

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального
образования «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»

Физико-технический институт
Кафедра химической технологии редких, рассеянных и
радиоактивных элементов

Направление: «Химическая технология материалов
современной энергетики»

Специальность: 240501 «Химическая технология
материалов современной энергетики»

«УТВЕРЖДАЮ»
Зав. кафедрой ХТРЭ
_____ Дьяченко А.Н.
« _____ » _____ 2013 г.

ЛУЖЕНИЕ

Методические указания к выполнению лабораторной
работы
по курсу « Электрохимические методы в технологии
редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

Томск 2013

УДК 66.02.(076.1)

Лужение

Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Электрохимические методы в технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов» для студентов специальности 240501 «Химическая технология материалов современной энергетики»

Составители д.т.н., проф. каф. ХТРЭ
к.т.н., асс. каф. ХТРЭ

В.А.Карелин
А.Н.Страшко

Рецензент к.х.н., доц. каф. ОХТ

О. И. Налесник

Оглавление

Оглавление	3
Введение	4
1. Свойства оловянных покрытий и область применения.....	5
2. Характеристика электролитов лужения	7
3. Лужение в кислых электролитах	9
3.1 Сульфатные электролиты.....	10
3.2 Приготовление и корректирование сульфатных электролитов.....	12
3.3 Борфтористоводородные электролиты	13
3.4 Галогенидные электролиты	14
4. Лужение в щелочных электролитах	17
5. Пирофосфатные электролиты	22
6. Получение оловянного покрытия, легированного висмутом (сплав олово-висмут).....	24
7. Химическое лужение	29
8. Регенерация олова	31
9. . Экспериментальная часть.....	33
9.1 Схема установки	33
9.2 Применяемые реактивы и растворы.....	33
9.3 Порядок выполнения работы.....	34
10. Оформление отчета	36
Литература.....	37

Введение

Олово – элемент главной подгруппы четвертой группы периодической системы элементов, атомная масса 118,71. электрохимический эквивалент Sn^{2+} равен $0,62 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл. Стандартный электродный потенциал $\varphi^0_{\text{Sn}/\text{Sn}^{2+}} = -0,13$ В.

Плотность олова $7,31$ г/см³, температура плавления $231,9$ °С, удельное электросопротивление олова $0,115$ мкОм, удельная электропроводность $8,69$ МОм/м. Олово – ковкий металл, твердость олова (по Бринеллю) $3,9$, теплопроводность при 300 К $66,8$ Вт/(м·К).

Области применения: изготовление пищевой жести и емкостей для напитков; изготовление припоев; получение различных сплавов и покрытий из них.

Основные руды, содержащие олово: касситерит SnO_2 , станнин (оловянный колчедан), минерал из класса сульфидов состава $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$, содержит примеси Cu , Fe , Sn и S .

Оловосодержащие руды обогащают и направляют на обжиг для удаления летучих примесей мышьяка и серы. Большую часть железа, сурьмы и висмута после обжига выщелачивают соляной кислотой. После этого отделяют олово от кислорода и кремния проводя плавку с углем и флюсами в отражательных или электрических печах. При этом углерод «отнимает» у олова кислород, а флюсы превращают диоксид кремния в легкий по сравнению с металлом шлак.

В черновом олове примесей довольно много: $5-8$ %. Для получения чистого металла ($96,5-99,9$ % Sn) испрльзуют огневое или электролитическое рафинирование. Высокочистое олово (чистотой $99,99985$) для полупроводниковой промышленности получают методом зонной плавки.

1. Свойства оловянных покрытий и область применения

Оловянные покрытия чрезвычайно пластичны и легко выдерживают развальцовку, штамповку, изгибы. Свежеосажденное олово легко паяется при применении спиртоканифольных флюсов; при продолжительном хранении даже в хороших условиях способность к пайке ухудшается, через две-три недели ухудшается настолько, что детали приходится подвергать повторному облуживанию или оплавлению. Легирование олова небольшим количеством висмута (0,3-5 %) значительно улучшает способность покрытия к пайке даже после длительного хранения (более полугода). Сплавы олова со свинцом, кобальтом, никелем и другими металлами характеризуются также хорошей способностью к пайке и широко применяются в радиотехнической и приборостроительной промышленности.

Олово обладает высокой химической стойкостью. Разбавленные растворы серной, соляной и азотной кислот взаимодействуют с оловом очень медленно, сернистые соединения почти не действуют. Крепкие растворы щелочей растворяют олово только при нагревании. В органических кислотах олово очень устойчиво.

Стандартный потенциал олова $-0,14$ В, следовательно, в паре с железом оно более положительно и в условиях атмосферной коррозии электрохимически железо не защищает, так как является катодным покрытием. По отношению к изделиям из медных сплавов олово является анодным покрытием. В присутствии органических веществ, содержащихся в пищевых продуктах, фруктовых соках, пиве и т.п., потенциал олова становится более электроотрицательным и в этих условиях оно надежно защищает сталь от коррозии. Продукты коррозии олова безвредны для человеческого организма. Кроме того, олово относится к числу очень немногих

материалов, которые при контакте с пищевыми продуктами не меняют их вкуса.

По этим причинам олово с давних времен применяется в качестве покрытия жести, идущей на изготовление консервных банок, а также для покрытия изделий, связанных с хранением и приготовлением пищи. При низких температурах (ниже $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$) олово склонно к переходу в серую модификацию и рассыпается в порошок. Это явление, известное под названием «**оловянной чумы**», необходимо учитывать при выборе покрытия для изделий, эксплуатирующихся при низких температурах. Для уменьшения пористости оловянных покрытий и покрытий сплавами олова со свинцом (60 % олова и 40 % свинца), а также для улучшения способности оловянных покрытий к пайке их подвергают оплавлению.

При длительном хранении электролитически луженых деталей отмечаются случаи образования тонких (0,5-2 мкм) игольчатых наростов (усов), наличие которых может привести к неисправности точных приборов вследствие коротких замыканий электрических цепей. Причины появления подобных дефектов покрытия еще недостаточно изучены. Установлено, что на образование усов в значительной степени влияют материал катода и внутренние напряжения в покрытии, поэтому для устранения возможности их образования рекомендуется осаждать олово на латунь по никелевому подслою. Кроме того, никелевый подслоя, как показали наблюдения, препятствует диффузии в олово цинка и меди из металла детали и является тепловым барьером при пайке. Эти обстоятельства также влияют на сохранение способности к пайке после длительного хранения.

