

УДК 620.192.52

***ОЦЕНКА УСАДКИ МАТЕРИАЛА ТОЛСТОСТЕННЫХ ПЛАСТИН ИЗ ПКМ  
ПРИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЖИМАХ ФОРМОВАНИЯ***

***Сыстеров А.Н.***

*Студент 4 курса, Аэрокосмический факультет*

*Кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций»*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

*Россия, г.Пермь*

***Пахоруков Н.А.***

*Студент 4 курса, Аэрокосмический факультет*

*Кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций»*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

*Россия, г.Пермь*

**Аннотация:** В работе описан метод изготовления толстостенных технологических пластин (ТТП) из квадратных заготовок угольного препрега саржевого плетения. В процессе изготовления через каждые 40 слоев производилась подпрессовка материала в автоклаве при избыточном давлении и температуре. После горячей подпрессовки (ГП) оценивалась усадка материала для прогнозирования толщины заготовок пластины из 200 слоев. Приведены данные изменения толщины полученных образцов углепластиков в зависимости от выбора режима проведения промежуточной горячей подпрессовки. По полученным данным усадки при различных ГП был определен оптимальный режим ГП для получения необходимой толщины ТТП с необходимой толщиной монослоя материала в заготовке.

**Ключевые слова:** толстостенное изделие, полимерные композиционные материалы, препрег, усадка, автоклавное формование.

***EVALUATION OF SHRINKING MATERIAL OF THICK-WALLED PLATES  
FROM PCM AT INTERMEDIATE FORMING MODES***

***Systerov A.N.***

*Student 4 course, Aerospace faculty*

*Department of "Mechanics of composite materials and structures"*

*Perm National Research Polytechnic University*

*Russia, Perm*

***Pakhorukov N.A.***

*Student 4 course, Aerospace faculty*

*Department of "Mechanics of composite materials and structures"*

*Perm National Research Polytechnic University*

*Russia, Perm*

**Annotation:** The article describes a method for manufacturing thick-walled technological plates (TTP) from square blanks of a carbon prepreg of twill weaving. In the manufacturing process, every 40 layers, the material was pressed in an autoclave at overpressure and temperature. After hot pressing (GP), material shrinkage was evaluated to predict the thickness of 200-layer wafer blanks. The data on changes in the thickness of the obtained samples of carbon plastics are given, depending on the choice of the mode of conducting the intermediate hot pressing. Based on the obtained shrinkage data for various GPs, the optimal GP mode was determined to obtain the required TTP thickness with the required thickness of the material monolayer in the workpiece.

**Keywords:** thick-walled product, polymer composite materials, prepreg, shrinkage, autoclave molding.

Замена "классических" материалов на композиционные - одна из основных проблем современной авиации. В настоящее время встает вопрос о необходимости производства авиационных конструкций из толстостенных полимерных композиционных материалов (ПКМ). Толстостенной называется такая конструкция, у которой отношение толщины к характерному габаритному размеру лежит в пределах  $\frac{1}{5} \div \frac{1}{3}$  [1]. При изготовлении толстостенных конструкций необходимо учитывать усадку, влияющую на конечный размер изделия. Так в тонкостенных ввиду малой толщины этим параметром можно пренебречь. В связи с этим при производстве ТТП можно столкнуться с определенными проблемами: перегрев внутренних слоев композита, отсутствие монолитности изделия, необходимость выбора правильного режима формования [2].

Технология производства изделия включает в себя следующие важные факторы: способ формования (должен соответствовать форме изделия и технологическому оборудованию), тип оснастки (должен соответствовать способу формования изделия), температурно-временной режим отверждения (должен быть оптимальным для данной рецептуры, толщины и конфигурации изделия), режим давления (должен обеспечить необходимый коэффициент наполнения и монолитность изделия), время процесса отверждения (должно быть минимальное, но достаточное для полного завершения процесса отверждения)[3].

Один из способов решения проблемы получения качественных и технологичных толстостенных изделий из ПКМ является создания образцов и изучение их на этапе промежуточной подпрессовки.

Целью данной работы является предварительная оценка влияния температуры и давления на величину усадки образца после проведения режима «горячей» подпрессовки методом автоклавного формования.

Суть метода автоклавного формования заключается в выкладке предварительно раскроенного препрега в форму, которую затем помещают в вакуумный мешок и откачивают воздух. За счет вакуумирования мешка с препрегом происходит частичное удаление летучих компонентов и воздушных включений, что обеспечивает низкую пористость получаемого изделия и равномерность его свойств в объеме. Далее вакуумированный мешок с формирующей оснасткой подается во внутреннее пространство автоклава. При сохранении разрежения внутри вакуумного мешка в рабочем пространстве автоклава создается избыточное давление (до 3,0 МПа) и повышенная температура (до 380°C) [4].

