

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ СВИНЦА И ЦИНКА ИЗ ИХ СУЛЬФИДОВ

Н. А. Изгарышев и Н. К. Григорьев

Гинзветмст. Москва

1. Выделение свинца

Задача получения чистого свинца из расплавленных сред в лабораторном масштабе была разрешена до настоящего времени лишь в случае электролиза хлористого свинца. Еще со времени классических опытов Лоренца известно, что из этой весьма электропроводной соли с помощью электрического тока можно выделить свинец без особых затруднений, особенно в присутствии хлористого натрия.

Этот способ однако едва ли мог бы получить общее прикладное значение, так как хлористый свинец является продуктом довольно дорогим. Поэтому мы решили попытаться найти метод электролитического получения свинца непосредственно из его сульфидов, т. е. тех природных соединений, в виде которых он добывается. Так как температура плавления PbS — $1120^\circ C$ слишком высока, чтобы можно было думать об удобном способе электролиза сульфида в индивидуальном виде, то мы сперва занялись подбором веществ, в расплаве которых мог бы идти электролиз сульфида.

Для первых ориентировочных опытов мы избрали в качестве растворителя тот же хлористый свинец. Эвтектическая смесь состоит из 78 мол. процентов $PbCl_2$ и 22 мол. процентов PbS и имеет температуру плавления 442° . Мы производили электролиз при несколько большей температуре, т. е. при 485° . В качестве электролизера был применен фарфоровый тигель с угольными электродами. Интересно отметить, что разряду на катоде подвергались лишь ионы серы, так как последняя, появляясь на аноде, сгорала с образованием сернистого газа; выделения же хлора заметно не было. На катоде образовывался свинец в виде мелких корольков, частично рассеиваясь по электролиту в виде металлического тумана. Прибавление в расплав хлористого калия (до 48%), устраняя туман, все же не создавало возможности получать на катоде свинец в виде единого слитка, вследствие чего не был осуществим подсчет выхода по току и по материалам.

При введении в расплав хлористого натрия вместе с хлористым калием, в количестве до 7,4 вес. процентов, и PbS — 6,5 вес. процентов, электролизующий ток с катодной плотностью $0,39 A/cm^2$ выделял свинец в виде сплошного единого слитка с выходом по току 84,2%.

Также не плохие результаты нами были получены при электролизе расплава из 71% $PbCl_2$, 12,5% KCl и 16,5% $NaCl$ в присутствии 2,45—10% (по отношению ко всей смеси) сернистого свинца, причем выделение серы на аноде указывало на то, что электролизу подвергался собственно сернистый свинец.

При электролизе сплава сернистого свинца с сернистым натрием, в среде которого PbS хорошо растворяется, при содержании его от 13 до 80%, свинец на катоде не осаждался.

Из расплавов хлоридов кальция и калия в присутствии PbS на катоде получался сплав свинца с большим количеством кальция.

Изучая расплав, состоящий из хлоридов свинца, натрия и калия с некоторым количеством сернистого свинца, мы пришли к выводам, что хлористый свинец является лишним в этой ванне и что возможно получать свинец из естественного сульфида в расплаве одних лишь хлористых натрия и калия. Результат первых опытов был столь обнадеживающий, что мы обратили особенно внимание в дальнейшем на изучение именно этой системы.

Электролиз в расплаве $\text{NaCl} + \text{KCl}$

Ведя исследования в лабораторном масштабе, мы приняли следующую методику.

Электролизером служил фарфоровый тигель (емкостью в 350 мл), помещаемый в криптольную печь для получения желаемых температур. Катодом была угольная круглая пластинка, помещенная на дне тигля, к которой электродоток подводился с помощью угольного стерженька, изолированного фарфоровой трубкой в части, соприкасающейся с расплавленным электролитом (рис. 1). Угольный стержень, служащий анодом, спускался сверху: общий вид установки изображен на рис. 2.

