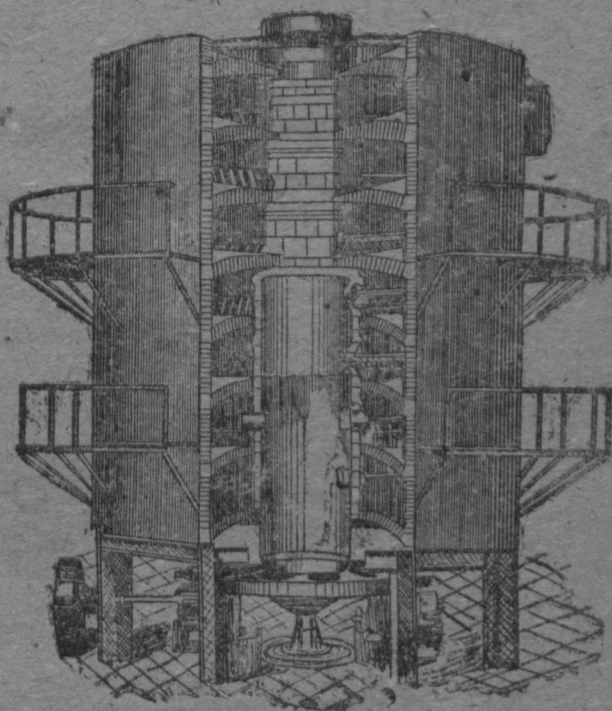


22
267

В. И. Б у я н о в

Производство с в и н ц а



ОГИЗ 1933
Уральское областное
государственное издательство
Свердловск—Москва

В. И. — Б У Я Н О В

опб
Хэ
бу-997

Производство с в и н ц а

п о д р е д а к ц и е й
доцента уральского института
цветной металлургии
а. л. ц е ф т

уральское областное
государственное издательство
С в е р д л о в с к — М о с к в а

1933 г.

ГОС ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР

222 $\frac{9}{69}$

$\frac{1}{25254}$

33-44555
~~17 28255~~ пр 427.

Ответственный редактор:
И. Н. Богачев

Конструктор книги:
Б. Новиков

Сдано в производство: 4-11-33 г.
Подписано к печати 20/VI 33 г.

Уралобллит В—19. Уралогиз—773. Индекс V—Нт. Формат
бумаги 82 x 110/32. Бумажных листов—3. Формат набора:
6¹/₂ x 10¹/₂ кв. Печатных листов—6. Знаков в печатном листе—
41954. Тираж 4000.

Свердловск. Типография Огиза треста Полиграфкнига.
Заказ № 293.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Наша специальная литература чрезвычайно бедна и особенно бедна популярными книжками для рабочих производственников. В этом отношении на последнем месте стоит металлургия свинца. Книжка тов. Буянова должна значительно пополнить этот пробел. Она будет пригодна и для рабочего самообразования и для кружков по повышению квалификации и, кроме того, может служить пособием при изучении металлургии свинца в школах ФЗУ и техникумах. Недостающие в книге химические формулы без особого труда могут быть пополнены преподавателем этого предмета.

Книга окажется весьма полезной и для студентов втузов, где проходится краткий курс металлургии свинца с общеобразовательной целью. Но и для студентов, специализирующихся в области металлургии цветных металлов, эта книга даст возможность ознакомиться, и правильно ознакомиться с началами металлургии свинца.

В общем книга должна найти широкий круг читателей, тем более, что она имеет ряд таких достоинств, как последовательность и полнота изложения, сравнительная простота и ясность выражений.

Нужно только отметить некоторую непропорциональность глав, так напр., рафинирование и получение металла Доре описаны сжато, сравнительно мало иллюстраций, мало таблиц и цифр. Но эти недостатки незначительно уменьшают полезность книги для рабочего читателя, занятого на производстве, где он может видеть в натуре аппаратуру, а таблицами для него будут служить отчеты о работе завода, анализы химических лабораторий и доски учета соцсоревнования и ударничества.

А. Л. Цифт

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Глава I Состояние свинцовой промышленности	5
„ II Свинцовые руды и способы их металлургической переработки	11
„ III Обжиг свинцовых руд	33
„ IV Плавка свинцовых руд в шихтных печах	65
„ V Рафинирование свинца	83

Глава I

СОСТОЯНИЕ СВИНЦОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

§ 1 Краткий очерк истории свинца

Уже в глубокой древности человек умел добывать свинец. Раскопки, произведенные на местах становищ древних племен, на местах городов исчезнувших народов, и найденные там предметы, орудия, утварь позволяют сделать предположение, что свинец известен и добывается человеком около 10.000 лет.

Такое раннее производство свинца можно объяснить тем, что иногда свинец попадает в самородном состоянии в виде зерен, и вытопить свинец, благодаря его легкоплавкости, не представляет особых затруднений. Достаточно указать на то, что богатые самородные месторождения свинца в Новой Испании (Америка) были открыты в результате лесного пожара, когда под слоем золы были найдены слитки и капли вытопившегося самородного свинца.

Добыча свинца в древности производилась из так называемых окисленных свинцовых руд, в простых печах, выложенных из естественного камня, и зачастую расположенных на месте добычи руды, на склоне горы, — при чем воздух, необходимый для плавки руды, засасывался естественной тягой. В дальнейшем развитии металлургии свинца воздух стал подаваться при помощи мехов. Полученный свинец сплавляли с оловом — получая баббит, который шел на изготовление оружия, предметов украшения, денег и домашней утвари.

В более позднюю эпоху научились отделять при плавке свинца серебро, которое является частым спутником свинца в рудах.

Так например, римляне из испанских свинцово-серебряных руд путем трейбования получали значительное количество серебра, пополнявшего государственную казну.

По количеству добытого ими серебра, и зная средний процент серебра в свинцовой руде, можно приблизительно судить о том, какое количество свинца было получено в то время. Но определенных, достоверных сведений об этом периоде добычи свинца нет.

Первые письменные сведения о свинце дал Агрикола, ученый, написавший в 1556 году книгу, в которой описываются способы обработки и добычи свинца, и других металлов, имевших место в его эпоху. Но все же можно сказать, что до начала прошлого столетия металлургия свинца не имела большого распространения. Лишь с 1800 г., в связи с развитием капитализма, начинается усиленное развитие

цветной металлургии, в том числе и металлургии свинца. Мирская добыча свинца достигла к настоящему времени больших размеров, как это видно из прилагаемой таблицы 1.

Таблица 1

Мировая добыча свинца (в тыс. тонн)

Годы	1907	1913	1914	1918	1921	1928	1929	1930	1931
Добыча в тыс. тонн	1011	1142	1127	1128	844	1660	1745	1650	1680

Большая часть свинца выбрасывается на рынок Северо-американскими соединенными штатами. Если в начале XIX века Европа давала 88,5 проц. мировой добычи свинца, а Сев. Америка — 11,5 проц., то в 1929 г. Сев. Америка занимает ведущее место, давая 60 проц. от мирового производства свинца, тогда как на долю Европы уже приходится только 17 проц. Остальные 23 проц. мировой добычи распределяются между: Австралией — 11 проц., Южной Америкой — 2 проц., Африкой и Азией — 5 проц. и т. д.

Цены на свинец также испытывают большие колебания. Если тонна свинца в 1900 г. стоила 180—200 зол. руб., то в период войны 1914—1918 гг. цена тонны свинца достигает до 480 зол. руб. После войны цены на свинец падают, доходя к маю 1931 г. до 160—170 зол. руб. за тонну. Вполне понятно, что это падение цен вызвано мировым экономическим кризисом.

Но с декабря 1931 года цены на свинец вновь стали подниматься в связи с нападением Японии на Китай. Это объясняется тем, что свинец главным образом идет на нужды военной промышленности. Капиталистическая система, задыхаясь в тисках кризиса, ищет выхода в новых войнах. На фоне всеобщего упадка капиталистической промышленности только одна отрасль промышленности — военная работает полным ходом, с полной нагрузкой.

§ 2. Состояние свинцового дела в СССР

Значение свинца для народного хозяйства СССР очень велико.

Нужно всегда помнить, что, находясь в условиях капиталистического окружения, мы должны сделать нашу промышленность независимой от иностранных капиталистов.

Бурный подъем и развитие всего нашего хозяйства, успешно осуществляемые лозунги партии и советской власти об овладении техникой, о том чтобы „догнать и перегнать в технико-экономическом отношении передовые на данном этапе капиталистические страны“, — все это ставит вполне определенные задачи в области развития цветной металлургии у нас в Союзе, и в частности развития свинцовой промышленности. Как и вся цветная металлургия, до революции свинцовая промышленность была развита очень слабо, и до самого последнего времени мы имеем большое отставание, по сравнению с передовыми капиталистическими странами. Но по сравнению с царской Россией мы имеем огромные достижения в области развития металлургии свинца, что можно видеть из нижеследующей таблицы 2.

Таблица 2

Доля СССР в мировой добыче свинца

Годы	Добыча свинца в тысячах тонн	Процент от ми- ровой добычи
1913	1856	0,11
1926/27	993	0,06
1927/28	2.730	0,16
1928/29	5.300	0,31
1929/30	10.800	0,63
1931	по программе	1,70
1932	28.600	

Из этой таблицы вполне ясно видно, что за последние годы в связи с общим подъемом нашего хозяйства, в результате успешного завершения первой пятилетки, наша свинцовая промышленность, овладевая новой техникой, строя новые заводы, и проводя в жизнь шесть исторических условий тов. Сталина, развивается такими мощными темпами, какие возможны только в условиях планового хозяйства.

Вторая пятилетка по свинцу также говорит о неуклонном движении вперед.

Если ориентировочно к концу 1932 г. мы должны выплавить 90.500 т свинца, то в 1938 г. предусматривается планом 655.000 т, т. е. увеличение по сравнению с 1932 г. на 700 проц¹. Не приходится сомневаться, что план этот будет выполнен так же, как будет выполнена вторая пятилетка в целом — ручательством к этому может служить успешное завершение первой пятилетки.

Приведенные выше таблицы говорят о том, что свинцовая промышленность у нас стала развиваться лишь за последнее время.

Впервые разработку серебро-свинцовых месторождений в России начали в Забайкальской области, в Нерчинском округе, в 1708 г. Были построены несколько заводов, некоторые из них работали даже до 1906 года. Главной целью работы этих заводов было извлечение серебра. Свинец служил лишь коллектором и был как бы побочным продуктом.

В рудниках применялся труд каторжан и политзаключенных. Ясно, что заводы носили кустарный характер.

Кроме того, свинец и серебро добывали в Алтайском округе на Зырянском, Риддерском и особенно Змеиногорском рудниках. Содержание серебра в рудах было очень велико, доходя до 3 проц. Выработку прекратили в 1912 году. По соседству с Алтаем, в теперешнем Казахстане, существовал целый ряд мелких заводов, прекративших свое существование к 1907 г.

На Урале до революции также было 3 свинцовых завода.

Главным же производителем свинца до революции был Алагирский завод на Сев. Кавказе (в г. Ordzhonikidze). В Северной Осетии были открыты месторождения свинца, которые и стали перерабаты-

¹ „Цветные металлы“, 1931 г., № 4, стр. 437

ваться с 1853 г. Алагирский завод давал до 97 проц. всей выплавки свинца в России до революции, как это видно из таблицы 3

Таблица 3
Распределение выплавки свинца в 1913 г. (в тоннах)

Уральская область . .	49,2 тонны—	3,2%
Северо-Кавказский край	1468,8 „	96,7%
Казакстан	1,3 „	0,1%
Итого . .	1519,3 тонны	100%

Слабое развитие свинцовой промышленности в дореволюционной России объясняется многими причинами и главным образом общей экономической отсталостью страны, удалением свинцовых месторождений от культурных центров и промышленных районов страны, бездорожьем, отсутствием хорошего топлива для плавки и т. п.

Сейчас же условия совершенно другие. Кроме того, техника выработала новый способ обработки руд, называемый флотацией, который позволяет перерабатывать и пускать в плавку бедные свинцовые руды, с содержанием свинца 1,5—2, проц., тогда как до 1913 г. руды с содержанием даже 20 проц. свинца не покупались заводами.

§ 3. Месторождения свинцовых руд в СССР

Свинцовые руды в СССР и их месторождения имеют так называемый полиметаллический характер, — это значит, что на ряду со свинцом, в руде присутствуют и его спутники, как например, серебро, медь, цинк и некоторые другие.

Главным месторождением свинцовых руд является Алтай. Риддерское месторождение, расположенное в 100 км от гор. Усть Каменогорска. Это месторождение было открыто еще 150 лет назад. Попадаются старые разработки, ведшиеся в старину „чудью“, народом, некогда населявшим теперешний Казакстан. Вблизи Риддера имеется Сокольное месторождение. До революции это месторождение взяли в концессию англичане и построили на Экибастусе свинцовый и цинковый заводы, которые были пущены летом 1917 г., но не надолго, и затем вновь были пущены уже в 1925 г. В 1926 г. на Риддере началась постройка советского свинцового завода, который и пущен в 1928 г.

Месторождение Риддера состоит из мощной рудной жилы, ядро которой представляет сплошной колчедан (соединение металлов с серой), а по бокам имеются вкрапленные руды и роговики.

Главные минералы в руде: цинковая обманка, свинцовый блеск, железный и медный колчеданы (все это сернистые соединения металлов). Состав сокольской руды почти такой же, только расположена она гнездами и в значительной мере окисленная.

На Риддере имеется обогатительная фабрика, на которой с помощью селективной флотации разделяют свинцовый блеск и цинковую обманку, и одновременно отделяют их от пустой породы (соединений других металлов, встречающихся в свинцовой руде).

По последним данным запасы руды исчисляются (вместе с вкрапленными рудами) в 5 млн. тонн. Среднее содержание свинца в рудах

3—18 проц., цинка от 5 до 30 проц. Чистого металла (т. е. в пересчете руды на металлический свинец и цинк) заключается в руде: цинка 506.000 т, свинца—302.000 т.

Необходимо отметить, что риддерские руды богаты не только серебром, но и золотом. По произведенным подсчетам стоимость благородных металлов (золота и серебра) составляет свыше 50 проц. от стоимости всех цветных металлов, находящихся в руде.

За последние годы разведки и поиски новых месторождений дают уверенность в существовании больших запасов руд на Алтае. Нужно еще отметить свинцово-цинковое месторождение Салаира, недалеко от ст. Белово в Кузбассе.

Вторым центром нахождения свинцовых руд является Средняя Азия, где имеется Турланское месторождение, с запасами руды (на 1929 г.) в 770.000 т и содержанием свинца в руде 19,2 проц. Кроме того, в районе Каркаралы (Севеоная Казакская степь) имеются месторождения окисленных (кислородных соединений) свинцовых руд, разработка которых велась еще в XIX веке.

Месторождения обнаружены и в др. местах, как напр. Баян-Аул, Кызыл-Эспе, оз. Балхаш; ведутся поиски руд в Фергане. Кустарная обработка и получение свинца в Средней Азии ведется уже давно. Из указанного выше видно, что в Ср. Азии на ряду с развитием медной промышленности мирового значения (Казмедьстрой), имеются все условия и база для развития свинцовой металлургии. В скором времени начнет рабстать строящийся в Средней Азии Чимкентский завод, с производительностью до 50.000 т свинца в год.

Крупнейшим месторождением, игравшим до революции первую роль по добыче свинца в России, и не теряющим своего промышленного значения в будущем — является Садонское месторождение, расположенное в 94 км от г. Орджоникидзе на Сев. Кавказе. Запасы руд исчисляются, по последним данным, до 1.000.000 т, с содержанием: свинца 11 проц. и цинка 24 проц. Руды также сернистые, — обогащают их, как и на Риддере, при помощи селективной флотации (на Мизурской обогатительной фабрике).

На Кавказе имеются свинцовые месторождения по р. Кубани, в Армении и в Абхазии.

В Дальневосточном крае также имеются свинцовые месторождения. Так, например, в Нерчинском районе запас руд достигает до 2500000 тонн, с содержанием свинца до 5 проц, цинка 9 проц. Кроме того, в рудах содержится медь, серебро, олово, сурьма, мышьяк. В настоящее время там работает Дарасунский завод. В Приморьи имеется месторождение Тетюхе с запасами до 830.000 т (на 1926 год), с содержанием свинца 13 проц. и цинка 17,5 проц, богатое также серебром. Руды этого месторождения обогащались и отправлялись в Японию и Германию, теперь же полученный в результате обогащения концентрат направляется на Константиновский цинковый завод в Донбассе. Кроме того имеются месторождения в Читинском округе.

В северо-восточной части Союза, в Якутской республике, имеются серебро-свинцовые месторождения, из них промышленное значение имеет лишь Эндыбальское месторождение (Верхоянский округ),

руды которого перерабатывались на кустарном заводе. Вторая пятилетка предусматривает постройку там обогатительной фабрики и завода промышленного значения.

На Урале также имеются свинцовые руды, и до революции существовало 3 завода. Последние геологические поиски, по сообщению акад. Ферсмана, дают гарантию, что в области полярного Урала вероятны открытия новых свинцовых месторождений. Выходы свинцовых руд, с содержанием меди также встречаются в районе Башкирии. Вообще же можно сказать, что почти всюду на Урале медные руды содержат свинец. В перерабатываемых на Калате, Карабаше и Красноуральске медных рудах содержание свинца колеблется от 0,5 до 1 проц. Суммарное содержание свинца в уральских рудах, разведанных на сегодняшний день, примерно 100.000 т. Эта цифра говорит за то, что в металлургии свинца Уралу отводится значительное место. Независимо от развития свинцовой промышленности в других областях нашего Союза развитие металлургии свинца на Урале в ближайшее время приобретает большое промышленное значение, включаясь в общую схему Урало-Кузбасского комбината.

Из перечисленного выше вполне очевидно, что свинцовая промышленность в нашем Союзе, базируясь на новых рудных запасах, — соответственно перемещается из старых районов добычи свинца в новые. Особенно большое значение приобретает Казакстан (включая Алтай), как это видно из таблицы 4.

Таблица 4

Распределение выплавки свинца 1933 г.
(в процентах)

Казакстан	49%
Дальневосточный край . .	23%
Узбекистан	14%
Сев.-Кавказский край . .	8%
Сибирь	6%

Всего . . 100%

Из этой таблицы видно, что основными поставщиками свинца будут являться: Казакстан, Сибирь и Дальневосточный край, на долю которых падает до 80 проц. всей продукции свинцовой промышленности.

Вторая пятилетка, выдвигая на повестку дня сооружение Ангаростроя, тем самым будет способствовать и развитию свинцовой промышленности в Восточной Сибири.

Общий запас металлического свинца в рудных месторождениях СССР достигает к 1931 году громадной цифры в 2500000 т. Таким образом, наша страна обладает прочной и солидной базой для широкого развития свинцовой промышленности.

Закончив успешное выполнение первого пятилетнего плана под руководством нашей партии, на основе дальнейшего внедрения в практику работы цветной металлопромышленности 6 исторических условий т. Сталина, мы добьемся того, что во второй пятилетке окончательно освободимся от ввоза свинца из-за границы.

СВИНЦОВЫЕ РУДЫ И СПОСОБЫ ИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

§ 1. Классификация свинцовых руд

Несмотря на то, что человек познакомился со свинцом в глубокой древности, свойства свинца, которыми мы теперь пользуемся для получения свинца из руды, стали известны очень недавно.

Раньше, например во времена римлян, путали свинец с оловом и называли собственно свинец — черным свинцом, а олово — белым свинцом.

Плавка свинцовой руды проводилась технически несовершенно и являлась скорее искусством, нежели наукой. Тогдашние металлурги были исключительно людьми опыта, которые изучили плавку на основании кропотливейшей работы в течение всей своей жизни. Перерабатывая свинцовые руды, они часто работали вслепую, не учитывая тех физических и химических явлений, которые протекали в их печах и других металлургических приборах. Современная же металлургия свинца основана на точных научных данных, применимых к любому сорту сырых материалов (руд).

Встречающиеся в природе руды представляют часто тесную смесь нескольких металлов и называются полиметаллическими рудами. Полиметаллические руды представляют не просто механическую смесь, а химическое соединение минералов и поэтому обработка их значительно труднее, чем обработка руды, содержащей один какой-либо металл.

Химическое соединение отличается от физической смеси тем, что в первом случае вещества, вступающие в химическую связь, теряют свои свойства, давая химическое соединение, обладающее новыми свойствами. В противоположность этому в физической смеси отдельные составляющие не теряют своих свойств. Примером химического соединения может служить смесь серы с железом. После нагревания сера, соединяясь с железом, образует сернистое железо, отличное по своим свойствам и от серы и от чистого железа. При смешении же железных опилок с серой получается физическая смесь, в которой ни железо, ни сера не потеряли своих первоначальных свойств. В этом легко убедиться, отделив железные опилки от серы с помощью магнита.

По своему химическому составу свинцовые руды делятся на:

а) сернистые, содержащие сернистый свинец и

б) окисленные или продукты разложения и выветривания сернистого свинца.

И те, и другие руды имеют промышленное применение, почему и остановимся на них более подробно. Месторождения самородного свинца, хотя и встречаются в природе, например в Америке, но редко и свинцовая промышленность перерабатывает главным образом сернистые и окисленные соединения свинца, которые встречаются в природе чаще.

Сернистый свинец в чистом виде представляет химическое соединение — 86,6 проц. свинца и 13,4 проц. серы. В природе такому

химическому составу отвечает минерал, называемый свинцовым блеском, который имеет правильные кристаллы и распадается при ударе на кубики или восьмигранники. Чистый свинцовый блеск применяется в радио (кристалл детектора).

Сернистый свинец, по содержанию серы (13,4 проц.) — самый бедный по сравнению с другими сернистыми соединениями металлов. Химическая связь (или сродство) свинца с серой не особенно большая и он может вытесняться другим металлом, который легче соединяется с серой. Это свойство сернистого свинца очень важное и, как увидим дальше, им пользуются в металлургии свинца.

Спутниками сернистого свинца в рудах почти всегда являются сернистые соединения других металлов. Из них чаще всего встречаются сернистые соединения цинка (цинковая обманка), сернистые соединения меди (медный колчедан) и сернистые соединения железа (железный колчедан). Кроме того, свинцовую руду сопровождают сернистые соединения мышьяка, сурьмы и серебра. Часто встречается и золото (как например на Риддере).

Обычно в свинцовой руде присутствуют и другие минералы, помимо выше указанных спутников свинца, эти минералы в целом носят название пустой породы. Пустая порода, сопровождающая сернистый свинец, состоит из кварца (кремнезема), известняка (извести), окислов железа и представляет физическую смесь этих минералов. Вторая категория свинцовых руд носит название окисленных. К этим рудам относятся два минерала, имеющих промышленное значение: церуссит и англезит, продукты разложения сернистого свинца, образовавшиеся в результате действия на него кислорода воздуха, влаги и углекислого газа (углекислый газ — химическое соединение из 72,7 проц. кислорода и 27,3 проц. чистого углерода).

Церуссит, называемый углекислым свинцом, представляет химическое соединение состава: свинца — 77,5 проц., кислорода — 6 проц., углекислого газа — 16,5 проц. Англезит имеет следующий химический состав: свинца — 68,3 проц., кислорода — 5,4 проц., кроме того — 26,3% смеси сернистого газа с кислородом (сернистый газ — химическое соединение 50 проц. серы с 50 проц. кислорода).

Оба эти минерала в чистом виде встречаются редко, обычно загрязнены пустой породой и сопровождаются окислами других металлов (меди, цинка), также могут быть в числе примесей и сернистые соединения металлов: свинца, цинка, меди, железа и др. Пустая порода та же самая, что и у сернистых свинцовых руд, но содержит больше окислов.

Таким образом, свинцовые руды всегда сопутствуются пустой породой, в основном состоящей из кварца (кремнезема), известняка (извести), глинозема (чистой глины или смеси ее с некоторыми минералами) и окислов железа.

Кварц, известняк и закись железа являются так называемыми флюсами — веществами, способствующими расплавлению пустой породы руды, так как они при определенных соотношениях легкоплавки, поэтому количество их в руде имеет большое значение для металлурга. При плавке кварц и известняк с железом обладают различными свойствами и для получения легкоплавкого шлака необходимо

строого определенное соотношение между ними, поэтому свинцовые руды с большим содержанием кварца в пустой породе называют кислыми рудами, и они требуют добавки основных флюсов, т. е. известняка и железа, а руды с большим содержанием известняка — называются основными рудами и требуют добавки кислого флюса (кварца) и железа.

Поскольку свинцовые руды содержат значительное количество серебра ($\frac{2}{3}$ серебра добывается из свинцовых руд), они по содержанию его разделяются на богатые серебром—серебро-свинцовые руды и бедные им.

Самыми частыми спутниками свинца являются цинк и медь. Иногда даже трудно разграничить понятие о названии руды, особенно когда все три металла встречаются в руде. Руду в таком случае с одинаковым успехом можно назвать и свинцово-цинковой, и свинцово-медной, или, наконец, цинково-медной.

Современные способы обработки руд и выплавки из них металла достигли столь большого совершенства, что на одном и том же заводе, производящем, например, выплавку меди, можно с успехом добывать цинк и свинец из отходов медного производства.

Поэтому, ставя перед собой задачу получения свинца из руды, необходимо учитывать содержание в руде других полезных металлов, ибо извлекая их, мы тем самым полностью используем и удешевляем процесс переработки руды.

§ 2. Обогащение свинцовых руд

Промышленное содержание металла в руде не есть постоянная величина. Оно зависит от целого ряда технических и экономических причин, и в среднем колеблется от 2 до 20 проц.

Бедные руды перед плавкой обогащаются, и в обогащенном материале содержание свинца достигается до 50—75 проц. Богатые руды непосредственно плавятся на свинец без предварительного обогащения.

Кроме руд, для получения свинца применяются так называемые полупродукты, к числу которых относятся:

1. Камерный шлак, получающийся при действии серной кислоты на стенки свинцовых камер при производстве серной кислоты.

2. Отходы—свинцовый скрап, остатки от переплава свинца и его сплавов.

3. Раймовка или муфельные остатки при перегонке цинковых руд. Содержание свинца доходит до 20 проц., присутствуют серебро и золото.

4. Пыль с медных заводов, перерабатывающих медные руды с небольшим количеством свинца (как например, в Калате, Карабаше).

5. Так называемые кэки, содержащие свинец, золото, серебро и медь, получаемые на цинковых электролитных заводах.

Как уже упоминалось, свинцовые руды делятся на окисленные и сернистые. Богатые окисленные руды, в силу условий своего образования, расположенные поверх сернистых свинцовых руд, в большинстве стран уже выработаны и в силу необходимости теперь перешли к обработке глубинных сернистых руд полиметаллического характера

цинка, меди, железа, такое разделение по удельным весам не даст сравнительно бедных по содержанию свинца. Эти руды предварительно обогащаются для отделения не только пустой породы: кремнезема, глинистых сланцев, сернистых соединений железа, но также для отделения одного ценного в промышленном отношении сернистого соединения от другого, например, отделение свинцового блеска от цинковой обманки.

По американским данным (Bureau of Mines)] 90—99 проц. всех свинцовых и цинковых руд в настоящее время подвергаются предварительному обогащению, как это видно из таблицы 5.

Таблица 5

Переработка цинковых и свинцовых руд

А. Свинцовые руды

Метод обработки	Руда (в тоннах)	%
Концентрат (мокрый и флотация) . .	8201218	93,2
Прямая плавка	553773	6,3
Возгонка	44859	0,5
Всего	8799850	100

В. Цинковые и цинково-свинцовые руды

Метод обработки	Руда (в тоннах)	%
Концентрат (мокрый и флотация) . .	21455965	99,9
Прямая плавка	30150	0,1
Всего	21486115	100

Из этой таблицы становится очевидным, какое большое место занимает в металлургии обогащение, являющееся первым этапом в обработке руды.

Существует два способа обогащения свинцовых руд, на которых мы остановимся кратко, это: а) так называемая мокрая концентрация на столах, отсадочных машинах и б) флотация.

Первый способ—мокрая концентрация применяется к крупнокристаллическому свинцовому блеску с большим количеством пустой породы.

Разделение основано на разности удельных весов минералов, составляющих руды. Свинцовый блеск, как обладающий большим удельным весом, остается на дне, тогда как пустая порода, состоящая из более легких минералов, увлекается потоком струи через борт аппарата. Мокрой концентрацией можно довольно полно отделить свинцовый блеск от пустой породы и значительно обогатить руду.

В том же случае, когда в руде помимо свинцового блеска присутствуют и сернистые соединения других металлов, как например,

хороших результатов. Поэтому нужен какой-то другой способ обогащения, каковым и является селективная флотация, пользующаяся в настоящее время широким распространением.

Сущность флотации заключается в том, что сернистую свинцовую руду подвергают очень тонкому измельчению, смачивая ее водой. В полученную жидкую пульпу добавляют особых веществ, как например соснового масла, ксантата, цианистого калия и подвергают взмучиванию с помощью воздуха в особых перемешивательных приборах. Получается очень много пузырьков воздуха, которые увлекают в виде пены на поверхность, смоченные добавленным маслом (или другим флотирующим веществом) частички сернистых соединений металлов, пустая же порода, не смачиваемая этими маслами, воздухом не увлекается и тонет.

При наличии в руде нескольких сернистых соединений, в раствор приходится добавлять порциями различные реагенты, которые способствуют смачиванию одного лишь какого-либо сернистого соединения, которое и всплывает в виде пены на поверхность. Сгребая получающуюся пену и добавляя второй реагент, можно отделить одно сернистое соединение от другого, например цинковую обманку от свинцового блеска. Полученная пена, содержащая, скажем, свинцовый блеск, проходит через сгустители и фильтры, где отделяется твердое от жидкого, частично подсушивается и поступает в бункера обжигового цеха, приобретая название „концентрата“ — обогащенной руды.

Современное обогащение еще не добилось полного успеха, обычно полного разделения цинковой обманки от свинцового блеска нет, получается загрязненный цинком свинцовый концентрат, содержащий до 14—20 проц. цинка. Но и такая степень обогащения руд имеет для металлургии громадное значение, ибо позволяет обогащать руды с содержанием 1,5—2 проц. свинца, которое раньше совершенно не принималось в расчет. В Америке, например, обогащают старые отвалы медного производства с содержанием меди 0,5 проц. Отсюда можно сделать вывод, что применение флотации при обогащении увеличило промышленный запас руды.

Современная флотация добилась обогащения и бедных окисленных руд, что также имеет большое значение, так как в основном богатые окисленные руды уже выработаны.

Стоимость свинцовой руды определяется стоимостью заключающего в ней металла, помноженного на коэффициент извлечения за вычетом стоимости обработки руды.

Обычно при свинцовой плавке 10 проц. свинца теряется, поэтому оценке подвергается 90 проц. содержание свинца в руде. Стоимость обработки зависит также и от способа обработки руды, так например, углекислые руды ценятся дороже сернистых, ибо последние перед плавкой должны быть еще обожжены, что увеличивает стоимость полученного свинца. Окисленные же руды обжига не требуют и поэтому общая стоимость их обработки дешевле.

Примеси в руде также влияют на ее ценность. Сера, мышьяк требуют предварительного обжига руды, окись цинка, окись магния, глинозем понижают плавкость шлака, что затрудняет получение свинца в ватержакете (печи для плавки). Если в руде присутствуют

цинк, мышьяк, сурьма, они увеличивают потери свинца и серебра через улетучивание и перевод их в шлак (где свинец и серебро теряются). Кроме того, медь, сурьма, мышьяк, переходя в получаемый в результате плавки свинец, затрудняют его рафинирование (очистку металлического свинца от примесей и отделение золота и серебра) и вообще понижают качество свинца, делая его хрупким.

Таким образом, для правильной оценки и успешной работы, металлург должен хорошо изучить и руду и поведение при плавке тех примесей, которые могут находиться в руде.

§ 3. Извлечение свинца из руд

Для извлечения свинца из руд существуют два способа:

а) получение свинца при помощи плавки, так называемой огневой, пирометаллургический способ, и

б) получение свинца при помощи осаждения его электрическим током или другими веществами из растворов солей свинца—это так называемый мокрый гидрометаллургический способ.

Мокрый способ извлечения свинца из руд за последние годы начинает прививаться в промышленности и им пользуются для обработки окисленных и мелкокристаллических свинцово-цинковых руд, когда с помощью флотации не удастся достигнуть полного разделения сернистых соединений свинца от сернистых соединений цинка. Настоящая брошюра ставит своей целью — ознакомление с огневым способом получения свинца.

При огневом способе получения металлического свинца, сам процесс видоизменяется в зависимости от характера и состава свинцово-содержащей руды.

В отсутствие серебра процесс сводится к получению: а) рудного свинца и б) очистки его.

При плавке же свинцово-серебряной руды в результате имеем так называемый веркблей (сплав серебра со свинцом) и обработка руды подразделяется на: а) получение рудного веркблея, б) обес-серебривание веркблея и в) очистку или рафинировку свинца.

