

КОНТАКТНОЕ ПОКРЫТИЕ ГЕРКОНОВ НА ОСНОВЕ СПЛАВА НИКЕЛЬ-МОЛИБДЕН

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

Исследованы физико-механические характеристики никель-молибденового сплава.

Изучены основные технологические зависимости скорости осаждения и состава сплава от катодной плотности тока, температуры, pH электролита, концентрации компонентов и др.

Установлен оптимальный состав электролита и режим электролиза. Проведены испытания герконов с покрытием контакт-деталей на основе сплава никель-молибден.

Physical and mechanical characteristics of the nickel-molybdenum alloy are investigated.

Fundamental technological dependences of the deposition rate and alloy composition on the cathodic current density, temperature, pH electrolyte, concentration of components, etc. are studied.

The optimal electrolyte composition and electrolysis mode are determined. Tests of reed switches with contact plating based on the nickel-molybdenum alloy have been carried out.

Для того чтобы контактное покрытие было достаточно эрозионностойким, желательно, чтобы оно обладало тугоплавкостью, повышенной микротвердостью (определяющейся прочностью кристаллической решетки), низким и стабильным электросопротивлением, высокой эрозионной и химической стойкостью.

В зависимости от типа геркона, его назначения и режимов эксплуатации выбирается покрытие с определенным набором физико-механических характеристик, где в каждом конкретном случае превалирует то или иное свойство.

Известно использование в отечественных мощных высоковольтных вакуумных герконах в качестве покрытия молибдена толщиной 6–9 мкм, нанесенного методом вакуумного напыления.

Для этого способа нанесения покрытия характерен низкий технологический выход 30–50%, а также шероховатая поверхность покрытия, что нежелательно, так как обуславливает быстрый износ покрытия в условиях электроискрового разряда.

Этот вид покрытия может быть использован только в герконах высокой мощности.

Наиболее широко применяемым покрытием в герконах средней мощности, как в отечественной, так и в зарубежной технике, до последнего времени являлось рутениевое покрытие с подслоем золота [2], где основную антиэрозионную нагрузку несет рутений, который тугоплавок ($T_{пл} = 2800\text{ }^{\circ}\text{C}$) и имеет высокую микротвердость ($H_{\mu 20} = 700\text{ кГс/мм}^2$).

Указанный вариант практически по всем своим параметрам соответствует предъявляемым требованиям для большинства выпускаемых герконов средней мощности. Однако в связи с резким подорожанием золота и металлов платиновой группы выпуск герконов с таким видом покрытия стал экономически невыгодным.

Внедренное в производство герконов средней и малой мощности покрытие с подслоем медь-никель [3; 4] не охватывает всего диапазона необходимых коммутируемых нагрузок, особенно это касается герконов высокой мощности.

Стояла цель разработать покрытие, позволяющее увеличить продолжительность срока службы герконов в широком диапазоне коммутируемых нагрузок и мощностей (до 250 Вт).

Для решения этой задачи было представлено три варианта контактного покрытия [5]:

- 1 вариант: двухслойное покрытие, состоящее из слоя никель-молибденового сплава и слоя золотоникелевого сплава;
- 2 вариант: трехслойное покрытие, состоящее из слоя никель-молибденового сплава, слоя золота и слоя рутения;

- 3 вариант: четырехслойное покрытие, состоящее из слоя никель-молибденового сплава, слоя золота, слоя рутения и слоя золотоникелевого сплава.

Во всех предлагаемых вариантах покрытия в качестве подслоя используют никель-молибденовый сплав, который представляет собой мелкодисперсное аморфное образование. Это покрытие наносится непосредственно на контакт-детали из пермаллоя, обеспечивая хорошее сцепление с ним и последующими слоями металлов.

Никель-молибденовый сплав имеет высокую механическую прочность и износоустойчивость. Микротвердость его составляет ~ 600 кгс/мм². По своим физическим характеристикам и эрозионной стойкости этот сплав близок к рутению.

