

ЗАВОДСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

ТОМ 56

1 · 1990

**ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ, ФИЗИЧЕСКИМ, МАТЕМАТИЧЕСКИМ
И МЕХАНИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ
ОРГАН МИНИСТЕРСТВА МЕТАЛЛУРГИИ СССР
И ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРАВЛЕНИЯ ВНТО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Основан в январе в 1932 г. Москва, издательство "Металлургия"**

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНЫХ ЛЕНТ В РУЛОНЕ

Киевский политехнический институт

Для проведения расчетов, связанных с надежностью эксплуатации магнитных лент в современной аппаратуре магнитной записи (при работе в достаточно широком диапазоне температур), необходимо располагать их термомеханическими параметрами. В частности, расчет прочности кольцевых рулонов включает решения соответствующих задач теплопроводности [1] и термовязкоупругости [2, 3], уравнения которых содержат коэффициенты теплового расширения сердечника и тела намотки, а также коэффициенты теплопроводности и теплоотдачи рулонов.

Коэффициенты теплового расширения магнитных лент в рулонах с учетом их анизотропии изучены достаточно полно для большинства современных типов магнитных лент на полимерной основе [2, 4]. В то же время данные о таких важных теплофизических параметрах, как коэффициенты теплопроводности и теплоотдачи полиэтилентерефталатных (ПЭТФ) магнитных лент, практически отсутствуют.

В настоящей работе описана экспериментальная установка и методика изучения процессов теплопередачи при нагреве рулонов магнитных лент, теоретически рассмотрен указанный процесс, а также приведены результаты экспериментов по определению коэффициентов теплопроводности и теплоотдачи рулонов магнитных лент на ПЭТФ основе.

Большинство экспериментальных методов определения теплофизических констант материалов основывается на наблюдении за температурным полем, возбуждаемым тепловым потоком в исследуемом теле. Общий принцип измерения коэффициента теплопроводности состоит в определении теплового потока, проходящего через опытный образец заданных размеров, и перепада температур на обеих его изотермических поверхностях или в тщательном измерении температур и расположения спаев термопар в каких-либо других двух точках в направлении движения теплового потока.

Одной из предпосылок метода является постоянство теплового потока. Отклонения от теоретического распределения теплового потока могут возникать из-за неравномерного температурного поля, создаваемого нагревателем. Во избежание этого применяют специальные обмотки нагревателя,

массивные металлические оболочки, способствующие выравниванию температуры и пр.

Эксперименты по определению теплофизических параметров рулонов полимерных пленок проводили на установке, функциональная схема которой представлена на рис. 1. Установка позволяет измерять теплофизические параметры (коэффициенты теплопроводности и теплоотдачи) рулонов тонких полимерных пленок, намотанных на жесткий сердечник.

Основные параметры установки: температурный диапазон измерений 20—80 °С; усилие намотки рулонов 1—3 Н; ширина ленты 6,25—25,4 мм; внутренний диаметр сердечника 115 мм; внешний диаметр рулона до 228 мм; точность измерения температуры $\pm 0,1$ °С.

Основание 1 служит для предотвращения влияния внешних механических воздействий на объект исследования и для крепления основных узлов установки. Верхний 4 и нижний 2 теплоизоляционные слои предназначены для исключения тепловых потоков в аксиальном направлении. Верхний теплоизоляционный слой представляет собой диск diam. 236 мм и толщиной 26 мм из пенопласта. Нижний теплоизоляционный слой выполнен из мелкоизмельченного асбеста. Между теплоизоляционными слоями располагается объект исследования — рулон полимерной ленты 3, намотанный на сердечник 6. Для улучшения теплоизоляции верхней плоскости рулона между пенопластовым диском и рулоном помещали слой волокнистого асбеста толщиной 30—40 мм. Внутри сердечника находится нихромовая спираль 5, служащая для нагрева сердеч-

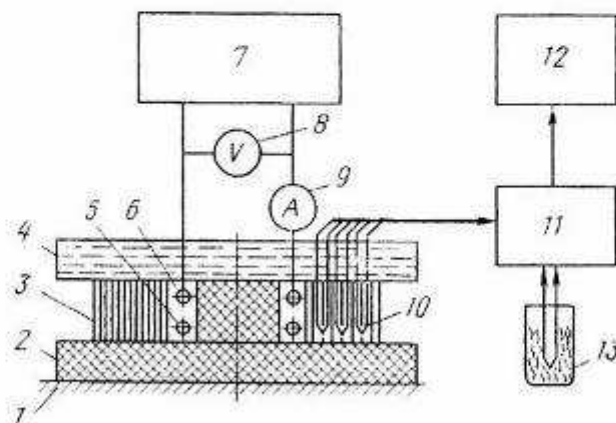


Рис. 1. Функциональная схема установки для измерения теплофизических характеристик рулонов полимерных пленок

ника и рулона. Нагрев спирали осуществляет стабилизированный источник питания (ЛИПС-35) 7, потребляемую мощность измеряли с помощью вольтметра (М42100) 8 и амперметра (М367) 9.

