

Выводы

Результаты испытаний показали:

1 - статическая прочность соединений на отрыв остается на одном уровне при различных припусках стержня и различных высотах замыкающих головок;

2 - получен некоторый прирост выносливости соединений при уменьшении припуска стержня и образующей замыкающей головки;

3 - технологический процесс клепки заклепками ЗУИМ отработан и внедрен в серийное производство. Разработаны отраслевые технологические рекомендации ТР 1.4.175-77;

4 - на конструкцию и размеры заклепок выпущены отраслевые стандарты ОСТ 1.34047-80 и ОСТ 1.34048-80.

Л и т е р а т у р а

1. Аксютин В.Д., Мананников В.А., Плауцин Д.В., Гладышев А.Г., Акимов Д.В. и Били Д.С. Авторское свидетельство СССР № 594348 "Потайная заклепка". Бюллетень изобретений № 7, 1978 г.
2. Бекин С.С., Аксютин В.Д., Пронин С.В., Мананников В.А. Авторское свидетельство СССР № 593011 "Потайная заклепка". Бюллетень изобретений № 6, 1978 г.

УДК 678.7.02

Б.А.Седых, А.В.Павлов

О ПРИМЕНЕНИИ ЗАКЛАДНЫХ ТЕПЛОУДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ОТВЕРЖДЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

В связи с расширением применения композиционных материалов (КМ) в конструкции машин при выполнении монтажно-сборочных операций возникает необходимость применения неотвержденных КМ, например, при ремонтно-восстановительных работах, при заполнении монтажных зазоров, а также при формировании компенсирующего звена

размерной цепи [1]. В этих случаях применяют, как правило, КМ с полимерной матрицей холодного отверждения, что позволяет выполнять указанные работы при температуре цаха. Однако, в связи с тем, что в этих условиях процесс отверждения продолжается 24 и более часа, соответственно увеличивается и производственный цикл сборки изделий. Следовательно, резервом сокращения производственного цикла монтажно-сборочных работ с применением КМ является ускорение процесса отверждения этих материалов.

В настоящей работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса отверждения КМ с помощью закладных тепловыделяющих элементов. Этот способ достаточно эффективен как с точки зрения получения КМ с повышенными физико-механическими показателями, так и упрощения реального производственного процесса отверждения [2]. Улучшение условий удаления летучих при отверждении, легкоуправляемое температурное поле внутри пакета, уменьшение усилия прессования приводит к тому, что получаемый КМ характеризуется меньшим разбросом свойств и меньшим уровнем остаточных напряжений, а процесс отверждения реализуется на более простом оборудовании при меньшем производственном цикле.

Цель настоящих исследований заключалась в определении температурных режимов, потребных токовых нагрузок и времени для отверждения КМ небольшой толщины (до 10 мм) на основе эпоксидиановой матрицы, наполненной порошком железа и армированной стеклотканью типа МТС. В качестве закладного элемента был использован нихромовый проводник - проволока диаметром 0,3 мм. Схема нагрева представлена на рис. 1.

При подаче в закладной элемент электрического тока происходил нагрев КМ, величина нагрева измерялась термопаркой, установленной в стыке КМ с плитой оснастки.

Для расчета теплового режима КМ необходимо определять теплофизические характеристики (ТФХ) материала - коэффициент теплопроводности λ КМ, удельную теплоемкость $C_{\text{КМ}}$ и плотность ρ КМ. Коэффици-

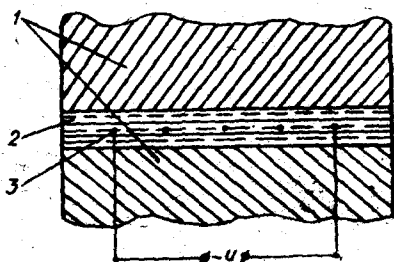


Рис. 1. Схема нагрева композиционного материала (КМ): 1-плиты оснастки, 2- КМ; 3 - проволока; нихром $\varnothing 0,3$ мм

