

КОНВЕРТИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ISASMELT™

Дж.С. Эдвардс и Дж.Р.Ф. Альвеар Ф.

Xstrata Technology

Level 4, 307 Queen Street

Brisbane, Queensland 4000 Australia

jedwards@xstrata.tech.com.au

АВТОРЕФЕРАТ

Технология ISASMELT™ признана во всем мире современной, гибкой, экологически чистой и не требующей значительных капитальных затрат технологией плавки. Благодаря простоте, присущей технологии, и совершенной системе управления процессом, операторы приобретают все необходимые знания и навыки в течение нескольких недель после начала обучения технологии ISASMELT™. Для сравнения, на овладение альтернативными технологиями уходят годы. Технология ISASMELT™ применяется по лицензии компании Xstrata Technology на медеплавильных заводах в Австралии, США, Индии, Китае, Перу и Замбии.

Заводы в Бельгии и Германии перерабатывают лом меди и/или свинца в печах ISASMELT™, используя двухстадийный процесс. За плавкой следует конвертирование в одной печи. Оба завода уже превысили проектную мощность и последовательно улучшают показатели эффективности.

Следующим шагом эволюции технологии является реализация процесса непрерывного конвертирования меди в промышленном масштабе.

Настоящая работа описывает ход и состояние разработки процесса непрерывного конвертирования ISACONVERT™.

Введение

За последние 25 лет процесс ISASMELT™ стал технологией, применяемой в цветной металлургии для решения различных задач, включая плавку первичной и вторичной меди, а также первичного и вторичного свинца.

Производительность печей по питанию, составлявшая на первой демонстрационной установке 12 тонн концентрата в час, выросла до 180 тонн в час на комбинате Маунт Айза, или свыше 300 тысяч тонн меди в катодном эквиваленте в год (комбинат Веданта, Индия). Совершенствование технологии продолжается с целью сделать возможной переработку питания различного качества, достичь более высокой производительности и реализовать различные процессы.

Темпы внедрения печи ISASMELT™ стали самыми высокими в выплавке первичной меди: пять печей находятся в эксплуатации, одна печь будет пущена в эксплуатацию в 2007 году, начато рабочее проектирование двух печей, ввод которых в эксплуатацию ожидается в 2009 году. По данным исследования действующих медеплавильных заводов, проведенного в 2003 году [1], доля первичной меди, полученной в печах ISASMELT™, в мировом производстве меди достигнет примерно 12% после выхода на полную мощность печи на медеплавильном заводе Southern Peru Copper Corporation в 2007 году.

Печь ISASMELT™ также может использоваться для непрерывного и периодического конвертирования медного штейна с получением черновой меди. Непрерывное конвертирование успешно применяется в пилотных установках ISASMELT™; черновую медь получают с использованием шлака на основе феррита кальция с расходом штейна 250 кг/ч. В Европе периодическое конвертирование в печи ISASMELT™ применяется на двух заводах. На заводе Umicore Precious Metals (Хобокен, Бельгия) печь ISASMELT™ применяется для конвертирования с 1997 года. Вторая печь ISASMELT™, применяемая для конвертирования, была пущена в 2002 году на заводе компании NA AG (Люнен, Германия).

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ КОНВЕРТИРОВАНИЕ

Конвертирование меди на заводе Umicore

Umicore является производителем специализированных материалов со следующими основным направлениями деятельности: услуги в области

драгоценных металлов, драгоценные металлы и катализаторы, улучшенные материалы и специальные цинковые продукты [2]. Компания, которая тогда называлась Metallurgie Hoboken Overpelt (МНО), сперва разработала конвертер Хобокен, но в 1990-е годы поняла, что он не сможет соответствовать строгим экологическим нормам, которые должны были вступить в силу в XXI веке. Поэтому компания Umicore решила начать сотрудничество с Mount Isa Mines (в настоящее время – Xstrata) с целью дальнейшей разработки процесса ISASMELT™ для выплавки и конвертирования смешанных видов медной шихты.

Xstrata спроектировала демонстрационную установку, которая затем в течение нескольких месяцев эксплуатировалась на металлургическом заводе в Хобокене. По результатам успешной эксплуатации демонстрационной установки была спроектирована и построена промышленная печь ISASMELT™. Промышленный завод был введен в эксплуатацию в конце 1997 года и в настоящее время перерабатывает до 300 тысяч тонн вторичного питания в год. На рисунке 1 показан общий вид установки ISASMELT™ на металлургическом заводе в Хобокене [2].