Основные физические свойства олова:

Плотность, г/см ³	7,28
Температура плавления, °C	232
Твердость электролитического олова, кгс/мм ² .	14,3–15,2
Электрическое сопротивление. Ом·см	$11,5 \cdot 10^{-8}$

В табл. 1 показано назначение покрытий из олова и его сплавов.

Таблица 1. Толщина покрытия в зависимости от его назначения

Назначение	Толщина, мкм	Обозначение по ГОСТ 9791-68
Защита стальных деталей: при азотировании при гуммировании от коррозии	9–12	09
	12–15	012
	21–24	021
Улучшение способности к пайке: для пружинящих деталей для стальных деталей для деталей из меди и ее сплавов для деталей из алюминия и его сплавов	в зависимости от толщины или диаметра материала	НЗ О-Ви3; МЗ О-Ви3; НЗ О-Ви6; МЗ О-Ви6;
		Н9 О-Ви6; М180-Ви9; М30 О-Ви12;
		О-Ви3; НЗ О-Ви6;
		Н12 О-Ви6; Н12 О-Ви12; Н24 О-Ви12

2. Характеристика электролитов лужения

Олово относится к химическим элементам, обладающим ярко выраженными амфотерными свойствами, и образует соединения, в которых олово является двухвалентным катионом (SnSO_4 ; SnCl_2) или же оно входит в состав аниона (Na_2SnO_3 Na_2SnO_2), где олово четырехвалентно или двухвалентно.

Таблица 2. Скорость осаждения олова (мкм/ч)

Плотность тока, А/дм ³	Выход по току, %						
	65	70	75	80	85	90	95
0,5	9,8 4,9	10,6 5,3	11,4 5,7	12,0 6,0	12,8 6,4	13,7 6,8	14,4 7,2
1,0	19,6 9,8	21,0 10,5	22,6 11,3	24,0 12,0	25,6 12,8	27,7 13,8	29,2 14,6
2,0	39,2 19,6	42,4 21,2	45,4 22,7	48,2 24,2	51,4 25,7	54,4 27,2	57,5 23,8
2,5	49,0 24,5	53,0 26,5	67,0 28,5	60 30	64 32	68 34	72 36
3,0	59,2 29,6	63,6 31,8	68,0 34,0	72,4 36,2	77,2 38,6	81,3 40,6	85,9 42,9
3,5	69,0 34,5	74,2 37,1	79,4 39,7	84,4 42,4	90 45	95 47,5	100,3 50,1

Примечание. Значения без рамки – для кислых электролитов, в рамке – для щелочных. электролитов

Электролиты для лужения бывают двух видов; кислые, содержащие олово в виде Sn^{2+} , или щелочные, в которых олово находится в виде аниона SnO_3^{2-} . Различие в валентности олова обуславливает разную скорость осаждения олова в кислых и щелочных электролитах. При одних и тех же плотностях тока и выходе по току олово в кислых электролитах осаждается в два раза быстрее, чем в щелочных.

Скорость осаждения олова в зависимости от плотности тока может быть определена по **табл. 2.**

В кислых электролитах олово обычно выделяется с высоким выходом по току, близким к 100 %, тогда как в щелочных – в пределах 65-80 %. Это означает, что практически скорость осаждения олова в кислых электролитах происходит быстрее более чем в два раза.

Различие в катодной поляризации для кислых и щелочных электролитов не столь значительно, как в цианистых и кислых электролитах цинковая или кадмирования. Поэтому на величину рассеивающей способности основное влияние оказывает характер изменения выхода по току в зависимости от плотности тока. На **рис. 1** приведена зависимость выхода по току от плотности тока для кислого и щелочного электролитов. Для щелочного электролита характерно значительное падение выхода по току с ростом плотности тока, что в сочетании с очень высокой электропроводностью горячего щелочного электролита обуславливает весьма высокую рассеивающую способность его.

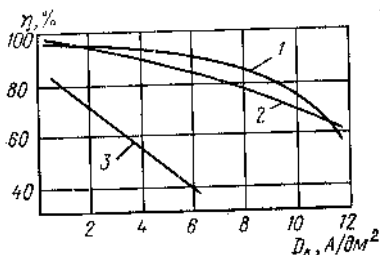
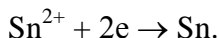


Рис. 1. Зависимость выхода по току от плотности тока в электролитах лужения:

1 – борфтористоводородный электролит; 2 – сульфатный; 3 – станнатный

3. Лужение в кислых электролитах

В кислых электролитах осаждение олова протекает по схеме:



Из кислых электролитов практическое применение получили сульфатный, хлоридный и борфтористоводородный. Во всех кислых электролитах в качестве обязательного компонента имеется какое-либо поверхностно-активное вещество (клей, фенол, желатин и т.п.), без которого олово

выделяется на катоде в виде отдельно растущих кристаллов, переходящих в дендриты, и сплошного слоя покрытия не образуется. Этим кислые электролиты лужения принципиально отличаются от кислых электролитов для покрытий другими металлами. Другой существенной особенностью кислых электролитов лужения является необходимость введения достаточного количества свободной кислоты для подавления гидролиза солей олова. При недостатке кислоты могут образовываться трудно растворимые гидраты или основные соли олова [Sn(OH)₂, Sn₂(OH)₂SO₄, SnOHCl и т.п.].

Для повышения электропроводности в электролит добавляют проводящие соли, например сульфат натрия в сернокислом электролите. Эту же роль частично выполняет свободная кислота. Поверхностно-активные и коллоидные вещества, вводимые в электролиты, не только улучшают структуру покрытий, но и способствуют улучшению рассеивающей способности, которая превосходит рассеивающую способность кислых электролитов меднения, цинкования и ряда других.

3.1 Сульфатные электролиты

Состав этих электролитов, отличается природой поверхностно-активных компонентов. Рекомендуются такие добавки, как фенол, крезол, сульфированный крезол, эмульгатор ОП-10, однако присутствие этих веществ в сточных водах даже в малых количествах недопустимо из-за губительного воздействия их на живые организмы водных бассейнов. Обезвреживание подобных веществ является чрезвычайно сложной задачей, а биологическая очистка стоков малоэффективна.

В настоящее время промышленность выпускает препарат ОС-20 (марка В), который относится к категории веществ, легко разрушаемых при биологической очистке. Этот продукт,

вводимый в сульфатные электролиты, выполняет такую же функцию, как и применявшиеся добавки фенола и др.