Измерение температуры производили с помощью двенадцати медь-константановых термопар 10, коммутатора термопар 11 и цифрового милливольтметра (ВТ-21) 12. Один из спаев термопары держали в термостате 13 при температуре 0 °С.

В качестве теплоизоляции при проведении экспериментов использовали мелкоячеистый пенопласт [коэффициент теплопроводности 0,038—0,052 Вт/(м·град)] и асбестовое волокно [коэффициент теплопроводности 0,052—0,093 Вт/(м·град)], т. е. материалы, имеющие теплопроводность в несколько раз меньшую, чем большинство термопластичных полимеров [5], к которым относится ПЭТФ основа магнитной ленты.

Намотку рулонов магнитных лент проводили на специальном стенде [6] с постоянным усилием натяжения ленты $H=1,0; 2,0; 3,0$ Н. В процессе намотки на различных горизонтальных слоях рулона помещали спай термопар, выводы от которых подключали к коммутатору термопар. Одну из термопар оставляли свободной и размещали вблизи внешней поверхности рулона для контроля температуры окружающей среды. После теплоизоляции верхней и нижней поверхностей рулона производили нагрев сердечника с поочередным снятием показаний термопар.

Проведена предварительная оценка неравномерности нагрева по толщине (высоте) рулона. Для этой цели термопары, введенные в рулон при намотке, располагали у верхнего и нижнего торца и в средней плоскости рулона.

Измерена температура рулона магнитной ленты И-4406-25, намотанного с усилием натяжения ленты 2 Н при температуре 20 °С, с внешним радиусом 106,5 мм (радиус сердечника 57,5 мм). Мощность нагревателя составила 16 Вт, время нагрева — 50 мин. Установлено, что различие между температурами срединной плоскости рулона и торцевыми поверхностями незначительно и достигает наибольшего значения на слое с радиусом 90,5 мм (+4,1 % и -2,9 % для верхней и нижней плоскостей соответственно).

В связи с этим в дальнейших экспериментах термопары располагали в срединной плоскости рулона, считая, что градиент температуры в аксиальном направлении мал.

Проведена предварительная проверка осесимметричности температурного поля рулона. Для этого в рулон были помещены

термопары в радиальных плоскостях, расположенных друг относительно друга под углом 90°. Четыре из указанных термопар располагали в непосредственной близости от сердечника, четыре — вблизи внешнего слоя рулона. Мощность, выделяемая нагревателем, составила 4 Вт, время нагрева 6 ч.

Установлено, что температура витков при изменении места расположения термопары по окружности данного радиуса остается практически постоянной, что свидетельствует об осесимметричности температурного поля рулона. В связи с этим при дальнейших измерениях ограничивались одной из аксиальных плоскостей рулона.

Расчет тепловых потерь системы производили приближенно по известной формуле для плоского теплопередающего слоя, полученной в предположении постоянства температуры по радиусу слоя [7]:

$$Q_{из} = \frac{\lambda_{из}(T_1 - T_2)\pi d_{из}^2}{4h_{из}},$$

где $\lambda_{из}$ — коэффициент теплопроводности изоляции; T_1, T_2 — температуры нижней и верхней плоскостей изоляционных слоев; $d_{из}$ — диаметр изоляции; $h_{из}$ — высота изоляции.

Для расчета в нашем случае использовалось лишь максимальное значение температуры, измеренной вблизи сердечника. Полученные результаты являются несколько завышенными, т. е. действительные тепловые потери меньше, чем расчетные.

При мощности, выделяемой нагревающим сердечником $Q=4$ Вт, $Q_{из} < 0,11$ Вт, т. е. менее 2,7 % от Q .

Таким образом, применение в системе указанных теплоизолирующих элементов обуславливает малые тепловые потоки в аксиальном направлении, которыми в дальнейшем можно пренебречь.

Поскольку используемая методика определения теплофизических параметров пред-

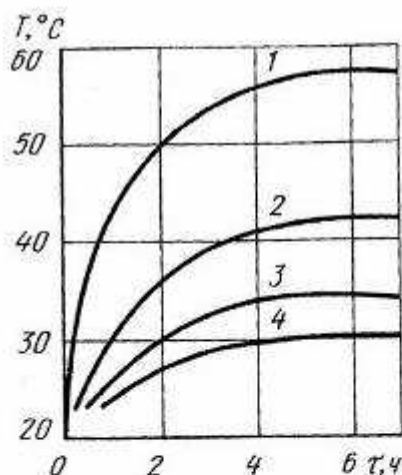


Рис. 2. Изменение температуры рулона на слоях с радиусами 57,5; 75; 90,5; 106,5 м — соответственно кривые (1—4)

усматривает наличие в исследуемом объекте стационарных тепловых полей, предварительно определяли время полного прогрева витков рулона, т. е. время выхода процесса теплопередачи на стационарный режим.

