

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОНТАКТНЫХ СЕРДЕЧНИКОВ НА СТАБИЛИЗАЦИЮ ПАРАМЕТРОВ ГЕРКОНОВ, ПРОИЗВОДИМЫХ В АО ПШЭП «ДОЛАМ»*

*Статья приведена в авторской редакции и переводе на русский язык

Я. Зависляньски, к.т.н., Б. Медзински, д.т.н.*

50 – 425, ул. Краковска 64, Вроцлав, Польша,
Производственное предприятие электронных приборов АО «ДОЛАМ»
* 50 – 370, ул. В. Выспяньского 27, Вроцлав, Польша,
Вроцлавская Политехника

Представлены результаты исследований влияния термической обработки проволоки для производства контактных сердечников на ее параметры. Исследованиями охвачены различные типы проволоки, применяемой в «Долам» А.О. для производства герконов: Pernifer 50, $\Phi = 0,56$ мм, Vacovit 530, $\Phi = 1,35$ мм, Pernifer 2918, $\Phi = 1,35$ мм.

Results of studying the effect of thermal treatment of wire to produce contact cores on parameters thereof are presented. Various wire types used in „Dolam“ S.A. for reed switch production: Pernifer 50, $\Phi = 0,56$ mm, Vacovit 530, $\Phi = 1,35$ mm, Pernifer 2918, $\Phi = 1,35$ mm are investigated.

Введение

Во время технологического процесса производства герконов проводится ряд операций, которые влияют на:

- стабилизацию магнитных параметров проволоки, применяемой для контактов герконов;
- жесткость контактов;
- адгезию контактного слоя к материалу основания.

В настоящей работе исследовалось влияние термической обработки на параметры контактного слоя и материала основания. Эти параметры непосредственно влияют на электрические параметры и безотказность работы герконов.

Испытаниям была подвергнута проволока, применяемая в АО «ДОЛАМ» для производства следующих герконов:

- миниатюрных - Pernifer 50, $\Phi = 0,56$ [мм];
- стандартных - Vacovit 530, $\Phi = 1,35$ [мм];
- вакуумных (высокого напряжения) - Pernifer 2918, $\Phi = 1,35$ [мм].

I. Исследование влияния термической обработки на магнитные параметры проволоки, применяемой в производстве контактов герконов

1. Электрическая схема для замера магнитных параметров представлена на рис. 1.
2. Данные элементов:

Данные элементов катушек

Параметры	Катушка 1		Катушка 2	
	Количество витков	Сопротивление катушки r_{c1}	Количество витков	Сопротивление катушки r_{c2}
	n_1	Ω	n_2	Ω
Вид проволоки				
Pernifer 2918; $\Phi = 1,35$ [mm] Vacovit 530; $\Phi = 1,35$ [mm]	10 000	850	10 000	850
Pernifer 50; $\Phi = 0,56$ [mm]	10 000	1 450	10 000	1 450

Электронные элементы схемы:

$$R_1 = 51,5 [\Omega], R_2 = 99,63 [k\Omega], C_1 = 1,086 [\mu F], \text{tg}\delta = 0,0086$$

Таблица 2

Данные образцов проволоки

Pernifer 2918; $\Phi = 1,35$ [mm]		Pernifer 50; $\Phi = 0,56$ [mm]		Vacovit 530; $\Phi = 1,35$ [mm]	
сечение S_{d1}	длина l_{d1}	сечение S_{d2}	длина l_{d2}	сечение S_{d3}	длина l_{d3}
mm^2	m	mm^2	m	mm^2	m
1,431	0,205	0,246	0,150	1,431	0,238

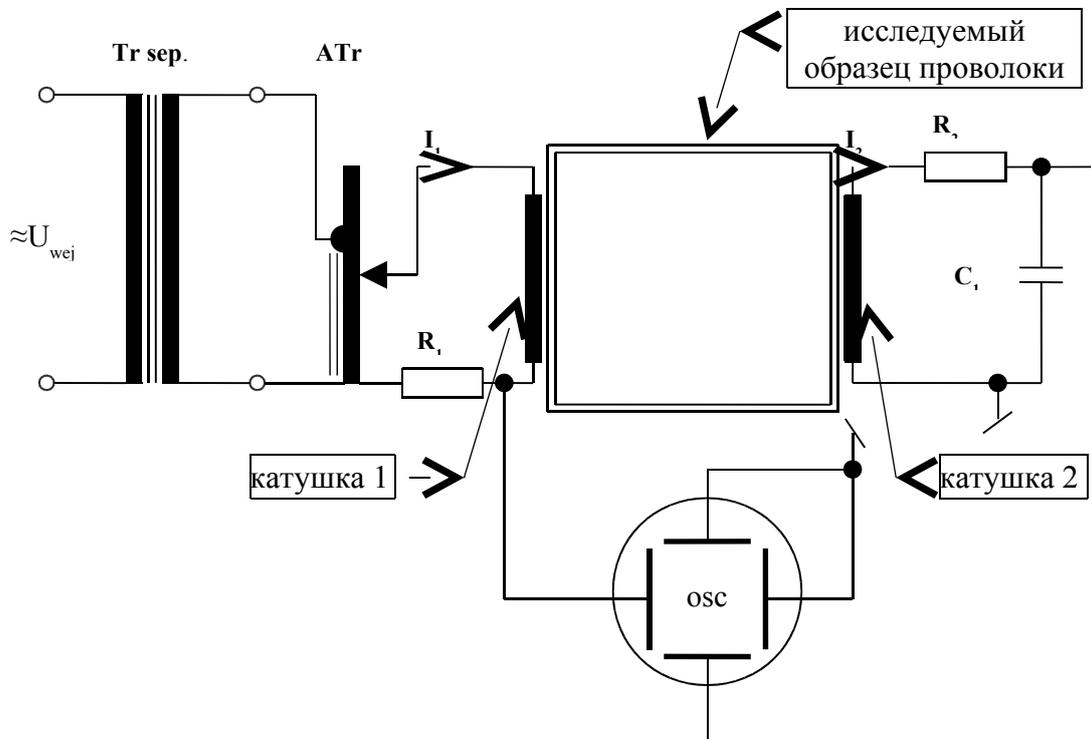


Рис. 1. Схема для измерения магнитных параметров материала основания

Для определения магнитных параметров проволоки – петли гистерезиса – был применен осциллокопный метод. Были определены основные величины, описывающие петлю магнитного гистерезиса, то есть: индукция насыщения B_{nas} , остаточная индукция B_T и

величина поля коэрцитивности H_c . Для оценки влияния параметров термической обработки на магнитные параметры материала основания хватило для того, чтобы определить только относительные изменения этих представляемых петель магнитного гистерезиса параметров, и именно эти величины представлены в настоящей статье. При проведении испытаний также были определены реальные величины магнитных параметров и оценена надежность замеров.

3. Основные зависимости для измерительной схемы, представленной на рис. 1

а) Первичная цепь питается переменным напряжением электрической сети.