Состав электролита (г/л) и режим работы следующие:

Сульфат олова SnSO_4	40-50
Серная кислота H_2SO_4	50-80
Сульфат натрия $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	30-50
Препарат ОС-20	2-5
Температура электролита, °С	15-25
Плотность тока, D_k , А/дм ²	1-2

При перемешивании катодная плотность тока может повыситься до 4-5 А/дм².

Для осаждения блестящих покрытий на предприятиях применяют электролит следующего состава (г/л) и режимами работы:

Сульфат олова SnSO_4 .	80-100
Серная кислота H_2SO_4	140-160
Древесносмоляное масло или деготь, мл/л	8-10
Смесь спиртов	0,8-1,0
Температура электролита, °С	15-25
Плотность тока, D_k , А/дм ² .	2-6

Катодная плотность тока достигает верхнего предела при перемешивании электролита.

Смесь спиртов, предложенная Э.С. Бруком в качестве блестящеобразующей добавки, состоит из гексилового (10 %), гептилового (45 %) и октилового (45 %).

Применяют электролит блестящего лужения на стационарной ванне следующего состава (г/л) и режима работы:

Сульфат олова SnSO_4	40-60
Серная кислота H_2SO_4 .	100-120
Формалин CH_2O , мл/л	4-6
Ацетилацетон, мл/л	2,5-3,5
Синтанол ДС-10	2-3
Плотность тока, D_k , А/дм ²	2-3

Существенной особенностью блестящих оловянных покрытий является хорошая способность их к пайке после длительного хранения (180 дней); хороший декоративный вид и повышенные защитные свойства.

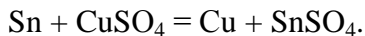
3.2 Приготовление и корректирование сульфатных электролитов

Сульфат олова растворяют при перемешивании в воде, подкисленной серной кислотой. Раствору дают отстояться в течение 10-12 ч и фильтруют в емкость. Затем добавляют серную кислоту до нормы. Отдельно растворяют сульфат натрия и отфильтровывают раствор в емкость, добавляют вещество ОС-20, предварительно растворенное в горячей воде. Электролит тщательно перемешивают и прорабатывают при плотности тока 0,1-0,2 А/дм² до получения светлого и плотного покрытия оловом.

Раствор сульфата олова можно получить из металлического олова следующим способом.

Приготавливают раствор медного купороса из расчета 60 г/л электролита лужения путем растворения $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в горячей воде. К раствору добавляют серную кислоту в количестве, соответствующем ее содержанию в электролите, т.е. 60-80 г/л. Раствор нагревают до 70-80 °С, затем в него постепенно вводят при интенсивном перемешивании гранулированное или порошкообразное олово из расчета 35-40 г/л. Для приготовления порошкообразного олова необходимо расплавленное олово растереть во время его остывания с помощью жесткой ткани (брезент), на которую льют расплавленное олово небольшими порциями. Гранулированное олово получается выливанием струйки расплавленного металла в воду.

Образование сульфата олова происходит при протекании реакции контактного вытеснения ионов меди металлическим оловом:



Выделившаяся медь в виде шлама оседает на дно ванны. Перемешивание раствора производят до конца реакции, которое определяют по обесцвечиванию раствора. После отстаивания раствор анализируют на содержание SnSO_4 и H_2SO_4 и при необходимости корректируют добавлением этих компонентов. Приготовленный раствор отфильтровывают через суконный фильтр или стеклоткань в рабочую ванну.

Электролит подлежит обязательной проработке током для удаления возможных примесей меди. Его следует корректировать не реже двух раз в месяц по данным химического анализа на содержание олова, серной кислоты и сульфата натрия. Продукт ОС-20 добавляют в электролит в зависимости от внешнего вида покрытия.

3.3 Борфтористоводородные электролиты

Борфтористоводородные электролиты лужения позволяют применять высокую катодную плотность тока при комнатной температуре. Хорошая растворимость борфтористоводородной соли олова обеспечивает повышенную концентрацию ионов олова в электролите. Рассеивающая способность электролита достаточно высока. Осадки олова получаются светлыми и мелкозернистыми.

Состав электролита (г/л) и режим работы следующие:

Борфторид олова $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$	180-200
Борфтористоводородная кислота HBF_4	45-60
Борная кислота H_3BO_3	25-30
Столярный клей	3-5
Плотность тока, D_k , А/дм ² .	4-5
Плотность тока при перемешивании D_k , А/дм ²	10-12
Температура электролита, °С	18-25

Приготовление электролита

В раствор дихлорида олова вводят небольшими порциями раствор NaOH при непрерывном перемешивании, при этом выпадает осадок гидроксида олова:



Осадок $\text{Sn}(\text{OH})_2$ отделяют от раствора NaCl декантацией. Затем приготавливают раствор HBF_4 и в него вводят $\text{Sn}(\text{OH})_2$. Использование SnCl_2 удобно потому, что содержание в нем олова соответствует содержанию олова в $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ и поэтому не требуется делать пересчетов.

После растворения $\text{Sn}(\text{OH})_2$ получается борофторид олова:
 $\text{Sn}(\text{OH})_2 + 2\text{HBF}_4 = \text{Sn}(\text{BF}_4)_2 + 2\text{H}_2\text{O}.$

3.4 Галогенидные электролиты

Галогенидные электролиты применяют преимущественно при производстве белой жести и для покрытия более сложных деталей, так как рассеивающая способность их выше, чем у сульфатных или фторборатных электролитов.

Состав электролита (г/л) и режим работы следующие:

Хлорид олова $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	40-50
Соляная кислота HCl	0,5-1,0
Фторид натрия NaF	50-60
Хлорид натрия NaCl	5-7
Желатина	1,0
Температура электролита, °C	20-25
Плотность тока, D_k , А/дм ² при перемешивании	2-3

Для получения белой жести в установках с непрерывным движением ленты применяют электролит, имеющий следующий состав (г/л) и режим работы:

Хлорид олова $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	75
Фторид натрия NaF	35-40

Фторид аммония $\text{NH}_4\text{F}\cdot\text{HF}$	35
Хлорид натрия NaCl	20-22
Соляная кислота HCl	12-15
Дисульфонафталин $\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{SO}_3\text{H})_2$	1,0
Роданид аммония NH_4CNS	0,25
Температура электролита, °C	30-45
Плотность тока D_k , А/дм ²	≤ 50

Галогенидные электролиты готовят растворением $\text{SnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в теплой подкисленной HCl воде во избежание гидролиза SnCl_2 . В отдельной порции горячей воды, также подкисленной HCl , растворяют NaF (и $\text{NH}_4\text{F}\cdot\text{HF}$). Нерастворенный NaF также заливают в электролизер, который находится в ней в виде студенистого осадка на дне ванны, выполняя роль буфера для поддержания постоянства концентрации F^- -ионов в электролите.