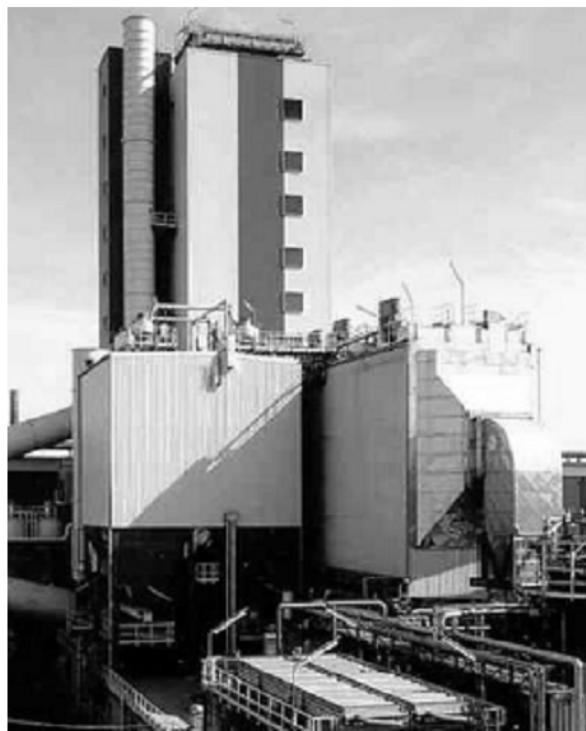


Рисунок 1 - Установка ISASMELT™ на металлургическом заводе в Хобокене

На рисунке 2 показана технологическая схема производства драгоценных и цветных металлов на металлургическом заводе в Хобокене [3]. Печь ISASMELT™ играет ключевую роль в металлургическом процессе. Сложное свинцовое/медное сырье, имеющее небольшое содержание ценных элементов, перерабатывается в печи ISASMELT™ в два этапа (плавка и конвертирование).

На этапе плавки происходит окисление питания путем подачи обогащенного кислородом воздуха через форсунку с образованием медного штейна и шлака. Получаемый в процессе плавки богатый свинцом кремнистый шлак сливают, а оставшиеся медные штейны конвертируют в черновую медь. Все второстепенные драгоценные металлы попадают в медную фазу [4].

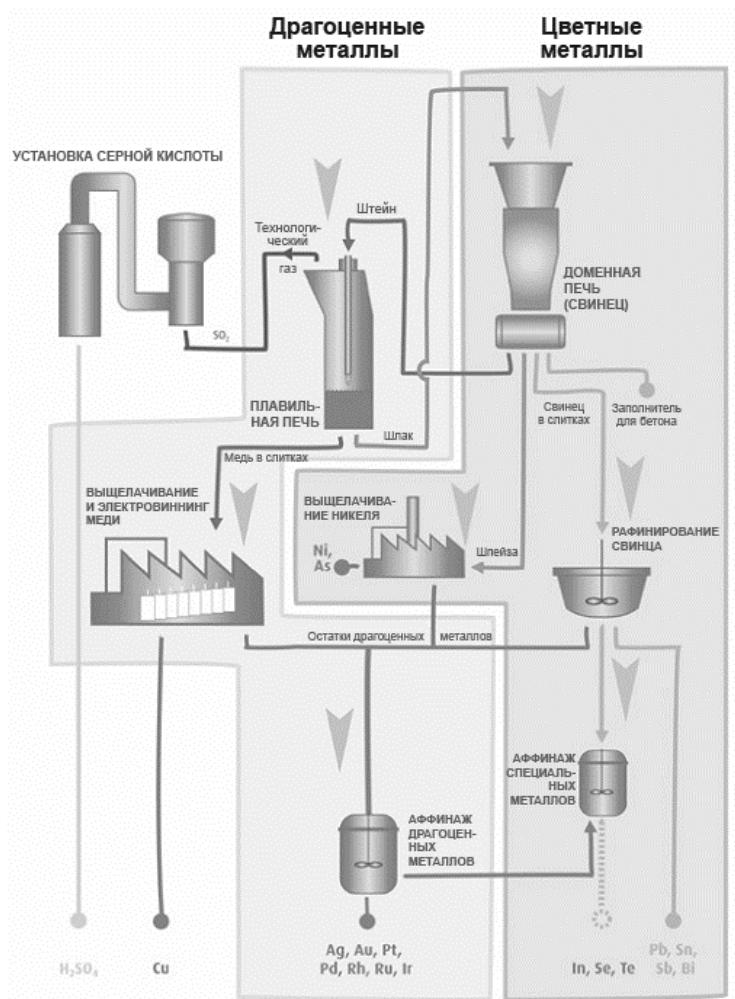


Рисунок 2 - Технологическая схема получения драгоценных и цветных металлов на металлургическом заводе в Хобокене

