

КОНТАКТНОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА

О.Г. Локштанова, к.т.н., Л.В. Шишкина, В.И. Ясевич, Л.А. Кабанова
390027, ул. Новая 51В, г. Рязань, Россия, ОАО «РЗМКП»

Изучены физико-механические свойства медно-никелевого сплава. Опробованы различные сочетания его слоев и толщин. Отработана и внедрена в производство технология нанесения сплава медь-никель на контакт-детали герконов. Проведены испытания во всех режимах коммутаций, соответствующих каждому типу геркона.

Physical and mechanical properties of the copper-nickel alloy are studied. Different combinations of layers and thickness of the copper-nickel alloy are tested. The technology of plating of copper-nickel alloy on the contacts of reed switches is worked out and introduced into production. Tests in all switching modes which correspond to each reed switch type have been performed.

Наиболее широкоизвестным и применяемым покрытием, как в отечественном производстве герконов, так и за рубежом до сих пор являлось рутениевое покрытие с подслоем золота [1]. В зависимости от конструкции геркона и его назначения толщины золотого и рутениевого слоев варьировались.

Основную антиэрозионную нагрузку в герконе до последнего времени несло рутениевое покрытие. Толщина его находилась в диапазоне 0,1-1,5 мкм (нижний предел толщины ограничен способностью рутениевого слоя прокрыть всю поверхность, а верхний предел – опасностью получения микротрещин в покрытии при большой толщине).

Золотой подслоем обеспечивает хорошее сцепление рутения с нижележащими слоями покрытия, в том числе и с пермаллоем. От качества и толщины этого подслоя зависела пористость и напряженность последующего слоя рутения. От этого также зависит способность золотого подслоя предотвращать подтравливание основы – пермаллоя в процессе электролиза и загрязнения рутениевого электролита примесями железа и никеля.

Наиболее важную роль играл золотой подслоем в качестве антидиффузионного барьера при термовоздействиях: заварке и отжиге герконов. Основную опасность для поддержания работоспособности геркона представляет происходящая диффузия при нагреве элементов пермаллоя (железа и никеля) в рабочую зону геркона, что приводит к повышению значения переходного электросопротивления и ухудшению его стабильности. Чтобы являться антидиффузионным барьером, толщина золотого слоя должна быть достаточно большой, что не является желательным и обоснованным ни с технической, ни с экономической точки зрения.

Кроме того, за счет увеличения толщины золота (варьирования толщины немагнитной прослойки в покрытии) зачастую решались вопросы изменения некоторых параметров геркона, таких как МДС срабатывания, коэффициент возврата.

Во всех случаях увеличение толщины золотого подслоя приводит к удорожанию изделия.

Из литературных источников [2] известно, что в качестве подслоя под рутениевое покрытие могут быть использованы серебро, палладий, никель и сплав серебро-палладий. Однако они по ряду своих свойств уступают золоту: серебро склонно к потемнению, никель не может быть немагнитной прослойкой, палладий сопоставим по стоимости с золотом.

Исходя из приведенных в литературе [3] сведений, большой интерес в качестве антидиффузионного барьера под золотое и рутениевое покрытие представляет медь, так как взаимная растворимость меди в железе, и наоборот, весьма ограничена. Диффузия железа в меди при 750 °С составляет $2,082 \cdot 10^{13} \text{ см}^2/\text{мм}$.

К тому же она обладает высокой электропроводностью и теплопроводностью. Однако из-за ряда отрицательных качеств (недостаточная по сравнению с золотом коррозионная стойкость, плохое сцепление с пермаллоем, вредная примесь для рутениевых электролитов)

медь в данном конкретном случае не может быть использована в качестве антидиффузионного барьера.

Наибольший интерес в качестве антидиффузионного барьера и хотя бы частичной замены золота в контактном покрытии геркона представляет электролитически осажденный сплав медь-никель.

Медно-никелевые сплавы в зависимости от состава известны под названием «монель-металл, мельхиор» [4-5].

На диаграмме состояния [6] медно-никелевый сплав представляет собой непрерывный ряд твердых растворов. Этим и объясняется его хорошая химическая и коррозионная стойкость, которая выше, чем у никеля и меди в отдельности.

Медно-никелевые сплавы хорошо противостоят окислению при повышенных температурах (до 750 °С) и сохраняют высокую механическую прочность до 500 °С.

Из литературы [7] известна технология нанесения медно-никелевого сплава из пиррофосфатного электролита. Подслой медно-никелевого сплава наносится на пермаллой, обеспечивая хорошее сцепление с основой и последующими слоями золота и рутения.