Напряженность магнитного поля H в образце определяется следующей зависимостью:

$$\oint_l H \cdot dl = I_1 \cdot n_1, \quad (1)$$

где

I_1 - величина тока в обмотке катушки 1,

n_1 - количество витков катушки 1,

l - длина магнитной цепи для данного образца.

На пластины горизонтального отклонения осциллографа подается напряжение U_{x-x} величиной:

$$U_{x-x} = I_1 \cdot R_1. \quad (2)$$

Используя зависимость (1) после простых преобразований, получаем:

$$U_{x-x} = \frac{R_1 \cdot l_d}{n_1} \cdot H. \quad (3)$$

Вывод:

Напряжение, подаваемое на пластины горизонтального отклонения осциллографа, прямо пропорционально напряженности магнитного поля H .

б) Вторичная цепь

Переменный ток I_1 , протекающий в катушке 1, образует в испытываемом образце переменный магнитный поток Φ , который индуцирует в обмотке катушки 2 напряжение величиной:

$$E_{ind} = -\frac{d\Psi}{dt} = -n_2 \cdot \frac{d\phi}{dt}, \quad (4)$$

где

Ψ - потокосцепление катушки 2,

n_2 - количество витков катушки 2,

ϕ - магнитный поток в испытываемом образце.

Магнитный поток ϕ можно определить через индуктивность поля B и площадь поперечного сечения образца S_d :

$$\phi = B \cdot S_d. \quad (5)$$

С учетом (5) формула (4) получает следующий вид:

$$E_{ind} = -n_2 \cdot S_d \cdot \frac{dB}{dt}. \quad (6)$$

Рост напряжения dU_c на конденсаторе C_1 в интервале времени dt , вызванный протеканием тока I_2 во вторичной цепи, составляет:

$$dU_c = \frac{I_2 \cdot dt}{C_1}. \quad (7)$$

Величину тока I_2 можно определить по зависимости:

$$I_2 = \frac{E_{ind}}{Z_2}, \quad (8)$$

где

Z_2 – полное сопротивление (импеданс) вторичной цепи.

Величину этого импеданса определяем по зависимости:

$$Z_2 = R_2 + \frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L, \quad (9)$$

где

L – индуктивность катушки 2.

Величины элементов вторичной цепи были подобраны таким образом, чтобы были выполнены следующие требования:

$$R_2 \gg \frac{1}{\omega C_1} \quad \text{и} \quad R_2 \gg \omega L. \quad (10)$$

В связи с указанным выше импеданс Z_2 будет практически равен R_2 :

$$Z_2 \cong R_2. \quad (11)$$

Выражение, определяющее величину тока во вторичной цепи, имеет вид:

$$I_2 = \frac{E_{ind}}{R_2}. \quad (12)$$

Используя формулы (6) и (12), выражение (7) приобретает вид:

$$dU_c = -\frac{n_2 \cdot S_d}{R_2 \cdot C_1} \cdot dB. \quad (13)$$

После интегрирования выражения (13) окончательно получаем:

$$U_c = U_{Y-Y} = -\frac{n_2 \cdot S_d}{R_2 \cdot C_1} \cdot B. \quad (14)$$

Напряжение U_c прямо пропорционально величине магнитной индукции B .

Подавая на пластины горизонтального отклонения осциллографа напряжение U_{x-x} , которое является пропорциональным магнитному полю H , а на пластины вертикального отклонения – напряжение U_{y-y} , которое является пропорциональным индукции магнитного поля B , на экране осциллографа получаем график $B=f(H)$.

4. Определение основных магнитных параметров, описывающих испытываемые образцы

Величинами, которые характеризуют испытываемые образцы по их магнитным свойствам, являются:

- B_{nas} - величина индукции насыщения;
- B_r - величина остаточной индукции;
- H_c - величина коэрцитивной силы.

Совершая измерения напряжений, соответствующих вышеуказанным величинам, а также используя выражения (3) и (14), можем определить исследуемые нами магнитные параметры материала, из которого изготовлены контакты герконов.

$$\left. \begin{aligned} H &= \frac{n_1}{R_1 \cdot l_d} \cdot U_{X-X} \\ B &= -\frac{R_2 \cdot C_1}{n_2 \cdot S_d} \cdot U_{Y-Y} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

5. Результаты измерений

Таблица 3

Магнитные параметры		Pernifer 50, $\Phi = 0,56$ [мм]					
		Приготовление образца: отрезки длиной $l = 150$ [мм]					
		Перед термической обработкой	Параметры после термической обработки				
600°C	650°C		700°C	750°C	800°C		
$B_{нас}$	[Gs]	1372	3136	4410	5390	5390	5635
B_r	[Gs]	1127	2695	3675	4410	4410	4655
H_c	[A/m]	678	424	339	297	297	254
Параметры термической обработки: отжиг в мокром H_2 , скорость ленты 1"/мин.							

Таблица 4

Магнитные параметры		Pernifer 2918; $\Phi = 1,35$ [мм]					
		Приготовление образца: отрезки длиной $l = 205$ [мм]					
		Род механической обработки проволоки					
		Проволока (без механической обработки)		Штамповка		Ручная прокатка	
		Перед термической обработкой	После термической обработки	Перед термической обработкой	После термической обработки	Перед термической обработкой	После термической обработки
$B_{нас}$	[Gs]	1670	4250	76	5313	38	-
B_r	[Gs]	1336	3036	45	3795	30	-
H_{Hc}	[A/m]	397	347	397	248	-	-
Параметры термической обработки: темп. = 1000°C, скорость ленты = 1"/мин., количество циклов = 3							

Испытание проволоки Vasovit 530 проведено на 4 образцах. Результаты представлены в табл. 5.

Магнитные параметры		VACOVIT 530; $\Phi = 1,35$ [mm]					
		Приготовление образца: отрезки длиной $l = 238$ [mm]					
		Образец 1 - проволока без механической обработки		Контакты - штамповка - 3 образца			
		Перед термической обработкой	После термической обработки 3 цикла	Перед термической обработкой	После термической обработки		
Образцы: 2,3,4	Образец № 2 1 цикл				Образец № 3 2 цикла	Образец № 4 3 цикла	
B_{nas}	[Gs]	1478	10560	123	8800	6864	8096
B_r	[Gs]	1200	9150	53	7040	5456	6340
H_{C_c}	[A/m]	440	236	314	236	264	236

Параметры термической обработки: темп. = 1000 °С, скорость ленты = 1"/мин.

6. Графики

а) Vaco vit 530

Примерные петли магнитного гистерезиса указаны на рис. 2÷14.