Из приведенного выше описания технологии можно заметить, что печь ISASMELT™ работает в двух очень разных режимах: низкое парциальное давление кислорода при плавке и высокое парциальное давление кислорода при конвертировании. Изменение парциального давления кислорода предъявляет жесткие требования к огнеупорной футеровке. Даже в столь сложных условиях работы продолжительность кампании печи ISASMELT™ составляет 15 месяцев [5].

Плавка и конвертирование меди на заводе Norddeutsche Affinerie - Hüttenwerke Kayser

Компания Norddeutsche Affinerie AG применяет технологию ISASMELT™ для плавки вторичной меди на медеплавильном и рафинировочном заводе в Люнене, Германия [6]. На рисунке 3 показан общий вид установки на заводе в Люнене. Печь ISASMELT™ заменила три доменные печи и один цилиндрический конвертер (конвертер Пирса-Смита), применявшиеся для плавки остатков и лома меди, и играет важную роль в процессе переработки меди - системе переработки Kayser (KRS).



Рисунок 3 - Установка ISASMELT™ на заводе НА, Люнен, Германия

Технологическая схема процесса KRS показана на рисунке 4. Плавка и конвертирование медьсодержащих материалов производится в печах ISASMELT™ с периодической загрузкой. Медные остатки и отходы, илинсодержащие от 1 до 80% меди, загружаются в печь ISASMELT™ на стадии восстановительной плавки. В результате восстановительной плавки получают оксид меди и кремнистый шлак, имеющий очень низкое остаточное содержание промышленных металлов. Шлак сливают и гранулируют.

После слива шлака оксид меди конвертируют для получения черновой меди с содержанием меди около 95%. Также образуется обогащенный Sn и Pb конвертерный шлак, который загружается в отдельную печь. В связи с особенностями процесса KRS печь ISASMELT™ работает в каждом цикле в широком диапазоне значений парциального давления кислорода, что обуславливает высокую нагрузку на огнеупоры.