К преимуществам использования никель-молибденового сплава следует отнести то, что технология нанесения этого покрытия менее трудоемка, особенно по сравнению с технологией нанесения рутениевых гальваноосадков, не требует использования дорогостоящих и дефицитных материалов. Никель-молибденовое покрытие имеет в отличие от рутения невысокую напряженность. Это покрытие более эрозионностойкое, чем покрытие медно-никелевым сплавом, что позволяет повысить в целом эрозионную стойкость геркона и расширить диапазон коммутируемых нагрузок в сторону повышения мощности.

Недостатком никель-молибденового покрытия следует считать довольно высокое и нестабильное переходное электросопротивление, вследствие чего оно не может быть использовано в качестве самостоятельного покрытия на контакт-деталях герконов, а может применяться только в виде подслоя, несущего антидиффузионную и антиэрозионную функциональную нагрузку в общей конструкции покрытия.

Верхние слои контактного покрытия (золото, рутений, сплав золото-никель) обеспечивают низкое и стабильное переходное электросопротивление в герконе и при необходимости несут дополнительную антиэрозионную нагрузку.

Наиболее простым и дешевым контактным покрытием для герконов является первый из представленных вариантов контактного покрытия.

Первый вариант контактного покрытия был опробован на примере опытных партий геркона МКА-14. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Для сравнения приведены данные испытаний герконов, на контакт-детали которых нанесено гальванопокрытие медно-никелевого сплава, золота и рутения.

Как показали результаты испытаний, использование конструкции покрытия (1 вариант) позволило увеличить в несколько раз срок службы геркона в широком диапазоне коммутируемых нагрузок при стабильно низком переходном электросопротивлении.

Контактное покрытие, предложенное по второму варианту, было испытано на герконах более высокой мощности:

- переключающий КЭМ-3;
- мощный замыкающий МКА-36201.

Результаты представлены в табл. 2 и 3.

В этом случае никель-молибденовое покрытие частично заменяет используемое до сих пор рутениевое покрытие толщиной 1,0-3,0 мкм, которое при толщинах более 1,0 мкм имеет трещины.

Тем самым улучшается эрозионная стойкость контактного покрытия, снижается расход рутения.

Второй вариант предлагаемого контактного покрытия может быть использован в высоковольтных и высокоомощных вакуумных герконах, где до настоящего времени применяется молибденовое покрытие толщиной 6-9 мкм, нанесенное методом вакуумного напыления.

Данная конструкция контактного покрытия позволяет получить высокие наработки герконов в режимах большой мощности (до 250 Вт).

В случаях, когда требуется высокая надежность работы геркона в широком диапазоне коммутируемых нагрузок (от микрорежимов до режимов повышенных мощностей), рекомендуется использовать третий вариант предложенного контактного покрытия.

Этот вариант конструкции покрытия был опробован при изготовлении опытных партий геркона МКА-14. Результаты представлены в табл. 4.

Как показали результаты испытаний, герконы с этим вариантом покрытия выдерживают наработки в микрорежиме с максимальным сроком службы 10^8 срабатываний и в режимах мощностью до 15 Вт имеют наработку в 3-5 раз большую, чем герконы с покрытием контакт-деталей медно-никелевым сплавом под золото и рутений.

Что касается технологии гальванического нанесения никель-молибденового сплава на контакт-детали герконов, то был выбран рекомендуемый в литературе [6, 7] цитратно-аммиачный электролит.

Были исследованы основные технологические зависимости скорости осаждения и состава сплава никель-молибден от:

- 1 – катодной плотности тока (рис. 1);
- 2 – температуры электролита (рис. 2);
- 3 – концентрации калия лимоннокислого в электролите (рис. 3);
- 4 – pH электролита (рис. 4).

