

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
кафедра «Материаловедение и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.И. Темных
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Получение и изучение эксплуатационных свойств электроконтактных мате-
риалов на основе меди, дисперсноупрочненных оксидами металлов

наименование ВКР

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

код и наименование направления

Руководитель	_____	<u>доцент, КТН</u>	<u>Г.М. Зеер</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____	_____	<u>Д.Е. Федоренко</u>
	подпись,	дата	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	_____	<u>Л.А.Свечникова</u>
	подпись,	дата	инициалы, фамилия

Красноярск 2020

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Обзор литературы по теории и технологии изготовления электроконтактных композиционных материалов	5
1.1 Электроконтактные материалы, свойства, область применения	5
1.2 Физико-химические процессы на рабочих поверхностях электроконтактов	6
1.3 Типы электроконтактов	11
1.4 Составы электроконтактных материалов	16
1.5 Технология получения электроконтактных композиционных материалов	21
2. Методики изготовления и исследования образцов	27
2.1 Методика изготовления образцов электроконтактов	27
2.2 Методика измерения плотности и расчета пористости	27
2.3 Методика изготовления шлифов на комплексе пробоподготовки для сканирующей электронной микроскопии	28
2.4 Электронно-микроскопическое исследование образцов	29
2.5 Испытания образцов на электроэрозионный износ	30
3 Экспериментальное исследование разработанных электроконтактных материалов	32
3.1 Характеристика исходных материалов, составы и режимы изготовления	32
3.2 Плотность и пористость разработанных электроконтактных материалов	34
3.3 Электроэрозионные испытания образцов	36
3.3 Микроструктура и элементный состав фаз спеченных образцов	39

3.5 Микроструктура и элементный состав фаз образцов после испытаний на электроэрозионный износ	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	47
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	49
ПРИЛОЖЕНИЕ	52

ВВЕДЕНИЕ

подавляющая часть контактных деталей для низковольтной аппаратуры изготавливается из материалов на основе серебра. В процессе работы они изнашиваются. С одной стороны, это приводит к безвозвратному расходованию благородного металла, а с другой – выходу из строя электроаппарата, что может послужить причиной аварийной ситуации и вызвать тяжелые последствия.

Наибольшее отрицательное влияние оказывает электрическая дуга, возникающая при размыкании электрической цепи и вызывающая дуговую эрозию контактов. При небольших значениях тока и продолжительности горения дуги эрозионный износ возникает за счет испарения материала в расплавленных локальных точках – местах привязки катодного пятна дуги. С увеличением тока площадь расплавленных зон повышается, растет интенсивность испарения, наблюдается разбрызгивание и кипение металла в расплавленной ванне катодного пятна. Помимо этого, поверхность контакта подвергается влиянию и других разрушающих факторов, связанных с условиями работы аппарата. Условно их можно подразделить на электрические, механические и химические: проявления механического разрушения и деформации, термические напряжения и удары, химическое взаимодействие с атмосферой.

Контакты должны обладать высокой электро- и теплопроводностью, устойчивостью против образования оксидной плёнки с высоким электросопротивлением, высокой твёрдостью для снижения механического износа, высокой дугостойкостью для обеспечения минимального угара материала контактов, простотой обработки материалов.

Свойства электроконтактного материала зависят не только от химического состава, но и от микроструктуры: размеров и дефектности зерен, морфологии, дисперсности и распределения фазовых составляющих. Наиболее

существенно от дисперсности компонентов зависят механические свойства и устойчивость к дуговой эрозии.

Актуальность работы состоит в том, чтобы изучить, как добавки, их количество и сочетание, влияют на свойства полученного материала, а также замена драгметалла на более дешевый – серебро на медь.

