

Д.Р. АМИРХАНОВ, Д.В. КОРНЕЕНКО, Д.Л. ТАРАСОВ
Витебский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ МАШИН ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Задачей статьи служит создание методики измерения тепловых параметров исполнительных органов машин легкой промышленности.

В статье представлен анализ способов контроля тепловых параметров исполнительных органов машин, среди которых наиболее эффективными являются бесконтактные способы, так как конструкция машин ограничивает доступ инструментальным средствам в рабочую зону. В качестве оптимального способа контроля выбрана тепловизионная съемка рабочих органов, на базе которой разработана методика проведения контрольно-измерительных мероприятий. Предлагаемая методика была использована при проектировании термоактиватора «ТА-Белвест-ВГТУ» для активации клеевой пленки верха и низа обуви, что позволило добиться снижения энергопотребления термоактиватора по сравнению с зарубежным аналогом.

Разработанная методика может быть использована при проектировании и модернизации оборудования, предназначенного для тепловой обработки изделий обувного и швейного производств.

Ключевые слова: контроль тепловых параметров, тепловизионная съемка, тепловое поле.

D. R. AMIRXANOV, D. V. KORNEENKO, D. L. TARASOV
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF METHODS CONTROL OF THERMAL CHARACTERISTICS OF OPERATING MEMBERS OF GARMENT INDUSTRY MACHINES

Abstract – The aim of this article is to develop the methods control of thermal characteristics of operating members of garment industry machines. The subject of the article is the thermal characteristics of operating members.

The article gives the outlook of current ways of measurement of thermal characteristics of operating members of garment industry machines and parts fabricated by them. The article shows the benefits of non-contact thermal field measurement and gives recommendations for application of thermal vision monitoring in development and control of garment industry machines.

The proposed method was used for design of machine for thermal activation «TA-Belwest-VSTU» to activate the adhesive envelope of top and bottom of the shoes, which resulted in lower power consumption compared to machine for thermal activation foreign counterpart.

Keywords: control of thermal characteristics, thermal vision monitoring, thermal field.

Постановка проблемы

В процессе проектирования и эксплуатации оборудования для легкой промышленности возникают проблемы, связанные с выбором высокоэффективных и экономичных способов нагрева и контроля тепловых параметров рабочих органов исполнительных механизмов. В настоящее время отсутствуют типовые методики для контроля тепловых параметров исполнительных органов машин легкой промышленности, поэтому проектировщики используют, как правило, контрольно-измерительные приборы общемашиностроительного назначения при определении необходимых тепловых параметров.

Анализ последних публикаций

Обзор научных статей в отечественных и зарубежных журналах не обнаружил публикаций по методикам неразрушающего контроля тепловых параметров исполнительных органов машин легкой промышленности.

Постановка задачи

В статье поставлена задача отбора оптимального способа измерения теплового поля рабочих органов машин легкой промышленности и составление рекомендаций при использовании оптимального способа при проектировании оборудования легкой промышленности.

Изложение основного материала

Существуют различные способы измерения температуры и теплового поля нагретого объекта: контактные и бесконтактные. К контактным относится широкий спектр приборов: от различного рода термометров до терморезистивных датчиков. Термометрическое оборудование основано на различных физических принципах: тепловом расширении жидкостей (стеклянные термометры расширения), тепловом изменении давления жидкости или газа (манометрические термометры), изменении сопротивления материалов при изменении температуры (термометры сопротивления), термоэлектрических явлениях (термоэлектрические термометры). Последние конструктивно оформляются в виде датчиков температуры. Выбор датчиков и средств измерения должен быть экономически оправдан. Учитывая узкий температурный диапазон работы датчика 80÷100 °С, возможным для применения оказывается датчик контактного действия, обладающий высоким быстродействием, низкой теплоемкостью, линейными характеристиками в указанном температурном диапазоне. Из датчиков контактного действия по своим параметрам наиболее приемлемы терморезисторы и термодиоды. Так терморезистор СТ1-18 имеет постоянную времени 1 с, а терморезистор СТ3-25 имеет постоянную времени 0,4 с. Диапазон рабочих температур этих датчиков соответственно: для

СТ1-18 от -60 до +360 °С, для СТ3-25 от -100 до +125 °С.

Термодиоды – самые распространенные датчики температуры. Диапазон измеряемых температур: от -80 до +150°С. Основные преимущества термодиодов: малые габариты, возможность взаимозаменяемости, идентичность параметров. Сравнивая термодиоды с термопарами по коэффициенту температурной чувствительности для падения напряжения на р-п-переходе и термоЭДС термопар, работающих в этом же температурном диапазоне (например, хромель-копель), можно сказать, что чувствительность р-п-перехода примерно в 100 раз выше чувствительности термопар. Возможная достигаемая инструментальная точность измерения в диапазоне температур 0-100°С составляет $\pm 0,3^\circ\text{C}$.

