

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.791.1

[https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2\(57\)-32-39](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2(57)-32-39)

Касаткина Е.Г., Мезин И.Ю., Понурко И.В.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ПЛАТИНИТОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Аннотация. В представленной статье проведен анализ процессов формирования требуемых потребительских свойств платинитовой проволоки, которая представляет собой биметаллическую композицию, состоящую из железоникелевого сердечника и наружного медного слоя. В качестве предпочтительной технологии производства этого вида продукции рассматривается процесс твердофазного соединения железоникелевого сердечника и медной оболочки. Выполнен анализ нормативной и технической документации, регламентирующей данный вид продукции и установлены основные показатели качества, необходимые для промышленного применения платинитовой проволоки. С использованием результатов аналитических и экспериментальных исследований определены основные факторы, влияющие на качество конечной продукции. Установлено, что на фоне совокупности явлений, протекающих при прокатке составной биметаллической заготовки, режим деформации является важнейшим фактором, определяющим качество готовой продукции, в том числе и основного из них – коэффициента разнотолщинности оболочки. Определено, что рациональные условия деформирования биметаллической заготовки могут быть реализованы с использованием двухклетевой прокатной системы. Разработан и реализован на опытно-промышленном оборудовании новый способ оксидирования поверхности платинита на заключительном этапе производственного процесса. Результаты, изложенные в статье, нашли отражение при организации промышленного производства оксидированного платинита.

Ключевые слова: платинит, биметалл, платинитовая проволока, железоникелевый сплав, коэффициент линейного термического расширения, потребительские свойства, борированная платинитовая проволока, оксидный слой

Введение

Платинитовая проволока относится к классу слоистых композиционных материалов и представляет собой биметаллическую проволоку, состоящая из железоникелевого сердечника (прецизионный сплав марки 43Н: 57% железа, 43% никеля), покрытого слоем меди. По назначению эта проволока относится к группе функциональных материалов с заданным значением коэффициента линейного термического расширения (КЛТР) в радиальном направлении. Такая проволока применяется для изготовления токопроводящих выводов, которые в конструкции прибора жестко и герметично сопрягаются со стеклом, керамикой или другими аналогичными материалами. В зависимости от области применения платинитовой проволоки ее коэффициент термического расширения должен находиться в строго регламентированном интервале значений и быть равным КЛТР стекла или другого сопрягаемого материала [1, 2].

Сортамент и требования к качеству платинита регламентируются ОСТ 110077–84. В российской промышленности, в соответствии с указанным нормативным документом, при производстве платинита используются два способа нанесения медной оболочки: трубчатый и гальванический. Однако эти технологии производства конечной продукции не в полной мере отвечают современным требованиям по экологичности, трудоемкости, производительности и другим технико-экономическим показателям.

На российских предприятиях для улучшения герметичности и повышения некоторых других

свойств спая платинитовой проволоки со стеклом на ее медной поверхности формируют тонкий слой, состоящий из борнозакаисного калия и закиси меди за счет введения на последних этапах изготовления платинита операции борирования. За рубежом, кроме борированного платинита, фирмы-производители данной продукции предлагают платинитовую проволоку с поверхностным оксидированным слоем. При таком варианте технологии на поверхности проволоки формируется тонкий однородный меднозакаисный слой. Следует отметить, что на российских предприятиях платинитовая проволока с оксидированной поверхностью не производится.

Методы и условия сравнительной оценки показателей качества платинитовой проволоки

Оценка потребительских свойств платинита проведена на основе сравнения требований нормативных документов, фактических данных по испытаниям и контролю образцов платинитовой проволоки российского производства, изготовленной по ОСТ 110077–84, а также аналогичных показателей качества этой продукции ведущих европейских производителей. Исследовались образцы платинита марки ПГБ массового промышленного производства и платинит, изготовленный по экспериментальной технологии соединения компонентов биметалла в твердой фазе [3]. В качестве зарубежных аналогов исследовались образцы платинитовой проволоки производства фирм «IMPHY» (Франция) и «PHILIPS» (Голландия).