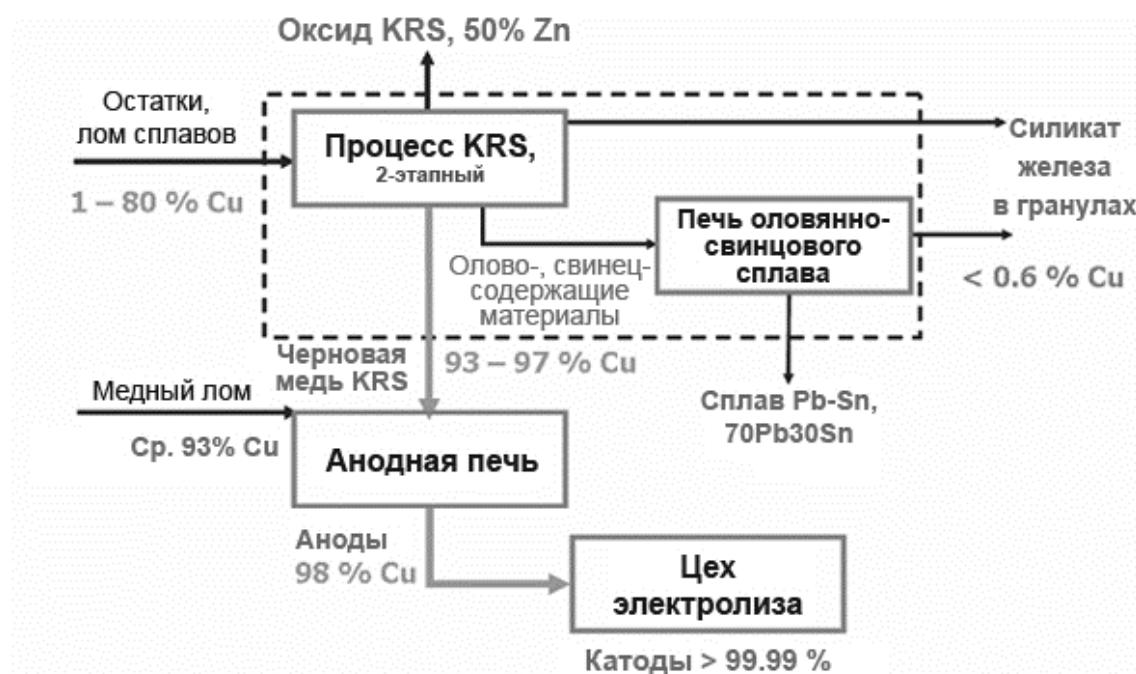


Рисунок 4 - Система переработки Kayser

Внедрение технологии ISASMELT™ в качестве основного компонента процесса KRS позволило NA добиться выдающихся показателей производительности, энергоэффективности и экологичности. Основные преимущества, полученные от успешного внедрения ISASMELT™, о которых сообщает завод NA AG в Люнене, можно обобщить следующим образом

- Более высокие общие показатели извлечения меди благодаря более низкому содержанию меди в выгружаемом шлаке в конце стадии плавки.
- Меньшее количество эксплуатируемых печей
- Значительное уменьшение объема отходящих газов
- Производственная мощность превышает проектную на 40%
- Снижение потребления энергии более чем на 50%
- Снижение выбросов CO₂ более чем на 64%
- Снижение общих выбросов на 90%

НЕПРЕРЫВНОЕ КОНВЕРТИРОВАНИЕ

Результаты опытной эксплуатации пилотных установок непрерывного конвертирования в совокупности с результатами промышленной эксплуатации установок периодического конвертирования показывают, что печь ISASMELT™ хорошо подходит для непрерывного конвертирования [7]. При проектировании медеплавильного завода с использованием печи ISASMELT™ для непрерывного конвертирования - печи ISACONVERT™ - необходимо учитывать химический состав шлака, обессеривание черновой меди, способ удержания расплава и компоновочную схему медеплавильного завода.

Химический состав шлака

Процесс ISASMELT™ в режиме как плавки, так и конвертирования предполагает подачу воздуха, обогащенного кислородом, в расплавленный шлак. Необходим контроль химического состава и физических свойств расплавленного шлака, таких как вязкость.

С самого начала разработки процесса ISACONVERT™ известно, что существует пробел в имеющихся данных о фазовых равновесиях в системе "Cu₂O"-CaO-"Fe₂O₃". Большая часть существующих данных была собрана в условиях кислородного потенциала, неприменимых в условиях непрерывного конвертирования. Таким образом, была начата программа совместных с Научно-исследовательским центром пирометаллургии (PYROSEARCH) Университета Квинсленда исследований с целью оценить шлаковые системы при конвертировании меди и их потенциальную применимость в условиях процесса ISACONVERT™. Было проведено несколько экспериментов, чтобы определить фазовые равновесия в следующих шлаковых системах в зависимости от температуры и парциального давления кислорода:

- CaO-FeO-Fe₂O₃
- Cu₂O-CaO-FeO-Fe₂O₃ при насыщении меди
- CaO-FeO-Fe₂O₃-SiO₂
- Cu₂O-CaO-FeO-Fe₂O₃-SiO₂ при насыщении меди

Экспериментальные работы позволили точно определить интересующие области указанных шлаковых систем [8] [9]. На основе этих фундаментальных работ и ряда полупромышленных испытаний непрерывного конвертирования стало возможным определить область состава шлака, в котором будет протекать процесс ISACONVERT™. На рисунке 5 показан участок состава шлака, соответствующий процессу ISACONVERT™, в системе Cu₂O"-CaO-"Fe₂O₃ при насыщении меди при 1250°C [8] Сплошная линия в области насыщения шпинели показывает влияние парциального давления кислорода на концентрацию оксида меди в шлаковой фазе. Заштрихованная область обозначает область состава шлака, в которой, как ожидается, процесс ISACONVERT™ будет протекать при соотношении Fe/CaO около 2.3.

