

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ Ni-Fe СПЛАВОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГЕРКОНОВ

С.П. Овчинников

390027, ул. Новая 51В, г. Рязань, Россия, ОАО «РЗМКП»

Рассмотрены основные свойства Ni-Fe сплавов с заданным температурным коэффициентом линейного расширения, используемых для производства герконов. Сравниваются отечественный сплав 52Н-ВИ и его зарубежные аналоги. Показана перспективность использования в производстве герконов проволоки Dilaton 51 и Pernifer 50.

Basic properties of Ni-Fe alloys with the specified temperature linear expansion coefficient (TLEC) used for reed switch production are reviewed. The domestic 52Н-ВИ alloy and its foreign analogues are compared. Perspectiveness of application of Dilaton 51 and Pernifer 50 in the reed switch production is shown.

Технология производства герконов на нашем заводе предполагает использование в качестве заготовки для изготовления контакт-деталей проволоки круглого сечения из специального сплава. Для выполнения своих функций материал, из которого изготавливают контакт-деталь, должен сочетать в себе свойства магнитопровода, проводника тока и пружины. Кроме того, проволока должна хорошо штамповаться, иметь температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), совместимый с ТКЛР стекла, из которого изготавливается баллон геркона, иметь хорошую адгезию со стеклом для образования вакуумно-плотного и механически прочного спая. Перечисленным требованиям удовлетворяют магнитно-мягкие ферромагнитные сплавы – пермаллой, с содержанием Ni (50-52) % по массе. Характерной особенностью этих материалов являются способность намагничиваться до насыщения уже в слабых полях и малые потери на перемагничивание.

Используемые в производстве герконов сплавы Ni-Fe относятся к группе прецизионных сплавов с заданным ТКЛР. Прецизионные сплавы являются сплавами со специальными физическими и физико-механическими свойствами, уровень которых определяется точным химическим составом, чистотой сплава от включений и вредных примесей, структурным состоянием и высокой точностью изготовления на всех этапах производства. В связи с этим технологический процесс изготовления этих сплавов, как правило, строго регламентирован, начиная с подбора шихтовых материалов и до окончательной термической обработки. Из сказанного следует, что даже небольшие отклонения в технологии выплавки, проката и волочения могут приводить к заметным изменениям свойств. То есть сплавы с близким химическим составом могут отличаться друг от друга.

Повышение требований к качеству и надежности герконов способствует большему вниманию к основным свойствам проволоки из пермаллоя. Причем это относится как к физико-химическим, так и к механическим свойствам для всего поступающего в производство материала. В современной экономической обстановке важными являются и такие критерии в оценке приобретаемой проволоки, как соотношение цена-качество, ритмичность поставки, встраиваемость в уже существующий технологический процесс производства герконов.

Значительно возросшая цена проволоки из сплава 52Н-ВИ, неритмичность поставок и несоответствие качества поверхности современным требованиям заставили нас искать более подходящие материалы. В результате приобреталась и опробовалась на всех этапах производства импортная проволока марок Glass Seal 52, Dilaton 51 и Pernifer 50. Все эти материалы предназначены для получения согласованных спаев с мягкими стеклами и используются в производстве герконов. В табл. 1 приведены физико-химические характеристики рассматриваемых марок проволоки. 52Н-ВИ* – магнитно-мягкий сплав с заданным значением ТКЛР, который специально создавался для производства герконов. Выплавка, прокат и волочение проволоки до готовых размеров выполняются на заводах

Российской Федерации. Проволока марки Glass Seal 52 (фирма Carpenter Technology) произведена в США, а проволока марки Dilaton 51 (фирма Deutsche Nickel) и марки Pernifer 50 (фирма Thyssen Krupp) – германского производства.

Видно, что по химическому составу и физическим свойствам рассматриваемые марки проволоки близки друг к другу. Но окончательный выбор в пользу той или иной марки импортной проволоки можно было сделать после опробования на всех этапах производства. Сплав 52Н-ВИ долгие годы являлся главным, его особенности в основном известны, поэтому будем к нему обращаться для сравнения.

Таблица 1

Физико-химические характеристики проволоки марок 52Н-ВИ, Pernifer 50, Dilaton 51 и Glass Seal 52