Основные неполадки лужения в кислых электролитах представлены в **табл. 3**.

Таблица 3. Основные неполадки лужения в кислых электролитах

Характеристика неполадок	Причина
Темные покрытия	Наличие примесей меди или мышьяка в электролите
Осадки олова крупнозернистые; по краям деталей наблюдается образование дендридов при малой плотности тока	Недостаток поверхностно-активных веществ (клей, ОС-20 и др.)
Покрытие рыхлое с «загаром» на углах	Высокая плотность тока Пониженное содержание олова в электролите
Шероховатость покрытия	Загрязнение электролита ме-

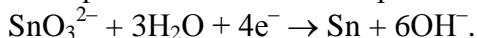
	ханическими примесями. Накопление ионов Cl^- - ионов более 2 г/л (в сульфатном электролите)
Почернение анодов, заметное газовыделение на их поверхности (в сульфатных электролитах)	Наличие примесей свинца в анодах
Помутнение электролита и образование осадков на дне ванны	Недостаток кислот в электролите
Неоднородный оттенок покрытия на деталях	Расслоение электролита

Неполадки, указанные в **табл. 3**, устраняются корректированием электролита недостающим компонентом, фильтрацией его или перемешиванием в случае расслоения электролита. Соли меди и других электроположительных металлов удаляют проработкой электролита током до тех пор, пока осадки олова не станут светлыми. От примесей меди можно избавиться введением в электролит оловянного порошка при непрерывном помешивании. Металлическое олово при этом контактно вытесняет медь из электролита.

От примесей солей азотной кислоты избавиться практически невозможно. В этом случае, так же как и в других случаях, когда не удастся привести электролит в нормальное состояние, производят замену электролита. Для использования олова из отработанного электролита следует введением концентрированного раствора Na_2CO_3 осадить олово в виде $\text{Sn}(\text{OH})_2$. После отстаивания раствор сливают, а оставшийся гидроксид олова растворяют в серной или борфторноводородной кислоте и полученный раствор используется для приготовления нового электролита или для корректирования.

4. Лужение в щелочных электролитах

В щелочных электролитах олово находится в виде четырехвалентного иона и входит в состав станнатного аниона SnO_3^{2-} . Разряд олова на катоде происходит по схеме:



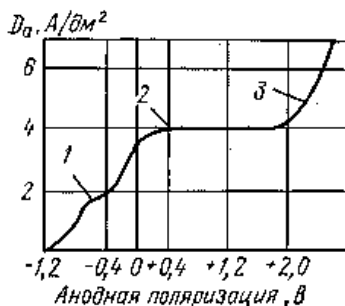
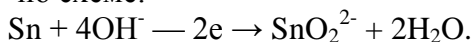
Потенциал разряда олова от $-0,9$ до $-1,0$ В. По мере повышения плотности тока вследствие значительной поляризации потенциал олова достигает значения $-1,6$ В.

Потенциал выделения водорода в щелочной среде имеет аналогичные значения, однако вследствие перенапряжения водорода происходит преимущественный разряд олова, а не водорода выделение которого снижает выход металла по току. Увеличение содержания NaOH в электролите смещает потенциал выделения олова, но при этом происходит еще большее снижение выхода по току.

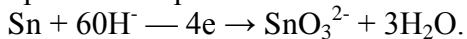
Рассеивающая способность щелочного станнатного электролита значительно превосходит рассеивающую способность кислых электролитов, поэтому щелочные электролиты применяют для лужения особо сложных деталей или мелких деталей на сетках.

В щелочной среде олово может находиться в двух формах: в виде станната SnO_3^{2-} (Sn^{4+}) и станнита SnO_2^{2+} (Sn^{2+}). Станниты совершенно непригодны для практических целей, так как не обеспечивают получения качественных осадков олова, и наличие даже небольших количеств двухвалентного олова ($0,1$ - $0,2$ г/л) в станнатном электролите приводит к образованию темных губчатых осадков олова. Причиной этого является более положительный потенциал двухвалентного олова по сравнению с четырехвалентным, поэтому при небольшом содержании Sn^{2+} происходит его выделение на предельном токе в виде губчатого осадка.

Отрицательное влияние двухвалентного олова вызывает определенные затруднения в практике лужения в щелочных электролитах. Анодное растворение олова в щелочной среде происходит с образованием двухвалентных ионов SnO_2^{2-} , что влечет за собой выход электролита из строя, поэтому анодный процесс нужно вести так, чтобы образование двухвалентных ионов было исключено. Это возможно лишь при условии пассивирования анодов при более высоких плотностях тока. Для определения условий образования олова в виде SnO_2^{2-} рассмотрим кривую анодной поляризации (**рис. 2**). На участке 1 кривой анодной поляризации при анодной плотности тока менее 2 A/дм^3 растворение олова протекает с образованием ионов SnO_2^{2-} по схеме:

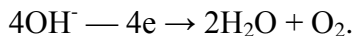


Далее имеет место небольшой перегиб кривой, и на участке 2 в результате частичного пассивирования анода олово растворяется с образованием ионов SnO_3^{2-} по схеме:



Этому участку соответствует анодная плотность тока $2\text{—}4 \text{ A/дм}^3$.

При анодной плотности тока выше 4 A/дм^3 наступает полная пассивация анода (область предельного тока) и при дальнейшем повышении плотности тока происходит разряд гидроксид-иона с выделением кислорода:



Таким образом, при работе ванны щелочного лужения необходимо установить анодную плотность тока в пределах 2—4 А/дм².

Характерным признаком частичной пассивации анода является образование пленки золотисто-желтого цвета. При малых плотностях тока аноды имеют серый цвет, а при плотностях тока выше 4 А/дм² цвет анодов - черный, что свидетельствует о полной пассивности анодов.

Для приведения анодов в необходимое состояние частичной пассивности поступают следующим образом. После разогрева ванны и загрузки деталей на катодную штангу оловянные аноды завешиваются по одному. Как только на первом аноде вследствие высокой плотности тока образуется золотистая пленка, загружается второй анод, на котором спустя некоторое время также образуется пассивная пленка золотисто-желтого цвета. В таком порядке осуществляется загрузка всех анодов. Состав электролитов лужения приведен в **табл. 4**.

Электролит № 1 является самым распространенным в практике лужения. Он достаточно стабилен в работе, чему способствует введение ацетата натрия в качестве буферного соединения. Осаждение олова происходит при выходе по току в пределах 70-80 %.