Равномерность распределения меди в плоскости поперечного сечения, как одного из основополагающих факторов, оценивалась значением коэффициента разнотолщинности абсолютного (КРТА), который

представляет собой отношение минимального значения толщины оболочки биметаллической композиции к ее максимальному значению. Этот показатель рекомендован ОСТ 11 0077-84 для оценки качества платинита [3]. Сравнительная оценка характеристик отечественного и зарубежного платинита показана в табл. 1.

Анализируемые марки платинитовой проволоки имеют близкую по составу структуру биметаллической композиции. Интервалы массовых долей меди в композиции и содержания никеля в материале сердечника обусловлены необходимостью расширения сортамента изделий из платинитовой проволоки, различающихся значениями КЛТР: от $78 \cdot 10^{-7}$ до $83 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ и от $83 \cdot 10^{-7}$ до $89 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ для отечественных и зарубежных марок платинита, соответственно. В настоящее время на отечественных предприятиях при изготовлении стеклянных конструкций для корпусов полупроводниковых и электровакуумных приборов используются такие марки стекол, как ДС-10 со значением КЛТР, равным $90 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ по ТУ РБ 09429319.002-99 и СЛ97-1 со значением КЛТР, равным $97 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ по 16-91 ЖТДИ 670300.015 ТУ [3]. При этом стекло марки ДС-10 используется при изготовлении стеклянных конструкций для корпусов полупроводниковых при-

боров, а стекло марки СЛ97-1 в основном используется в производстве электрических ламп накаливания.

Влияние технологических параметров на потребительские свойства платинитовой проволоки

Получение вакуумплотного спая платинита и стекла обеспечивается наличием на поверхности платинита тонкого оксидного слоя, который при пайке взаимодействует с окислами структурной сетки стекла с образованием слоя, состоящего из кристаллов сложных соединений типа шпинелей: $\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$. Практика промышленного применения платинита показала, что оптимальная толщина оксидного слоя, состоящего только из закиси меди Cu_2O , составляет 1-2 мкм. Таким характеристикам оксидного слоя соответствует платинит, изготовленный зарубежными производителями. Борированная платинитовая проволока отечественного производства имеет на своей поверхности борнозакисную пленку толщиной до 6 мкм, что является одной из основных причин отказа от применения такого платинита для производства некоторых видов продукции [3].

Таблица 1

Сравнительный анализ основных потребительских свойств платинита различных производителей

Параметр	Значения параметров	
	ПГБ, ОСТ 11-0077-84	DUMET 42-24 (IMPHY, Франция) *
Состав платинитовой проволоки		
Содержание меди в биметаллической проволоке, %	21–30	17–28
Марка сердечника	43Н (43% Ni)	Fe Ni 42 (42% Ni) Fe Ni 47 (47% Ni)
Толщина переходного слоя на границе раздела компонентов, мкм	до 4-5	до 4
Механические свойства (в скобках – фактические значения)		
Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа	не регламентировано (550–700)	500 (470–500)
Относительное удлинение, %	18-24 (11–23)	не менее 20 (25–30)
Электрические характеристики		
Удельное электросопротивление, мкОм·см	не регламентировано	7,5–8,6
Проводимость, % IACS	не регламентировано	20–27
Геометрические параметры поперечного сечения (в скобках – фактические значения)		
Коэффициент разнотолщинности медной оболочки проволоки (КРТА)	Требование: не менее 0,3...0,5 гальванический метод: (0,85...1,0) твердофазный метод: (0,35...0,60)	Требование: не регламентировано (0,85–1,0)
Характеристика поверхности (фактические значения)		
Толщина окисного слоя, мкм	~ 6	~ 1-2
Состав поверхностного слоя	Бура, закись меди (фиолетово-бурый оттенок свидетельствует о присутствии в составе слоя окиси меди)	Закись меди
Коэффициент теплового расширения в радиальном направлении (в зависимости от марки)		
КЛТР, $\times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ в интервале 20–300°C	83–89	78–93

* Платинитовая проволока производства PHILIPS имеет аналогичную характеристику.