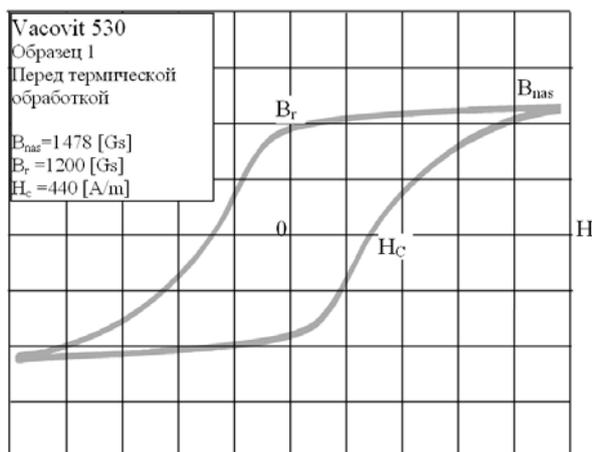


Рис. 2

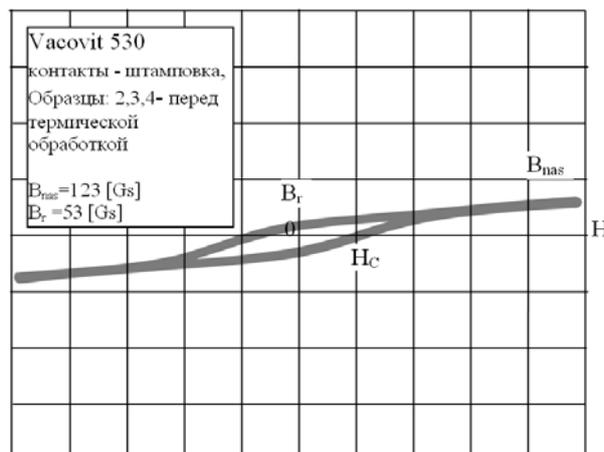


Рис. 3

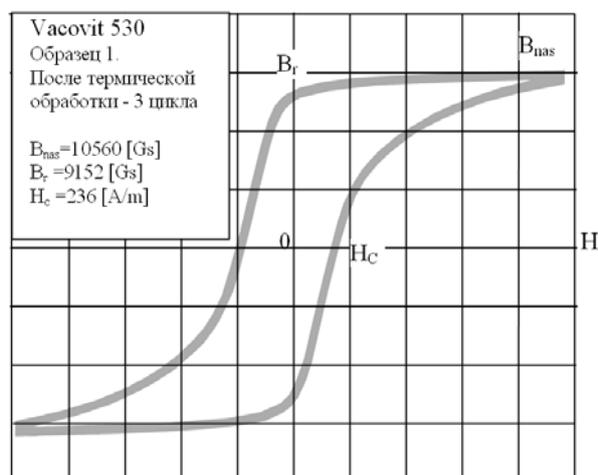


Рис. 4

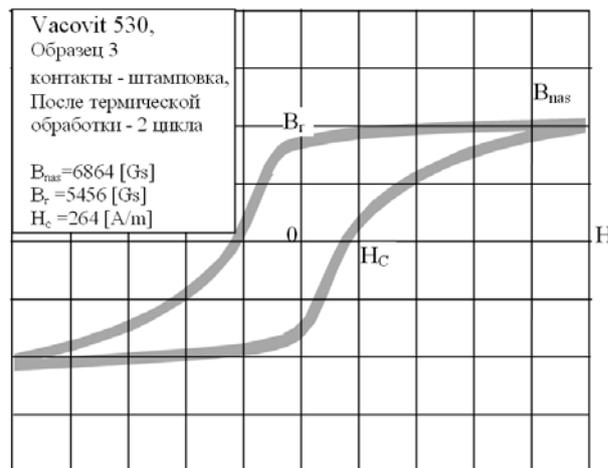


Рис. 5

Выводы:

- Проволока VACOVIT 530 характеризуется повышенными значениями индукции насыщения B_{nas} и остаточной магнитной индукции B_r по сравнению с соответствующими параметрами проволоки Pernifer 2918. Величина напряжений полей коэрцитивной силы H_c для обоих материалов перед термической обработкой значительно отличается, однако после проведения данной операции эти отличия существенно уменьшаются.
- В результате испытаний было определено, что после первого цикла термической обработки были получены наиболее рациональные магнитные свойства материала контактных сердечников с точки зрения их применения в производстве герконов.

b) Pernifer 2918

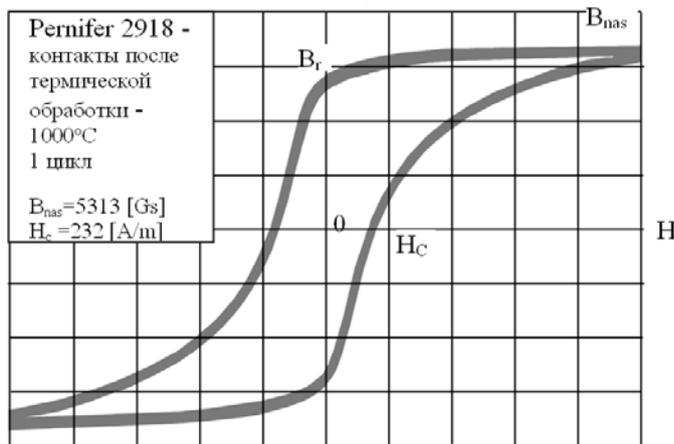


Рис. 6

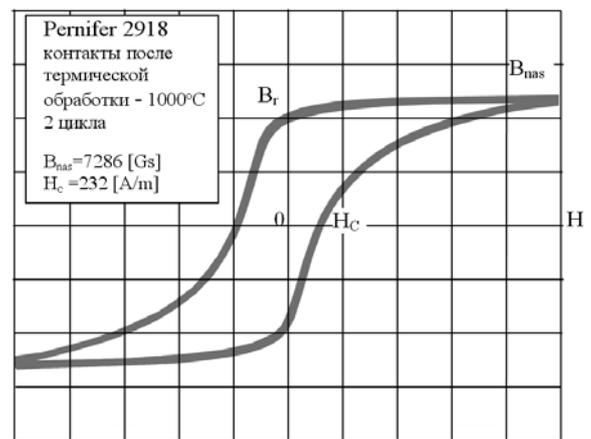


Рис. 7

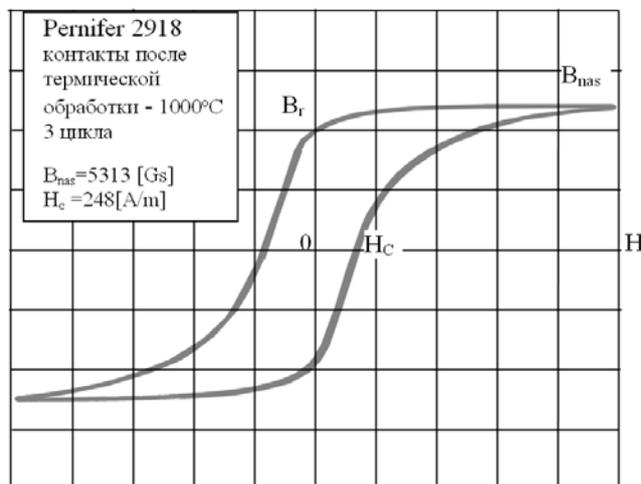


Рис. 8

Выводы:

1. Механическая обработка проволоки Pernifer 2918 (штамповка контактов на прессе, вальцовка) вызывает резкое падение величины индукции насыщения B_{nas} , остаточной индукции B_r при небольшом изменении величины поля коэрцитивной силы H_c – табл. 4.
2. Термическая обработка проволоки вызывает очень сильный рост B_{nas} и B_r , а также уменьшение величины поля коэрцитивной силы H_c на около 40% для контактных сердечников, изготовленных на прессе.

c) Pernifer 50

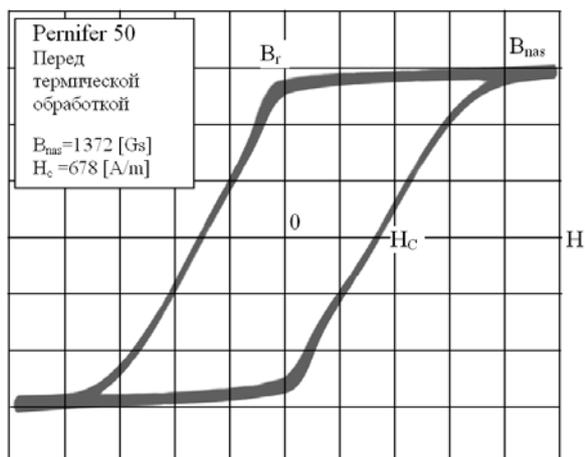


Рис. 9

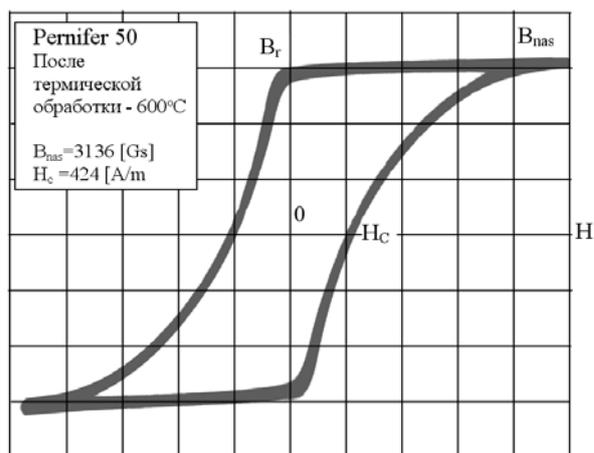


Рис. 10

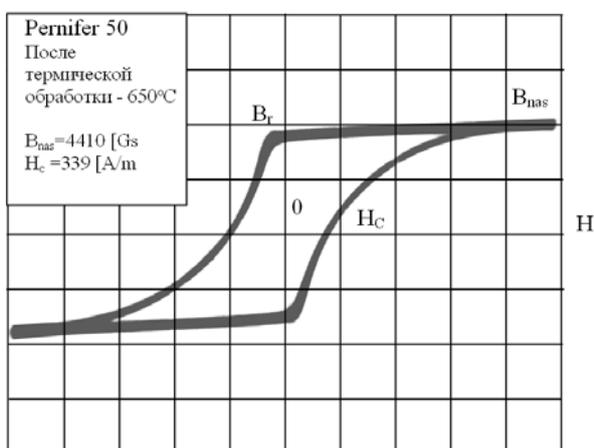


Рис. 11

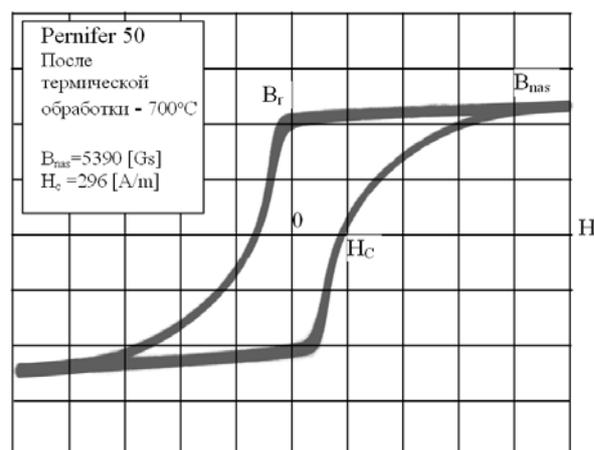


Рис. 12

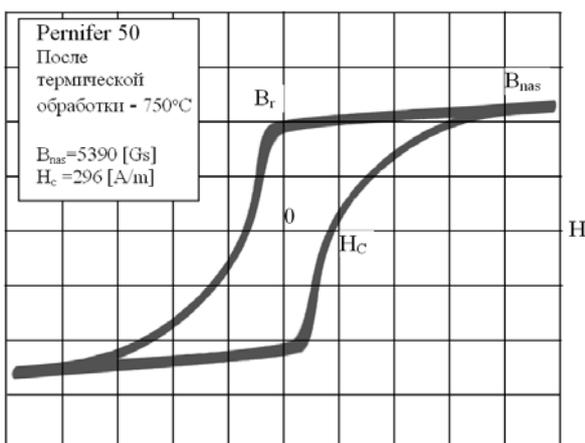


Рис. 13

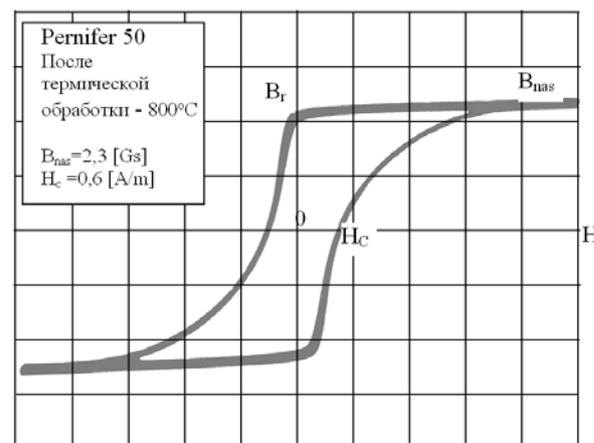


Рис. 14

Выводы:

1. Для проволоки Pernifer 50 исследовалось влияние температуры термической обработки материала на его магнитные параметры. Из проведенных испытаний следует, что начиная с температуры 700 °С, практически не наблюдается изменения параметров $B_{нас}$, B_r и H_c . Следует принять, что температура 700 °С является

оптимальной для получения материала, имеющего стабильные магнитные параметры – табл. 3.

2. Также было исследовано влияние температуры термической обработки проволоки Pernifer 50, $\Phi = 0,56$ [мм] на ее жесткость. Из полученных результатов следует, что материал, подвергнутый термической обработке при температуре $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, обладает также самой высокой жесткостью.

7. Исследование влияния параметров термической обработки на адгезию стыкового материала к материалу основания

Исследования распространены для всех типов проволок и для избранных типов стыковых материалов. Результаты представлены на рис. 15÷25 в виде снимков, полученных при помощи сканирующего микроскопа.

