

Таблица – Результаты измерений толщины никелевого покрытия в различном магнитном состоянии

Номер сечения	Номер точки в сечении	Исходная намагниченность		Намагничено со знаком +		Намагничено со знаком –	
		Остаточная индукц., мТл	Ср. показан., мкм	Остаточная индукц., мТл	Ср. показан., мкм	Остаточная индукц., мТл	Ср. показан., мкм
I	1	-0,18	243	3,27	243	-2,67	242
	2	-0,15	222	2,14	221	-2,56	221
	3	0,23	215	2,59	216	-3,48	215
	4	0,24	234	3,21	232	-3,01	232
II	1	-0,19	238	2,78	238	-3,28	237
	2	0,27	229	2,71	230	-2,94	229
	3	-0,16	222	2,29	222	-1,99	220
	4	0,14	236	2,16	237	-2,31	234
III	1	0,27	235	3,17	236	-3,03	233
	2	0,21	245	3,35	245	-2,79	244
	3	0,11	233	3,24	235	-2,48	232
	4	0,18	221	2,64	221	-3,25	220

Исследовательские испытания доработанного прибора МТНП-1 проведены в Университете ИТМО (г. С.-Петербург) на натурной части КС ЖРД. Цель испытаний – оценка эффективности размагничивающей системы. Остаточная намагниченность никелевого покрытия характеризовалась исходным состоянием КС ЖРД либо создавалась с помощью приставного цилиндрического магнита из неодим-железо-бора, при этом знак намагниченности (+ или –) определялся полюсом, которым магнит был приставлен к покрытию. Измерения выполнены в трех контрольных сечениях, расположение и номера которых показаны на рисунке 3.

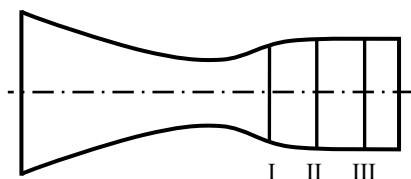


Рисунок 3 – Расположение сечений КС ЖРД при измерении толщины никелевого покрытия

В каждом сечении камеры сгорания измерения выполнены в четырех точках, расположенных по окружности сечения. Полученные данные приве-

дены в таблице, из которой следует, что при условии применения размагничивающей системы остаточная намагниченность никелевого покрытия КС ЖРД практически не влияет на результаты измерений его толщины. Это подтверждает возможность использования доработанных толщиномеров МТНП-1 для контроля изделий, выпускаемых авиа-космическими предприятиями.

#### Литература

1. Приборы неразрушающего контроля, разработанные в ИПФ НАН Беларуси [Электронный ресурс]: официальный сайт ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси». – Режим доступа: <http://iph.bas-net.by/VDev/index.html>.
2. Лухвич, А.А. Влияние остаточной намагниченности на результаты контроля магнитодинамическими толщиномерами специальных покрытий камер сгорания жидкостных ракетных двигателей / А.А. Лухвич, О.В. Булатов, А.Л. Лукьянов // Шестой белорусский космический конгресс, Минск, 28-30 октября 2014 г. : материалы: в 2-х т. / Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси. – Минск, 2014. – Т. 1. – С. 58–61.

УДК 620.179.142.6

### КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ НАМАГНИЧЕННЫХ ДВУХСЛОЙНЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ДОРАБОТАННЫМИ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРИБОРАМИ МТДП-1

Шарандо В.И.<sup>1</sup>, Кремьenkova Н.В.<sup>1</sup>, Лукьянов А.Л.<sup>1</sup>, Чернышев А.В.<sup>1</sup>, Булатов О.В.<sup>1</sup>, Калошин В.А.<sup>2</sup>, Кинжагулов И.Ю.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>АО «НПО Энергомаш им. акад. В.П. Глушко», Химки, Московская область, Российская Федерация