Таблица 4. Состав электролитов и режим работы

Компонент (г/л) и режим работы	Электролит	
	№ 1	№ 2
Станнат натрия Na ₂ SnO ₃	50-100	-
Станнат калия K ₂ SnO ₃	-	150-165
Гидроксид натрия NaOH	10-15	-
Гидроксид калия KOH	-	20-25
Ацетат натрия Na ₂ C ₂ H ₃ O ₂	15-20	-
Температура электролита, °С	60-80	90
Плотность тока D _k , А/дм ²	1-2	6-10

Для окисления небольших количеств двухвалентного олова, образующихся в электролите, рекомендуется периодически вводить в него 1-2 мл/л пероксида водорода.

Электролит № 2 является весьма производительным, так как допускает применение более высокой плотности тока благодаря тому, что в нем в полтора-два раза больше концентрация олова и осаждение покрытия идет при более высокой температуре и при более высоком выходе по току.

Повышенная концентрация олова создается вследствие лучшей растворимости K_2SnO_3 по сравнению с Na_2SnO_3 , которая еще больше возрастает с повышением температуры, тогда как растворимость Na_2SnO_3 с повышением температуры падает. Электролит обладает также несколько лучшей рассеивающей способностью по сравнению с электролитом № 1, что обуславливается его более высокой электропроводностью. Выход по току составляет 90 %.

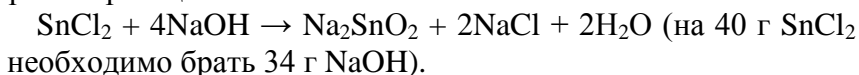
Следует иметь в виду, что при эксплуатации этого электролита необходимо, чтобы анодная поверхность в три-четыре раза была выше катодной, иначе возникают большие трудности при анодном растворении олова.

При использовании станната натрия в виде готового продукта электролит готовится последовательным введением в рабочую ванну концентрированных растворов станната, щелочи и ацетата натрия. При отсутствии станната электролит готовится двумя способами.

1. Для приготовления электролита из $SnCl_4 \cdot 3H_2O$ или $SnCl_4 \cdot 5H_2O$ в небольшом количестве теплой воды растворяется хлорное олово и отдельно гидроксид натрия. Оба раствора сливаются при энергичном перемешивании. Образующийся при этом в небольшом количестве осадок метаоловянной кислоты удаляется декантированием. В полученный раствор станната натрия вводят остальные компоненты, и ванна доливаеся водой до рабочего уровня. Безводный хлорид олова представляет

собой сильно дымящую жидкость и поэтому для приготовления электролита не используется.

2. Для приготовления электролита из $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в подогретый водный раствор хлорида олова вводится раствор гидроксида натрия. При этом образуется раствор станнита натрия по реакции:



Затем станнит натрия окисляется в станнат введением пероксида водорода, а также посредством проработки током с частично запассивированными анодами. После того как процесс окисления Sn^{2+} в Sn^{3+} закончен, о чем судят по отсутствию губчатого олова на катоде, ванна доливается водой до рабочего уровня и корректируется по данным химического анализа.

Из приведенных выше способов приготовления электролитов предпочтительным является **способ приготовления из готовой соли станната натрия** ($\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) не только потому, что он легче, но и потому, что он обеспечивает получение электролита, не содержащего хлорид-ионов, присутствие которых способствует коррозии стальных стенок ванны лужения.

Неполадки, встречающиеся при работе ванн щелочного лужения, представлены в **табл. 5**.

Таблица 5. Неполадки при щелочном лужении

Характеристика неполадок	Причина
Темное губчатое и рыхлое покрытие	Наличие в электролите двухвалентного олова (более 1 г/л); большое содержание щелочи; повышенная плотность тока; низкая температура электролита (ниже 50 °С)
Образование черной пленки на анодах	Высокая анодная плотность тока (> 4-5 А/дм ²)
Плохая паяемость	Наличие более 0,1 г/л меди в электролите

покрытия непосредственно после нанесения	
Бурное газовыделение на катоде; малая скорость осаждения покрытия	Избыток щелочи или недостаток солей олова
Помутнение электролита; выпадение осадка; белый налет на анодах	Недостаток щелочи в электролите

Неполадки, указанные в **табл. 5**, легко устраняются соответствующим корректированием электролита.

5. Пирофосфатные электролиты

В пирофосфатных электролитах олово находится в виде комплексного соединения и концентрация свободных ионов олова в растворе равна 10^{-14} г-ион/л, поэтому катодная поляризация при осаждении олова достигает значительной величины. Это определяет большую перспективность пирофосфатных электролитов для применения их вместо щелочных при покрытии деталей сложной формы. В литературе описано большое количество составов электролитов, которые однако промышленного применения не получили. Основным недостатком пирофосфатных электролитов является довольно быстрое окисление двухвалентного олова в четырехвалентное, наличие которого приводит к выделению водорода и образованию губчатого покрытия. Для устранения окисления олова используются различные добавки, в том числе декстрин, трилон Б, гидрохинон и др. Однако действие их довольно быстро ослабляется, и электролиты работают нестабильно. Значительно лучшие результаты получают при применении солянокислого гидразина, который в сочетании с добавками желатины обеспечивает хорошую стабильность электролита и получение полублестящих серебристо-белых покрытий.

В [2] рекомендован электролит следующего состава (г/л) и режима работы:

Олово (в расчете на металл)	50-70
Пирофосфат калия $K_4P_2O_7 \cdot 3H_2O$	500-650
Солянокислый гидразин, мл/л	8-12
Моющее средство «Прогресс», мл/л	3-4
Желатин (гидролизированный)	2,0-2,5
Величина pH	8,0-8,5
Температура электролита, °C	23-70
Плотность тока D_k , А/дм ²	≤6
Выход по току, %	80-90

Рабочая плотность тока зависит от температуры и перемешивания электролита: при 18-25 °C и перемешивании катодная плотность тока составляет 3-3,5 А/дм², при 40-50 °C — 4 А/дм² и при 60-70 °C — до 6 А/дм².

Приготовление электролита производится в следующем порядке. Рассчитанное количество дихлорида олова ($SnCl_2 \cdot 2H_2O$) растворяют в небольшом объеме подкисленной HCl воды, подогретой до 80 °C, и отдельно растворяют рассчитанное для осаждения $Sn_2P_2O_7$ количество пирофосфата калия. При перемешивании в раствор $SnCl_2$ вливают раствор пирофосфата калия, полученный осадок $Sn_2P_2O_7$ отстаивается и его несколько раз промывают горячей водой для отмывки хлорид-ионов. После отмывки осадок растворяется в избыточном количестве пирофосфата калия.

