

## Неразрушающая оценка параметров рельефной маркировки термоусадочных монтажных изделий для авиационной техники

А. П. Кондратов\*, М. В. Коновалова\*, Е. П. Черкасов\*,  
И. А. Савенкова\*\*

\*Московский политехнический университет  
107023, Москва, ул. Б. Семеновская, 38

\*\*Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики  
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20

e-mail: [apkrezero@mail.ru](mailto:apkrezero@mail.ru)

*Аннотация.* Предложен новый способ рельефной маркировки термоусадочных трубок и муфт из полимерных материалов с «памятью формы». Приведены методика и результаты инструментальной оценки стереометрии рельефной маркировки монтажных деталей для авиационной техники из поливинилхлорида, полиэтилентерефталата и полистирола. Параметры точечной рельефной маркировки и соответствие формы точек стандарту шрифта Брайля определены неразрушающим методом по цвету интерференционной картины с точностью 0,02 мм.

*Ключевые слова:* авиационные материалы, рельеф, стереометрия, микроскопия, тактильная маркировка, монтаж коммуникаций, термоусадочные трубки.

### 1. Введение

В новых образцах сложной техники [1], в авиационной промышленности и авиаремонтных работах [2, 3] используют полимерные термоусадочные трубки и муфты с «памятью формы» для обеспечения дополнительной механической защиты, герметизации и электроизоляции контактов, сложных соединений электрических проводов и т. п.

Для контроля технического состояния различных авиационных агрегатов и определения принадлежности коммуникаций применяют различные виды маркировки. Как правило, для идентификации используют разноцветные изолирующие оболочки кабеля, бирки и флажки. В бортовой электрической сети летательных аппаратов маркировке подлежат все провода, жгуты и кабели [4]. Принадлежность проводов к различным системам и фидерам определяется не только цветом изоляции провода и маркировкой, представляющей собой буквенно-цифровой индекс, нанесенный на полимерную изоляцию провода или на его маркировочную бирку. В условиях отсутствия прямого доступа, недостаточной видимости или плохой освещенности

ценности места расположения коммуникаций целесообразно применение тактильной маркировки.

Для облегчения однозначного прочтения нанесенной на изоляционную оболочку или муфту информации, выполненную, например, шрифтом Брайля, тактильные символы должны иметь определенный вид, определенное расположение на плоскости и соответствовать строго регламентированным параметрам стереометрии [5].

Разработанная нами технология нанесения тактильных меток на изделия из термоусадочных полимерных материалов [6, 7] позволяет записывать информацию на мягких и гибких пленочных полимерных материалах с соблюдением допустимых размеров символов шрифта Брайля.

Для определения оптимального режима и контроля процесса маркировки изделий (этикеток, упаковки, муфт и трубок) из полимерных материалов необходима инструментальная количественная оценка стереометрии рельефа микроскопического размера.

Существует несколько способов исследования объемных прозрачных, бесцветных микрообъектов, которые используются в медицине, криминалистике, материаловедении [8, 9].

В предшествующих экспериментальных работах [10, 11] измерение параметров тактильного рельефа производилось следующим образом. Образец эластичного маркированного изделия охлаждали до температуры ниже температуры стеклования полимера для увеличения жесткости и рассекали лезвием вдоль гребней рельефа. Затем оценивали полученное сечение, фотографировали и измеряли размеры изображения с помощью измерительно-калибровочных функций оптического цифрового USB-микроскопа. При этом на этапе рассечения образца неизбежна деформация рельефа маркировки, следствием которой является погрешность величиной + 0,3 мкм.

*Цель исследования* — разработка высокоточной инструментальной методики бесконтактной оценки стереометрии рельефной маркировки гибких и эластичных полимерных деталей с «памятью формы», применяемых при монтаже и ремонте коммуникаций авиационных агрегатов.