Существуют три метода пирометаллургической обработки свинцовых руд.

1. Реакционная плавка в отражательных печах, или в горнах. В основном способ устарел, однако за последнее время горновая плавка в связи с усовершенствованиями, находит применение для обработки богатых и чистых свинцовых руд (например в Америке).

2. Осадительная плавка в шахтных печах применялась для плавки чистых и богатых руд. В виду больших недостатков: высокого расхода топлива, сложности процесса сейчас не применяется, однако принцип осадительной плавки, основанной на разложении сернистого свинца металлическим железом, широко используется при восстановительной шахтной плавке обожженных руд.

3. Обжиг с последующей восстановительной плавкой в шахтных печах. Этот способ пригоден для руд всех категорий, дает высокое извлечение свинца и пользуется широким распространением в металлургии свинца.

Перечисленные выше методы получения свинца из руд еще раз подчеркивают то обстоятельство, что в основе свинцовой плавки, помимо чисто практических операций, лежат также химические процессы, разъяснению которых стводится в настоящей брошюре соответствующее место. Поэтому, прежде чем перейти к изложению процесса обработки свинцовых руд, остановимся на свойствах свинца и его соединений.

§ 4. Свойства свинца и его соединений

Свойства свинца разделяются на физические и химические.

Физические свойства свинца. Свинец один из наиболее тяжелых металлов, обладающий удельным весом 11,37. Как большинство металлов, кристаллизуется в правильной системе, давая кубы и октаэдры (восьмигранники) несовершенной формы. Чистый свинец очень мягок и чертится ногтем. Твердость свинца зависит от способа охлаждения и от присутствия в нем примесей. Медленно охлажденный свинец более мягок, чем быстро охлажденный. При большом содержании мышьяка, сурьмы, олова, цинка свинец делается довольно твердым (а иногда и хрупким).

Свинец очень ковкий металл и может быть прокатан в тончайшую фольгу: ковкостью свинца и способностью его принимать под давлением различную форму широко пользуются при изготовлении свинцовых труб и стержней.

Температура плавления свинца 327,4 (по Цельсию), ниже этой температуры примерно на $3-10^{\circ}$, свинец делается хрупким и встряхиванием ему можно придать зернистую форму. Температура кипения свинца различными исследователями дается от 1525 до 1640 Цельсия.

Свинец обладает летучестью, что имеет значение при плавке. В обычных условиях, при отсутствии воздуха и при температуре лиже 1000° свинец мало летуч. Когда же температура выше 1000° (например в печах), летучесть его увеличивается, чему особенно способствует нахождение вместе со свинцом других летучих металлов, например цинка, кадмия, когда свинец начинает улетучиваться при более низкой температуре.

Химические свойства свинца. В сухом воздухе свинец не изменяется, но если воздух содержит влагу, то свинец быстро тускнеет, покрываясь с поверхности тонкой пленкой окисла, представляющей соединение кислорода воздуха со свинцом. Под этой пленкой, при ее царапании, можно обнаружить блестящую поверхность металлического свинца. В этом отношении окисление железа весьма сходно с окислением свинца. Ржавчина (окисел железа) есть ничто иное как химическое соединение железа с кислородом воздуха и влагой.

При плавлении на воздухе свинец легко соединяется с кислородом (окисляется), давая, в зависимости от температуры и количества присоединенного кислорода, различные окислы. Так, например, при нагревании металлического свинца от 150° до 250° он дает глет—окисел свинца (состава: свинца—92,85 проц., кислорода 7,15 проц.) С повышением температуры один окисел свинца переходит в другой, так при 500° имеем уже не глет, а всем известный сурик, идущий

на краску, состав его будет иной чем состав глета, а именно: свинца—90,66 проц., и кислорода—9,34 проц.

Металлический свинец хорошо растворяется в разбавленной азотной кислоте, а также в соляной, при чем с увеличением температуры растворение идет быстрее. В обычных же условиях, при сравнительно низкой температуре, растворение свинца незначительно.

При наличии в свинце примесей он становится более растворимым и более подвержен действию различных кислот, что еще объясняется и чисто физическим строением его. Шероховатый свинец более растворим, чем свинец с гладкой поверхностью.

Металлический свинец легко сплавляется с различными металлами, образуя простые или сложные сплавы, пользующиеся широким техническим применением. Для металлурга особый интерес представляют сплавы свинца с металлами, сопутствующими ему в руде, с золотом, серебром, медью, цинком, мышьяком, сурьмой, оловом, висмутом. Существует особая наука металлография, занимающаяся изучением строения сплавов различных металлов, их химического состава, их механических и химических свойств.

В металлургии свинца, при плавке его, помимо собственно свойств свинца; большую роль играют свойства соединений свинца, выступающие и занимающие вполне определенное место в процессах переработки свинцовой руды. Ознакомление с свойствами этих соединений и отношением к ним примесей является очень важным для успешного проведения плавки.

Соединения свинца. К числу соединений свинца относятся: а) окись свинца (глет), б) сернистый свинец и в) серно-кислый свинец.

Глет или иначе окись свинца плавится при 883° Цельсия и кипит при 1470° . Образуется глет при нагревании жидкого свинца от 400° до 800° , жидкий свинец, нагретый до такой температуры, окисляется, т. е. присоединяет к себе из воздуха кислород, давая глет, который вначале появляется в виде льдинок и плавает на поверхности свинца. С течением времени вся поверхность расплавленного свинца покрывается твердой коркой глета, которая препятствует дальнейшему окислению материалов.

Глет бывает в двух видах: в виде порошка и в виде кристаллов различной окраски.

Глет являет летучим веществом, уже при 800° он начинает испаряться, т. е. даже до того времени, как начнет плавиться. С повышением температуры выше 1000° , испарение его значительно увеличивается, а это в свою очередь вызывает большие потери свинца. С кремнеземом (чистый кварц) глет очень хорошо сплавляется, становясь на место тех веществ, которые до этого были в химической связи с кремнеземом.

Соединяясь с кремнеземом, глет образует легкоплавкие вещества различного состава, называемые силикатами свинца (от слова силиций, что значит кремний).

Состав кремнезема: силиция (кремния) — 46,72 проц., кислорода — 53,28 проц. Кислород очень тесно связан с кремнием, и потому кремнезем в соединениях выступает почти всегда как самостоятельное

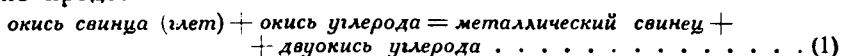
вещество, очень легко соединяясь с окисями различных металлов, давая их силикаты.

Помимо кремнезема, глет очень легко сплавляется с окисями других металлов, давая легкоплавкие сплавы, почему глет и называют плавнем или флюсом. Сплав глета (окиси свинца) с окисью железа имеет большое значение, ибо в подобных соединениях глет крепко химически связан с окисью железа и поэтому мало летуч.

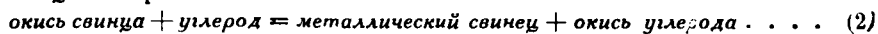
Глет обладает свойством легко отдавать свой кислород, при чем восстанавливается, т. е. получается металлический свинец. Таким образом, глет является окислителем, веществом, легко отдающим свой кислород. Этим свойством глета пользуются при рафинировании рудного веркблея.

Для получения свинца из глета, нужно его восстановить. Это осуществляют при помощи окиси углерода и чистого углерода (который в дальнейшем будем называть просто углеродом). Окись углерода или всем известный угарный газ получается в результате неполного сгорания углерода, и представляет химическое соединение 42,85 проц. углерода с 57,15 проц. кислорода.

Восстановление глета окисью углерода начинается, примерно, с 200° (160—185°) и энергично происходит при 400° и выше. В результате взаимодействия глета с окисью углерода, получается металлический свинец и двуокись углерода (углекислый газ), что наглядно можно представить себе так:



Можно глет восстановить и при помощи твердого углерода. Тогда восстановление глета начнется уже при 400—500° и полностью будет протекать при температуре 600—700°. В результате реакции образуются: металлический свинец и окись углерода. Наглядно реакция выражается так:



Из 1-й и 2-й схем видно, что восстанавливаясь глет отдает свой кислород, окисляет вещества, вступающие с ним в химическое взаимодействие.

Углекислый свинец — соединение окиси свинца с двуокисью углерода (в природе этому составу отвечает минерал — церуссит), легко отдает присоединенную двуокись углерода, давая в конечном итоге глет.

При плавке очень часто получают силикаты свинца (соединения окиси свинца с кремнеземом), образующиеся уже при 700° и увеличивающиеся в своем количестве с повышением температуры. Силикаты свинца трудно восстановимы окисью углерода и твердым углеродом, но легко разлагаются углеродом в присутствии более сильных окислов (закись железа, окись кальция), которые вытесняют глет из силиката и соединяются с освободившимся кремнеземом. Нужно учесть, что глет хорошо растворяется в силикатах железа и кальция. Поэтому оба процесса: разложение свинцовых силикатов и восстановление глета углеродом — должны протекать одновременно, иначе мы не получим металлического свинца.

Сернистый свинец состоит из: свинца — 86,6 проц. и серы — 13,4 проц., встречается в природе в виде минерала, называемого

свинцовым блеском. Температура плавления — 1120. Сернистый свинец, начиная с 600 уже, летуч, чем и объясняется образование настывлей при плавке свинцовых руд в шахтных печах. Сернистый свинец — соединение непрочное, легко разлагается другими металлами, имеющими большое родство к сере, каковыми являются: цинк, железо, медь. Реакция разложения сернистого свинца металлическим железом и получения металлического свинца и сернистого железа — лежит в основе так называемой осадительной плавки свинцовых руд. Сернистый свинец обладает хорошей способностью сплавляться с сернистыми соединениями других металлов, давая сплавы, называемые штейнами.

При нагревании сернистого свинца, измельченного до величины зерна (0,1 — 0,2 мм), в атмосфере воздуха, он окисляется и переходит в окись свинца и сернистый газ. Это взаимодействие сернистого свинца с кислородом воздуха начинается при температуре 360 — 380, при чем выделяется большое количество теплоты.

Сернистый свинец + кислород = окись свинца + сернистый газ (3)

В результате взаимодействия сера вступила в химическое соединение с кислородом, образовав сернистый газ (состав: 50 проц. серы и 50 проц. кислорода). Освободившийся от серы свинец, в свою очередь, окислился, соединившись с кислородом, образовав окись свинца — глет. Окисление сернистого свинца идет медленно, медленно образующийся сернистый газ в свою очередь частично окисляется, присоединяя к себе еще некоторое количество кислорода (25 проц.). Сернистый газ, разбавленный на 25 проц. кислородом и вступивший с ним в химическую связь, называется серным ангидридом — газом, который при растворении в воде образует серную кислоту. Этот серный ангидрид, образовавшийся при медленном обжиге сернистого свинца и окисления сернистого газа кислородом, вступает в соединение с окисью свинца и дает новое химическое соединение свинца — сернокислый свинец. Эту реакцию можно изобразить:

окись свинца + серный ангидрид (сернистый газ + 25 проц. кислорода) = сернокислый свинец (4)

Может случиться и непосредственное окисление сернистого свинца кислородом воздуха до сернокислого свинца:

сернистый свинец + кислород = сернокислый свинец (5)

Обе эти реакции образования сернокислого свинца, при обжиге сернистого свинца, происходят с большим выделением тепла, что дает значительную экономию топлива при обычном обжиге, а при работе на машинах Дуайт-Ллойда или Шлиппенбаха можно обжигать руду и без постороннего топлива. Таким образом, в результате обжига сернистого свинца получаем: окись свинца (глет), сернокислый свинец и газы. Количества глета и сернокислого свинца в продуктах обжига не остаются постоянными, а зависят от условий обжига (скорости обжига, температуры обжига), от состава руды и находящихся в ней примесей. Практика установила, что при медленном обжиге и низкой температуре (до 500°) образуется больше сернокислого свинца, при быстром же обжиге, хорошим окислении руды, частом ее перегревании, и высокой температуре — больше образуется глета.

Примеси других сернистых металлов, которые при своем окислении выделяют сернистый газ, переходящий в серный ангидрид, также способствуют увеличению образования серноокислого свинца.

Пустая порода также оказывает свое влияние на количество образовавшихся при обжиге окиси свинца и серноокислого свинца.

Так например, серноокислый свинец, при наличии в пустой породе окиси кальция (обоженная известь), переходит в глет, т. к. окись кальция, присоединяя к себе серный ангидрид, переходит в серноокислый кальций. Кварц, в отличие от окиси кальция, не оказывает заметного действия на состав обожженного продукта, он только раз'единяет частицы сернистого свинца, чем создает лучшие условия для обжига.

Серноокислый свинец состава: 68,3 проц. свинца, 5,4 проц. кислорода и 26,3 проц. серного ангидрида — встречается в природе в виде минерала, англезита.

Температура плавления серноокислого свинца — 1170°, обычно он уже до температуры своего плавления разлагается. Серноокислый свинец растворяется в некоторых кислотах, особенно хорошо при нагревании. Серноокислый свинец — устойчивое химическое соединение, которое сохраняет свой состав до 800°, при этой температуре начинается разложение серноокислого свинца:

серноокислый свинец = глет + сернистый газ + кислород (6)

Как видно, на ряду с разложением серноокислого свинца на глет и серный ангидрид, произошло разложение в свою очередь последнего на сернистый газ и кислород, ибо серный ангидрид выше 600° существовать не может и разлагается, отделяя присоединенный кислород.

Таким образом, при разложении серноокислого свинца выделяется очень много газов. Когда температура достигает 950—1000°, вся масса, состоящая к этому моменту из глета и серноокислого свинца, начинает плавиться.

Пустая порода тоже оказывает свое влияние на разложение серноокислого свинца.

Так, кварц (кремнезем) легко разлагает серноокислый свинец при 1030°, давая свинцовые силикаты (соединения окиси свинца с кремнеземом), различного состава. При чем замечено, что состав образующихся силикатов оказывает большое влияние на степень разложения серноокислого свинца. Некоторые силикаты свинца, благодаря своему химическому составу, бывают очень вязкие. При своем образовании во время обжига, они обволакивают частицы серноокислого свинца, отчего полное разложение последнего происходит очень плохо. Когда образование силикатов идет при достаточно высокой температуре и при соответствующем их составе (достаточные пропорции кремнезема), то получающийся при обжиге сернистого свинца серноокислый свинец может быть разложен полностью и переведен в силикат свинца. Этот процесс составляет основу шлакующего обжига свинцовых руд. Разложение серноокислого свинца может быть произведено также с помощью окиси железа и металлического железа, но действие их много слабее, чем действие кварца.

Твердый углерод и окись углерода восстанавливают серноокислый свинец до сернистого свинца, с частичным одновременным выделением

металлического свинца и сернистого газа. Восстановление углеродом начинается при 550 — 630° и идет в два приема.

а. сернокислый свинец + углерод = сернистый свинец + окись углерода.

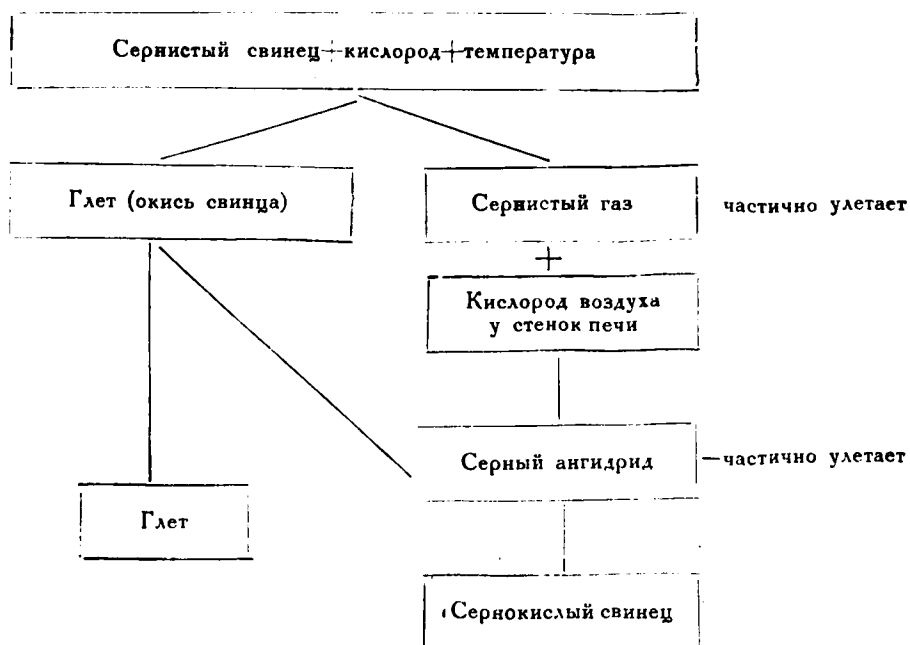
б. сернистый свинец + сернокислый свинец = металлический свинец + сернистый газ (7)

Восстановление окисью углерода начинается при 600 и быстро протекает при 630°, тоже получается металлический свинец и сернистый газ:

а. сернокислый свинец + окись углерода = сернистый свинец + двуокись углерода

б. сернокислый свинец + сернистый свинец = металлический свинец + сернистый газ (8)

Реакции 7 и 8 объясняют выгорание серы, происходящее при восстановительной плавке свинцовых руд. Как видно из предыдущего, при восстановлении сернокислого свинца твердым углеродом или окисью углерода получается не чистый свинец, а смесь свинца с сернистым свинцом. Поэтому, чем больше в обожженном продукте будет сернокислого свинца, тем меньше будет выход металлического свинца при плавке. Отсюда следует, что сернокислый свинец является нежелательным продуктом обжига и содержание его в обожженном продукте должно быть самым незначительным.



При нагревании смеси из окиси свинца и сернистого свинца до 900°, между ними начинает происходить реакция, при чем весь свинец из обоих соединений восстанавливается до металла.

окись свинца + сернистый свинец = металлический свинец + сернистый газ (9)

Реакции (76) и (9) лежат в основе так называемой реакционной плавки, когда металлический свинец получается в результате взаимодействия образовавшихся соединений свинца.

§ 5. Способы плавки свинцовых сульфидных руд и краткая характеристика их

В настоящем параграфе рассмотрим: а) плавку свинцовых руд в отражательных печах и б) плавку в горнах, на которой остановимся подробнее.

а) *Плавка свинцовых руд в отражательных печах* была распространена раньше. В настоящее время она представляет лишь теоретический интерес, так как способствует уяснению некоторых вопросов, необходимых для понимания современных процессов обработки свинцовых руд.

При плавке в отражательных печах сульфидная руда подвергается частичному обжигу при низкой температуре. Это делается для того, чтобы перевести часть сернистого свинца в окись свинца и сернокислый свинец.

После частичного обжига температура повышается, чтобы вызвать реакцию между глетом, сернокислым свинцом и оставшимся неизменным сернистым свинцом.

В результате этих реакций, как указывалось выше, получается жидкий металлический свинец и сернистый газ. Для того чтобы реакция протекала лучше, необходим тесный контакт между химическими соединениями свинца, что возможно при богатых рудах (содержащих 60—70 проц. свинца) и чистых от примесей. Поэтому этот способ имеет ограниченное применение. Реакционная плавка включает два процесса: 1) предварительный частичный обжиг при температуре 500—600°, необходимый для того, чтобы перевести часть сернистого свинца в окись свинца и сернокислый свинец и 2) реакционная плавка при 800—900°, необходимая для того, чтобы вызвать реакцию между кислородными соединениями свинца и неизменным сернистым свинцом. Металлический свинец собирается на поде печи.

Обе операции (обжиг и плавка) производят в одной и той же печи, чередуя их несколько раз, так как практически после первого обжига имеется избыток непрореагировавшего сернистого свинца. В конце последней плавки, в остатке преобладают окись свинца и сернокислый свинец, для восстановления которых, до металлического свинца и сернистого газа, их смешивают с углем и плавку повторяют еще раз.

Общее извлечение свинца достигает 85 проц., часть свинца улетучивается и 10—15 проц. свинца остается в так называемых серых шлаках.

Наиболее вредной примесью является кварц, образующий легкоплавкие силикаты, ошлаковывающие руду. Поэтому содержание кварца в руде не должно превышать 4—5 проц.

В результате реакционной плавки в отражательных печах получаем следующие продукты:

1. Свинец или веркблей—сплав свинца с серебром. Свинец в дальнейшем обессеребривается и очищается от имеющихся примесей мышьяка, сурьмы, меди.

2. Серые шлаки—смесь породы, извести и соединений свинца, бывших в руде или образовавшихся во время процесса. С целью извлечения свинца серые шлаки направляют в шахтную восстановительную плавку.

3. Пыль, состоящая из летучих соединений свинца и частичек топлива. Пыль используется как оборотный продукт, присаживаемый к руде при новой плавке.

4. Печной под, который выламывают и проплавляют в шахтных печах для извлечения впитавшегося в него свинца.

б) *Плавка свинцовых руд в горнах* является наиболее старинным способом обработки богатых свинцовых руд, даже более ранним, чем отражательная плавка. По типу применяемых приборов и характеру самой обработки этот способ занимает промежуточное положение между шахтной плавкой и отражательной плавкой.

Благодаря целому ряду недостатков (малая производительность, большая потеря свинца, и тяжелые условия работы) способ не получил распространения и был вытеснен из практики более совершенной в то время отражательной плавкой.

С введением же технических усовершенствований, как например, улавливания пыли и дыма, охлаждения горнов и улучшения условий работы—горновая плавка вновь начинает находить широкое применение в обработке чистых, богатых свинцовых руд и концентратов. Так например, в 1923 году в Америке работало 78 механических горнов с ежегодной производительностью в 49000⁽¹⁾ тонн свинцового концентрата. Несколько позднее общий масштаб горновой плавки в Америке выражался в 550000 тонн свинцового концентрата, с содержанием 75 проц. свинца, т. е. до 300000 тонн металлического свинца было получено при помощи горновой плавки.

В американской практике считают, что экономичнее всего концентраты с содержанием выше 60 проц. в них свинца плавить в горнах; концентраты и кусковые руды с содержанием в них свинца ниже 60 проц. нужно плавить в шахтных печах.

Наша же свинцовая промышленность сравнительно мало занимается этим вопросом, тогда как способ горновой плавки дает возможность, при сравнительно малых затратах, добиться большего получения металла. Особенно этот способ может быть рекомендован для применения в местностях, обладающих запасами богатых чистых свинцовых руд (Якутская республика).

Эти обстоятельства заставляют остановиться на горновой плавке более подробно.

Процесс плавки в рудных горнах состоит в обработке смеси сернистого свинца с углеродистым топливом (древесным углем, антрацитом и иногда коксом) в открытых горнах действием струи сжатого воздуха.

В основе процесса горновой плавки лежат те же самые реакции, что и при реакционной плавке в отражательных печах. Отличие заключается в том, что при горновой плавке частичный обжиг сернистого свинца и реакции между химическими соединениями протекают одновременно и в одном месте.

Практически имеем следующую картину—на поверхности жидкого свинца покоится свинцовая руда в смеси с топливом. Подается дутье, выделяющееся тепло достаточно для получения реакции, но при быстрой работе получаем много окиси свинца (глета), что нежелательно, ибо препятствует полному протеканию реакции, и способ-

ствует малому выходу металлического свинца. Чтобы воспрепятствовать полному окислению и плавлению свинцовой руды (сернистого свинца), добавляются к руде: каменной уголь, который восстанавливает глет, и обожженную известь (окись кальция), которая раз'единяет частицы руды и обладает сама большой тугоплавкостью.

Самый процесс плавки в горнах протекает при температуре 800—1000°. Главные реакции, протекающие во время плавки, это реакция непосредственного окисления кислородом дутья сернистого свинца до окиси свинца и серноокислого свинца, т. е. реакция (3) и (5) (см. выше). Реакция (4) имеет меньше места, ибо образующийся в результате (3) сернистый газ не успевает и не может соединиться с кислородом для получения серного ангидрида, так как серный ангидрид разлагается при 600° (см. (6)). Кроме того, сернистый газ выносятся в большей своей части дутьем.

Получающиеся окись свинца и сернистый свинец вступают между собой в реакцию, давая металлический свинец, который может быть получен также непосредственно действием углерода и его окиси (получившейся при сгорании топлива), на химические соединения свинца, по реакциям: 1, 2, 7-а, 7-б и 8-а.

Выделяемый свинец просачивается сквозь слой загруженной руды и топлива (садки) и собирается в тигле горна, откуда он затем стекает в находящийся снаружи котел. В виду того, что процесс идет быстро и при высокой температуре, с сильным дутьем, происходят большие потери серебра и свинца через улетучивание в пыли и дыме, достигающие до 10 проц.

Горновая плавка пригодна для чистых и богатых свинцовых руд с содержанием свинца не менее 65 проц. (обычно 70) проц. и крупнозернистых, с величиной кусков от 1 см до 0,2 см (не мельче гороха).

Тонкоизмельченные руды или концентраты должны быть во избежание уноса дутьем окускованы (агломерированы).

Поскольку при горновой плавке наблюдаются значительные потери серебра через унос, обработка этим способом серебро-свинцовых руд мало желательна. Хотя за последнее время нашли выход из положения, применяя улавливание пыли в каналах. Пары свинца также улавливаются мешечными фильтрами. Оба получаемые продукта перерабатываются в шахтных печах, что значительно уменьшает потери свинца и серебра путем улетучивания и распыления.

Производительность горна втрое больше, чем производительность отражательной печи и стоимость переработки одной тонны руды, при действии нескольких горнов, ниже, чем стоимость переработки в отражательных печах.

Примеси, содержащиеся в руде, оказывают значительно более вредное действие при плавке в горнах, чем в отражательных печах.

Одной из вреднейших примесей является кремнезем, а также глинистые вещества, вследствие их склонности вступать в химическое соединение с окисью свинца. На основании опыта установили, что руда, содержащая больше 5 проц. кремнезема, не годится для обработки в горнах. Даже содержание 0,5 проц. кремнезема сказывается отрицательно. Кремнезем с окисью свинца образует силикаты, что способствует сплавлению шихты и тем самым препятствует доступу воздуха.

ж частицам руды, мешает окислению руды и затрудняет получение металлического свинца.

Окись железа, получающаяся во время горновой плавки из сернистого железа и железняка, в присутствии кремнезема дает с последним легкоплавкий шлак, что также нежелательно.

С другой стороны, окись железа полезна, т. к. делает руду менее плавкой, кроме того, присутствие в незначительном количестве сернистого железа полезно, ибо разлагаясь и выделяя сернистый газ, оно способствует образованию серноокислого свинца, необходимого для получения металлического свинца при плавке. При большом содержании сернистого железа, до 10—12 проц. и выше, оно не все разлагается до окислов железа, а дает с сернистым свинцом легкоплавкие штейны (камневидные образования).

Известняк (или доломит) препятствует плавлению массы руды. Допустимое содержание его, однако, не должно быть больше 12 проц., так как избыток его мешает тесному соприкосновению химических соединений свинца, необходимому для протекания реакции.

Большое количество цинковой обманки (сернистого цинка) замедляет процесс и уменьшает выход металлического свинца, а также увеличивает потери серебра. Содержание ее не должно быть больше 5 %

Сурьма и мышьяк являются вреднейшими примесями при свинцовой плавке и сильно сказываются в дальнейшем при очистке полученного свинца на его механических качествах. В виду летучести сернистой сурьмы увлекающей свинец, ее легкоплавкости, способствующей спеканию руды, она оказывает вредное действие уже при содержании 2—3 проц. Роль мышьяка такая же, после сурьмы он наиболее вредная примесь.

Серебро и золото в большей своей части переходят в свинец при плавке свинцового блеска.

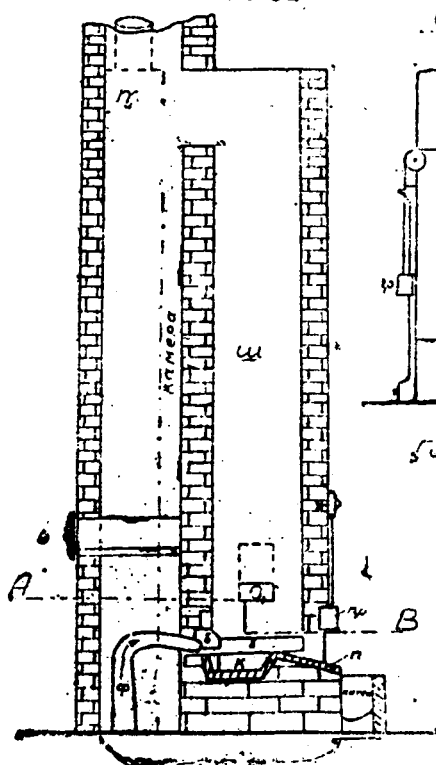
Таким образом, горновая плавка пред'являет серьезные требования к обрабатываемой руде. Руда должна быть богатой по содержанию свинца и чистой, свободной от примесей, нарушающих правильное протекание плавки.

За время работы практика выработала много конструкций горнов, из них наибольшим успехом и широким распространением пользовался так называемый шотландский горн. Собственно все горна похожи друг на друга и по конструкции, и по способу работы. Разница заключается лишь в различных технических усовершенствованиях, введенных за последнее время, значительно улучшивших работу горнов и их обслуживание.

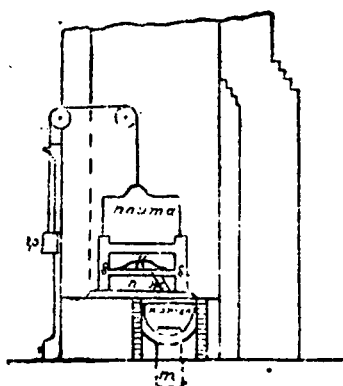
Шотландский горн (фиг. 1) представляет плоское чугунное корыто (к), заделанное в кирпичную кладку. Корыто (горн) с одной стороны имеет рабочую плиту (п) с желобом (ж), который направляет стекающий свинец в приемник (котел), снабженный топкой, газы которой отводятся трубой (т). Для защиты стенок горна от прогорания и раз'едания шлаками, часть кладки, соприкасающаяся с обрабатываемой рудой, облицована с трех сторон чугунными брусьями. Сам горн и рабочая плита отливаются вместе из чугуна. Дутье подается фурмой (ф), расположенной на 5 см выше уровня свинца в горне, под давлением 10 мм водяного столба. Газы и пыль, образующиеся при плавке

однимаются вверх по шахте (ш), попадают в камеру (кам), где осаждается часть пыли, которая удаляется через отверстие (о), загрузка топлива происходит через отверстие (О), в стенке шахты. Руда

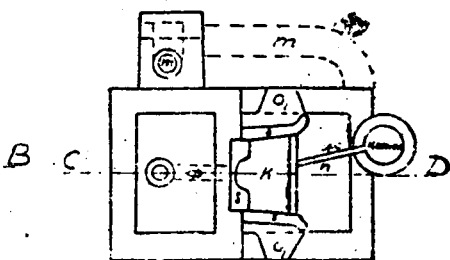
Вертикальный разрез по С-С



Общий вид



Горизонтальный разрез по АВ



Фиг. 1. Шотландский горн

загружается через отверстие спереди горна, закрываемое чугунной плитой,двигающейся в раме и снабженной противовесом (Пр).

Главнейшие размеры. Длина 774 мм—762 мм. Ширина—610 мм., глубина от 152 до 305 мм, диаметр фурмы—25 мм. Емкость горна от 607 кг до 2 тонн металлического свинца.

Работа у горна. При начале работы горн разогревают дровами, прибавляют древесный уголь и пускают дутье, которое быстро раскаляет уголь. После этого прибавляют еще угля, а золу и шлак сгребают из горна. В скором времени уголь раскаляется так сильно, что пламя наполняет весь горн, в это время и приступают к наполнению горна свинцом. Для этого, загружают к задней стенке горна некоторое количество остатка от старой садки или руду с небольшим количеством древесного угля, обычно берут от 46 до 8 кг свинцовой руды с 5 проц. угля.

Руда вскоре накаляется докрасна, и вытопившийся свинец, просачиваясь через массу горячего материала, собирается в тигле. Первая операция длится примерно 5 минут, после чего дутье останавливают

и загружают большую часть количества руды, переворачивают ее, чтобы жар охватил всю массу. Пускают дутье, а расплавившиеся части и спекшиеся куски извлекают из горна на рабочую плиту лопатой или ломом. Шлак отделяют от богатого свинцом остатка и бросают в ящик с водою, для охлаждения, а остаток загружают обратно в горн, а затем снова загружают руду и уголь. Это повторяют до тех пор, пока весь горн не наполнится свинцом. На этом заканчивается первая операция получения жидкой ванны свинца. Иногда, чтобы ускорить работу и наполнить горн, употребляют твердый (чушковый) свинец. Дальнейшая плавка идет на жидкой ванне.

Если во время работы приходится останавливать работу горна, то руду, плавающую поверх свинца, удаляют из горна скребком, а свинец оставляют остывать. Если же горн надо снова пустить, то на расплавление свинца требуется около 1 часа.