В настоящее время кроме контактных средств измерения температуры нагретого объекта находят применение и оптические приемники излучения, позволяющие дистанционно исследовать тепловые параметры объекта. Диапазон длин волн, в котором приемники излучения обладают постоянной чувствительностью, позволяет подразделить их на две группы: интегральные и селективные. К интегральным относятся тепловые преобразователи, принцип действия которых основан на преобразовании энергии излучения в температуру. Тепловые приемники поглощают всю мощность падающего на них излучения независимо от длины волн излучения. К селективным относятся фотоэлектрические преобразователи, в которых используются явления внешнего или внутреннего фотоэффекта: вакуумные и газонаполненные фотоэлементы, фоторезонаторы, фотодиоды и так далее.

К примеру, действительная температура тела T может быть определена по яркостной температуре T_S по формуле [1]

$$\frac{1}{T_S} - \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{C_2} \ln \frac{1}{\varepsilon_\lambda}, \quad (1)$$

Где λ – длина волны, м;
 $C_2 = 1,4388 \times 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$ – постоянный коэффициент;
 ε_λ – спектральный коэффициент теплового излучения.

С помощью формулы (1) определяют температуру на квазимонохроматических пирометрах. Пирометры полного излучения определяют действительную температуру тела по радиационной температуре T_P

$$T = T_P \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon_T}}, \quad (2)$$

где ε_T – полный коэффициент теплового излучения.

В интегральных преобразователях осуществляются преобразование энергии теплового потока в нагрев черной поверхности датчика и нагревание ее до температуры, при которой мощность, рассеиваемая излучением, теплопроводностью и конвекцией будет равна поглощенной мощности. Причем коэффициент поглощения черной поверхности мало отличается для излучения от ультрафиолетового до инфракрасного. Таким образом, входная величина приемника пропорциональна интегральной мощности падающего на его приемную площадку излучения и зависит от состава этого излучения. Площадь элемента воспринимающего излучения в зависимости поставленной задачи может составлять до $0,1 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$.

В качестве термочувствительного элемента может быть использован терморезистор, батарея термопар, пьезорезонатор, а также пьезоэлектрические преобразователи. Порог чувствительности преобразователей этого типа при $t = 25^\circ\text{C}$ характеризуется величиной $P = 10^{-10} \text{ Вт/Гц}^{0,5}$, а пирометрических $P \approx 2 \cdot 10^{-9} \text{ Вт/Гц}^{0,5}$.

Параметры селективных преобразователей сильно зависят от типа используемого фотоприбора. Наилучшими показателями интегральной чувствительности и быстродействия обладают фотоприемники фотодиодного и фоторезисторного типа.

Интегральная чувствительность серийно выпускаемых фотодиодов и фототранзисторов, определенная в фотодиодном режиме при освещении от стандартного источника с цветовой температурой $T_{\text{цв}} = 2360 \text{ К}$, составляет для кремниевых фотодиодов $10^{-13} \cdot 10^{-14} \text{ Вт} \cdot \text{Гц}^{0,5}$, для германиевых фотодиодов $10^{-12} \text{ Вт} \cdot \text{Гц}^{0,5}$.

Инерционность приборов определяется временем пролета носителей ($10^{-8} \cdot 10^{-9} \text{ с}$) и постоянной времени RC-цепи, образованной емкостью р-п-перехода и последовательно включенной с ней суммой сопротивлений фотодиода и нагрузки. Частотный диапазон может достигать 0,1-1 Гц и так далее. Так как фотодиоды и фоторезисторы широко используются в технике и хорошо согласуются с операционными усилителями, то появляется возможность выбора серийно выпускаемого прибора, позволяющего осуществлять измерение температуры поверхности тела без непосредственного контакта с поверхностью.

Обобщенная структурная схема фотоэлектрического преобразователя изображена на рис. 1. Она содержит источник излучения, оптический канал, приемник излучения, усилитель и измерительную цепь.

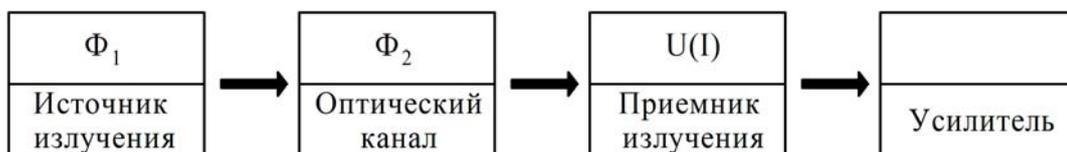


Рис. 1. Структурная схема фотоэлектрического преобразователя

Входная величина X воздействует на объект, нагревая его до определенной температуры, а излучаемый тепловой поток Φ_1 проходит через оптический канал, позволяющий изменить параметры потока Φ_1 и усиленной за счет концентрации оптической системы. В дальнейшем сигнал с фотоприемника поступает в усилитель и далее в измерительную цепь.