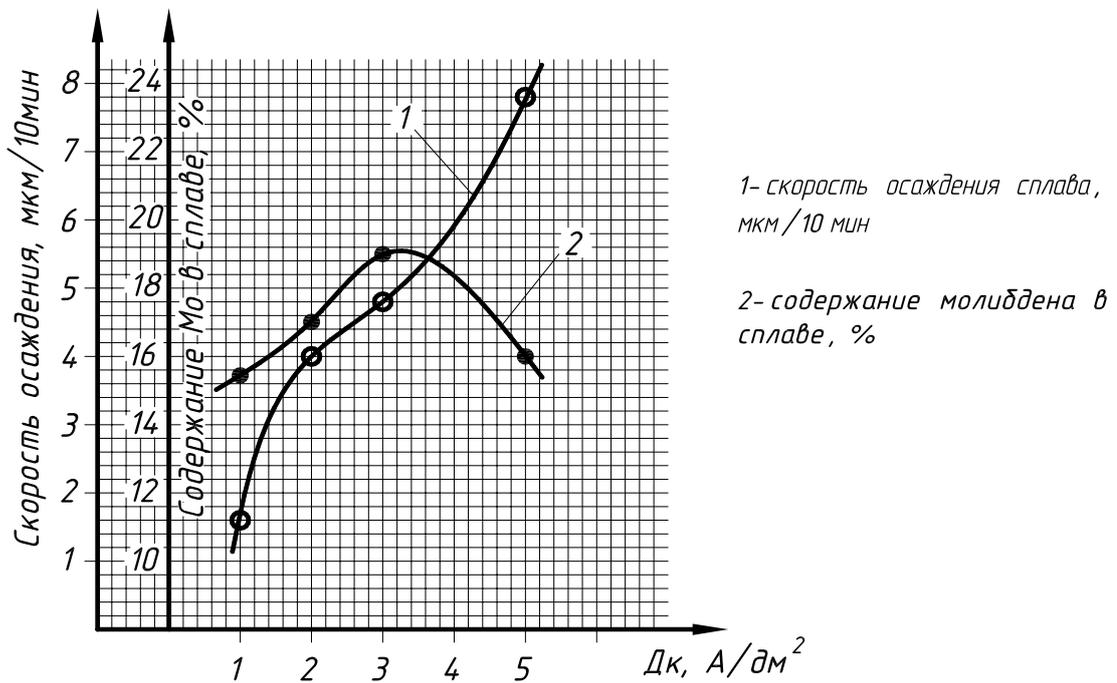


Рис.1 Зависимость скорости осаждения сплава и содержания в сплаве Мо от плотности тока.

