

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение  
высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»**

**Тема бакалаврской работы: «Исследование теплового метода неразрушающего контроля качества двухслойных изделий, состоящих из сплава алюминия с полиамидным покрытием»**

**Автор работы: Кох-Татаренко Вадим Станиславович**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор Майникова Нина Филипповна**

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

Тамбов 2016

## **АКТУАЛЬНОСТЬ:**

В настоящее время из-за сложности и большого объема практического исполнения актуально внедрение новейших и усовершенствование существующих методов и средств контроля за качеством материалов и изделий.

## **ЦЕЛЬ РАБОТЫ:**

Исследование теплового метода НК качества двухслойных изделий, состоящих из сплава алюминия с полиамидным покрытием.

## **НАУЧНАЯ НОВИЗНА**

1. Численно исследовано распространение тепла в двухслойном полимерно-металлическом изделии от действия круглого плоского источника тепла постоянной мощности при отсутствии и наличии локальных дефектов в виде различных включений (металл, воздух).
2. Изучена возможность определения наличия различных дефектов и их размеров применительно к исследованному методу НК.
3. Исследованы антифрикционные свойства армированного полиамида и показана целесообразность введения в полиамид-12 синтетических волокон Аримид Т.

# СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПА-12

3

1. Высокая ударопрочность.
2. Высокая стойкость к растрескиванию.
3. Низкое влагопоглощение.
4. Хорошие диэлектрические свойства.
5. Стойкость в агрессивных средах.
6. Не вызывают коррозии соприкасающихся материалов.

Предназначается для:

- изготовления искусственных кровеносных сосудов, протезов;
- в мебельной, электротехнической и радиотехнической промышленности;
- в текстильной промышленности на основе полиамидов изготавливаются ткани;
- в качестве конструкционного материала в машиностроении.

| Теплофизические свойства<br>ПА-12       |       |
|---|-------|
| Теплопроводность<br>$\lambda$ , Вт/мК   | 0,275 |
| Теплоемкость<br>$C$ , Дж/кгК            | 1950  |
| Плотность<br>$\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 1020  |

# ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СХЕМА МЕТОДА

4

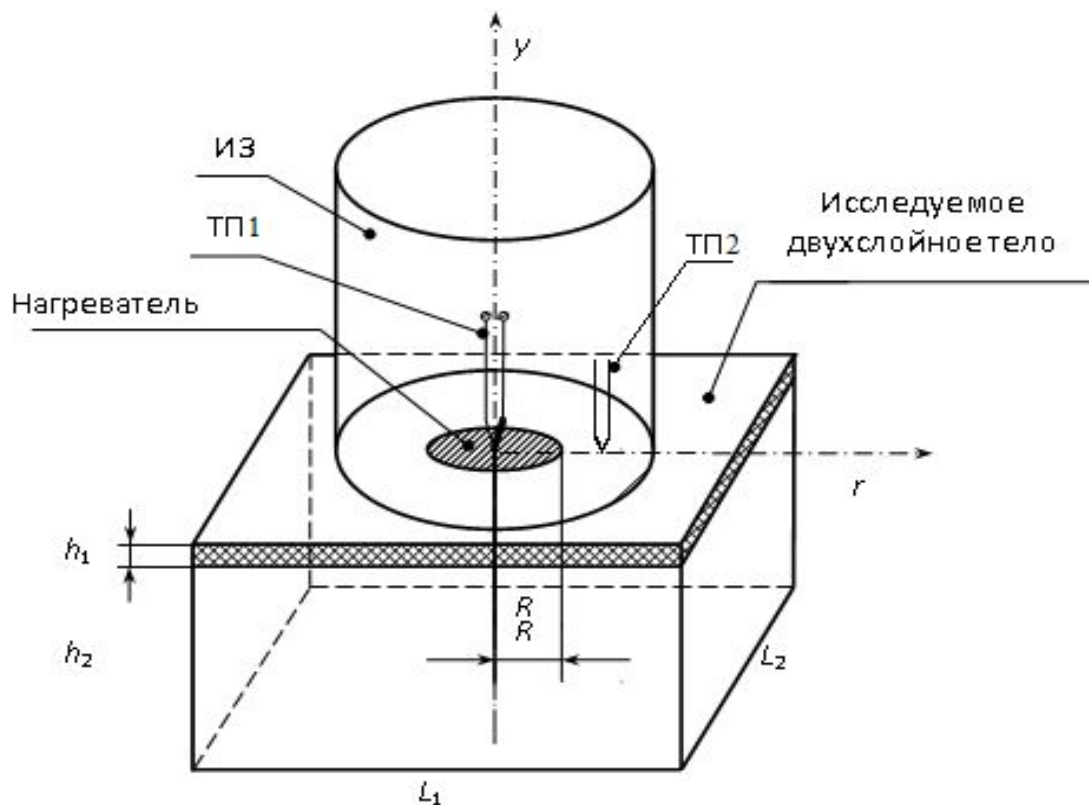


Рис. 1. Измерительная схема

Таблица 1 – Свойства подложки (“РИПОР”)

| Свойства подложки зонда              |       |
|--------------------------------------|-------|
| Теплопроводность $\lambda$ , Вт/м·К  | 0,028 |
| Теплоемкость $c$ , Дж/кг·К           | 1270  |
| Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 50    |

