

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПЛАВКИ МЕДИ ISASMELT: УДАЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ

Жерардо Р. Алвеар¹, Саймон П. Хант¹, Банци Чжан²

¹Xstrata Technology, 87 Wickham Terrace, Brisbane, 4000, Australia
isasmelt@xstratatech.com.au

²Yunnan Copper Co., Ltd., Wang Jia Qiao, Wuhua District, Kunming 650102, P.R. China

Ключевые слова: ISASMELT, мышьяк, распределение, испарение примесей

Автореферат

Способность эффективно удалять примеси, содержащиеся в концентратах, является ключевым критерием при выборе технологии выплавки меди для новых или модернизируемых производств. Желательно, чтобы испарение таких примесей, как мышьяк и сурьма, происходило как можно раньше в процессе плавки, и желательно в плавильной печи, чтобы примеси не влияли на последующие технологические операции.

Технология ISASMELTTM позволяет эффективно удалять примеси путем интенсивного испарения. Этому способствуют такие особенности технологии, как интенсивное перемешивание ванны, а также гибкость технологического процесса, позволяющая оператору выбирать оптимальное для отделения примесей содержание штейна, и положительная роль влажности питания.

В данной работе рассматривается распределение второстепенных примесей в медеплавильной печи ISASMELTTM. В первой части работы представлены данные о распределении примесей As, Sb, Pb, Zn и Co в печи ISASMELTTM на медеплавильном заводе Маунт Айза. Во второй части, исходя из данных, полученных на заводе, и соображений термодинамики, рассматриваются возможности применения технологии ISASMELTTM для переработки сложных концентратов.

Введение

Xstrata является международной компанией горно-добывающей и перерабатывающей промышленности, производящей преимущественно медь, ферросплавы, уголь и цинк. Рудники, металлургические и рафинировочные заводы Xstrata расположены в Австралии, ЮАР, Испании, Германии, Англии и Аргентине, а главный офис компании находится в Швейцарии. В 2003 году Xstrata приобрела австралийскую компанию MIM Holdings Limited (MIM) вместе с технологиями, разработанными MIM на протяжении более чем 80 лет эксплуатации предприятий по добыче и производству меди, свинца и угля в Австралии и Европе. Одной из этих технологий была технология ISASMELT™.

ISASMELT™ - это простая и экономически эффективная технология выплавки цветных металлов. В настоящее время технологию развивает, продает и поддерживает компания Xstrata Technology. Данная технология относится к числу самых эффективных и гибких пирометаллургических технологий среди существующих.

Разработка технологии ISASMELT™ от пилотной установки до промышленного применения была проведена в 1980-е и 1990-е годы на медеплавильном заводе MIM Маунт Айза в Австралии. Она быстро стала ключевым компонентом металлургических предприятий MIM. В настоящее время технология применяется в промышленном масштабе восемью компаниями в семи странах мира, а в 2006 году ожидается пуск еще двух заводов в Замбии и Перу. История разработки технологии описана в ряде публикаций [1-9].

Технология способна перерабатывать различные виды питания, от минеральных концентратов до металлолома и вторичных материалов металлургического производства. Требования к подготовке питания просты и, в отличие от некоторых других технологий выплавки меди, не предполагают сушки концентрата.

Важнейшим элементом технологии ISASMELT™ является специальная фурма ISASMELT™. Фурма вставляется в ванну с расплавом печи ISASMELT™, представляющей собой стационарную вертикальную емкость с огнеупорной футеровкой. Фурма используется для продувки расплава воздухом (или воздухом, обогащенным кислородом), создающей высокую турбулентность в ванне с расплавом. Слой шлака, застывшего на наружной поверхности фурмы ISASMELT™, защищает ее от воздействия расплава. Установленный внутри фурмы завихритель увеличивает скорость технологического воздуха внутри фурмы, таким образом увеличивая интенсивность теплопередачи между сталью корпуса фурмы и струей технологического воздуха. Завихритель имеет особую конструкцию, обеспечивающую минимальное падение давления, что позволяет поддерживать общее падение давления в фурме на уровне не выше 80 кПа. Поэтому для подачи технологического воздуха в фурму достаточно одноступенчатого нагнетателя. Фурма имеет простую и надежную конструкцию. Текущий ремонт фурмы занимает не более 6 часов. Срок службы фурмы составляет, как правило, 10 - 20 дней.

Питание, загружаемое в турбулентную ванну сверху, быстро вступает в реакцию, что обеспечивает чрезвычайно высокую производительность при относительно небольшом объеме ванны. На медеплавильной печи ISASMELT™, установленной на заводе Маунт Айза, за час подачи медьсодержащего питания (концентрат, оборотные материалы, иные

внутренние оборотные материалы завода) выплавлялось до 194 т продукта при полном объеме ванны около 15 м³.

С момента начала разработки технологии ISASMELT™ была отмечена ее способность эффективно удалять примеси за счет интенсивного испарения^(3, 4). Этому способствуют такие особенности технологии, как интенсивное перемешивание ванны, а также гибкость технологического процесса, позволяющая оператору выбирать оптимальное для отделения примесей содержание штейна, и положительная роль влажности питания.