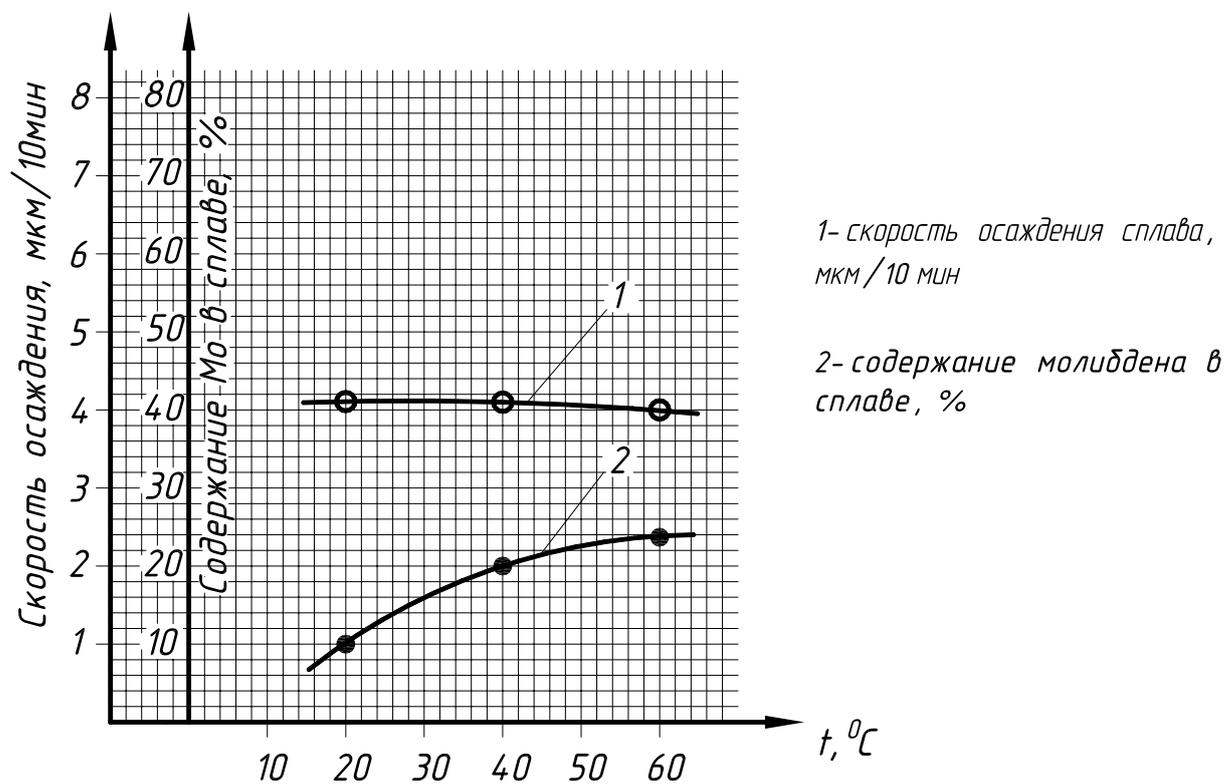


Рис.2 Зависимость скорости осаждения и состава сплава от температуры электролита.

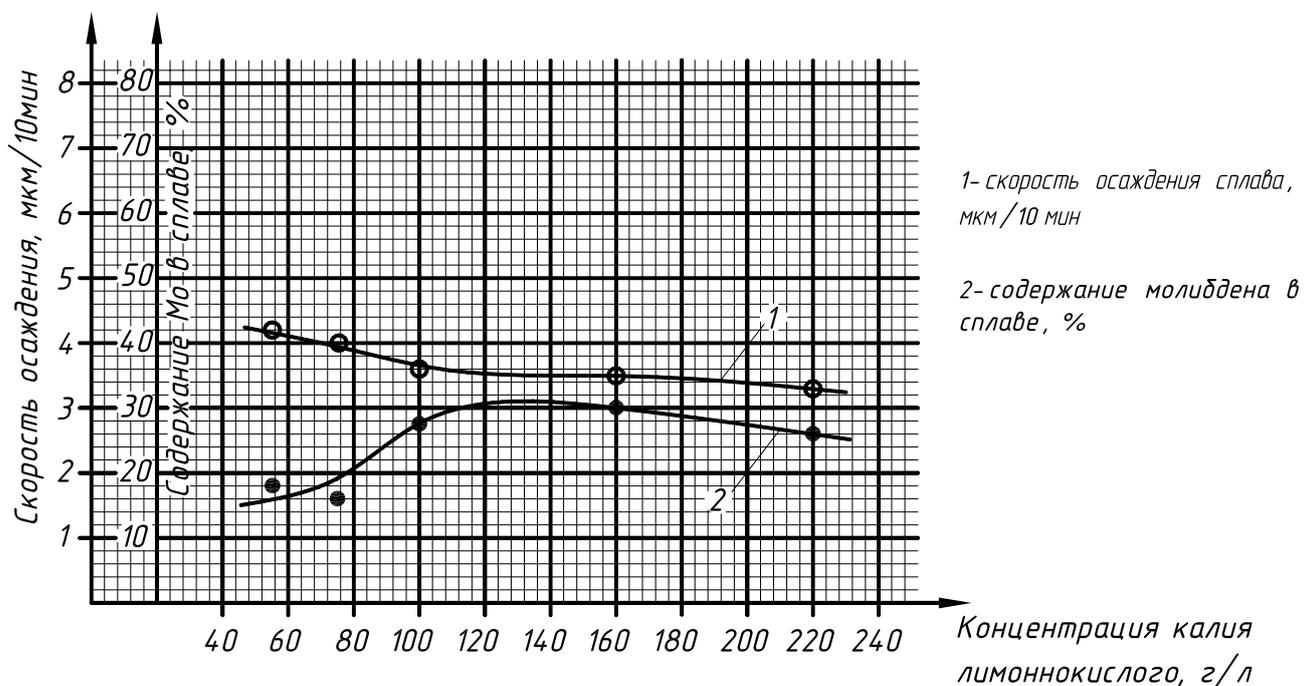


Рис.3 Зависимость состава сплава NiMo и скорости осаждения от концентрации калия лимоннокислого в электролите