В результате горн приведен в рабочее состояние, наполнен свинцом, а горящий уголь, смешанный с расплавленной и частично восстановленной рудой, плавает на поверхности, после этого приступают ко второй части работы. Садку, в количестве 15 кг руды и 1 кг извести, загружают на жидкий свинец, сверху шихта покрывается слоем древесного угля. Садка подвергается дутью и жару в течение 5 минут, после чего останавливают дутье. Один из рабочих засовывает клюку в разные места горна, разрыхляет и перемешивает руду и слегка приподнимает ее кверху, иногда для этой цели применяют бур. Эту операцию делают с той целью, чтобы дутье имело доступ ко всем частям шихты (загруженной смеси руды, извести и угля).

Другой рабочий полурастопленную массу извлекает лопатой из-под низа шихты на рабочую плиту, благодаря чему руда, находящаяся сверху, опускается вниз. Расплавленную массу, вытасченную с рабочей плиты, разбивают, а шлак отделяют от руды, сбрасывая в сторону, иногда в ящик с водою, а руда опять поступает в горн. В это же время удаляют шлак, налипший на фурмы и загружают немного угля на шихту. На уголь снова распределяют свежую руду и т. д. После этого можно пустить дутье и продолжать плавку.

Обожженная известь, вводимая в руду в количестве от 1 до 4 проц. (в зависимости от плавкости руды), препятствует плавлению шихты, могущему быть при высокой температуре горна.

Избыток свинца во время вытопки стекает из горна через борт и скапливается в приемнике, из которого, после снятия с поверхности тонкого слоя шлака, разливается по изложницам.

В результате 12—15 часов непрерывной работы горн становится сильно раскаленным, и дальше в нем невозможно работать. Поэтому перед следующей плавкой в течение 5 часов горн охлаждают.

Основные достоинства горновой плавки.

а) Меньший расход топлива, но более высокосортного.

б) Способ пригоден для обработки небольшого количества свинцовой руды или других содержащих свинец материалов, так как плавка в рудных горнах может быть быстро начата и остановлена без больших затрат топлива и тепла.

Старая горновая плавка, осуществляемая в вышеописанном шотландском горне, имела ряд следующих существенных недостатков.

а) Получающаяся высокая температура и дутье являлись главными причинами потерь свинца и серебра в пыли и дыме, — поэтому избегали подвергать горновой плавке руды, содержащие значительное количество серебра.

б) Кирпичные стенки, соприкасающиеся с шихтой во время плавки, быстро разрушались от действия легкоплавких соединений свинца. Для сохранения стенок на уровне шихты их облицовывали чугунами брусками, но это мало помогало, ибо при высокой температуре шихта припекалась к ним и образовывала на брусках так называемые настывы.

Кроме того, сами бруска перегревались, отчего работа на горну, для охлаждения — приостанавливалась, т. е. плавка была периодической, а не непрерывной.

в) Частое ручное перегревание садки делало работу на горне тяжелой и опасной для здоровья. Все эти обстоятельства послужили тому, что горновая плавка начала отмирать.

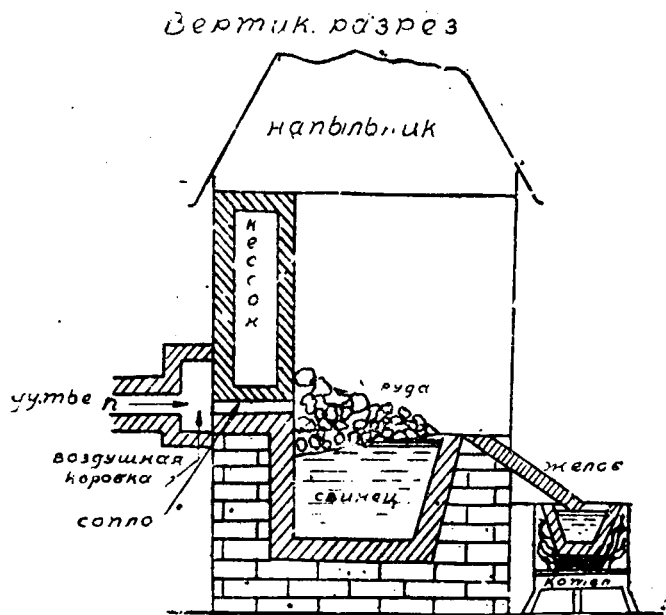
Общие успехи металлургии, за последние 20 лет, оказали свое влияние и на плавку в горне, которая снова применяется теперь при обработке богатых свинцовых руд.

Химическая сторона плавки осталась та же, но введены технические усовершенствования и горновая плавка стала более экономичной.

Как пример современного механического горна для плавки свин-

цовых, руд рассмотрим американский ватержетный горн, изображенный на фигуре 2.

Для предупреждения раз'едания стенок горна, соприкасающихся с шихтой, кирпичную кладку заменили кессонами, — пустотелыми чугунными коробками, в которых непрерывно циркулируют вода или воздух, охлаждающие кессоны и защищающие их и фурмы от прогорания. Благодаря этому удалось предупредить образование настывей, а



Фиг. 2. Американский ватержетный горн

также стало возможным вести плавку непрерывно. Вода поступает через отверстие O_1 , и уходит через O_2 .

В задней части кессона находится коробка, в которую воздух подается через патрубок. По фурменным стволам воздух распределяется и направляется в горн, на 2,5—7 см выше уровня свинца в горне. Удаление дыма и газов производится напыльником, соединенным с тягой (на фиг. не показано).

Размеры: ширина 550—600 мм, длина—610 мм, глубина—254 мм. Производительность горна—4—5 тонн руды в сутки. Высота кессона—500 мм, ширина—180 мм, диаметр фурмы—28 мм.

Помимо ватержакетного горна (по-английски: уотер-вода и жакет-рубашка) с водяным охлаждением, существует еще более усовершенствованный тип горна, а именно механический горн Ньюема.

Сущность механизации горна Ньюема состоит в том, что помимо охлаждения горна с помощью кессонов, он механизировал перемешивание шихты при плавке, что значительно облегчило работу.

Перемешивание шихты производится перегреbnым механизмом: тележкой,двигающейся по рельсам, уложенным вдоль длинной стороны горна (длина горна 2,5 м). Тележка несет на себе ломок, который при движении тележки взад и вперед вдоль горна перемешивает шихту.

Благодаря наличию в передней стороне горна перегреbnого устройства, выпуск свинца через сифон в котел устроен в боковой части горна.

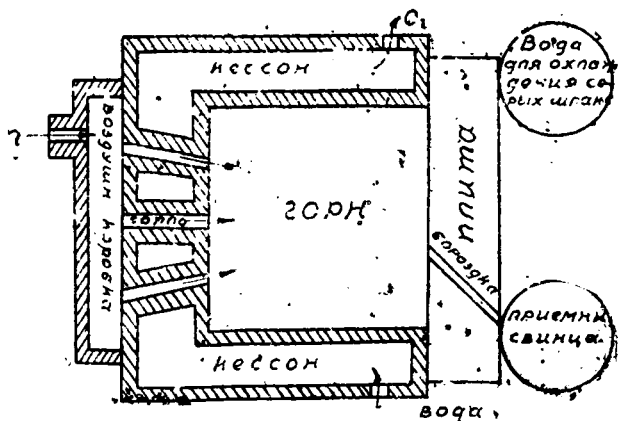
После перегреbnия удаляются серые шлаки, которые в дальнейшем сортируются (как указывалось выше). Пыль и газы, образующиеся при плавке, из напыльника отсасываются в пылеуловительную камеру, собранная пыль окисковывается (агломерируется) и возвращается в плавку, т. к. она богата свинцом и серебром. Число фурм 20—30 шт. Производительность горна—12—25 тонн свинцового концентрата в сутки. Расход топлива (угля) 4—10 проц. от веса руды. Применение механического перегреbnия в механическом горне Ньюема облегчило физический труд, позволило увеличить длину горна, а также производительность горна (непрерывный процесс) и сократило расход топлива. Увеличился выход свинца и обработка руд стала много дешевле.

Продукты плавки свинцовых руд в горнах:

1. Свинец или веркблей (при плавке руды, содержащей серебро), который очищается от примесей меди, сурьмы и др. продувкой пара или отстаиванием.

Очищенный свинец разливается в изложницы, при наличии серебра предварительно обессеребривается.

Разрез по фурмам



2. Серые шлаки — сплавленная смесь свинца, его соединений (породы известняка и топлива) различных составов с содержанием свинца 30—50 проц. перерабатываются в шахтных печах.

3. Пыль и дым содержат окисленные соединения свинца (металлического свинца 60—70), агломерируются и возвращаются в плавку, ускоряя ее процесс.

В общем, извлечение свинца при горновой плавке колеблется, в зависимости от состава обрабатываемых руд от 70 до 90 проц, 15—20 проц свинца улавливается в виде пыли и дыма, и 10—15 проц. переходит в серые шлаки, в которых содержание свинца достигает 50 проц.

Полученные в результате плавки остатки богатых свинцовых руд накапливаются и с течением времени плавятся в шахтных печах.

Основные достоинства горновой плавки:

а) Плавка свинца без предварительного обжига, с малым расходом топлива и довольно большим извлечением свинца.

б) Чрезвычайно простая, недорогая и негромоздкая аппаратура, позволяющая поставить плавку на месте добычи руды.

в) Быстрота и несложность самого процесса плавки.

Недостатки горновой плавки:

а) Применимость горновой плавки только к богатым рудам с содержанием свинца 60—70 проц. и чистым от примесей.

б) Необходимость хорошего пылеулавливания.

в) Руда должна быть зернистая.

г) Тяжелая работа, протекающая во вредных для здоровья условиях.

д) Необходимость ввести процесс для обработки серых шлаков в шахтных печах.

На ряду с указанными выше способами обработки свинцовых руд существовала раньше так называемая осадительная плавка.

В основе ее лежит восстановление сернистого свинца металлическим железом, имеющим большую химическую связь с серой, чем свинец. Поэтому металлическое железо, добавляемое при 1200° (в шахтных печах), соединяется с серой сернистого свинца, вытесняя его в виде металла из его химического соединения, как это можно видеть по реакции:

Сернистый свинец + металлическое железо = металлический свинец + сернистое железо.

Если в руде содержатся другие сернистые соединения металлов (сурьмы, никеля, меди), то металлическое железо также частично их восстанавливает, вытесняя из соединений с серой.

Достоинства осадительной плавки заключаются в следующем:

а) Получение свинца в одну операцию, б) шлак, почти не содержит свинца, в) отсутствие образования сернистого газа, отравляющего окрестность, благодаря чему осадительная плавка применялась в населенных местах.

Недостаток же плавки следующий, а) руда должна быть крупнокусковая, б) необходимо тесное соприкосновение (контакт) между сернистым свинцом и металлическим железом, что трудно достигается на практике, в) реакция не идет до конца и протекает при температуре

плавления сернистого свинца, что способствует потере последнего улетучиванием, г) образование штейнов, продуктов, требующих дополнительной переработки для извлечения свинца и к тому же загрязненных примесями других металлов.

Благодаря этим причинам, осадительная плавка в настоящее время не применяется. Эту плавку вытеснила, пользующаяся в настоящее время широким распространением, восстановительная плавка свинцовых руд в шахтных печах и перерабатывающая любые свинцовые руды, любого состава, а также дающая наибольшее количество свинца, получаемого промышленностью.

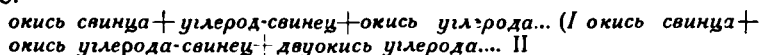
Способ шахтной плавки пригоден для всех свинцовых руд с содержанием кремнезема больше 4 проц. и с примесями других металлов (меди, сурьмы, мышьяка, цинка, никеля и др.) и состоит из двух операций:

а) Так называемого окислительного обжига, проводимого в отражательных печах, котлах или машинах Дуайт-Ллойда.

б) Восстановительного плавления обожженного материала в шахтных печах.

Если имеется смесь окисленных руд с сернистыми или чисто окисленные руды, и руды эти крупнокусковые, то они могут без обжига плавиться в шахтных печах. Сернистые же руды необходимо предварительно подвергнуть окислительному обжигу, чтобы по возможности большая часть сернистого свинца перешла в окись свинца, которая и будет восстанавливаться с помощью углерода и его окиси, до металла, в шахтной печи. При чем в результате окислительного обжига окись свинца будет получаться или свободная или связанная химически с кремнеземом и окислами железа. Связанная окись свинца также будет восстанавливаться углеродом в шахтной печи, при этом углерод будет играть двойную роль, с одной стороны, он будет восстановителем, а с другой, будет топливом, способствующим развитию температуры в печи, которая необходима для протекания реакций восстановления свинца из обожженной руды и расплавления пустой породы.

Обожженная руда смешивается с углеродистым топливом и флюсами и плавится в шахтной печи. Свободный или связанный глет (окись свинца) восстанавливается до металлического свинца твердым углеродом и окисью углерода, образовавшейся при горении углерода, как это можно видеть по следующим реакциям, приводившимся ранее:



Таким образом, свинец восстанавливается не только твердым углеродом, но и окисью углерода, которая, представляя собою газ, легко проникающий внутрь через поры (отверстия) шихты, способствует более полному выделению свинца из проплавляемого материала и позволяет восстановить свинец из более бедных руд, в которых свинцовые соединения разбавлены пустой породой.

Плавка чистой окиси свинца без флюсов (плавней) в шахтной печи невозможна, так как флюсы дают шлак, который, плаваец над свинцом, защищает последний от окисления дутьем воздуха, в обла-

сти фурм, если же шлака не будет, то свинец будет окисляться в области фурм, образуя шлак.

После плавки в шахтных печах получают следующие продукты:

1. Веркблей, являющийся конечным продуктом плавки, который представляет сплав свинца с серебром, золотом, медью и др. металлами. Золото и серебро при плавке почти целиком собирается в веркблее, содержание свинца в последнем 36 — 99,5 проц., т. е. в веркблее от 5 до 4 проц. примесей.

2. Штейн представляет собой также сплав, но сернистых соединений: свинца, меди, железа. Главную ценность в нем представляет медь. Штейн связывает свинец и серебро, поэтому является обратным продуктом, его также перерабатывают для извлечения меди.

3. Шлак представляет собой сплав окислов кремнезема, железа, кальция и др. В эти окислы переходит пустая порода руды и добавленные для легкоплавкости флюсы.

4. Газы, в основном, состоят из окиси углерода и углекислоты (двуокиси углерода), с ними улетучиваются пары и механически уносятся мелкая шихта.

5. В том случае, когда в руде присутствуют мышьяк, никель и кобальт, и в довольно значительных количествах, возможно образование пятого продукта плавки, так наз. шпейзы — сплава выше указанных металлов со свинцом и железом.

Но это бывает редко, обычно же при плавке свинцовых руд, шпейза не получается.

Таким образом, первая подготовительная операция, для плавки свинцовых руд в шахтных печах, заключается в том, что эти руды предварительно обжигаются.

Глава III

ОБЖИГ СВИНЦОВЫХ РУД

§ I. Цель обжига

Обжиг свинцовых руд ставит перед собою две задачи.

а) Удалить возможно полнее серу в виде сернистого газа, получаемого в результате обжига сернистых соединений свинца и других металлов, т. е. обжиг должен быть окислительным для получения окислов металлов. Кроме того, удаление серы необходимо, так как она при шахтной плавке вызывает образование штейна — сплава сернистых соединений металлов. Удаление (выжигание серы) из сернистых соединений сурьмы и мышьяка ведет к образованию летучих окислов последних, в противном случае мышьяк и сурьма способствуют образованию шпейзы, сплава их с другими металлами.

Штейн и шпейза увлекают с собою часть содержащихся в руде золота и серебра, а также свинца для выделения которых необходима дорогая и сложная переработка. Из этих соображений удаление серы должно быть по возможности полным, за исключением тех случаев, когда в руде много меди.

б) Вторая цель обжига свинцовых руд, чисто физическая, — это придание руде кусковой формы, в которой она могла бы плавиться в шахтной печи, т. е. в результате обжига руда должна быть агло-

мерирована (окускована), ибо шахтная печь является прибором для плавки крупнокусковых руд.

В зависимости от содержания в руде ценного серебра, эти руды плавят иногда и без предварительного обжига, тогда как выработавшееся на основании практики правило, требует в ней серы не более 8 проц. (зависит еще от содержания свинца в руде).

Это отступление делают иногда благодаря тому, что обжиг руды, происходящий при высокой температуре, вызывает улетучивание свинца, который механически увлекает с собою значительные количества серебра, создавая большие потери последнего, снижая общий процент получения серебра при плавке. Поэтому при серебро-свинцовой плавке, в основном на серебро, предпочитают плавить руду без обжига (сырой), при содержании серы даже больше 8 проц.

Когда же проводят свинцово-серебряную плавку для руд, бедных серебром, и особенно когда в руде присутствует в значительном количестве цинковая обманка (сернистое соединение цинка), то предварительный обжиг руды перед плавкой в шахтной печи является обязательным и даже необходимым, ибо сернистый цинк перед плавкой должен быть обожжен и по возможности целиком переведен в окись цинка.

Во время плавки сернистый цинк и окись цинка ведут себя различным образом, что сказывается на процессе плавки. Окись цинка легко растворяется в шлаке и поэтому для плавки безвредна, тогда как сернистый цинк создает большие неполадки в нормальной работе шахтной печи. Сернистый цинк входит в состав штейна и образует так называемый „пенистый“ штейн. Этот цинковый штейн, по своим качествам, является весьма тугоплавким, и легким, очень легко дает настывы в печи, а также трудно отделяется от штейна и шлака, и если его образовалось много, то он расстраивает нормальный ход плавки в шахтной печи. Кроме этого, в нижних частях шахтной печи (где имеется высокая температура до 1200° , сернистый цинк реагирует с металлическим железом, которое вытесняет цинк так же, как и свинец из его химического соединения серой. Получается металлический, цинк и сернистое железо. А так как металлический цинк кипит при 930° , то он получится в виде паров, которые будут подниматься кверху печи. Вверху печи пары металлического цинка, встречая углекислоту и кислород, соединятся с ними и окислятся до окиси цинка, которая мало летуча и осядет на стенках печи, образуя наплывы — настывы. Эти настывы уменьшают полезный объем печи — живое сечение печи и опять, таки расстраивают нормальный ход плавки. Из изложенного выше ясно, что перед плавкой мы должны обжигом окислить сернистый цинк до окиси цинка. Таким образом, при наличии в руде сернистого цинка (цинковой обманки) обжиг является обязательным, независимо от содержания в руде серебра или других примесей, которым обжиг мешал бы.

Следовательно, обжигая руду, мы стремимся к наиболее полному выжиганию серы. Обычно выжечь серу намертво не удастся и не требуется, т. к. для удаления последних $1-1\frac{1}{2}$ проц. серы необходимо затратить очень много топлива и энергии. Поэтому на заводах, работающих хорошо, среднее содержание серы в агломерате (обожжен-

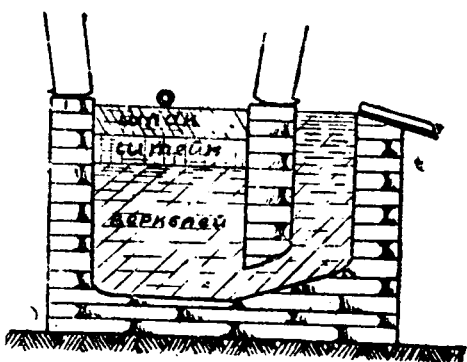
ном продукте) колеблется от 1 до $1\frac{1}{2}$ проц. Стремление оставить известный процент серы в обожженной руде вызывается также и присутствием в ней частого спутника свинца — меди. Возьмем такой пример: руда содержит некоторое количество меди. Обжигаем эту руду намертво, т. е. полностью удаляем из руды серу. В результате обжига сернистые соединения меди окислятся — соединятся с кислородом воздуха (сера в виде сернистого газа уйдет из обжиговой печи) и дадут окислы меди различного состава. Что получится при плавке такой руды? Окись свинца, получившаяся также при обжиге руды, восстановится при плавке до металлического свинца, который, просачиваясь через слой шихты, соберется внизу печи, в приемный горн. Окислы меди частично восстановятся до металлической меди, которая растворится в свинце и даст сплав веркблей. Часть же меди, в виде окислов, образует силикаты (соединения с кремнеземом руды и флюсов), которые перейдут в шлак. Количество меди в шлаке и веркблее довольно высокое, а так как шлак почти не перерабатывается на медь, то находящаяся в шлаке медь будет потеряна, что нежелательно, так как медь стоит дороже свинца (по довоенным ценам в 3—4 раза). Кроме того, растворенная в свинце медь вызывает большие неудобства при выпуске свинца из горна через так называемый сифон. Медь растворяется в свинце при определенной температуре, с понижением которой (во время выпуска) она отделяется от свинца в виде кристаллов, которые и захватывают отверстие затрудняя выпуск. Поэтому стараются перевести медь в штейн, который впоследствии подвергается специальной переработке на медь.

С практической точки зрения, получение некоторого количества штейна выгодно и для самого процесса плавки в шахтных печах.

Штейн обладает удельным весом около 5, т. е. больше удельного веса шлака (3,5) и меньше удельного веса свинца (11, 3), от чего штейн (см. фиг. 3) располагается самостоятельным слоем между шлаком и свинцом и предупреждает потерю запутавшегося свинца путем механического увлечения его шлаком при выпуске последнего из печи. Штейн при своем образовании, стекая вниз печи, проходит через шлак и вымывает из последнего запутавшиеся в шлаке корольки свинца. Кроме того, штейн предохраняет образовавшийся свинец от окисления дутьем в области фурм.

В образующемся штейне растворяются сернистые соединения других металлов, которые в отсутствии штейна перешли бы в свинец, а также увеличили бы в нем количество примесей.

И, наконец, удаление серы полностью при обжиге руды связано с большими практическими трудностями и обходится весьма дорого. Правда, образование штейна не совсем желательно по следующим



Фиг. 3. Вид горна шахтной печи

причинам: а) штейн частично связывает серебро и свинец, уменьшая их выход, б) штейн уводит из шлаков значительное количество железа, что требует компенсации путем ввода большего количества железняка, т. е. удорожает плавку, в) штейн требует специальной обработки. Все это недостатки получения штейна во время свинцовой плавки. Как выше уже говорилось, ведение и плавка в шахтной печи свинцовых руд при наличии штейна намного облегчит работу металлурга.

Перед обжигом руды возникают следующие вопросы: а) сколько серы нужно оставить в обожженном материале для получения штейна? б) какого состава и сколько штейна должны мы получить при последующей плавке? Штейн представляет сложный сплав сернистых соединений металлов и просто растворенных металлов, например железа.

Не вся сера, оставшаяся в обожженной руде, идет на образование штейна, — часть серы во время плавки выгорает, часть ее в виде сернистых соединений переходит в шлак. Это всегда имеют в виду, когда хотят определить выход штейна при плавке.

Содержание серы в заводских штейнах колеблется от 16 до 22 проц., в среднем принимают содержание серы в свинцовом штейне в 20 проц.

На практике считается нормальным выход штейна от веса веркблея в 7—8 проц. Это зависит еще от содержания меди, для этого руду обжигают, оставляя в ней, примерно, до 2 проц. серы. Из обожженной руды, только 60—70 проц. серы участвует в образовании штейна, — являясь штейнообразующей серой. Содержание меди в штейне, — также важное обстоятельство. При малом количестве штейна, богатого медью, отделить его полностью от шлака и веркблея затруднительно, кроме того, штейн, богатый медью, потерял бы много меди в шлаке, благодаря окислению в области фурм кислородом дутью.

Поэтому при плавке медистых руд стремятся получать бедные штейны с содержанием меди не более 10—12 проц. Главной составной частью штейна, помимо меди, является сернистое железо, сообщающее последнему ряд ценных свойств: понижает температуру плавления штейна, увеличивает его количество, благодаря чему штейн, при сравнительно небольшом перегреве полностью отделяется от веркблея и шлака. Кроме того, наличие сернистого железа в штейне способствует извлечению из шлака и растворению в нем так называемой полусернистой меди, одной из главных составляющих штейна, — в связи с этим потери меди в шлаке уменьшаются.

Как уже упоминалось выше, благодаря наличию цинка в руде в виде сернистого цинка, надо производить обжиг руды до полного удаления серы с целью полного перевода сернистого цинка в его окись, и растворение окиси в шлаке. С другой стороны, присутствие меди в руде заставляет металлурга обжигать руду не намертво, а оставлять известный процент серы, необходимый для образования штейна во время шахтной плавки. Поэтому при обжиге руд, содержащих цинк и медь, приходится выбрать ту степень обжига, которая дает наименьшее затруднение при плавке такой руды.

Обычно руду обжигают до количества серы, способного дать наименьшее количество медного штейна. Этим путем большую часть окиси цинка удастся перевести в шлак, но зато приходится мириться

с тем, что некоторая часть меди благодаря недостатку серы перейдет в веркблей, чем затруднит последующую переработку последнего. Примером такого рода плавки может служить Риддеровский завод на Алтае. Концентрат этого завода содержит 14—16 проц. цинка и 2—2,5 проц. меди, при последующей плавке обожженного концентрата получается штейн с 11—16 проц. меди и 7—11 проц. цинка.

Таким образом, часть меди переходит в веркблей, где содержание меди иногда доходит до 3 проц. (от 0,5 до 3 проц.). Веркблей же, богатый медью, весьма нежелателен при свинцовой плавке, из-за его сложной переработки и затруднений, вызываемых им при выпуске из печи. Впрочем, за последнее время на Риддере стремились повысить проц. цинка в шлаках доходя до 15 проц.¹

Лучшим же решением задачи является более полное разделение цинка от свинца и меди во время флотационного обогащения. Этим путем удастся получить свинцовый концентрат с небольшим процентом цинка, чем пользуются на многих современных заводах, обрабатывающих сложные руды.

Обжиг свинцовых руд имеет целью удаление мышьяка, сурьмы и серы, при их присутствии в руде. При малом содержании мышьяка и сурьмы в рудах, они при плавке распределяются между веркблеем и штейном, затрудняя очистку последних.

При большом содержании мышьяка, при шахтной свинцовой плавке он способен дать особый продукт, называемый шпейзой. Шпейза есть сплав мышьяка или сурьмы с металлическим железом и обладает способностью растворять некоторое количество свинца, меди, золота, серебра и др. металлов, а это ведет к уменьшению выхода свинца при плавке. Кроме того, переработка шпейзы для извлечения ценных примесей очень сложна и обходится весьма дорого; шпейза, являясь тугоплавкой, требует высокой температуры и, следовательно, увеличивает расход топлива при плавке. В горне ватержакета она часто замерзает, что ведет к расстройству нормального хода печи.

В том случае, когда в руде присутствуют никель и кобальт, образование шпейзы необходимо. Никель и кобальт являются дорогими и сравнительно редкими металлами, и поэтому их выгодно извлечь из руды, помимо этого никель и кобальт, переходя в веркблей, затрудняют его очистку и содействуют потерям свинца в шлаке и штейне. В случае присутствия кобальта и никеля прибегают к образованию шпейзы, куда они и переходят.

В отсутствие никеля и кобальта в получении шпейзы нет необходимости, поэтому руды, для удаления мышьяка и сурьмы, в виде летучих окислов должны быть предварительно обожжены в обжиговых печах при низкой температуре (500—600°), с малым доступом воздуха.

При содержании мышьяка в руде больше 2 проц., она считается мышьяковистой. Ее подвергают специальной переработке для

¹ Сообщение доц. УИЦМ А. Л. Ц Е Ф Т

За последнее время этот процент содержания цинка в шлаке превышает 20.

извлечения мышьяка в виде летучего низшего окисла мышьяка и уже после этого ведут обработку руды для получения свинца.

Роль других примесей мы рассмотрим несколько дальше, частично этот вопрос в нашей книге рассматривался при реакционной и горновой плавке. Остальные примеси менее важны и при обжиге играют подчиненную роль.

§ 2. Условия обжига свинцовых руд

Обжиг свинцовых руд производится в самой разнообразной аппаратуре. Если эту аппаратуру рассмотрим в исторической последовательности, то будем иметь следующую схему:

1. До 1890—1896 года обжиг в отражательных печах был единственным средством обжига свинцовых руд. В последующие годы вплоть до 1910 г. этот способ обжига играет все меньшую роль. В настоящее время отражательные печи применяются для способа предварительного обжига руд, богатых мышьяком, сурьмой и серой.

2. Обжиг с продуванием или просасыванием воздуха через слой шихты, осуществляемый в котлах, машинах Дуйт-Аллойда и Шлиппенбаха.

Можно упомянуть также и о том, что при употреблении крупнокусковых руд обжиг их велся в кучах¹, стойлах² и кильнах³, хорошего же результата не получалось, т. к. руды после обжига приходилось сортировать.

Надо сказать также, что технически несовершенный обжиг экономически невыгоден, а кроме того, и крупнокусковых руд в настоящее время нет, поэтому указанные методы сейчас не применяются.

Состав продукта, получающегося в результате обжига, зависит не только от состава руды и величины ее зерна, но также и от условий обжига. Выше мы приводили реакцию окисления сернистого свинца кислородом воздуха:

сернистый свинец + кислород = окись свинца + сернистый газ.

Эта реакция (соединение свинца с кислородом воздуха) между твердым телом и газом, идущая с поверхности зерна, идет медленно. Это значит, что не будет хорошего контакта, необходимого для окисления свинца. В целях лучшего соприкосновения кислорода с рудой, руду измельчают перед обжигом. При грубом измельчении, когда у нас частицы (зерна) руды будут сравнительно крупные, неравномерные, может произойти следующее: обжиг каждой частицы происходит от поверхности к ее центру (ядру), и в то время как центр зерна будет состоять еще из неизменного сульфида свинца, на поверхности образуется пленка окиси свинца, которая даст с кремнеземом силикат свинца, вследствие чего получится спекание частиц и полный обжиг руды затормозится, ибо доступ кислорода к частицам руды будет затруднен.

Чтобы предупредить указанное явление, руду измельчают до такой степени, при которой каждая частица могла бы обжигаться быстро и равномерно.

¹ Кучи — обжиг в течение нескольких месяцев.

² Стойла — те же кучи, но с огородкой, обжиг в течение нескольких дней.

³ Кильны — шахтные печи с использованием сернистого газа — обжиг в течение нескольких часов.

Обычно руду измельчают до 2—4 мм, (более же тонкое измельчение не только полезно, но даже вредно, т. к. тонкий материал в печи слеживается, становится непроницаемым для кислорода воздуха и может спечься.

На практике измельчение руды обычно не производят, так как подвергают обжигу, в большинстве случаев, тонкие концентраты (с величиной зерна 0,1—0,06 мм), обжиг которых связан с большими затруднениями. Кроме степени измельчения руды, для лучшего окисления сернистого свинца и других сернистых соединений, т. е. для лучшего контакта руды с кислородом воздуха, необходимо еще перемешивание частиц руды при помощи перегребания.

Конечной целью обжига является получение наибольшего количества окиси свинца и наименьшего количества сернокислого и сернистого свинца.

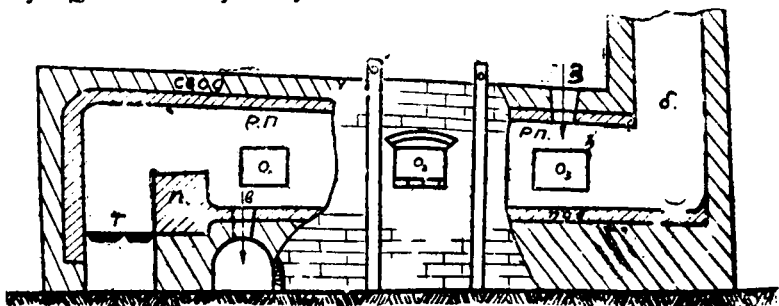
Как говорилось выше, сернокислый свинец получается в результате химического соединения окиси свинца с серным ангидридом (см. стр. 10) в условиях низкой температуры и большей концентрации (содержание) в газах сернистого газа и серного ангидрида.

Образованию же окиси свинца, к чему мы и должны стремиться, соответствуют обратные условия, поэтому обжиг свинцовых руд должен проводиться при высокой температуре и не ниже 800—900, так как при этой температуре получается сравнительно мало сернокислого свинца, чему еще способствует усиление тяги в печи для удаления сернистого газа и серного ангидрида, т. к. последние, обладая большим удельным весом (тяжелые газы), могут находиться над слоем руды и препятствовать ее окислению кислородом воздуха.

§ 3. Обжиг в отражательных печах

Отражательная печь до 1900 года была почти единственным прибором, в котором обжигались мелкие свинцовые руды и концентраты. Сейчас этот способ оставлен, а сама отражательная печь, с применением технических усовершенствований и изменений способов работы употребляется для предварительного частичного обжига, предшествующего обжигу с дутьем.