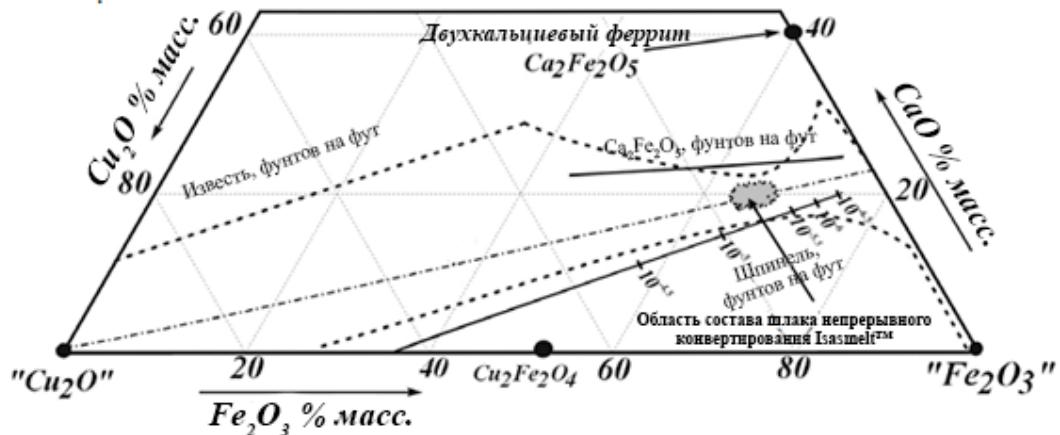


Рисунок 5 - Система "Cu₂O"-CaO-"Fe₂O₃" при насыщении меди при 1250°C

Эксплуатационные показатели анодной печи

Влияние непрерывного конвертирования на рафинирование анодной меди

Черновая медь, полученная путем непрерывного конвертирования, имеет более высокое содержание серы по сравнению с черновой медью, полученной посредством периодических процессов, например в конвертере Пирса-Смита. В процессах непрерывного конвертирования, в которых три (3) конденсированные фазы находятся в равновесии с газовой фазой, таких как процесс непрерывного конвертирования Noranda, кислородный и серный потенциалы поддерживаются за счет присутствия жидкого Cu₂S в однофазном состоянии при желаемой температуре. Данное термодинамическое условие повышает содержание серы в черновой меди до уровня, близкого к 1%.

В процессах конвертирования с двумя (2) конденсированными фазами, таких как процесс ISACONVERT™, парциальное давление кислорода задается с целью поддержания содержания оксида меди в конвертерном шлаке в пределах от 12 до 18%, что обеспечивает содержание серы от 0,3 до 0,4%. К альтернативным способам сокращения времени десульфуризации в непрерывном процессе конвертирования относится внесение изменений в

конструкцию анодных печей, например, установка дополнительных фурм и/или пористого днища для увеличения скорости десульфурации путем подачи дополнительного кислорода, а также гомогенизация температуры и содержания кислорода в ванне.

При использовании процесса ISACONVERT™ возможна либо подача непосредственно в анодную печь, либо предварительная обработка в печи для выдержки. В обоих случаях желательно использовать пористое днище для лучшей гомогенизации (термической и химической) ванны и не менее четырех фурм для подачи воздуха и/или воздуха, обогащенного кислородом, чтобы обеспечить более полное окисление ванны. Размер анодной печи определяется в зависимости от необходимого времени нахождения.

С точки зрения удаления второстепенных элементов, можно ожидать относительно высокого содержания Pb в черновой меди, производимой печью ISACONVERT™, по сравнению с черновой медью, полученной в результате периодического конвертирования. Это связано с относительно низкой емкостью по Pb шлака на основе феррита кальция по сравнению с кремнистым шлаком. В зависимости от требований к качеству анодов, может потребоваться шлакоудаление с добавлением кремнезема.

Удержание расплава

Учитывая агрессивный характер шлака на основе феррита кальция, печь ISACONVERT™, предназначенная для непрерывного конвертирования меди, должна проектироваться с водоохлаждаемой медной секцией в шлаковой линии. За последние 20 лет в цветной металлургии и промышленности ферросплавов накоплен значительный опыт проектирования систем водяного охлаждения. В настоящее время системы водяного охлаждения различной конструкции предлагают ряд поставщиков. При проектировании печей могут использоваться такие варианты, как медные элементы за кирпичом, медные элементы, чередуемые с кирпичом, или водоохлаждаемые панели с основной рабочей футеровкой из литого огнеупорта.

Для печи ISACONVERT™, применяемой для непрерывного конвертирования

меди, предлагаются конструкция, представляющая собой стальной кожух с кирпичным подом и вертикальными водоохлаждаемыми панелями в шлаковой линии. Панели устанавливаются на рабочую футеровку из литого огнеупора, что предполагает осаждение шлака в качестве износной футеровки по мере износа литого огнеупора.

