

## ПОДОГРЕВАЕМАЯ ФОРМООБРАЗУЮЩАЯ ОСНАСТКА РЕГЛАМЕНТИРОВАННОГО КАЧЕСТВА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Формование композиционных изделий, обладающих высокими физико-механическими характеристиками, как правило, происходит с помощью нагревателей – печь, автоклав. Эффективность любого способа нагрева определяется соотношением произведенного и переданного тепла, поэтому внедрение контактных нагревателей в композитное производство является актуальной задачей, что позволяет снизить сроки и затраты на производство композиционных конструкций.

Существующие альтернативные традиционным способам нагрева СВЧ-комплексы, подогреваемые оснастки (водные, масляные, воздушные) характеризуются кроме высокой стоимости большой сложностью производства, эксплуатации и обслуживания, поэтому не находят широкого промышленного применения [1–3].

Использование резистивных блоков (рис. 1) в подогреваемой оснастке позволяет реализовать эффективный нагрев композита без существенного изменения конструкции оснастки.

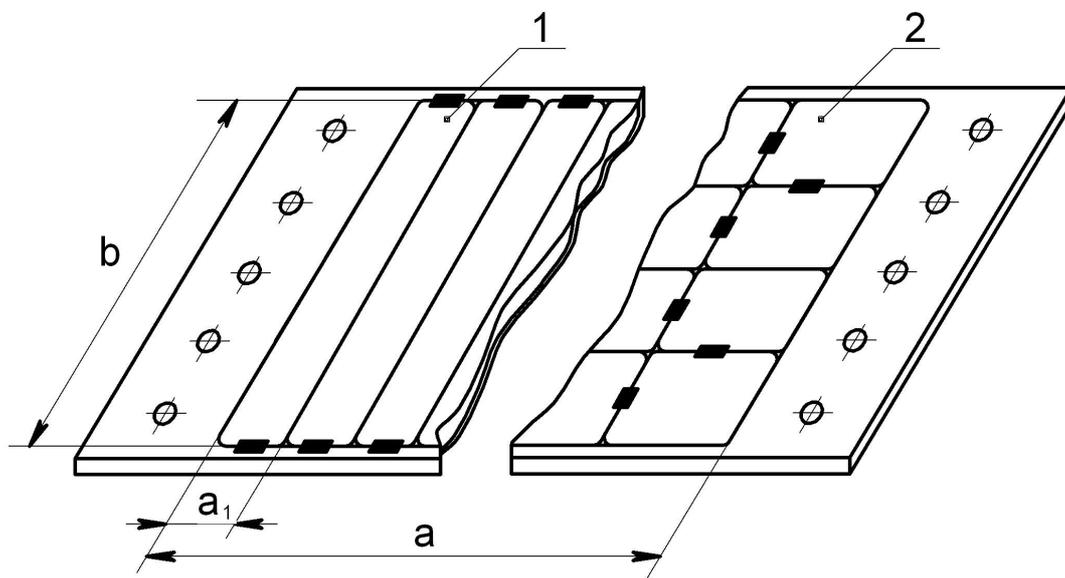


Рисунок 1 – Нижняя часть формообразующей поверхности оснастки с нагревательным слоем: 1 – из пластин; 2 – блоков с сердечником

Нагревательные блоки можно изготовить либо на основе тонковолокнистой резистивной структуры, либо на основе пластин или небольших сердечников. Промышленные резистивные блоки представляют собой изолированные тонкие токопроводящие пластины, длина которых значительно превышает ширину, а также небольшие

блоки с прямоугольным или круглым сердечником, рассчитанные на напряжение 12, 24...220 В. Главный недостаток пластин и блоков с сердечником – зазор, возникающий при установке блоков, компенсировать перепад температуры от которого возможно только достаточной толщиной формообразующей поверхности оснастки. И только резистивные блоки на основе тонковолокнистой резистивной структуры позволяют реализовать равномерность температурного поля на формообразующей поверхности, когда установка резистивных блоков осуществляется с зазором, равным шагу укладки резистивной нити. При этом следует отметить экономическую эффективность использования промышленных блоков, что позволяет проводить их замену при ремонте или переходе на другой режим формования. Однако не всегда можно сформировать рабочую поверхность заданных габаритов и требуемого напряжения из промышленных нагревательных элементов, поэтому параметры пластин необходимо рассчитывать по следующему алгоритму.

