

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ОБРАБОТКИ ВСПЕНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БЕСПИЛОТНЫХ СВЕРХЛЕГКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Применение трехслойных конструкций с различными типами наполнителей в летательных аппаратах (ЛА) прежде всего обусловлено возможностью повышения жесткости конструкции без значительного увеличения массы. При выборе наполнителя для трехслойной конструкции беспилотных сверхлегких летательных аппаратов (БСЛА) основным критерием является минимум массы, а поскольку нагрузки на элементы конструкции данного ЛА невысокие, то вторым по значимости критерием становится технологичность. Из достаточно широкого спектра материалов в качестве наполнителя для данного класса ЛА наиболее предпочтительными являются пеноматериалы с закрытой ячеистой структурой [1]. Однако применение данного типа наполнителя в конструкциях БСЛА сопряжено с рядом особенностей: во-первых, получение точного и тонкого профиля, во-вторых, сохранение закрытой ячеистой структуры наполнителя перед сборкой.

Для решения первой задачи были рассмотрены различные методы обработки наполнителя на основе пенопластов, а именно возможность обработки на различных станках с ЧПУ, а также обработка вручную. Методика обработки с помощью станков с ЧПУ имеет ряд преимуществ (точность, автоматизация, работа напрямую с САД-программами), однако детальный анализ данного метода обработки показал, что данная методика будет эффективна только для крупного предприятия, работающего в условиях высокой серийности выпуска ЛА. Кроме того, низкая скорость обработки, а также возникающие трудности обработки пеноматериала малой толщины ограничивают применения данного метода. В случае с малым предприятием и небольшой серийностью применение предложенного метода будет экономически не оправданным. Окупаемость потребного современного станка с ЧПУ произойдет только лишь через 3 – 5 лет.

Альтернативой вышесказанному методу является разработанная методика обработки заготовки вручную. Предлагаемая методика является малоэффективной для крупного предприятия, однако для небольшого является вполне пригодной, поскольку изготовлением БСЛА, как правило, занимаются именно малые предприятия. Этот способ производства имеет свои преимущества (нет затрат на приобретение дорогостоящего оборудования, экономия рабочих площадей, простота и т.д.) и недостатки («человеческий фактор», точность изготовления оснастки и т.д.).

Разработанная методика обработки пеноматериалов для БСЛА включает в себя несколько этапов обработки. На первом этапе выреза-

ется черновая заготовка на фрезерном станке заданной геометрии с заданными технологическими припусками на механообработку. Данная заготовка имеет острые кромки и неточную поверхность (рис. 1).

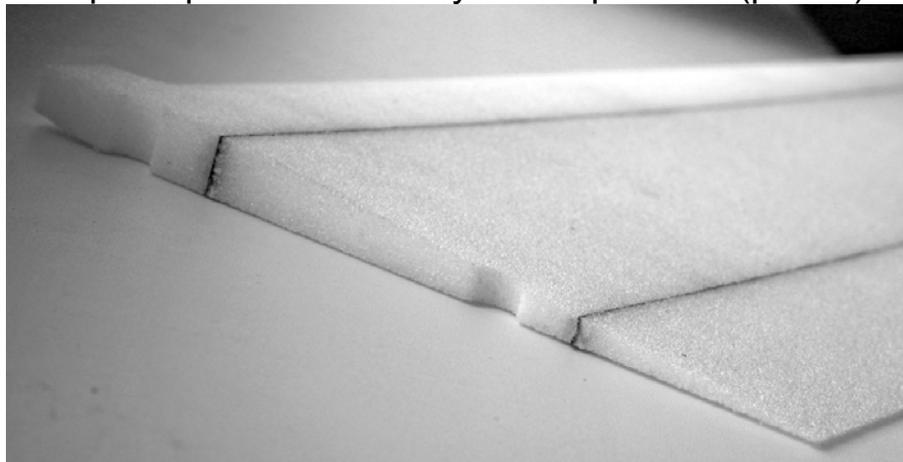


Рисунок 1 – Черновая заготовка

На втором этапе заготовка устанавливается в специальное приспособление (рис. 2), которое представляет собой плиту, изготовленную из алюми-ниевого сплава с высверленными отверстиями в рабочей зоне. Фиксация заготовки в заданном положении осуществляется потоком воздуха, который создается с помощью компрессора. Через отверстия в приспособлении создается усилие, которое прижимает пеноматериал к поверхности приспособления, тем самым фиксируя положение для проведения обработки. Установленная и зафиксированная заготовка обрабатывается вручную (скругляются кромки, дорабатывается поверхность).