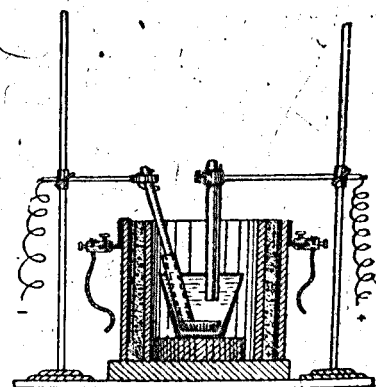


Рис. 1. Эскиз ванны для получения металлического свинца

В качестве материалов применялись химически чистые хлористый натрий и хлористый калий, смешиваемые в количестве 50 молек. процентов каждый (44 г NaCl и 56 г KCl); при первых опытах в смесь вводился сернистый свинец, приготовляемый из чистого металлического свинца и большого избытка серы, при последующих же экспериментах был использован флотационный концентрат природной руды с Мизурской обогатительной фабрики.

Содержание свинца в синтетическом сульфиде всегда получалось, несмотря на избыток взятой серы (300%), равным 87,3%, т. е. больше 86,60% или того числа, которое соответствует формуле PbS . Таким образом в условиях наших опытов повидимому образовалось некоторое количество гипотетического сульфида одновалентного свинца.

Первые опыты были направлены к установлению взаимоотношения между сульфидом свинца и расплавом хлористого натрия с хлористым калием, так как оно не могло быть выяснено по литературным источникам за отсутствием каких бы то ни было данных.

Обычная диаграмма плавкости, получаемая методом измерения температуры с помощью пирометра (термопара $\text{Pt} - \text{Pt-Rh}$) для расплава химически чистых хлористых калия и натрия дает эвтектическую точку при 664° , но минимум

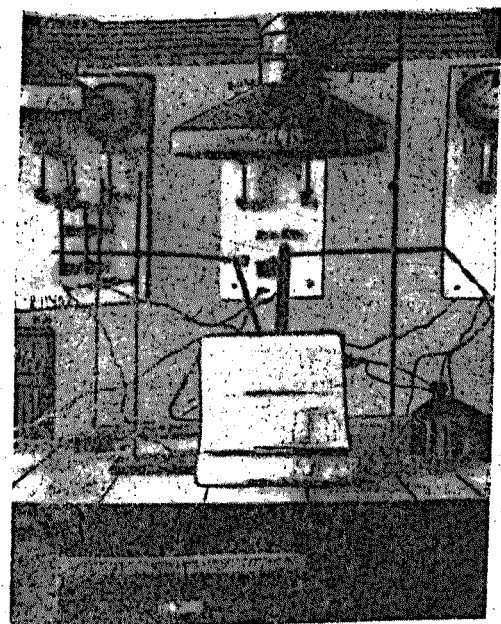


Рис. 2.

т. пл. технических солей устанавливался при 655° .

При введении в расплав сульфида свинца (синтетического и в виде концентрата) в любых количествах, минимум температуры плавления не изменялся, вследствие чего приходится принять, что сульфид находится повидимому в су-

спендированном состоянии. Гетерогенность расплава обуславливает все особенности метода работы с изучаемой расплавленной средой.

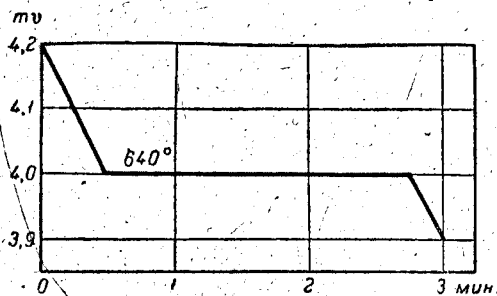


Рис. 3. Температура плавления

NaCl—50% мол.
KCl—50% мол.

Опыты с синтетическим сульфидом свинца

Сульфид загружался в совершенно прозрачный расплав солей, вследствие чего представлялась полная возможность следить за распределением сульфида в расплаве. В начале опыта на аноде выделялся хлор, заменяемый через некоторое время серой, о появлении которой сигнализировали желтые огоньки горящего металлоида и выделение сернистого газа. В случае регулярного введения сульфида на место использованного, при электро-

токе не наблюдалось анодных эффектов и напряжение на клеммах, а также и сила

Хотя было совершенно ясно, что свинец выделяется на катоде в результате электролиза, мы все же убедились специальными опытами в отсутствии каких-либо сопровождающих не электрохимических реакций.

Так, можно было подозревать, что при температуре расплава сернистый свинец непосредственно восстанавливается углеродом электродов. Однако это опасение не подтвердилось, так как в отсутствии тока никакого выделения свинца в электролизере с теми же угольными электродами и при той же температуре не наблюдалось, несмотря на многочасовую продолжительность опытов.