## 2. Объекты и методы исследования

Исследованы термоусадочные трубки и пленки промышленного производства из поливинилхлорида, полиэтилентерефталата и полистирола толщиной 50 мкм. Производители термоусадочных материалов Dongil Chemical и Alfaterm. Коэффициент максимальной усадки при  $90 \pm 5$  °С около 70%. На образцы пленок нанесены тактильные точечные и линейные знаки. Точечную маркировку осуществляли с ис-

пользованием паяльной станции, обеспечивающей термостатирование при  $100 \pm 1$  °С цилиндрического стержня с плоским основанием диаметром 1,0 и 3,0 мм. Линейную маркировку производили с помощью импульсного нагревателя локальной термообработкой [12]. «Проявление» рельефа осуществляли усадкой на фиксирующей подложке (оправке), имитирующей изолируемую коммуникацию авиационного агрегата, путем нагрева горячим воздушным потоком или в воде (85–95 °С) по методике [10].

### 3. Результаты и обсуждение

Алгоритм нового способа рельефной маркировки термоусадочных деталей из термопластичных полимеров включает следующие операции.

Локальную термообработку образцов (термоусадочной трубки или пленки) проводили в изометрических условиях, аппликацию образца на жесткое основание (коммуникации, контакты проводов) и термоусадку в горячем теплоносителе (воздух, вода). Локальную термообработку изделия с «памятью формы» в изометрических условиях. При локальной термообработке малого участка изделия изометрический режим обеспечивается жесткостью полимерного материала, окружающего места локального нагревания полимера. Вследствие жесткости стеклообразного полимера усадка термообработанной части не реализуется, а имеет место локальная релаксация внутренних напряжений. Результатом релаксации внутренних напряжений является стабилизация геометрических размеров зоны локальной термообработки, т. е. утрата способности к термоусадке.

При нагревании изделия после локальной термообработки путем погружения в горячий теплоноситель его поверхность резко сокращается. Зоны локальной термообработки не изменяют площади термостабилизированной поверхности и выдавливаются наружу. Образуется рельеф, несущий визуальную и тактильную информацию. Рельеф может иметь форму отрезков прямой линии или геометрических фигур и форму точек со стереометрией шрифта Брайля. Главными факторами, определяющими форму и габариты рельефа, являются усадочные свойства полимера (коэффициент термоусадки), размеры зоны локальной термообработки (диаметр основания точки или ширина линий) и соотношение размеров термоусадочной трубки (муфты) и размеров коммуникации, на которые наносится оболочка или муфта.

Виды рельефной маркировки на термоусадочных трубках, применяемых в электрических и электронных элементах коммуникаций авиационных агрегатов, показаны в виде схемы на рис. 1 и 2.

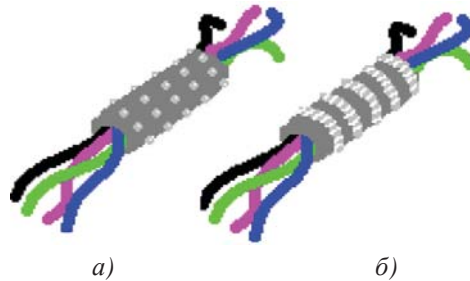


Рисунок 1. Вид участков тактильной маркировки изделий с «памятью формы»  
из термоусадочных трубок многожильного кабеля:  
а) точечная маркировка; б) линейная маркировка