На рис. 2 приведены кривые перераспределения температуры рулона, намотанного с усилием натяжения ленты 2 Н, в процессе нагрева при мощности нагревателя 4 Вт.

Видно, что нагрев рулона завершается не менее чем через 5—7 ч с момента включения внутреннего нагревающего элемента. В связи с этим при расчетах коэффициентов теплопроводности и теплоотдачи рулона магнитной ленты использовались значения температуры витков рулонов, измеренной не менее чем через 8 ч после начала процесса нагрева.

Расчет теплофизических параметров производился по формулам, полученным решением уравнений стационарной теплопроводности (осесимметричный случай) при отсутствии теплообмена на торцевых поверхностях рулона.

Коэффициент теплопроводности рулона в радиальном направлении

$$\lambda = \frac{Q}{2\pi h(T_i - T_k)} \ln \frac{r_k}{r_i}$$

где Q — мощность источника тепла; h — высота рулона (ширина ленты); T_i , T_k — температура внутренней и наружной поверхностей исследуемого цилиндрического слоя рулона соответственно; r_k , r_i — радиусы наружной и внутренней поверхностей исследуемого цилиндрического слоя рулона соответственно.

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности рулона

$$a = \frac{2\gamma\lambda}{d}$$

$$\text{где } \gamma = \left[\frac{(T - v)2\pi\lambda}{Q} + \ln \frac{r}{r_a} \right]^{-1}$$

(r_a — радиус сердечника; T — температура слоя радиуса r ; v — температура окружающей среды); d — наружный диаметр рулона.

Результаты расчетов сведены в таблицу, где значение каждого параметра получено путем усреднения трех опытных данных. Видно, что коэффициент теплоотдачи рулонов магнитных лент на ПЭТФ основе мало зависит от температуры в исследуемом диапазоне, а также от формы рулона. Коэффициент теплопроводности λ также практически не зависит от температуры рулона. В то же время обнаружена зависимость коэффициента теплопроводности рулона от усилия натяжения ленты при намотке. Увеличение усилия натяжения лен-

Теплофизические характеристики рулонов магнитной ленты И-4406-25

Усилие намотки, Н	Температура сердечника, T , °С	Диаметр рулона, мм	λ , Вт/(м××град)	a , Вт/(м²××град)
1			0,47	
2	39,8	210	0,55	30,1
3			0,61	
1			0,44	
2	70,9	210	0,56	32,8
3			0,63	
	39,1		0,53	29,8
2	55,3	170	0,51	31,8
	69,9		0,56	28,2
	36,1		0,56	26,6
2	45,9	150	0,57	27,9
	59,1		0,53	33,4

ты от 1 до 3 Н приводит к увеличению коэффициента теплопроводности в среднем в 1,1—1,4 раза. Указанное явление можно, по-видимому, объяснить возрастанием эффективной площади контакта между соседними витками при увеличении межвитковых давлений. В результате происходит активизация процессов теплопередачи и общий коэффициент теплопроводности увеличивается.

Сравнивая полученные в результате описанных экспериментов значения коэффициентов теплопроводности с известными значениями этого параметра, отметим, что коэффициент λ для рулона магнитной ленты на ПЭТФ основе в 1,5—3,6 раза выше λ для неориентированного полиэтилентерефталата. Указанное обстоятельство объясняется присутствием в рабочем слое ленты магнитного порошка, обладающего более высоким коэффициентом теплопроводности, чем полимерное связующее.

Используя формулу для определения температуры в точке с произвольным радиусом рулона, полученную решением уравнения стационарной теплопроводности

$$T = v + \frac{Q}{2\pi\lambda_a} \left(\frac{1}{\gamma} - \ln \frac{r}{r_a} \right),$$

провели расчет температуры точек с различными радиусами. Расхождение между экспериментальными данными и результатами вычислений не превышало 3,3 %, что свидетельствует о применимости методики для определения теплофизических характеристик рулонов пленочных материалов.

Таким образом, разработанная методика может быть рекомендована для измерения теплофизических характеристик полимерных и композиционных пленок, намотанных в рулон на жесткий сердечник специальной конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко А. Д. Основы термоупругости.— Киев: Наукова думка, 1970. — 307 с.
2. Уманский Э. С., Крючков В. В., Шидловский Н. С. / Проблемы прочности. 1981. № 8. С. 62—65.
3. Уманский Э. С., Шидловский Н. С., Кофто Д. Г., Стежко Л. Л. / Проблемы прочности. 1987. № 5. С. 89—94.
4. Уманский Э. С., Крючков В. В., Шидловский Н. С. / Проблемы прочности. 1980. № 10. С. 104—113.

5. Новиченок Л. Н., Шульман З. П. Теплофизические свойства полимеров.— Минск: Наука и техника, 1971.— 107 с.

6. Уманский Э. С., Шидловский Н. С. / Проблемы прочности. 1983. № 10. С. 43—44.

7. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена.— М.: Энергия, 1969.— 392 с.

Поступила 14.07.1988 г.