Рисунок 2 – Приспособление для обработки заготовки:
1 – формообразующая матрица; 2 – воздуховоды; 3 – переходник;
4 – направляющая

Высокая точность обработки поверхности обеспечивается за счет специальных направляющих на поверхности приспособления (рис. 2). Полученная таким образом заготовка для трехслойной конструкции имеет необходимую геометрию с заданным припуском.

Однако при механической обработке пенопласта происходит открытие ячеек. При склейке заполнителя с несущими слоями происходит заполнение открытых ячеек пенопласта избытком клея, а это в свою очередь приводит к увеличению массы конструкции. Следовательно, возникает задача разработать технологический процесс обработки пенопласта, в результате которого можно было бы при минимальных затратах времени, средств получить заготовку для трехслойной конструкции на основе пенопласта заданной геометрии и имеющую поверхность с закрытой ячеистой структурой и погрешностью не более 0,1 мм.

Данная задача решается путем термической обработки заготовки, после которой заготовка приобретает окончательную геометрию и закрытую ячеистую структуру. Обработка заготовки может быть реализована в результате проведения технологического процесса термической обработки. Для этого разработана и сконструирована специальная оснастка (матрица постформинга) (рис. 3, 4), в которую помещается заготовка (заготовка имеет регламентированный припуск после механообработки) после чего оснастка с помощью термоэлементов нагревается, и происходит термообработка заготовки (оплавление наружной поверхности пеноматериала).



Рисунок 3 – Матрица постформинга: 1 – матрица; 2 – пуансон;
3 – основание с системой нагрева; 4 – крышка с системой нагрева;
5 – радиатор и штуцер системы охлаждения

Матрица и пуансон имеют высокую точность обработки поверхности, а при необходимости на поверхности могут быть образованы соответствующие элементы для формирования в заготовке мест под установку различных элементов продольного и поперечного силовых наборов (рис. 5). Особенностью реализации этого этапа обработки заготовки заполнителя является обеспечение температурно-временного режима.

Температура обработки задается в блоке управления, как правило, это температура плавления пластика.



Рисунок 4 – Установка постформинга: 1 – матрица; 2 – пуансон;
3 – система охлаждения; 4 – блок управления

Например, для полиамидного пенопласта $T_{пл} = 160^{\circ}\text{C}$. Однако необходимо учитывать температурный заброс, возникающий на этапе разогрева, поскольку повышение температуры на $5...10^{\circ}\text{C}$ приведет к сплавлению данного термопласта, а значит, и к нарушению ячеистой структуры материала. Таким образом, температура процесса была принята равной температуре плавления ($T_n = T_{пл}$), а имеющееся оборудование (рис. 4) позволяет создавать и проводить выдержку материала при заданной температуре с точность до $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