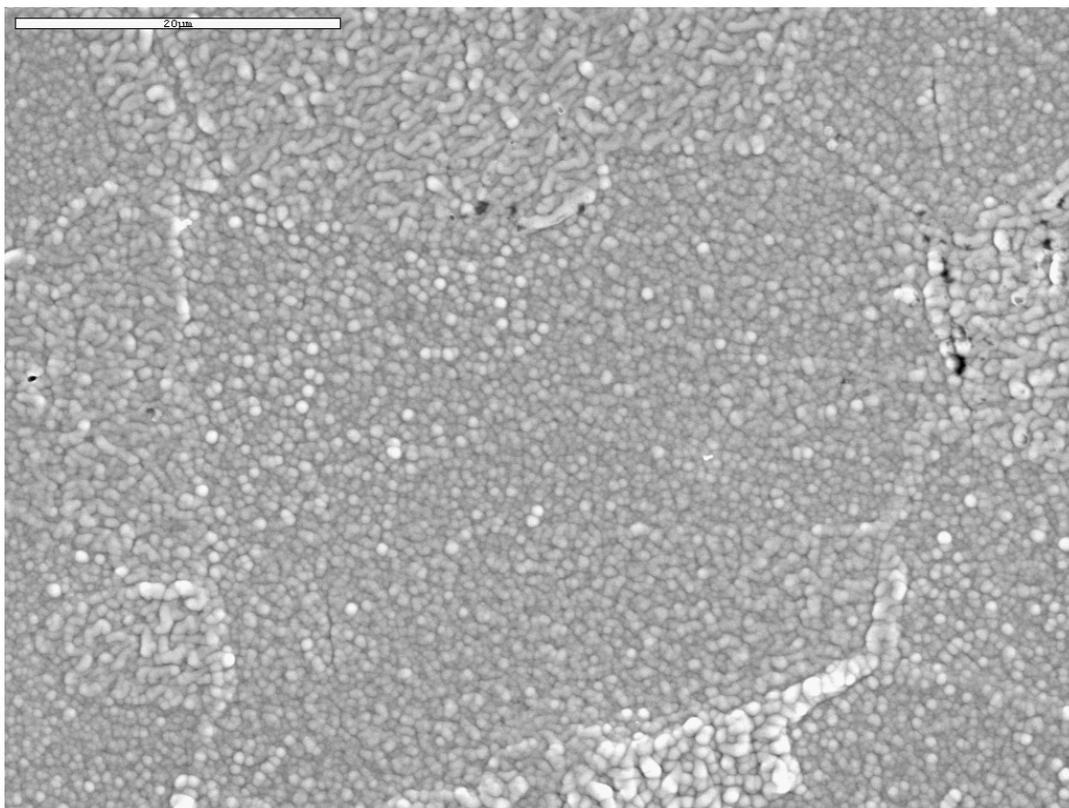


Рис. 15.

Pernifer 50.

Поверхность Au+Ru непосредственно после покрытия (без термической обработки). Увеличение 2000x (20μм)

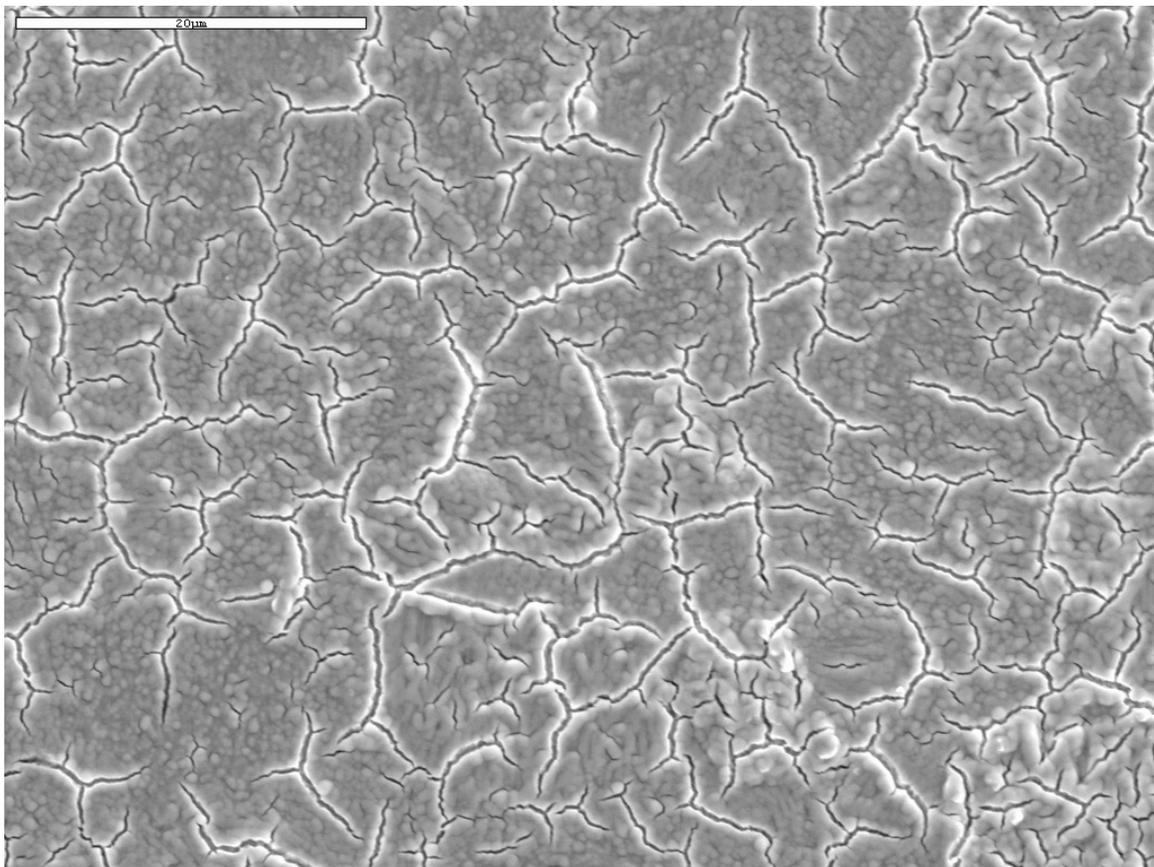


Рис. 16.

Pernifer 50.

Поверхность Au+Ru после термической
обработки. Увеличение 2000х (20µм)

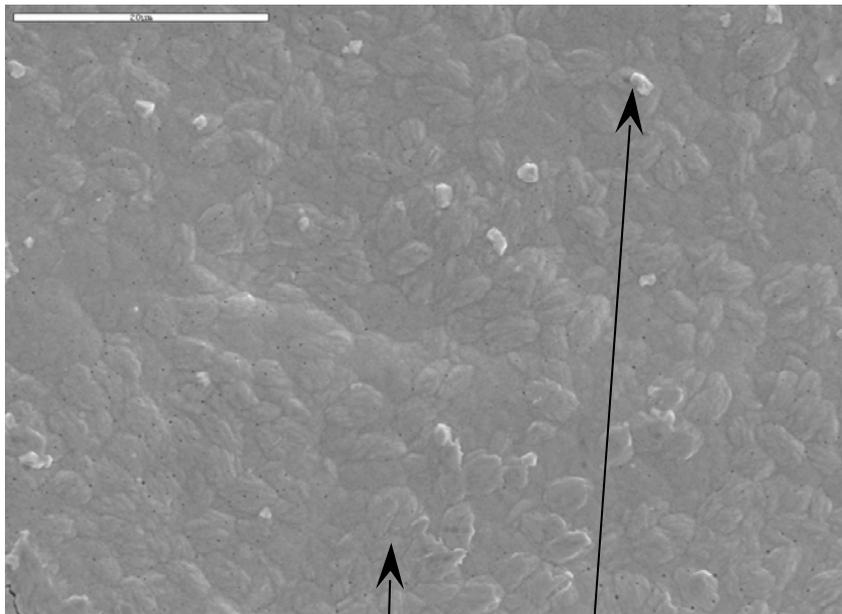


Рис. 17.