В настоящей работе представлены данные о распределении примесей в медеплавильной печи ISASMELT™ на заводе Маунт Айза. Затем, исходя из данных о распределении примесей, полученных на заводе Маунт Айза, дополнительных эксплуатационных данных печи ISASMELT™, установленной на предприятии Yunnan Copper Corporation, и соображений термодинамики, рассматриваются возможности применения технологии ISASMELT™ для переработки сложных концентратов.

Медеплавильный завод Маунт Айза

Описание завода

На рисунке 1 показана технологическая схема медеплавильного завода ISASMELT™ (CIP) Маунт Айза. Цех первичной плавки состоит из системы хранения и подачи питания, печи ISASMELT™, системы отведения печных газов и двух вращающихся миксеров (RHF).

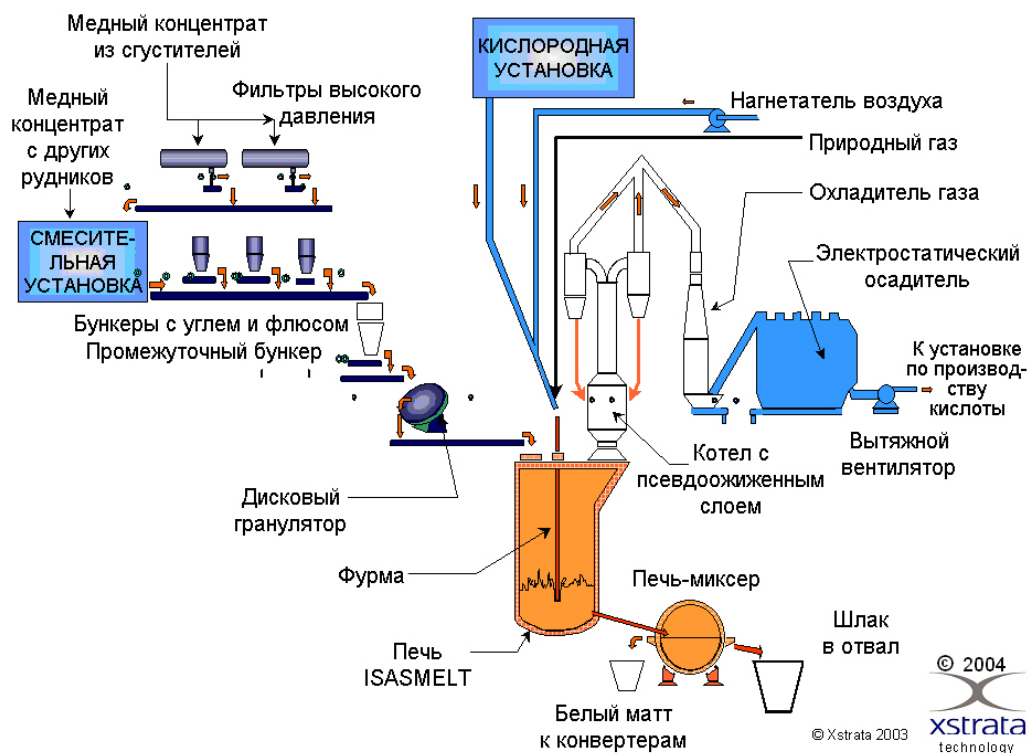


Рисунок 1 - Технологическая схема медеплавильного завода ISASMELT™ Маунт Айза.

В таблице I показаны характерные технологические параметры медеплавильного завода СІР Маунт Айза. Медеплавильная печь ISASMELT™ позволяет переплавлять примерно 1 млн. тонн медного концентрата в год при стандартной интенсивности питания 170 т/ч (в пересчете на сухое питание без учета флюса), содержании влаги 8% и стандартном отношении SiO₂/Fe 0,85. Стандартное содержание меди в штейне составляет 60%. Содержание кислорода в обогащенном воздухе, подаваемом через фурму, составляет 60%. Температура в ванне поддерживается на уровне 1180°C +/- 5°C.

В таблице II показан обычный материальный состав питания печи ISASMELT™ на заводе Маунт Айза. Как можно заметить, основной примесью в концентрате является свинец, содержание которого составляет, как правило, 2 000 м.д. Содержание цинка, кобальта и мышьяка составляет обычно 1 000 - 1 500 м.д. Содержание висмута близко к 100 м.д., сурьмы - к 30 м.д.

Таблица I - Характерные технологические параметры медеплавильной печи ISASMELT™ на заводе Маунт Айза

Характеристика		Значение	Ед. изм.
Максимальная	интенсивность питания	194	т/ч (сухое вещество)
Стандартная	интенсивность питания	170	т/ч (сухое вещество)
Среднее	содержание Cu в концентрате	25.8	%
Содержание влаги		7 - 8	%
Средняя	интенсивность подачи кремнеземистого флюса	3.7	т/ч (сухое вещество)
Средняя	интенсивность подачи угля	1.2	т/ч (сухое вещество)
Средняя	интенсивность подачи оборотного материала	3.0	т/ч (сухое вещество)
Среднее	содержание меди в штейне	59.5	%
Отношение SiO ₂ /Fe в шлаке		0.85 –	0.90
Средний расход воздуха в фурме		11.9	нм ³ /с
Содержание кислорода		60	%
Температура ванны		1180	°C