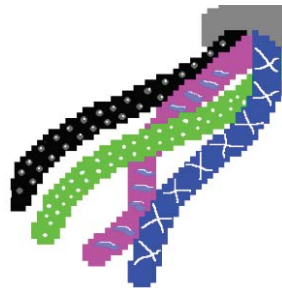


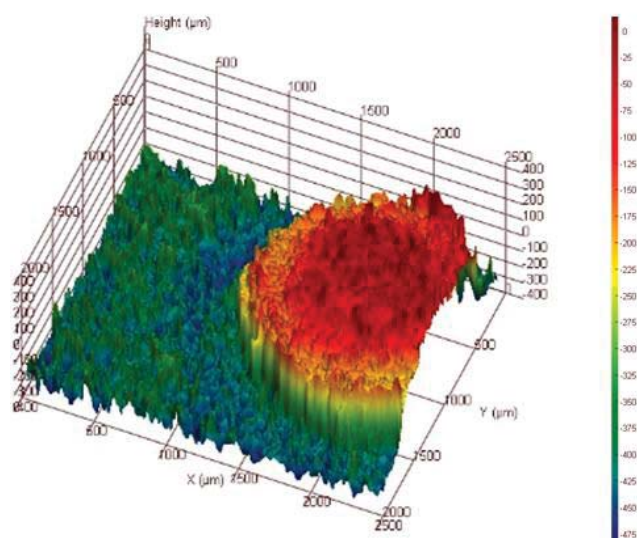
Рисунок 2. Вид участков тактильной маркировки отдельных проводов  
из термоусадочных трубок

Для инструментальной оценки стереометрии поверхности монтажных деталей авиационной техники, выполненных из прозрачных полимерных материалов, применяли бесконтактное построение 3D-моделей рельефа исследуемого образца. Для этого использовали лабораторный прямой микроскоп отраженного света Carl Zeiss Axio Lab.A1, оснащенный измерительной приставкой PhaseView. Определение расстояния до фрагмента поверхности производили путем анализа интерференционной картины, формируемой внутри измерительной приставки. Приставка содержит калиброванный источник излучения, что позволяет с использованием результатов предварительного измерения расстояния до исследуемого образца по положению максимумов и минимумов интерференционной картины рассчитывать точные размеры рельефа. Для предварительного измерения расстояния используются данные о геометрии оптического тракта, содержащегося в калибровочных файлах, используемого программного обеспечения.

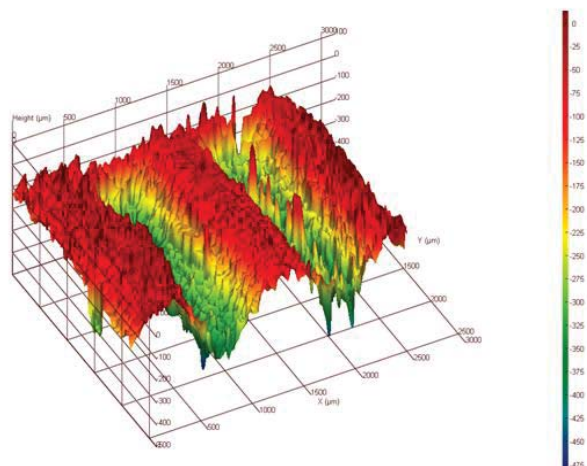
Для оптического исследования необходимо покрыть поверхность образца полимерной трубкой или пленки пигментом или раствором красителя темного цвета, т. к. на проекции прозрачных объектов появляются искажения — шумы. Окраши-

вание поверхностей исследуемых образцов производили чернилами, содержащими этанол.

Построение 3D-модели обеспечивается программным обеспечением GetPhase. Наиболее информативно рельеф поверхности образцов выглядит в изометрии (рис. 3). Высота характерных точек рельефа поверхности определяется по цветовой градационной шкале (показана справа на рис. 3а, 3б).



а)



б)

Рисунок 3. 3D-модель фрагментов различной тактильной маркировки полимерных пленок: а — точечная маркировка; б — линейная маркировка

Количественные характеристики рельефа, полученные при измерении элементов тактильной маркировки разных видов, приведены в табл. 1 и 2. Геометрия мар-

кировки [13] не очень разнообразна, она может быть либо точечной, либо линейной, но габариты маркировки могут изменяться в зависимости от площади обрабатываемой поверхности полимера.

В табл. 1 представлены данные габаритных размеров точечной маркировки на разных по химическому составу, но одинаковых по толщине полимерах. Из таблицы видно, чем больше диаметр нагревательного элемента, тем выше рельефная точка. В табл. 2 представлены результаты измерения амплитуды и периода тактильной маркировки.