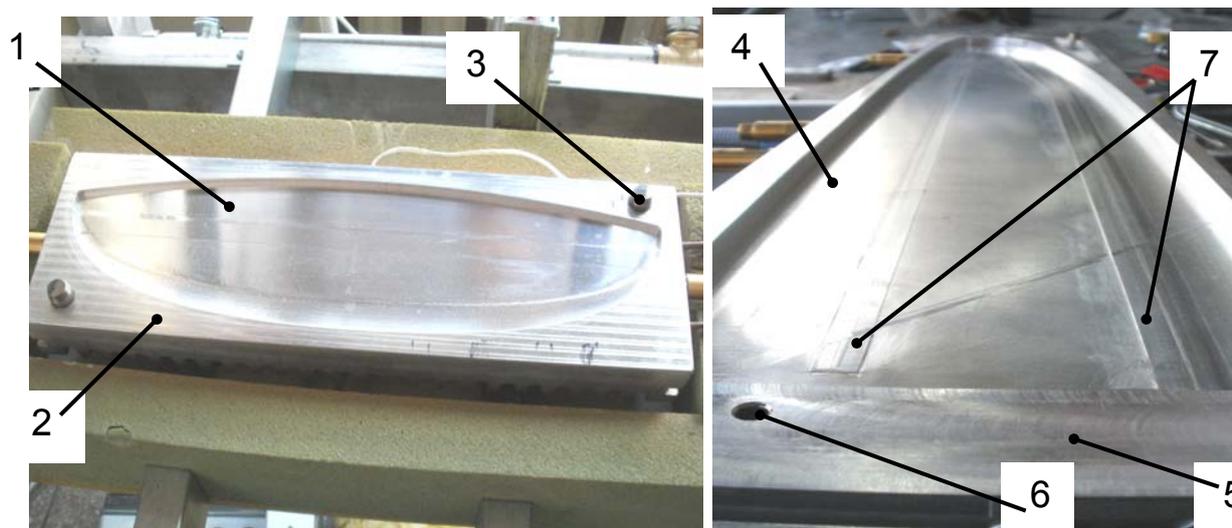


Рисунок 5 – Элементы матрицы постформинга: 1 – формаобразующая поверхность пуансона; 2 – корпус пуансона; 3 – направляющая-фиксатор пуансона; 4 – формаобразующая поверхность матрицы; 5 – корпус матрицы; 6 – фиксирующее отверстие матрицы; 7 – формаобразующие ребра продольного силового набора

Время выдержки материала при заданной температуре определялось аналитически на основании уравнения теплопроводности Фурье [2] при условии прогрева заготовки до температуры $T_n = T_{пл}$ на глубину 0,3...0,4 мм (рис. 6):

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad}(T), \quad (1)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К); T – температура, К.

Полученные таким образом параметры термообработки (температура и время) корректируются после первых двух-трех пробных обработок.

В результате проведенных расчетов было определено время обработки реальной конструкции – заполнитель крыла для БСЛА на основе пенополиамида. Расчетное время обработки составило 20 с, однако после корректировки потребное время составило 2 мин.

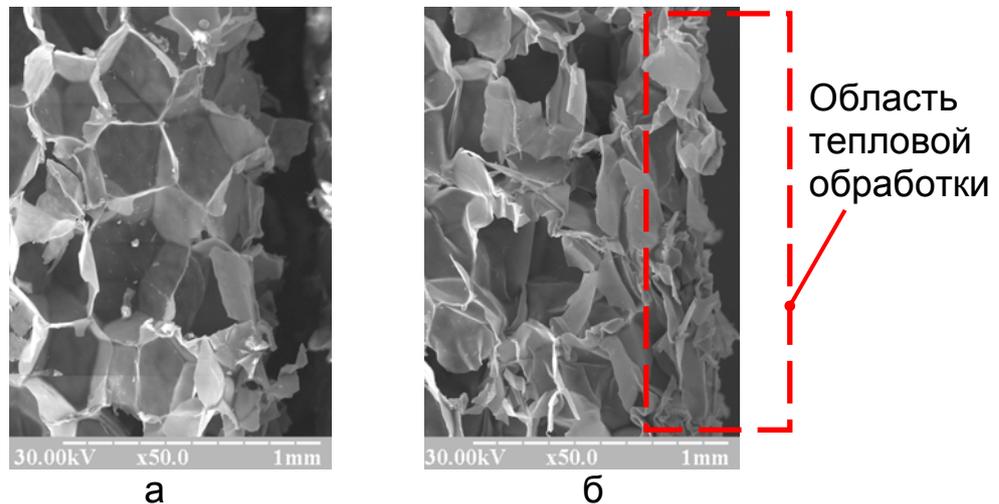


Рисунок 6 – Структура пенопластовой заготовки (срез):
а – до термообработки; б – после термообработки

Расхождение между аналитическими результатами (время – 20 с) и экспериментальными (время – 2 мин) можно объяснить неоднородностью материала, инерционностью нагревательной системы, а также отсутствием сплошности у пенопластов, что в свою очередь и привело к заниженному времени термообработки. Таким образом, для рассматриваемой реальной конструкции (заполнитель крыла для БСЛА) были определены технологические параметры обработки пенопластовой заготовки на основе пенополиамида, а именно: температура – 160°С, время – 2 мин, скорость разогрева – 12°С/мин.

Предложенный метод при своей простоте позволяет за короткое время получить изделия на основе пеноматериалов с требуемой точностью, кроме того, поверхность изделия после изготовления имеет закрытую ячеистую структуру (рис. 7), а также места для установки силового набора.