Таблица II - Характерные технологические параметры медеплавильной печи ISASMELT™ на заводе Маунт Айза

Хим. элемент/соединение	Характерное значение	Ед. изм.
Cu	25.8	%
Fe	24.0	%
S	25.0	%
Pb	2,000	м.д.
Zn	1,000	м.д.
Co	1,100	м.д.
As	1,500	м.д.
Sb	30	м.д.
Bi	120	м.д.
SiO ₂	16	%
CaO	0.8	%
MgO	1.0	%
Fe ₃ O ₄	1.0	%
Al ₂ O ₃	0.9	%

Распределение примесей

Распределение As, Pb, Zn и Co между штейном, шлаком и газообразной фазой в печи ISASMELT™ было определено на основании данных ежемесячного масс-баланса и среднего химического состава, собираемых на заводе с 2002 года. Содержание меди в питании на протяжении всего периода было практически постоянным. Доля примесей в газообразной фазе определялась отношением масс-балансов примесей в питании и в конденсате. Применительно к Bi и Sb, из-за низкой концентрации в питании для точного определения концентрации в расплаве измерения проводились на протяжении четырех дней.

На рисунке 2 показано распределение мышьяка между штейном, $D_{\text{штейн}}$, шлаком, $D_{\text{шлак}}$, и газообразной фазой, $D_{\text{газ}}$, при содержании меди в штейне 60%, температуре ванны 1180°C, содержании кислорода в обогащенном воздухе 60% и содержании мышьяка в питании от 0,10% до 0,26%. Символы соответствуют расчетным значениям (круг - штейн, треугольник - шлак), а кривые обозначают регрессию, построенную согласно расчетным значениям (сплошная линия - штейн, пунктирная линия - шлак). Испарение мышьяка увеличивается с увеличением содержания мышьяка в питании, достигая значений,

близких к 90%. Переход мышьяка в шлак уменьшается по мере увеличения содержания мышьяка в питании.

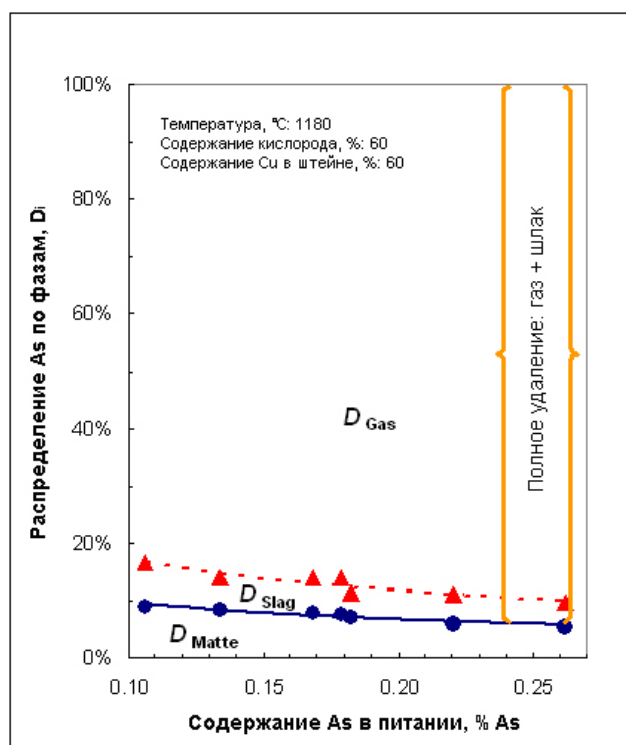


Рисунок 2 - Распределение мышьяка между штейном, шлаком и газообразной фазой (содержание Cu в штейне: 60%, T : 1180°C, содержание кислорода: 60%, содержание As в питании: 0,10 и 0,26%.

На рисунке 3 показана зависимость между содержанием мышьяка в питании и содержанием мышьяка в медном штейне (сплошная линия, основная ось y) и в шлаке (пунктирная линия, дополнительная ось y). Как можно заметить, содержание мышьяка в штейне увеличивается по мере увеличения содержания мышьяка в питании. Аналогичная зависимость наблюдается применительно к содержанию мышьяка в шлаке.

На рисунке 4 показано расчетное распределение свинца между штейном, шлаком и газообразной фазой при содержании меди в штейне 60%, температуре ванны 1170°C, содержании кислорода в обогащенном воздухе 60% и содержании свинца в питании от 0,10% до 0,26%. Символы соответствуют определенным значениям распределения, а кривые соответствуют кривым регрессии, построенным согласно определенным значениям. Полученные результаты указывают на небольшое уменьшение перехода свинца в штейн по мере увеличения содержания свинца в питании. Достигнутые показатели удаления свинца составляют 35-40%.

На рисунке 5 показана зависимость между содержанием свинца в питании и содержанием свинца в штейне (сплошная линия) и в шлаке (пунктирная линия). Содержание свинца в штейне и шлаке увеличивается по мере увеличения содержания свинца в питании.