Характеристики оксидного слоя на поверхности платинитовой проволоки в нормативных документах, как правило, не оговариваются. Качество этого слоя в большинстве случаев оценивается по его цвету, характеризующему его толщину и состав. Так, по требованию ОСТ 11 0077-84 поверхность борированного платинита должна иметь цвет от светло-кирпичного до вишневого и соответствовать образцам внешнего вида.

Приведенные обстоятельства обуславливают необходимость существенного изменения подхода к производству платинита в целом. К наиболее прогрессивным технологиям производства биметаллической проволоки и, в частности, платинита следует отнести те, которые используют процессы твердофазного соединения компонентов [4] составной заготовки, состоящей из обернутого медью сердечника из специального сплава. Преимущества и перспективность такой технологии производства платинитовой проволоки обусловлены следующими факторами:

- управляемостью режимов деформации посредством формоизменения составной заготовки при прокатке;
- отсутствием развитой диффузионной зоны на границе раздела компонентов;
- возможностью расширения сортамента продукции как по содержанию меди в композиции, так и по материалу сердечника;
- возможностью комплексной автоматизации и компьютеризации производства;
- экологической чистотой производства.

Основными операциями получения биметаллической проволочной заготовки по рассматриваемому способу являются: подготовка контактирующих между собой поверхностей исходных элементов механическими, химическими или плазменными способами; формирование составной заготовки; сварка продольного шва плакирующей ленты и последующая совместная пластическая деформация полученной биметаллической заготовки (горячая прокатка, волочение и т.д.) [5]. В качестве исходных компонентов для такой технологии могут использоваться: для сердечника – проволока стальная, железоникелевая или из других сплавов с необходимыми физическими и химическими свойствами, а также плакирующая медная лента с необходимой чистотой.

Описанная выше технология реализована в виде непрерывной промышленной линии, включающей

следующие узлы и агрегаты:

- узел подготовки поверхностей компонентов;
- блок формирования составной биметаллической заготовки с узлом аргоно-дуговой сварки продольного шва оболочки;
- узел индукционного нагрева составной биметаллической заготовки;
- прокатный блок.

Назначение прокатного блока заключается в формировании надежного биметаллического соединения компонентов при их совместной пластической деформации [6]. С целью активации процесса соединения компонентов биметаллической композиции пластическую деформацию заготовки целесообразно осуществлять ее прокаткой в горячем состоянии. В качестве деформирующего устройства предпочтительней использовать прокатную клеть, состоящую из двух последовательно расположенных двухвалковых калибров, с приводом на переднюю пару валков (рис. 1).

Структурная схема, отражающая чувствительность потребительских характеристик платинитовой проволоки к режимам технологических операций и других факторов при ее производстве на основе твердофазного соединения компонентов, приведена на рис. 2.

Проведенный анализ причинно-следственной связи рассматриваемой совокупности факторов и показателей качества (см. рис. 2) наглядно иллюстрирует взаимообусловленность совмещаемых при прокатке процессов: обеспечение надежного биметаллического соединения компонентов и их контролируемое формоизменение. Пластическая деформация, являясь активирующим фактором развития топохимических процессов на границе раздела компонентов, обуславливает прочность их металлической связи, которая, в свою очередь, влияет как на механические свойства биметаллической композиции, так и на развитие течения компонентов в очаге деформации. Указанные процессы определяются не только настройкой калибра, но и динамикой формирования межслойного соединения. Таким образом, на фоне совокупности явлений, протекающих при прокатке составной биметаллической заготовки в прокатном блоке с целью сварки, режим деформации является одним из важнейших факторов, определяющих качество готовой продукции, в том числе и основного его показателя – коэффициента разнотолщинности оболочки (КРТА).