коэффициент теплопроводности $\lambda_{км}$ был определен по следующей зависимости [3]

$$\lambda_{км} = \lambda_{св.км} \left[\frac{1,525 V_{ар}}{1 - 1,08 \sqrt{V_{ар}} (1 - 1/\lambda_{яч})} + (1 - 1,8 \sqrt{V_{ар}}) \times \right. \\ \left. \times (1 - 1,5 \sqrt{V_{ар}}) + \frac{2,52 \sqrt{V_{ар}} - 3,05 V_{ар}}{1 - 0,504 \sqrt{V_{ар}} (1 - 1/\lambda_{яч})} \right], \quad (1)$$

где $\lambda_{км}$ - коэффициент теплопроводности, км;
 $V_{ар}$ - объемная доля арматуры (стеклоткани),
 $V_{ар} = (1 - m_{св}) \rho_{км} / \rho_{ар}$;
 $m_{св}$ - массовая доля связующего;
 $\rho_{км}$ - плотность композиционного материала;
 $\rho_{ар}$ - плотность арматуры (стеклоткани);
 $\lambda_{яч}$ - теплопроводность газа в ячейках, км;
 $\lambda_{яч} = 0,4 \lambda_{ар} / \lambda_{св} + 1,15$;

$\lambda_{ар}, \lambda_{св}$ - теплопроводность арматуры и связующего соответственно;
 $\lambda_{св.км}$ - теплопроводность связующего с учетом наполнителя.
 Теплопроводность связующего с учетом наполнителя может быть определена по формуле Оделевского [4]

$$\lambda_{св.км} = \lambda_{св} \left(1 + \frac{V_H}{\frac{1 - V_H}{3} + \frac{1}{\lambda_H / \lambda_{св} - 1}} \right), \quad (2)$$

где V_H - объемная доля наполнителя (железного порошка).
 Композиционный материал, примененный в исследовании, имел следующий состав:

эпоксидная смола ЭД-20-100 в.ч.,

отвердитель ПЭПА - 10 в.ч.

железный порошок ПЖ - 65 в.ч.

и характеристики:

$$V_H = 0,065; V_{ар} = 0,22; \lambda_H = 58,5 \frac{Вт}{м \cdot град};$$

$$\lambda_{св} = 0,18 \frac{Вт}{м \cdot град}; \lambda_{ар} = 0,85 \frac{Вт}{м \cdot град}$$

Подставляя указанные значения в (2) и (1), получаем:

$$\lambda_{св.км} = 0,222 \frac{Вт}{мград}; \lambda_{км} = 0,296 \frac{Вт}{мград}.$$

Плотность ρ км была определена опытным путем и составила

$$\rho_{км} = 1950 \frac{кг}{м^3}.$$

Удельная теплоемкость $C_{км}$ была рассчитана по формуле:

$$C_{км} = \frac{1}{\rho_{км}} \sum_{i=1}^3 c_i \rho_i V_i, \quad (3)$$

где c_i, ρ_i, V_i - удельная теплоемкость, плотность и объемные доли арматуры (стеклоткани), смолы ЭД-20 и железного порошка. Эти характеристики имеют следующие значения [5], [6]:

$$\text{для стеклоткани: } c = 830 \frac{Джс}{мград}; \rho = 2500 \frac{кг}{м^3}; V = 0,27;$$

$$\text{для смолы ЭД-20: } c = 1045 \frac{Джс}{мград}; \rho = 1200 \frac{кг}{м^3}; V = 0,665;$$

$$\text{для железного порошка: } c = 440 \frac{Джс}{мград}; \rho = 7500 \frac{кг}{м^3}; V = 0,065.$$

При этих исходных данных удельная теплоемкость км, определенная по формуле (3), составила $C_{км} = 824 \frac{Джс}{кгград}$.