Нельзя было также заранее отрицать возможности растворения в расплаве свинца, весьма склонного при некоторых условиях образовывать металлический туман. Такого осложняющего процесса однако тоже не обнаружилось, несмотря на длительное пребывание свинца в расплаве солей (4 ч.)

Таким образом было доказано, что наблюдаемый процесс осаждения свинца имеет электрохимический характер. При дальнейшем исследовании мы обратили внимание на внешние качественные признаки выделяемого металла при различных условиях, на изменения выходов по току и на полноту выделения свинца в зависимости от катодных и анодных плотностей тока, температуры, количества прибавляемого сульфида и времени, протекшего от начала электролиза.

Для установления определенной катодной плотности тока d_k мы создавали такую поверхность катода, которая бы не слишком резко менялась при накоплении на нем расплавленного свинца. Для этой цели дно тигля вместе с угольным круж-

ТАБЛИЦА 1

Катодная плотность тока

№ оп.	Средний ампераж	Продолж. опыта в часах	Первонач. содерж. PbS в процентах	Всего PbS	Анодн. d	Катодн. d	Получено металла в г	Выход по току в процентах
127	9,8	3,5	20	212	1,4	0,5	137	104,9
129	9,8	3,5	20	212	1,4	0,5	138,4	106,2
133	11,7	3,5	20	245	1,3	0,93	154	99,1
135	11,8	3,5	20	245	1,3	0,93	156	99,8

ком — катодом заливалось перед опытом известным количеством свинца, так что осаждение шло на свинцовых поверхностях более или менее определенной площади. Анодная плотность тока d_a изменялась в зависимости от различия поверхностей анодов.

Выход по току мало изменялся при изучаемых нами плотностях тока d_k от 0,3—0,5 А/см², превосходя при этом 100%, но понижался при дальнейшем повышении катодной плотности тока, как это видно из табл. 1, которая дает понятие об электрических показателях при данном процессе (t° — около 700°).

Превышение 100% выходами по току объясняется участием в процессе наряду с двухвалентными ионами также одновалентных ионов, что должно иметь место, отчасти по причине нахождения одновалентного свинца в синтетическом сульфиде, отчасти вследствие особенностей катодного процесса, которые еще не представляются достаточно понятными.

Изменения анодной плотности тока от 1 до 1,50 А/см² не влияет практически на выход по току (~104%), который однако повидимому несколько уменьшается (~92%) при повышении d_a до 1,8 А/см², что, может быть, объясняется анодным окислением одновалентного свинца до двухвалентного при повышенной d_a .

Количество сульфида свинца, введенного как перед опытом, так и в течение его, тоже не остаётся без влияния на выход по току, даже когда сульфид вводится в количествах больших, чем это требуется по расчёту (4,46 г на 1 амперчас) для компенсации убыли свинца во время электролиза.

Так, в случае общего количества сульфида — 102 г при электролизе в течение 3,5 часов, средний выход равен 88%, между тем как при наличии 138 г, выход повышается до 104% ($t^\circ = 701—780$; d_k 0,3 А/см²). Количество использованного свинца конечно уменьшалось при повышении содержания PbS. Изменение температуры в пределах от 700 до 804° не оказывало заметного влияния на выходы, но нагревание до 860° понижало их очень значительно. Возможной непосредственной причиной понижения выхода было то, что при этих условиях повидимому уменьшалось поверхностное натяжение у жидкого свинца, и он распределялся в расплаве отдельными мелкими включениями, между тем как при более низких температурах свинец всегда обнаруживался в виде одного сплошного королька и слитка. Диспергирование свинца в расплаве делало недостоверными результаты определения веса полученного металла.

ТАБЛИЦА 2

№ оп.	Средний вольтаж	Средний ампераж	Продолж. опыта в час.	Плотности тока амперы на см ²		Первоначальные загрузки		Общее количество сульфидов в г		Получено металла в г	Выход по току в процентах	Содержание в металле цинка
				аноды d	катоды d	PbS в процентах к электр.	ZnS в процентах к PbS	PbS	ZnS			
141	6,5	9,5	2	1,34	0,6	20	10	119,6	11,8	74	102,5	—
142	6,4	9,5	4	1,34	0,6	20	10	244,4	24,1	167	116	—
143	6,0	9,5	3,75	1,34	0,6	20	10	244,4	24,1	140	103,5	—
144	6,0	9,5	3	1,34	0,6	20	22	230,8	50,9	125	115,4	—
145	5,5	9,5	3,75	1,34	0,6	20	22	230,8	50,9	138	102	—
150	5,1	9,5	3	1,34	0,6	20	35	188	69	110	101,6	—
151	4,5	9,5	4	1,34	0,6	20	35	229	84	144	99,9	—
152	5,2	9,5	2,75	1,34	0,6	20	56	188	105,4	72	72,6	—
153	6,4	9,5	4	1,34	0,6	20	56	229	128,4	109	75,4	2,66