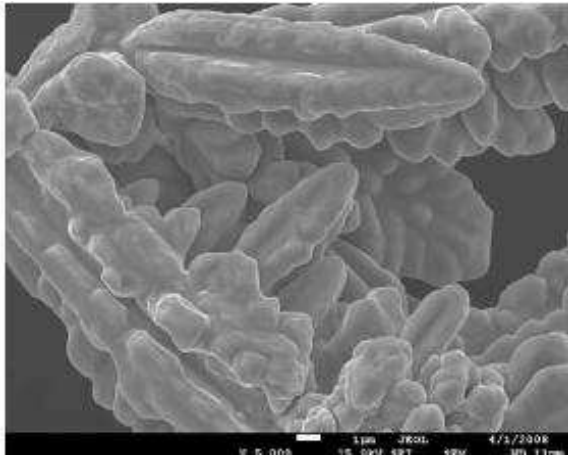
Цель работы: получение и изучение свойств электроконтактов на основе меди.

Задачи работы:

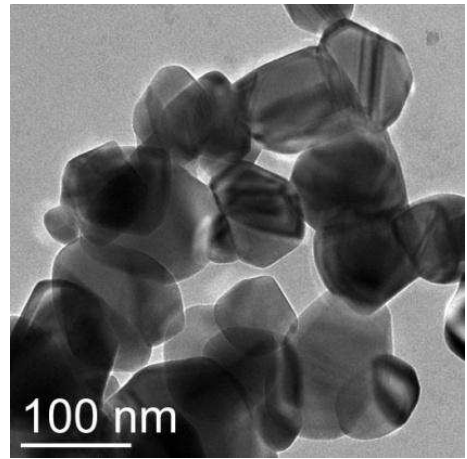
- Анализ литературы по технологии изготовления, составам и свойствам электроконтактных материалов.
- Изготовление образцов электроконтактных материалов на основе меди.
- Определение плотности, пористости прессовок и спеченных образцов, электроэрозионного износа контактов.
- Исследование микроструктуры и определение фаз, формирующихся в процессе спекания образцов и испытаний на электроэрозионный износ.

Характеристика исходных материалов, составы и режимы изготовления. Для изготовления образцов электроконтактных материалов использованы порошок меди (Cu), полученный электролитическим методом, а в качестве дисперсно-упрочняющих и дугогасящих добавок использованы нанопорошки TiO_2 , ZnO, SnO (рис.1).

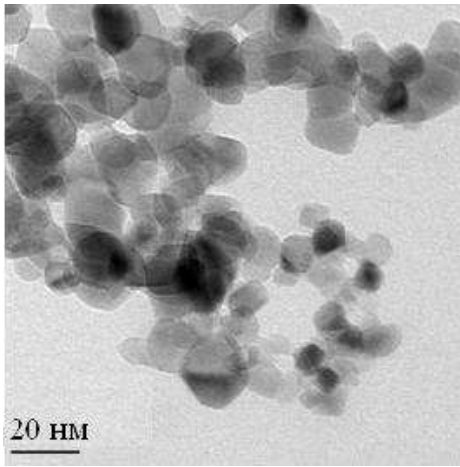
Смешивание порошков проводили в агатовой ступке. Оптимальная продолжительность перемешивания компонентов шихты определялась практическим путем – оно составило 20 мин. После смешивания из шихты делали навески массой 0,8 г, на каждый состав сделано по 5 образцов. Прессование образцов проводили на гидропрессе при удельном давлении 300 МПа. Спрессованные пористые заготовки спекали в вакууме при температуре 950°C в течение 2 часов. Составы образцов разработанных материалов представлены в табл. 2.



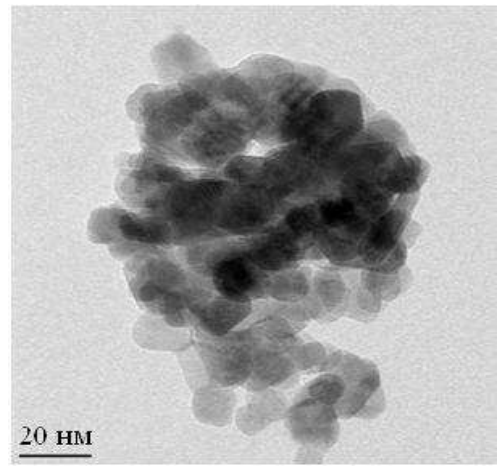
a



б



в



г

Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое изображение порошков:
a – Cu, x5k (СЭМ); *б* – TiO₂, x100k (ПЭМ); *в* – ZnO, x100k (ПЭМ); *г* – SnO₂, x50k (ПЭМ)