Для проведения экспериментальных исследований был выбран тепловизор FLIR i60 (рис. 2), представляющий собой бесконтактную высокочувствительную инфракрасную (ИК) камеру. Используемый тепловизор Flir i60 внесен в Государственный реестр средств измерений РБ и имеет свидетельство о поверке №70760-55, выданное РУП «БелГИМ» и действительное до 23.09.2014 г.

ИК-излучение от измеряемого объекта регистрируется и преобразуется камерой в электрический сигнал с помощью двумерной неохлаждаемой матрицы чувствительных элементов, установленной в фокальной плоскости объектива, после чего усиленный аналоговый сигнал температуры преобразуется в цифровой сигнал, предназначенный для отображения в виде цветной или чёрно-белой термограммы.



Рис. 2. Тепловизор FLIR i60

Камера в своей стандартной комплектации обладает высокоскоростным последовательным интерфейсом стандарта IEEE 1394, который можно использовать для решения различных измерительных задач. Детектор, ЖК-дисплей и блок памяти тепловизора выполнены в едином корпусе, что позволяет быстро производить измерение температуры и диагностику различных объектов в полевых условиях.

Исследования проводились на экспериментальном образце термоактиватора марки «ТА-Белвест-ВГТУ» для активации клеевой пленки на подошвах и затяжной кромки перед операцией приклеивания подошв, разработанном на кафедре «Машины и аппараты легкой промышленности» совместно со специалистами технических служб СООО «Белвест» (г. Витебск).

Методика измерения теплового поля и построения термограммы клеевой пленки клеевой пленки заготовок верха и низа обуви состояла в следующем.

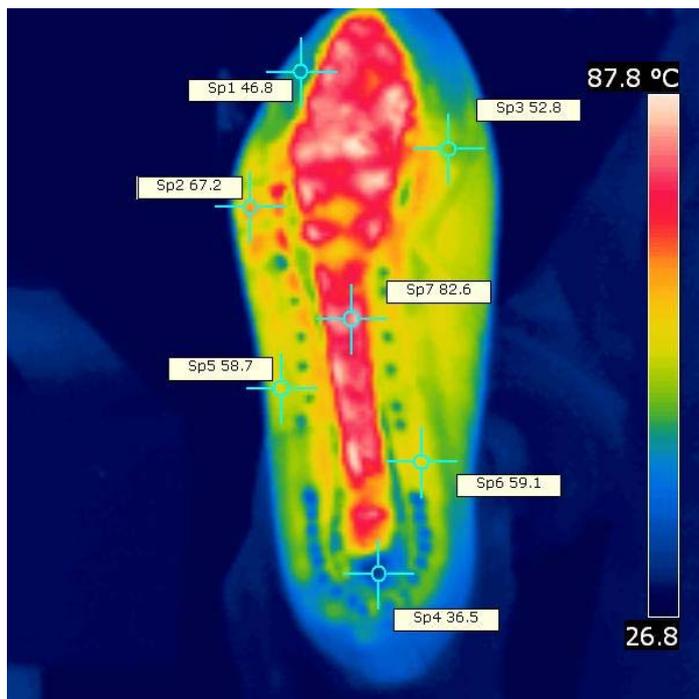


Рис. 3. Термограмма заготовки верха обуви, подвергнутой термоактивации на термоактиваторе «ТА-Белвест-ВГТУ»

Измерительный тракт переносного тепловизора тарировался от источника с заранее заданной температурой нагрева. Заготовки верха и низа обуви нагревались в термоактиваторе под действием ИК-излучателей. Оптическая система прибора наводилась на заданную точку заготовки и фокусировалась. После чего включался тракт прохождения сигнала. Тепловой инфракрасный поток от нагретой детали проходил в оптическую систему, воздействуя на фотодиод, датчик-усилитель и регистратор температуры.

Для определения изменения температуры данной точки заготовки во времени измеритель устанавливался стационарно и снимались показания с регистратора в течение заранее заданного времени. По мере остывания детали тепловой поток ослабевал, а регистратор прибора отображал изменение температуры поверхности детали в заданной точке.

При отслеживании изменения температуры поверхности детали в разных точках поверхности было установлено, как нагреваются различные точки поверхности детали при термоактивации. Для достоверности измерения проводились повторно до 4-5 раз, в результате чего определялось среднее арифметическое значение показаний прибора.

К примеру, на рис. 3 и 4 приведены термограммы, полученные при съемке заготовок верха и низа обуви, подвергнутых термоактивации соответственно на разработанном термоактиваторе «ТА-Белвест-ВГТУ» и на термоактиваторе «Salamander». Аналогичные термограммы получены для низа обуви.