К приготовленному раствору добавляют отдельно растворенный солянокислый гидразин и гидролизированный желатин. Гидролиз желатина производят следующим образом. Набухший в воде желатин (2 г на 70 мл воды) подогревают до кипения, затем добавляют 1,7—2 мл концентрированной соляной кислоты на каждые 2 г желатина и кипятят 1,5—2 мин. Приготовленный горячий раствор желатина добавляют при перемешивании к подогретому раствору электролита, после чего

в него вводят жидкость «Прогресс» и корректируют раствор до $\text{pH} = 8,5$.

При длительной работе ванн лужения вследствие карбонизации (поглощения углекислого газа из воздуха) и корректирования электролита хлоридами олова происходит накопление карбонатов и хлоридов. При содержании их свыше 70 г/л электролиты необходимо заменить новыми. Олово из отработанных ванн извлекают следующим образом. В электролит небольшими порциями вводят соляную кислоту, которая вначале нейтрализует избыток NaOH , а затем осаждает олово в виде оловянной кислоты H_2SnO_3 . Введение HCl следует прекратить, убедившись, что следующие порции кислоты уже не вызывают образования осадка, Избыток HCl недопустим, так как приводит к растворению осадка и переводу его в хорошо растворимое хлорное олово SnCl_4 .

6. Получение оловянного покрытия, легированного висмутом (сплав олово-висмут)

Оловянные покрытия сохраняют способность к пайке непродолжительное время, поэтому для увеличения срока хранения деталей до пайки их подвергают оплавлению.

Установлено, что добавление к электролиту солей висмута приводит к включению его в состав покрытия, которое существенно изменяет свои свойства, Так, содержание висмута в осадке олова от 0,3 до 3,8 % обуславливает возможность весьма длительного хранения деталей (в отдельных случаях до года) без существенного ухудшения способности к пайке с бескислотными (канифольными) флюсами.

Применение покрытия сплавом олово-висмут позволяет отказаться от операции оплавления покрытия, что снижает пожароопасность в цехах, а также дает возможность сократить трудоёмкость процесса лужения. Другим преимуществом покрытия является уменьшение возможности образования при

длительном хранении нитевидных кристаллов (усов), характерных для обычного оловянного покрытия.

Покрытие сплавом олово-висмут может осаждаться в виде матового или блестящего осадка. Состав электролитов приведен в табл. 6.

Таблица 6. Состав электролитов и режим работы

Компонент (г/л) и режим работы	Электролит	
	№ 1	№ 2
Сульфат олова SnSO_4	40-60	35-45
Серная кислота H_2SO_4	100-110	120-140
Сульфат висмута $\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3$	0,8-1,5	0,8-1,5
Хлорид натрия NaCl	0,3-0,8	0,3-0,5
Препарат ОС-20 (марка В)	4-5	4-5
Формалин (40 %), мл/л	-	5-10
Блескообразователь, мл/л	-	5-10
Температура, °С	15-25	15-25
Плотность тока D_k , А/дм ²	1-2	2-4

По этой причине происходит потеря висмута в электролите и в покрытии висмут не обнаруживается. Для исключения подобного процесса аноды в электролите без тока оставлять не следует, необходимо в перерывах между загрузками деталей перевешивать один из анодов на катодную штангу, чтобы электролиз не прекращался. По окончании работы аноды нужно извлекать из ванны.

Уменьшение содержания висмута в осадке чаще всего связано с вышеуказанным явлением, однако если содержание висмута в электролите оказывается в пределах нормы, а в покрытии висмут не обнаруживается, следует добавить 0,1-0,2 г/л хлорида натрия. Сульфат висмута допускается заменять нитратом.

Основные неполадки при работе аналогичны неполадкам сульфатных электролитов лужения.

Электролит № 2 применяется для получения блестящих покрытий сплавом олово-висмут. Блестящие покрытия сплавом олово-висмут особых преимуществ перед матовыми с точки зрения сохранения способности к пайке не имеют. Хорошие декоративные качества этого покрытия и невосприимчивость к образованию пятен от рук рабочих при сборке обуславливают большую перспективность этого покрытия.

Блескообразующая добавка — продукт конденсации уксусного альдегида с ацетоном — в готовом виде не поставляется и готовится в заводской лаборатории по методике представленной ниже.

Присутствие в электролите блескообразующей добавки тормозит реакцию контактного вытеснения висмута оловом, поэтому для данного электролита нет необходимости принимать меры предосторожности, указанные для электролита № 1.

Для электролитов характерно малое содержание висмута, который, будучи более электроположительным, выделяется на катоде на предельном токе, поэтому на количество выделяемого висмута влияют условия электролиза. Так, увеличение плотности тока уменьшает содержание висмута в сплаве. При перемешивании электролита его содержание в сплаве возрастает. Аналогично влияет повышение температуры электролита.

Электролит для получения матовых покрытий готовят следующим образом: в воду при тщательном перемешивании небольшими порциями вводят серную кислоту (плотность 1,84) из расчета 60—80 мл/л. В полученном растворе растворяют среднее рецептурное количество сульфата олова и хлорида натрия. В небольшом количестве электролита растворяют сульфат висмута, взятый в виде сухой соли. Содержимое тщательно перемешивают и вливают в готовый раствор, после чего вводят расчетное количество вещества ОС-20, предварительно растворенного в небольшой порции теплой воды. Электролиту дают отстояться в течение 12 ч, декантируют

в рабочую ванну и прорабатывают в течение трех-четырех часов при плотности тока 0,5—1,0 А/дм². Электролит необходимо корректировать не реже двух раз в месяц по данным химического анализа на содержание олова, серной кислоты, сульфата висмута. Вещество ОС-20 следует добавлять в электролит в зависимости от внешнего вида покрытия. Состав сплава нужно анализировать на образцах-свидетелях не реже одного раза в неделю.

Электролит для получения блестящих покрытий готовят так: в дистиллированную или деионизированную воду приливают, перемешивая, серную кислоту, а затем вводят небольшими порциями сульфат олова, предварительно растворив его. В полученный раствор вводят расчетное количество вещества ОС-20, предварительно растворенного в теплой воде, а затем формалин, хлорид натрия и продукт конденсации. Последним вводят сульфат висмута, взятый в виде сухой соли, для чего растворяют его в небольшом количестве электролита. Раствор тщательно перемешивают. Продукт конденсации готовят следующим образом: для приготовления 1 л продукта смешивают 730 мл ацетона с 330 мл гидроксида аммония (25-процентный раствор аммиака) и 400 мл 50-процентного раствора гидроксида натрия; к смеси в вытяжном шкафу добавляют по каплям, непрерывно перемешивая и охлаждая до 30°C, 400 мл уксусного альдегида.