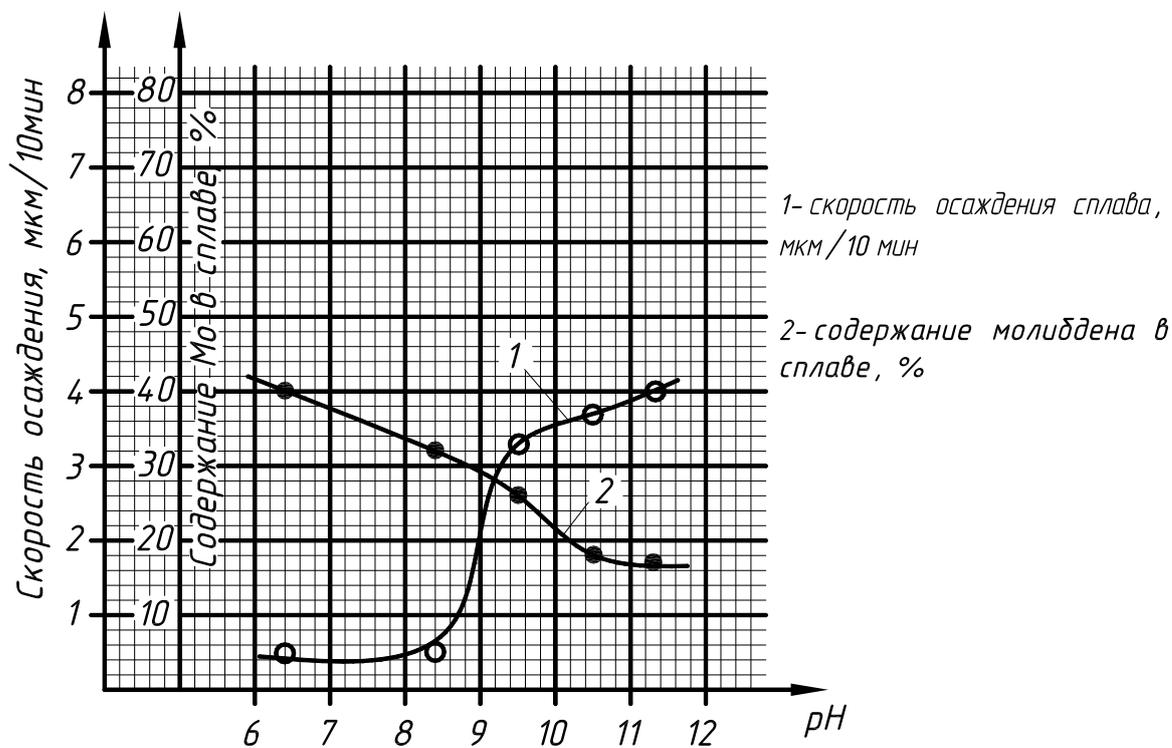


Рис.4 Зависимость скорости осаждения и состава сплава от pH электролита

На основании изучения полученных зависимостей был разработан оптимальный состав электролита и режим электролиза для осаждения никель-молибденового покрытия применительно к герконам.

Состав электролита:

молибден (в виде натрий молибденовокислой соли) в пересчете на металл: 3,0 – 4,5 г/л
 никель (в виде сернокислой соли) в пересчете на металл: 4,5 – 5,5 г/л
 никель (в виде хлористой соли) в пересчете на металл: 4,0 – 6,0 г/л
 аммиак: 60 – 80 мл/л
 рН: 9,5 – 11,5.

Таким образом, введением подслоя никель-молибденового сплава с последующим нанесением золота, рутения и золотоникелевого сплава удалось:

- расширить диапазон коммутируемых нагрузок от микрорежима до мощности 250 Вт, охватив практически весь типоразмерный ряд герконов;
- повысить эрозионную стойкость герконов в заданных режимах;
- снизить себестоимость герконов, исключив полностью или частично драгметаллы (золото и рутений);
- снизить трудоемкость процесса, используя унифицированные и упрощенные технологии нанесения покрытия.