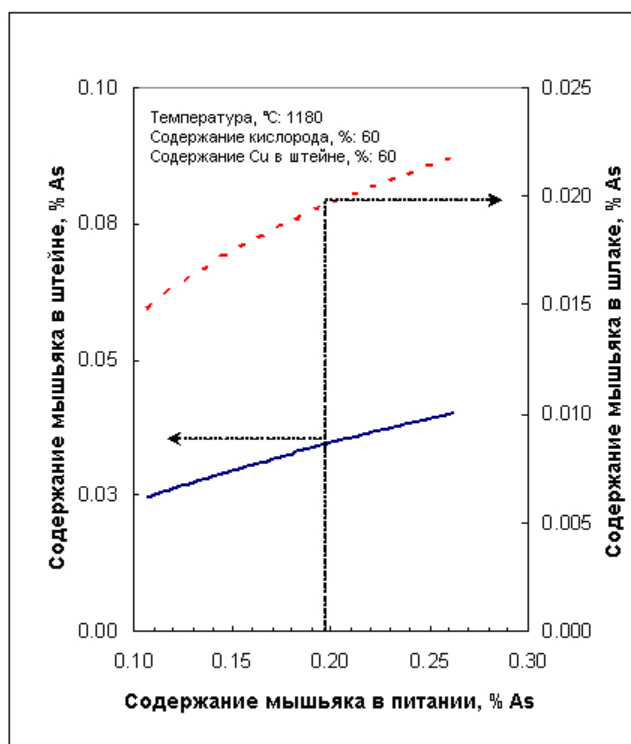


Рисунок 3 - Зависимость между содержанием мышьяка в питании и содержанием мышьяка в медном штейне (сплошная линия, основная ось y) и в шлаке (пунктирная линия, дополнительная ось y)

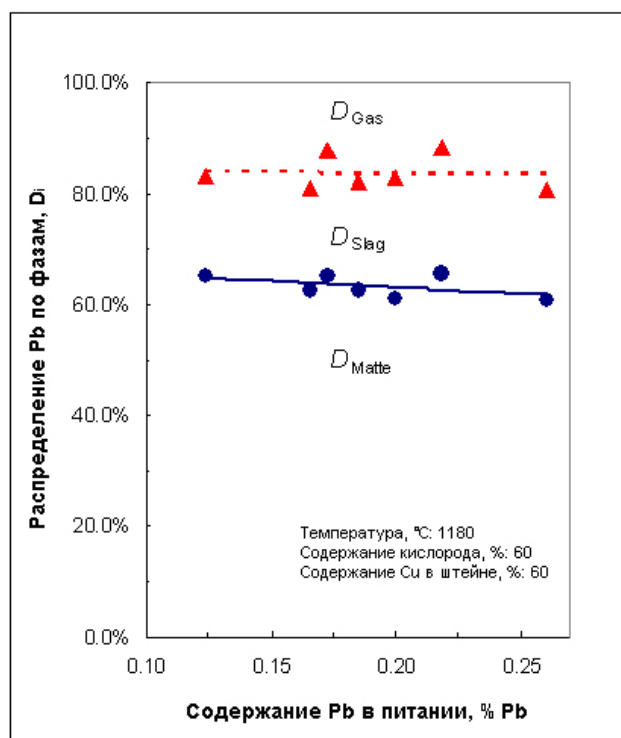


Рисунок 4 - Распределение свинца между штейном, шлаком и газообразной фазой (содержание Cu в штейне: 60%, T: 1180°C, содержание кислорода: 60%, содержание Pb в питании: 0,10 и 0,26%.

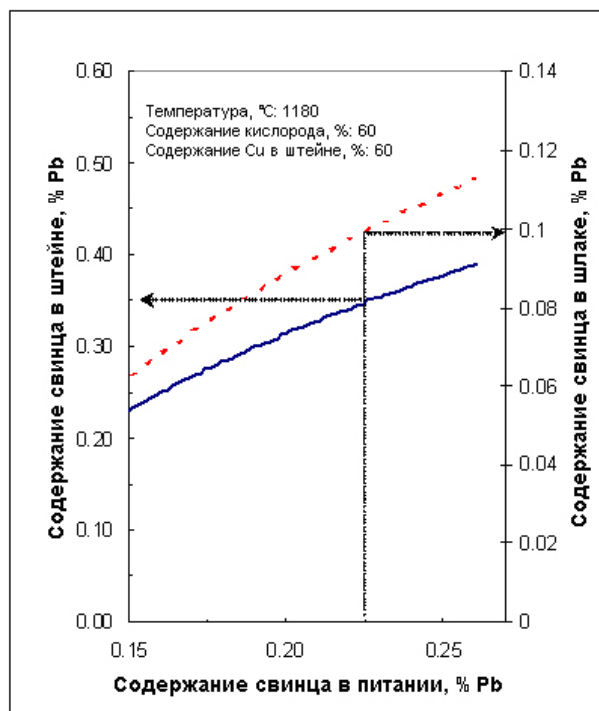


Рисунок 5 - Зависимость между содержанием свинца в питании и содержанием свинца в медном штейне (сплошная линия, основная ось у) и в шлаке (пунктирная линия, дополнительная ось у)