Отражательная печь является одним из наиболее простых металлургических приборов и состоит из трех главней-



Фиг. 4. Отражательная печь с ручным перегребанием

ших частей (фиг. 4): топки (Т) с колосниковой решеткой, отделенной перегородом (П) от рабочего пространства печи (РП), заканчивающегося бором (Б) для отвода в трубу обжиговых газов и продуктов горения топлива.

Рабочее пространство печи (РП) ограничивается сверху сводом и снизу подом, выложенным так же, как и порог, из огнеупорного кирпича, выдерживающего высокую температуру. В боковых стенках печи устроены рабочие окна (0_1 , 0_2 , 0_3), через которые производится перегибание руды. Длина пода печи, от порога до борова, зависит от характера обжигаемого материала — от содержания в руде серы, и изменяется от 12 м до 18—20 м. Для свинцовых руд, богатых серой, для полного обжига которых и использования теплоты получаемой при горении серы, необходимо более длительное пребывание руды в печи, для чего увеличиваются размеры последней.

Печи с длиной пода более 25 м не строятся, т. к. экономия топлива, получающаяся от увеличения длины печи, не окупает расходов по ее обслуживанию.

Ширину пода печи делают с таким расчетом, чтобы получить возможность легче и удобнее перегревать руду. Перегревание производят или с одной стороны печи или же с обеих. При одностороннем перегревании, для удобства работы, ширина печи делается около 2—2,5 м, а при двухстороннем перегревании 4 м. Высота пода над сводом делается 40—60 см, это необходимо для лучшего использования кислорода воздуха, находящегося в печи, путем соприкосновения его с рудой.

Для повышения температуры в печи, около борова, т. е. в части наиболее удаленной от топки, печи делаются с покатым сводом, т. е. свод имеет наклон к борovu и делается более плоским. Иногда, для выполнения этой цели, строят также печи, у которых при горизонтальном своде подьем пода делают к борovu. Практически это выполняют, делая под уступчатым (ступеньками), под имеет, как говорят, несколько подин и при обжиге руда перегревается с одной подины на другую. Таким образом, печь у порога и у борова имеет различное сечение, благодаря этому газы, выходя из топочного пространства, ускоряют свое движение при подходе к борovu, в этом месте в секунду проходит больше газов, которые и отдают свое тепло, выравнивая температуру у места загрузки (3), т. е. в самой холодной части печи. Свое название отражательная печь получила вследствие того, что теплота в ней передается руде, отражаясь от свода и стенок печи, хотя часть тепла передается и непосредственным соприкосновением горячих газов с рудой.

Воздух, который содержит кислород, необходимый для окисления, поступает в печь или через колосниковую решетку и через рабочие окна во время перегревания руды, или же через особые отверстия в стенках печи, куда он поступает из каналов, расположенных или в поду печи, или в стенках топки, где он подогревается. Для уменьшения потери тепла число рабочих окон в печи должно быть по возможности меньше, однако не настолько, чтобы затруднить перегревание руды.

Руда в печи движется навстречу горячим газам, этот способ работы называется противотоком, и при нем тепло газов используется лучше.

Руда загружается в наиболее холодной части печи, с температурой 300°, вблизи борова (6) через отверстие в своде печи (3) и раз-

равнивается по поду слоем толщиной 7,5—15 см. Через некоторое время после загрузки руда воспламеняется и по прошествии 1—3 часов перегребается ближе к порогу, а на ее место загружается новая порция руды. Таким образом руда двигается скачками, пребывая на каждом участке от 1 до 3 часов (что зависит от ее состава) и выгружается через рабочие окна, либо через отверстие в поду печи (в). Рабочие окна обычно снабжаются роликами, для облегчения работы перегребания, т. к. перегревать руду приходится тяжелыми железными клюками — гребками, что является очень тяжелой работой.

Руда движется постепенно навстречу возрастающей температуре от 300 до 800—900°, такое медленное нагревание и повышение температуры препятствует преждевременному спеканию или даже сплавлению руды.

Сплавление могло бы получиться, если бы мы сырую или недостаточно обожженную руду непосредственно подвергли действию высокой температуры, способствующей сплавлению сернистых соединений, более легкоплавких, чем окисные соединения.

Величина зерна, толщина слоя руды, а также частота перегревания зависят от состава руды. Руды, богатые сернистым свинцом и цинком, для полного обжига и во избежание спекания обжигаются в более тонком слое (7 см) и с частым перегреванием (через 45 мин.). Другие же руды, например, содержащие железный колчедан (соединение серы с железом), не требуют столь частого перегревания (через 1,5 часа) и окисляются довольно быстро в слое толщиной 12—15 см.

Продолжительность обжига зависит от степени окисляемости руды. Руды, содержащие сернистые свинец и цинк, требуют медленного обжига для полного окисления.

Температура конца обжига зависит от плавкости руды и той степени обжига, которая является желательной. Если мы хотим обжечь руду намертво, т. е. полностью удалить серу, то конечная температура должна быть такой, при которой разлагаются устойчивые сернистые соединения свинца и цинка, т. е. примерно 900—950°.

Все же, повышение температуры в конце обжига не дает еще полного разложения сернокислого свинца, который образует со окисью свинца стойкие соединения. В подобных случаях поступают следующим образом: для получения продукта, бедного серой и полного разложения сернокислого свинца, прибавляют кварца (если он не имеется в руде). Разложение протекает по следующей реакции.

$$\text{сернистый свинец} + \text{кремнезем} = \frac{\text{окись свинца} + \text{кремнезема}}{(\text{силикат свинца})} + \frac{\text{сернистый газ} + \text{кислород}}{(\text{сернистый ангидрид})}$$

Следовательно, кремнезем (кварц) способствует разложению, образуя с получающейся окисью легкоплавкие силикаты.

К концу обжига, когда руда достигает температуры 950—1000°, она под влиянием образовавшихся силикатов начинает оплавляться, спекаться. Ранее уже упоминалось, что второй целью обжига является получение окускованного (агломерированного) и спеченного материала, пригодного для плавки в шахтных печах. Этот процесс лежит в основе шлакующего обжига свинцовых руд.

Существуют три способа обжига свинцовых руд в отражательных печах:

- а) Обжиг с ошлакованием.
- б) Обжиг с агломерацией или спеканием.
- в) Обжиг до порошкообразного состояния.

а) *Обжиг с ошлакованием.* При этом способе руда обжигается, затем накаливается до температуры $950-1000^{\circ}$, в присутствии кварца, который соединяется с окислами металлов и образует силикаты, сплавляющие руду. Получившаяся сплавленная масса выгружается из печи и после охлаждения разбивается на куски, которые поступают в шахтную плавку.

Печь для обжига с ошлакованием несколько иного вида, чем обычная отражательная печь с уступами, а именно, она представляет собою две разделенные части, на одной из них ведут обжиг, а на другой, расположенной у топки, производят шлакование предварительно обожженной руды. Обжиг с ошлакованием дает продукт с низким содержанием серы и по своему качеству пористости и окускованности, вполне пригодной для шахтной плавки. Благодаря высокой температуре обжига процент потерь свинца и серебра улетучиванием велик, достигая для свинца 15—20 проц. и для серебра 2—3 проц. и увеличивается с увеличением серебра и свинца в руде.

Обжигу с ошлакованием подвергают: руды, бедные свинцом не более 10—15 проц. и бедные серебром. Кроме того, большой расход топлива, достигающий 30—45 проц. Производительность печи 6—8 садок по 1—1,5 т в сутки. В обожженной и сплавленной руде остается 1—3 проц. серы.

б.) *Обжиг с агломерацией* или спеканием широко практиковался до 1900 г. европейскими заводами, которые производили обжиг богатых свинцовых руд и концентратов. Обжиг со спеканием проводится так же, как и обжиг с ошлакованием, но благодаря тому, что обжиг идет при более низкой температуре, потери свинца улетучиванием незначительны и не превышают 5 проц. Температура в конце обжига соответствует размягчению руды, т. е. приблизительно $900-950^{\circ}$ и часть свинца может ошлаковаться — спечься.

Производительность печи 12 т в сутки, серы выгорает меньше и ее в обожженном спекшемся материале остается до 3—5 проц. Расход топлива 25 проц. от веса руды. Работу в печи ведут следующим образом, руду загружают в конец печи, постепенно по мере обжига передвигают к порогу и при температуре ее размягчения вытаскивают из печи и сбрасывают в котелки, где утрамбовывают железными пестами. В результате получается агломерат, который после охлаждения разбивается на куски и идет в плавку в шахтную печь. На заводах более предпочитали вести обжиг со спеканием, чем обжиг с ошлакованием, т. к. при первом способе (спекании) процент потери серебра и свинца улетучиванием меньше. Кроме того, в спекшемся материале серы содержится немного более, чем в ошлакованном, а практика доказала, что чем больше удалять серы, тем дороже обходится обжиг.

в) *Обжиг до порошкообразного состояния* самостоятельного значения не имел и не имеет и применяется главным образом для пред-

варительного обжига свинцовых руд. Обжиг производится в печах с гладким ровным подом, для чего могут применяться обычные отражательные печи с ручным перегребанием или механические печи разнообразных конструкций.

Цель обжига — удаление серы и мышьяка (не полное) и получение продукта в порошкообразном состоянии. Обжиг ведут при температуре, не превышающей 800° , поэтому потери свинца и серебра ничтожны, например, потери свинца при обжиге достигают до 5 проц. В обожженном продукте остается от 5 до 9 проц серы, однако содержание серы может быть доведено до 1—1,5 проц. увеличением продолжительности обжига и повышением температуры. Частично обожженная руда подвергается еще раз дополнительному полному обжигу, смешивается с крупно-кусковыми рудами и плавится в шахтных печах. Производительность печей в зависимости от их размеров и характера руды (содержания серы и примесей) колеблется от 4 до 15 *t* в сутки. Расход топлива составляет 15—25 проц. от веса руды и зависит от содержания серы в руде и продолжительности обжига.

При составлении шихты для обжига в отражательных печах различают два типа руд:

а) Богатые руды с содержанием 50—60 проц. свинца и бедные серебром.

б) Смешанные сернистые руды с содержанием свинца 10—16 проц., богатые серебром.

Первые руды требуют присадки кварца до 15 проц. для разложения сернокислого свинца, который может образоваться при обжиге (отчасти); при шлакующем обжиге присадка кварца главным образом необходима для образования легкоплавких соединений — силикатов свинца. При большом содержании кварца, больше 15 проц., в шихту добавляется железный флюс, для понижения температуры плавления смеси.

При втором типе руд спекание и оплавление во время обжига может произойти за счет образования соединений кварца не с окисью свинца, благодаря малому ее количеству, но с окислами других металлов, главным образом с железом. Вообще шихта для обжига и самый обжиг должны быть такими, чтобы в результате не получилось раз'едание кладки пода и стенок печи, выложенных из огнеупорного материала (шамот, динас), который по своему химическому составу может подвергнуться действию составляющих обжигаемой шихты.

Все описанные способы обжига применялись до введения в практику металлургии свинца способа обжига с дутьем и имели крупные недостатки.

а) Очень большой расход топлива и плохое использование при обжиге теплоты горения серы сернистых соединений.

б) Малую производительность печей в пересчете на единицу площади пода (1 м^2) и возникающую в связи с этим необходимость постройки нескольких отражательных печей для обслуживания нужд одной шахтной печи, что является крайне невыгодным.

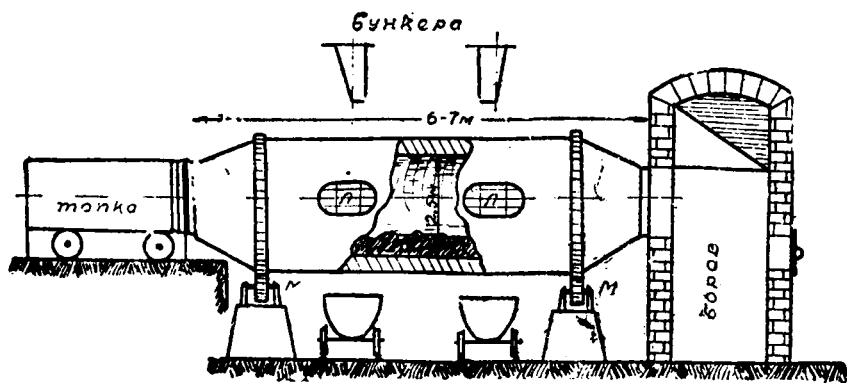
в) Большое количество персонала, обслуживающего печь.

г) Тяжелая и вредная работа.

д) Неиспользование образующегося при обжиге сернистого газа с целью получения серной кислоты.

е) Вследствие всего вышеизложенного высокая стоимость обжига.

Для удешевления стоимости обжига и увеличения производительности применяли различные печи, заменившие ручное перегревание механическим. Эти печи в настоящее время служат для целей предварительного обжига руды перед обжигом с дутьем, при изложении которого нам и придется с ними познакомиться.



Фиг. 5. Печь Брюкнера

Одно время при обжиге свинцовых руд применялась вращающаяся трубчатая печь Брюкнера, представляющая собой (фиг. 5) железный цилиндр с внутренним пространством, выложенным (футерованным) огнеупорным кирпичом. Этот цилиндр, с помощью мотора (м), вращается вокруг горизонтальной оси, делая 1,5—2 оборота в минуту. Печь Брюкнера обжигает в сутки 8—12 т руды, загружаемой и выгружаемой через люки (л), до содержания серы 2,5—6 проц. и расходует 16—20 проц. каменного угля от веса руды. Обжигали в ней руды с содержанием 15—30 проц. свинца, т. е. бедные, а также перерабатывали свинцовые штейны.

При обжиге руд, богатых серой, в печи образуется большое количество сернистого газа, который долгое время может оставаться вместе с рудой, препятствуя ее окислению, и для удаления которого из печи и обновления воздуха кислородом навстречу газам пускали струю сжатого воздуха, сдувающего пленку сернистого газа с поверхности руды. Печь действует периодически, общая продолжительность обжига одной садки весом в 24 т составляет от 36 до 60 часов. К числу ее недостатков относятся:

а) Малая производительность, не более 15 т в сутки.

б) Медленный обжиг.

в) Большое пылеобразование, достигающее, как вообще во всех трубчатых печах, 10—15 проц. от веса руды, когда обжигу подвергаются мелкие руды и концентраты.

г) Образование настилей на стенках печи.

Таким образом, печь Брюкнера имеет целый ряд крупных недостатков, благодаря которым она теперь совершенно не применяется.

Некоторым распространением пользовались также вращающиеся печи типа Вельц, применяемые в цинковой промышленности для получения окиси цинка.

Обжиг с дутьем был предложен двумя металлургами—Гуэтиагтоном и Геберлейном в 1897 г., которые производили опыты с 1889 г. по 1896 г. на заводе Пертулоза, в Италии.

Обжигом с дутьем называют все операции, имеющие целью обжиг и спекание, при которых воздух продувается или просасывается через слой обжигаемой руды, нагретой до температуры воспламенения. При этом для успешной работы необходимо, чтобы частицы сернистых соединений были раз'единены во избежание преждевременного сплавления их между собой и, кроме того, они должны находиться в тесном контакте с флюсами, прибавленными к руде до ее обжига.

Во время процесса происходит усиленное омывание каждой частицы сернистого соединения кислородом воздуха, благодаря чему удается обжечь и агломерировать руду в короткое время с малой затратой топлива.

Теплота, развивающаяся при горении сернистых соединений металлов, используется для спекания их окислов. Сам процесс окисления, начавшись в одном месте, быстро и автоматически распространяется на всю массу руды. Чтобы получить хорошие результаты, необходимо вести процесс быстро (форсировать его) и в ограниченном пространстве для лучшего использования теплоты, а также во избежание ее потери. Продуктом обжига является прочный и пористый агломерат, который по своему химическому составу и физическим свойствам вполне пригоден для плавки в шахтных печах. Сернистые газы используются иногда для получения серной кислоты.

В настоящее время обжиг с дутьем пользуется повсеместным распространением и почти совершенно вытеснил обжиг в отражательных печах за малым исключением, когда последние применяют для предварительного обжига руды.

Преимущества процесса обжига с дутьем:

а) Более совершенный обжиг и агломерация, при которых потери металлов через улетучивание очень незначительны.

б) Большая производительность приборов.

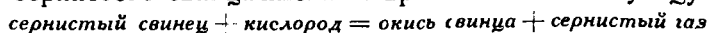
в) Низкая стоимость обжига.

Успех обжига со спеканием зависит от химического состава шихты, от ее теплотворной способности (количества тепла, выделяющегося при обжиге сернистых соединений, находящихся в руде) и от ее физического состояния.

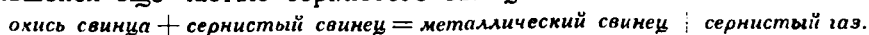
Разберем все эти основные случаи, которые действительны для всех видов обжига с дутьем.

Влияние химического состава шихты определяется теми веществами, которые входят в ее состав

Сернистый свинец. Если бы обжигу подвергался чистый сернистый свинец, то как видели ранее, в результате обжига имели бы: окись свинца, сернокислый свинец и некоторую часть необожженного сернистого свинца. Таким образом, при наличии в шихте для обжига одного сернистого свинца имели во время обжига следующую реакцию:



и вторая реакция между образовавшейся окисью свинца и не разложившейся еще частью сернистого свинца:



Металлический свинец, стекая вниз, пронизывает ряд слоев шихты, при этом часть свинца улетучивается, материал спечется — отсюда вывод, что чистый свинцовый блеск не обожжется, кроме того, обжига отдельной частицы — индивидуального обжига не получится из-за слишком раннего спекания шихты. Могущий образоваться при обжиге сернокислый свинец очень тугоплавок, не разлагается до окиси свинца, т. е. мы не получим совершенного обжига.

Эти рассуждения действительны не только по отношению к чистому свинцовому блеску, но и вообще для руд, богатых им.

На основании практики установлено, что в рудах, подвергающихся обжигу со спеканием в котлах, содержание металлического свинца не должно быть больше 42 проц., тогда как при обжиге свинцовых руд, на спекательных машинах типа Дуайт-Ллойда или Шлиппенбаха — содержание в руде металлического свинца допускается несколько больше, доходя до 50 проц., независимо от того, производим ли мы первый или второй обжиг руды.

Сернистый цинк (цинковая обманка) при обжиге может дать окись цинка, немного сернокислого цинка и часть необоженного сернистого цинка, т. е. по типу химических соединений обжиг цинковой обманки напоминает обжиг свинцового блеска.

Окись цинка, образующаяся при обжиге, является очень тугоплавкой и при температуре обжига может дать только соединения с железом, — и не дает соединений с кремнеземом — силикатов, могущих преждевременно оплавить руду. Для спекания окиси цинка необходимо некоторое количество окиси свинца, например, для получения легкоплавкой смеси необходимо в 10 — 12 раз больше окиси свинца, чем окиси цинка. Образовавшееся избыточное количество окиси цинка, остается в шихте, раз'единяя ее частицы, и препятствует преждевременному спеканию, т. е. шихта дольше остается не спеченной, что способствует индивидуальному обжигу каждой частицы шихты. Таким образом, окись цинка при обжиге с дутьем оказывает отчасти благоприятное действие, способствует повышению температуры обжига.

Но с другой стороны, окись цинка является вредной, ибо при высокой температуре спекания часть окиси свинца может улетучиться. С этим обстоятельством приходится считаться при обработке высоко-цинковых руд.

Сернистый цинк, оставшийся частично необоженным, ведет себя при обжиге со спеканием так же, как и окись цинка.

Сернокислый цинк — продукт обжига цинковой обманки, диссоциирует (распадается) на окись цинка и сернистый газ (особой роли не играет, т. к. при обжиге его образуется небольшое количество). Полезное действие цинковой обманки сказывается в начале обжига, когда не успели окислиться легкоплавкие сернистые соединения, которые могут образовать легкоплавкие штейны.

В присутствии же цинковой обманки, нет опасности получения легкоплавких штейнов из-за высокой температуры плавления сернистого цинка и раз'единения ею легкоплавких частиц шихты.

Другой спутник свинцового блеска — медь встречается в рудах также в виде сернистых соединений, которые при обжиге переходят

в окислы, соединяются с кремнеземом и окисью железа, давал силикаты и железо-медные соединения окислов (ферриты), способствующие спеканию руды.

Значительные количества сернистого соединения меди особенно опасны в начале обжига, т. к. дают легкоплавкие штейны, спекающие всю массу руды. Поэтому обжиг свинцовых руд при значительном содержании меди нужно вести очень осторожно.

Пустая порода также оказывает свое действие на химическую сторону процесса обжига. Из веществ, входящих в состав пустой породы, главное значение имеют соединения железа с серой (серный колчедан), кварц (кремнезем) и известняк.

Сернистый колчедан, или как его иначе называют пирит, при обжиге начинает отдавать половину своей серы в свободном состоянии уже при 200—400°. Эта сера окисляется кислородом воздуха и горит над поверхностью обжигаемых материалов синими огоньками. Большая же часть серы при температуре ниже 600° улетучивается, попадает в газоходы, где и отлагается в виде натеков. Кроме того, сера может образоваться также по другим реакциям. Например, пирит в присутствии паров воды, при влажной шихте, разлагается на закись железа, сероводород (газ) и сернистый газ.

Сероводород — газ, обладающий запахом тухлых яиц, — попадает вместе с сернистым газом в газоходы, где при понижении температуры они соединяются друг с другом, выделяя воду и серу. Эта сера также будет отлагаться в газоходах и что еще опаснее в эксгаустерах (пылеотсасывающий прибор), при чем уже не в виде натеков, а в виде пыли мельчайших размеров. Эта так называемая „атомизированная“ сера обладает способностью соединяться с кислородом воздуха, содержащимся в газах, с выделением большого количества теплоты, что влечет за собою взрывы огромной силы. Поэтому руды, содержащие большое количество пирита, должны предварительно обогащаться в отражательных печах.

Другой способ предохранения от взрывов — после работы открывают газоход и поджигают серу до полного ее выгорания. Обычно свинцовые руды содержат мало пирита, кроме того, в присутствии окислов мышьяка, последний разлагает сероводород, скапливающийся в газоходах, чем препятствует соединению сероводорода с сернистым газом и выделению „атомизированной“ серы.

В условиях Риддеровского завода, пирита в руде сравнительно мало и имеющийся в руде мышьяк (в виде следов) вполне гарантирует от выделения серы при обжиге пирита.

Подобно окислу мышьяка действует и окись свинца, которая находится в газоходах, однако пыль все же самовозгорается от присутствия серы.

После отделения от пирита части серы, получается сернистое железо, которое с повышением температуры обжига окисляется и дает два различных окисла железа. Первый окисел называется закисью железа и содержит 22,2 проц. кислорода, второй высший окисел называется окисью железа и содержит 30 проц. кислорода.

Окись железа, соединяясь с окисью свинца, образует соединения, называемые ферритами, а закись железа растворяется в силикатах

(кремнистых соединениях) свинца, давая силикаты, но тугоплавкие. Образовавшиеся ферриты способствуют повышению температуры обжига, и кроме того, спеканию шихты, поэтому при железных рудах возможно производить спекание при меньшем содержании кремнезема. Обычно количество металлического железа должно быть в шихте 10—14 проц. или, выражая через кремнезем, имеем:

Проц. металлического железа = проц. кремнезема + 2.

Кремнезем (кварц), даже при отсутствии окиси свинца, является самым важным веществом при спекании руды во время обжига, т. к. то него зависит температура спекания. В начале обжига, когда еще температура не высока, кремнезем разделяет частицы сернистых соединений и тем самым способствует более полному индивидуальному обжигу каждой из них. При дальнейшем повышении температуры обжига кремнезем вступает в химические реакции, образуя силикаты, которые получаются не сразу, а в несколько приемов, сначала в местах контакта кремнезема с окислами, затем наступает спекание и оплавление всей массы шихты. Кремнезем, связывая окись свинца, препятствует его улетучиванию. Практика установила, что состав образующегося силиката (которые бывают различны, в зависимости от содержания кремнезема) имеет большое значение для правильного спекания и зависит от количества кремнезема в шихте. При работе на котлах считается достаточным содержание кварца в шихте 8—12 проц., тогда как спекательные машины (Дуайт-Ллойда) таких требований не ставят, допуская содержание его в шихте для обжига от 8 до 20 проц., что объясняется разным условиями работы установок.

Можно спекать свинцовые руды и не содержащие кварца, за счет ферритов и окиси свинца, но получившийся продукт обжига — жак¹ — разбивать очень трудно, т. к. он хрупок и при разбивке получается много мелочи и ядовитой свинцовой пыли.

Во время обжига без кремнезема происходит большое улетучивание свинца. Кроме того, нет нужды вести обжиг без присадки кварца, т. к. его все равно придется добавить как флюс при шахтной плавке.

Третьим, важным веществом в пустой породе является известняк, представляющий собою химическое соединение окиси кальция с углекислым газом (двуокисью углерода).

Серноокислый кальций встречается в природе в виде минерала гипса.

При обжиге известняк распадается на составные части, давая в итоге окись кальция, представляющую всем известную негашеную известь.

Образующаяся в результате обжига известняка, окись кальция соединяется с кремнеземом, давая силикаты. Реакции разложения известняка идут с поглощением теплоты и протекают в конце обжига, когда большая часть серы уже выгорела. Образовавшиеся силикаты имеют высокую температуру плавления и поэтому период спекания руды, содержащий известняк или гипс, наступает позднее и при более высокой температуре.

¹. Жак — английское слово — пирог.

Таким образом, известняк при обжиге играет следующую роль: в начале обжига способствует индивидуальному обжигу, в середине обжига, когда начинается разложение известняка, требующее затраты теплоты, отодвигает время поднятия температуры спекания руды, что позволяет выжечь большее количество серы. В конце обжига, в период спекания, получающиеся тугоплавкие силикаты извести препятствуют преждевременному сплавлению шихты и дают возможность получить пористый неплотный продукт обжига.

Имеются и недостатки, вызываемые присутствием известняка в руде. Известняк может не полностью разложиться: взаимодействуя с сернистым газом и избыточным кислородом может дать сернокислый кальций, который останется неизменным во время обжига и нарушит впоследствии нормальный ход шахтной плавки.

Окись кальция—известь, оставшаяся свободной в агломерате, при его хранении соединяется с парами воды, переходит в гашеную известь, обладающую большим объемом и разрушает агломерат. По этой же причине агломерат нельзя охлаждать водой—он может рассыпаться на куски. Вообще хранить агломерат больше 2—3 дней не рекомендуется. Практика установила, что содержание извести в руде не должно быть больше 8—10 проц., т. е. процента на два меньше, чем кремнезема (кварца) или в переводе на известняк, содержащий еще углекислый газ, получим допустимое содержание известняка в шихте для обжига в 16,—20 проц., содержание известняка меньше 8—10 проц. в шихте для обжига в котлах не допускается, т. к. он является уплотнителем, веществом, препятствующим сплавлению руды при работе на „Дуайт-Лойде“, возможен меньший процент известняка. Некоторые заграничные заводы (Америка) преимущественно заводят известняк лишь в шихту ватержакета, почти не применяя его при обжиге, с той целью, что, во-первых, известняк задерживает часть серы в виде сернокислого кальция и, во-вторых, вследствие неудобства хранения известковистого агломерата, содержащего окись кальция.

Вообще роль известняка при обжиге и плавке свинцовых руд очень велика. В свое время существовали различные теории, старавшиеся объяснить его поведение при металлургических процессах. Практика работы спекания в котлах по способу Савельсберга, Гунтингтон-Геберлейна и Кармайкеля—Бредфорда авторами объяснялась различно.

Глинозем присутствует в рудах в малых количествах и с химической стороны на обжиг не влияет, присутствуя часто в виде глины, он просто механически разделяет частицы шихты во время обжига.

Теплотворная способность, т. е. количество тепла, выделяемое при обжиге сернистых соединений, находящихся в шихте, играет также большую роль для процесса обжига.

Установлено, что свинцовые руды обладают наименьшей теплопроизводительной способностью, в присутствии же цинковой обманки и пирита, содержащих больше серы, и тепла выделяется больше, кроме того, свинцовые руды легко плавятся.

Тепло, выделяемое при сгорании сернистых соединений, по некоторым исследованиям расходуется следующим образом: на нагревание

продуктов обжига—45 проц., в покрытие теплоты, поглощаемой при реакциях (например известняка)—30 проц. и на непосредственные потери из печи (лучеиспусканием и др.)—25 проц.

Так как процент серы в шихте определяет собою количество сернистых соединений, за счет которых и ведется главным образом обжиг, то от процента серы зависит теплотворная способность шихты.

Для получения хорошего обжига шихта должна содержать достаточно серы, при этом различаются два случая: 1. Когда шихта содержит слишком много серы и следовательно теплотворная способность шихты слишком велика, что в конечном итоге приведет к преждевременному ее оплавлению и прекращению обжига. Поэтому для правильного обжига температура не должна возрасти до температуры плавления всей шихты, а должна достигать лишь температуры размягчения спекания шихты.

2. Когда металлургического топлива (серы) нехватает для доведения процесса обжига до конца, вследствие чего получится прекращение процесса ранее, чем спечется шихта и материал будет плохо обожжен и плохо спечен. Если шихта содержит слишком много серы, то имеется несколько способов для понижения ее теплотворной способности:

а) частичный предварительный обжиг при максимальной температуре 600—700°, в механических печах, с целью понижения процента серы в шихте до такого содержания, при котором обеспечивался бы хороший обжиг со спеканием. Иногда эту роль с успехом выполняет обратная малосернистая мелочь;

б) прибавление к шихте посторонних веществ (разбавителей), в качестве которых применяются нелетучие вещества, не выделяющие при нагревании теплоты, а поглощающие ее сами. В качестве таких разбавителей (терморегуляторов) применяют флюсы, необходимые для дальнейшей плавки; кварц, окисленные руды, известняк и иногда обратный шлак. Кроме того, иногда применяют увлажнение шихты.

Когда же в шихте слишком мало серы, то необходима добавка постороннего топлива, в качестве которого применяют пирит, мелкий кокс, каменный уголь.

Физические свойства обжигаемого материала. Главным условием для достижения хорошего обжига и спекания руды является равномерная проницаемость шихты для обжига, чтобы воздух обтекал каждую частицу руды, что особенно важно на машине Дуэйт-Ллойда.

В материале не должно получаться мест наибольшего и наименьшего сопротивления для воздуха, т. к. это может повести к образованию отдельных больших каналов, по которым и будет протекать воздух. Лучше всего иметь однородную и не слишком мелкую по величине зерна массу. Тонкие концентраты разбавляют зернистыми веществами (уплотнителями, терморегуляторами и обожженным агломератом).

Величина зерна для обжига зависит от тонкости флотационных концентратов,—чем тоньше концентрат, тем тоньше должны быть и прибавляемые флюсы. Лучшее соотношение измельченных концент-

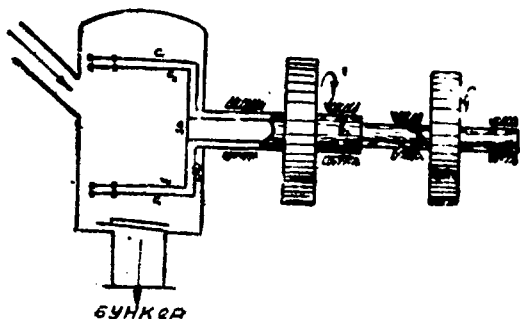
ратов и флюсов 1:1. Нормальная величина зерна флюсов и уплотнителей обычно составляет 4—6 мм. Иногда в шихту для обжига добавляют гранулированный шлак, как флюс, способствующий спеканию.

Для лучшего просасывания воздуха применяют еще увлажнение шихты. Для крупнокускового материала увлажняют до 5 проц. и для мелкого концентрата—до 7—10 проц. влаги, учитывая содержание флюсов в руде, в которых также имеется влага. Увлажнение шихты способствует: 1) образованию пор (каналов), после испарения воды, по которым проникает воздух, и 2) уменьшению пылеобразования, вследствие чего и работа становится менее вредной.

Таким образом, предварительным введением в шихту обжига некоторого количества флюсов получаем в результате материал, имеющий уже почти готовые шлаки для ватержакета, что обеспечивает лучшую его работу и меньший расход топлива при плавке. Необходимо всегда помнить, что производительность обжиговой аппаратуры зависит от количества выжигаемой из шихты серы.

Помимо проницаемости шихты, целью обжига является также агломерация, т. е. спекание руды, которая может быть достигнута при условии полного контакта между частицами сернистых соединений с частицами флюсов, для чего составные части шихты должны быть тщательно смешаны. От степени смешивания зависит конечный результат обжига, и заводы, обрабатывающие тонкие флотационные концентраты, уделяют особое внимание этой операции, стремясь получить возможно более однородный и смешанный материал. Для целей смешивания предварительно измельченного материала применяется разнообразная аппаратура, к каковой относятся смесители Рапса, Немеса, Рансом, барабанные смесители типа беличьей клетки, тарелочный смеситель (служащий главным образом для питания) и др.¹ Все эти смесители не дают особенно хороших результатов перемешивания, т. к. концентрат, поступающий на завод, содержит иногда 10—20 проц. влаги и представляет по виду глину. При смешивании получаются комья, плохо обжигающиеся в дальнейшем; в процессе смешивания концентрат налипает на стенки смесителей, а флюсы скатываются в комья.