Испытания проводились на трех образцах (Рис. 1), которые изготавливались в Научно-образовательном центре авиационных композитных технологий (НОЦ-АКТ) Пермского национально исследовательского политехнического университета (ПНИПУ). Образцы имеют форму плиты габаритами 100×100 мм с укладкой слоев [0°/90°] и толщиной 40 мм (200 слоев), состоят из набора слоев препрега углепластика с саржевым плетением волокон, на основе связующего ВСЭ-1212.



Рис.1 - Исследуемый образец

Для качественного проведения режима отверждения толстостенного изделия этап формования делят на три этапа:

- Вакуумная подпрессовка
- горячая подпрессовка (ГП)
- итоговый режим формования изделия.

Горячая подпрессовка - промежуточный этап формования изделия, заключающийся в прогреве образца до заданной температуры под давлением, после определенного количества выложенных слоев. Методика измерения усадки заключалась в следующем: выкладка 40 слоев препрега, измерение толщины образца, сборка вакуумного мешка, проведение ГП, измерение толщины образца после ГП. Операции повторялись для следующих выложенных слоев.

ГП выполнялись в автоклаве после выкладки 40, 80, 120, 160, 200 слоев, по режимам указанным в таблице 1. Результаты измерений указаны в таблице 2.

Таблица 1 - Режимы проведения ГП образцов

Номер образца	Разогрев до температуры, °С	Скорость нагрева, °С/мин	Выдержка при данной температуре, мин	Избыточное давление, атм.
№1	80	3	10	Вакуум в мешке и без избыточного давления
№2	50	3	10	7 атм. и вакуум в мешке
№3	80	2	5	5 атм.

По измеренной толщине определяем процент усадки пластины от ее толщины. Средняя величина монослоя вычисляется как отношение толщины пластины к количеству слоев. По этим данным можно спрогнозировать количество слоев необходимых для обеспечения требуемых размеров пластины. Это позволяет в дальнейшем достигать нужной толщины пакета в итоговом изделии при использовании новой партии препрега или изменении схемы армирования изделия.

Таблица 2 - Величины характеристик, изменяющихся после проведения ГП

Номер образца	Количество слоев	Толщина образца, мм		Усадка, мм	Процент усадки от толщины, %	Толщина монослоя, мм
		до	после			
1	40	10,59	7,89	2,70	25,50	0,197
	80	18,40	15,26	3,14	17,07	0,191
	120	25,52	23,63	1,89	7,41	0,197
	160	32,77	31,20	1,57	4,79	0,195
	200	37,49	37,46	0,03	0,08	0,187
2	40	10,81	8,65	2,16	19,98	0,216
	80	18,03	16,98	1,05	5,82	0,212
	120	26,75	24,92	1,83	6,84	0,208
	160	34,85	33,00	1,85	5,31	0,206
	200	41,22	40,42	0,8	1,94	0,202
3	40	10,23	7,74	2,49	24,34	0,194
	80	17,08	15,10	1,98	11,59	0,189
	120	24,34	22,34	2,00	8,21	0,186
	160	31,92	29,87	2,05	6,42	0,187
	200	38,20	36,47	1,73	4,53	0,182

Таким образом, средняя величина усадки образца №1 - 1,87 мм; образца №2 - 1,54 мм; образца №3 - 2,05 мм. По результатам выполнения работ показано (Рис. 2), что наибольшая усадка получена на заготовке №3 (80°C, Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

автоклав 5 атм.), наименьшая усадка на заготовке № 2 (50°C, автоклав 7 атм.). На величину усадки пакета слоев наибольшее влияние оказывает температура горячей подпрессовки (сравнение режима образца № 1 и образца №2), чем давление (сравнение режима образца № 1 и образца №3).