Таблица 1 — Параметры точечной маркировки образцов термоусадочных полимерных материалов

Полимерный материал	Высота точки, мкм	
	диаметр нагревательного элемента — 3,0 мм	диаметр нагревательного элемента — 1,0 мм
Поливинилхлорид	442	370
Полистирол	563	243
Полиэтилен-терефталат	667	30

Таблица 2 — Параметры линейной маркировки пленки толщиной 50 мкм

Полимерный материал	Параметры	
	Амплитуда, мкм	Период, мкм
Поливинилхлорид	264	1180
Полистирол	462	1660
Полиэтилентерефталат	512	1720

Вследствие того, что полиэтилентерефталат обладает большей жесткостью, сформировавшийся рельеф и точечной, и линейной маркировки на этих образцах пленки довольно высок по сравнению с рельефом на других пленках — участниках эксперимента.

#### 4. Заключение

Наличие рельефных знаков на термоусадочных трубках заметно облегчит быстрое распознавание и идентификацию коммуникаций и соединений, так как идентификация кабельной продукции по цветовому различию или путем чтения слов, цифр на бирках и флажках в условиях плохой видимости и ограниченной доступности к агрегатам авиационной техники нередко затруднительна.

Предложенная инструментальная методика бесконтактной оценки стереометрии рельефной маркировки гибких и эластичных полимеров позволяет производить более точное нанесение и измерение параметров поверхности термоусадочных деталей, не нарушая их целостности, с малой погрешностью.



## Литература

- [1] *Канискин В. А., Таджибаев А. И.* Эксплуатация силовых электрических кабелей : учеб. пособие. Часть 1. — СПб. : ПЭИПК, 2001.
- [2] *Илюшин Н. М.* Методические рекомендации по эксплуатации и войсковому ремонту бортовых электрических сетей летательных аппаратов. — Люберцы : 13 ГНИИ Минобороны России, 1985.
- [3] Самолет Ил-76 / Руководство по ремонту боевых повреждений / Раздел Бортовая электрическая сеть. Часть 1, книга 6. — М. : ООО «Авиа-Медиа», 2004–2007.
- [4] *Бранзбург Е. З. и др.* Кабели с пластмассовой изоляцией и муфты для их монтажа. — М. : Энергоатомиздат, 1987.
- [5] Marburg Medium spacing convention for braille. Сайт компании Deutsche Blindenstudienanstalt e.V Braille-Druckerei Postbox 11 60 35001 Marburg [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.blista.de/download/druckerei/braille-dimensions> свободный.
- [6] *Коновалова М. В., Кондратов А. П.* Скрытая тактильная метка // Патент РФ 150223 22.09.2014, опублик. 10.02.2015, Бюл. № 4.
- [7] *Кондратов А. П.* Градиентные и интервальные термоусаживающиеся материалы для защиты полиграфической продукции от фальсификации // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела.* 2010. № 4. С. 57–65.
- [8] Методы исследования в гистологии, цитологии и эмбриологии. Сайт компании «Изучение медицины» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://profmed.blogspot.ru/2013/04/blog-post\\_28.html](http://profmed.blogspot.ru/2013/04/blog-post_28.html). свободный. Дата обращения 03.03.2016.
- [9] *Константинов В. Б., Бабенко В. А.* Голографический интерференционный микроскоп для исследования микрообъектов // *Журнал технической физики.* 2007. Т. 77. № 12. С. 92–95.
- [10] *Коновалова М. В., Кондратов А. П.* Маркировка этикеток и групповой упаковки из термоусадочной поливинилхлоридной пленки шрифтом Брайля // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела.* 2015. № 3. С. 53–59.
- [11] *Kondratov A. P.* Thermo shrinking films with interval macrostructure for protection of packaging from falsification // *Modern Applied Science.* 2015. Vol. 8. № 6. P. 204–209.
- [12] *Konovalova M. V., Kondratov A. P., Nazarov V. G., Benda A. F.* Relaxation processes in the interval shrinkable polyvinylchloride films with tactile marking of shrinkable labels // 46th Annual International Conference on Graphic Arts and Media Technology Management and Education 25–29 May 2014. — Athens and Corinthia, Greece, 2014. P. 251.
- [13] *Черкасов Е. П., Кондратов А. П.* Модернизация штампа для локальной термостабилизации пленки с эффектом «памяти формы» // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела.* 2015. № 1. С. 43–47.