Таблица 2 – Свойства сплава алюминия 6061

| Свойства алюминия                    |      |
|--------------------------------------|------|
| Теплопроводность $\lambda$ , Вт/м·К  | 237  |
| Теплоемкость $c$ , Дж/кг·К           | 900  |
| Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 2700 |

# ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ЗОНД

5

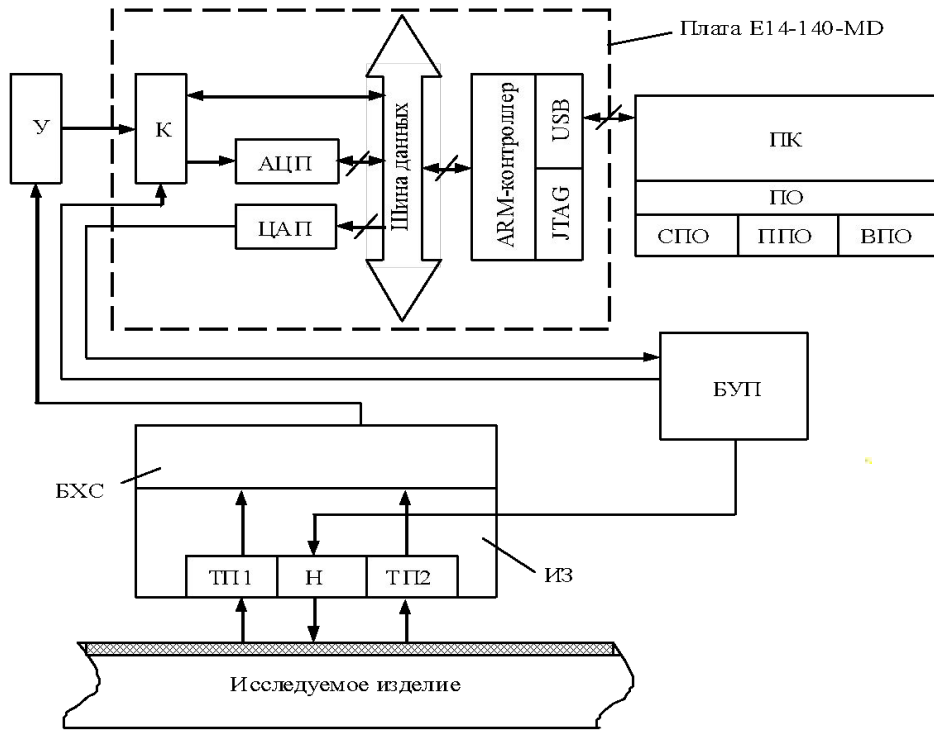


Рис. 1 – Структурная схема

ИС – измерительная система; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; БУП – блок управления питанием; БХС – блок холодного спая; ИЗ – измерительный зонд; СПО – системное программное обеспечение; ППО – прикладное программное обеспечение; К – контроллер; Н – нагреватель; ВПО – вспомогательное программное обеспечение; ПО – программное обеспечение; ПК – персональный компьютер; ТП1, ТП2 – термоприемники; – усилитель; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь.

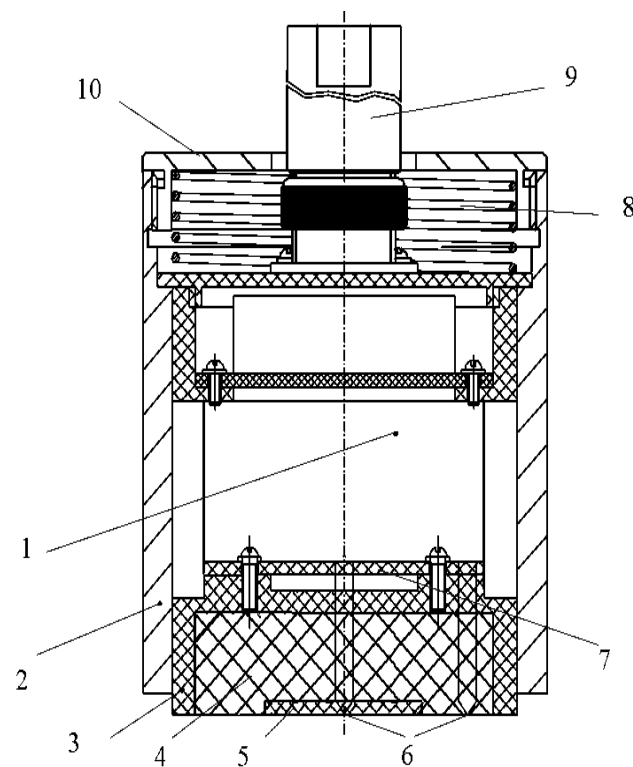


Рис.1. Измерительный зонд

- 1 – измерительная ячейка; 2 – корпус;
- 3 – основание; 4 – теплоизолятор;
- 5 – нагреватель, 6 – микротермопары;
- 7 – разъём; 8 – пружина;
- 9 – крышка корпуса;
- 10 – крышка измерительной ячейки.