Принимаем длину пластины по размерам меньшей стороны рабочей поверхности оснастки, предположим –  $b$ , ширину пластины  $a_1$  из расчета  $b/a_1 \geq 10$  и  $a/a_1 = m$  (количество пластин) и толщину пластины  $\delta_{пл}$ , которую необходимо будет найти. Зная необходимую мощность нагревательной системы  $N$  [3] определим величину мощности одного звена  $N_m$  для параллельного или последовательного соединения

$$N_m = \frac{N}{m}, \quad \text{или} \quad N_m = mN. \quad (1)$$

Из формулы мощности источников тока определим значение сопротивления пластины –

$$R_m = \frac{U^2}{N_m}, \quad (2)$$

где  $U$  – напряжение от источника.

Выбрав материал пластины, определим ее толщину, пользуясь полной формулой сопротивления:

$$\delta_{пл} = \frac{\rho b}{a_1 R_m}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – удельное электросопротивление материала.

Следующий параметр нагревательной системы – величина заглибления резистивного слоя  $h$ , определить которую можно, воспользовавшись адаптированной к пластине формулой [3]

$$h = \frac{\lambda T (\delta_{пл} + a_1) b}{N}, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности системы, определяемый материалом изоляционного материала и материалом верхней обшивки поверхности оснастки,  $\lambda = \lambda_{из} + \lambda_{фп}$ ;

$T$  – заданная температура формования.

Величина заглабления не может быть меньше толщины поверхности оснастки, так как нарушение целостности ее структуры приведет к уменьшению ресурса оснастки, поэтому рациональнее принять величину заглабления равную толщине поверхности оснастки, и пересчитать значение потребной мощности системы и заново определить толщину пластин резистивного слоя.

Для апробации теоретических исследований была разработана подогреваемая оснастка на основе резистивных пластин для формования опытных стеклопластиковых образцов с габаритными размерами  $225 \times 225 \times 3$  мм, отвечающая следующим требованиям: потребная температура формования –  $160^\circ\text{C}$ , ресурс – 30 съемов.

По стандартному режиму формования для печи образцы прогревают со скоростью  $1^\circ\text{C}/\text{мин}$  до  $60^\circ\text{C}$ , при этой температуре выдерживают час, после чего температуру поднимают с той же скоростью до  $160^\circ\text{C}$  и выдерживают два часа. Охлаждение системы проводится за счет теплообмена печи с воздухом.

Для реализации режимов формования была решена описанная ранее задача теплопроводности с учетом экзотермического эффекта при отверждении связующего и инерционности системы [2] и определена необходимая для нагрева максимальная мощность резистивного слоя  $N = 179$  Вт (рис. 2).

Поиски решения теплопроводной задачи и закона управления мощностью системы температурного режима осуществлялись из условия обеспечения температурного режима по нижней поверхности формуемого пакета, при этом перепад по толщине формуемого изделия не превышает  $3^\circ\text{C}$  (см. рис. 2). Непрерывный режим управления силой тока как зависимость  $t_{\text{им.вкл}}$  от времени при  $T_{\text{ШИМ}} = 1$  мин и постоянной силе тока 2 А показан на рис. 3.

Стеклопластиковая поверхность оснастки имеет припуск по периметру (10 см) для обеспечения легкости съема изделия, установки вакуумного мешка и креплений по контуру. Таким образом, размеры поверхности оснастки составляют  $325 \times 325 \times 8$  мм, где толщина формообразующей поверхности оснастки подобрана из условия обеспечения ресурса [4] и компенсации теплоотвода. Каркас содержит два элемента жесткости, установка которых необходима для удобства эксплуатации оснастки. Резистивный слой состоит из 25 углепластиковых пластин шириной 9 мм и толщиной 0,1 мм. Общая мощность резистивного слоя равна 193,6 Вт при напряжении от источника питания в 220 В. В случае использования нихрома количество и размер пластин остается прежним при толщине 0,22 мм и общей мощности 181 Вт от источника тока в 24 В.