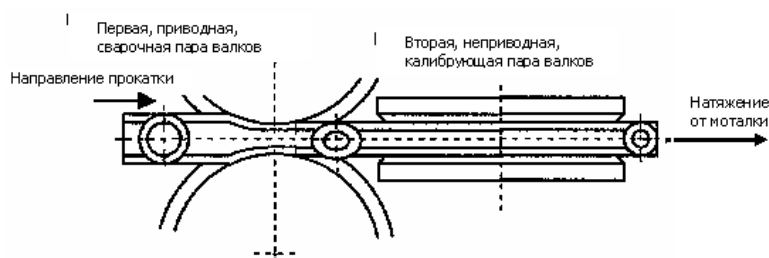


Рис. 1. Схема деформации составной биметаллической заготовки

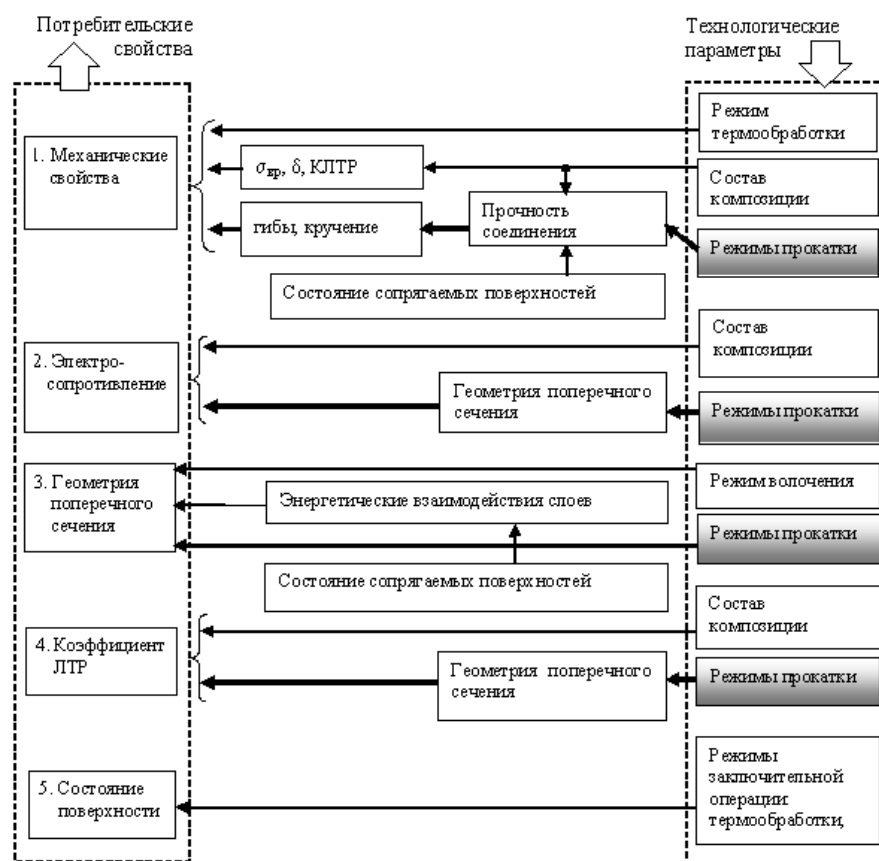


Рис. 2. Структурная схема формирования потребительских свойств

Экспериментальные исследования платинитовой проволоки, изготовленной по технологии твердофазного соединения компонентов

С учетом результатов выполненного анализа проведен комплекс экспериментальных и технологических исследований. На основе исследований формоизменения составной биметаллической заготовки в калибрах простой формы и разработанной ранее математической модели течения бинарной системы при прокатке в системе «приводная клеть – неприводная клеть – моталка» [7, 8] установлены зависимости качества конечной продукции от основных параметров процесса (рис. 3), включая переднее натяжение как фактора, регулирующего разнотолщинность оболочки [9, 10].