У

# МНОГОСЛОЙНАЯ СИСТЕМА

6

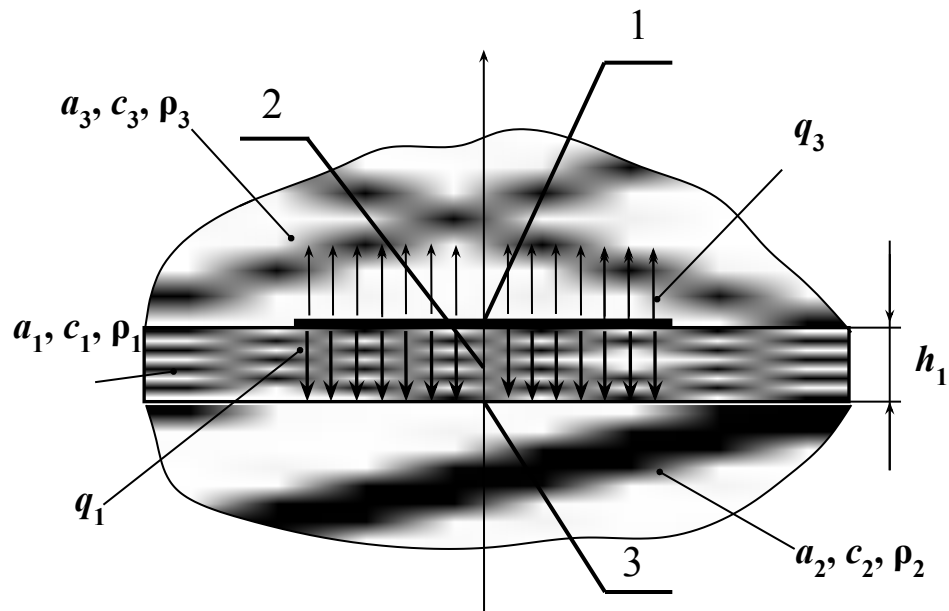


Рис. 1. Тепловая схема многослойной системы

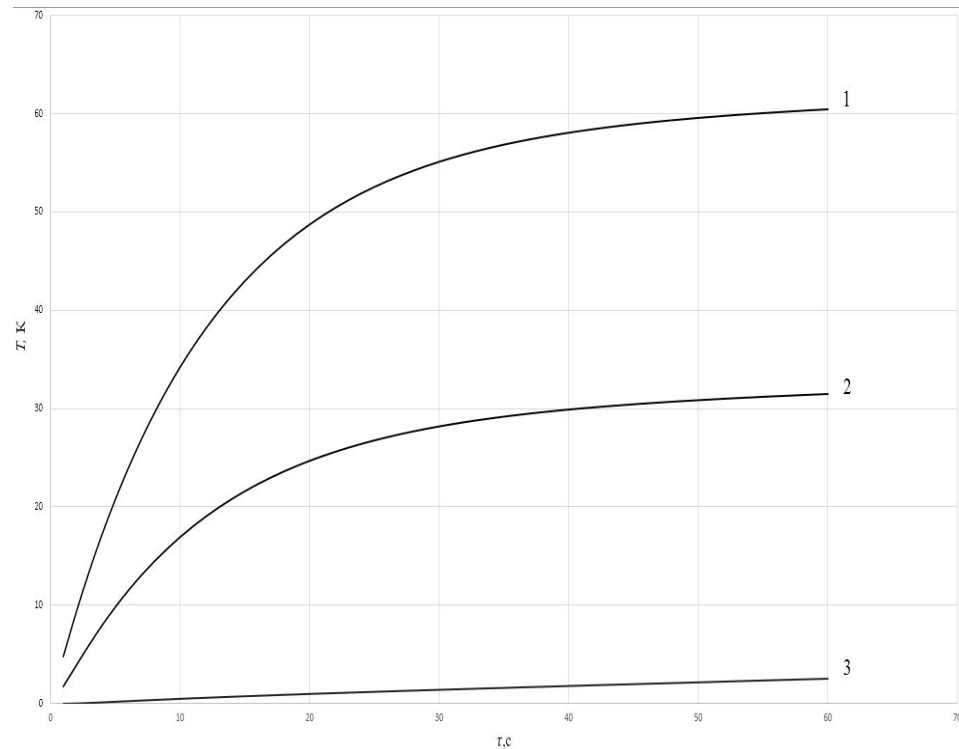


Рис. 2. Термограммы в точках контроля на оси нагревателя: на границе раздела подложка ИЗ – покрытие (1); середине слоя покрытия (2); на границе раздела покрытие – металл (3).

# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА

7

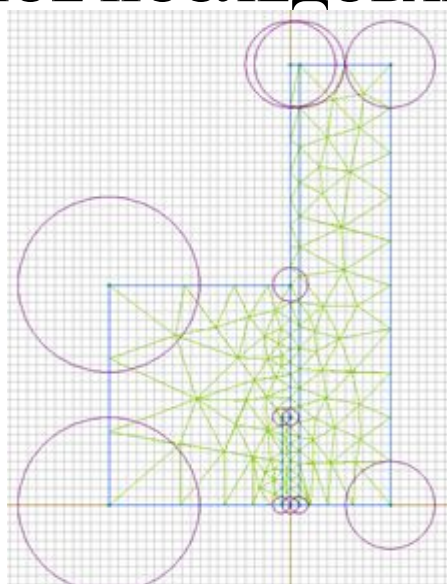


Рис.1. Распределение сетки конечных элементов

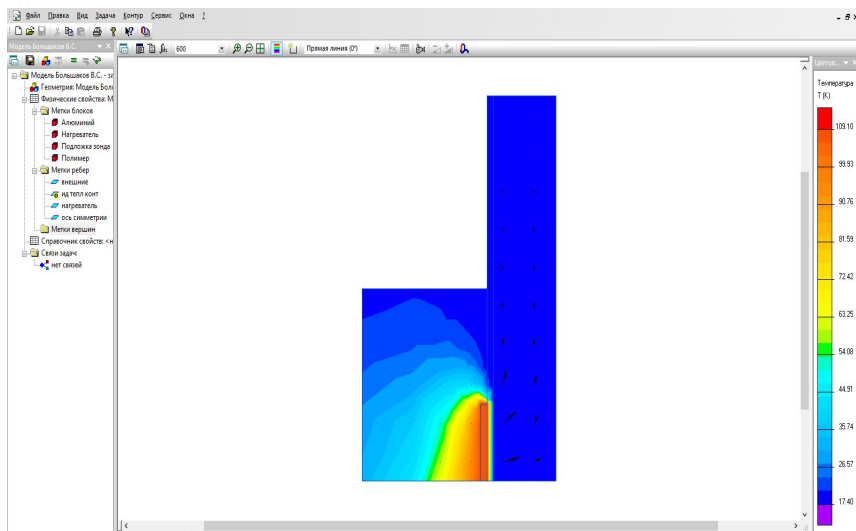


Рис.2 Отображение тепловых векторов

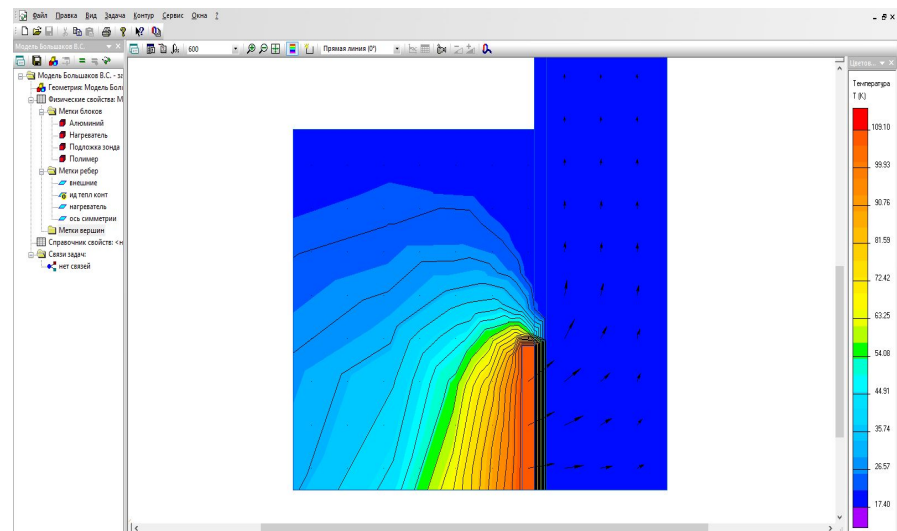


Рис.3 Отображение тепловых векторов и изотерм

Свойства метки блока - дефект-воздух

Общие

Теплопроводность

$\lambda_z = 0.026$  (Вт/К·м)

$\lambda_r = 0.026$  (Вт/К·м)

Нелинейный материал  Анизотропный материал

Объемная плотность тепловыделения

Q = 0 (Вт/м³) **f**

Зависит от температуры

Данные для переходных процессов

C = 1000 (Дж/кг·К)

Зависит от температуры

$\rho = 1$  (кг/м³)

Координаты

Декартовы

Полярные

OK Отмена Справка

Рис. 2. Свойства метки блока «Дефект-воздух»

Свойства метки блока - дефект-металл

Общие

Теплопроводность

$\lambda_z = 237$  (Вт/К·м)

$\lambda_r = 237$  (Вт/К·м)

Нелинейный материал  Анизотропный материал

Объемная плотность тепловыделения

Q = 0 (Вт/м³) **f**

Зависит от температуры

Данные для переходных процессов

C = 900 (Дж/кг·К)

Зависит от температуры

$\rho = 2700$  (кг/м³)