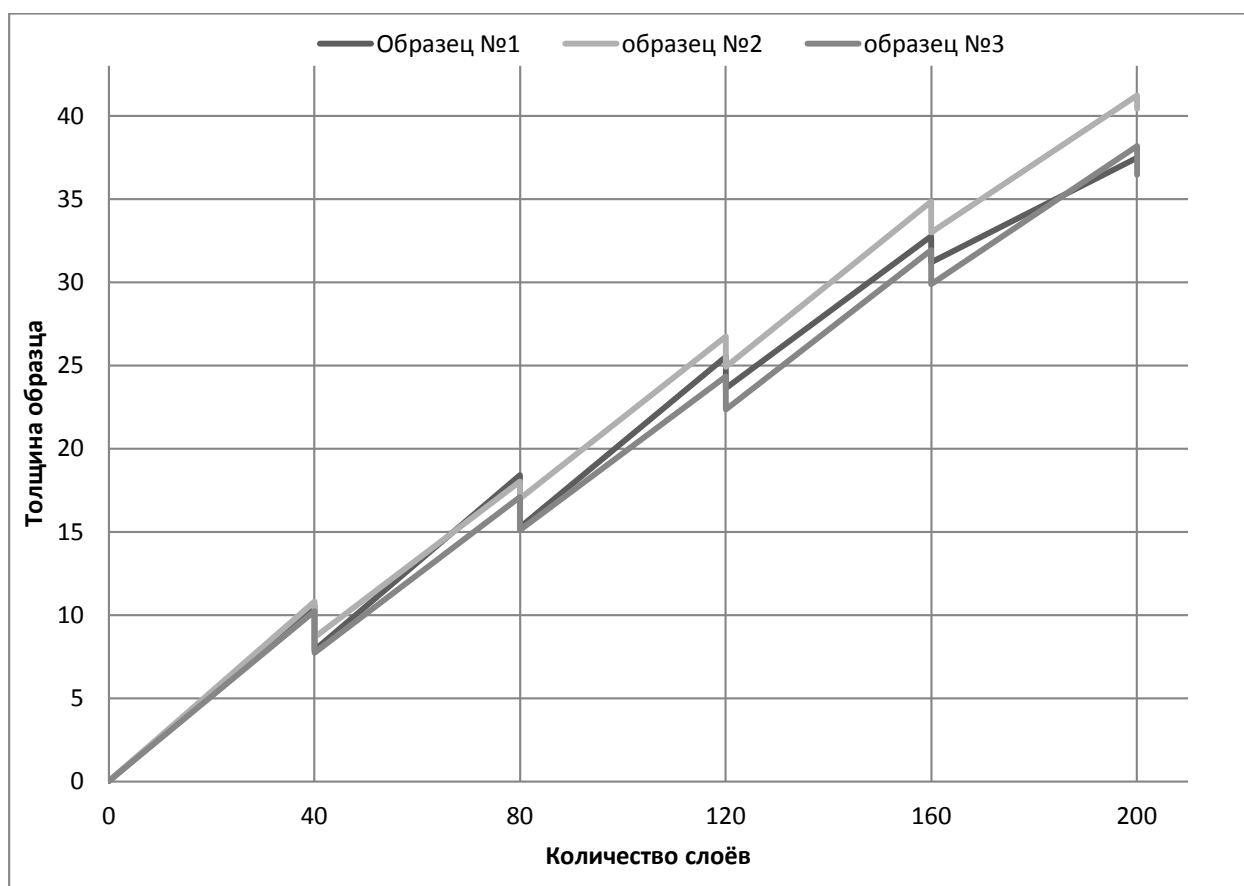


Рис.2 - Усадка слоев при проведении ГП образцов

В работе проведен анализ влияния температуры и давления на величину усадки монослоя. Получены новые данные о толщинах монослоя, изменяющихся после проведения горячей подпрессовки. В результате данной работы был выбран оптимальный режим промежуточного формования толстостенных технологических пластин.

**Работа выполнена в рамках НИРС [5].**

**Библиографический список**

1. Чекалкин А.А., Паньков А.А. Лекции по механике конструкций из композиционных материалов / Перм. гос.техн. ун-т, Пермь, 1999.-150 с.
2. Зимбицкий А. В., Стасюк Ю. В. Применение композиционных материалов в современном авиастроении, контроль за их состоянием в эксплуатации //Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2014. – №. 208.
3. Дмитриев А. О. Проблемы разработки технологии и организации производства толстостенных изделий из полимерных композитов //Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты. – 2016. – №. 7. – С. 8-10.
4. Тростянская Е.Б., Головкин Г.С., Дмитренко В.П. и др. Перспективные ПКМ и прогрессивные технологии производства из них элементов конструкции ЛА // Авиационная промышленность. - 1987. - №2. - С. 37–42.
5. Макарова Е.Ю., Соколкин А.А., Чекалкин А.А. Методические указания по проведению научно-исследовательской работы для студентов бакалавриата по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» / Е.Ю. Макарова, Ю.В. Соколкин, А.А. Чекалкин. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017. – 40 с

*Оригинальность 85%*