Сформированная описываемым способом биметаллическая катанка подвергается дальнейшему волочению на конечный размер, а на заключительной стадии – формированию дополнительных эксплуатационных свойств готового платинита на основе управляемого совмещенного процесса его термообработки и высокотемпературного окисливания поверхности [6].

Структура непрерывной линии окисливания, в состав которой входят семь основных узлов, приведена на рис. 4. В соответствии со схемой на узел размотки 1 платинит поступает после мокрого волочения на катушках емкостью до 10 кг. Узел промывки 2

предназначен для удаления с поверхности заготовки остатков смазки после волочения и других загрязнений. Для промывки возможно использование типовых растворов кальцинированной соды, тринатрийфосфата и др. Узел подготовки поверхности 3 обеспечивает дополнительное активирование поверхности платинита перед окисливанием. Далее следует узел нагрева и высокотемпературного окисливания с ванной охлаждения 5. Нагрев платинита осуществляется в наклонной проходной электропечи сопротивления, температура нагрева (до 1000°C) регулируется с помощью тиристорного преобразователя и контролируется с помощью трех вмонтированных в печь термопар. На выходе из печи установлено устройство высокотемпературного окисливания, включающее зону с контролируемой атмосферой. Тянувшее устройство 6 выполняет основные функции по транспортировке заготовки через линию окисливания с заданной скоростью (измеряется с помощью тахогенератора, установленного на валу приводного двигателя, управляемой тиристорным преобразователем напряжения). Готовый окисливанный платинит принимается узлом намотки 7. Натяжение намотки регулируется специальным устройством. Намотка осуществляется на катушку емкостью до 10 кг.

В рамках выполненных исследований проведено изучение режимов нагрева и высокотемпературного

окисления поверхности платинита, по результатам которых определены рациональные параметры проведения совмещенного процесса термообработки и ок-

сидирования. Результаты этих исследований приведены на рис. 5.

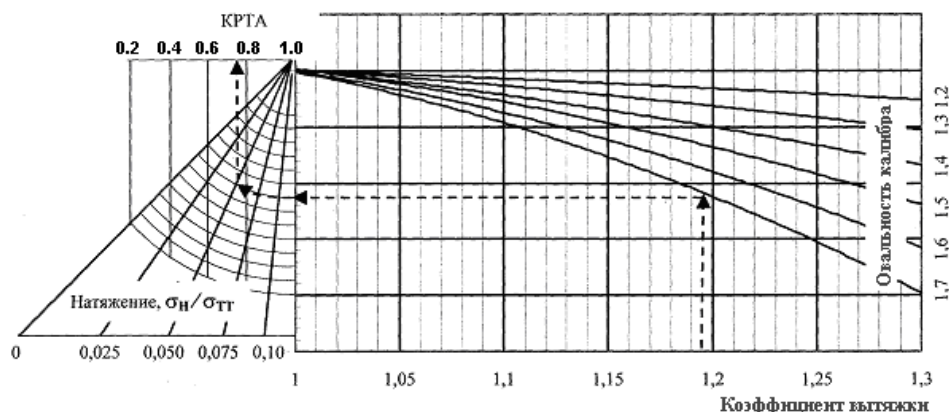


Рис. 3. Номограмма для определения показателя разнотолщинности оболочки на выходе из первой клетки в зависимости от режима прокатки