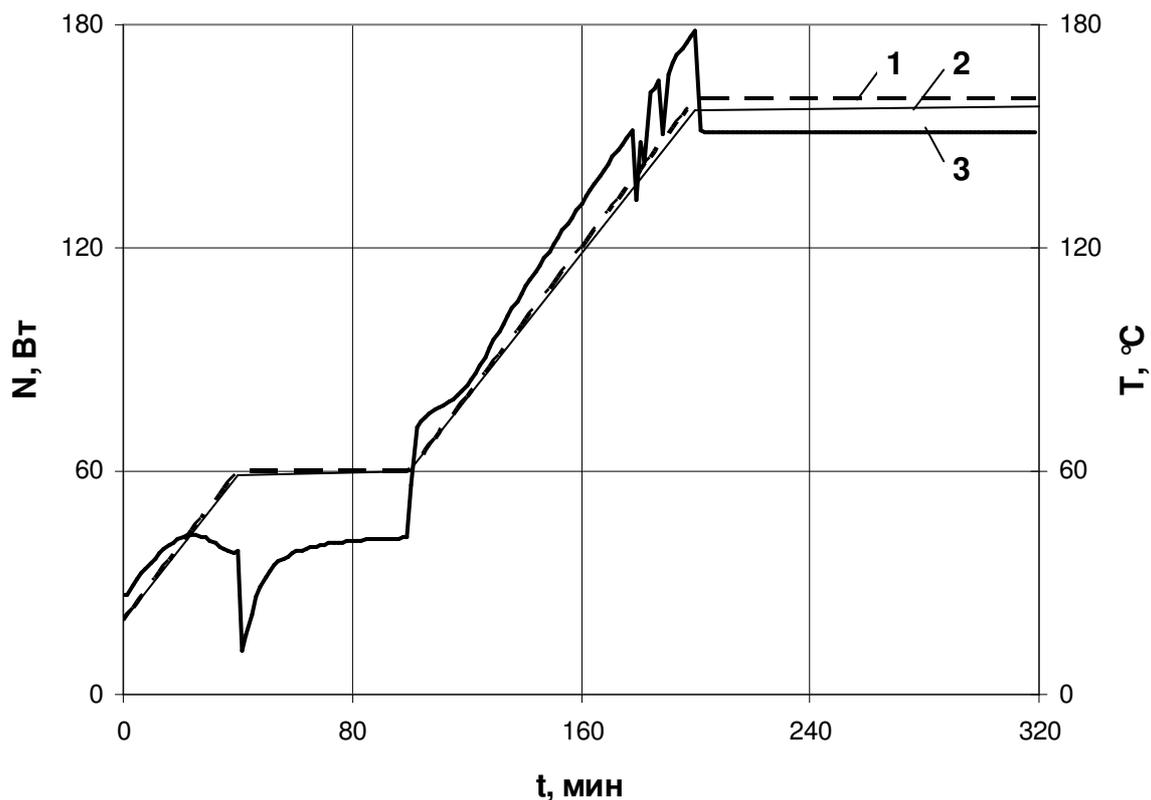


Рисунок 2 – Зависимости параметров стандартного режима формования: 1 – температуры от времени на нижней поверхности изделия; 2 – температуры от времени на верхней поверхности изделия; 3 – мощности от времени