*А. П. Кондратов,  
М. В. Коновалова,  
Е. П. Черкасов,  
И. А. Савенкова*

*Неразрушающая оценка параметров рельефной  
маркировки термоусадочных монтажных  
изделий для авиационной техники*

***Авторы:***

*Александр Петрович Кондратов* — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет

*Мария Васильевна Коновалова* — аспирант кафедры инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет

*Егор Павлович Черкасов* — аспирант кафедры инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет

*Ирина Александровна Савенкова* — преподаватель Департамента иностранных языков, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»



## Assessment of Non-destructive of Relief Marking Parameters of Heat Shrinkable Equipment for Aviation Technics

A. P. Kondratov<sup>\*</sup>, M. V. Konovalova<sup>\*</sup>, E. P. Cherkasov,  
I. A. Savenkova<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Moscow Polytechnic University  
107023 Moscow, Russia

<sup>\*\*</sup>National Research University Higher School of Economics  
101000 Moscow, Russia

e-mail: apkrezero@mail.ru

*Abstract.* The article explains a new method of relief marking of heat-shrinkable tubing and sleeves made of polymer materials with “shape memory effect.” Method of instrument evaluation of relief marking stereometry of installation parts for aviation equipment, made of polyvinyl chloride, polyethyleneterephthalate and polystyrene was developed and the results were explained. Parameters of pin-point relief marking and compliance of point forms to the Braille font standard were determined with the use of the non-destructive method based on the color of interference pattern with precision of 0.02 mm.

*Key words:* stereometry, microscopy, tactile marking, heat shrinkable polymeric materials.

### References

- [1] Kaniskin, V. A., Tadzhibaev A. I. (2001) Jekspluatacija silovyh jelektricheskikh kabelej. Part 1. Saint-Petesburg [In Rus]
- [2] Ilushin N. M. (1985) Metodicheskie rekomendacii po jekspluatacii i vojskovomu remontu bortovyh jelektricheskikh setej letatel'nyh apparatov. Moscow [In Rus]
- [3] Samolet Il-76 Rukovodstvo po remontu boevyh povrezhdenij. Razdel Bortovaja jelektricheskaja set. Part 6. Moscow 2004–2007 [In Rus]
- [4] Branzburg, E. Z. et al. (1987) Kabeli s plastmassovoj izoljaciej i mufty dlja ih montazha. Moscow, Energoatomizdat [In Rus]
- [5] Rezhim dostupa: <http://www.blista.de/download/druckerei/braille-dimensions-svobodnyj>.
- [6] Konovalova M. V., Kondratov A. P. (2015) Patent RF 150223 22.09.2014
- [7] Kondratov A. P. (2010) *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela*, 4:57–65.
- [8] [http://profmed.blogspot.ru/2013/04/blog-post\\_28.html](http://profmed.blogspot.ru/2013/04/blog-post_28.html). svobodnyj. Data obrashhenija 03.03.2016 [In Rus]

- [9] Konstantinov V. B., Babenko V. A. (2007) *Zhurnal tehniceskoy fiziki*, **77**(12):92–95 [In Rus]
- [10] Konovalova M. V., Kondratov A. P. (2015) *Izvestija vysshih ucheb-nyh zavedenij. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela*, 3:53–59 [In Rus]
- [11] Kondratov A. P. (2015) *Modern Applied Science*, **8**(6):204–209
- [12] Konovalova M. V., Kondratov A. P., Nazarov V. G., Benda A. F. (2014) Relaxation processes in the interval shrinkable polyvinylchloride films with tactile marking of shrinkable labels. In Proc. 46th Annual International Conference on Graphic Arts and Media Technology Management and Education 25–29 May 2014. Athens and Corinthia, Greece, p. 251
- [13] Cherkasov, E. P., Kondratov A. P. (2015) *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela*, 1:43–47. [In Rus]