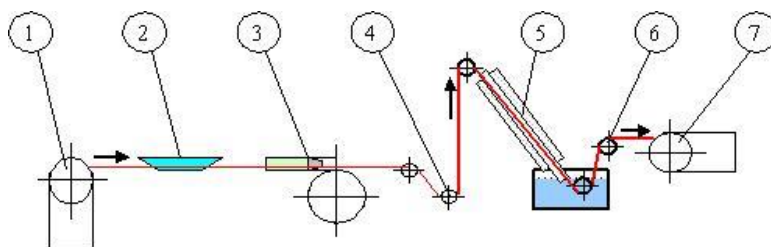


Рис. 4. Схема совмещенного процесса термообработки и оксидирования платинита

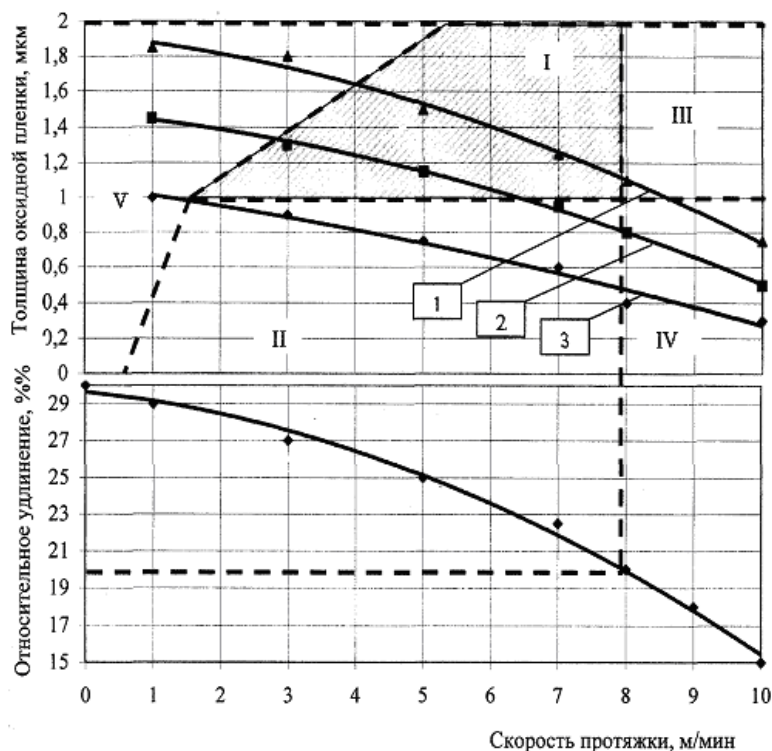


Рис. 5. Зависимость относительного удлинения и толщины оксидной пленки платинитовой проволоки $\varnothing 0,30-0,40$ мм от скорости протяжки заготовки в печи при различной длине зоны высокотемпературного окисления: 1 — 20 мм; 2 — 12 мм и 3 — 5 мм [5]

Графическая зависимость, представленная на рис. 5, разделена на пять условных зон. Зоны со II по V по разным причинам не соответствуют требованиям к качеству платинита, а именно: в зоне II толщина оксидного слоя составляет менее 1 мкм; в зоне III – при удовлетворительной толщине оксидного слоя значение относительного удлинения меньше допустимого; в зоне IV – оба параметра не удовлетворяют требованиям; в зоне V – при требуемых значениях относительного удлинения и толщины оксидной пленки, в ее составе присутствуют примеси окиси меди CuO. Как показал анализ указанной зависимости, только зону I следует считать областью рекомендуемых режимов реализации совмещенного процесса термообработки и оксидирования, поскольку все параметры платинита соответствуют предъявляемым требованиям потребителей и нормативной и технической документации [5].

Для оценки предложенных в работе технических и технологических решений были произведены опытные партии платинитовой проволоки, изготовленной по рекомендуемым режимам. Произведенная проволока была передана ряду потребителей для промышленных испытаний, по результатам которых получены положительные заключения, а сами результаты этих испытаний представлены в табл. 2.

Заключение

Проведенные аналитические и экспериментальные исследования позволили установить зависимости показателей качества платинита от технологических режимов его производства. Установлено, что в качестве предпочтительного способа изготовления этого вида продукции является процесс твердофазного соединения железоникелевого сердечника и медной оболочки.