Ампулы с уксусным альдегидом предварительно охлаждают в холодной воде до 15-18 °С (температура кипения альдегида 22 °С). Альдегид быстро реагирует с раствором гидроксида натрия, и смесь сильно нагревается, поэтому вливать альдегид в посуду, где до этого находился раствор щелочи, нельзя. При добавлении уксусного альдегида к смеси происходит реакция конденсации и образуется продукт коричневого цвета. Через 5—10 мин продукт разделяется на два слоя: верхний — коричневый и нижний — бесцветный.

Бесцветный слой — это раствор гидроксида натрия, который можно использовать вторично.

Верхний слой — нейтрализованный продукт конденсации должен быть светло-коричневым и прозрачным. Отделение продукта конденсации от остального раствора в зависимости от количества приготавливаемого продукта осуществляют с помощью делительной воронки, абонированием или осторожным сливом верхнего слоя в отдельную емкость. Продукт конденсации сохраняют в закрытых бутылках темного цвета.

Электролит следует корректировать не реже двух раз в месяц по данным химического анализа на содержание олова, серной кислоты и сульфата висмута. Формалин, вещество ОС-20 и продукт конденсации необходимо добавлять в электролит в зависимости от внешнего вида покрытия после пропускания тока 15-18 А·ч/л в количестве, равном половине рецептурного. Наиболее часто встречающиеся неполадки при покрытии сплавом олово-висмут приведены в **табл. 7**.

Таблица 7. Неполадки при покрытии сплавом олово—висмут

Характеристика неполадок	Причина
<i>Электролит для матовых покрытий</i>	
Покрытие шероховатое	Высокая плотность тока; электролит загрязнен механическими примесями
Покрытие темно-серого цвета; плохая паяемость	Наличие меди в электролите; высокое содержание висмута
В покрытии низкое содержание висмута	Недостаточное содержание висмута в электролите
Пятнистость покрытия	Плохая промывка деталей
Образование в электролите черной взвеси	Недостаточное содержание хлорида натрия
<i>Электролит для блестящих покрытий</i>	

Покрытие темное	Наличие примесей солей тяжелых металлов
Покрытие матовое	Недостаточное содержание продукта конденсации в электролите
Несплошность покрытия	Недостаточное содержание вещества ОС-20 в электролите
Покрытие блестящее, темное, хрупкое	Повышенное содержание продукта конденсации в электролите
Покрытие темное, пятнистое	Низкая концентрация формалина в электролите

Электролит для получения блестящих покрытий весьма чувствителен к примесям ионов никеля, меди, кадмия, железа, цинка, а также ионов NO_3^- . В присутствии этих ионов покрытие становится матовым. Допустимые концентрации (г/л): никеля – 0,03, меди – 0,4, кадмия – 0,8, железа – 15, цинка – 20, NO_3^- – 0,2.

7. Химическое лужение

Химическое лужение получило применение для покрытия мелких латунных или бронзовых деталей тонким слоем олова для облегчения пайки и защиты их от окисления на период межоперационного хранения или в легких условиях эксплуатации. Толщина покрытий должна быть менее 1 мкм.

Процесс химического лужения является контактным и основан на осаждении олова из раствора его комплексной соли за счет разности потенциалов, возникающей между медной поверхностью и потенциалом выделения олова в растворе для химического лужения. В присутствии тиомочевины потенциал меди значительно смещается в сторону более электроотрицательного значения, что дает возможность осуществления контактного выделения олова. Процесс

химического лужения осуществляется погружением деталей из меди и ее сплавов в раствор.

Состав раствора для химического лужения (г/л) и режим работы следующие:

Дихлорид олова $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	10-20
Тиомочевина $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$	80-90
Соляная кислота HCl , мл/л	15-17
Хлорид натрия NaCl	75-80
Температура раствора, °С	55-65
Продолжительность операции, мин	25-30

Таблица 8. Неполадки при покрытии сплавом олово-висмут

Характеристика неполадок	Причина
Электролит для матовых покрытий	
Покрытие шероховатое	Высокая плотность тока; электролит загрязнен механическими примесями
Покрытие темно-серого цвета; плохая паяемость	Наличие меди в электролите; высокое содержание висмута
В покрытии низкое содержание висмута	Недостаточное содержание висмута в электролите
Пятнистость покрытия	Плохая промывка деталей
Образование в электролите черной взвеси	Недостаточное содержание хлорида натрия
Электролит для блестящих покрытий	
Покрытие темное	Наличие примесей солей тяжелых металлов
Покрытие матовое	Недостаточное содержание продукта конденсации в электролите
Несплошность покрытия	Недостаточное содержание вещества ОС-20 в электролите

Покрытие блестящее, темное, хрупкое	Повышенное содержание продукта конденсации в электролите
Покрытие темное, пятнистое	Низкая концентрация формалина в электролите

Детали, помещаемые в корзинки или на сетки, в процессе нанесения покрытия должны периодически встряхиваться. Раствор корректировке не подлежит, так как обычно рассчитывается на одноразовое использование для покрытия 50 дм² поверхности в 1 л раствора. Этот же раствор используется для так называемого осветления покрытия из сплава олово-свинец на печатных платах после вытравливания меди в растворе персульфата аммония.

Для химического (контактного) лужения стальных деталей используется раствор 2-5 г/л дихлорида олова ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в насыщенном растворе сегнетовой соли ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$). Раствор подогревается до 95-100 °С.

Детали загружаются в оцинкованные корзины и периодически встряхиваются с целью хорошего перемешивания. Продолжительность обработки зависит от величины покрываемой поверхности и может изменяться в пределах от 10 мин до 2 ч. Для нормальной работы раствора необходимо, чтобы на 1 дм² обрабатываемой поверхности приходилось 12-15 мл раствора.

8. Регенерация олова

В связи с высокой стоимостью олова необходимо с забракованных луженых деталей, с обрезков белой жести, с деталей, подвергавшихся частичному азотированию, а также с использованной консервной тары полностью удалять олово для повторного использования его. Наиболее эффективным

способом регенерации олова является электрохимический способ анодного растворения.