На рисунке 6 показана зависимость между содержанием цинка в питании и распределением цинка между штейном, шлаком и газообразной фазой при содержании меди в штейне 60%, температуре ванны 1180°C, содержании кислорода в обогащенном воздухе 60% и содержании цинка в питании от 0,025% до 0,175%. Символы соответствуют расчетным значениям (круг - штейн, треугольник - шлак), а кривые обозначают регрессию, построенную согласно расчетным значениям (сплошная линия - штейн, пунктирная линия - шлак). Распределение цинка между штейном, шлаком и газообразной фазой остается неизменным при увеличении содержания цинка в питании. Цинк преимущественно переходит в шлак. На рисунке 7 показана зависимость между содержанием цинка в питании и содержанием цинка в штейне (сплошная линия) и в шлаке (пунктирная линия).

На рисунке 8 показана зависимость между содержанием кобальта в питании и распределением кобальта между штейном, шлаком и газообразной фазой при содержании меди в штейне 60%, температуре ванны 1170°C, содержании кислорода в обогащенном воздухе 60% и содержании кобальта в питании от 0,006% до 0,012%. Символы соответствуют расчетным значениям (круг - штейн, треугольник - шлак), а кривые обозначают регрессию, построенную согласно расчетным значениям (сплошная линия - штейн, пунктирная линия - шлак). Расчетное распределение указывает на то, что переход кобальта в штейн и шлак увеличивается по мере увеличения его содержания в питании. На рисунке 9 показана зависимость между содержанием кобальта в питании и содержанием кобальта в штейне (сплошная линия) и в шлаке (пунктирная линия).

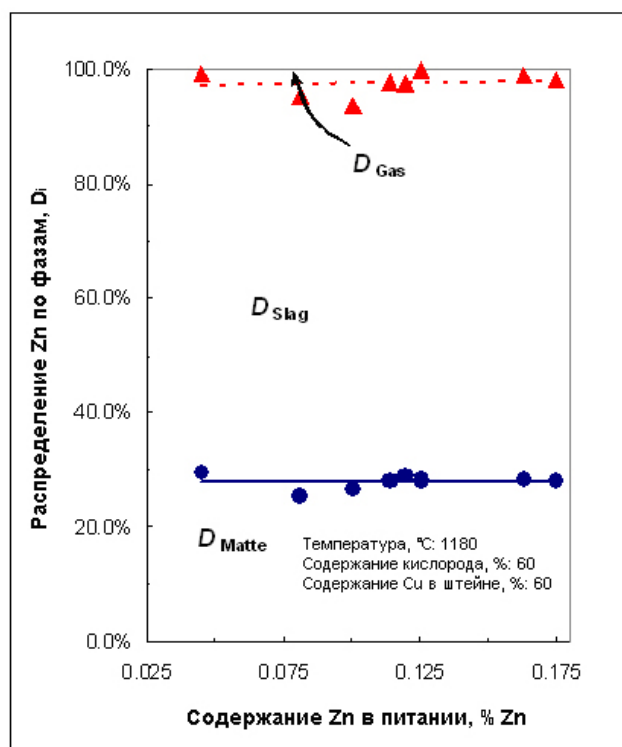


Рисунок 6 - Распределение цинка между штейном, шлаком и газообразной фазой (содержание Si в штейне: 60%, T: 1180°C, содержание кислорода: 60%, содержание Zn в питании: 0,025 и 0,175%.

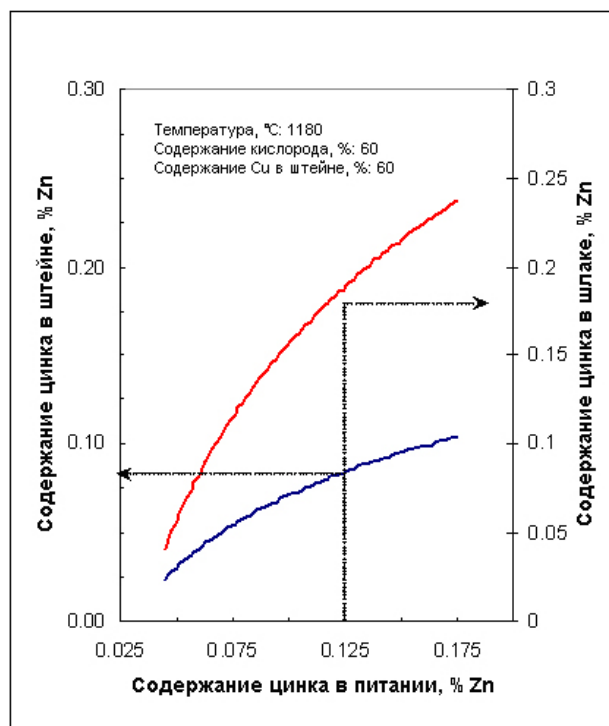


Рисунок 7 - Зависимость между содержанием цинка в питании и содержанием цинка в медном штейне (сплошная линия, основная ось y) и в шлаке (пунктирная линия, дополнительная ось y)