Сухой концентрат имеет вид кусков, которые при смешивании не разбиваются и таким образом смешивание не достигает цели. Лучшим смесителем является так называемый дезинтегратор Стедемана, применяющийся в Америке, напоминающий дезинтегратор, применяемый каменноугольной промышленностью. Дезинтегратор представляет собою (фиг. 6) закрытый кожух, в котором вращаются



Фиг. 6. Схема дезинтегратора Стедемана

¹ Подробное описание смесителей см. брошюру „Дистилляция цинка“, Абдеев и Симаков. Уралогиз, 1933 г.

в противоположном направлении две системы стержней. Каждая система стержней (C_1, C_2) насажена на диски (D_1, D_2), насаженные в свою очередь на валы (B_1, B_2), приводимые во встречное вращение друг к другу. При работе такого дезинтегратора получается очень энергичное перемешивание и разбивание шихты, время пребывания ее в приборе измеряется секундами, чем достигается большая производительность его, доходящая до 10—20 т. шихты в час. При смешивании лучше иметь не слишком влажный материал с содержанием влаги не более 3—5 проц. и увлажняемый впоследствии.

При перегрузке смешанного материала особенно нужно следить, чтобы он не сыпался на конус, ибо это способствует разделению на мелочь и на крупные куски.

После смешивания материал, при помощи конвейеров или ручную на вагонетках, подается в агломерационный цех на спекание.

§ 5. Практика обжига с дутьем

В настоящее время большинство свинцовых заводов имеет дело с тонкими флотационными концентратами, обжиг которых в сыром состоянии очень затруднителен, т. к. тонкий материал легко слеживается и плохо поддается дутью. При частичном обжиге происходит укрупнение мелких частиц концентрата, что облегчает последующий обжиг с дутьем.

Таким образом, самый обжиг, по способу Гунтингтон-Геберлейна, распадается на две части: предварительный обжиг свинцовой руды в смеси с известняком и флюсами или без них, и второе — окончательный обжиг, спекание в чугуновых котлах с дутьем.

Предварительный, частичный обжиг ставит своей задачей удалить примерно половинное количество серы в шихте, которое обычно составляет 20—22 проц. Этим достигается понижение теплотворной способности шихты до той нормы, которая требуется для хорошего протекания процесса обжига с дутьем в котлах. Долголетняя практика установила состав шихты, отвечающий дальнейшей переработке в котлах и получению хорошего агломерата. Руда или концентраты смешиваются с известняком и флюсами в такой пропорции, чтобы смесь имела следующий состав:

Свинца не свыше	42 ⁰ / ₀
Серы	14—17 ⁰ / ₀
Известняка (сера+2)	16—20% (или извести 8—10%)
Кварца	8—11 ⁰ / ₀
Железа (кварц + 2)	10—13 ⁰ / ₀

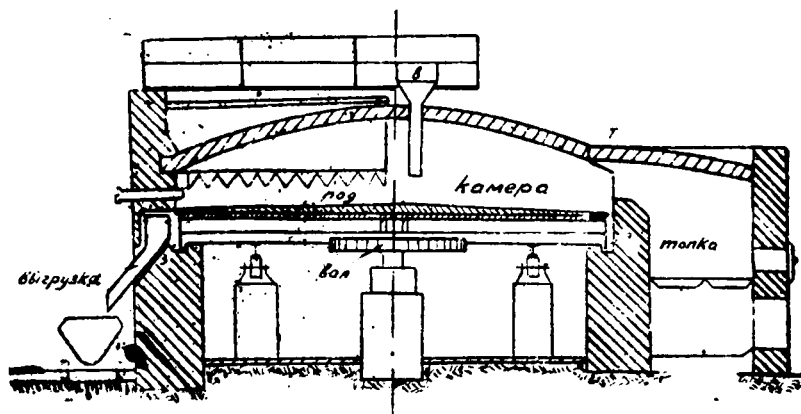
Большое значение имеет содержание в шихте свинца. При содержании свинца больше 45 проц. предварительный обжиг в печах происходит весьма медленно, отчего уменьшается производительность обжиговых приборов. В продукте окончательного обжига — агломерате остается много серы, как результат высокого содержания свинца, вызывающего образование легкоплавких силикатов, спекающих шихту, ранее чем из нее удалится большая часть серы.

Для предварительного обжига по способу Гунтингтон-Геберлейна применяют печи разнообразных конструкций. Сюда относятся:

1. Отражательные печи с ручным перегребанием.
2. Тарелочные печи--с неподвижными гребками и вращающимся подом. Печи Годрфрея, Гунтингтон-Геберлейна.
3. Многоэтажные печи с вращающимися гребками и неподвижными подами. Печи Герресгофа, Веджа.

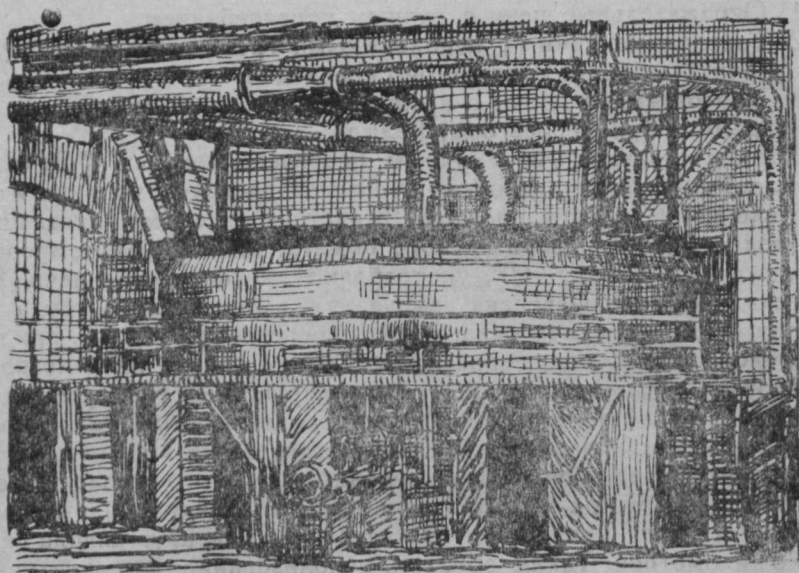
Отражательные печи с ручным перегребанием (см. § 3) отличаются малой производительностью, большим расходом топлива и тяжелыми условиями работы, поэтому в настоящее время применяются очень редко. Для предварительного обжига, наибольшая температура которого не превышает 700° , употребляют механические печи. В механических печах, произведена замена тяжелого ручного труда перегребания руды введением механического перегребания руды, при помощи гребков, кроме того, современные механические печи позволяют использовать образующийся при обжиге сернистый газ, путем улавливания его и отвода на сернокислотные заводы особыми газоотводами. Для этой цели механические печи делаются закрытые. При обжиге в отражательных печах без использования сернистого газа, последний выпускали в трубу на всдзх. Сернистый газ, будучи ядовитым, отравлял местность, уничтожая растительность вокруг завода на несколько километров. Таким образом, использование или „утилизация“ сернистого газа является также одной из задач металлурга. Рассмотрим несколько примеров работы механических печей.

Большим распространением пользовались тарелочные печи Гунтингтон-Геберлейна (в Европе) и Годрфрея (в Америке). Оба эти типа очень мало отличаются друг от друга, почему и рассмотрим одну из них, а именно: печь Гунтингтон-Геберлейна (фиг. 7). Печь состоит



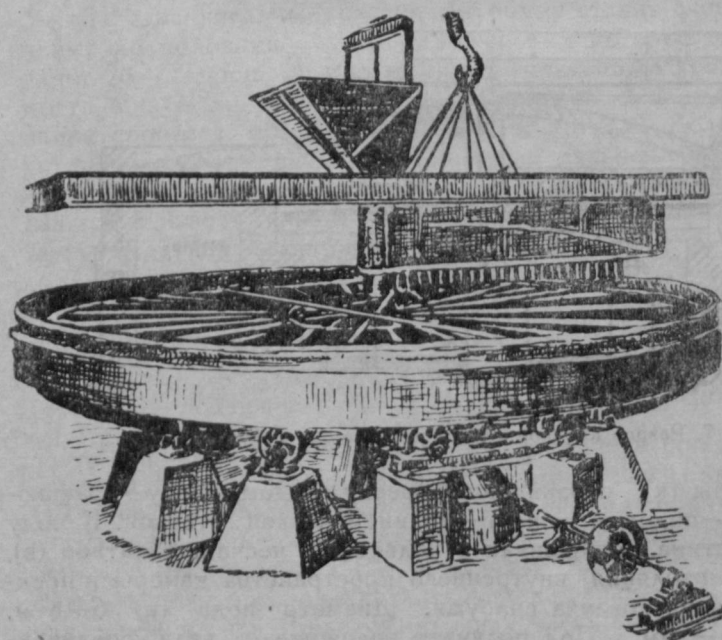
Фиг. 7. Разрез круглой печи Гунтингтона—Геберлейна-

из рабочей камеры (к), ограниченной сверху сводом, снизу—вращающейся тарелкой—подом и вокруг—цилиндрической стенкой. К поду прикреплена пластина, опущенная в кольцевой песчаный затвор (з), чем достигается изоляция внутреннего пространства камеры и прекращение засасывания воздуха снаружи. Диаметр пода (п) 6—8 м, площадь пода 30—50 м². Под получает вращение от вала, соединенного с мотором, и вращающегося со скоростью 4 оборотов в минуту.



Фиг. 8. Внутренний вид печи Гутингтона-Геберлейна

Шихта загружается через воронку в своде (в), и при вращении пода неподвижно укрепленными гребками (г) разравнивается по поду и постепенно перемещается к отверстию для выгрузки (о). В самом



Фиг. 8-а Общий вид печи

своде имеется отверстие, через которое поступит воздух, необходимый для охлаждения гребков и способствующий более быстрому окислению руды. Печь имеет топку для каменного угля. Производительность печи от 30 до 50 тонн шихты в сутки. Толщина слоя шихты 6-10 см. Расход топлива 3-7 проц. от веса руды. Мощность мотора 3-4 л. с. В обожженном материале ос-

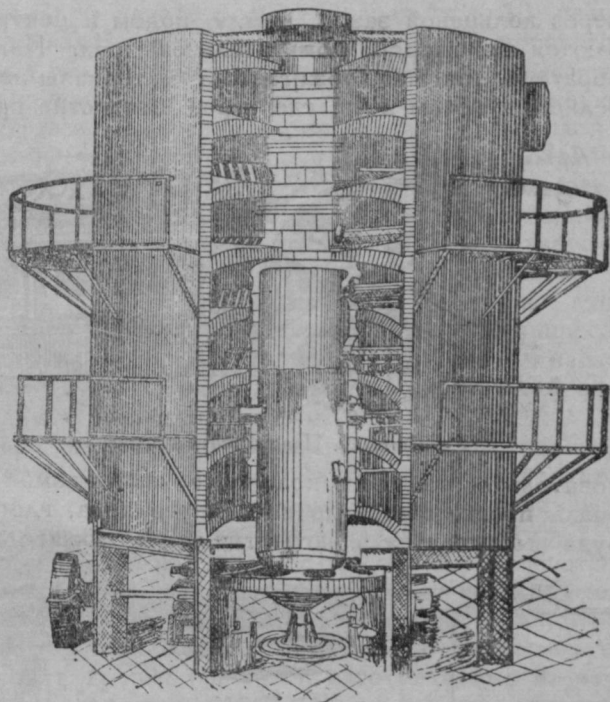
тается серы 5 — 10 проц. Печь обслуживают за смену 1—3 рабочих. Общий вид печи представлен на фиг. 8. На фиг. 8-а представлен вид печи во время ремонта, при чем ясно видны гребки и их устройство, видна загрузочная воронка, кольцевой затвор и система передачи, приводящая во вращение под печи.

В настоящее время большим распространением пользуются многоэтажные печи с вращающимися гребками и неподвижными подами — печи Веджа, Мак-Дугала и Герресгофа. Эти печи строятся многоэтажными, при чем каждый под имеет круглую форму и вся печь представляет вертикальный цилиндр. Внутри печи проходит полый вал, на который насажены плечи, не менее 2 штук на каждый под. На рукоятках посажены гребки, перегребающие при вращении вала обжигаемый материал.

Печи Герресгофа и Веджа отличаются друг от друга лишь конструкцией центрального вала, перегребающих рукояток и гребков. Рассмотрим работу печи Веджа (фиг. 9).

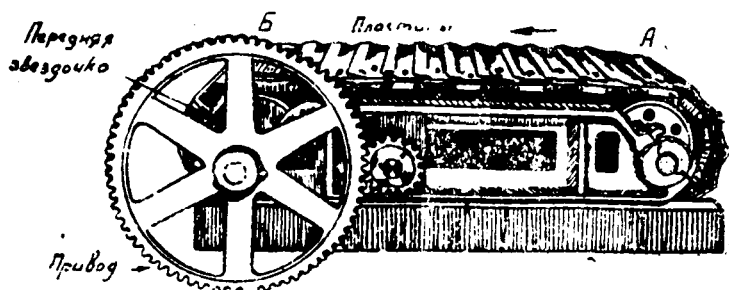
Печь Веджа представляет цилиндрический железный кожух, футерованный внутри огнеупорным кирпичом. Печь разделена подами на несколько этажей. Пустотелый вал (шахта) несет не себе по два плеча для каждого пода, и приводится во вращение мотором в 4—8 л. с. Вал для защиты от действия горячих газов облицован снаружи огнеупорным кирпичом, изнутри же охлаждается воздухом, а пустотелые чугунные плечи — водою, а в настоящее время чаще воздухом. Печи строят с 5,7 и 10 м и сверх этого сверху еще один подсушивающий. Внутренний диаметр вала, для удобства ремонта и смены плеч, сделан размером около 1,5 метра.

Материал, который необходимо обжечь, подается при помощи питательного устройства на верхний сушильный под, откуда через затвор попадает внутрь печи на верхний обжиговый под. Гребки на рукоятках насажены так, что при вращении вала обжигаемые материалы на верхнем поду перегребаются от края печи к ее середине, тут же



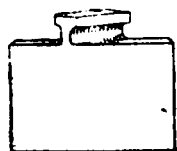
Фиг. 9. Печь Веджа

через кольцевой зазор между подом и центральным валом проваливаются на второй обжигательный под. Положение гребков на нем обратное, так что обжигаемые материалы передвигаются уже от середины к краям печи, где через отверстие проваливаются на третий



Фиг. 10. Пластиначный питатель

довательно, большего количества выжигаемой серы. Движение материала продолжается до последнего пода, где частично обожженная руда выгружается в вагонетки. При обжиге влажных концентратов они подсушиваются



Гребок



Держатель



Гребок

Фиг. 11. Гребки

стает до 4 пода, а затем падает. Когда шихта имеет малую теплопроизводительную способность, то чтобы держать нужную температуру на последних подах (400—500°), печь снабжается топками или нефтяными форсунками для подогрева 7, 6 и 5 подов. Обычно же эти топки служат для разогрева печи во время пуска.

Печь работает по принципу противотока, т. е. воздух, поступая вниз по печи, на последний под движется навстречу обжигаемой руде.

Для уменьшения пылеобразования в местах, где руда пересыпается с одного пода на другой, и чтобы не затруднять движения газов, стремятся увеличить кольцевое пространство между шихтой и подом. Обычно на каждом поду попеременно, то у края, то у середины, устраивают от 10 до 30 отверстий. Толщина слоя руды на поду меняется от 2 до 7,5 см. Газы выводятся из печи через отверстия в верхнем поде, через круглые чугунные газоотводные трубы, снабженные задвижками, в сборный газопровод.

Температура в печи: на 1 поду—432°, 2—579°, 3—676°, 4—704°, 5—648°, 6—704°, 7—598°. Когда в печи поднимается слишком высокая температура—выше 700°, открывают боковые дверцы (от 4 до 8) и пускают холодный воздух. Чтобы дверки не накаливались и не отдавали много тепла из печи, их просто вымазывают глиной. Размеры печей в поперечнике—диаметры колеблются от 5 до 8 м. Высота камеры между подами делается от 500 до 700 мм. Число подов стремятся для

под и т. д. (фиг. 9). Такое движение то к краям, то к середине необходимо для удлинения пути шихты по печи, т. е. для увеличения времени обжига и, следовательно,

лучшего использования теплоты делать больше, доводя их до 10 (печи Герресгофа). Сами пода выкладываются из огнеупорного шамотового кирпича. Шихта обжиговых печей подается на колошник при помощи ленточных конвейеров, шириной 500—750 мм. В бункерах над печью должен быть запас обжигаемых материалов на случай ремонта конвейеров, рассчитанный на 12 часов работы печи. Питание материалов из бункеров на верхний под печи производят при помощи пластинчатых питателей (фиг. 10). При движении пластин, концентрат, попадающий в место „А“ из бункера передвигается до „Б“, где и сваливается. Особенно удобен пластинчатый питатель тем, что его можно сделать шириной до 1,5 м, пригоняя к широкому отверстию бункера, что особенно удобно при наличии влажного концентрата, застревающего при узком отверстии из бункера. Питание — подрезом, ножами, насаженными на концы рукояток сушильного пода, выгребающими концентрат — применимо только для сухих материалов.

Большое значение при работе печи Веджа имеют самые гребки, материал, из которого они сделаны, и способ закрепления на плечах. Обычно число плеч на поду два, лишь некоторые печи, рассчитанные на высокую производительность имеют по 3 и 4 плеча.

На сушильных подах, где влажная шихта с трудом перегребается делают 4 или даже 6 плеч. Плечи делают обычно из чугуна — полые, для целей охлаждения. Ежемесячно, вследствие сгорания и поломок приходится менять до 1—3 проц. всех плеч, при чем смена отнимает всего 15—20 мин. На плечах сидят гребки (фиг. 11), изготовляемые из чугуна или из специальных жароупорных сплавов. Часто на более горячих подах ставят гребки из специальных сплавов, а на сравнительно холодных подах употребляют чугун. Высота гребка 150 мм, ширина колеблется от 150 до 300 мм. В последнее время стараются ставить меньшее число гребков большей ширины. Гребки для передвижения шихты, во время перемешивания ставят под углом в 60° к оси плеча. В печах Герресгофа гребки одеваются прямо на плечи; в печах же Веджа гребок вдвигается в паз специального держателя (фиг. 11), а последний уже надевается на закраины печи. Держатель, на который идет столько же чугуна, сколько на гребок, страдает от жары меньше, поэтому он служит дольше, чем в других конструкциях, где держатель и гребок представляют одно целое и в случае прогорания гребка приходится менять и держатель. Применение особого держателя позволяет сменять любой гребок, не снимая с конца всех остальных гребков.

В зависимости от температуры и материала гребки служат от 2—3 недель и до 3 месяцев. Обжиговые печи почти всюду охлаждаются воздухом, ибо если при водяном охлаждении сломается или даст трещину плечо, то вода зальет под и испортит кирпич. Кроме того, сама конструкция печи при водяном охлаждении сложнее и отнимает больше времени на смену плеч, нежели при воздушном. В этом отношении печь Веджа старой конструкции, имеющая водяное охлаждение рукояток, уступает печи Герресгофа последних конструкций. Воздух для охлаждения печей подается под давлением 100—175 мм водяного столба, при чем его расходуется около 170—200 м³ в минуту. Охлаждающий вал и плечи воздух нагревается до 100—200°, и если в шихте мало серы для горения, то этот воздух иногда используют для подачи на

нижние пода вместо подогрева. Теперь каждая печь имеет свой мотор, который приводит во вращение центральный вал, совершающий оборот в течение от 20 до 90 секунд. Производительность печи и степень обжига руды определяется скоростью вращения. Во всех печах желательно иметь при моторе предохранительные приспособления (предохранительная муфта в приводе). Две половины этой муфты соединяются надрезанной шпилькой, которая срезается, если сопротивление перегреванию будет выше обычного; например в случае, если из свода выпадет кирпич и попадет под плечо, тогда муфта, остановив печи, предотвратит поломку рукоятки. Под печью устраиваются бункера для обожженных материалов.

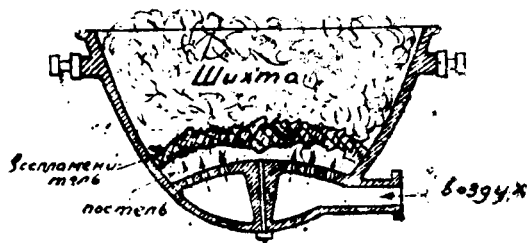
Главное внимание при работе следует обращать на контроль температуры, которая при обжиге свинцовых руд не должна превышать 700° на 3 и 4 подах. Контроль температуры осуществляется путем регулирования подачи воздуха и изменением числа оборотов центрального вала. Суточная производительность печи достигает 90 тонн и зависит от состава обжигаемого материала. Содержание серы в обожженном продукте колеблется от 9 до 11 проц. При обжиге образуется некоторое количество пыли, при чем, чем тоньше флотационный концентрат, тем больше, — достигая иногда 15 проц. Пыль возвращается обратно в печь. Печь в смену обслуживают 2 рабочих.

Огарок из печи смачивается водой и подвергается окончательному обжигу и агломерации в котлах, второй стадии обжига по способу Гунтингтон-Геберлейна.

Для лучшего уяснения самого процесса мы рассмотрим сперва обычный и затем двойной обжиг в котлах.

В процессе обжига по способу Савельсберга обжигают сырую руду, без предварительного обжига. Руду смешивают с 15—20 проц. измельченного известняка и кварцевой руды, смачивают водой и загружают порциями в котел, где производят обжиг и спекание одновременно. Отличие способа Кармайкель-Бредфорда заключается в том, что здесь

вместо известняка применяется гипс, который добавляется к сырой руде в количестве 15—30 проц. Смесь увлажняют, подсушивают и разбивают на куски величиной в 8—10 мм, которые и продувают потом в котлах. Прибавление гипса и известняка, в конечном счете, играет роль уплотнителей, содействуя по-



Фиг. 12. Разрез котла

лучению крупнозернистого материала. Оба процесса проводят без предварительного обжига.

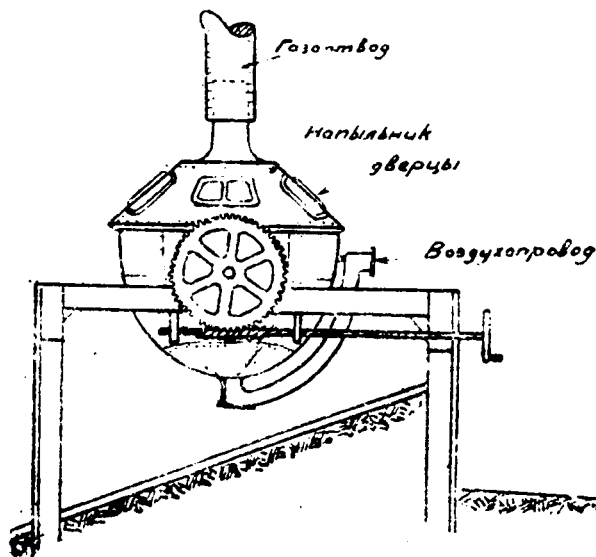
Котлы, применяемые при обжиге со спеканием, имели в начале коническую форму и были емкостью в 1—2 тонны. Передвигались по рельсовому пути. В настоящее время котлы имеют вид приплюснутого полушара (фиг. 12), емкостью от 8 до 14 тонн шихты, глубиной 1,3—1,8 м и диаметром в 2,5—3 м. Большие котлы устанавливают на возвышении, они покоятся на цапфах и поворачиваются для выгрузки

вручную — колесом с червячной передачей. На современных заводах выгрузку спеченного материала производят с помощью мостового крана, выносящего как за пределы обжигового цеха, что делает работу в последнем более удобной и безвредной. Котлы делаются из нескольких частей, т. е. целый котел при сильном нагреве неравномерно расширяется во всех частях и дает трещины. Воздуховодная труба подходит снизу днища котла, диаметр ее 10—15 см. Воздух из трубы попадает внутрь котла под решетку, расположенную на расстоянии 32,5-45 см от дна котла. Решетка представляет составную чугунную плиту, имеющую до 200 отверстий диаметром 10-18 мм, и сделанную выпуклой для более равномерного распределения дутья по всей массе шихты.

Задувка котла

Чтобы защитить решетку от огня и действия горячей руды, ее перекрывают слоем дробленого плитчатого известняка. Слой из плитчатого известняка (постель) тем хорош, что воздух, попадая под плитку, выходит струйками, распределяющимися равномерно по всей массе шихты.

На известковую постель забрасывают или горящий материал из печи предварительного обжига в качестве воспламенителя, или же горячий каменный или древесный уголь. На практике обычно разжигают котел стружкой, паклей, щепой, дровами и после разгорания забрасывают мелкий штыб (плохого сорта) или золу из рафинировочных печей, имеющую много непрогоревшего каменного угля. Усиливают дутье до равномерного горения. При дальнейшей работе котла многое зависит от правильной дачи воспламенителя. На горящий воспламенитель загружают мелкую руду. Существуют 2 способа загрузки: 1) ручной способ, — рабочий через



Фиг. 13. Котел для обжига со спеканием

дверцы в колпаке (напыльнике), расположенном под котлом (фиг. 13), забрасывает руду и разравнивает ее гребком; 2) механическая загрузка над колпаком или немного далее устроен бункер с сырой рудой, откуда она и подается в котел. Недостатком механической загрузки является то, что руда ссыпается на конус (см. выше), уплотняется к середине и уже затем разравнивается рабочим. Кроме того, при просмотре избыток осыпавшегося материала может заглушить горение. Обычно боясь

заглушения, рабочий дает больше каменного угля (Риддер), а так как у нас имеется уже много топлива, то пока весь уголь не сгорит, обжиг руды (за счет выгорания серы) не начнется. Развивающаяся высокая температура может привести к оплавлению сернистых соединений нижних слоев руды. Этого явления нужно всячески избегать и, применяя механическую загрузку котла, относиться к ней с должным вниманием. После разогрева котла, и спуска 1-й шихты, дают на загрузку 2-ю и 3-ю шихты. Когда котел горит хорошо (огонь пробивается наверху равномерно), что наступает вскоре после дачи 3-й шихты, котел осаживают, т. е. уплотняют, чтобы не было лишних пор, куда может сыпаться мелочь, и главным образом затем, чтобы образовалась как бы искусственная решетка с каналами в самой руде. Время загрузки садок определяют следующим образом по размеру красных пятен на поверхности шихты и их количеству, особенно же когда вся масса равномерно покраснеет, что говорит о хорошем обжиге, корку остывшей с поверхности шихты сбивают деревянными шестами, продувы затрамбовывают и загружают шихту. Количество загружаемой шихты в начале операции не должно быть большое (обычно 0,25 тонны, затем 0,35 тонны, 0,40 тонны), третий слой утрамбовывают — следующая садка 0,60 тонны, в дальнейшем порции загружаемой шихты увеличиваются, доходя до 1—2 тонн.

При медленном горении лучше загружать мелкие порции шихты, но более часто.

При нормальном ходе котла, работа котлового сводится к наблюдению продувов, в которые он загружает мелочь, и затем утрамбовывает. Когда котел заполнится шихтой и сам процесс идет нормально, масса спекаемого материала должна быть выпуклой. В дальнейшем, для более полного выгорания серы, дутье увеличивают при помощи открывания вентиля и котел начинает садиться (спекаться). Конец продувки определяют по окончании выделения сернистого газа. Использование воздуха в агломерационных котлах почти 100 проц., избыточного воздуха проходит лишь 10—15 проц. В отходящих газах содержание сернистого газа, в середине процесса достигает 3—5 объемных проц., в конце же процесса — равно нулю. В газах процент сернистого газа меньше из-за разбавления засосом воздуха. Разгрузка котлов бывает разная, в зависимости от величины котла.

Большие котлы имеют цапфы (фиг. 13) и червячную передачу, с их помощью котел поворачивается и спеченный материал — кэк — в виде конусообразной массы падает на рельсы, разбивается и скатывается на пол. Хороший кэк разбивается на 3—4 куса, плохой рассыпается на мелкие куски. Опрокидывающий механизм приводится в движение вручную (Риддер) или мотором при помощи гибкой муфты.

Для малых котлов применяют другой способ разгрузки — котел стоит на тележке, которую вывозят из цеха, и сбрасывают кэк под откос на чугунные конуса. Иногда кэк переносят мостовым краном. Преимущество этого способа то, что агломерат (кэк) выходит за пределы цеха, где можно гораздо удобнее устроить механизацию разбивки кэка, обеспечить лучшее его хранение и значительно улучшить условия работы в обжиговом цехе.

Длительность обжига по Савельсбергу и Кармайкелю доходит до 1 $\frac{1}{2}$ суток (от 12 до 36 часов) и зависит от количества дутья и содержания серы в шихте.

Вторичный обжиг

Материалом для обжига служит огарок после предварительного обжига в механических печах и сам процесс является завершением способа Гунтингтон-Геберлейна (см. выше).

С практической стороны, процесс не отличается от способов Савельсберга и Кармайкеля, разница лишь в регулировании воздуха, так как зернистый материал позволяет давать дутье большей упругости, кроме того, шихта содержит меньше серы, что позволяет вести обжиг более быстро — материал частично уже ошлакован, а следовательно, требуется меньше времени для спекания шихты. По тем же причинам, работа на котле требует меньше внимания, т. к. мы имеем меньше опасности образования карманов, легче спекание и т. п.

Длительность обжига в котлах по способу Гунтингтона-Геберлейна значительно меньше, колеблясь от 6 до 12 часов, в среднем считают 8 часов, что зависит от процентного содержания серы в руде, величины котла, времени на работу по опрокидыванию и на разжигание.

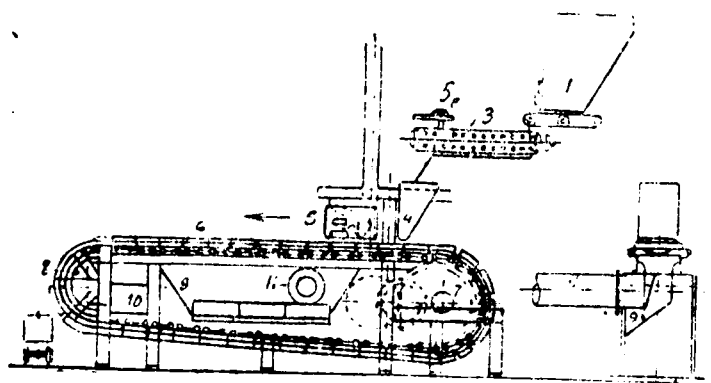
Обжиг в котлах с продуванием воздуха через слой шихты имеет целый ряд недостатков, из которых главные:

- а) Периодическая работа.
- б) Котел требует большого внимания во время работы и обслуживания большим количеством рабочих.
- в) Материал шихты не должен быть слишком мелким — во избежание уноса его в виде пыли, т. к. это приводит к излишней потере металлов.
- г) Подвергаясь действию горячих газов и высокой температуры шихта теряет много свинца и серебра улетучиванием.
- д) Неравномерное спекание по всей массе шихты, что ведет к некоторому довольно большому количеству мелочи, являющейся обратным продуктом.
- е) Разбивание кэка дорого и опасно для здоровья при работе вручную.

ж) Во время обжига не вся масса материала участвует в процессе, обжигается лишь слой незначительной толщины, т. е. рабочий объем котла используется неполностью.

Все эти недочеты были учтены. Чтобы лучше использовать рабочий объем котла и достигнуть равномерного распределения дутья, котлы стали делать более плоскими, — меньшей высоты, с большим диаметром. Однако уменьшить высоту слоя или глубину котла меньше 1 метра не удалось, в виду того, что нижний слой шихты спекался, тогда как верхние, — под влиянием дутья, — находились в движении и, в конце-концов, давали большое количество неспекшейся мелочи. Инженеры Дуайт и Ллойд в 1911 г. предложили способ, в котором воздух не продувается, а просасывается через тонкий слой шихты, толщиной 10—15 см, помещенной на решетке. Машины Дуайт-Ллойда, по размерам всасывающей камеры, делятся на два типа.