<sup>3</sup>Университет ИТМО, С.-Петербург, Российская Федерация

Слой хрома, нанесенный на никелевое покрытие камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя (КС ЖРД), обеспечивает ей дополнительную защиту от прогорания. По заданию программы Союзного государства «Космос-НТ» (2008-2011 гг.) в Республике Беларусь созданы

магнитодинамические приборы МТДП-1 для неразрушающего контроля толщины таких двухслойных покрытий [1]. В 2012 году этот тип приборов был сертифицирован в Российской Федерации (внесен в Госреестр РФ под № 50930-12). Однако при проведении исследо-

вательских производственных испытаний указанного прибора была выявлена существенная зависимость его показаний, полученных при измерении толщины слоя хрома, от остаточной намагниченности никелевого покрытия, в первую очередь обусловленной технологией изготовления КС ЖРД. Результаты исследований показали, что индукция остаточного магнитного поля над поверхностью никелевого покрытия определяется в основном нормальной составляющей индукции поля, создаваемого постоянным цилиндрическим магнитом преобразователя магнитодинамического толщиномера, и может достигать  $\pm 5$  мТл. Так как постоянный магнит, установленный в преобразователе, предназначенном для измерения толщины слоя хрома, создает относительно слабое поле, остаточная намагниченность никелевого покрытия, расположенного под слоем хрома, приводит к

дополнительной погрешности, которая в некоторых случаях может достигать десятков процентов [2].

В рамках программы Союзного государства «Мониторинг-СГ» (2013–2017 гг.) создан доработанный магнитодинамический толщиномер МТДП-1, оснащенный встроенной размагничивающей системой, принцип действия которой изложен в работе «Контроль толщины намагниченных никелевых покрытий доработанными магнитодинамическими приборами МТНП-1», опубликованной в настоящем сборнике. Так как прибор МТДП-1 комплектуется двумя съемными преобразователями, один из которых предназначен для измерения толщины слоя хрома, а другой – слоя никеля, размагничивающая катушка входит в состав каждого из этих преобразователей. Внешний вид такого прибора приведен на рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты измерений толщины слоя хрома на слое никеля, полученные при различных магнитных состояниях никеля

Номер сечения	Номер точки в сечении	Исходная намагниченность слоя никеля КС ЖРД		Слой никеля намагничен приставным магнитом			
		Остаточная индукц., мТл	Ср. показан., мкм	со знаком +		со знаком –	
				Остаточная индукц., мТл	Ср. показан., мкм	Остаточная индукц., мТл	Ср. показан., мкм
IV	1	0,29	135	2,95	136	-2,79	134
	2	0,38	123	4,79	123	-4,58	122
	3	-0,27	132	3,54	132	-3,73	130
	4	0,49	127	2,98	127	-2,56	126
V	1	0,18	139	2,37	139	-2,69	139
	2	0,69	129	3,33	128	-3,58	127
	3	0,39	133	3,12	132	-3,42	132
	4	0,17	149	2,97	148	-3,24	149
VI	1	0,22	131	3,85	132	-3,27	130
	2	-0,19	133	4,72	133	-4,51	133
	3	-0,20	140	4,11	141	-3,95	140
	4	0,17	126	3,98	127	-3,51	126

Таблица 2 – Результаты измерений толщины слоя никеля под слоем хрома, полученные при различных магнитных состояниях никеля

Номер сечения	Номер точки в сечении	Исходная намагниченность слоя никеля КС ЖРД		Слой никеля намагничен приставным магнитом			
		Остаточная индукц., мТл	Ср. показан., мкм	со знаком +		со знаком –	
				Остаточная индукц., мТл	Ср. показан., мкм	Остаточная индукц., мТл	Ср. показан., мкм
IV	1	0,11	371	2,15	374	-3,43	371
	2	0,21	425	4,44	426	-4,37	424
	3	-0,17	362	3,24	366	-3,53	362
	4	0,34	366	3,72	367	-3,54	363
V	1	-0,12	350	3,31	350	-2,39	349
	2	0,37	359	4,23	360	-4,36	358
	3	0,26	362	3,02	364	-3,12	362
	4	-0,13	340	1,99	342	-2,94	340
VI	1	0,17	386	2,95	386	-2,87	384
	2	0,19	403	3,97	405	-3,81	402
	3	-0,31	394	3,71	395	-4,05	393
	4	0,24	388	4,12	388	-3,74	386