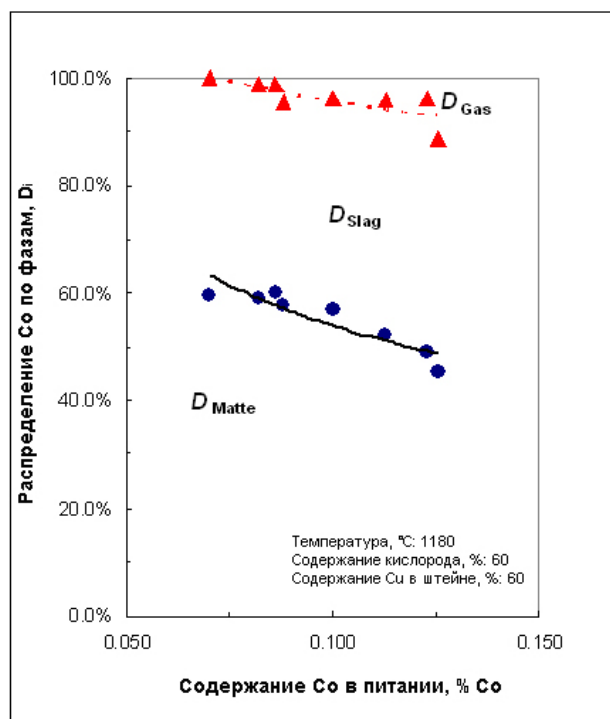


Рисунок 8 - Распределение кобальта между штейном, шлаком и газообразной фазой (содержание Си в штейне: 60%, T: 1180°C, содержание кислорода: 60%, содержание Co в питании: 0,006 и 0,012%.

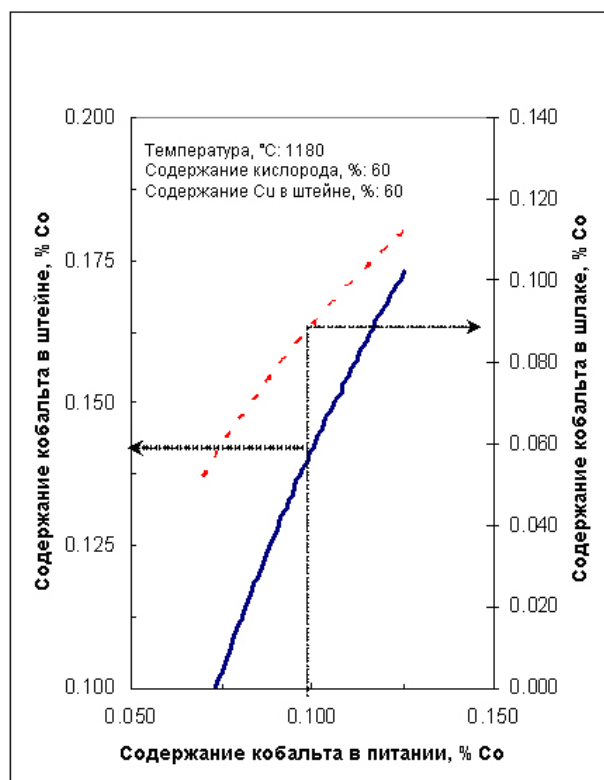


Рисунок 9 - Зависимость между содержанием кобальта в питании и содержанием кобальта в медном штейне (сплошная линия, основная ось y) и в шлаке (пунктирная линия, дополнительная ось y)

Концентрация сурьмы в питании печи ISASMELT™ на заводе Маунт Айза, как правило, слишком мала для получения точных данных о распределении. Для определения его концентрации в штейне и шлаке требуется химический анализ с точностью до 1 м.д. Чтобы определить распределение сурьмы и висмута в печи ISASMELT™, были выполнены две программы измерений на медеплавильном заводе Маунт Айза в Австралии, и на заводе Yunnan Copper Corporation (YCC) в Китае. В таблице 3 показаны эксплуатационные параметры каждой из печей ISASMELT™ и их значения.

Таблица III - Распределение сурьмы между штейном, шлаком и газообразной фазой на заводах Маунт Айза и YCC

Характеристика	Ед. изм.	Маунт Айза	YCC
Интенсивность подачи концентрата	т/ч	140.0	103.0
Содержание Cu в концентрате	%	23.0	22.5
Содержание влаги	%	8.0	10.0
Содержание кислорода, O ₂	%	61.2	50.0
Содержание меди в штейне	%	60.9	55.0
Содержание Sb в питании	%	0.0035	0.0150
<i>Распределение Sb</i>			
<i>D_{штейн}</i>	%	19.0	31.0
<i>D_{шлак}</i>	%	9.0	3.0
<i>D_{газ}</i>	%	72.0	66.0

Испарение сурьмы составляет от 66 до 72%. В работе Итагаки сообщается об испарении сурьмы 62% при продувке воздухом [10]. Эти показатели выше обычных ожидаемых показателей испарения. Однако испарению способствует увеличение объема газа благодаря содержанию влаги в питании.

ISASMELT™ при плавке концентратов с высоким содержанием мышьяка

При выплавке меди необходимо эффективное удаление примесей. Это требование связано с минералогической природой сульфидных руд, которые, как правило, помимо жильных минералов содержат целый ряд примесей.