Vacovit 530.

Поверхность WCo +Au после термической обработки.
Увеличение 2000х (20µм)

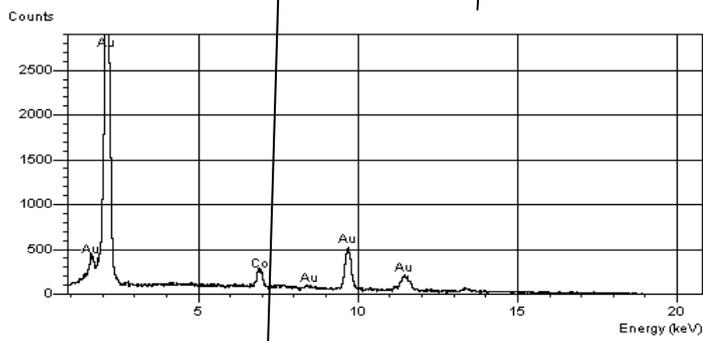


Рис. 18.

Vacovit 530.

Химический состав в
„светлом” месте

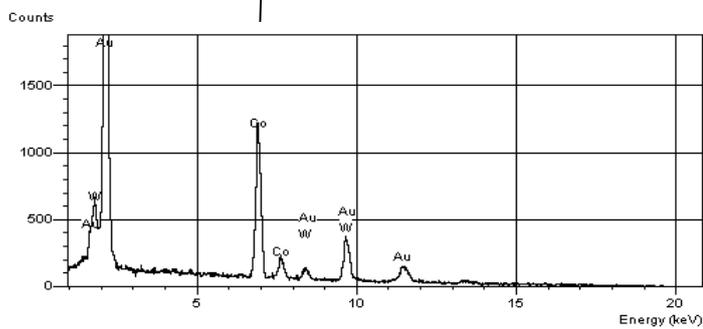


Рис. 19.

Vacovit 530.

Химический состав в
„темном” месте

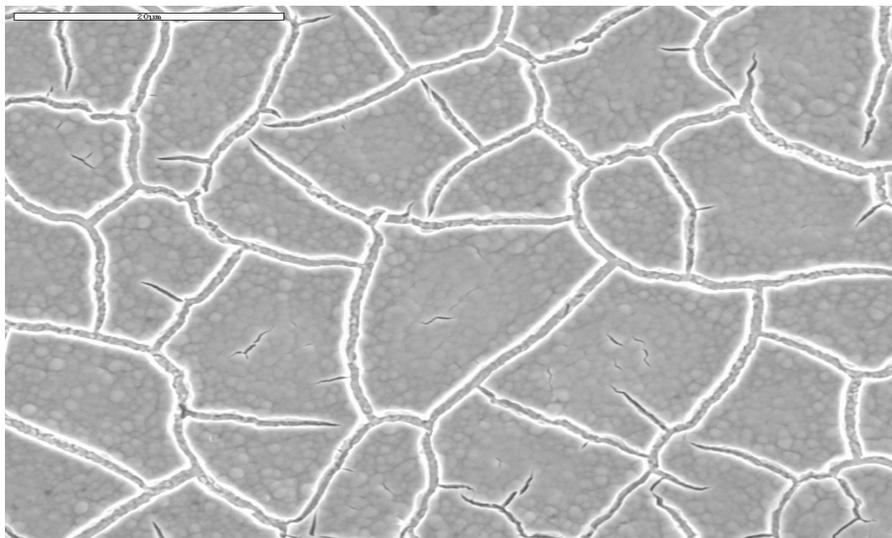


Рис. 20.

Vasovit 530.

Поверхность Au+Ru
после термической
обработки.

Увеличение 2000x (20µм)

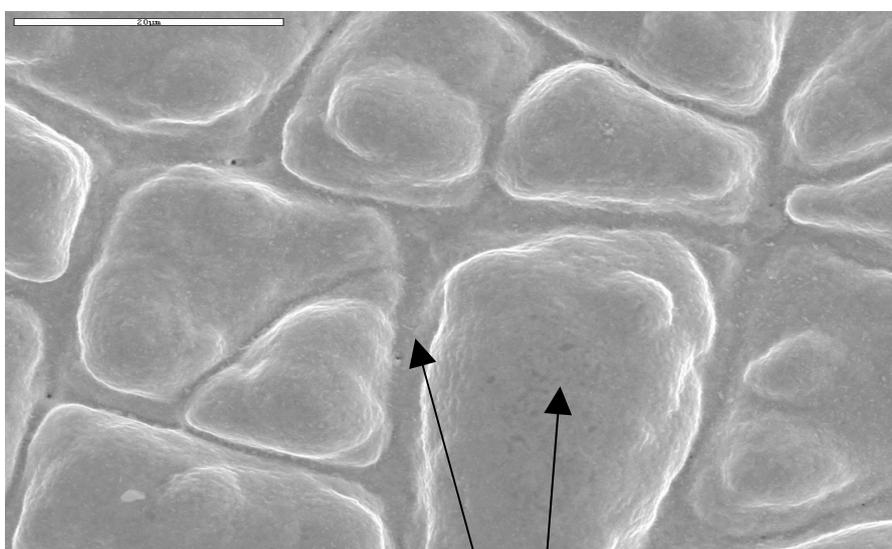


Рис. 21.

Pernifer 2918.

Поверхность Au+Ru
после термической
обработки.

Увеличение 2000x (20µм)

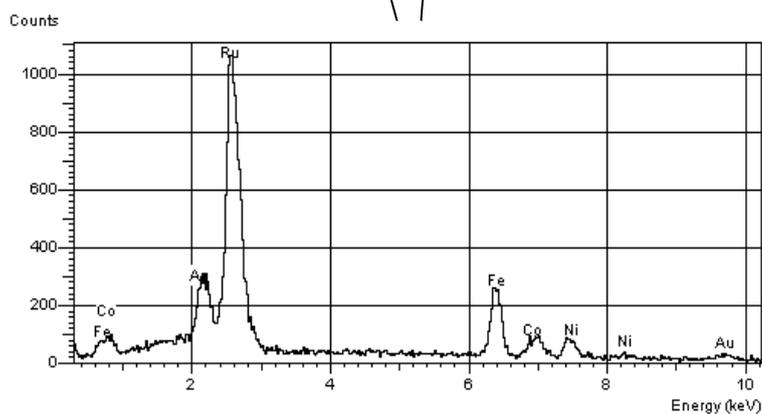


Рис. 22.