Марка проволоки	52Н-ВИ	Pernifer 50	Glass Seal 52	Dilaton 51	
Химический состав, массовая доля элементов, %					
C	0,02	<0,015	0,004	0,005	
Si	0,15	0,2	0,1	0,15	
Mn	≤0,5	<0,6	<0,3	0,3	
S	≤0,010	<0,020	<0,006	<0,010	
P	≤0,010	<0,020	<0,006	<0,010	
Cu	0,06	<0,03	0,03	<0,06	
Co	-	-	0,05	-	
Al	-	0,1	0,005	0,1	
Cr	-	0,02	0,03	0,03	
Mo	-	-	-	-	
Ni	51,5-52,5	50,5 – 51,5	50,5 - 51,5	50,0-52,0	
Fe	остальное	остальное	остальное	остальное	
Физические свойства					
Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), ·10⁻⁶ 1/°С; в диапазоне	(20-300) °С	9,6-10,4	10,4	10,1	10,1
	(20-400) °С	9,6-10,2	10,1	9,9	9,7-10,2
	(20-500) °С	9,7-10,3	10,0	9,9	10,0-10,5
Временное сопротивление разрыву, σ_в, Н/мм²	590±70	≥ 540	≥ 540	≥ 560	
Относительное удлинение, δ₁₀₀, %	≥ 20	≥ 25	≥ 25	≥ 30	
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,42	0,34	0,33	0,43	
Плотность, г/см³	8,2	8,2	8,3	8,3	
Температура точки Кюри, °С	≥ 470	520	565	≥ 500	
Температура плавления, °С	1450	1430	1425	1450	

* Структура сплава 52Н-ВИ – однофазный твердый раствор с г.д.к. решеткой (γ-фаза). Сплав не подвержен старению [1].

Главное внимание уделялось трем важнейшим характеристикам: ТКЛР, механические и магнитные свойства.

Видно, что по своему основному назначению (заданные тепловые свойства) все импортные марки проволоки удовлетворяют требованиям, предъявляемым к марке 52Н-ВИ.

Это подтверждается значениями ТКЛР, указываемыми в сопроводительных сертификатах качества и при проведении входного контроля ТКЛР косвенным методом.

Механические свойства также согласуются с требованиями (после термообработки, обеспечивающей формирование нормируемых свойств**). Но в состоянии поставки эта проволока более мягкая, чем проволока марки 52Н-ВИ, т.к. поставляется в отожженном состоянии. В нашем производстве это обстоятельство имеет два положительных следствия. Первое – увеличивается срок службы штампов; второе – поверхность проволоки более чистая (говоря о встраиваемости в технологический процесс, имелось в виду в первую очередь то, что используемый нами метод обезжиривания и очистки должен быть достаточным; в данном случае даже более того – так как операции обезжиривания для импортной проволоки не требуется). Таким образом, можно констатировать первое преимущество этих марок проволоки. Второе преимущество определяется качеством поверхности. Эта характеристика проволоки очень важна. Опыт показал, что проволока марок Glass Seal 52, Dilaton 51 и Pernifer 50 при проведении входного контроля имеет в сотни раз меньше дефектов поверхности в сравнении с проволокой из сплава 52Н-ВИ. Количество несоответствий по «скрытым» дефектам (не выявленных при входном контроле и проявляющихся на первых операциях работы с проволокой) также в десятки раз меньше. А это значит, что резко сокращается процент несоответствующих по внешнему виду деталей и в заготовительном производстве и при нанесении покрытия, и в готовом герконе. Это выражается в том, что резко снижаются потери проволоки и контакт-деталей на первых операциях производства, а также увеличиваются технологические выходы на последующих операциях.

Магнитные свойства в таблице 2 не указаны по той причине, что зарубежные производители не указывают магнитные свойства в сертификатах качества, основываясь, видимо, на том основании, что химический состав определяет основные характеристики сплава. Отечественный же производитель, тем не менее, указывает величину магнитной индукции. В соответствии с техническими условиями магнитная индукция сплава 52Н-ВИ составляет 1,4–1,5 Тл в поле напряженностью 800 А/м. При этом коэрцитивная сила (H_c) должна быть не более 24 А/м (при термообработке образцов, обеспечивающей формирование нормируемых свойств**). Магнитные свойства магнитно-мягких сплавов в постоянном поле определяются химическим составом, структурой и текстурой сплава после окончательной термической обработки. В свою очередь, структура и текстура сплава зависят от способа изготовления. Некоторые свойства (намагниченность насыщения и температура точки Кюри) сравнительно слабо меняются при небольших изменениях состава и обычно не зависят от условий изготовления и термической обработки. Наоборот, такие характеристики, как проницаемость, коэрцитивная сила, потери на гистерезис, сильно зависят от этих факторов и более других физических свойств чувствительны к изменениям содержания примесей или условий и режима термической обработки. Поэтому их называют структурно чувствительными свойствами. Одной из важнейших структурно зависимых характеристик ферромагнетиков является коэрцитивная сила H_c . Именно эта характеристика магнитных свойств является основной при контроле и проведении экспериментальных исследований на нашем заводе. Измерения проводятся на вибрационном коэрцитиметре. Необходимо также напомнить, что магнитные свойства пермаллоев чрезвычайно чувствительны к наличию внутренних напряжений, к наклепу, который неизбежен при штамповке. В сильно наклепанном пермаллоеве коэрцитивная сила возрастает в десятки раз. Поэтому для получения требуемых магнитных свойств необходимо проводить отжиг контакт-деталей. При этом отжиг часто называют магнитным. Повышение температуры

** Для сплава 52Н-ВИ рекомендуется следующий режим термической обработки для получения нормируемых свойств: среда отжига – вакуум с остаточным давлением не выше 10^{-1} Па или чистый водород с точкой росы не выше – 40 °С; температура (920±20) °С и скорость нагрева не более 500 °С/ч; выдержка 1 час; режим охлаждения до 600 °С со скоростью не более 200 °С/ч, далее ускоренно [1].