Сравнительный анализ термограмм показал, что блок термоактивации верха обуви в обоих термоактиваторах позволяет достигнуть достаточно близкий технологический результат: средняя температура нагрева поверхности одинакова для обоих термоактиваторов, при этом распределение температур по поверхности заготовок носит достаточно равномерный характер в обоих случаях. Однако в случае блока термоактивации низа обуви в разработанном термоактиваторе обнаружилось расхождение результата термоактивации в среднем на 35-50 °С с результатом, полученном в термоактиваторе «Salamander». Это позволило выполнить ряд конструктивных изменений в блоке термоактивации низа обуви, содержание которых состояло в использовании поперечного расположения кварцевых ламп в отличие от первоначального продольного, использовании большего числа ламп меньшей длины (и соответственно мощности). В результате проектирования и модернизации разработанный термоактиватор оказался оснащен нагревательным аппаратом с общей мощностью в 14,6 кВт, в то время, как у термоактиватора «Salamander» общая потребляемая мощность составляет 18 кВт.

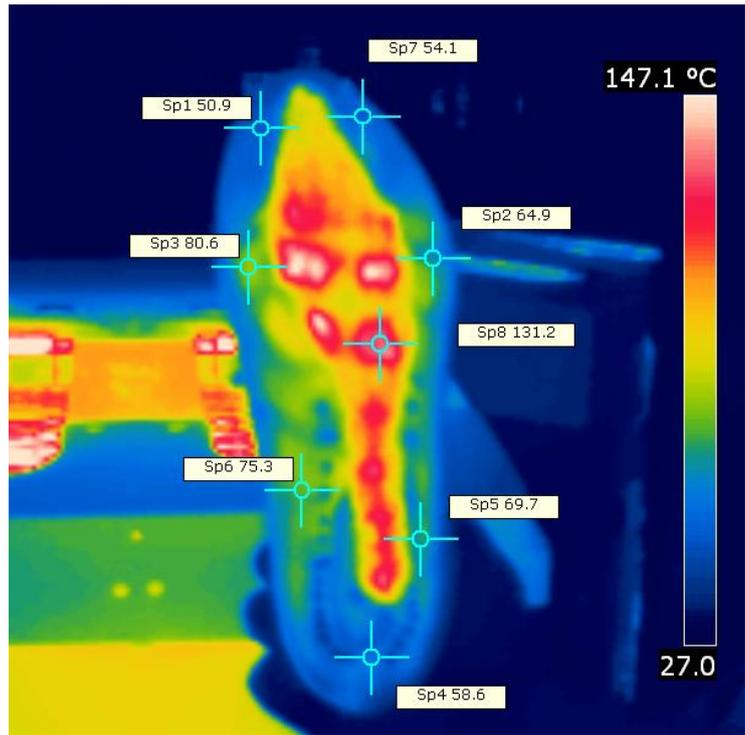


Рис. 4. Термограмма заготовки верха обуви, подвергнутой термоактивации на термоактиваторе «Salamander»

Таким образом, термограммы нагреваемых объектов, полученные в результате измерений, позволили выбрать оптимальную компоновку кварцевых ламп в блоке нагрева, значительно снизить энергоемкость активатора и повысить производительность за счет сокращения времени выдержки под нагревом.

Выводы

Проведен анализ способов контроля тепловых параметров исполнительных органов машин, среди которых наиболее эффективными оказались бесконтактные способы, так как конструкция машин ограничивает доступ контактными средствами в рабочую зону. В качестве оптимального способа контроля выбрана тепловизионная съемка рабочих органов и заготовок, обрабатываемых в машине, на базе которой разработана методика проведения измерений. Предлагаемая методика может быть использована при проектировании и модернизации оборудования, предназначенного для тепловой обработки изделий обувного и швейного производств.

Литература

1. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент : справочник / [Е. В. Аметистов, В. А. Григорьев, Б. Т. Емцев и др.] ; под общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 512 с.
2. Раяцкас, В. Л. Механическая прочность клеевых соединений кожевенно-обувных материалов. – Москва : Легкая индустрия, 1976. – 192 с.

References

1. Ametistov E. V., Grigoryev V. A., Yemtsev B. T. Et al. general edition by Grigoryev V. A. and Zorin V. M. Teplo - i massoobmen. Teplotexnicheskij e'ksperiment: spravochnik. Moscow, E'nergoizdat, 1982, 512 p.
2. Rayackas, V. L. Mexanicheskaya prochnost' kleevy'x soedinenij kozhevenno-obuvny'x materialov. Moscow, Legkaya Industriya, 1976, 192 p.

Рецензія/Peer review : 3.4.2014 р. Надрукована/Printed :22.5.2014 р.

Рецензент: Горбачик В.Е., проф., д.т.н., кафедра конструювання та технології изделий из кожи, Витебский государственный технологический университет