Микротвердость электролитического сплава медь-никель с увеличением содержания никеля до 55% (мас.) монотонно возрастает от 134 до 400 кг/мм², после чего снижается до 244 кгс/мм².

В литературных источниках не было сведений об использовании медно-никелевых сплавов в качестве антидиффузионного барьера и взамен золота в контактных покрытиях герконов.

Указанное покрытие было опробовано во всех серийно выпускаемых герконах в виде подслоя под золотое и рутениевое покрытие. В результате улучшилась работоспособность герконов, и уменьшился расход золота.

Данное трехслойное контактное покрытие, состоящее из слоев медно-никелевого сплава, золота и рутения, было запатентовано [8].

Для каждого типа геркона подбиралось определенное сочетание толщин слоев.

Помимо большой экономии золота, предложенное покрытие обеспечивало значительное повышение срока службы герконов.

В табл. 1 представлены результаты испытаний геркона МКА-14 с двумя вариантами покрытий.

Как показали результаты испытаний, работоспособность герконов с предлагаемым покрытием сплавом медь-никель, золото, рутений (М-Н Зл Ру) гораздо выше, чем у герконов с покрытием золото и рутений (Зл Ру).

Таблица 1

Сравнительные испытания герконов с контактными покрытиями
Зл Ру и М-Н Зл Ру

№ п/п	Вид покрытия	R пер, Ом	Режим испытаний				
			5 В, 0,01А, 100 Гц	10 В, 0,01А, 50Гц	24 В, 0,4А, 100Гц	50 В, 0,05А, 100Гц	100 В, 0,1А, 100Гц
1	Зл, Ру	0,07-0,09	10 ⁶ ср.	10 ⁶ ср.	5·10 ⁵ ср.	5·10 ⁵ ср.	5·10 ⁵ ср.
2	М-Н, Зл, Ру	0,07-0,08	9,5·10 ⁷ ср.	4,7·10 ⁷ ср.	4,5·10 ⁶ ср.	1,3·10 ⁶ ср.	2,7·10 ⁶ ср.

Указанное покрытие является универсальным для ряда герконов, работающих в широком диапазоне коммутируемых нагрузок и удовлетворяющих высоким требованиям по электрическим параметрам.

Однако это покрытие имеет серьезный недостаток – оно все равно дорогостоящее, так как существенную долю в нем составляют драгметаллы (золото, рутений), цена на которые высока и растет с каждым годом. Кроме того, процесс гальванического трехслойного покрытия очень сложен и трудоемок.

Была поставлена задача – без ухудшения технических характеристик получить снижение себестоимости геркона за счет изменения конструкции контактного покрытия, исключив полностью или частично драгметаллы (золото и рутений) и снизить трудоемкость процесса, используя вместо трехслойного покрытия двухслойное, в состав которого входят медно-никелевый и золотоникелевый сплавы [9].

Медно-никелевое покрытие непосредственно наносится на контакт-детали из пермаллоя, обеспечивая хорошее сцепление с пермаллоем и с последующим слоем золотоникелевого покрытия.

Медно-никелевый сплав является надежным антидиффузионным барьером, препятствующим проникновению к поверхности рабочей части контакт-деталей при термовоздействиях элементов пермаллоя (железа и никеля), повышающих переходное сопротивление геркона. В связи с высокой механической прочностью этот сплав обладает хорошей эрозионной стойкостью, однако не может быть использован в качестве самостоятельного покрытия в герконах из-за высокого по значению и нестабильного переходного электросопротивления. Поэтому было предложено в качестве поверхностного слоя наносить золотоникелевое покрытие.

Как известно из литературы [10], золотоникелевое покрытие по своим характеристикам (удельное и переходное электросопротивление) близко к чисто золотым покрытиям. По механическим свойствам (микротвердость и износостойкость) это покрытие в 2-3 раза превосходит золотое покрытие (микротвердость сплава Зл-Н (20% Н) составляет 180-250 кгс/мм², микротвердость золота составляет 70–95 кгс/мм²).

По своим физико-механическим характеристикам сплав золото-никель может быть использован в качестве самостоятельного контактного покрытия, но для этого толщина его должна составлять не менее 1,5 – 2,0 мкм. В этом случае не устраивает внешний вид покрытия (темный порошкообразный налет), к тому же имеет место значительный расход золота.