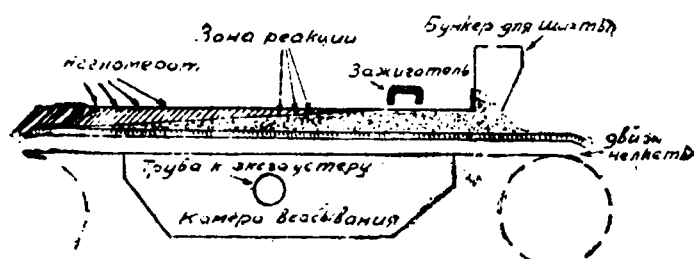
1) $1 \text{ м} \times 6,6 \text{ м}$ и 2) $1,5 \text{ м} \times 9,9 \text{ м}$. В настоящее время большим распространением пользуется так называемая прямолинейная машина Дуайт-Ллойда, которая состоит (фиг. 14) из тяжелой стальной или железной рамы (10), вокруг которой с помощью двух ведущих колес (1) и двух вспомогательных колес (8) движется группа тележек (палетт 6), числом от 36 до 42, соединенных в бесконечную цепь. Тележки эти (палетты) вместо дна имеют колосниковую решетку, с прозорами около 5—10 мм шириной. Шихта для спекания из бункера (1), с помощью питателя (2) подается в смеситель (3), где



Фиг. 14. Машина Дуайт-Ллойда

она перемешивается и увлажняется из брызгала (бр). Затем через воронку (4) шихта попадает на палетты (6). Ссыпание шихты на палетту должно быть на конус, подрезаемый воронкой, при чем не должно быть давления, конус шихты должен лежать спокойно. При уплотненной шихте мало пор и хуже идет обжиг.

Тележки эти движутся справа налево по верхним направляющим рамы — ведущему рельсу — в дальнейшем же идет обработанная поверхность, смазываемая маслом. При своем пути палетты проходят под камерой (9), из которой вентилятором, по трубе (11) все время вы-



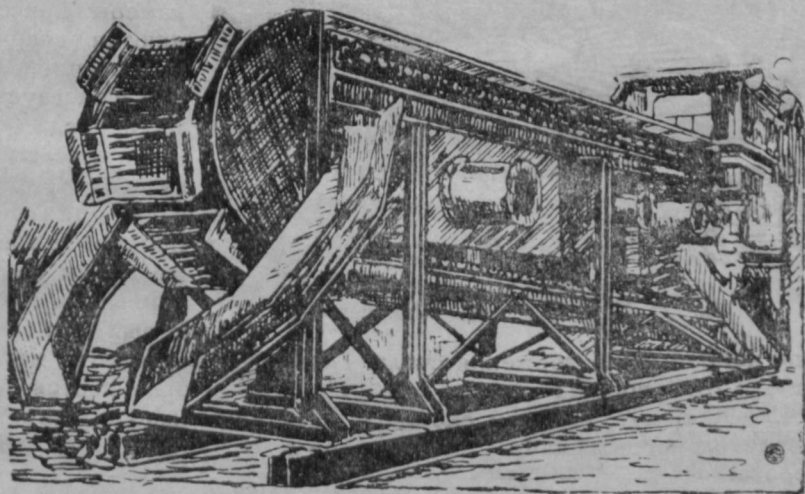
Фиг. 15. Продольный разрез через слой шихты

сасывается воздух. Таким образом, палетты являются как бы крышкой этой камеры. Так как материалы для спекания содержат сравнительно много серы, то их нужно только

поджечь, дальше они горят самостоятельно. Воспламенение шихты достигается особой печкой, зажигательной камерой (5). Палетты движутся с такой скоростью, что ко времени подхода их к концу камеры всасывания, материалы оказываются спеченными в плотную плитку — как (см. фиг. 15). В дальнейшем, переходя с верхних направляющих, палетта опрокидывается, и как вываливается в вагонетку, доставляющую его к загрузочной площадке шахтных печей. В случае, если как сразу не

отскочит, его вышибают из палетты вручную. По нижним направляющим рельсам, которые расположены несколько наклонно, палетты движутся под влиянием собственного веса. Когда палетты дойдут до правых ведущих колес, то зубцы этих последних захватывают палетты за ролики и поднимают последние за верхушку направляющих, где движение палетт начинается сначала. Зажигание шихты может быть газовое, нефтяное с помощью форсунок, угольное—каменный уголь, кокс. Топливо не должно давать коптящего пламени, чтобы поры шихты не забивались сажей, которая трудно выгорает. Температура зажигания должна быть около 800° , во избежание оплавления шихты, что может привести к образованию малопроницаемой корки. Во избежание большого расхода топлива и меньшего выгорания серы из-за спекания, зажигание должно охватывать шихту на ширину 16—20 см, а не 40 см, как это практикуют на Риддере.

После зажигания через шихту просасывается воздух. Воспламенение и обжиг, сопровождающийся спеканием, начинается с поверхности шихты, постепенно проникает вглубь, пока не достигнет ре-



Фиг. 16. Машина Дуайт-Ллойда (общий вид)

шетки. Пройдя камеру всасывания, палетты движутся некоторое время прямолинейно, за это время как охлаждается. Равномерность горения узнают, наглаз по отсутствию красноты шихты, что указывает на то, что горение перешло внутрь.

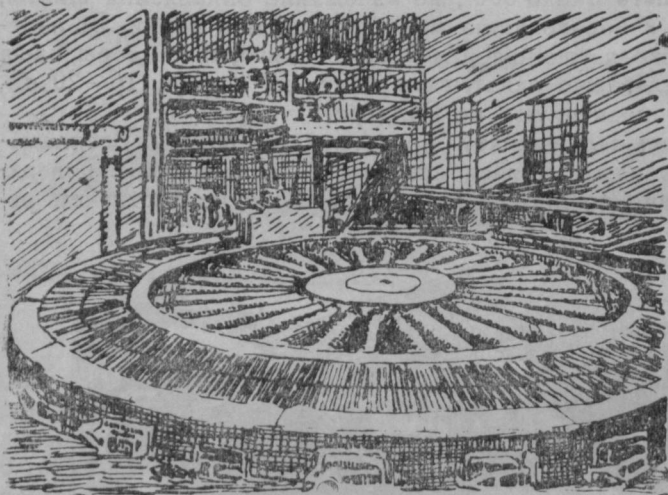
Толщина слоя для шихты, идущей на предварительный обжиг,— 75—100 мм, т. к. в тонком слое использование воздуха ведет к большому выгоранию серы, что как-раз и желательно.

Регулируя скорость машины, тем самым можно регулировать производительность и выгорание серы. При обжиге на Дуайт-Ллойд успех процесса определяется количеством мелочи¹ в агломерате, чем ее меньше, тем лучше был проведен обжиг, ибо мелочь всегда плохо обожжена. Нормально мелочи должно быть не больше 10—12 проц.

¹ Мелочь является обратным продуктом при обжиге.

Производительность машины на первичный обжиг разнообразна и зависит от размера машины, достигая для малых 120—250 тонн и для больших до 600 тонн в сутки. Общий вид машины показан на фиг. 16.

Видоизменением машины Дуайт Ллойда является столовая или круглая машина Шлиппенбаха (фиг. 17). Способ работы тот же, что и на машине Дуайт-Ллойда. В машине Шлиппенбаха имеется ряд камер, от 24 до 30, с решетчатым дном, соединенных между собою жестко и образующих горизонтальный круглый стол, который вращается



Фиг. 17. Круглая машина Шлиппенбаха

вокруг вертикальной оси. Бортов у камер нет. При движении стола камера сперва наполняется рудой из бункера, потом проходит под зажигателем, далее камеры присоединяются специальным распределителем с эксгаустерами и тогда через них просасывается воздух.

Спеченный продукт срезается железным или чугунным плугом, который расположен косо, по направлению движения стола. Поперечный диаметр машины бывает 4 и 8 м, ширина камеры 1 м. Прибор оборачивается один раз в 45—90 минут, при чем скорость вращения можно регулировать. Производительность машины при диаметре в 8 м. равна 10 тоннам агломерата.

В настоящее время на заводах, в связи с поступлением на спекание большого количества тонких флотационных концентратов, которые плохо обжигались, давая большое количество мелочи, при чем сам агломерат был непрочным, — пришли к мысли возвращать весь первый агломерат на вторичный обжиг и спеканию на машинах Дуайт Ллойда.

Шихтой для обжига служит предварительно обожженный материал или с машин Дуайт-Ллойда или с каких-либо других обжиговых печей (например, из печи Веджа). Если предварительно обожженный материал содержит мало серы для окончательного обжига, то его шихтуют вместе с свежим концентратом или же добавляют топливо.

Лучшие результаты дает шихтовка со свежим концентратом, т.к. агломерат после первого обжига уже частично оплавился, будет с трудом подвергаться воспламенению на машине, и поэтому его разбав-

ление необоженным материалом будет способствовать лучшему обжигу и лучшему спеканию. Огромное значение для окончательного обжига имеет содержание серы, которой в шихте второго обжига должно быть не менее 7—9 проц.

Питание машины такое же, как и на первый обжиг, но толщина слоя берется больше, 100—125, иногда даже 150 мм, и зависит от величины зерна. Зажигание для вторичного обжига производится при более высокой температуре, около 1000°, что объясняется тем, что шихта более тугоплавка, сера труднее воспламеняется, и кроме того, мы должны иметь хорошо пропеченный кэк.

Количество мелочи в агломерате вторичного обжига составляет около 15 проц. Иногда для повышения прочности агломерата к шихте прибавляют 5—12 проц. гранулированного шлака, который, обладая низкой температурой плавления, способствует спеканию шихты, склеивая частицы руды. Степень разряжения (количество просасываемого воздуха) зависит от величины зерна и плавкости шихты — обычно при первичном обжиге разряжение 15—30 см водяного столба, при вторичном обжиге — несколько меньше, т. к. шихта более пориста.

Двойной обжиг позволяет перевести большую часть сернистого цинка в окись цинка, которая при плавке не вызывает особых затруднений.

Скорость движения палетт в среднем 15—50 см в минуту, при вторичном обжиге скорость 20—30 см в минуту.

Содержание сернистого газа редко превышает 3 проц.

После вторичного обжига количество годного агломерата достигает 70—90 проц. Содержание серы в конечном продукте обжига колеблется от 1,5 до 2,5 проц.

Материал в шахтную плавку должен поступать размером не менее 10 мм. Мелочи после грохотов и сит должно быть не больше 10—30 проц.

В Америке за последнее время пускают мелочь вместе с крупным материалом на ватержет, так как содержание в мелочи серы не велико, и кроме того, ватержет может плавить до 20 проц. мелочи. Газы из камер, машин Дуайт-Ллойда, содержащие пыль, пропускаются через мешечные фильтры или аппараты Коттреля, большая же часть пыли извлекается при чистке камеры всасывания.

Глава IV

ПЛАВКА СВИНЦОВЫХ РУД В ШАХТНЫХ ПЕЧАХ

§ 1. Процессы плавки

Обоженная руда представляет собою весьма сложную смесь из окислов сернистых соединений и силикатов (соединений окислов с кремнеземом). В состав шихты при плавке обоженных руд входят также флюсы, оборотные продукты и кокс. Всю эту смесь загружают через колошник в шахтную печь. Кокс играет роль топлива и восстановителя окислов.

Загруженная шихта в шахтной печи медленно спускается вниз навстречу потоку горячих газов, поднимающихся из области фурм,

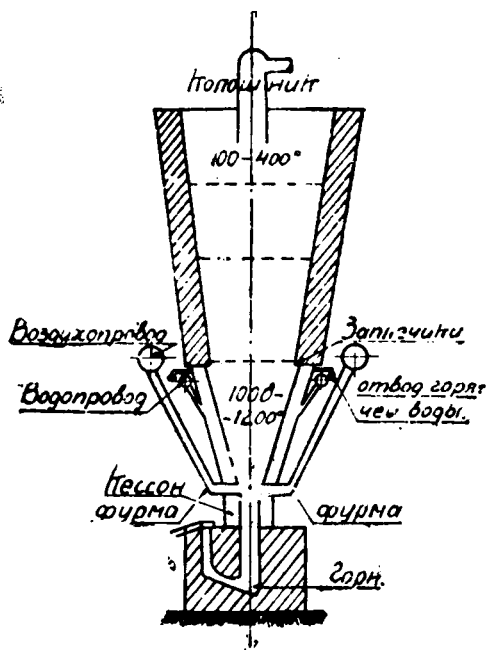
через которые в печь поступает сжатый воздух. Во время плавки в шахтной печи мы имеем целый ряд очень сложных реакций, протекающих как между веществами, составляющими шихту, так и между твердыми веществами и газами, идущими снизу. В конечном счете, эти реакции ведут к превращению всех материалов, поступающих в печь, как твердых, так и газообразных в четыре продукта: а) свинец, б) штейн, в) шлак, г) газы и иногда шпейза. Свинец, штейн и шлак собираются в горне печи, где и разделяются по удельным весам, газы же отходят через колошник.

Целью восстановительной плавки обожженных свинцовых руд в шахтной печи является: а) восстановление свинца до металла, при чем вместе со свинцом извлекаются золото и серебро, дающие с ним сплав веркблей, б) выделение меди в штейн, являющийся сплавом сернистых соединений, в) перевод пустой породы руды и агломерата в шлак, для лучшего отделения ее от свинца и штейна и, наконец, в случае присутствия никеля и кобальта—собрать последние в шпейзе—сплаве мышьяковистых соединений. Атмосфера в печи должна быть восстановительной, т. к. в шихте находится большое количество окислов, и, следовательно, здесь не должно быть свободного кислорода.

Наибольшая температура сосредоточена в поясе фурм (фиг. 18), эта часть печи наполнена раскаленным добела коксом, температура здесь превышает 1200° . Газы, поднимающиеся из области фурм и нагретые до 1200° , отдают свое тепло вышележащей шихте и стенкам печи, температура газов постепенно падает и при выходе из колошника они имеют уже температуру $150-200^{\circ}$. Газы являются главным веществом, принимающим участие в реакциях шахтной плавки. Реакции между твердыми составными частями шихты и газами протекают тем полнее, чем больше поверхность реагирующих веществ. Отсюда можно было бы сделать вывод, что шихту нужно возможно более измельчить, однако это привело бы к тому, что мелочь, образуя плотный слой, закупорила бы печь и привела бы к ее остановке.

Поэтому необходимо, чтобы куски шихты образовали „пористую решетку“, но не были бы ни слишком крупными ни слишком мелкими.

Равномерное проникновение газов через толщу шихты будет достигнуто, если все частицы



Фиг. 18. Схема шахтной печи

шихты имеют одинаковые размеры, или мелочь и крупные куски распределены равномерно по всей массе шихты.

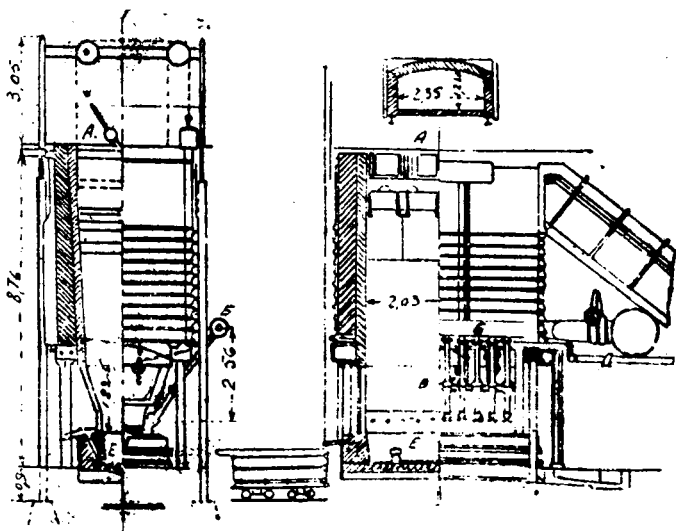
В виду того, что мы имеем частицы достаточно крупные и главным веществом, участвующим в реакции, являются газы, то сами реакции протекают в шахтной печи не особенно энергично, поэтому надо дать больше времени для их протекания, т. е. удлинить путь шихты, что и достигается увеличением высоты печи.

Восстановление до металла протекает в шахтной печи за счет углерода топлива, который, сгорая, соединяется с кислородом и переходит частично в углекислый газ (углекислоту), частично в окись углерода. Углекислота не может больше соединяться с кислородом, т. е. гореть, но при высокой температуре может отдать одну часть кислорода присутствующему избытку углерода, окись углерода может еще дополнительно присоединить к себе кислород и перейти в углекислоту. Это явление называется горением окиси углерода в углекислоту. Окись углерода всегда энергично соединяется с кислородом в любой его форме, будь то кислород воздуха или кислород окисленной, или же обожженной руды. Явление отнятия кислорода называется процессом восстановления и от него восстановительная плавка получила свое название.

Помимо этой главной реакции, протекающей в шахтной печи, существует еще целый ряд других, при чем следует отметить, что протекание их связано с определенной температурой, и, следовательно, по высоте шахтной печи могут быть приблизительно намечены области (зоны), где протекают некоторые реакции усиленно, а другие же, наоборот, более слабо. Рассматривая с этой точки зрения процессы, происходящие в шахтной печи, ее можно разбить по высоте на несколько зон (областей).

1. Зона в пределах температуры $100 - 400^{\circ}$ — подготовительная зона — где шихта подогревается и происходит испарение влаги, возможно также частичное восстановление свинца (фиг. 19).

2. $400-700^{\circ}$ — происходит дальнейшее подогревание шихты, более усиленно происходит восстановление свинца из его окиси, разложение



Фиг. 19. Разрез ватержакета

углекислых соединений (церуссит см. выше) и окончательное удаление конституционной влаги — это „верхняя восстановительная зона“.

3. 700—1000, — происходит окончательное разложение углекислых соединений, начинается и заканчивается разложение сернокислого свинца, окончательно восстанавливается до металла весь свинец из окиси, начало восстановления окисью углерода железа из его соединений, начало шлакообразования и разложения силикатов свинца — это зона энергичного восстановления или „нижняя зона восстановления“.

4. Зона окончания всех реакций восстановления и вытеснения, температура достигает 1000—1200°, — происходят реакции штейнообразования, вся масса шихты плавится — это „зона плавления“.

Из перечисленного вполне очевидно, какое большое количество весьма сложных реакций происходит в шахтной печи. Поэтому небезынтересно рассмотреть, как ведут себя соединения свинца и его примеси при процессе шахтной плавки.

Расход топлива при шахтной плавке зависит от тугоплавкости шихты, проц. содержания в ней свинца и в среднем равняется 11—11,5 проц., доходя до 14 проц.

Свинец в шихте шахтной плавки может быть в виде окиси, соединений ее с кварцем (силикаты) и окислами железа (ферриты), кроме того, может быть сернокислый свинец, часть сернистого свинца, углекислый свинец и соединения свинца с окислами мышьяка и сурьмы.

В верхней части печи при 100—300° изменений этих веществ почти не происходит, испаряется только влага. При 200° начнется восстановление окиси свинца окисью углерода по вышеприведенным схемам; при 400° начинается восстановление окиси свинца твердым углеродом, но эта реакция здесь еще идет слабо, т. к. протекает между двумя твердыми телами, которые еще не успели размягчиться и, следовательно, нет тесного контакта между ними. Получившийся жидкий металлический свинец, стекая вниз, промывает шихту, извлекая из нее золото и серебро. Проходя область фурм, где восстановителя (кокса) мало, часть свинца окисляется поступающим через фурмы воздухом и переходит в шлак. Кроме того, часть свинца здесь испарится и поднимается вверх, затем, охлаждаясь сверху, снова пройдет шихту, опять испарится, и это будет повторяться до тех пор, пока количество испарившегося свинца не будет равно количеству сконденсировавшегося — перешедшего в жидкое состояние свинца. Шихта ватержакета всегда поэтому богаче свинцом, чем вновь загружаемая. На практике при начале работы ватержакета мы не сразу получим свинец в приемнике (сифоне), а наоборот, с целью вызвать конденсационное сгущение паров свинца, мы должны добавить в шихту металлический свинец и таким образом наполнить сифон. При пористой шихте и горячем колошнике потери свинца улетучиванием могут быть большие, поэтому нужно всегда следить за колошником.

Таким образом, главная масса восстановленного свинца из окиси получается в двух верхних зонах. Крупнокусковый глет, иногда прибавляемый к шихте, не может весь восстановиться, т. к. при 883° он расплавляется, часть его улетучивается, а большая часть растворяется в шлаке, тем самым увеличивая содержание в нем свинца.

Углекислый свинец, разлагаясь при 400, отдает углекислый газ. Окись свинца (результат его разложения)—пористая масса, легко доступна проникновению восстанавливающих газов и следовательно лучше и быстрее восстанавливается.

Силикаты свинца—соединения кремнезема с окисью свинца—труднее восстановимы, чем окись свинца. Они восстанавливаются при высокой температуре (1600°), при которой получившийся металлический свинец испаряется и был бы утерян. Кроме того, в силу своей легкоплавкости (около 800°) силикат свинца просто бы расплавился и просочился через шихту, не успев восстановиться. Однако нужно получить свинец из его силиката, и это достигается тем, что окисел свинца вытесняют другим окислом (например, закисью железа, окисью кальция), который с кремнеземом образует шлак, а вытесненная окись свинца восстанавливается окисью углерода или твердым углеродом до металлического свинца,—иногда свинцовые силикаты (шлак) восстанавливаются до свинца металлическим железом, которое также способно вытеснить свинец из его соединений с кремнеземом.

Особенно энергично ведет себя окись кальция (известь), она лучше вытесняет окись свинца из силикатов, чем, например, закись железа, кроме того, переходя в шлак, она поднимает температуру его плавления, что необходимо для лучшего протекания процессов разложения свинцовых силикатов. Сама конструкция шахты печи, устройство заплечиков позволяет несколько задержать шихту, а также обеспечивает возможность протекания вышеуказанных реакций.

Соединения окиси свинца с окисью железа (ферриты) восстанавливаются легче, чем силикаты, разрушаясь током восходящей окиси углерода, при температуре от 600 до 1000°.

Мышьяковистые и сурьмянистые соединения свинца, получившиеся в результате обжига, восстанавливаются, при чем получается сперва металлический свинец, а получающиеся окислы сурьмы и мышьяка частично улетучиваются, частично же восстанавливаются до металла.

Серноокислый свинец, входящий в шихту шахтной плавки, восстанавливается главным образом до серноокислого свинца (около 70 проц.) и частично до окисла свинца. Поэтому свинцовые заводы неохотно покупают продукты, содержащие серноокислый свинец (например, шламмы). Кэки цинковых заводов не сразу идут в плавку в ватержакет, а сперва подвергаются обжигу вместе с сырым концентратом, при чем одновременно со спеканием происходит и разрушение серноокислого свинца.

Сернистый свинец не поддается действию ни окиси углерода ни твердого углерода—не восстанавливается, спускается вместе с массой шихты до области фурм, где под действием высокой температуры начинает частично испаряться. Испаряясь, он поднимается кверху печи, где часть его, проходя возле стенок печи, осажается на них (кристаллизуется), образуя настывы, уменьшающие объем печи. Часть неиспарившегося сернистого свинца переходит в штейн. Частично, в присутствии металлической меди и железа, сернистый свинец отдает им свою серу, восстанавливаясь сам до металла, это реакции штейнообразования.

Таким образом, в результате плавки свинец распределяется между веркблеем, шлаком, штейном, шпейзой, пылью и дымом.

Закись железа относится к числу трудно восстанавливаемых окислов, хотя при некоторых условиях часть железа может восстановиться до металла. Металлическое железо не растворяется в металлическом свинце, а располагается под ним слоем в виде твердой корки или настыли. При выпуске свинца из горна металлическое железо опускается на лещадь, образуя горновые настыли, так называемые „жуки“, которые препятствуют выпуску свинца из горна, забивая выпускное отверстие. Кроме того, когда в руде имеется золото, то расплавленное металлическое железо хорошо его растворяет, а извлечь золото из „жуков“ очень трудно—оно считается утерянным. Поэтому при свинцовой плавке стремятся все соединения железа перевести в его закись, которая образует с кремнеземом силикат, хорошо растворимый в шлаке. Но все же некоторая часть железа восстанавливается до металла, что в общем мало вредит протеканию некоторых реакций штейнообразования, как мы видели выше. Иногда в шихту ватержакетной плавки вводят нарочно железо, или в виде металлического лома (скрапа) или просто сернистое железо—пирит. Сернистое железо вводят при недостатке серы в шихте, т. е. для пополнения серы, с целью связать медь серой и перевести ее штейн, т. к. иначе избыток меди растворится в свинце, ухудшив его качество. Металлическое железо вводят в том случае, когда в шихте, наоборот, много серы, штейны получаются богатые свинцом и бедные железом. Металлическое железо частично соединяется с серой, а частично растворяется в металлическом виде, делая штейн более легкоплавким и жидким, а также вытесняет свинец из штейна. Прибавлять вместе сернистое железо с металлическим в шихту не желательно, ибо они могут сплавиться и не будут вести себя, как им следует.

Роль железа и его соединений при плавке очень большая. С одной стороны, закись железа позволяет иметь легкоплавкие шлаки, растворяющие значительные количества окиси цинка, и, с другой стороны, сернистое железо дает легкоплавкий штейн.

Рассмотрим поведение в плавке двух примесей, меди и цинка, частых спутников свинца в рудах, которые почти всегда присутствуют в шихте шахтной плавки.

Медь в шихте может быть в виде окислов и сернистых соединений. При плавке большая часть меди восстанавливается до металла, но так как медь обладает большой способностью соединяться с серой, или, как говорят, обладает большим „сродством“ к сере, то, соединяясь с последней, образует полусернистую медь, которая, сплавляясь с другими сернистыми металлами, дает сплав—штейн. При недостатке серы или при большом содержании в шихте восстановленного железа, которое вытесняет медь из штейна,—получающаяся в обоих случаях свободная металлическая медь сплавляется со свинцом. Перегретый же свинец при температуре 1200° способен растворить большое количество меди, которая сильно повышает температуру плавления сплава, при охлаждении же выделяется из сплава в виде кристаллов, что в конечном счете препятствует и очень сильно затрудняет выпуск свинца через сифон.

Помимо этого, некоторая часть окиси меди растворяется в шлаке и считается утерянной. Отсюда вывод, что при наличии меди в руде необходимо учитывать влияние и содержание серы и железа, стремясь по возможности большую часть меди перевести в штейн, т. е. в продукт, доступный для дальнейшей переработки, который не так осложняет ведение процесса плавки.

Цинк является наиболее частым спутником свинца в рудах и его содержание в них может доходить до высокого процента. При обжиге большая часть сернистого цинка переходит в окись цинка, меньшая часть остается неизменной. Получающаяся окись цинка растворяется в шлаке (особенно хорошо в присутствии закиси железа, являющейся растворителем окиси цинка). Окись цинка находится в шлаках в виде различных соединений, которые имеют высокую температуру плавления, в связи с этим шлаки становятся тугоплавкими, вязкими и требуют много кокса для своего расплавления. Кроме того, в присутствии окиси цинка приходится работать на сильно железных шлаках с большим удельным весом, что затрудняет отделение их от штейна. Часть окиси цинка восстанавливается в нижней зоне до металлического цинка, который испаряется, поднимается кверху печи, окисляется парами воды или углекислотой опять до окиси; часть же паров металлического цинка под действием сернистого газа, в присутствии углерода или в присутствии сернистого свинца, отнимает у них серу и переходит в сернистый цинк. Сернистый цинк и окись цинка осаждаются на стенках печи, давая настывы, отчего уменьшается сечение печи, сход колош шихты замедляется и увеличивается скорость движения газов. Газы, двигаясь быстро, не успевают отдавать шихте свою теплоту, доходят до колошника горячими. В результате имеем горячий колошник, а это ведет к большой потере свинца (см. выше.)

Сернистый цинк — более вредная примесь, чем окись цинка, остающаяся при плавке без изменений. Дойдя до пояса плавления, некоторая часть сернистого цинка растворится в шлаке, большая же перейдет в штейн, делая его тугоплавким. При большом содержании сернистого цинка в шихте, он способен образовать особый вид штейна, так называемый „пенистый штейн“, располагающийся в горне печи между шлаком и нормальным штейном. Обладая высокой температурой плавления пенистый штейн иногда замерзает, образуя настывы, нарушающие плавку. При выпуске продуктов плавки из печи, он распределяется между шлаком и штейном, обогащая шлаки свинцом и серебром и делая их неотвальными. Поэтому необходимо сернистый цинк подвергать хорошему обжигу для получения окиси цинка, даже в тех случаях, когда на ряду с цинком в руде присутствует медь, требующая при плавке серу. В этом случае получается мзлый выход штейна, который однако не причиняет больших затруднений.

Иногда в шихте, помимо соединений с окисью свинца, присутствуют еще сернистые соединения мышьяка и сурьмы, которые при шахтной плавке частично улетучиваются или же восстанавливаются до металла, загрязняя свинец. При большом содержании мышьяка, он может образовать шпейзу — сплав мышьяка с железом, образование которой желательно лишь в том случае, если в руде имеется никель

Таблица 6 Выход продуктов и распределение металлов при шахтной плавке

Продукты	Выход продукт. от шихты	Золото и серебро				Медь		Свинец		Сурьма		Мышьяк		Олово	
		Граммы в 1 т про- дукта	% от суммы	Граммы в 1 т про- дукта	% от сум- мы	% в про- дукте	мм % от сум- мы	% в про- дукте	мм % от сум- мы	% в про- дукте	мм % от сум- мы	% в про- дукте	мм % от сум- мы	% в про- дукте	мм % от сум- мы
Веркблей	25,4	63	95,9	65,35	95,9	0,6	23,5	91,2	95,9	4,8	78,3	1,2	79,4	1,1	68,8
Штейн	1,3	11	0,9	2281	1,7	18	34,9	19,4	1,1	0,7	0,6	0,2	0,7	0,3	0,9
Шпейза	0,8	70	3,2	3481	1,6	15,2	18,4	15,8	0,5	14,4	7,1	9,9	19,9	6,4	12,5
Шлак	72,5	следы	следы	20	0,8	0,2	23,5	0,9	2,5	0,3	14,0	0	0	0,1	17,8
Всего	100	—	100	—	100	—	100	—	100	—	100	—	100	—	100

и кобальт. При отсутствии их образование шпейзы прино-сит большие затруднения в шахтной плавке. Встречающиеся в рудах олово и висмут, после восстановления, переходят в веркблей, но эти примеси встречаются в руде сравнительно редко. Золото и серебро при плавке переходят в основном в веркблей, частью в шлаки и штейн.

Пустая порода с флюсами образует шлак, кроме марганца, который частично переходит в штейн, и ртути, которая улетучивается и собирается в пылеуловительных камерах (следы).

§ 2. Шлаки свинцовой плавки

Одним из условий нормальной работы шахтной печи является правильный состав и хорошие свойства шлаков. По своей производительности шахтная печь является наиболее крупным прибором во всем производстве и от ее работы зависит успех всего производства в целом. Если печь дает шлаки, богатые свинцом, медью, золотом и серебром, это понижает процент извлечения ценных металлов из руды, и кроме того, удорожает всю плавку, так как расходы ложатся только на извлеченную часть металлов. При густом шлаке, когда он может замерзнуть и вызвать остановку печи на несколько дней, приходится хранить накалившуюся обожженную руду, при этом агломерат рассыпается. Короче говоря, неполадки в печи сказываются

на работе всего завода. При вязком шлаке, когда он течет медленно, производительность печи падает, т. к. сколько удаляется продуктов из печи, столько же загружается на колошнике. Шлак же составляет иногда до 80 проц. всех продуктов, получаемых из печи. Вследствие увеличения процента шлака выход полезных продуктов, а следовательно и стоимость плавки возрастает. Поэтому шлаки при шахтной плавке играют громадную роль, правильный выбор их состава, который мы можем менять сравнительно в широких пределах, с целью получения наиболее бедного свинцом — отвального шлака, удовлетворяющего условиям данной плавки, заставляет уделять вопросу изучения и применения шлаков большое внимание. Хороший шлак должен удовлетворять следующим условиям.

1. Хороший шлак должен быть прежде всего дешевым. Это означает, что при составлении шихты и выборе состава шлаков необходимо учитывать содержание в самой руде количества шлакообразующих веществ, которые бы дали хороший шлак, требующий введения лишь самого малого количества флюсов при плавке.

Всякое введение при плавке посторонних веществ увеличивает количество проплавляемого материала, что удорожает стоимость плавки, ибо приходится плавить пустую породу, в связи с этим увеличивается общий выход шлака и растут потери в нем серебра и свинца. Это первое условие выполняется тогда, когда состав шлака соответствует составу руды.

2. Шлак по степени плавкости должен соответствовать данным реакциям. Это означает, что температура плавления шлака должна быть низкой, чтобы его можно было плавить с наименьшим расходом топлива, но в то же время она не должна быть ниже той температуры, которая необходима для осуществления всех реакций при шахтной плавке, особенно происходящих в области фурм. Кроме того, температура плавления шлака должна быть такая, чтобы получить все продукты плавки в жидком „свободнотягучем“ состоянии. Температура плавления шлака определяет собою температуру в печи, и повышением расхода топлива мы можем повысить температуру печи до известного предела — до температуры плавления шлака. Сколько бы мы не вводили топлива после того как достигнута температура полного расплавления шлака, выше этой температуры нам не удастся заметно поднять температуру в печи, т. к. при этом будет усиливаться только шлакообразование.