Таким образом, теплофизические характеристики км имеют следующие значения:

$$\rho_{км} = 1950 \frac{кг}{м^3}; \lambda_{км} = 0,296 \frac{Вт}{мград}; C_{км} = 824 \frac{Джс}{кгград}.$$

Аналогичные характеристики для плит оснастки (Ст 20) равны:

$$\rho_{ст} = 7850 \frac{кг}{м^3}; \lambda_{ст} = 51 \frac{Вт}{мград}; C_{ст} = 460 \frac{Джс}{кгград}.$$

Расчет теплового режима км в случае точного решения вызывает значительные трудности, поэтому в настоящей работе этот расчет выполнен при некоторых допущениях, позволяющих упростить постановку и решение задачи.

В связи с малой толщиной км плиты оснастки заменены неограниченным полупространством, не учтены потери тепла на конвекцию, линейные источники тепла представлены плоским потоком постоянной

интенсивности, схема нагрева симметрична относительно плоскости расположения закладных элементов, что справедливо в случае одинаковых плит оснастки; кроме того, не учтено изменение коэффициента теплопроводности связующего в процессе отверждения.

Так как в эксперименте измерялась температура поверхности КМ, целесообразно получить функциональную зависимость изменения температуры поверхности КМ, затем определить распределение температурного поля по толщине КМ.

В условиях рассматриваемой задачи эта функциональная зависимость может быть представлена в виде [7]

$$t_{пов} = t_0 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{S\sqrt{\tau}}{\sqrt{\lambda_{KM} C_{KM} \rho_{KM}}}, \quad (4)$$

где τ - текущее время;

t_0 - начальная температура;

S - тепловой поток

Тепловой поток S , расходуемый на нагревание КМ, определяется выражением

$$S = \frac{S_0}{2} \frac{1}{m+1} \quad (5)$$

где S_0 - начальный тепловой поток;

m - коэффициент, определяемый по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\lambda_{ст} \rho_{ст} C_{ст}}{\lambda_{KM} \rho_{KM} C_{KM}}}$$

Для рассматриваемой задачи $m = 19,6$.

На рис. 2 представлены результаты определения $t_{пов}$, полученные по формуле (4) и определенные экспериментально.

До момента времени $\tau = 6000$ с имеется удовлетворительное согласование температур. Некоторое превышение расчетных температур при более длительном нагреве можно объяснить конвективными потерями тепла в эксперименте, которые не учитываются расчетной формулой.

Температурное поле внутри КМ может быть характеризовано градиентом температуры

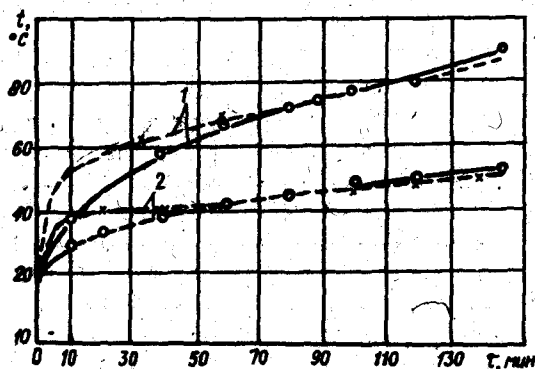
$$\frac{\partial t}{\partial x} = G \frac{S}{\lambda_{KM}}, \quad (6)$$

где G - параметр градиента температур.

$$G = \varepsilon \tau f_0 \frac{1}{2\sqrt{F_0}}$$

$$F_0 = \frac{\alpha \tau}{x^2}$$

где λ - коэффициент температуропроводности;
 x - текущая координата по толщине КМ.



Р и с. 2. Изменение температуры поверхности КМ:

1 - при $S_0 = 2 \times 10^4$ Вт/м²

2 - при $S_0 = 1 \times 10^4$ Вт/м²

- x - x - экспериментальные данные
 - o - o - расчетные значения

Значения G табулированы и представлены в [7].