Влияние примесей

Чтобы подготовить переход наших исследований к использованию природного обогащенного сырья, мы изучали течение электролиза при условии введения в наш обычный расплав самых обычных примесей к природному сульфиду свинца, т. е. кремнезема и сернистого цинка. Малые примеси кремнезема (1—2% по отношению к PbS) не влияли заметным образом на ход электролиза, но повышение концентрации SiO_2 до 10% сопровождалось при долговременном электролизе (часов 12) образованием на дне вязкого аморфного осадка, причем наблюдалось также снижение выхода по току до 52,4—84,5%. При анализе катодного свинца в нем не было обнаружено кремния, но лишь обычная примесь K и Na в количестве 0,022%. Чтобы парализовать нежелательные влияния кремнезема, к расплаву был прибавлен криолит, обладающий способностью переводить кремнекислоту в раствор, причем однако оказалось, что присутствие криолита в количестве 1% несколько снижает выход по току; при наличии 5% выделение свинца почти совсем прекращается.

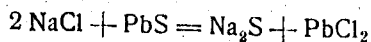
Результаты изучения влияния сернистого цинка показаны на табл. 2, из которой видно, что при условии небольших количеств примеси цинка он не осаждается на катоде; однако по достижении примеси 56% по отношению к сульфиду свинца цинк начинает появляться в катодном осадке и вызывает снижение выхода по току.

Теоретические соображения

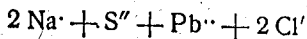
Для того чтобы выяснить механизм электролиза нашего расплава, мы должны подчеркнуть следующие особенности процесса: сернистый свинец не растворяется в расплаве хлоридов; в начале электролиза анодный процесс состоит в выделении серы и лишь по прошествии времени около часа заменяется выделением серы, окисляющейся до SO_2 ; осаждение свинца при этом происходит почти с самого начала.

Для объяснения процесса в целом можно представить себе следующие варианты.

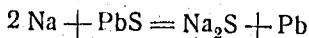
1. При непосредственном взаимодействии сульфида с хлоридами образуются хлористый свинец и сернистый натрий, и таким образом появляются в растворе катионы свинца, разряжающиеся на катоде, а также анионы серы, выделяющиеся на аноде по схеме:



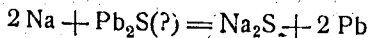
т. е. продуктами процесса являются:



2. Первичным продуктом электролиза является натрий, который вторично действует на взвешенный сульфид свинца у самого катода и выделяет металлический свинец по уравнению:



и, может быть,



Предположение о непосредственном разряде на катоде катиона свинца из взвешенного сульфида не представляется достаточно вероятным.

Для того чтобы решить в пользу какой-либо схемы электродных процессов, мы поставили специальные опыты с аппаратом — электролизером, изображенным на рис. 4 и отличающимся от ранее описанного тем, что в нем анодное пространство отделено перегородкой таким образом, что она, не препятствуя прохождению электротока и следовательно ионов, не позволяет суспензии сульфида передвигаться из анолита к католиту. Если, пользуясь этим прибором, вводить сульфид

в анодное пространство, то должно ожидать следующих явлений в случае применимости первой схемы. Если бы сульфид свинца образовывал на аноде ионы Pb^{++} то они должны бы при прохождении электротока двигаться на катод и давать на нем в результате разряда металлический свинец, обладая много меньшей упругостью разложения, чем ионы натрия.

