

УДК 678

Л. Н. ГРАЧЕВА, Н. И. ТЮКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ВАРИАБЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛОНЖЕРОНА ЛОПАСТИ ВЕРТОЛЕТА ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

На основе экспериментальных данных исследуются причины вариабельности свойств лонжеронов лопастей из стеклопластика. Возможной причиной отклонения механических свойств являются отклонения технологических параметров процесса прессования — температуры и давления. *Полимерные композиционные материалы; лопасти из стеклопластика; стеклопластики*

При проверке качества изготовленных лонжеронов лопастей на Кумертауском авиационном производственном предприятии выявляются вариабельность геометрических размеров конструкции и контура лопастей (положения стенок каналов, стрингера и т. п.), а также прочностных характеристик.

Вариабельность прочностных свойств стеклопластиков является характерной особенностью не только стеклопластиков, но и всех полимерных композиционных материалов (ПКМ). Однако потребительские свойства изготавливаемого изделия из стеклопластика должны строго соответствовать заданным требованиям, поэтому при производстве лонжеронов стремятся к стабильной повторяемости механических свойств и геометрии. В связи с этим возникает необходимость исследования причин вариабельности и способов стабилизации свойств.

Известно, что качество готового изделия определяется качеством исходных материалов и качеством ведения технологического процесса изготовления изделия. Для лонжеронов лопастей исходными материалами являются стеклоткань Т-25 (ВМП-78), углеродная лента ЛУ-П/0,2А и связующие 5-211Б. В результате пропитки стеклоткани связующим получают стеклопрег (препрег), пропиткой углеродной ленты связующим — углепрег. Стеклопрег и углепрег являются полуфабрикатами для изготовления лонжеронов.

В исходном состоянии смолы могут находиться в твердом или жидком состоянии, поэтому для получения необходимой вязкости в смолу вводят растворители, нагревают до определенной температуры, дополнительные добавки — пластификаторы, отвердители, катализаторы. В то же время растворители от-

рицательно влияют на качество изделий, так как за счет выделения летучих могут образоваться различные дефекты (пористости, расслоения, раковины и др.). Все растворители до формования должны быть удалены из пропитанного армирующего материала.

Процесс удаления связующего и полимеризация связующего происходят одновременно при сушке. При пропитке армирующего материала процесс удаления растворителя (выделения летучих) и полимеризация связующего происходят одновременно. Это приводит к постоянному изменению вязкости, а следовательно, и к ухудшению качества пропитки. Скорость изменения вязкости связующего определяется природой, типом растворителя и температурой сушки.

Качество полуфабрикатов согласно ТУ определяется: содержанием связующего, содержанием летучих паров, содержанием растворимой части связующего. Оно должно соответствовать требованиям представленным в табл. 1. Полуфабрикаты, несоответствующие требованиям ТУ, не используются для изготовления лонжеронов.

Таблица 1

**Требования к качеству исходных материалов
для изготовления лонжеронов**

Наименование показателя	Содержание летучих, %	Содержание связующего, %	Содержание растворимой части, %
Стеклопрег	0,5–3	32–36	Не менее 97
Углеродная лента	1,5–4	38–42	Не менее 95

Для оценки качества изготовленного лонжерона (стеклопластика) используются плотность, содержание связующего, прочность на

сдвиг и прочность на растяжение, определяемые в результате испытания образцов взятых из комлевой и концевой части лонжерона. По результатам испытаний проб выносятся решение о соответствии или несоответствии качества стеклопластика. Требования к перечисленным показателям представлены в табл. 2.

Таблица 2

Требования к показателям качества лонжеронов лопастей из стеклопластика

	Плотность г/см ³	Содержание связующего	Прочность на растяжение δ , кгс/мм ²	Прочность на сдвиг τ кгс/мм ²
Комлевая часть	1,7–1,8 и не более 1,85	Не менее 30	Не менее 50 сред. δ не менее 55	Не менее 5
Концевая часть	1,7–1,8 и не более 1,82	Не менее 27	Не менее 50 сред. δ не менее 55	Не менее 5

Другой причиной вариабельности показателей качества получаемых лонжеронов могут быть отклонения технологических параметров процесса изготовления от требуемых значений. В ходе процесса прессования лонжерона ведется контроль технологических параметров — температуры и давления. Диаграммы изменения температуры и давления прессования нескольких лонжеронов были обработаны, результат обработки представлен в табл. 3. В графе 1 табл. 3 указаны номера лонжеронов, в графе 2 — диапазон изменения температуры на стадии полимеризации и средняя температура прессования. В графах 3 и 4 — диапазоны изменения соответственно температуры и давления в ходе стадии полимеризации. В 5–8 графах представ-

лены результаты исследования качества изготовленных лонжеронов и в 9 графе — заключение о соответствии качества лонжерона требованиям ТУ.