В рамках выполненных исследований проведено изучение режимов нагрева и высокотемпературного окисления поверхности платинита, по результатам которых определены рациональные параметры проведения совмещенного процесса термообработки и оксидирования. Результаты изложенных в работе исследований нашли отражение в рекомендациях по организации промышленного производства оксидированного платинита на российских предприятиях.

Список источников

1. Солдатенко А.Ф., Касаткина Е.Г. Производство платинита: технология, качество: монография. Магнитогорск, 2009. 183 с.
2. Гун Г.С., Касаткина Е.Г., Солдатенко А.Ф. Математическая модель течения биметаллической заготовки при прокатке в калибре // Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов: труды междунар. науч.-техн. конф. Санкт-Петербург: Изд-во политехнического ун-та, 2005. С.40-43.
3. Касаткина Е.Г., Мезин И.Ю., Солдатенко А.Ф. Анализ потребительских свойств платинита разных производителей // Качество в обработке материалов. 2015. № 2(4). С. 24-30.
4. Каракозов Э.С. Соединение металлов в твердой фазе. М.: Металлургия, 1976. 264 с.
5. Технологические основы повышения качества платинита / Касаткина Е.Г., Мезин И.Ю., Гун И.Г. и др. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2018. Т.18. №4. С. 98-108.
6. Аркулис Г.Э. Совместная пластическая деформация разных металлов. М.: Металлургия, 1964. 271 с.
7. Стеблянко В.Л., Солдатенко А.Ф. Неравномерность деформации компонентов при сварке биметалла прокаткой в калибре // Теория и практика процессов обработки композиционных и сплошных материалов: Межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГМИ, 1990. С. 11-19.
8. Солдатенко А.Ф., Касаткина Е.Г. Влияние распределения компонентов биметаллической проволоки в плоскости поперечного сечения на потребительские свойства // Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2001. С.205-211.
9. Касаткина Е.Г. Управление показателями качества при производстве платинита // Материалы 64-й науч.-техн. конф.: сб. докл. Магнитогорск: МГТУ, 2006. С. 83-85.
10. Солдатенко А.Ф., Касаткина Е.Г. Способ изготовления платинитовой проволоки. Пат.№ 2354517 РФ на изобретение, МПК В23К20/04. БИПМ, 2009. №13. С.522-523.

Таблица 2

Значения показателей качества оксидированной платинитовой проволоки $\varnothing 0,35$ мм по результатам входного контроля у потребителя

Проверяемый параметр	Значения параметра			
	По ОСТ	Режим 2	Режим 3	Режим 4
Коэффициент разнотолщинности, не менее	0,5	0,85–0,95		
Относительное удлинение, %	≥ 20	18–23	25–28	29
Состав поверхностного слоя	Борзакись	Закись меди	Закись меди	Закись меди
Массовая доля оксидной пленки, %	$\sim 2,0$	0,17	0,56	1,15
Абсолютная масса пленки на 1 м, г	0,0162	0,001377	0,004536	0,009085
Расчетная толщина оксидной пленки, мкм	2,457	0,209	0,688	1,382
Цвет платинита	Вишневый	Желто-коричневый	Светло-коричневый	Розово-коричневый

Сведения об авторах

Мезин Игорь Юрьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий, сертификации и сервиса автомобилей, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: i.mezin@magtu.ru.

Касаткина Елена Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: tssa@magtu.ru.

Понурко Ирина Витальевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: tssa@magtu.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FORMATION OF CONSUMER PROPERTIES PLATINITE WIRE

Kasatkina Elena G. – Cand. Sci. (Tech.), Assistant Professor of «Technologies, Certification and Automobile Service» Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: tssa@magtu.ru.

Mezin Igor Yu. – Dr. Sci. (Tech.), Head of «Technologies, Certification and Automobile Service» Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: i.mezin@magtu.ru.

Ponurko Irina V. – Cand. Sci. (Tech.), Assistant Professor of «Technologies, Certification and Automobile Service» Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: tssa@magtu.ru.

