формования изделия и обеспечения регулируемого коэффициента трения между изделием и инструментом за счет подбора разделительной пленки с за-

данными трибологическими характеристиками.

6. Следует особенно внимательно подойти к процессу охлаждения изделия, желательно снизить температурный градиент при охлаждении до минимально приемлемых значений.