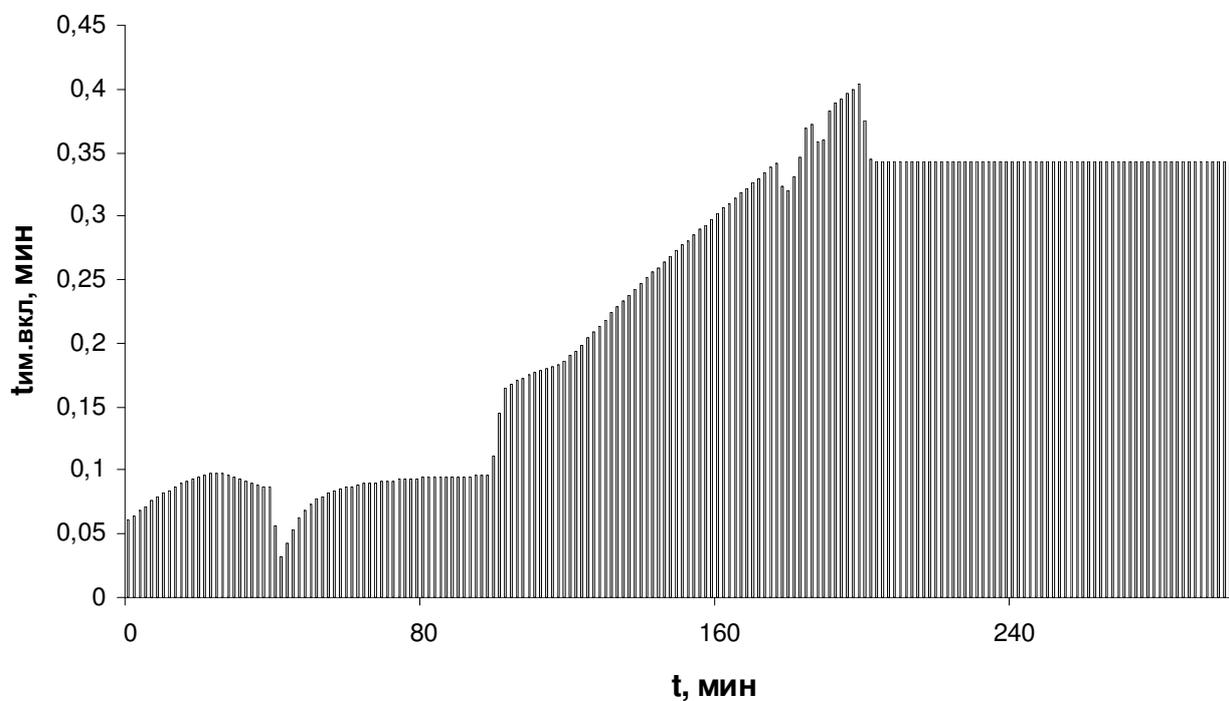


Рисунок 3 – Зависимость времени импульсного включения от времени

В таблице представлены параметры формования образцов в печи и на подогреваемой оснастке, выигрыш по времени составляет 60%, а

по потребляемой мощности – почти 40%. Выигрыш по времени идет за счет значительного уменьшения инерционности системы на этапе охлаждения, при этом сам режим отверждения остается одинаковым как для печи, так и подогреваемой оснастки.

Потребная мощность нагревательной системы для стандартного режима формования

Параметры режима отверждения	$\tau$ , ч.	N, Вт	$\tau$ , ч.	N, Вт
	печь		термооснастка	
$V_1=1^\circ\text{C}/\text{min}$ , $V_2=1^\circ\text{C}/\text{min}$ $T_2=160^\circ\text{C}$ , $t_2=120 \text{ min}$	14,3	940	5,63	587
Примечание: $\tau$ – полное время режима формования, включающее в себя этап охлаждения системы, ч.				

Таким образом, представленная методика расчета подогреваемой оснастки позволяет спроектировать и изготовить подогреваемую оснастку для получения композиционных конструкций при уменьшении экономических и временных затрат.

#### Список использованных источников

1. Пат. 38875 Украина, МПК В29С51/26. Оснащення для формування виробів з полімерних композиційних матеріалів / Шевцова М.А., Чубченко С.М.; Заявитель и патентообладатель Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – № 200809637; заявл.19.11.2008; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2. – 7 с.: ил.

2. Пургина С.М. Выбор рациональных параметров теплообразующих элементов для формования изделий из композиционных материалов / С.М. Пургина // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні – ІКТМ'2008: тези доп. міжнар. конф., 25–28 листопада 2008 р. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2008. – С. 95.

3. Пургина С.М. Проектирование оснастки для формования изделий из композиционных материалов / С.М. Пургина // Композиционные материалы в промышленности: тез. докл. междунар. конф., 1–6 июля 2009 г. – К., 2009. – С. 369–372.

4. Чубченко С.М. Проектирование подкрепленной оснастки с заданным ресурсом для формования изделий из композиционных материалов // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», – 2006. – № 47. – С. 79–85.

*Поступила в редакцию 09.03.10.*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*