К преимуществам золотоникелевого покрытия следует отнести то, что нанесенное даже в очень тонких слоях (в виде смазки) на подслои из неблагородных металлов или сплавов с высоким переходным электросопротивлением, это покрытие в целом снижает и стабилизирует переходное сопротивление в герконе. Нижний предел золотоникелевого поверхностного слоя – 0,01 мкм (определяется достижением сплошности покрытия), верхний предел может составлять 1,0 мкм (достигается максимальная толщина при хорошем внешнем виде покрытия).

Таким образом, каждое из предлагаемых покрытий в отдельности не дает желаемого эффекта, только сочетание двух слоев покрытий медь-никель и золото-никель при относительно малых толщинах каждого слоя позволяет достичь необходимого экономического эффекта при получении требуемых технических параметров геркона.

Геркон с вышеуказанным двухслойным покрытием (М-Н Зл-Н) был опробован в опытной партии герконов МКА-14. Данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные испытания герконов с контактными покрытиями
М-Н Зл Ру и М-Н Зл-Н

№ п/п	Тип геркона	Вид покрытия	R пер, Ом	Режим испытаний		
				5В, 0,01А, 100Гц	20В, 0,5А, 100Гц	24В, 0,4А, 100Гц

1	МКА-14103	М-Н, Зл, Ру	0,07-0,09	10 ⁶ ср.		5*10 ⁵ ср.
2	МКА-14107	М-Н, Зл-Н	0,07-0,08	10 ⁷ ср.	4*10 ⁶ ср.	

Содержание никеля в сплаве Зл-Н 5–20%. Для сравнения были изготовлены герконы МКА-14 с покрытием М-Н Зл Ру.

Герконы предлагаемой конструкции были испытаны в режимах: 5 В, 0,01 А, 100 Гц (общий режим для обоих типов) и в режимах, близких по мощности: 24 В, 0,4 А, 100 Гц; 20 В, 0,5 А, 100 Гц.

Результаты испытаний (табл. 2) показали, что герконы с предлагаемым вариантом покрытия по техническим параметрам, сроку службы в указанных режимах и значениям $R_{пер}$ не уступают, а даже превосходят требования к герконам мощностью до 10 Вт.

Предложенный вариант контактного двухслойного покрытия позволил получить новую модификацию геркона с индивидуальными характеристиками, пригодного для использования в товарах бытовой техники, а также в производстве игрушек.

Указанный вариант покрытия был опробован на многих типах герконов с положительным результатом по испытаниям и с высоким экономическим эффектом.

В результате проведенной работы впервые были разработаны применительно к герконам два варианта контактных покрытий на основе сплава медь-никель:

1 – трехслойное: медь-никель, золото и рутений для широкого диапазона коммутируемых нагрузок;

2 – двухслойное: медь-никель и золото-никель для нагрузок общей мощностью до 10 Вт.

Использование медно-никелевого подслоя позволило до минимума сократить расход драгметаллов в покрытии герконов, обеспечив значительный экономический эффект без ухудшения, а в ряде случаев с улучшением технических характеристик герконов.

Литература:

1. Авторское свидетельство SU № 1568095 А1, Н01Н1/02, 1/66, опубл. 30.05.1990, бюл. № 20.
2. Galvanotechnik D – 88348 Bad Saulgau g1(2000). Heft, № 4.
3. Технический отчет № 43/30-71 по опытно-конструкторской работе. Предприятие п/я В 8754. Разработка высокочастотного магнитоуправляемого контакта, тема «Цирконий 1». – 1971. – С. 7, С. 28.
4. Климов И.Я. Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы. – М.: Машгиз, 1960. – С. 228.
5. Бахвалов Г.Т., Турковская А.В. Коррозия и защита металлов. – М.: Metallurgizdat, 1959. – С. 69, С. 74-75.
6. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов, Т. I и II. – М.: Государственное техническое издательство по черной и цветной металлургии, 1962.
7. Вячеславов П.М. Электрохимическое осаждение сплавов. – Л.: Машиностроение, 1971. – С. 29.
8. Патент России № 2279149, Н01Н1/02 (2006.01), опубл. 27.06.2006, бюл. № 18.
9. Патент России на полезную модель № 66109 Н01Н 1/66, Н01Н 1/02, опубл. 27.02.2007, бюл. № 24.
10. Федотьев Н.П., Вячеславов П.М., Локштанова О.Г. Технология электроосаждения и

физико-химические свойства сплава золото-никель. ЖПХ, Т15. 1967. – № 10. – С. 2253.