

*Е.Н. Шуркова<sup>1</sup>, О.С. Вольный<sup>1</sup>, Т.Ф. Изотова<sup>1</sup>, С.Л. Барботько<sup>1</sup>*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО СТРУКТУРЫ**

*Показано существенное влияние типа стеклоткани (поверхностная плотность и толщина) на характеристики тепловыделения при горении (максимальная интенсивность и общее количество выделившегося тепла).*

**Ключевые слова:** *тепловыделение при горении, полимерный композиционный материал, структура материала.*

*E.N. Shurkova<sup>1</sup>, O.S. Volny<sup>1</sup>, T.F. Izotova<sup>1</sup>, S.L. Barbotko<sup>1</sup>*

## **STUDY OF THE POSSIBILITY FOR REDUCING THE HEAT RELEASE BY CHANGING THE COMPOSITE STRUCTURE DURING THE BURNING PROCESS**

*The significant effect of glass fabric type (surface density and thickness) upon the heat release characteristics was studied during the burning process (maximum intensity and the total amount of released heat).*

**Keywords:** *heat release during the burning process, polymer composite material, material structure.*

---

<sup>1</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Основными факторами, влияющими на характеристики пожарной опасности полимерных материалов, обычно считаются теплота сгорания полимера, термостойкость и коксовое число. Для композиционных материалов, кроме вышеперечисленных факторов, важным является также процентное содержание полимерной матрицы. Обычно полагают, что на характеристики пожарной опасности инертный наполнитель оказывает влияние только с точки зрения снижения доли горючей составляющей в материале, а его вид и структура на характеристики горения практически не влияют, т. е. независимо от вида наполнителя (порошковый, рубленое волокно, ткань, мат и т. д.) значения измеряемых характеристик будут близки при условии одинакового содержания полимера.

С учетом назначения ПКМ при его изготовлении могут использоваться различные стеклоткани. Ранее были получены экспериментальные данные [1], показывающие, что при определении горючести согласно требованиям АП-25, Приложение F, Часть I [2] в зависимости от типа наполнителя в ПКМ изменяется продолжительность остаточного горения. Поэтому была поставлена задача – оценить возможное влияние типа стеклоткани на изменение характеристик тепловыделения.

Наиболее используемыми при изготовлении стеклопластиков авиационного назначения являются стеклоткани из сплошного стекловолокна типов Т-10 (поверхностная плотность  $\rho_s \approx 300$  г/м<sup>2</sup>) и Т-64 ( $\rho_s \approx 100$  г/м<sup>2</sup>), а также стеклоткань Т-15(П)-76 из полого стекловолокна. Стеклопластики на основе ткани Т-15(П)-76, которая имеет другой тип волокна, существенно отличаются по плотности, теплопроводности и теплоем-

кости. (В данной статье влияние полого стекловолокна на характеристики пожаробезопасности не рассматривается.)

Используя математическую модель «прогрев→термодеструкция→горение» [3–5], проведены расчеты по оценке кинетики тепловыделения при горении для образцов модельного стеклопластика различных толщин с варьированием поверхностной плотности стеклоткани.

При выполнении расчетов для исследования были приняты следующие основные исходные данные:

– стеклопластики независимо от типа стеклоткани содержат одинаковое количество элементарных (расчетных) слоев, толщина одного элементарного слоя составляет 0,1 мм; количество элементарных слоев определяется толщиной моделируемого стеклопластика;

– для стеклопластика на стеклоткани с поверхностной плотностью 100 г/м<sup>2</sup> принято, что каждый слой содержит 1 слой стеклоткани и необходимое количество полимера; для стеклопластиков на основе стеклоткани с поверхностной плотностью 300 г/м<sup>2</sup> принято, что каждый элементарный слой содержит 1/3 слоя стеклоткани с необходимым содержанием связующего;

- содержание связующего во всех элементарных слоях одинаковое и составляет 40%;
- теплота сгорания полимера . . . . . 30 кДж/г;
- полнота сгорания полимера . . . . . 0,8;
- коксовое число полимера . . . . . 0,25;
- теплота пиролиза полимера . . . . . 2 кДж/г;
- температура термодеструкции полимера . . . . . 400°С;
- теплоемкость стеклопластика . . . . . 1,25 Дж/(г·К);
- теплопроводность стеклопластика . . . . . 0,2 Вт/(м·К).