Координаты

Декартовы

Полярные

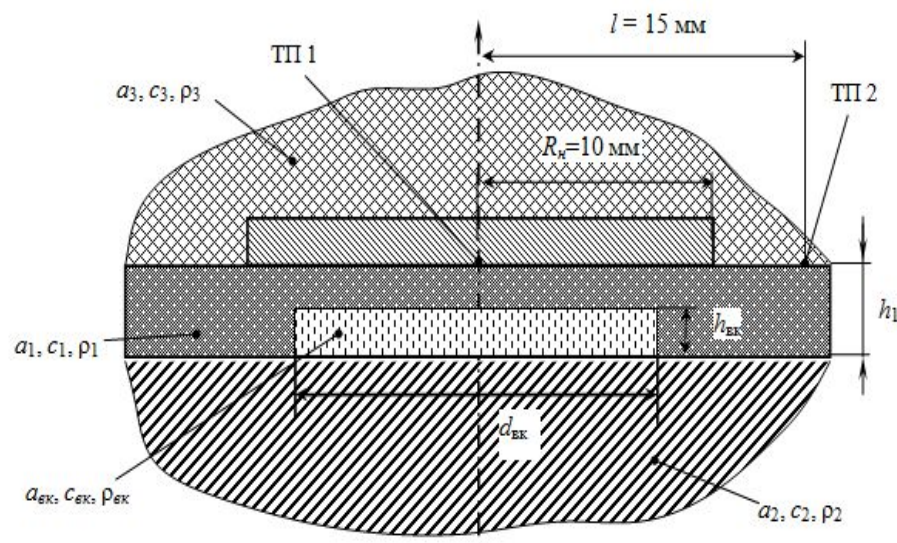
OK Отмена Справка

Рис. 2. Свойства метки блока «Дефект-металл»



# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В СЛОЕ ПОКРЫТИЯ ПА-12

9

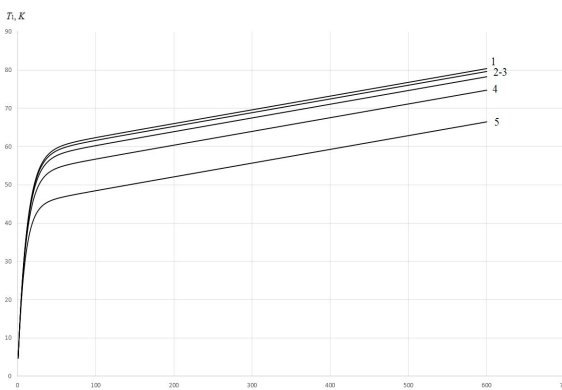


| Геометрические размеры включений |               |               |
|----------------------------------|---------------|---------------|
| N п/п                            | Металл        |               |
|                                  | $d_{вк}$ , мм | $h_{вк}$ , мм |
| 1                                | 5             | 0,1           |
| 2                                | 5             | 0,25          |
| 3                                | 5             | 0,5           |
| 4                                | 5             | 0,75          |
| 5                                | 10            | 0,1           |
| 6                                | 10            | 0,25          |
| 7                                | 10            | 0,5           |
| 8                                | 10            | 0,75          |
| 9                                | 20            | 0,1           |
| 10                               | 20            | 0,25          |
| 11                               | 20            | 0,5           |
| 12                               | 20            | 0,75          |
|                                  | Воздух        |               |
| 13                               | 5             | 0,1           |
| 14                               | 5             | 0,25          |
| 15                               | 5             | 0,5           |
| 16                               | 5             | 0,75          |
| 17                               | 10            | 0,1           |
| 18                               | 10            | 0,25          |
| 19                               | 10            | 0,5           |
| 20                               | 10            | 0,75          |

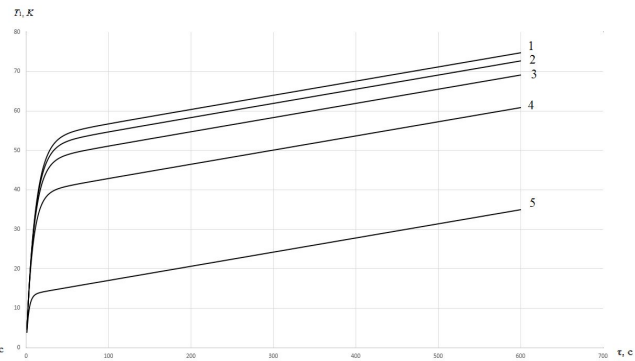
Рис.1. Схема моделирования включений в двухслойном изделии при НК

Размеры включений, расположенных на границе раздела полимер-металл

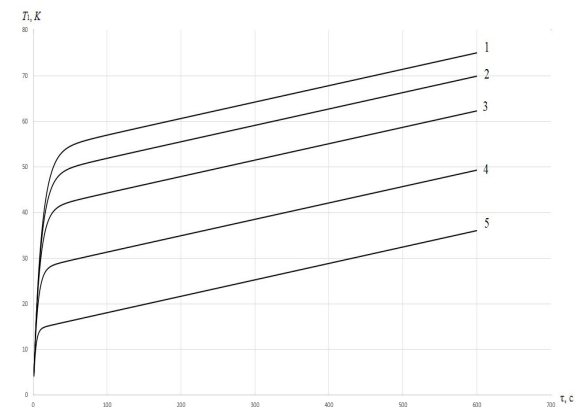
# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ



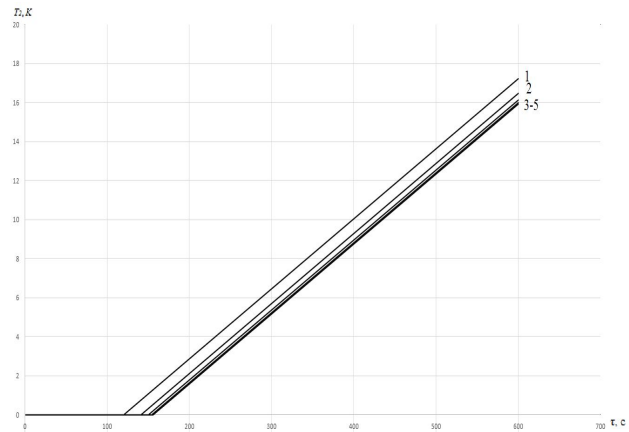
а)



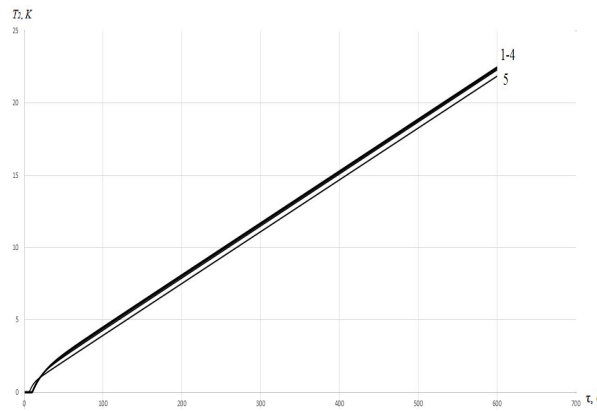
а)



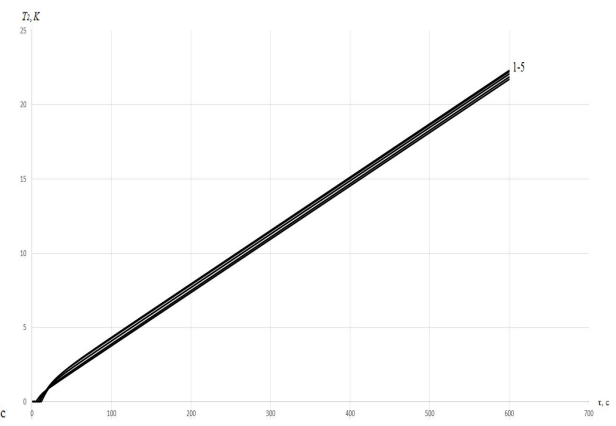
а)



б)



б)



б)

Рис.1. Термограммы: а)  $T_1=f(\tau)$ , б)  $T_2=f(\tau)$ ; (1) – модель без дефекта; (2 – 5) – с дефектом в виде металлического включения.  
 $d_{\text{ВК}}=5$  мм и толщиной  $h_{\text{ВК}}=0,1; 0,25; 0,5; 0,75$  мм

Рис.2. Термограммы: а)  $T_1=f(\tau)$ , б)  $T_2=f(\tau)$ ; (1) – модель без дефекта; (2 – 5) – с дефектом в виде металлического включения.  
 $d_{\text{ВК}}=10$  мм и толщиной  $h_{\text{ВК}}=0,1; 0,25; 0,5; 0,75$  мм

Рис.3. Термограммы: а)  $T_1=f(\tau)$ , б)  $T_2=f(\tau)$ ; (1) – модель без дефекта; (2 – 5) – с дефектом в виде воздушного включения.  
 $d_{\text{ВК}}=20$  мм и толщиной  $h_{\text{ВК}}=0,1; 0,25; 0,5; 0,75$  мм

# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

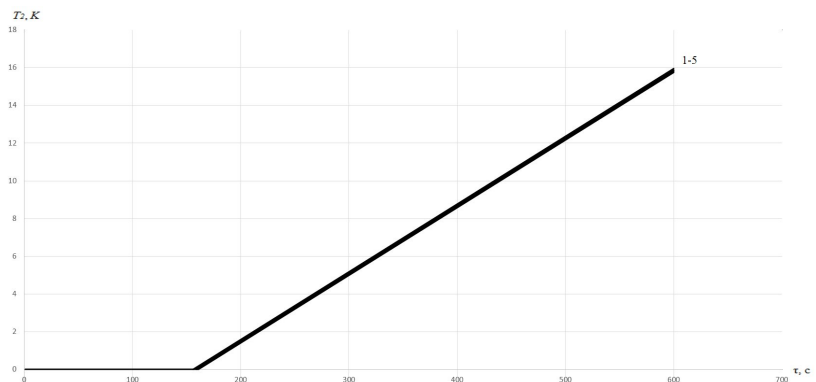
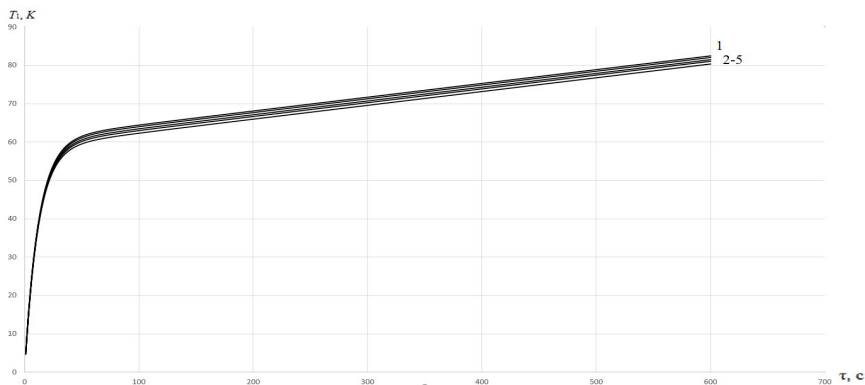