термообработки улучшает магнитные свойства контакт-детали, но нужно не забывать, что контакт-деталь – это и пружина. Поэтому температура термообработки выбирается такой, при

которой удастся получить оптимальное сочетание магнитных и механических свойств. Критерием является комплекс выходных параметров геркона.

Для выбора температуры, обеспечивающей получение требуемых магнитных свойств контакт-деталей, были проведены исследования зависимости коэрцитивной силы от температуры отжига всех рассматриваемых марок проволоки. На рис. 1 показаны зависимости коэрцитивной силы от температуры отжига для контакт-деталей, изготовленных из проволоки четырех марок. Видно, что в диапазоне температур (600 – 900) °С крутизна H_c различна, но при температурах отжига более 830 °С коэрцитивная сила для сплавов Glass Seal 52 и Dilaton 51, приближаясь к значениям для марок 52Н-ВИ и Pernifer 50, удовлетворяет требованиям производства.

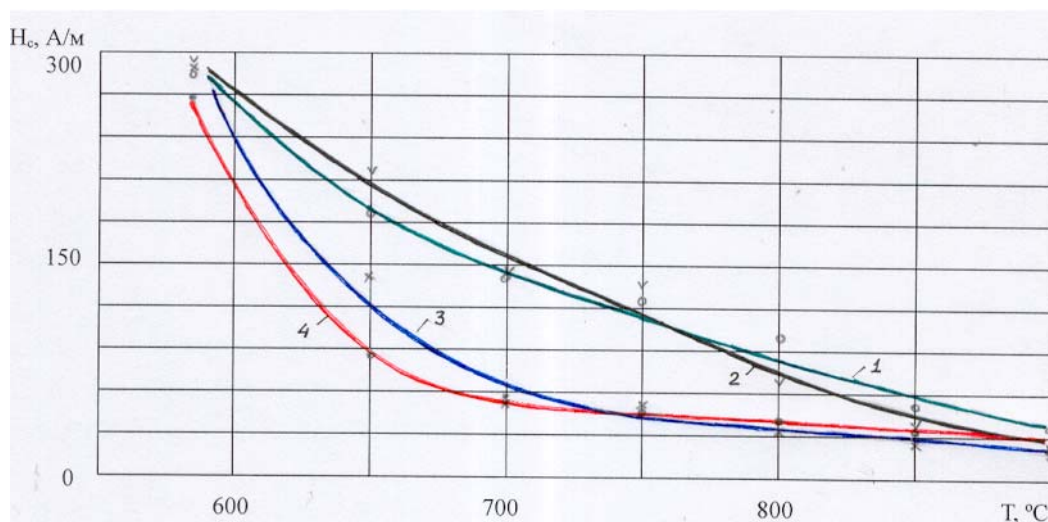


Рис. 1. Зависимость коэрцитивной силы от температуры отжига для контакт-деталей, изготовленных из проволоки четырех марок:
1 – Dilaton 51; 2 – Glass Seal 52; 3 – 52Н-ВИ; 4 – Pernifer 50

Необходимо отметить, что традиционно используемый «магнитный отжиг» требует большого расхода электрической энергии и дорогостоящего газа – водорода. Для сокращения затрат на проведение магнитного отжига деталей были проведены следующие работы:

- перевод некоторых типов деталей на значительно менее энергоемкий отжиг в среде азота при наложении продольного переменного магнитного поля (режим МАГПАЗ), определены температура и минимально необходимое время отжига;
- унификация режимов водородного отжига в печах конвейерного типа: выбрано для работы два режима из шести существовавших ранее.

Это позволило значительно сократить потребление водорода и электроэнергии на участке отжига.

В результате проведенных работ установлено, что проволока марок Dilaton 51 и Pernifer 50 по своим физическим свойствам, ритмичности поставки и соотношению цена-качество наилучшим образом конкурирует с проволокой марки 52Н-ВИ и с 2006 года широко используется в производстве герконов на нашем заводе.

Литература:

1. Прецизионные сплавы. Справочник / Под ред. Б.В. Молотилова. – М.: Металлургия, 1983.
2. ТУ 14-1-4602-89.
3. Стандарт SEW 385.
4. Мишин Д.Д. Магнитные материалы. – М.: Высшая школа, 1981.