Некоторые расчетные кинетические кривые представлены на рис. 1. Видно, что в зависимости от поверхностной плотности используемой для изготовления образцов стеклоткани и толщины образца максимальная скорость тепловыделения снижается на 20–50%.

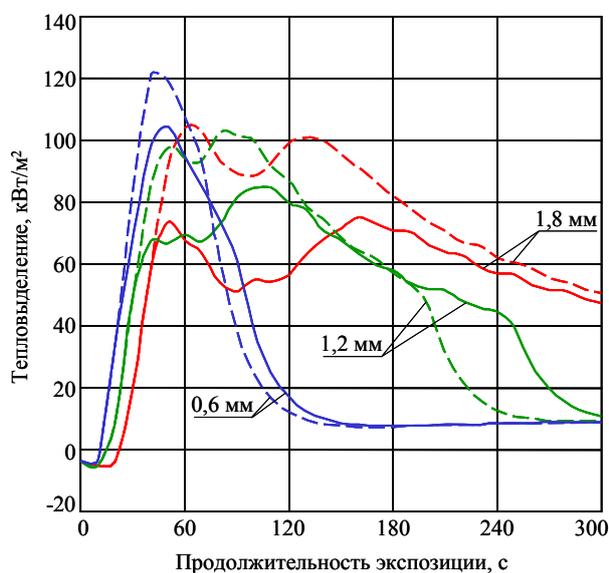


Рис. 1. Расчетные данные по влиянию поверхностной плотности (—  $\rho_s=100$  г/м<sup>2</sup>; - - -  $\rho_s=300$  г/м<sup>2</sup>) стеклотканей на кинетику тепловыделения модельного стеклопластика различной толщины

Для экспериментальной проверки расчетов были изготовлены образцы стеклопластиков на стеклотканях Т-10(ВМП)-4с (ТУ 5952-183-05786904-2004, 310 г/м<sup>2</sup>) и Т-64(ВМП)-270 (ТУ 5952-009-16319666-98, 100 г/м<sup>2</sup>). В качестве связующего был использован полисульфон ПСФ-150 (ТУ 6-06-6-88). Поскольку тепловыделение материала существенным образом зависит от толщины образца, то для проведения исследований изготовлены образцы различных толщин – от 0,2 до 2 мм. Среднее содержание термопластичного полимерного связующего в образцах составляло 40%. Режим формования образцов стеклопластика: давление 1,5 МПа, температура 290°С, выдержка 15–30 мин (в зависимости от толщины образца).

Испытания образцов композиционных материалов на тепловыделение при горении проводили на модифицирован-

ном проточном калориметре типа OSU марки HRR-3, изготовленном фирмой «Atlas electric devices» (США) и эксплуатируемом в ВИАМ с 1998 года. Подробное описание аппаратуры и методики проведения испытаний приведено в Авиационных правилах АП-25, Приложение F, Часть IV [2] и стандарте предприятия СТП 1-595-20-341–2000 «Полимерные материалы. Метод определения скорости тепловыделения при горении». В соответствии с отечественными авиационными нормами, испытание образцов проводится в вертикальном положении в течение 5 мин. При испытании используются образцы размером 150×150 мм и толщиной до 40 мм. Перед испытанием образец заворачивают в алюминиевую фольгу и помещают в держатель образца так, что остается открытой только экспонируемая поверхность размером 140×140 мм. Во время испытания на открытую поверхность образца воздействует постоянный во времени и равномерный по поверхности тепловой поток мощностью 35 кВт/м<sup>2</sup>. Воспламенение образца инициируется пламенем горелки, продукты термодеструкции догорают в пламени верхней многорожковой горелки. Согласно требованиям Авиационных правил при проведении испытаний определяются: максимальная скорость выделения тепла (пик) в кВт/м<sup>2</sup> и общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин испытания в кВт·мин/м<sup>2</sup>.