Pernifer 2918.

Поверхность Au+Ru
после термической
обработки.

Химический состав

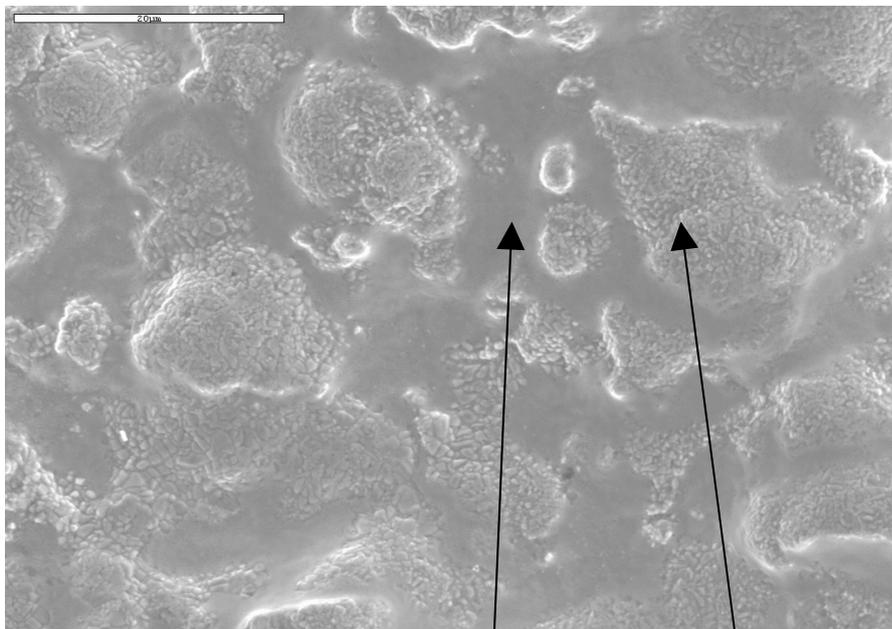


Рис. 23.

Pernifer 2918.

Поверхность W+Au
после термической
обработки.

Увеличение 2000х (20µм)

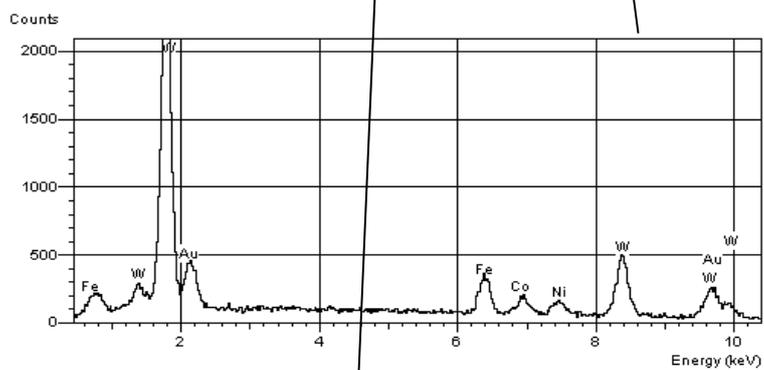


Рис. 24.

Pernifer 2918.

Поверхность W+Au.
Химический состав

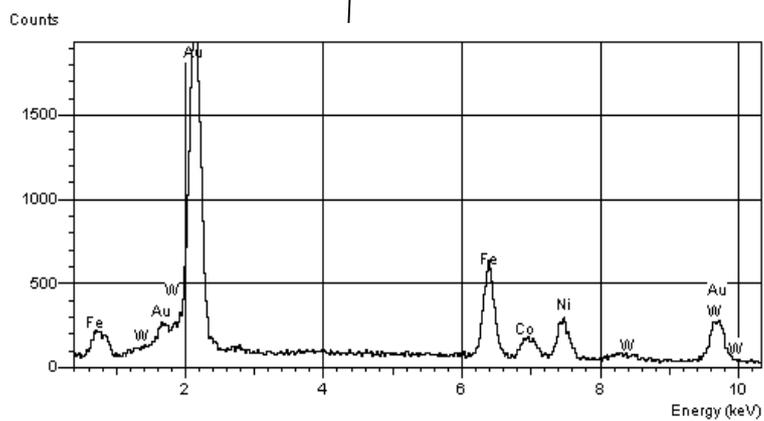


Рис. 25.

Pernifer 2918.

Поверхность W + Au.
Химический состав

Выводы:

1. Особенно трудным с точки зрения обеспечения хорошей адгезии контактного слоя к основанию является рутений. В слоях, изготовленных на базе этого элемента, имеют место значительные напряжения (рис. 16 и 20), которые в предельных случаях могут привести к их отслаиванию.
2. Применяя соответствующие технологические операции (термическая обработка, подготовка основания перед его покрытием и другие), можно обеспечить желаемую степень адгезии покрытия к основанию (см. рис. 21 и 22), что для вакуумных герконов в значительной степени влияет на величину и стабильность устойчивости напряжения, а также на величину тока утечки (рис. 26÷28).