Компоновочная схема металлургического завода

На рисунке 6 показана технологическая схема, в которой для плавки концентратов используется плавка ISASMELT™, после которой установлена плавка ISACONVERT™ для конвертирования медного штейна в черновую медь. В соответствии с практикой, принятой на установке взвешенного конвертирования Кеннекотт, штейн гранулируется и складируется перед конвертерной печью [10]. Применение небольшого склада устраняет зависимость между печами плавки и конвертирования. Подача твердого штейна в конвертерную печь увеличивает тепловую нагрузку на печь, которая уравновешивается удалением азота из системы с помощью технического кислорода, что обуславливает высокое содержание SO₂ в отходящих газах.

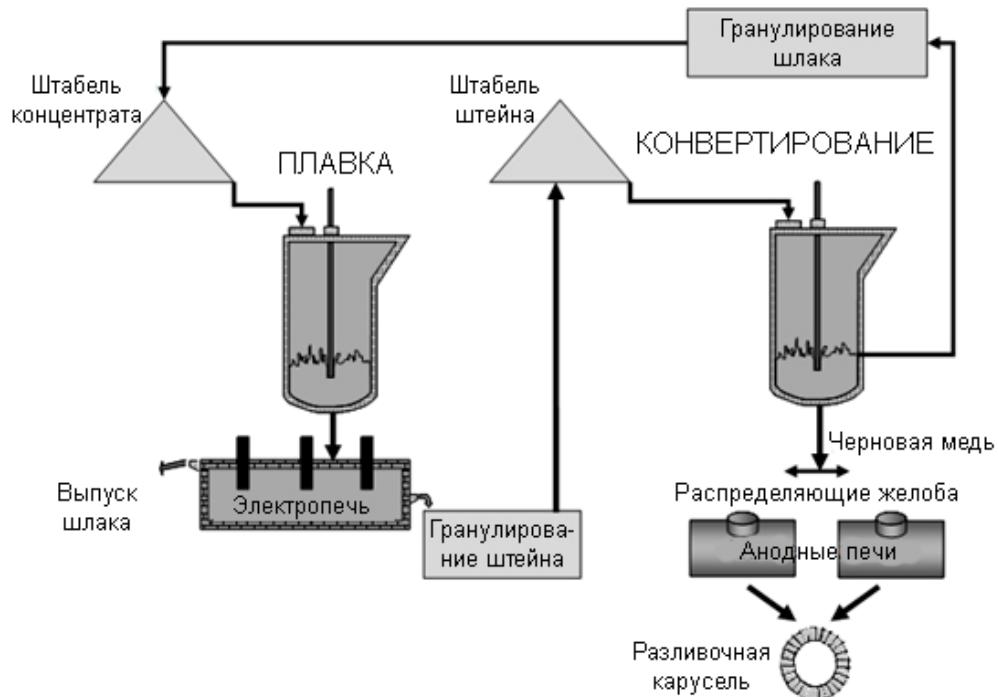


Рисунок 6. Технологическая схема установки непрерывного конвертирования

Твердый штейн и флюс поступают в ванну через свод конвертерной печи. Шлак выпускают из конвертерной печи в систему грануляции, а черновую медь – в печь выдержки или в анодную печь.

В условиях нового металлургического производства, если анодные печи рассчитаны на переработку черновой меди, содержащей от 0,3% до 0,4% серы, черновая медь может поступать из конвертерной печи непосредственно в анодную печь. В условиях действующего металлургического производства, если анодные печи рассчитаны на переработку черновой меди, содержащей 0,05% серы, для предварительной обработки черновой меди после конвертерной печи перед огневым рафинированием может быть использована печь выдержки. Печь выдержки также будет выступать в качестве буферной емкости между конвертерной печью и анодными печами.

Конвертерный шлак из печи ISACONVERT™ выпускают в систему грануляции. Гранулированный конвертерный шлак подается в первичную печь ISASMELT™. Как показывает опыт, твердый шлак, подаваемый в печь ISASMELT™, с легкостью растворяется в ванне и служит источником кислорода.