Таблица 2 – Состав образцов электроконтактных материалов

№ образца	Состав, вес %			
	ZnO	TiO ₂	SnO ₂	Cu
1	2	–	–	98
2	3	–	–	97
3	1	–	2	97
4	2	–	1	97
5	1,9	0,1	1	97
6	2	0,1	1,9	97

Для уменьшения пористости спеченные образцы допрессовывали при удельном давлении 1000 МПа, после чего для снятия остаточных напряжений отжигали. Отжиг проводили в вакууме при $T = 500$ °С в течение 1-го часа.

Получены образцы контактных материалов на основе меди, которые содержат 0,1 вес. % TiO_2 , содержание ZnO и SnO_2 варьировалось от 1 до 2 вес. %. Образцы электроконтактов изготавливались методом порошковой металлургии. Смешивание порошков производили в агатовой ступке. Прессование осуществляли в жесткой матрице при удельном давлении $P = 300$ МПа. Спекание в вакууме при температуре $T = 950$ °С в течение 2-х часов, допрессовывание при удельном давлении $P = 1000$ МПа, отжиг для снятия остаточных напряжений при $T = 500$ °С в течение 1-го часа. На спеченных образцах электроконтактов измерена плотность и рассчитана пористость. Выявлено, что плотность зависит от содержания оксидных добавок и уменьшаются с их увеличением, пористость при этом незначительно увеличивается. Микроструктура образцов, элементный состав фаз исследованы электронно-микроскопическими методами с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM 7001F, укомплектованного энергодисперсионным спектрометром. Показано равномерное распределение дисперсных оксидных фаз в образцах.

Исследования микроструктуры образцов после электроэрозионных испытаний показали, что возможной причиной перегрева и небольшого срока эксплуатации может являться плохое перемешивание, приводящее к неравномерному распределению нанопорошков оксидов в матричном медном порошке. Этот факт может быть причиной остаточной пористости и, как следствие, пониженной теплопроводности и низкой электроэрозионной стойкости.

Анализ микроструктуры и элементного состава фаз, образовавшихся на рабочей поверхности и в поперечном сечении образцов, а также результатов электроэрозионного износа, показал, что удовлетворяющим эксплуатационным свойствам является образец № 3, в составе которого 3 вес. % оксидной

составляющей ZnO и SnO₂, и нет в составе оксида титана, худшие – образец № 6 в составе которого – 97 % Cu – 1,9 % ZnO – 1 % SnO₂ – 0,1 % TiO₂.

Выводы.

1 Проведен анализ литературы по технологии изготовления, составам и свойствам электроконтактных материалов.

2 Изготовлены образцы электроконтактных материалов на основе меди, дисперсно-упрочнённых нанопорошками ZnO, TiO₂, SnO₂.

3 Получены и проанализированы результаты по плотности, пористости, электроэрозионному износу разработанных электроконтактных материалов.

4 Исследована микроструктура и определены фазы, формирующиеся в процессе спекания образцов и испытаний на электроэрозионный износ – ZnO, SnO₂, TiO₂, Zn₂SnO₄.

Оптимальными микроструктурой и свойствами обладает образец, в составе которого 3 вес. % оксидной составляющей ZnO и SnO₂.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Спеченные материалы для электротехники и электроники. Под редакцией докт. техн. наук Г. Г. Гнесина. М: Metallurgia, 1981 г. 578 с.
- 2 Иванов В.В. Физико-химические основы технологии и материаловедение порошковых электроконтактных композитов. Красноярск, ИПЦ КГТУ, 2002. – 273 с.
- 3 Кулас С. Сваривание контактов при замыкании электрической цепи. Электрические контакты и электроды: Тр. ИПМ им. И.Н. Францевича НАН Украины. 2010. С. 145-150.
- 4 Микроструктура и свойства электроконтактного материала Cu - (ZnO/TiO₂) Г.М. Зеер, Е.Г. Зеленкова, В.В. Белецкий, С. В. Николаев, А.Н. Кожурин, М.Ю. Кучинский, О.А. Григорьева
- 5 Г.М. Зеер, О.Ю. Фоменко, О.Н. Ледяева. Применение сканирующей электронной микроскопии в решении актуальных проблем материаловедения // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2009, т.4. №2. С.
- 6 Сидорак А.В Стенд для эрозионных испытаний материалов разрывных электроконтактов / А.В.Сидорак, И.Н.Котляров, А.А.Шубин // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012, с. 2-5
- 7 Надежность и долговечность работы электрических контактов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.smazelektro.ru/rabota-elektricheskikh-kontaktov/>
- 8 Гасанов Б. Г., Дорофеев Ю. Г., Литошенко В. И. и др. – Тр. ВНИИ электроизмерительных приборов, 1974, № 23, с. 44–60.
- 9 Новый железный порошок для изготовления магнитных материалов, 1976, т. 34, № 7, с. 30.