Экспериментальные данные по характеристикам тепловыделения для стеклопластика на основе полисульфона и различных типов стеклотканей в зависимости от толщины образца приведены на рис. 2. На рис. 3 представлены кинетические кривые скорости выделения тепла для тех же стеклопластиков. По характеру изменения максимальной скорости тепловыделения в зависимости от поверхностной плотности стеклоткани экспериментальные данные подтверждают выполненные расчеты.

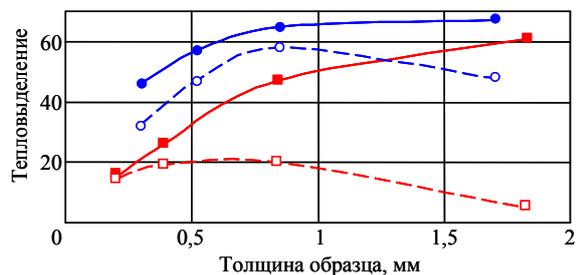


Рис. 2. Экспериментальные данные по влиянию поверхностной плотности стеклотканей Т-10(ВМП)-4с (●, ○) и Т-64(ВМП)-270 (■, □) на тепловыделение для стеклопластика на основе полисульфона (●, ■ – пик в кВт/м<sup>2</sup>; ○, □ – общее за 2 мин в кВт·мин/м<sup>2</sup>)

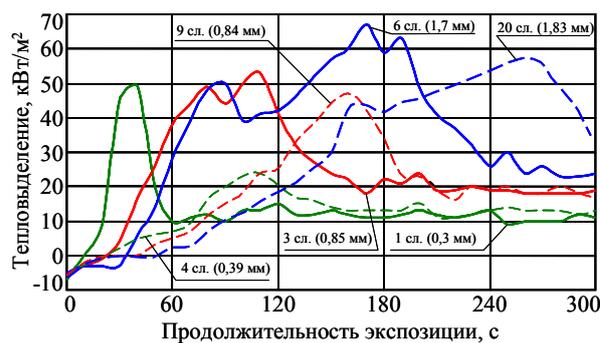


Рис. 3. Кинетические кривые выделения тепла для стеклопластиков на основе полисульфона и стеклотканей Т-10(ВМП)-4с (сплошные линии) и Т-64(ВМП)-270 (пунктирные линии) с различным количеством слоев (сл.) и разной толщиной стеклопластика (указана в скобках)

Эффект влияния поверхностной плотности стеклоткани на кинетику тепловыделения объясняется работой так называемых тепловых экранов. Под действием пламени и теплового потока происходит термодеструкция и постепенное выгорание полимерной составляющей композиционного материала в трансверсальном направлении, в результате чего обнажаются слои инертного наполнителя. В условиях передачи тепла преимущественно лучистым потоком слои стеклоткани работают как тепловые экраны, в результате чего попадающий на полимер тепловой поток многократно уменьшается, что приводит к снижению интенсивности прогрева материала и изменению скорости

термодеструкции. Количество передаваемого тепла в зависимости от количества тепловых экранов меняется по закону [6]:

$$q_{\text{вых}} = \frac{q_{\text{пад}}}{1+n},$$

где  $q_{\text{пад}}$  и  $q_{\text{вых}}$  – падающий и выходящий тепловые потоки, Вт/м<sup>2</sup>;  $n$  – количество тепловых экранов.