В табл. 3 жирным шрифтом выделены параметры, которые отклоняются от требований ТУ.

В результате анализа температурных диаграмм выявлено следующее:

- даже если средние отклонения температуры остаются в зоне допуска, максимальные отклонения могут выходить за его пределы;

- отклонения температуры прессования от $-7,5\text{ C}^\circ$ до $+9,5\text{ C}^\circ$ (при допуске $\pm 5^\circ\text{C}$), причем максимальные отклонения температуры по величине наблюдаются чаще всего при переходе к этапу предварительной выдержки при температуре $T_{\text{пред}}$ — зона 1 на рис. 1, в зоне 2 — на этапе нагревания до температуре $T_{\text{полим}}$, в зоне 3 — при переходе к этапу выдержки при температуре $T_{\text{полим}}$;

- отклонения давления отклонение до $0,45 \cdot 10^5$ Па или 22,5% от максимального уровня давления (при допуске $\pm 0,2 \cdot 10^5$ Па), количество отклонений давления — до 9 раз.

На рис. 2 приведены диаграммы по зонам, в которых чаще всего наблюдаются отклонения температуры, а на рис. 3 — диаграммы отклонения давления при прессовании нескольких изделий.

Отклонения температуры связаны:

- в зонах 1 и 3 — с инерционностью процесса полимеризации связующего;

- в зоне 2 — с изменением агрегатного состояния и природы вещества.

Таблица 3

Результаты исследования качества лонжеронов и отклонений технологических параметров в ходе процесса прессования

№ изд.	Тпрес, °С	ΔT	ΔP , 10^5 Па	Содержание связующ., %	$\delta_{\text{ср}}$, кгс/мм ²	$\tau_{\text{ср}}$, кгс/мм ²	ρ , г/см ³	Примечание
123	153–167 Тср = 160	-7–+7 $\Delta = 14$	-0,2–0,2 $\Delta = 0,4$	35,99/36,05	33,2	5,8	1,74/1,72	Не соотв.
129	155–165 Тср = 160	-5–+5 $\Delta = 10$	-1–+0,6 $\Delta = 1,6$	29,18/27,89	35,5	5,0	1,82/1,81	Не соотв.
вн	157–168 Тср = 160	-3–+8 $\Delta = 12$	-0,6–0,6 $\Delta = 1,2$	39,55/35,49	32,4	4,7	1,75/1,72	Не соотв.
38	157–163 Тср=157	-3–+3 $\Delta = 6$	-0,2–0,2 $\Delta = 0,4$	34/32	56	5,2	1,75/1,73	Соотв.
обр	155–173 Тср = 160	-5–+13 $\Delta = 18$	+0,4–0,4 $\Delta = 0,8$	35,57/36,42	36,2	4,9	1,87/1,95	Не соотв.

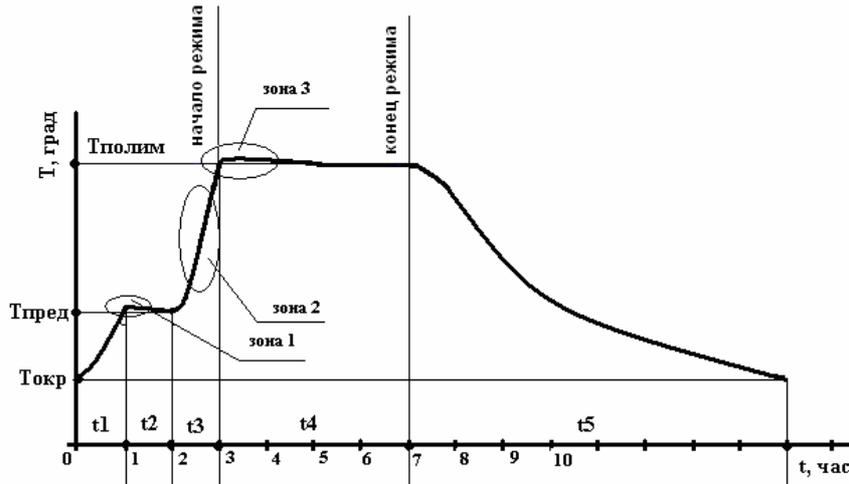


Рис. 1. Размещение зон (проблемных зон), в которых наиболее вероятны отклонения температуры