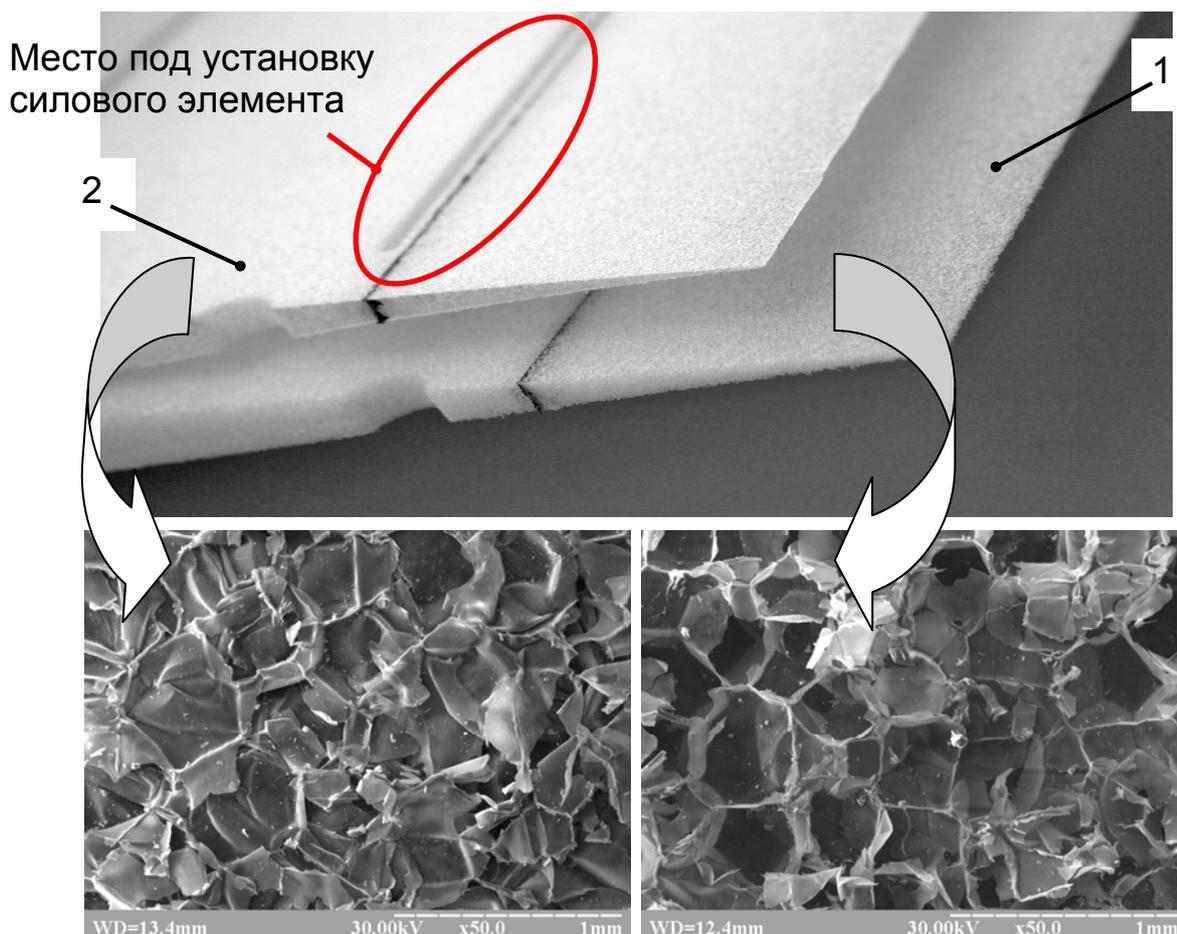


Рисунок 7 – Заготовки из пенопласта и структура поверхности:
1 – до термообработки; 2 – после термообработки

Разработанная методика получения заготовки на основе пенопласта для БСЛА позволяет получать наполнитель для трехслойных конструкций. Данный метод не требует дополнительных вложений материальных средств на покупку высокоточного, но дорогостоящего оборудования, кроме того, предложенный метод не требует высокой квалификации рабочего персонала и/или владения специальными знаниями и навыками.

Список использованных источников

1. Александров, А.Я. Конструкции с наполнителями из пенопласта [Текст] / А.Я. Александров, М.Я. Бородин, В.В. Павлов. – М.: Машиностроение, 1972. — 212 с.
2. Мухачев, Г.А. Термодинамика и теплопередача [Текст] / Г.А. Мухачев, В.К. Щукин. – М.: Высш. шк., 1991. – 480 с.

Поступила в редакцию 7.10.2013.

Рецензент: канд. техн. наук, доц., А.А. Вамболь, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.