Abstract. The presented article analyzes the processes of formation of the required consumer properties of platinitite wire, which is a bimetallic composition consisting of an iron-nickel core and an outer copper layer. The preferred technology for producing this type of product is the solid-phase bonding process between an iron-nickel core and a copper sheath. An analysis of the regulatory and technical documentation governing this type of product was completed, and key quality indicators necessary for the industrial use of platinum wire were determined. Based on the results of analytical and experimental studies, key factors influencing the quality of the final product were identified. It is established that, against the backdrop of a combination of phenomena occurring during the rolling of a composite bimetallic blank, the deformation mode is the most important factor determining the quality of the finished product, including the key factor - the sheath thickness variation coefficient. It has been determined that rational conditions for deformation of a bimetallic workpiece can be realized using a two-stand rolling system. A new method for oxidizing the surface of platinitite at the final stage of the production process was developed and implemented on Pilot-industrial equipment. The results presented in the article were used in organizing the industrial production of oxidized platinitite.

Keywords: platinitite, bimetal, platinitite wire, iron-nickel alloy, coefficient of linear thermal expansion, consumer properties, borated platinitite wire, oxide layer

References

1. Soldatenko A.F., Kasatkina E.G. Production of platinitite: technology, quality: monograph. Magnitogorsk, 2009. 183 p.
2. Gun G.S., Kasatkina E.G., Soldatenko A.F. Mathematical model of the flow of a bimetallic workpiece during rolling in a caliber // Proceedings of the international scientific and technical conf. "Modern achievements in the theory and technology of plastic processing of metals". St. Petersburg: Publishing house of the Polytechnic University, 2005. P. 40-43.
3. Kasatkina E.G., Mezin I.Yu., Soldatenko A.F. Analysis of consumer properties of platinitite from different manufacturers. Quality in materials processing. 2015. No.2(4). P.24-30.
4. Karakozov E.S. Connection of metals in the solid phase. Moscow: Metallurgy, 1976. 264 p.
5. Kasatkina E.G., Mezin I.Yu., Gun I.G., et al. Technological foundations for improving the quality of platinitite. Bulletin of the South Ural State University. Series: Metallurgy. 2018. Vol. 18. No. 4. P. 98-108.
6. Arkulis G.E. Joint plastic deformation of different metals. Moscow: Metallurgy, 1964. 271 p.
7. Steblyanko V.L., Soldatenko A.F. Uneven deformation of components when welding bimetal during rolling in a caliber // Theory and practice of composite and continuous materials processing processes: Inter-university collection of scientific papers. Magnito-

- gorsk: MGMI, 1990. - P. 11-19.
8. Soldatenko A.F., Kasatkina E.G. Influence of distribution of components of bimetallic wire in the cross-sectional plane on consumer properties // Processing of continuous and layered materials: Interuniversity collection of scientific papers. Magnitogorsk: MSTU, 2001. P. 205-211.
9. Kasatkina E.G. Management of quality indicators in platinite production // Proceedings of the 64th scientific and technical conf.: Collection of reports. Magnitogorsk: MSTU, 2006. P.83-85.
10. Soldatenko A.F., Kasatkina E.G. Method for manufacturing platinite wire. Patent No. 2354517 of the Russian Federation for invention, IPC B23K20/04. BIPM, 2009. No. 13. P. 522-523

Ссылка на статью:

Касаткина Е.Г., Мезин И.Ю., Понурко И.В. Формирование потребительских свойств платинитовой проволоки // Теория и технология металлургического производства. 2026. №2(57). С. 32-39. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2\(57\)-32-39](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2(57)-32-39)

Kasatkina E.G., Mezin I.Yu., Ponurko I.V. Formation of consumer properties platinite wir. *Teoria i tecnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2026, vol. 57, no. 2, pp. 32-39. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2\(57\)-32-39](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-2(57)-32-39)