Однако непосредственные эксперименты показывают, что при таких условиях выделение свинца на катоде не происходит, а потому приходится принять вторую схему, согласно которой присутствие сульфида у катода совершенно необходимо для того, чтобы происходило выделение свинца образующимся металлическим на-

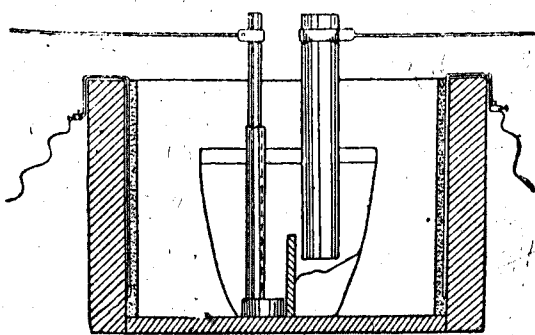


Рис. 4.

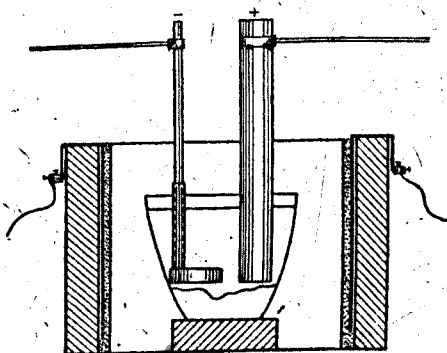


Рис. 5.

трием, обладающим согласно электролитическому ряду напряжений большей упругостью растворения, чем свинец. С точки зрения этой схемы представляется также вполне понятным то, что в начале электролиза на аноде выделяется только хлор вследствие отсутствия других анионов; после того же как в результате реакции вытеснения образуются сернистый натрий и следовательно ионы серы, начинает преобладать именно процесс выделения последней. Наше теоретическое объяснение подтверждается также следующим опытом, проведенным в аппарате, изображенном на рис. 5.

На этот раз сульфид был помещен на дне тигля вне соприкосновения с катодом; катод же был расположен очень удобно для качественных наблюдений.

При электролизе свинец не образовывался вследствие отсутствия контакта натрия с PbS , но выделялся лишь один натрий, впитываемый угольным катодом и его разрушающий. При замене угольного катода железным образующийся натрий всплывал на поверхность расплава и вспыхивал характерными желтыми огоньками.

Мы наблюдали также то, что в начале электролиза выходы по току выражаются меньшими числами, чем после продолжительного ведения процесса, когда они начинают превышать 100% (до 116%). Это обстоятельство, вероятно, объясняется тем, что катодный процесс вначале состоит не только в выделении металлического свинца, но и в восстановлении двухвалентного металла до одновалентного. Повышение выходов следовательно вызвано тем, что при разряде закисных ионов Pb^+ один фарадей электричества выделяет не половину граммота, а целый граммот свинца.

Электролиз с применением селективного свинцового концентрата

Изучаемые нами обогащенные сульфиды имели следующий химический состав, представленный на табл. 3, которая показывает нам, что в данном случае мы имеем дело со сложным электролизом в присутствии соединения многих металлов и кремнезема.

Прежде всего нужно было установить, как влияет прибавление концентрата в целом на диаграмму плавкости смеси хлоридов. Согласно произведенным экспериментам введение в расплав концентрата не влияет на его эвтектическую точку, что указывает на нерастворимость примесей или по крайней мере тех из них, которые находятся в большем количестве.

ТАБЛИЦА 3

Вещество	% сод.
Pb	64,96
S	16,26
Cu	0,42
Si	1,01
Fe	3,29
Zn	6,08
Al ₂ O ₃	0,17

При исследовании концентратов наибольшее значение имели опыты большой продолжительности (до 63 час.) при условиях, позволявших изучать состав осаждаемого металла и выхода по току в определенные этапы процесса электролиза.

Изъятие катодного металла для взвешивания и анализа по окончании каждой определенной стадии процесса (смены) производилось следующим образом. По выключении тока угольный катод извлекался из расплавленной массы. По затвердевании ее извлекался свинец, от которого после взвешивания отрезалась небольшая часть для анализа; оставшийся свинец вводился в качестве катода для дальнейшего электролиза, между тем как уже бывшая в работе смесь хлоридов давала расплав, в который вносилась новая порция концентрата с таким расчетом, чтобы запас сульфида свинца вполне мог бы покрыть его убыль в расплаве при электролизе за следующий отрезок времени. При работе с концентратом сильно сказалось неблагоприятное действие повышения температуры, примерно выше 790—800°, так как при этих условиях замечались спекание концентрата и осаждение его на дно, вызывавшее уменьшение выходов по току.