Для завершения всех реакций необходимо иметь шлаки с температурой плавления не ниже 1100—1200°. Тугоплавкие шлаки также вредны, т. к. они замедляют ход плавки, увеличивают расход кокса, делая колошник горячим и увеличивая потери свинца улетучиванием.

3. Шлаки должны иметь малый удельный вес, чтобы все продукты плавки — шлак, штейн и шпейза хорошо разделялись по удельным весам. Кроме того, степень разделения шлака от штейна зависит не только от удельного веса, но и степени вязкости шлака. Шлаки с малым удельным весом, но вязкие, также плохо отделяются от штейна, который в виде корольков может в них запутаться. Большое значение на удельный вес и вязкость оказывает состав шлака. Так, например, окислы тяжелых металлов цинка, железа и др.

увеличивают удельный вес шлака, окислы же легких металлов—алюминия, магния—уменьшают. На вязкость шлака оказывает большое влияние содержание в нем кремнезема и тугоплавких окислов цинка, магния и алюминия. Шлаки, богатые кремнеземом—кислые шлаки—вязкие, тогда как шлаки, содержащие закись железа, окись кальция (известь)—более жидки.

4. Шлак должен быть „отвальным“, т. е. содержать как можно меньше ценных металлов—свинца и серебра. Это условие также является весьма важным для успешного ведения шахтной плавки.

Свинцовые шлаки представляют собою сложные сплавы или смеси соединений кремнезема (кварца), окиси кальция (известь) и закиси железа в различной пропорции. При плавке чистых руд сумма кремнезема, окиси кальция и закиси железа достигает 90—95 проц. Свинцовые же руды, подвергающиеся обработке, содержат пустую породу, в составе которой могут быть окислы других металлов, например, цинка, алюминия магния и др. Эти же окислы также могут быть введены в шихту с флюсами, которые прибавляются для повышения плавкости свинцового шлака. При плавке эти окислы растворяются в шлаке и хотя их бывает мало, но они оказывают свое влияние на свойства образующегося шлака. Окись цинка по мере увеличения ее содержания в шлаке делает последний вязким, окись алюминия снижает температуру размягчения шлака, пока глинозем не замещает в шлаке $\frac{3}{4}$ окиси кальция, после этого температура размягчения резко поднимается вверх, т. е. избыток окиси алюминия делает шлак тугоплавким. Кроме того, окись алюминия делает шлак вязким. То же происходит, если мы в шлаке будем заменять другое какое-нибудь из этих основных веществ, входящих в состав шлака. Например, при замене кремнезема окисью алюминия шлаки делаются вязкими и более тугоплавкими. При замене $\frac{5}{9}$ кремнезема в шлаке, температура его размягчения поднимается с 1150 до 1320°.

На основании долголетней практики заводы выработали „типичные шлаки“. Типичный свинцовый шлак должен содержать не более 0,8—1,2 проц. свинца и 10—15 граммов на тонну серебра. Удельный вес его не должен быть больше 2,6 кроме того, шлак не должен допускать образования верховых и низовых лещадных настывлей.

Главных составляющих шлака: окиси кальция, закиси железа, кремнезема, окиси цинка в сумме должны быть около 95 проц. На остальные примеси окись алюминия, магния и др. падает около 5 проц. В настоящее время обработке подвергают богатые свинцовые концентраты со сравнительно большим содержанием цинка. Ввиду того, что окись цинка трудно поддается шлакованию, состав шлаков приходится менять, составляя шлаки с низким содержанием окиси кальция и кремнезема, и наоборот, с повышенным содержанием закиси железа, способствующей растворению окиси цинка в шлаках.

На основании исследования и проверки работы заводов, Нортон предложил таблицу состава шлаков при плавке цинковистой шихты.

Из таблицы видно, что для хорошей работы сумма окиси цинка и кремнезема не должна быть больше 41 проц. Точно так же сумма окиси кальция и окиси цинка должна быть в шлаке не выше 28—29 проц. При возрастании в шлаках содержания окиси цинка нужно

соответственно понизить содержание окиси кальция и кремнезема и увеличить содержание закиси железа в шлаке, создавая этим благоприятные условия для растворения окиси цинка.

Таблица 7

Заводские шлаки по Нортону

№№ шла- ков	Кремнезем	Закись же- леза + за- кись марган- ца	Окись каль- ция + окись магния	Окись цинка	Сумма
0	41,0	25,5	28,5	0	95%
1	39,7	26,75	27,3	1,25	"
2	38,4	28,0	26,1	2,5	"
3	37,1	29,25	24,9	3,75	"
4	25,8	31,5	23,7	5,0	"
5	34,5	31,75	22,5	6,25	"
6	33,2	33,0	21,3	7,5	"
7	31,9	34,25	20,1	8,75	"
8	30,6	35,5	18,9	10,0	"
9	29,3	36,75	17,7	11,25	"
10	28,0	38,0	16,5	12,5	"
11	26,7	39,25	15,3	13,75	"
12	25,4	40,5	14,1	15,0	"

§ 3. Шахтная плавка

Раньше шахтные печи строились исключительно из камня — круглого или прямоугольного сечения с одной или несколькими фурмами в задней стенке печи. Во время плавки стремились создавать над и под фурмами настывы в виде „носа“, с помощью которого удавалось изменять центр плавления печи, ибо этот „нос“ являлся как бы продолжением форм внутри печи. Старый металлург поэтому должен был обладать большим искусством, чтобы держать „нос“ нужной величины. Если „нос“ удлинялся, то прогорала передняя стенка, т. к. область высокой температуры становилась к ней ближе. При слишком коротком „носе“ прогорала, наоборот, задняя стенка. Впоследствии стали применять чугунные фурмы с водяным охлаждением, что позволило их вводить на 5—10 см в самую печь, с той целью, чтобы область высокой температуры находилась в центре печи.

В последующих типах печей стали охлаждать наиболее горячую часть печи — пояс плавления — при помощи чугунных полых ящиков, охлаждаемых водою. Получилась печь с ватержакетным поясом плавления. Во время плавки стенки этого ящика покрываются изнутри печи сплавленной и замерзшей шихтой, которая образует так называемый „гарниссаж“, сходный по составу с проплавляемой шихтой. Иными словами, получилось, что шихта плавится в стенках из той же шихты. Впоследствии стали заменять каменные стенки кессонами и в результате пришли к конструкции современного ватержакета.

Ватержакеты имеют перед обычными каменными печами большие преимущества.

При постройке каменной печи ответственным делом является выбор кирпича. Пуск каменной печи длительный, требуется долгая

просушка ее и постепенный разогрев в течение нескольких дней. Образующиеся настывы на стенках каменной печи при своем удалении ведут к разрушению стенок, тогда как в ватержакете, благодаря разнице температур из-за охлаждения кессонов водою, настывы внутри горячее, чем у стенок кессона, и в результате легко отскакивают, не портя самих кессонов. И, наконец, стенки каменных печей участвуют в процессе шлакообразования, изменяя расчеты металлурга, ибо нельзя получить шлак нужного состава. Стенки же ватержакетных печей не участвуют в процессе. Таким образом, при каменных печах металлургии зависят от печи, при ватержакетных печах, — наоборот, плавка зависит от металлурга.

На фиг. 19 представлена схема ватержакетной печи. Постановка кессонов по всей шахте печи имеет однако то неудобство, что шихта сравнительно сильно охлаждается ими, и для поддержания требуемой температуры приходится увеличивать расход топлива, хотя сбивание настывов и лучше.

Верхняя часть шахты от механического износа бронируется чугунными или стальными плитами. Рассмотрим теперь устройство ватержакета в общем виде.

Шихта поступает в печь с загрузочной или колошниковой площадки „А“. Снизу в печь вдувается воздух, поступающий по распределительной трубе „Б“ и рукавом „В“ к фурмам „Г“, через которые вдувается в печь. Вода, охлаждающая кессоны, подается водопроводом „Д“. Часть шахты печи, расположенная ниже фурм, называется внутренним горном-сифоном Арентса „Е“.

Высота печи разбивается на: а) общую высоту от пола доколошника и б) полезную или эффективную высоту, равную высоте столба проплавляемой шихты, т. е. от колошника до центра фурм. В настоящее время полезная высота печи равняется 4,2—4,8 м и зависит от тугоплавкости шихты, от количества вдуваемого воздуха и упругости его, чем эти условия больше, тем высота шихты может быть больше.

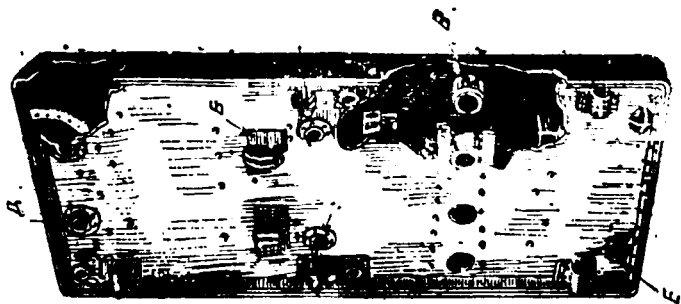
Сечение в области фурм дает расстояние между противоположными фурмами от 0,915—1,27 м.

Длина прямоугольного сечения ватержакета зависит от производительности, чем она больше, тем больше длина ватержакета. Обычно длина делается до 4,1 м. Длиннее ватержакетные печи для плавки свинцовых руд не делаются потому, что выпуск продуктов плавки из ватержакета периодический по мере накопления, а длинные ватержакеты требуют выпуска с двух сторон печи, т. е. требуется две рабочих бригады одновременно. Необходимость устройства заплечиков в ватержакетах вызывается следующими причинами: необходимо сосредоточить зону горения в небольшом поясе для окончательного завершения всех процессов, задержать скорость спуска шихты для более полного восстановления и для создания контакта между шлакообразователями, для уменьшения скорости движения газов, что в свою очередь понизит пылеобразование. Заплечики делают по длинным сторонам печи. Диаметр фурмы зависит от физического состояния шихты, чем крупнее шихта, тем больше диаметр фурм. В среднем диаметр фурм около 10 см. Фурмы располагаются по

длинной стороне ватэржакета на расстоянии 410—460 мм друг от друга. Расстояние фурм до горна 250—350 мм. Нижняя часть шахты в области зоны плавления делается из кессонов, охлаждаемых водой. Верхняя часть выкладывается из огнеупорного кирпича.

Кессоны делают или из мягкого железа или из стали, сварные или клепанные. Толщина внутренней стенки кессона (см. фиг. 21) 10—12 мм, внешней стенки 6—8 мм, высота кессона 0,9—1,8 м. Кессоны делают одно или двухфурмовые, редко трех. Кессоны изнутри расправляют шихтой, а снаружи скрепляются болтами, и специальной плитой

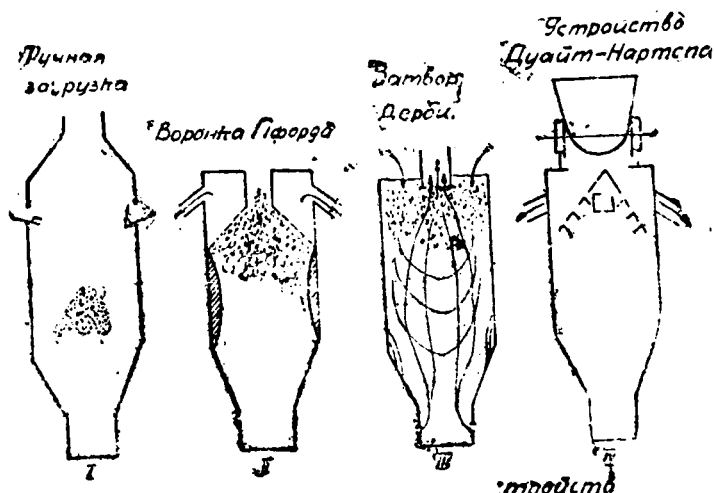
с болтиками удерживаются в определенном положении. Чтобы поддержать верхнюю кирпичную часть печи и закрепить кессоны, по четырем углам печи ставятся литые чугунные или же железные



Фиг. 20. Кессон ватэржакет

колоны. Между этими колоннами прокладываются сплошные или решетчатые балочки, в которые упираются плахи, поддерживающие кессоны. Без этих упоров шихта расперла бы стоящие наклонно кессоны. Соседние кессоны крепятся между собою болтами.

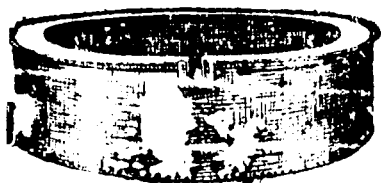
На фиг. 21 показан клепаный фурменный кессон, состоящий из двух железных штампованных коробов, вставленных одна в другую и склепанных с таким расчетом, что внутри у них образуется пространство около 100 мм. Уши „А“ служат для соединения с соседними кессонами,



Фиг. 21. Схема загрузочных устройств.

угольники „Б“ делают для упора крепления печи, „В“ — фурменные трубки. Вода подается снизу или посредине „Г“, вывод же воды делают всегда вверх кессона, через отверстия „Д“. Лучше делать

отвод воды с помощью особого носика, выступающего сверху кессона. Верхний отвод воды делается в кессонах для того, чтобы удалить пар, получающийся в кессоне от перегрева воды. Если этому пару дать скопиться в кессоне, то в этом месте кессон быстро прогорит. Для очистки кессона от грязи делаются люки „Е“. Температура отводящей воды из кессонов достигает 50—70°. Давление воды в кессонах равно 1 атмосфере.

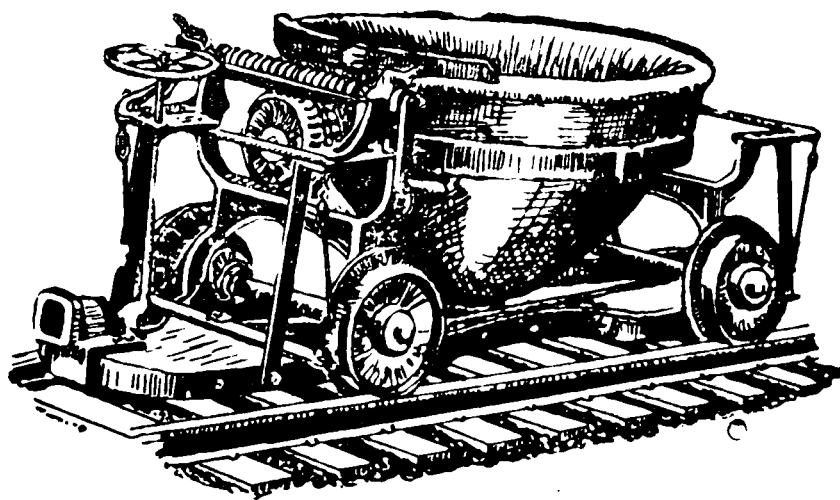


Фиг. 22 Передний горн

Загрузка шихты в ватержакет имеет большое значение. Существует несколько способов загрузки, значительно различающихся по успешности своей работы.

Тип I. Загрузка вручную (фиг. 21). Основной ее недостаток—это неравномерное распределение шихты, при котором мелочь задерживается вдоль стенок печи и будет давать нависания над фурмами. Подготовка середины печи—вещь наиболее ответственная, ибо в ватержакете в середине шихта движется быстрее.

Тип II. При загрузке воронкой Пфорта. Мелочь скапливается в середине, а крупное по бокам. Газы идут вдоль стенок, где встречают мало сопротивления от крупных кусков шихты и гладких стенок, следовательно, шихта в середине печи, дойдя до фурм, окажется неподготовленной. Возможно образование настелей у стенок печи. В настоящее время воронка Пфорта не применяется.



Фиг. 23. Шлаковая тележка

Тип III. Затвор Дерби распространен у нас и представляет собою трубу, опущенную в шахту на 1 м. Спускание шихты происходит неравномерно, — во избежание истирания стенок печи их облицовывают чугунами плитами.

Тип IV. Прибор Дуайт Нортон осуществляет более равномерное распределение шихты и газов. Загрузка при помощи вагонеток с откидным дном.

При устройстве различных приспособлений для загрузки необходимо всегда учитывать свободу работы на колошнике.

Порядок загрузки. При малой производительности печи устраивают из шихты гостель на колошнике. Топливо забрасывается отдельно. Такая загрузка требует большой затраты мускульной силы, но зато можно достигнуть хорошего перемешивания шихты. При работе с воронкой Пфорта или Дерби применяют способ последовательной загрузки: сперва идет агломерат, затем флюсы, оборотный шлак, кокс и обороты рафинировочного цеха. Колоша рудная 4-тонная, при больших ватержакетах доходит до 5—6 тонн. В шихте стараются держать 75—80 проц. агломерата по весу, флюсов 10—25 проц., оборотного шлака 15—25 проц. Перед загрузкой нужно стремиться к предварительной шихтовке.

Воздух на ватержакеты подается от воздуходувных машин типа Рутта. Необходимо к каждой печи вести свой воздухопровод с предохранительным клапаном. Для измерения количества протекающего воздуха ставят особые приборы.

Во избежание потери давления воздуха на трение в воздухопроводах, сопротивления на поворот и т. д., воздуходувные машины располагают возможно ближе к печи.

Продукты шахтной плавки скапливаются обычно в горне печи, сделанного из магнезитового кирпича. Для уменьшения теплоотдачи через горн, устраивают изоляцию. Весь горн бронируют клепанным железом или мягкой сталью, чтобы от большого давления скопившегося свинца его не развалило.

Глубина горна 0,5—0,75 м. Для выпуска веркблея употребляют сифон Арентса, основанный на свойстве сообщающихся сосудов и работающий при шихте, содержащей не менее 12 проц. свинца (см. фиг. 3). Выпуск свинца из сифона может быть: или вручную—вычерпыванием, или же по жолобу—в котел с подогревом. Выпуск производится или непрерывный или с перерывами (последнее лучше). Работа вследствие выделения паров свинца — очень вредная и тяжелая. Свинец выпускают в специальную разливочную машину.

Выпуск шлака, штейна и методы их отстаивания бывают различные. Обычно в торцовой стенке ватержакета устраивают один большой кессон и один маленький. Летку заделывают глиной и вставляют ломок. Синие огоньки у фурм говорят о своевременности выпуска шлака. Шлак и штейн выпускаются в вангресс — передний горн, футерованный в ширину кирпича (фиг. 22). Передний горн имеет два отверстия для выпуска шлака и штейна, чем больше объем вангресса, тем будет лучше отстаивание. Размеры горна делаются в зависимости от величины ватержакета, чем больше последний, тем больше делается вангресс.

При особо малых ватержакетах передних горнов не делают, а вывозят шлак в особых шлаковых тележках (фиг. 23). С целью лучшего отстаивания устраивают двойные вангрессы. Иногда шлак из второго горна гранулируют, т. е. струю шлака пересекают струей

воды, отчего шлак приобретает зернистую форму. Гранулированный шлак применяется как балласт на железных дорогах и на закладку шахт. Штейн также иногда гранулируют, но лучше его отливать в чугунные формы (изложницы) и уже после этого в тонких пластинах пускать на переработку.

Шихта ватержакетной плавки состоит из агломерата, флюсов, добавочных материалов, топлива и воздуха. Все составные части шихты должны удовлетворять следующим требованиям.

Агломерат должен быть кусковым, пористым, совершенно не содержащим пыли, с величиной зерна 120—150 мм, т. е. примерно величиной в два кулака.

Флюсы, даваемые в ватержакет, должны быть меньше чем зерна агломерата. Примерно на 20 — 80 мм оборотный шлак обычно богат свинцом и роль его при плавке двоякая, он делает шлаки более пористыми и облегчает плавление шихты, так как он более легкоплавок, чем шихта. Расход оборотного шлака в настоящее время достигает 15—25 проц. (На Риддере 10—20 проц). Топливо, помимо чисто химических свойств, должно обладать еще механической прочностью, что вызывается большим удельным весом свинцовой шихты. Топливом служит обычно кокс. Раньше широко применялся древесный уголь, и он вполне удовлетворял работе ватержакета, ибо высота ватержакета была мала и следовательно мало было давление шихты.

Расход кокса при ватержакетной плавке зависит от содержания свободного углерода в коксе, от состава шихты зависит: расход кокса от времени года (летом расход кокса меньше), от времени суток (ночью расход кокса меньше, т. к. воздух суше), от величины кусков шихты, чем она крупнее, тем меньше расход кокса, т. к. при крупнокусовой шихте воздух свободно обтекает куски шихты, от упругости дутья, чем оно больше, тем больше расход кокса.

Расход кокса при шахтной плавке 10.5 — 13 проц.

Воздух подается через фурмы под определенным давлением, зависящим от расстояния между противоположными фурмами, от высоты рудной шихты над фурмами и от величины кусков шихты. Количество подаваемого воздуха колеблется от 150 до 330 м³ в минуту.

Дутье всегда подается холодное. Подогрев дутья снижает расход кокса, но ухудшает восстановление, ибо углерода будет меньше, следовательно, меньше окиси углерода, являющейся главным восстановителем. Горячий же воздух занимает больший объем, следовательно надо увеличить давление, отсюда получим горячий колошник, если же не будем увеличивать давление, то уменьшится производительность печи.

Во время работы на ватержакете, зачастую приходится сталкиваться с различными неполадками в его работе. Наиболее часто бывают следующие осложнения, препятствующие нормальному протеканию шахтной плавки: а) горячий ход печи, б) холодный ход печи и в) образование настывей верхних и нижних (горновых).

При горячем ходе печи нужно снизить расход топлива или просто загрузить одну колошу без кокса.

Холодный ход печи может быть вследствие тяжелой колоши с малым количеством кокса и медленной плавке. Необходимо ускорить процесс плавки.

При наличии верхних настывлей, последние легко обнаруживаются, т. к. шихта ползет к середине печи. В Америке применяют взрывание верхних настывлей динамитом.

Образование нижних настывлей получается на внутренней стенке кессона, наплывая на нем. Наличие их вызывает расстроенный ход печи, заливаются шлаком фурмы.

Для удаления нижних настывлей устраивают промывку печи холостой шихтой, примерно следующих составов:

- 1) 4 тонны оборотного шлака и кокса 10—12 проц.
- 2) Шлаковая колоша + железистая руда 3700 кг шлак и 300 кг железистой руды + кокс 12 проц.
- 3) Шлак + все флюсы + кокс.

В целях предупреждения образования настывлей хорошо давать холостую колошу утром и вечером. Самые же опасные настывли будут горновые, ибо они содержат медь и железные жуки или сернистый цинк. При хроническом (постоянном) расстройстве печи лучше перейти на легкоплавкую шихту, затем выдуть ватержакет и очистить его.

Выдувка ватержакета

а) Опускают шихту. Для охлаждения — колошник поливают водой, однако этот метод охлаждения рекомендовать нельзя, так как вода портит стенки печи.

б) Выдувка с известняком. Загружают известняк без кокса до тех пор, пока он не появится у фурм. Или же дают 2—3 холостых колоши с коксом и сверху известковые колоши без кокса. Холостые колоши пускают для очистки ватержакета. Иногда, при сильном расстройстве хода печи, нормально выдуть ватержакет невозможно, тогда выгружают шихту прямо через снятый кессон, такой метод применяется редко. При выдувке ватержакета горн должен быть полон свинцом, при чем свинец из него не выпускают.

Задувка ватержакета

Свинцовые чушки, чистые от примеси меди (лучше после зейгирования), укладываются выше летки, на них кладут щепки, дрова и зажигают, постепенно по мере сгорания дров, их добавляют в течение 12—18 часов, до того времени, пока весь свинец не расплавится и печь не просохнет. Зола по возможности удаляют, т. к. она является плохим проводником тепла. После того, как свинец расплавился, забрасывают снова дрова выше фурм, примерно на 15 см. Когда дрова разгорятся, забрасывают на них 3 колоши кокса по 1 тонне. После 1-й полуколоши ждут, пока не пробьется огонь, затем прибавляют вторую полуколошу и т. д., пока весь кокс не будет загружен, затем прибавляют 6 шлаковых колош (по 2 тонны) с коксом (14—15 проц). Прибавляют металлический свинец, чтобы повысить уровень свинца в горне и после этого приступают к загрузке нормальных колош. Лучшее в начале пуска давать более легкие колоши с большим процентом оборотного шлака, чем при нормальной плавке. Дутье (в начале небольшое) подается после полной загрузки печи. Предварительно просматривают и прочищают все фурмы. Полное дутье пус-

кают на 3-й день. Но практика Риддера показала, что можно пускать полное дутье через 2 часа после заполнения ватержакета.

В результате восстановительной плавки в шахтных печах получаем веркблей, штейн, иногда шпейзу, шлак, пыль и дым. Свинец после шахтной плавки содержит в себе различные примеси, которые оказывают на его свойства определенное влияние. Примеси висмута и серебра делают свинец непригодным на производство красок и для органических стекол. Примеси других металлов (цинка, меди) сказываются на его технических качествах. Вообще можно сказать, что все примеси ухудшают механические или химические свойства свинца. С целью отделения от свинца золота и серебра, а также других примесей, веркблей, получившийся в результате шахтной плавки, подвергают весьма сложным и длительным операциям в рафинировочном и купеляционном цехах. Освободившись почти целиком от примесей, свинец приобретает те качества, благодаря которым он имеет широкое распространение в нашей промышленности.

Другие продукты, штейн и шпейза также поступают на переработку, с целью извлечения из них тех металлов, которые представляют их главную ценность, метод их обработки сложен и не входит в задачи этой книжки, потому интересующихся отсылаем к специальным книгам по металлургии меди и никкелю.

Пылеулавливание

Пыль и дым—продукты шахтной плавки—уносятся вместе с газами из ватержакета. За последнее время содержание свинца в шихте возросло и задача очистки газов от пыли приобретает большое значение. Улавливание необходимо применять, т. к. улавливается не только свинец, но и другие ценные металлы—цинк, мышьяк, кадмий. Газы из ватержакета по трубе поступают в пылевую камеру. Для лучшего отстаивания подводящую трубу опускают внутрь камеры. Скорость движения газов в камере дается не выше 0,5 м в секунду. Длина камеры не должна быть меньше пятикратной высоты. Раньше стремились улавливать пыль с помощью газоходов, меняющих свое направление, общей длиной до 2 км. Устраивали также в газоходах сетки или листы, на которые и садилась пыль. Строили каналы с различным сечением, но все это не достигало цели. Фильтровали—пропуская газы через железный скрап. Применяли мокрое пылеулавливание, при котором пыль лучше осаждалась, но получалась в виде грязи, которая требовала дальнейшей переработки и была ядовитой.

В настоящее время наибольшим распространением пользуется осаждение пыли в аппаратах Коттреля, при помощи электротока, но этот прибор капризен в работе, почему следует отдать предпочтение другому способу, хотя и более дорогому, но более надежному, именно способу мешочных фильтров. Для очистки газов от пыли, последние вентилятором просасываются через плотную ткань. Пыль через ткань не проходит и при встряхивании мешков оседает на их дно, где и собирается. Материалом для мешков служит холст и шерсть. Холщевые мешки пригодны для газов с низкой температурой до 80°. Срок службы около года. Однако при наличии в газах паров серной кислоты они быстро раз'едаются.

Шерстяные мешки выдерживают температуру до 150° и могут работать в присутствии некоторого количества кислоты. Срок службы их до 3 лет.

Иногда с целью лучшего улавливания пыли станцию мешечных фильтров соединяют с установками Коттреля. Газы, проходя последовательно оба прибора, почти полностью отдают пыль, идущую или в переработку или присаживаемую как оборотный продукт в шахтную плавку.

Глава V

РАФИНИРОВАНИЕ СВИНЦА

§ 1. Общие сведения

В результате шахтной плавки из ватержакета получают: веркблей, шпейза, штейн, шлак, газы и пыль.

Веркблей—сплав свинца с другими металлами. Является самым главным и ценным из этих продуктов и подвергается специальной переработке, для отделения имеющихся примесей от свинца, в рафинировочном цехе свинцового завода.

Шпейза, как выше указывалось, образуется лишь при наличии металлов никеля и кобальта. В свинцовых же рудах последние встречаются редко, а потому образования шпейзы, в особенности на наших заводах, почти не наблюдается и рассмотрение ее переработки в задачу данной книжки не входит.

Штейн, содержащий медь, цинк, свинец должен подвергаться специальной переработке для извлечения этих металлов (подробно желающие могут ознакомиться в книге проф. В. Я. Мостович „Металлургия меди“).

Шлаки имеют большое значение при свинцовой плавке, как оборотные продукты, конечно, в том случае, когда в них содержится достаточное количество ценного металла. Свинца в них может содержаться до 2,5 проц. (Алагир). Прибавление богатых шлаков в качестве оборотного материала при плавке допускает понижение расхода топлива и повышает производительность печи, т. к. оборотные шлаки являются уже подготовленными продуктами,—они уже побывали в шахтной печи. На ряду со свинцом, в шлаках содержится иногда большое количество цинка (до 22 проц.), поэтому извлечь цинк из шлаков, которые зачастую идут в отвал, является необходимым. Существуют способы, при которых в специальной печи извлекают окись цинка из шлака путем продувки с воздухом и угольной пылью. В результате получается окись цинка, идущая на нужды промышленности или на дальнейшую переработку, и отвальный шлак сравнительно бедный цинком, свинцом и медью.

Пыль отделяется от дыма и газов (см. выше), и прибавляется в шихту для обжига, т. е. направляется в агломерационный цех.

Рассмотрим переработку веркблея—главного продукта свинцовой плавки. Приведем анализы (составы) веркблея, получающегося на наших заводах.

Из рассмотрения этой таблицы видно, что свинец содержит целый ряд примесей, делающих его негодным для промышленных целей. Кроме того, при наличии благородных металлов золота и серебра их необходимо извлечь как металлы, представляющие большую ценность.

С этой целью веркблей подвергается специальной переработке — рафинированию, — целью которого является очистка свинца и извлечение содержащихся в нем золота и серебра.

Таблица 8¹

Состав веркблея

Состав % Заводы	Свинец	Серебро	Цинк	Желе- зо	Вис- мут	Олово	Сурь- ма	Мы- шьяк	Медь	Золо- то
Алагир	98,63	0,179	0,40	0,072	0,1282	0,0056	0,2584	00,2	0,377	—
Риддер	—	0,417	0,24	0,165	—	—	0,148	—	0,470	0,166

Рафинирование разбивается на несколько операций:

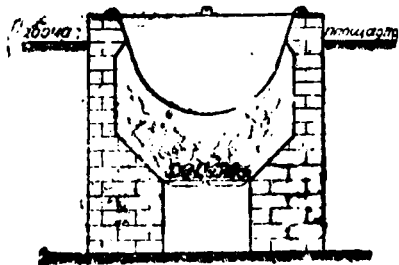
1. Обезмеживание веркблея, т. е. удаление меди, если она имеется.
2. Предварительное или смягчительное рафинирование.
3. Обессеребрение.
4. 2-е рафинирование или так называемое обесцинкование.
5. Обработка золото-серебристой пенки.

§ 2. А. Обезмеживание и предварительное рафинирование

Для удаления меди пользуются тем, что она слабо растворяется в свинце, при температуре плавления свинца.

Если расплавить свинец, содержащий медь и выдержать расплавленную массу (ванну) определенное время при низкой температуре, то большую часть отделившейся меди можно удалить с поверхности ванны в виде медистой пенки, так называемых „шликкеров“.

Приборами для обезмеживания служат котлы и печи с наклонным и горизонтальным подом.



Фиг. 24. Котел для обезмеживания веркблея

Котлы (фиг. 24), вмазанные в кирпичную кладку, имеют емкость от 30 до 100 тонн, делаются из чугуна или из стали с топкой, устраиваемой снаружи или под котлом.

В котел загружают до верху чушки со свинцом и начинают медленно плавить.

Температуру поднимают до 400°, что ускоряет процесс. Медистую пенку — шликкера начинают снимать. Вначале снимают наиболее крупные образующиеся шликкера, затем для того, чтобы способствовать лучшему отделению шликкеров через ванну пропускают иногда сжатый воздух, который их поднимает на поверхность. В Америке для этой цели применяют флюсы, загружаемые на дно

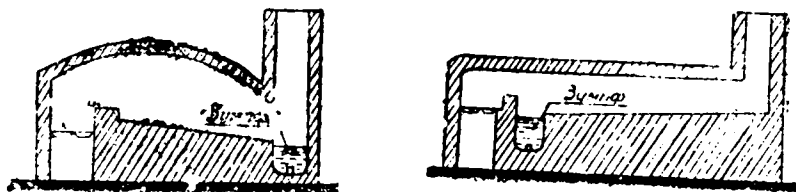
¹ Деречей — „Металлургия белых металлов“ стр. 37.

котла, которые всплывают над расплавленным свинцом и способствуют всплыванию шликкеров.