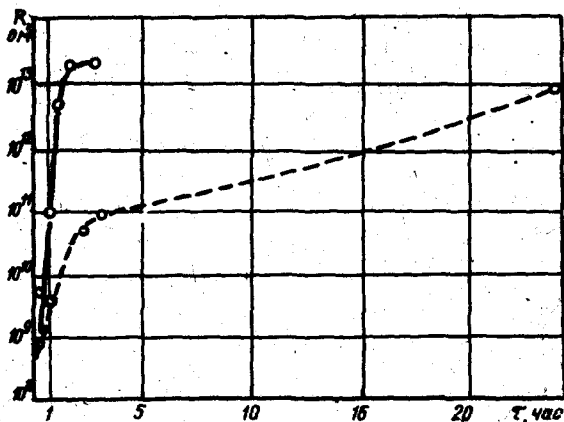
В рассматриваемых условиях при $X = 1 \times 10^{-3}$ м градиент температуры составил $1,8^\circ\text{C}$, т.е. при тонкостенном КМ температурное поле внутри материала несущественно отличается от температуры поверхности КМ.

В процессе выполнения экспериментальных исследований было определено длительность нагрева КМ на время его отверждения. При нагреве образцов одновременно с измерением температуры поверхности КМ производилось измерение их объемных сопротивлений с помощью термометра Е6-13.

Кроме того, было проведено измерение объемного сопротивления контрольных образцов, приготовленных по одинаковой технологии и рецептуре, но отверждаемых без нагрева при нормальной температуре.

Результаты замеров представлены на рис. 3. Как следует из опытных данных, после нагрева образцов КМ в течение 2 часов при

температуре 70–80°C величины объемного сопротивления этих образцов, а также контрольных образцов, отвержденных при нормальной температуре в течение 24 часов, одинаковы и составляют около 10^{13} Ом.



Р и с. 3. Изменение объемного сопротивления КМ в процессе отверждения: - - - отверждение без нагрева; — — — отверждение при нагреве $S_D = 2 \times 10^4$ Вт/м²; толщина КМ 4×10^{-3} м

Следовательно, можно сделать вывод, что нагрев КМ с указанными параметрами уменьшает время отверждения в 10–12 раз.

Выводы

1. Применение в условиях монтажно-оборочного производства закладных теплопроводящих элементов для ускорения отверждения тонкостенных КМ достаточно эффективно и позволяет ускорить время отверждения в 10–12 раз.

2. Для КМ малой толщины (6–10 мм) с эпоксидной матрицей, армированной стеклотканью, в качестве закладного элемента (нагревателя) может быть применена никромовая проволока $\varnothing 0,3$ мм, длина которой должна обеспечивать создание теплового потока около 2×10^4 Вт/м², время нагрева 120–150 мин.

3. Разработанная методика определения температуры нагрева КМ в зависимости от мощности закладных элементов и времени нагрева

может быть применена для определения характеристик закладных элементов для нагрева ИМ, имеющих отличные от исследованных теплофизические характеристики и толщину.

Л и т е р а т у р а

1. А.С. № 155363. Способ монтажа механизмов, спецсистем и приборов с применением пластмасс. Бюллетень изобретений № 12, 1963.
2. Тростянская Е.Б., Михайлин Д.А., Баранов Д.Н. Отверждение пластиков с помощью токопроводящих наполнителей. - Пластические массы, № 1, 1977...
3. Ефимов В.А. Исследование тепловых свойств армированных пластмасс. М.: ВИАМ, 1974.
4. Дульнев Г.Н., Заричняк Д.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л.: Энергия, 1974.
5. Чиркин В.С. Теплопроводность промышленных материалов. М.: Машиз; 1962.
6. Теплофизические свойства веществ. Справочник под ред. Н.Б.Варгафтика. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956 г.
7. Пехович А.И., Идких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. Л.: Энергия, 1976.

УДК 621.5.042

В.А.Овчаров, В.П.Горбунов

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СТЕНДЫ ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ АППАРАТУРЫ

Важнейшим и широко распространенным способом контроля качества аппаратуры пневматических, гидравлических и топливных систем изделий, выпускаемых промышленностью, являются пневматические и гидравлические испытания.

Стенды для таких испытаний на предприятиях составляет около 23% от всего парка испытательного оборудования.

Анализ предприятий, эксплуатирующих указанное оборудование, показывает, что на 90% оно собственного изготовления, причем стоимость этих стендов колеблется от сотен до сотен тысяч рублей.