ТАБЛИЦА 4

№ оп.	Средний вольтаж	Продолж. опыта в час.	Темп. в °С	Начальная за- грузка концен- трата в проц. к электролизу	Плотность тока, амперы на см ²		Загрузка кон- центрата в г	Добавка хло- ридов в г	Получено ме- талла в г	Выход по току в проц.
					анодн. <i>d</i>	ка- тодн. <i>d</i>				
72	4	4	740	10	0,57	0,14	82	—	36	59
72/74	4,3	4,5	721—749	—	0,62	0,15	51	81	32	49
72/76	4	5,25	722—740	—	0,57	0,14	63	—	27	34
72/78	4	4,75	740—768	—	0,57	0,14	42	81	40	55,4
72/80	4	5,5	740—749	—	0,57	0,14	63	81	67	80,1
72/82	4	5,25	740—768	—	0,57	0,14	63	81	28	35,1
72/84	4,5	5,5	740—758	—	0,64	0,16	84	81	25	30
72/86	4	5,75	740—758	—	0,57	0,14	42	81	37	40
72/88	4,5	5	740—758	—	0,64	0,16	105	39	34	45
72/90	4,3	5,25	740—768	—	0,621	0,15	84	162	47	56
72/92	4	4,75	740—768	—	0,57	0,14	21	—	28	40

В табл. 4 приведены условия электролиза и величины выхода довольно значительные, но подверженные колебаниям, не имеющим закономерного характера, что объясняется гетерогенностью системы: сульфид — расплав. Средняя затрата энергии на килограмм свинца 2,4 кВт. Процент извлечения свинца из прибавляемого концентрата равен 85%, так как количество свинца, введенного в расплав, равнялось 524 г, а осажженного на катоде—443 г. О степени чистоты свинца по анализам в различные смены можно судить по табл. 5.

Одни проверочные опыты производились с концентратом безо всякой обработки, другие после его размалывания, причем те и другие не дают существенно различных результатов.

Так как опыты с применяемым концентратом дали весьма обнадеживающие результаты, делающие вероятной пригодность электрохимического метода для прак-

ТАБЛИЦА 5

Время электролиза в час.	% Na	% Cu	% Zn	% Fe	% Si
18,5	0,08	0,43	0,3	0,23	нет
45,5	0,038	0,42	0,14	0,14	нет
50,75	0,038	0,38	0,17	0,30	нет
63,25	0,046	0,16	0,10	0,09	нет

тических целей, то были сделаны специальный электролизер и печь на 150 А для проведения укрупненных экспериментов. Схематический разрез аппарата представлен на рис. 6.

Электролиз сернистого свинца и концентрата в едком натре

При изучении диаграмм плавкости для синтетического сульфида и концентрата в едком натре было установлено, что сульфиды растворяются в расплаве, причем прибавление 15—20% PbS понижает т. пл. NaOH до 265° (рис. 7 и 8); несколько более сложные кривые для концентрата также указывают на растворимость его главных составных частей.

Электролиз в данной гомогенной среде представляет большой теоретический интерес, так как позволяет сравнить характер течения двух процессов выделения свинца при условии, когда в одном случае Pb находится в виде иона Pb^{2+} растворенного сульфида, а в другом случае в составе взвешенного сульфида. С прикладной точки зрения электролиз в едком натре интересен потому, что

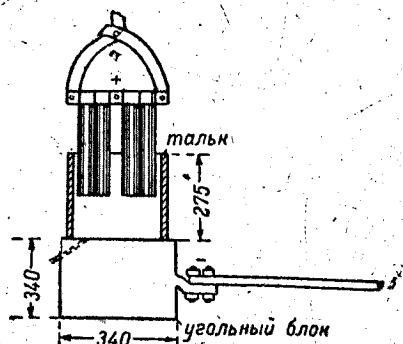


Рис. 6.

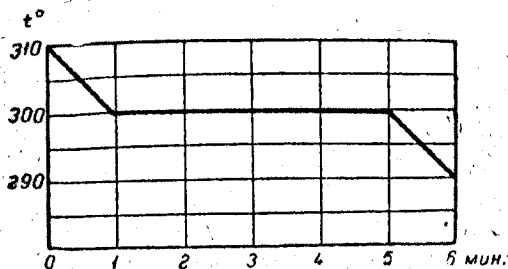


Рис. 7. Температура плавления NaOH

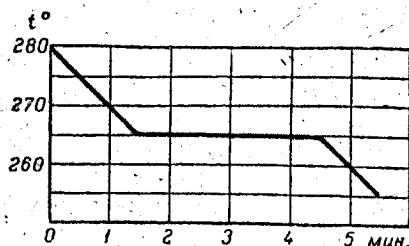


Рис. 8. Температура плавления NaOH—34 г PbS—15%

делает возможным работу при значительно более низкой температуре. Первые опыты по электролизу были проведены в вышеописанном лабораторном электролизере. При напряжении 3 В продолжительности опыта 3,5 ч., при расходе концентрата 112 г было получено 65 г металла с выходом по току 81,4%.