Таблица 1

Сравнительные испытания герконов (Вариант 1)

№ п/п	Тип геркона	Вид покрытия	Rпер, Ом	Режимы испытаний			
				50 В, 50 мА, 50 Гц	100 В, 100 мА, 50 Гц	240 В, 0,4 А, 50 Гц	30 В, 0,5 А, 20 Гц
1.	МКА-14 закрывающий	М-Н, Зл, Ру	0,07÷0,09	5×10 ⁵ сраб.	5×10 ⁵ сраб.	5×10 ⁵ сраб.	5×10 ⁵ сраб.
2.		Н-Мо, Зл-Н	0,07÷0,09	1,6×10 ⁶ сраб.	4,2×10 ⁶ сраб.	7×10 ⁶ сраб.	4×10 ⁶ сраб.

Таблица 2

Сравнительные испытания герконов (Вариант 2 а)

№ п/п	Тип геркона	Вид покрытия	Rпер, Ом	Режимы испытаний	
				30 В, 0,25 А, 20 Гц	20 В, 0,5 А, 50 Гц
1.	КЭМ-3 переключающий	Зл, Ру	0,07÷ 0,09	1×10 ⁶ срабатываний	4×10 ³ срабатываний
2.		Н-Мо Зл, Ру	0,07÷ 0,09	2×10 ⁶ срабатываний	8×10 ³ срабатываний

Таблица 3

Сравнительные испытания герконов (Вариант 2 б)

№ п/п	Тип геркона	Вид покрытия, толщина, мкм	Rпер, Ом	Режимы испытаний	
				36 В, 3 А, 5 Гц	250 В, 1 А, 5 Гц
1.	МКА-36201 закрывающий	Мо 6÷9 (напыление)	0,06÷0,07	1×10 ⁴ сраб.	5×10 ⁴ сраб.
2.		Н-Мо, Зл, Ру	0,03÷0,07	1,6×10 ⁵ сраб.	1×10 ⁵ сраб.

Таблица 4

Сравнительные испытания герконов (Вариант 3)

№ п/п	Вид геркона	Вид покрытия	Rпер, Ом	Режимы испытаний				
				5 мВ,	50 В,	50 В,	100 В,	24 В,

				5 мкА, 100 Гц	10 мА, 100 Гц	50 мА, 50 Гц	100 мА, 50 Гц	0,4 А, 50 Гц	0,5 А, 20 Гц
1.	МКА-14103 замыкающий	М-Н, Зл, Ру	0,07±0,09	1×108 сраб.	1×108 сраб.	5×105 сраб.	5×105 сраб.	5×105 сраб.	5×10 ³ сраб.
2.		Н-Мо, Зл, Ру, Зл-Н	0,07±0,09	1×108 сраб.	1×108 сраб.	1,5×106 сраб.	1,8×106 сраб.	1×106 сраб.	1×10 ⁴ сраб.

Литература:

1. Патент на полезную модель № 50714Н01Н1/66, Н01Н1/02, опубл. 20.01.2006, бюл. №2.
2. СЯ0.360.020 ТУ, утв. 9.04.1977 г.
3. Патент на изобретение № 2279149, Н01Н1/02, опубл. 17.06.2006 г., бюл. № 18.
4. Патент на полезную модель № 66109 Н01Н 1/66, Н01Н1/02, опубл. 27.02.2007,
5. Патент на полезную модель № 74006. Н01Н1/66, Н01Н1/02, опубл. 10.06.2008, бюл. № 16.
6. Васько А.Т. Электрохимия молибдена и вольфрама. – Киев, 1977.
7. Францевич-Заблудовская Т.Ф., Заяц А.И. Электрохимическое получение сплавов никеля с молибденом и вольфрамом из водных аммиачных электролитов. Ж.П.Х. – 31. 1968. – № 2. – С. 234-239.