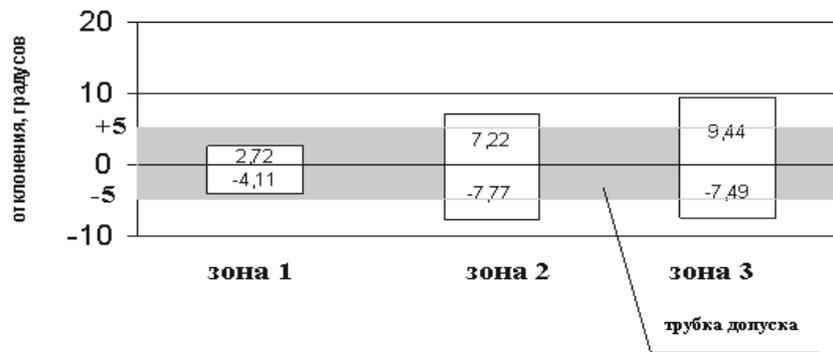


Рис. 2. Диаграмма отклонений температуры

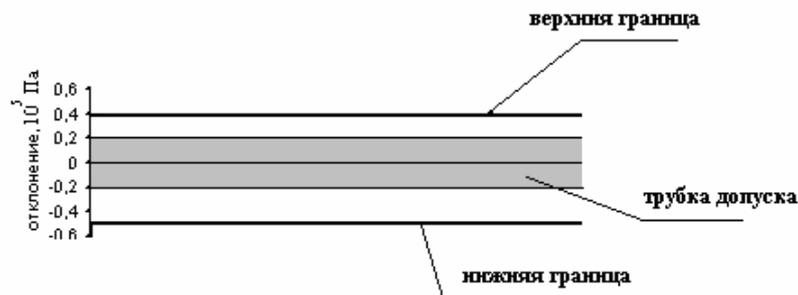


Рис. 3. Диаграмма отклонение давления

Таким образом, причинами вариабельности прочностных свойств и геометрии лонжеронов из стеклопластика являются:

- неточная повторяемость свойств исходных материалов даже в условиях соответствующего качества;
- отклонения температуры и давления прессования и отклонения температуры и давления прессования от требований ТУ.

Первая причина может быть устранена при производстве исходных материалов и за счет более жесткого контроля качества. Вторая — при строгом соблюдении режимов прессования лонжеронов за счет разработки системы автоматического управления, учитывающих природу процесса прессования лонжерона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ерофеев, А. А.** Теория автоматического управления : учеб. для вузов / А. А. Ерофеев. СПб. : Политехника, 2003. 302 с.
2. **Бесекерский, В. А.** Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. СПб. : Профессия, 2004. 752 с.
3. **Первушин, Ю. С.** Композиционные материалы : учеб. пособие по дисц. «Технология композиционных материалов». С. Стеклопластики / Ю. С. Первушин. Уфа : УГИС, 2005. 481 с.
4. **Потапов, А. И.** Контроль качества и прогнозирование надежности конструкций из композиционных материалов / А. И. Потапов. Л. : Машиностроение, 1980. 261 с.
5. **Красовский, А. А.** Справочник по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. М. : Наука, 1987. 712 с.
6. **Тюков, Н. И.** Теоретические и экспериментальные исследования теплофизических процессов изготовления изделий из композиционных материалов / Н. И. Тюков, И. А. Акимов, А. И. Акимов. Уфа : БашГУ, 2003. 216 с.
7. **Молодцов, Г. А.** Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композицион-

ных материалов / Г. А. Молодцов [и др.]. М. : Машиностроение, 2000. 352 с.

ОБ АВТОРАХ



Грачева Любовь Николаевна, доц. каф. пром. автоматизации Кумертауск. филиала УГАТУ. Дипл. инж. по автоматиз. технол. проц. и произв. (УГАТУ, 1999). Канд. техн. наук по той же спец. Иссл. в обл. автоматиз. изготовл. изделий из полимеров.



Тюков Николай Иванович, проф., зав. каф. пром. автоматизации Кумертауск. фил. УГАТУ. Дипл. инж. (Оренбургск. с.-х. ин-т, 1963). Д-р техн. наук по авт. упр. и рег. (Ин-т им. Потона, 1984). Иссл. в обл. автом. технол. проц. в вертолетостроении.