Для оценки эффективности эксплуатации в условиях производства доработанный магнитодинамический толщиномер МТДП-1, показанный на рисунке 1, был испытан в Университете ИТМО на натурной части КС ЖРД, имеющей двухслойное хромоникелевое покрытие в области ее критического сечения. Измерения толщин хрома и никеля выполнены в трех контрольных сечениях, расположение и номера которых приведены на рисунке 2.



- 1 – преобразователь для измерения толщины хрома, нанесенного на никелевое покрытие;
- 2 – преобразователь для измерения толщины никеля, расположенного под слоем хрома

Рисунок 1 – Доработанный магнитодинамический толщиномер МТДП-1, оснащенный размагничивающей системой

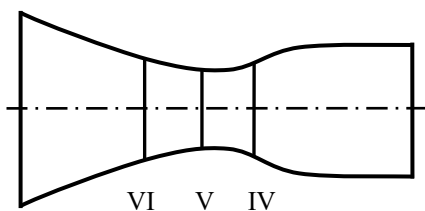


Рисунок 2 – Расположение сечений КС ЖРД при измерении толщины двухслойного хромоникелевого покрытия

Как и при проведении исследовательских испытаний доработанного магнитодинамического толщиномера МТДП-1, остаточная индукция была определена измерителем магнитных полей ИМП-1 [1]. Толщины слоев хрома и никеля при разных условиях создания намагниченности (в исходном состоянии КС ЖРД, а также после намагничивания слоя никеля приставным постоянным магнитом со знаком + или -) измерены по методике, реализованной в ходе указанных испытаний.

Приведенные в таблицах 1 и 2 данные свидетельствуют о том, что остаточная намагниченность никеля не оказывает влияния на результаты измерений толщин слоев хрома и никеля. Это подтверждает эффективность размагничивающей системы, встроенной в доработанный магнитодинамический толщиномер МТДП-1.

### Литература

1. Приборы неразрушающего контроля, разработанные в ИПФ НАН Беларуси [Электронный ресурс]: официальный сайт государственного научного учреждения «Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси». – Режим доступа: <http://iaph.bas-net.by/VDev/index.html>. – Дата доступа: 19.06.2018.

2. Лухвич, А.А. Влияние остаточной намагниченности на результаты контроля магнитодинамическими толщиномерами специальных покрытий камер сгорания жидкостных ракетных двигателей / А.А. Лухвич, О.В. Булатов, А.Л. Лукьянов // Шестой белорусский космический конгресс, Минск, 28-30 окт. 2014 г. : материалы: в 2-х т. / Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси. – Минск, 2014. – Т. 1. – С. 58–61.

УДК 621.06

## УСТРОЙСТВО ПРОВЕРКИ ОСТРОТЫ РЕЖУЩИХ КРОМОК МЕДИЦИНСКИХ СКАЛЬПЕЛЕЙ

Киселев М.Г., Мониц С.Г., Яхимович П.Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Скальпель или хирургический нож – медицинский инструмент, предназначенный для рассечения мягких тканей. В зависимости от конструкции и назначения выделяют множество видов скальпелей [2].

Медицинский скальпель состоит из таких компонентов как:

1. Режущая часть, которая состоит из режущей кромки, собственно лезвия, окончания (острого, закругленного).
2. Рукоятка. Может быть разных размеров, из различных материалов, начиная от металлических сплавов и заканчивая пластмассой.
3. Шейка.
4. Обушка.



Рисунок 1 – Примеры выполнения хирургических ножей