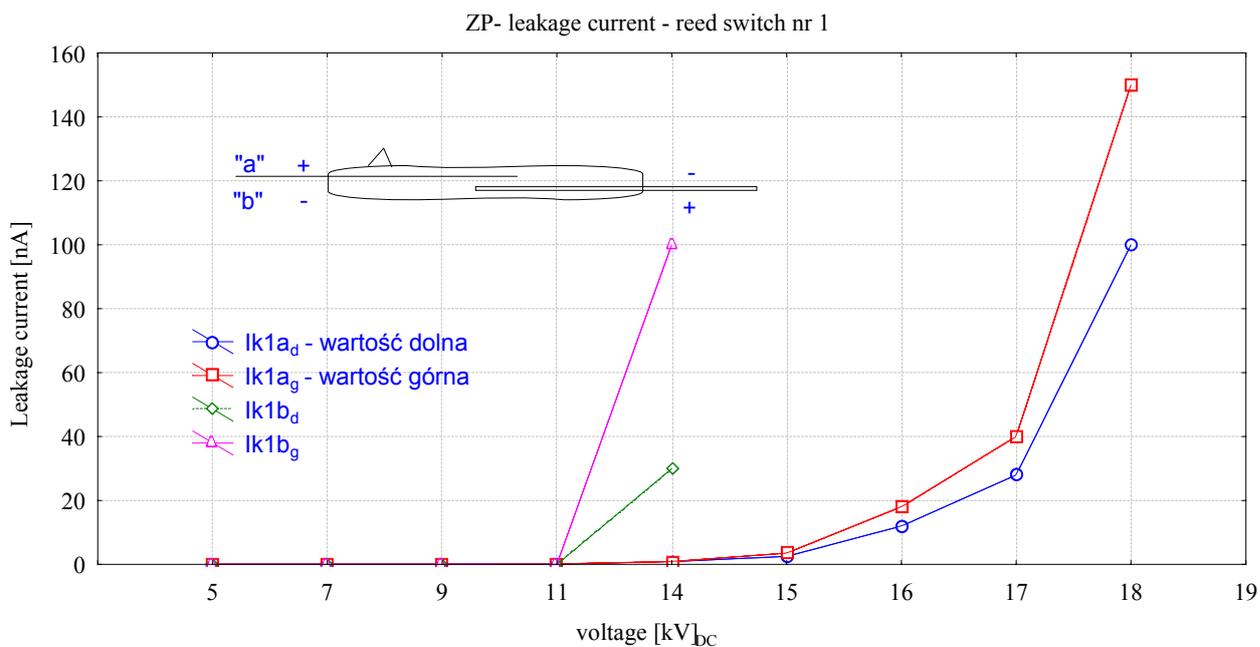


Рис. 26

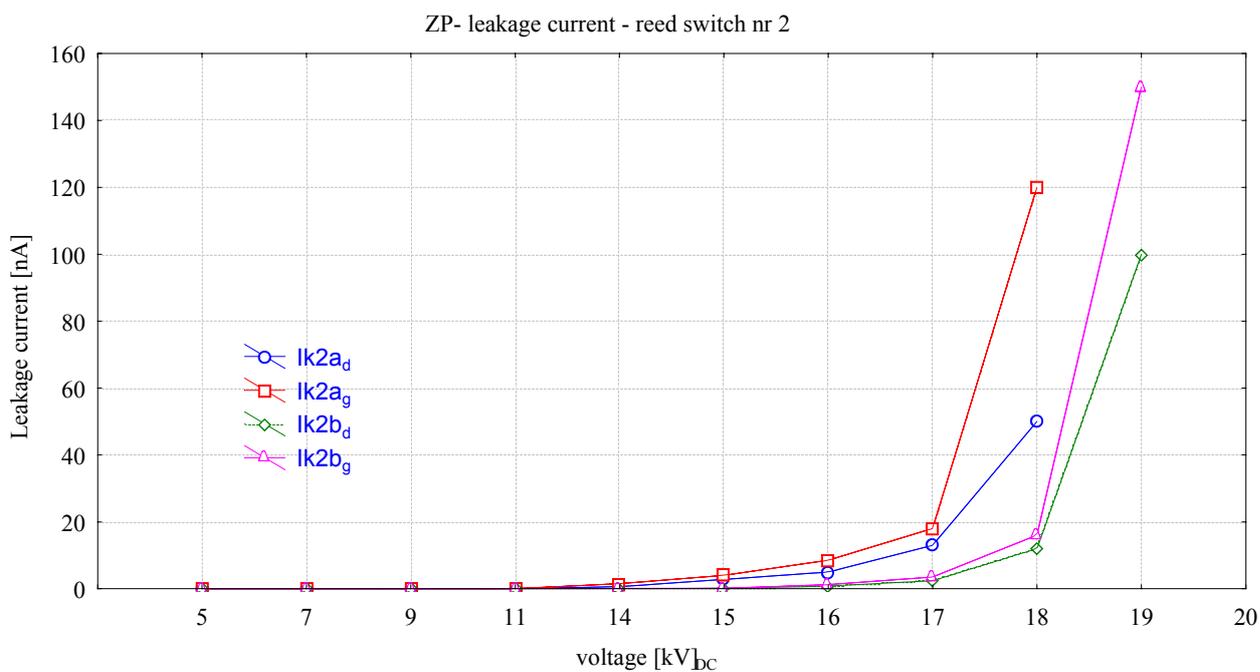


Рис. 27

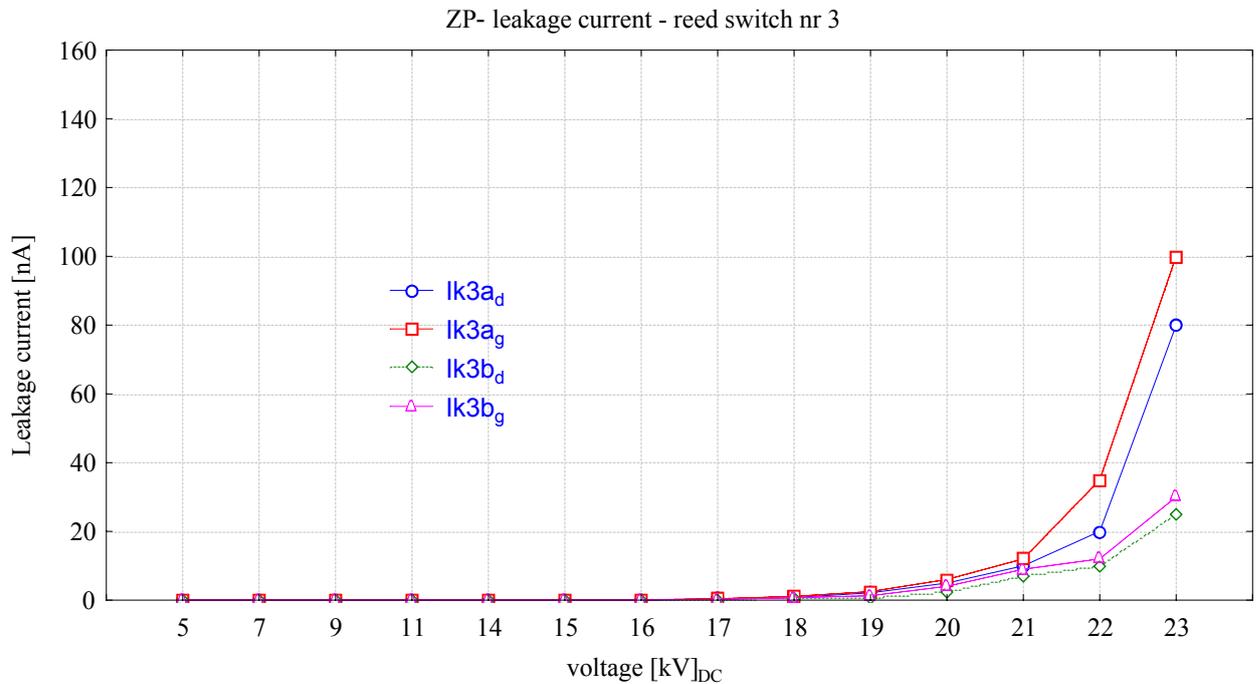


Рис. 28

Окончательные выводы

В производственном процессе, связанном с изготовлением герконов, применяется ряд технологических операций, которые определяют их магнитные и электрические параметры, а также безотказность этих изделий. В настоящей работе мы сосредоточились, прежде всего, на термической обработке и ее влиянии на:

- магнитные параметры материала основания контактов герконов;
- жесткости материала основания;
- адгезии контактного материала к основанию;
- напряжений в контактном слое.

Мы утверждаем, что оптимизация технологического процесса в сфере термической и механической обработки с целью получения хороших механических, магнитных и электрических параметров, а также безотказности связана с применением некоторых компромиссных решений. Особенно это относится к вакуумным высоковольтным герконам, от которых требуется хорошая стабильная стойкость к высоким напряжениям в пределе 15÷20 кВ и очень низкий ток ≤ 100 нА.