Процесс электролиза протекает весьма гладко без анодных эффектов, и в настоящее время нами продолжаются опыты с целью дальнейшего изучения механизма процесса, а также возможности его практического использования.

II. Электроосаждение цинка

Для получения металлического цинка был использован также расплав хлоридов натрия и калия с добавлением синтетического сернистого цинка и его концентрата.

Полученные диаграммы плавкости показали, что сульфид цинка, так же как и PbS , не растворим в выбранном нами сплаве; опыты же электролиза сразу привели к установлению возможности получать металлический цинк на катоде в виде сплошного слитка в присутствии ZnS .

Весь ход электролиза совершенно напоминает то, что было наблюдаемо при электровыделении свинца: на аноде сперва начиналось образование хлора, на смену которого затем выделялась сера, сгорающая до сернистого газа; на катоде же осаждался цинк, очевидно, при действии на сульфид первично выделяемого натрия, следы которого на катоде часто давали о себе знать.

Условия, при которых шло осаждение, мало отличались от имевших место для сульфида свинца: они приведены на табл. 6.

ТАБЛИЦА 6

№ оп.	Средний вольтаж	Средний ампераж	Продолж. опыта в час	Темп. в °C	Плотность тока в амперах на cm^2		Введено ZnS в г	Получено металла в г	Выход по току в проц.
					анодн. d	катодн. d			
197	6,6	7	2,25	720	2,2	0,44	120	13,5	70
269	5,5	3,5	3,5	—	1,1	0,22	74	8	55,2
214	6,2	10	3,5	—	1,4	0,51	112	32	77,6
218	6,5	10	2,75	—	1,4	0,51	123	30,5	91
219	6,5	10	3	746	1,4	0,51	102	30	83,8

Опыты по детальному изучению выделения цинка продолжаются.

В заключение следует упомянуть, что последние опыты по электролизу медного концентрата (сульфид меди) в том же расплаве хлоридов показали возможность выделения электролитической меди в виде хорошо образованных кристаллов.

III. Главные выводы

1. Изучены различные расплавленные среды для растворения сульфидов свинца, цинка и их концентратов, продуктов флотационного обогащения руд, а также сульфида меди.

2. Показано, что наиболее благоприятные условия для осаждения свинца из PbS имеются налицо в расплаве из 50 мол. процентов хлорида натрия и того же количества хлорида калия; хорошие результаты получаются также при введении PbS в расплавленный едкий натр. Металлический цинк осаждается на катоде из ZnS , взвешенного в расплаве KCl и $NaCl$.

3. Установлено, что сульфиды свинца и цинка не растворимы в расплаве хлоридов, но образуют суспензии; в едком натре PbS растворяется.

4. Наблюдаемые факты приводят к следующему наиболее вероятному объяснению явлений. В расплавах хлоридов первичным катодным продуктом является металлический натрий, который вторично выделяет свинец и цинк из их суспензий расплавах.

5. Изучено влияние температуры, количества вводимого PbS , примесей, электрохимических показателей на выход по току и на чистоту осадка.

6. Было показано, что метод осаждения свинца из расплава хлоридов вполне применим для использования свинцовых концентратов, из которых легко без

анодного эффекта получается довольно чистый ($\sim 99,60\%$) свинец со средним выходом $50-60\%$, при длительном ведении процесса. Средняя затрата энергии $2,4 \text{ kWh}$ на килограмм.

7. Опыты по электролизу PbS в расплаве хлоридов продолжаются с укрупненным электролизером на 150 A .

8. Продолжается изучение в лабораторном масштабе электроосаждения цинка из хлоридов и свинца из расплавленного едкого натра, а также более углубленное изучение катодного и анодного процессов при электролизе PbS , ZnS и CuS в смесях хлоридов.