Электролитом служат 70-90 г/л каустической соды, нагретой до 60-70 °С. Детали, с которых следует удалять олово, загружают в специальные приспособления в виде прямоугольных каркасов, обтянутых стальной проволочной сеткой. В качестве катодов применяют стальные листы. Для электрохимического растворения олова можно использовать обычные щелочные электролиты, состав которых приведен в п. 4.

Растворение анодного олова осуществляется по режимам щелочного лужения. В начале электролиза (когда электролитом служит раствор каустической соды) олово с деталей переходит в раствор, а на катодах выделяется водород. После накопления олова в электролите на катодах осаждается олово в виде губчатого осадка, так как при электрохимической регенерации практически невозможно обеспечить режим анодного процесса, при котором происходит растворение с образованием четырехвалентного олова.

Губчатый осадок олова периодически счищают стальными скребками в ванне с проточной водой, где он хранится на дне ванны до тех пор, пока не накопится достаточное количество для дальнейшей обработки. Промытый осадок олова закладывает в стальную форму и прессуют под давлением 300 атм, после чего полученные брикеты сушат при 100-110 °С и расплавляют в графитовых тиглях.

При регенерации олова с латунных деталей цинк, попадающий в электролит в виде цинката, оседает на катоде и загрязняет губчатый осадок олова. Для очистки от примесей цинка осадок обрабатывают 15-20-процентным раствором соляной кислоты, которая растворяет цинк в выделении газообразного водорода. После прекращения газовыделения, осадок несколько раз промывают теплой водой и затем подвергают дальнейшей обработке [3].

9. . Экспериментальная часть

Цель работы:

Ознакомление в лабораторных условиях с процессом лужения и изучение влияния плотности тока на напряжение электролиза, выход продукта по току и на удельные затраты электроэнергии.

9.1 Схема установки

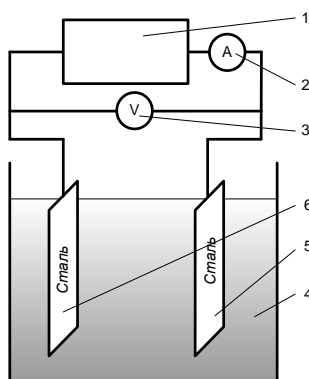


Рис. 9.1. Схема лабораторной установки:

1 – блок питания; 2 – амперметр; 3 – вольтметр; 4 – ячейка с электролитом; 5 – стальной анод; 6 – стальной катод

9.2 Применяемые реактивы и растворы

Для приготовления раствора электролита используют:

- Хлорид олова кристаллогидрат $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
- Соляная кислота HCl ,

- Фторид натрия NaF.
- Хлорид натрия NaCl
- Желатин

Количества реагентов, необходимые для приготовления 1000 мл электролита:

- ✓ Хлорид олова $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 50 г
- ✓ Соляная кислота HCl – 1 г,
- ✓ Фторид натрия NaF – 50 г,
- ✓ Хлорид натрия NaCl – 7 г,
- ✓ Желатин – 1 г,

Для приготовления электролита большего объема количества реагентов кратно умножаются.

9.3 Порядок выполнения работы.

Навеску олова $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 50 г растворяют в теплой подкисленной ($C_{\text{HCl}} = 1$ г/л) воде во избежание гидролиза SnCl_2 . Объем воды 500 мл. Затем в полученный раствор добавляют 7 г. хлорида натрия NaCl. В это же время в другой ёмкости на 500 мл. растворяют 50г фторида натрия NaF. Нерастворенный NaF также заливают в электролизер. Полученные суспензии смешивают.

В электролизную ванну наливают электролит, содержащий хлорид олова ($C_{\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 50$ г/л), фторид натрия ($C_{\text{NaF}} = 50$ г/л), хлорид натрия ($C_{\text{NaCl}} = 7$ г/л), и соляную кислоту ($C_{\text{HCl}} = 1$ г/л) и устанавливают предварительно взвешенные катодные основы так, чтобы уровень электролита был ниже точки токоподвода на 8-10 мм.

Расчет силы тока электролиза в опытах проводят в интервале плотности тока от 2-3А/дм². Для проведения расчета предварительно измеряют площадь поверхности каждого анода, с учетом того, что только часть анода будет опущена в электролит. Напряжение между электродами выставляют в диапазоне 2-2,5В. кислотность раствора (рН) должна составлять

3-4. для корректировка используют NH_4OH и лакмусовую бумажку.

Температура процесса электролиза 20-25 °С.

Электроды взвешивают через каждые 30 мин проведения электролизав течение 2 часов. Определяют скорость электролиза (по увеличению массы катода) в зависимости от времени.

Перед взвешиванием катоды с осадком промывают, обсушивают фильтровальной бумагой, а затем досушивают в тепле (в сушильном шкафу при $t = 50\text{ }^\circ\text{C}$).

Выход по току металла рассчитывают по уравнению:

$$B_T = \frac{m_{Sn}}{q_{Sn}} \cdot I \cdot \tau,$$

где m_{Sn} – масса осадившегося металла, г;

$$m_{Sn} = m_2 - m_1,$$

m_2 – масса катода после опыта, г;

m_1 – масса катода до опыта, г;

I – сила тока, А;

τ – время электролиза, ч;

q_{Sn} – электрохимический эквивалент, г/А·ч;

Результаты эксперимента заносят в табл. 2.

Таблица 2. Результаты эксперимента

№ п/п	I, А	i, А/м ²	U _{эл.} , В	τ, час	W _э , выход по энергии, Вт·ч/кг	Вт, %
1						
2						

10. Оформление отчета

Отчет по электроэкстракции марганца должен содержать:

- а) цель работы;
- б) краткое описание основных процессов, протекающих в ходе выполнения работы;
- в) схему установки;
- г) порядок выполнения работы;
- д) электродные и суммарные реакции;
- е) таблицу экспериментальных результатов;
- з) результаты эксперимента, представляются таблицей и зависимостями $m = f(t)$, $V_T = f(t)$;
- и) краткий вывод по результатам эксперимента.

Литература

1. Ильин В. А. Цинкование, кадмирование, лужение и свинцевание. Изд. 4-е, перераб. и доп. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1977. – 96 с.
2. Алабышев А.Ф., Вячеславов П.М., Гальнбек Л.А. и др. Прикладная электрохимия. Л., «Химия», 1974. – 535 с.
3. Пурин Б. А. Электроосаждение ряда металлов из комплексных (нецианистых) электролитов. ЛДНТП, 1975. – 46 с.