Рассматривая возможность применения пирометаллургических технологий в новых проектах, необходимо оценить способность технологии испарять или удалять в шлак

примеси, содержащиеся в медных концентратах. Кроме того, особое внимание следует уделять процессам очистки и осаждения шлака, при которых возможно повторное загрязнение полученного медного штейна из-за восстановительных условий в реакторе, используемом для очистки шлака.

Возможным решением этой проблемы, позволяющим получать медный штейн приемлемого качества на этапе конвертерной плавки, является использование печи ISASMELT™ для плавки концентратов и миксера для гравитационного разделения штейна и шлака. Процесс осаждения, происходящий в миксере, может протекать в нейтральных условиях с добавлением минимального количества восстановителя. Это позволяет свести к минимуму загрязнение медного штейна примесями, а следовательно, обеспечивает эффективное удаление примесей в газообразную фазу (в печи ISASMELT™) и в шлак.

Как было показано на рисунке 2, печь ISASMELT™ отличается очень высокими показателями перехода мышьяка в газообразную фазу. В таблице 4 сравниваются показатели удаления мышьяка в печи ISASMELT, печи взвешенной плавки, при использовании процесса Mitsubishi и конвертера Teniente.

Таблица IV - Удаление мышьяка при использовании различных технологий выплавки меди

Технология	Ист.	As в питании, % As	Содержание кислорода, %O ₂	Содержание меди в штейне, % Cu	D _{штейн}	D _{шлак}	D _{газ}
Конвертер Teniente	[11]	0.30	36	70 - 75	35	13 - 38	75 - 42
Процесс Mitsubishi	[12]	0.30	48	68%	19.0	27.2	53.8
Печь взвешенной плавки	[11]	0.30	60	60 - 65	35	32	33
ISASMELT™	НР*	0.26	60	60	5.5	4.2	90.3

* Настоящая работа.

Хотя содержание штейна, температура и содержание кислорода отличаются, можно сделать следующие выводы:

- Несмотря на меньшее содержание меди в штейне и большее содержание кислорода в обогащенном воздухе, печь ISASMELT™ отличается наиболее высоким показателем перехода мышьяка в газообразную фазу
- Высокий показатель перехода мышьяка в шлак с последующим пирометаллургическим извлечением меди при восстановительных условиях, как в

конвертерной технологии Teniente, приведет к повторному загрязнению медного штейна

- При применении печи ISASMELT™ даже осаждение при восстановительных условиях в электропечи не приведет к значительному повторному загрязнению медного штейна мышьяком благодаря очень малому переходу в шлак.

Высокий показатель испарения мышьяка в печи ISASMELT™ предположительно связан с интенсивным перемешиванием ванны, обеспечивающим тщательное перемешивание штейна и газообразной фазы, способствующее насыщению газообразной фазы мышьяком. Кроме того, присутствие влаги в питании увеличивает объем газа, доступного для извлечения мышьяка из ванны.

Пригодность печи ISASMELT™ к переработке концентратов с высоким содержанием мышьяка была оценена на основании данных, полученных на заводе Маунт Айза. В таблице 5 показано ожидаемое распределение мышьяка в печи ISASMELT™ в зависимости от содержания мышьяка в питании при содержании меди в штейне 60%, кислорода 60% и температуре 1180°C (если принять содержание меди в концентрате равным 25%). Данные таблицы 5 указывают на то, что печь ISASMELT™ идеально подходит для плавки медных концентратов с высоким содержанием мышьяка.

Таблица V - Ожидаемое распределение мышьяка в печи ISASMELT™ при плавке концентратов с высоким содержанием мышьяка

Содержание мышьяка в питании, % As	Расчетное распределение As в ISASMELT™			Расчетное распределение As в конвертере Teniente S = 0.7			Расчетное распределение As в печи взвешенной плавки S = 0.3		
	D _{штейн}	D _{шлак}	D _{газ}	D _{штейн}	D _{шлак}	D _{газ}	D _{штейн}	D _{шлак}	D _{газ}
0.26	5.5	4.2	90.3						
0.50	4.0	3.0	92.0	22	22	56	32	42	26
1.00	3.0	2.0	95.0	15	15	70	26	36	38
3.00	1.0	1.0	98.0	8	6	86	16	20	64

В таблице 5 сравнивается расчетное распределение мышьяка в печи ISASMELT™ с распределением мышьяка в конвертере Teniente (содержание кислорода 36%, 1270°C, содержание штейна 75%) и в печи взвешенной плавки (содержание кислорода 55%, 1290°C, содержание меди в штейне 65%) (ист.). Из таблицы 5 следует, что печь ISASMELT™ отличается большим переходом мышьяка в газообразную фазу по сравнению как с конвертером Teniente, так и с печью взвешенной плавки. Печь ISASMELT™ также отличается меньшим переходом мышьяка в шлак по сравнению с конвертером Teniente. Это означает меньший риск повторного загрязнения штейна при очистке шлака. Наконец, необходимо отметить, что высокие ожидаемые показатели удаления мышьяка в печи ISASMELT™ уменьшают количество примесей, требующих удаления при конвертировании и рафинировании анодной меди, по сравнению с двумя другими технологиями.