- 10 Магниты из сплавов редкоземельных металлов с кобальтом. Сб. под ред. К. Стрната / Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1978. 256 с.
- 11 Strnat K. J., Ray A, E. – Goldschmidt informiert, Dec. 1975, Bd 4/75 35, p. 47–52.
- 12 Ostertag W. Crystallographic data on YCO_3 , Y_2CO_{17} . Acta Cryst., 1965, v. 19, July, p. 150–151.
- 13 Бахман К., Нагель Х. – В кн.: Магниты из сплавов редкоземельных металлов с кобальтом/Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1978, с. 198–909.
- 14 Das D.*К. – IEEE Trans on Magn., 1969, v. 5, p. 214.
- 15 Bachmann K. – J. Magn. and Magn. Materiale, 1977, v. 4, № 1–4, p. 8–12.
- 16 Dauermagnete auf der Basis Co-+ SE – Technika (Snise), 1977, Bd 26, № 21, S. 1649–1650.
- 17 Brown Boveri AG, Recoma. Permanent magnete. Druckschrift N CH E5.0155.ID, NCH–E5.0230.ID, NCH–E5.0107, 2D. 5401. Baden/Schweiz
- 18 Vacuumschmelze GMBH, VACOMAX, Dauermagnete anf der Basis CoSE, Hanau, BRD, 7. Ausgabe, 1976.
- 19 Нарита К. Магниты из сплавов редкоземельных металлов с кобальтом – М.: Металлургия, 1978, с. 185.
- 20 Бэрэн В., Кнорр М. Магниты из сплавов редкоземельных металлов с кобальтом – М.: Металлургия, 1978, с. 86–93.
- 21 Альтман А. Б., Водин А. И., Гладышев П. А. Электротехнические, металлокерамические материалы и изделия. М: Информэлектро, Труды ВНИИЗЭМ, т. 56. 1978. 76 с.
- 22 Справочник по электротехническим материалам. Под ред. Ю. В. Корицкого и др. Т. 3. – Л.: Энергия, 1976. 896 с.
- 23 Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы. Под ред В. Шатта. М.: Металлургия, 1983. 519 с.
- 24 Вакуумные печи для порошковой металлургии. Каталог оборудования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://erstvak.com/catalog/vakuumnaya-pech/dlya-poroshkovej-metallurgii/vakuumno-kompressionnye-pechi-spekaniya/>

25 Спекание металлов. Вакуумные установки - Применение вакуума в металлургии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pro-vacuum.ru/primenenie-vakuuma-v-metallurgii/spekanie-metallorvse-stranitcy.html>

26 Создание полимерных материалов со специальными свойствами. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://plastinfo.ru/information/articles/300/>

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
кафедра Материаловедение и Технологии Обработки Материалов

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.И. Темных
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Получение и изучение эксплуатационных свойств

электроконтактных материалов на основе меди

наименование ВКР

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

код и наименование направления

Руководитель	<u></u>	<u>02.07.20</u>	доцент, к.т.н.	Г.М. Зеер
	подпись, дата		должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	<u></u>	<u>02.07.20</u>		Д.Е. Федоренко
	подпись,	дата		инициалы, фамилия
Нормоконтролер	<u></u>	<u>2.07.20</u>		Л.А. Свечникова
	подпись,	дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2020