В итоге при выгорании одного и того же количества стеклопластика на основе стеклоткани Т-64(ВМП), заменившей стеклоткань Т-10(ВМП), вместо одного теплового экрана образуется три, и попадающий на полимер тепловой поток соответственно уменьшится не в 2, а в 4 раза. Таким образом, существует возможность – не уменьшая содержания связующего, не вводя дополнительных модифицирующих агентов (антипиренов) и не используя более термостойкое (и дорогое) связующее, – добиться снижения интенсивности тепловыделения от композиционного материала путем использования стеклоткани с меньшими поверхностной плотностью и толщиной. Аналогичный эффект должен наблюдаться и для углепластиков, так как углеткань в условиях пожара также практически не выгорает.

Таким образом, в процессе исследования показано, что в зависимости от вида стеклоткани при одинаковой толщине стеклопластика и содержании связующего существенно образом изменяются характеристики тепловыделения при горении стеклопластиков. Варьируя тип стеклоткани, можно добиться существенного снижения тепловыделения полимерных композиционных материалов как по максимальной интенсивности выделяемого тепла, так и по общему количеству выделяемого тепла за первые 2 мин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барботько С.Л., Дементьева Л.А., Сереженков А.А. Горючесть стекло- и углепластиков на основе клеевых препрегов //Клеи. Герметики. Технологии. 2008. №7. С. 29–31.
2. Авиационные правила. Глава 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории //Межгосударственный авиационный комитет. 3-е изд. с поправками 1–6. ОАО Авиаиздат. 2009. 274 с.
3. Барботько С.Л. Моделирование процесса горения материалов при испытаниях по оценке тепловыделения //Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16. №3. С. 10–24.
4. Барботько С.Л., Вольный О.С., Изотова Т.Ф. Математическое моделирование тепловыделения при горении для полимерных композиционных материалов различной толщины //Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16. №4. С. 16–20.
5. Барботько С.Л. Оценка погрешностей сделанных допущений в математической модели тепловыделения при горении полимерных материалов //Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16. №5. С. 19–22.
6. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа. 1967. 600 с.

#### REFERENCES LIST

1. Barbot'ko S.L., Dement'eva L.A., Serezhenkov A.A. Gorjuchest' steklo- i ugleplastikov na osnove kleevyh prepregov [Flammability of glass and carbon fiber-based adhesive prepreg] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2008. №7. S. 29–31.
2. Aviacionnye pravila. Glava 25. Normy letnoj godnosti samoletov transportnoj kategorii [Aviation Regulations. Chapter 25. Airworthiness standards transport category airplanes] //Mezhgosudarstvennyj aviacionnyj komitet. 3-e izd. s popravkami 1–6. OAO Aviaizdat. 2009. 274 s.
3. Barbot'ko S.L. Modelirovanie processa gorenija materialov pri ispytaniyah po ocenke teplovydelenija [Simulation of combustion materials in tests to assess heat] //Pozharovzryvobezopasnost'. 2007. T. 16. №3. S. 10–24.

4. Barbot'ko S.L., Vol'nyj O.S., Izotova T.F. Matematicheskoe modelirovanie tep-lovydelenija pri gorenii dlja polimernyh kompozicionnyh materialov razlich-noj tolshhiny [Mathematical modeling of heat during combustion for polymeric composite materials of different thicknesses] //Pozharovzryvobezопасnost'. 2007. T. 16. №4. S. 16–20.
5. Barbot'ko S.L. Ocenka pogreshnostej sdelannyh dopushhenij v matematicheskoj modeli teplovydelenija pri gorenii polimernyh materialov [Estimation of accuracy of the assumptions made in the mathematical model of heat during combustion of polymeric materials] //Pozharovzryvo-bezопасnost'. 2007. T. 16. №5. S. 19–22.
6. Lykov A.V. Teorija teploprovodnosti [Theory of Heat Conduction]. M.: Vysshaja shkola. 1967. 600 s.