Заключение

1. Было определено распределение примесей As, Sb, Pb, Zn и Co в печи ISASMELT™ на медеплавильном заводе Маунт Айза
2. Технология ISASMELT™ позволяет эффективно удалять примеси путем интенсивного испарения. Этому способствуют такие особенности технологии, как интенсивное перемешивание ванны, а также гибкость технологического процесса, позволяющая оператору выбирать оптимальное для отделения примесей содержание штейна, и положительная роль влажности питания
3. ISASMELT™ имеет более высокие показатели перехода мышьяка в газообразную фазу по сравнению с печью взвешенной плавки и конвертером Teniente
4. ISASMELT™ отличается меньшим переходом мышьяка в шлак, чем конвертер Teniente, что уменьшает риск повторного загрязнения штейна при очистке шлака
5. Высокие ожидаемые показатели удаления мышьяка в печи ISASMELT™ уменьшают количество примесей, требующих удаления при конвертировании и рафинировании анодной меди, по сравнению с двумя другими технологиями

Благодарности

Авторы выражают признательность компаниям Mount Isa Mines и Yunnan Copper за разрешение на публикацию производственных данных. Также авторы выражают особую благодарность сотрудникам завода Маунт Айза Марте Бейли и Лорен Фанг за помощь в сборе данных.

Список использованной литературы

- (1) W.J. Errington, J.H. Fewings, V.P.Keran, and W.T. Denholm, "The Isasmelt Lead Smelting Process." *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, Section C, 96 (1987), 1-6.
- (2) M.D. Coulter and C.R. Fountain, "The Isasmelt Process for Copper Smelting", *Non-ferrous Smelting Symposium*, (Port Pirie, South Australia, 17-21 September 1989, Aus.I.M.M., Melbourne, 1989), 237-240.
- (3) C.R. Fountain, M.D. Coulter, and J.S. Edwards, "Minor Element Distribution in the Copper Isasmelt Process," *Copper '91, Vol. IV*, ed. C. Diaz, C. Landolt, A. Luraschi, and C.J. Newman (Pergamon Press, New York, 1991), 359-373.
- (4) R. Player, C.R. Fountain, T.V. Nguyen, and F.R. Jorgensen, "Top-entry Submerged Injection and the Isasmelt Technology," *Proceedings of the Savard/Lee International Symposium on Bath Smelting*, ed. J.K. Brimacombe, P.J. Mackey, G.J.W. Kor, C. Bickert and M.G. Ranade (The Minerals, Metals and Materials Society, Warrendale, Pennsylvania, 1992), 215-229.

- (5) J.L. Cribb, J.S. Edwards, C.R. Fountain, and S.P. Matthew, "Isasmelt Technology for the Smelting of Copper," *15th CMMI Congress*, Vol. 2 (SAIMM, Johannesburg, 1994), 99-103.
- (6) R. Player, "Copper ISASMELT - Process Investigations", *The Howard Worner International Symposium on Injection in Pyrometallurgy*, ed. M. Nilmani and T. Lehner, Melbourne, (The Minerals, Metals and Materials Society, Warrendale, Pennsylvania, 1996), 439-446.
- (7) W.J. Errington, P.S. Arthur, C.R. Fountain, "ISASMELT - Clean Efficient Smelting", *GME'99 Global Metals Environment Conference, Beijing, 24-27 May 1999*, (Nonferrous Metals Society of China, Beijing, 1999), 164-172.
- (8) J.S. Edwards, C.R. Fountain, and R.L. Morland, "ISASMELT—Extending the Envelope"; *Proceedings of the Brimacombe Memorial Symposium, October 1 to 4, 2000*) ed. by W. Poole: Poster Session Proceedings, (CIM, October 2000).
- (9) J.L. Bill, T.E. Briffa, A.S. Burrows, C.R. Fountain, D. Retallick, J.M.I. Tuppurainen, J.S. Edwards, and P. Partington, "ISASMELT—Mount Isa Copper Smelter Progress Update", *Sulfide Smelting 2002*, ed. R.L. Stephens and H.Y. Sohn, (The Minerals, Metals and Materials Society, Warrendale, Pennsylvania, 2002), 181-193.
- (10) K. Itagaki, "Thermodynamic Evaluation of Distribution Behaviour of VA Elements and Effect of the Use of Oxygen in Copper Smelting", *Metallurgical Review of the Mining and Materials Processing Institute of Japan, MMIJ*, 3 (1986), 87-100.
- (11) J. Font, G. Alvear, A. Moyano and C. Caballero, "Fractional distribution of arsenic in the Teniente Continuous Converting Process", *Arsenic Metallurgy*, ed. R. G. Reddy and V. Ramachadran, (TMS USA, 2005), 195-205.
- (12) S. Surpant and N. Hasegawa, "Distribution behavior of arsenic, antimony and bismuth in the smelting stage of the Mitsubishi process", *Proceedings of the Yazawa International Symposium, Vol I*, ed. F. Kongoli, K. Itagaki, C. Yamauchi, H. Sohn, (The Minerals, Metals and Materials Society, Warrendale, Pennsylvania, 2003), 375-381.