Рис.1. Термограммы: а)  $T_1=f(\tau)$ , б)  $T_2=f(\tau)$ ; (1) – модель без дефекта; (2 – 5) – с дефектом в виде воздушного включения.  $d_{\text{BK}}=5$  мм и толщиной  $h_{\text{BK}}=0,1; 0,25; 0,5; 0,75$  мм

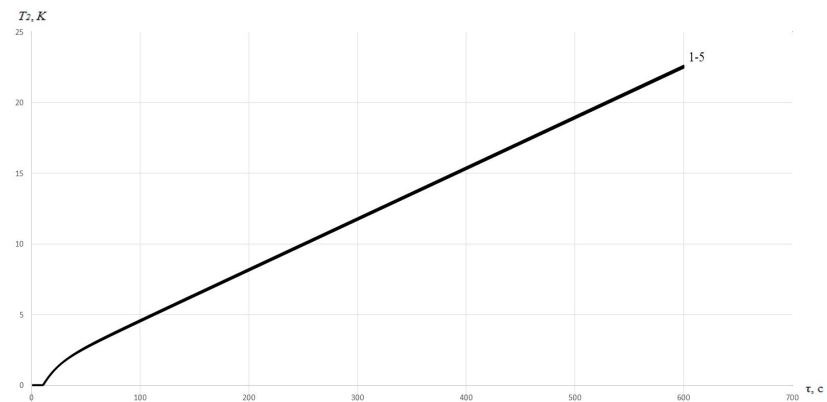
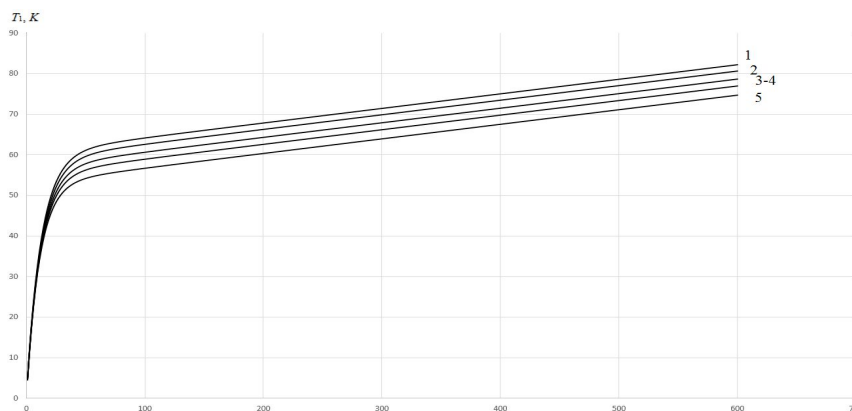


Рис.2. Термограммы: а)  $T_1=f(\tau)$ , б)  $T_2=f(\tau)$ ; (1) – модель без дефекта; (2 – 5) – с дефектом в виде воздушного включения.  $d_{\text{BK}}=10$  мм и толщиной  $h_{\text{BK}}=0,1; 0,25; 0,5; 0,75$  мм

# ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ АРМИРОВАННОГО ПОЛИАМИДА

12

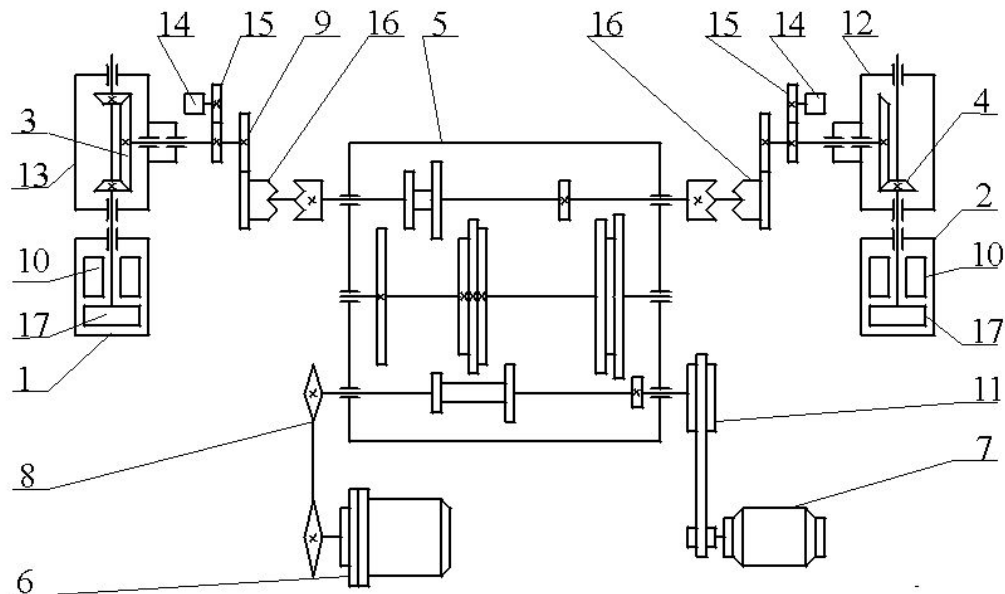
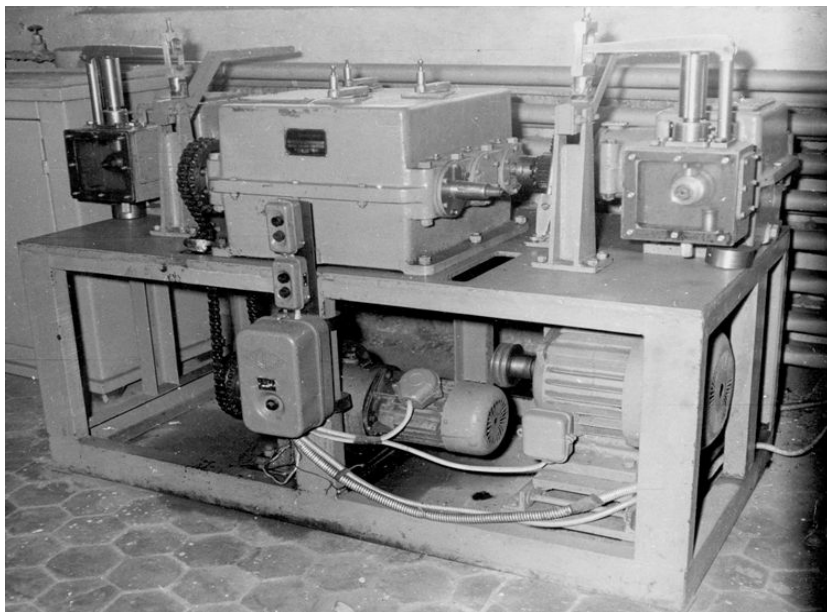


Рис.1. Общий вид машины трения

Рис.2. Кинематическая схема машины трения

1, 2 – камеры для испытания образцов; 3 – реверс; 4 – коническая передача; 5 – коробка скоростей; 6 – мотор-редуктор; 7 – двигатель; 8 – цепная передача; 9 – открытая зубчатая передача; 10 – образец; 11 – ременная передача; 12 – корпус конической передачи; 13 – корпус реверса; 14 – счетчик числа оборотов; 15 – привод счетчика; 16 – муфта; 17 – образец-ролик.

# ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТ АРМИРОВАННОГО ПОЛИАМИДА

13

Таблица 1 – Свойства материалов на основе ПА-12

| Материал          | Твердость По Бринеллю, МПа | Удельная вязкость, КДж/м <sup>2</sup> | Разрушающее напряжение, МПа |        |       | Теплостойкость по Вика, °С нагрузка 10 Н | Коэффициент трения |
|-------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------|-------|--|--------------------|
|                   |                            |                                       | Растяжение                  | Сжатие | Изгиб |  |                    |
| ПА12              | 90                         | 90                                    | 47                          | 56     | 60    | 160                                      | 0,135              |
| ПА12+10% Аримид Т | 110                        | 87                                    | 60                          | 65     | 72    | 175                                      | 0,06               |

Таблица 2 – Зависимость коэффициента трения от давления

| Режим трения      | Коэффициент трения при различных нагрузках<br>Давление, МПа |       |       |       |       |      |      |
|-------------------|---|-------|-------|-------|-------|------|------|
|                   | 8   | 10    | 15    | 20    | 25    | 30   | 32   |
| ПА12              | 0,15  | 0,145 | 0,143 | 0,14  | 0,135 | 0,13 | 0,13 |
| ПА12+10% Аримид Т | 0,075   | 0,073 | 0,07  | 0,065 | 0,06  | 0,06 | 0,06 |

## ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Выбрана измерительная схема теплового метода НК качества металлических изделий с покрытием ПА12. Предложено использовать круглый плоский источник тепла постоянной мощности, встроенный в ИЗ.
2. Проведены численные исследования МКЭ на предмет определения возможности регистрации рассматриваемым методом инородных включений (металлическая частица, воздушное расслоение) с различными ТФС и геометрическими размерами в покрытиях.
3. Исследованы антифрикционные свойства армированного ПА12 и показана целесообразность введения в полиамид синтетических волокон Аримид Т.

**Спасибо за внимание**