Флюсы играют следующую роль — они облегчают удельный вес шликкеров, фильтруют их, освобождая от механически запутавшегося в них свинца и, наконец, выполняют роль флюсов при последующей переработке шликкеров. Снятие шликкеров производится с помощью дырчатых ложек. Шликкера получают с содержанием меди 8—12%. Кроме котлов, приборами, служащими для удаления меди, являются отражательные рафинировочные печи с наклонным или слегка наклонным, почти горизонтальным подом.

Разберем преимущества и недостатки той и другой печи.

Печи с наклонным подом (фиг. 25) представляют собою обычную отражательную печь, у которой устроен наклонный под, в конце которого имеется углубление — зумпф для приемки вытопившегося свинца. Устраивать зумпф лучше перед топкой, тепло которой все время будет обогревать скапливающийся свинец, и что создает нужную тем-



Фиг. 25, 25-а Схема печей для первого рафинирования смягчения свинца с наклонным подом

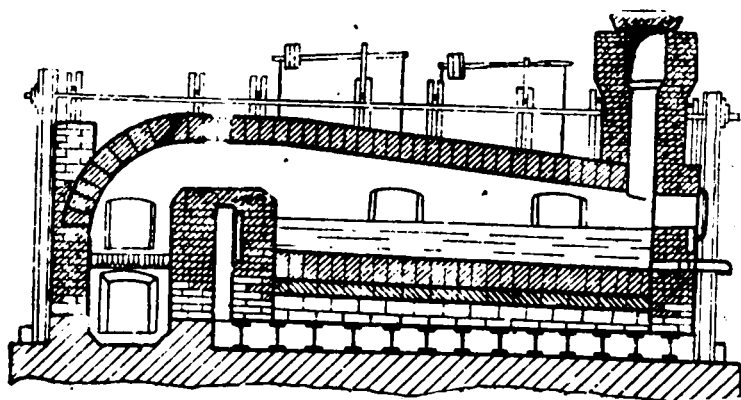
пературу свинцу при его выпуске. Способ работы такой же, как на котлах, с той разницей, что вытапливаемый свинец стекает по поду в приемник, а шликкера остаются на поду и удаляются через рабочие окна. Недостатки печи: 1) Малая производительность. 2) Необходимость все время контролировать температуру для лучшего протекания процесса зейгерования (вытопки). 3) Большой расход физической силы при удалении шликкеров через окна печи. 4) Под печи впитывает большое количество свинца. 5) Получающийся в приемнике свинец загрязнен медью. 6) Большой расход топлива. Кроме того, продукты плавки, например свинец, могут окислиться, т. е. соединиться с кислородом газов — свинец перейдет в окись свинца — глет, который в дальнейшем перейдет в шликкера — мездистую пенку.

Однако печь имеет следующие преимущества — топливом могут служить каменный уголь, дрова, торф. Возможность получить в печи сухие шликкера, более богатые медью и сравнительно с малым содержанием свинца. Обычно такая печь применяется для подсушивания, т. е. дополнительной вытопки свинца из шликкеров, получаемых в котлах.

Жирные шликкера (медная пенка) подвергаются вытопке (зейгерованию) в простых отражательных печах с горизонтальным или слабо наклонным подом (фиг. 26).

Загрузка производится или через окна или через воронку в своде печи. Атмосфера, т. е. газы в печи должны быть нейтральные или слабо восстановительные, т. е. в газах печи не должно быть свободного кислорода, который может соединиться со свинцом, дать

окись свинца—глет, переходящий в пенку. Чем глубже ванна, тем лучше происходит отстаивание шликкеров. Когда в обрабатываемом продукте мало меди, то загружают всю ванну печи. Шликкера снимаются через рабочие окна вручную при помощи дырчатых шумовок или гребков. При выпуске накопившегося свинца температуру в печи поднимают выше.



Фиг. 26. Печь для рафинирования свинца

Печи устраивают емкостью от 40 до 120 тонн. Ширина печи 2—2,5 м. Глубина 0,5—0,7 м. Расход топлива составляет около 2 проц. от веса загружаемого материала. Длительность работы около

12 часов, считая от момента начала загрузки до конца снятия шликкеров. Нужно отметить, что с повышением температуры в печи перед выпуском свинца, часть шликкеров, настывших на окнах печи и стенках, начинает растворяться в свинце, ухудшая его качества.

Недостатки зейгеровочных печей заключаются в том, что: 1) трудно работать с печью, загружать ее, снимать шликкера приходится через рабочие окна печи, что является тяжелой работой; 2) само плавление при полной загруженной ванне идет медленно; 3) возможно окисление ванны (появление окислов—соединений металлов с кислородом); 4) намерзание настывшей шликкером (медистой пенки) на стенках печи, переходящих при повышении температуры в свинец.

Преимущества печи: 1) большой масштаб работы, отвечающей суточной потребности плавильного цеха; 2) печь служит двум целям зейгирования (вытопки) свинца и 1-у рафинированию, отчего получается экономия в средствах на производство и экономия места в рафинировочном цехе.

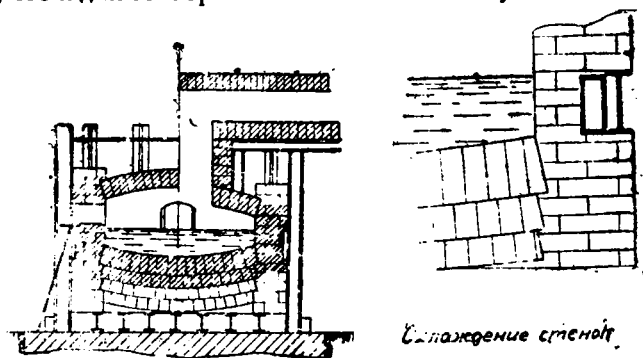
Количество шликкером получается по весу 5—8 проц., иногда 30 проц. по сравнению с весом загруженного веркблея. Полученные шликкера содержат от 18 до 30 проц. меди при большом ее содержании в свинце. На ряду с медью, при обезмеживании полностью удаляются также сера, никель, кобальт и железо (когда они имеются), которые, как и медь, трудно растворимы в свинце и всплывают вместе с медистой пенкой на поверхность ванны. Полученная медистая пенка (шликкера) добавляется в шихту ватержакета, когда последняя содержит сравнительно мало меди или плавится в ватержакете со штейном при концентрационной плавке штейна. В настоящее время в Америке шликкера перерабатываются вместе со штейном в отражательных печах и получают богатый штейн, веркблей и оборотный шлак. На этом обезмеживание веркблея заканчивается и он поступает

на дальнейшую переработку (1-е рафинирование), имеющую целью удалить мышьяк, олово и сурьму. Иногда для окончательного удаления меди в расплавленный свинец вводится элементарная сера или чистый сернистый свинец.

Первое рафинирование (смягчение свинца).

После удаления меди, отделение мышьяка, олова, сурьмы из свинца производится путем нагревания его до яркокрасного каления при доступе воздуха. При этом указанные примеси соединяются с кислородом воздуха и образуют окислы, всплывающие на поверхность ванны, в виде порошка или шлаков, которые легко удаляются скребком с поверхности металлического свинца. Смягчение свинца производится в той же печи, что и для зейгерования и обычно следует за ним.

Печь забрана в железный кожух (фиг. 26), при чем в целях лучшего ее охлаждения она ставится не на пол, а на балки, образующие целый ряд отдушин для прохода воздуха. Кроме того, с целью охлаждения кладки печи, выложенной из магнетитового кирпича, в области образования



Фиг. 27. Детали печи

окислов в ней, устривают кессоны (пустотелые клепанные железные ящики), через которые пропускают охлаждающую воду (фиг. 27). После обезмеживания, т. е. снятия шликкеров (медистой пенки) свинцовую ванну снова нагревают при закрытых рабочих окнах, при чем температуру в печи доводят до $750 - 960^{\circ}$ (у порога). Пускают струю воздуха в печь на поверхность ванны или же ведут сжигание топлива с избытком воздуха. В том и другом случае будем иметь избыток кислорода в газах печи, необходимого для соединения с примесями. Иногда для ускорения работы пропускают сквозь ванну сжатый воздух или пар, но это невыгодно, к тому же образующиеся брызги разедают свод печи. Чаще поступают таким образом, что после выгрузки печи на дно ее кладут глет (окись свинца), соединение свинца с кислородом, который будет окислять олово, мышьяк, сурьму, образуя их окислы, всплывающие на поверхность ванны. Расход глета составляет до 15 проц. от веса рафинируемого свинца. Немцы для ускорения процесса в конце печи на уровне ванны оставляют отверстие (фиг. 27) (0), через которое получившиеся окислы непрерывно стекают и обнажают для взаимодействия с кислородом воздуха расплавленный верхний слой. Из этих трех примесей — олово, мышьяк и сурьма раньше всего окисляется олово, затем мышьяк и, наконец, сурьма, при этом некоторое количество свинца также соединится с кислородом и перейдет в окись свинца. Вначале, с повышением температуры в печи и созданием условий окисления ванны (доступа кислорода воздуха

к расплавленной ванне) поверхность ванны покрывается темножелтым слоем порошкообразных и тестообразных тугоплавких окислов олова—называемых по-разному—оловянной пудрой, оловянными абзугами—шликкерами. Когда все олово удалится из металла и соберется на поверхности ванны в виде окислов (оловянной пудры), ванна начинает дымить, вследствие выделения паров мышьяка—тогда понижают температуру и оловянную пудру выгребают из печи. Снова повышают температуру в печи до 900—950°. При этом частично мышьяк в виде паров улетит в трубу. Частично же образуются соединения мышьяка с кислородом и свинцом, различных цветов от лимонно-желтого до светлокоричневого, плавающие на поверхности ванны. Опять понижают температуру в печи и удаляют из нее соединения мышьяка. После удаления мышьяка при пониженной температуре оставляют в печи открытые окна для лучшего окисления—выгорания сурьмы, которая образует окислы темнокоричневого цвета в виде плоских кусков, плавающих на поверхности ванны. Полное окисление сурьмы не оказывает благоприятного действия при обессеребривании свинца и полностью удаляется при втором рафинировании. Конец первого рафинирования определяют по изменению окраски ванны, переходящей от начинающегося окисляться свинца и появляющегося глета в желтоватый цвет, и ванна покрывается как бы маслом, тогда как до этого ванна была покрыта окислами сурьмы коричневого цвета.

Температура для удаления сурьмянистых окислов также поднимается, окислы сурьмы удаляются из печи и мы получаем мягкий свинец, который по жолобу переливается в котел Паркса для обессеребрения.

Переработка продуктов первого рафинирования

Оловянную пудру смешивают с 2 проц. каменного или древесного угля, загружают в отражательную печь с наклонным подом и подвергают ликвации (вытопке). Находящийся в оловянной пудре свинец, который или механически в ней запутался при сгребании, или же в виде глета, начинает восстанавливаться, вытапливаться и собираться в приемнике (см. фиг. 26), при чем, стекая, он попутно извлекает также золото и серебро из пудры, которые в ней находились. Получаем два продукта: свинец и обогащенную пудру. Свинец возвращается в рафинирование, а обогащенная оловянная пудра плавится в ватержакете для получения металла.

К обогащенной оловянной пудре добавляют оборотных шлаков старой оловянной плавки, чистых флюсов без содержания золота, серебра и меди, затем кокса 13—14 проц. и получают шихту для плавки в ватержакете. После плавки имеем два продукта—сплав олова с свинцом—баббиты, идущие на заливку подшипников, и шлак, который хранится до следующей плавки. Таким же способом, как переработка оловянной пудры, перерабатывают полученные окислы мышьяка и сурьмы, при чем получают: после переработки сурьмянистых окислов—гардблей—твердый свинец, идущий на приготовление типографского шрифта и шрапнели. После обработки мышьяковистого окисла получаем также твердый свинец, идущий на приготовление охотничьей дробы.

§ 3. Обессеребривание

Обессеребривание веркблея, т. е. освобождение свинца от серебра при помощи цинка было введено в 1852 г. Паркесом и основано на том, что серебро и золото соединяются с цинком.

Серебро и золото хорошо растворяются в цинке, во много раз лучше, чем в свинце, при чем серебро и золото с цинком образуют целый ряд химических соединений сравнительно тугоплавких.

При расплавлении свинец и цинк не растворяются друг в друге и образуют два слоя не смешивающихся жидкостей. Серебро распределится между этими слоями, при чем главная масса его будет находиться в цинковом слое. Если в расплавленный веркблей прибавить металлический цинк, то в нем соберется большая часть серебра, находившегося в веркблее, при чем смесь цинка с серебром образует тонкий слой, так называемую пенку. Пенку, содержащую благородные металлы, удаляют, а в ванне остается обессеребренный веркблей. Обессеребривание производят в котлах, подобных котлам, применявшихся при зейгеровании (вытопке) свинца. Емкость котлов достигает 100 тонн.

Смягченный свинец из печи первого рафинирования, охлажденный до температуры 500 (т. е. до видимого красного каления), переливается по желобу в котел Паркеса (фиг. 28) для обессеребривания.



Фиг. 28. Котел Паркеса для обессеребривания веркблея

Котел обмазывают известковым молоком (известь с водой) для облегчения удаления серебристых корок, пристающих к стенкам котла, когда он остывает. Котел нагревается до 500°, что узнается при помощи сухой лучины, которая воспламеняется, когда ее бросят на дно. Если бы свинец был выпущен в холодный котел, то котел наверное бы лопнул по дну, кроме того увеличилось бы время доведения свинца до нужной температуры.

После расплавления загруженного свинца или нагревания перелитого свинца снимают шликкера и затем поднимают температуру до 500°. После этого загружают первую порцию цинка, определяемую специальным расчетом. Загрузка производится ниже бортов котла для лучшего перемешивания, т. к. цинк слабо проникает во внутрь ванны и для хорошего извлечения нужен тесный контакт частиц золота и серебра с цинком, для образования химических соединений. Поэтому перемешивание при процессе обессеребривания играет большую роль. Перемешивание производят или вручную железными веслами с 3 сторон котла в течение часа, или же механической мешалкой

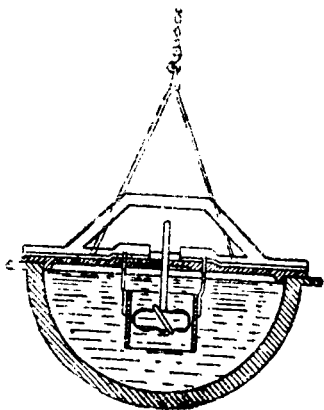
Говарда (фиг. 29). Устройство мешалки Говарда следующее: на котел ставится железная клепанная рама, на которой укрепляется цилиндр над центром котла. Цилиндр имеет раструб, внутри цилиндра на вертикальном валу вращается пропеллер — винт. Перемешивание происходит очень хорошее и длится только 20 минут. Число оборотов винта 120—140 в минуту.

Сравнивая ручное и механическое перемешивание, видим, что мешалка Говарда — 30 тонн перемешивает в 10 — 15 мин., 60 тонн — в 30 мин. и 100 тонн в 1 час.

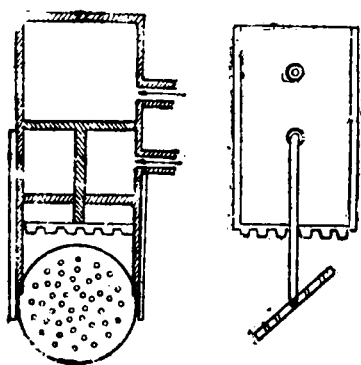
Ручная работа: 20 тонн — 1 час, 30 тонн — 1,5 часа, 60 тонн — 3 ч.

Мешалку Говарда снимают и поступают следующим образом для удаления первой серебряно-цинковой пенки.

На американских заводах пенку после отстаивания снимают в горячем состоянии прессом Говарда. Пресс Говарда (фиг. 30) передвигающийся помощью листового крапа, представляет цилиндр, внутри которого ходит поршень, к штоку которого прикреплен зубчатый диск. На конце цилиндра имеется дырчатый диск. При опускании в котел и поднятии диска на нем остается цинковая пенка вместе со свинцом, при ходе поршня зубчатый диск прижимает пенку и продавливает сквозь отверстия извлеченный вместе с нею свинец. Диаметр поперечника диска 800 мм. Всю пенку снимают в течение 6—7 операций. При немецком способе — ванне дают отстояться и охладиться до 340° и при этой температуре снимают пенку, более богатую серебром, т. к. пенка почти всплывает.



Фиг. 29 Машина Говарда



Фиг. 30. Схема пресса Говарда

После снятия первой пенки делают пробу на содержание в ванне верклея золота и серебра, затем нагревают котел и дают второй цинк, опять согласно расчёту нагревают, снова перемешивают, охлаждают до 340° и снимают пенку. Делают пробу свинца и если в ней окажется серебра не более 10—15 граммов на тонну, то считают процесс законченным, а если же серебра заключается больше, то делают 3-ю присадку цинка и повторяют снова процесс.

По данным практики, количество вводимого в ванну при процессе обессеребривания цинка составляет до 1,5 пр. ц. от веса верклея. Цинк присаживают в 2 приема с той целью, чтобы уменьшить общее количество цинка, вводимое в ванну. На основании расчета и практической работы доказано, что присадка цинка в несколько приемов дает лучшие результаты по извлечению благородных металлов, чем при за-

грузке всего цинка за один раз. В общей сложности процесс обессеребрения продолжается около суток. В результате обессеребрения в котлах Паркеса получаем три продукта:

1. *Обессеребранный свинец* (содержание цинка 5—0,80) проц., при чем нужно стремиться к тому, чтобы содержание цинка в обессеребренном свинце было не более 0,5 проц. Поэтому пенку нужно снимать при охлаждении, когда она лучше отстаивается от свинца.

2. *Золото-серебристая пенка*, идущая в дальнейшем на дистилляцию и купелирование (см. дальше).

3. *Оборотная пенка* с малым содержанием ценных металлов поступает как оборотный продукт снова в процесс обессеребрения свежего веркблея.

§ 4. Второе или окончательное рафинирование

В настоящее время окончательное рафинирование может производиться следующими способами:

а) Огневым рафинированием.

б) Процессом Савельсберга.

в) „ Гарриса.

г) Хлорным рафинированием по способу Беттертона—Шахмурадова

а) *Огневое рафинирование* производится в отражательных печах того же типа, который употребляется для предварительного рафинирования. Из котла Паркеса, после обессеребрения, веркблей переливается по жолобу (Алагир)¹ или же посредством мостового крана переносится в ковшах (Риддер), и направляется в печь окончательного рафинирования. Глубина ванны немного меньше, чем при первом рафинировании. Для ускорения процесса рафинирования, т. е. окисления цинка, имеющегося в веркблее, до окиси цинка в печь вдувается или сжатый воздух или пар, которые отдают свой кислород цинку и переводят его в окись цинка. Конец рафинирования определяют по цвету: берут пробу снизу ванны или сверху, после перемешивания, чистый свинец имеет яркий индигово-синий цвет. Кроме того, признаком окончания рафинирования является получающийся глет (окись свинца), плавающий по поверхности ванны. Продолжительность рафинирования 17—18 часов, расход топлива 5—6 проц. В результате окончательного рафинирования получаем:

1) Мягкий свинец хорошего качества с содержанием свинца до 99,95 проц. (Риддер).

2) Рафинировочный шлак, содержащий до 70—75 проц. свинца и от 10 до 16 проц. цинка в виде окиси цинка. Рафинировочный шлак идет в шихту ветержакета.

б) *Процесс Савельсберга*. Операцию производят в другом котле, нежели при обессеребрении, т. к. золото и серебро, прилипшие к котлу в виде пенки, могут перейти в мягкий свинец, обогащая его, что экономически невыгодно. Через ванну расплавленного свинца продувают пар, для образования которого вода подводится в котел по изогнутой трубе. Температуру при процессе держат около 900—960°, при чем окна в колпаке держат закрытыми во избежание

¹ С осени 1932 г. на Риддере также применяют жолоб.

образования взрывчатых гремучих смесей из-за засасываемого в колпак холодного воздуха. Конец рафинирования определяют по следующим признакам:

1) Шлаки получаются вначале вязкие, но при выгорании всего цинка получается порошок окиси цинка.

2) В середине котла начинает образовываться характерное желтое пятно окиси свинца — глета. Для определения чистоты свинца, в заводской лаборатории, берут из ванны пробу ложкой. При процессе Савельсберга много цинка и свинца улетучивается в виде их окисей через трубу под котлом, эти окислы улавливаются и идут на приготовление краски. Получающийся после рафинирования шлак поступает на ватержакет, но для переработки он хуже шлака рафинировочных печей, т. к. представляет собою мелкий порошок, материал мало пригодный для шахтной плавки.

Помимо первых двух способов за последнее время предложен целый ряд других для окончательного рафинирования свинца.

в) *Процесс Гарриса*. Расплавленную ванну свинца в котле обрабатывают смесью поваренной соли и едкого натра, заключенной в специальный реакционный цилиндр при температуре 390—450°. Преимущество этого способа то, что достигается полное отделение цинка от свинца, который целиком остается в котле. Получающиеся соединения цинка — хлористый цинк или перерабатывается или идет в продажу для пропитки шпал. Чистота полученного свинца, по Гаррису, выше. При всех этих процессах удаляются также и другие примеси, оставшиеся в свинце (напр. сурьма). Процесс Гарриса находит в настоящее время широкое применение и для первого рафинирования в том случае, когда веркблей содержит много примесей.

г) *Способ Беттертона—Шахмуродова* начинает получать распространение за последнее время. Этот способ носит еще название хлорного рафинирования и проводится в печах и котлах.

Через свинцовую расплавленную ванну пропускается газообразный хлор, или же через специальный реактивный цилиндр с хлором пропускается расплавленный свинец. Получается усиленное образование хлористого цинка и частично хлористого свинца (соединений обоих металлов с хлором), которые удаляются с поверхности свинца. Остатки хлористых соединений в свинце, понижающих качество свинца, удаляются прибавлением смеси поваренной соли и едкого натра. В результате процесса получается весьма чистый свинец с содержанием свинца до 99,95 проц.

Рафинированный дважды и обессеребранный свинец разливается в чушки весом до 40 кг. Перед разливом свинец иногда спускается в специальный котел или отражательную печь, откуда его разливают при температуре 425—450°. При помощи вращающегося жолоба свинец разливают в расставленные полукругом изложницы. Иногда применяют специальную разливочную машину для непрерывного разлива. Полученный чушковый свинец грузится в вагоны и отправляется потребителям. На этом заканчивается плавка и рафинирование свинца.

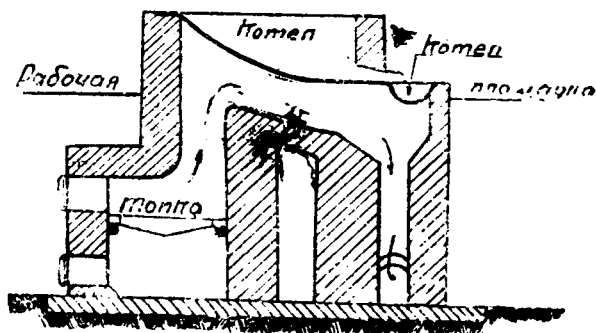
§ 5. Переработка цинковой пенки

Пенка, получившаяся в результате обессеребривания, представляет сплав свинца, цинка, серебра, золота и меди. Больше всего в

ней находится свинца. Переработка цинковой пенки состоит из трех операций:

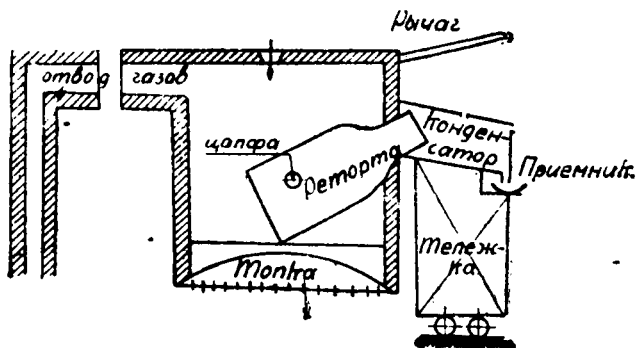
1. Вытопка свинца из пенки, так называемая „ликвация“.
2. Удаление цинка путем возгонки (дистилляции).
3. Купелирование (окисление свинца).

1. Вытопка свинца или подсушивание производится в котлах с наклонным днищем, которые для уменьшения окисления (возможности соединения в кислороде) перекрывают железным листом (фиг. 31). Свинец при подогреве вытапливается и стекает из котла в котелок. Весь свинец из сухой пены вытопить нельзя, т. к. с ним может уйти большая часть серебра. После вытопки получаем: а) сухую пенку с цинка и б) серебристо-цинковистый свинец (ликвационный свинец), идущий обратно на обессеребривание. В Америке применяют для вытопки два котла, вставленные один в другой (фиг. 32). Котел для зейгерования (вытопки) устраивается рядом с котлом Паркса для обессеребривания. Следующей задачей переработки является удаление цинка из сухой пенки.



Фиг. 31. Котел для вытопки свинца (зейгерование)

После вытопки получаем: а) сухую пенку с цинка и б) серебристо-цинковистый свинец

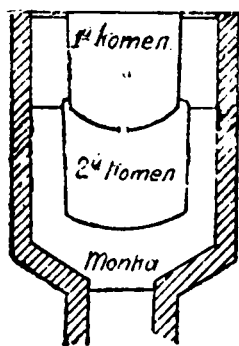


Фиг. 32. Схема печи Фабер-дю-Фора

2. Удаление цинка — отгонка — выполняется в печах Фабер-дю-Фора (фиг. 33). Печь имеет внутри закрытый сосуд (реторту), сделанный из графита. Емкость реторт, применяемых раньше, 120—130 кг. Сейчас доходит до 700 кг, в среднем же емкость реторты 450—500 кг.

Пенка после подсушивания в котлах (при чем, если она ссохлась в куски, ее измельчают) смешивается с 2 проц. восстановителя — вещества, способного присоединять к себе кислород. В качестве восстановителя применяют или древесный или каменный уголь. Древесный уголь легко загорается, дает мало летучих веществ и золы. Каменный же уголь хуже, ибо он содержит золу, которая увеличивает количество шлака, дает много летучих, очень плотен и в нем может находиться сера. Перемешивание сухой пенки и угля (восстановителя)

производится вручную, на полу цеха, незадолго до загрузки реторты. Рабочий рычагом наклоняет печь для удобства загрузки, другой рабочий загружает печь шихтой. По окончании загрузки примазывают к горлу реторты или старую реторту, или же железный или чугунный конденсатор (сгуститель цинковых паров), обмазанный изнутри глиной.



Фиг. 33. Американская система расположения котлов для выплавки свинца

Реторта в печи перед загрузкой накаливается до светлокрасного каления. Конденсатор имеет 2—3 отверстия и стоит на тележке.

При нагреве реторты цинк нагревается, а переходит в парообразное состояние (возгоняется) и летит в приставленный снаружи конденсатор, температура которого ниже чем в реторте, в нем цинковые пары охлаждаются и цинк собирается в конденсаторе в виде жидкости. Выпуск цинка производится по мере наполнения конденсатора, обычно 3 раза за операцию. Время длительности операции отгонки цинка зависит от:

а) температуры печи. Цинк из сплавов удаляется значительно труднее и обычно труднее же поддерживать нужную температуру для отгонки цинка в таком небольшом приборе;

б) от состава цинковой пенки. Чем больше в пенке окислов цинка (кислородных соединений цинка) и меди, тем выше нужна температура, т. к. окись цинка трудно восстановима, а в присутствии меди цинк трудно летит из латуни (сплав цинка с медью) цинк удаляется труднее. Длительность отгонки цинка 6—8 часов. Чем меньше меди в цинке, тем лучше для отгонки (дистилляции) цинка.

Продукты дистилляции

1. Богатый свинец.
2. Шлак (шликкера).
3. Пыль (окись цинка, зола).
4. Металлический цинк, богатый серебром, — до 1500 граммов на тонну, содержит свинца 3,5—5 проц. Этот цинк идет на обессеребривание в первую присадку, т. к. обогащен ценным металлом.

Таким образом, в результате отгонки имеем сплав свинца, серебра, золота и меди.

Конденсатор отнимается, печь наклоняется, и жидкий сплав из реторты разливается по изложницам. Полученный сплав обрабатывается в купелляционной печи.

§ 6. Купелляция

Богатый свинец должен быть переработан для извлечения из него золота и серебра.

Различают два способа купелляции (немецкий и английский).

Сущность купелляции заключается в том, что если расплавленный серебристый свинец подвергнуть действию струи воздуха, то свинец окислится (соединится с кислородом) и перейдет в окись свинца — глет, который постепенно удаляют с поверхности свинцовой ванны, так как при температуре 883° он будет жидким. Когда свинец

удалится в виде глета, серебро останется на дне ванны. При купелляции происходит удаление всех примесей, только один висмут остается до конца процесса и переходит в последнюю порцию глета.

Немецкий способ применяется для переработки больших количеств свинца, бедного серебром.

Немецкая печь имеет неподвижный под и с'емный свод (фиг. 34). Материал пода плотный — цемент, костяная зола и др., диаметр печи 2,5 м. Материал пода обладает способностью впитывать окислы, но совершенно непроницаем для металлов. Но так как трудно впитывать все окислы, то ос-

тавляют дорожку, так называемую „глетовую улицу“.

Температура в печи должна быть около 900° , и не выше 1000° , т. е.

немногим выше температуры плавления глета— 883° .

Слишком высокая температура способствует испарению и дистиллированию глета и паров свинца, кото-

рые могут увлечь за собою золото и серебро, увеличивая их потери.

Цинк, остающийся в богатом свинце, влияет неблагоприятно, т. к. требует более высокой температуры для расплавления окислов. Глет, получающийся при купелляции, сортируется в зависимости от содержания в нем серебра и примесей—негодный для прсдажи и на продукт, подлежащий переработке.

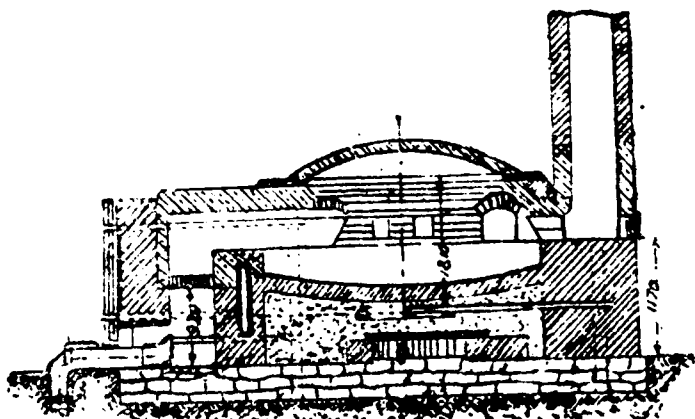
К концу купелляции температура повышается, усиливается дутье, последняя пленка глета исчезает с поверхности свинца и серебро „бликует“.

Английская печь (фиг. 35) имеет выдвижной под при неподвижном своде. „Купель“—под выкладывается из магнезитового кирпича или делается из специальной набойки. До загрузки купели ее насыщают глетом при высокой температуре. При загрузке свинца последний вытесняет глет, который уходит по дорожке наружу. По заполнении свинцом продолжают окислять сжатым воздухом, сдувая глет. Процесс купелляции свинца, накапливая благородные металлы, длится до месяца.

В результате купелляции имеем:

1. Бликовое серебро, содержащее 96—97 проц. серебра и 3—4 проц. свинца с медью, или при наличии золота (как в Риддере) металл Доре: золота 10%, серебра 85%.

2. Глет—обычно серебристый, содержание серебра в начале процесса 500 *граммов* на тонну и в конце процесса до 5000 *граммов* на



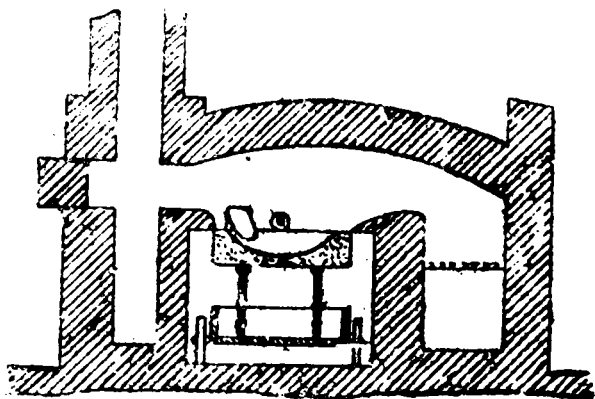
Фиг. 34. Немецкая печь для купеллирования свинца

тонну. Более высокое содержание серебра свидетельствует о недостатках процесса. Глет является обратным продуктом, идущим в ватержакетную плавку.

Пыль улавливается фильтрами и идет в агломерацию.

При содержании висмута выломки из печей подвергаются обработке для его извлечения.

В отсутствие висмута выломки поступают в ватержакетную плавку в виде мелких кусков и в небольшом количестве, т. к. материал выломов тугоплавков.



Фиг. 35. Английская печь купеллирования свинца

25954