Схема металлургического завода с использованием печей ISASMELT™ и ISACONVERT™ очень компактна и занимает значительно меньшую площадь по сравнению с традиционным медеплавильным заводом. То обстоятельство, что процессы выплавки и конвертирования очень похожи и легко управляются с использованием проверенной системы управления технологическим процессом, также упрощает эксплуатацию металлургического завода и логистику, позволяя осуществлять все операции из одного центрального пункта управления. Эти факторы снижают стоимость эксплуатации нового завода по сравнению с традиционной технологией, основанной на использовании конвертеров Пирса-Смита. Значительно меньший объем отходящих газов конвертирования позволит сократить капитальные и эксплуатационные затраты на системы сбора и очистки отходящих газов.

ВЫВОДЫ

- > Медеплавильные печи ISASMELT™ успешно применяются в 7 странах и имеют производительность до 180 тонн питания в час, или 300 тысяч тонн меди в катодном эквиваленте в год.
- > Периодическое конвертирование медного штейна в промышленных печах ISASMELT™ применяется в Европе с 1997 года.
- > Непрерывное конвертирование в печи ISACONVERT™ с использованием шлака на основе феррита кальция успешно опробовано в экспериментальном масштабе.
- > Шлаковые системы при конвертировании меди хорошо изучены, и представляется, что шлак на основе феррита кальция является наиболее целесообразным для реализации процесса непрерывного конвертирования в печи ISACONVERT™.
- > Для удержания шлака на основе феррита кальция системы водяного охлаждения будут применяться только в критических зонах печи.
- > Конструкция печи обеспечивает высокую компактность новых медеплавильных заводов. Преимущества с точки зрения эксплуатации и логистики обеспечат снижение эксплуатационных расходов.
- > Значительно меньший объем отходящих газов процесса непрерывного конвертирования позволит сократить капитальные и эксплуатационные затраты на системы сбора и очистки отходящих газов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данная статья опубликована с разрешения компании Xstrata Technology.

Информация о системе переработки Kayser опубликована с разрешения компании Norddeutsche Affinerie AG - Hüttenwerke Kayser.

Xstrata выражает Umicore благодарность за предоставленные технические пояснения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Ramachandran, C. Diaz, T. Eltringham, C.Y. Jiang, T. Lehner, P.J. Mackey, C.J. Newman and A.V. Tarasov, "Primary Copper Production - A Survey of Operating World Copper Smelters", Volume IV: Pyrometallurgy of Copper Hermann Schwarze Symposium, Book 1: Smelting Operations, Ancillary Operations and Furnace Integrity, C. Diaz, J. Kapusta and C. Newman, Eds., The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal, Canada, 2003, 3-106.
2. C. Hageluken, "Recycling of electronic scrap at Umicore's integrated metals smelter and refinery". Proceedings of European Metallurgical Conference 2005, GDMB, Clausthal-Zellerfeld, 2005, Vol. 1, 307-324.
3. F. Vanbellen and M. Chintinne, "The Precious Art of Metals Recycling", Advanced Processing of Metals and Materials, F. Kongoli and R.G. Reddy, Eds., TMS, Warrendale, Pennsylvania, 2006, Vol. 1, 43-52.
4. C. Hageluken, "Recycling of electronic scrap at Umicore Precious Metals Refining", Acta Metallurgica Slovaca, 12, 2006, (111-120)
5. Umicore Press Release, Third Quarter Update, October 27th 2006.
6. S. Schmidt, Norddeutsche Affinerie AG-Huttenwerke Kayser, unpublished, March 2006.
7. J.S. Edwards and S. Jahanshahi, "Copper Converting", United States Patent, No. 5,888,270, 30 March 1999.
8. S. Nikolic et al, "Liquidus temperatures in calcium ferrite slags equilibrated with molten copper at fixed partial pressures", The 6th International Copper/Cobre Conference, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Toronto, 2007.
9. E. Jak et al, "Experimental Investigations of Phase Equilibria for Copper Smelting and Converting Silicate Slags in the "Cu20"-Fe0-Fe2O3-CaO-SiO2 System at controlled Oxygen Partial Pressures", The 6th International Copper/Cobre Conference, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Toronto, 2007.
10. D.B. George, R.J. Gottling and C.J. Newman, "Modernization of Kennecott Utah Copper Smelter", Proceedings of the Copper 95 - Cobre 95 - International Conference, Pyrometallurgy of Copper, W.J. Chen, C. Diaz, A. Luraschi, and P.J. Mackay, Eds., Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal, Canada, 41-52.