

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **035051**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.04.22**

(51) Int. Cl. **C22B 15/06 (2006.01)**  
**F27B 1/20 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**201890031**

(22) Дата подачи заявки  
**2016.06.10**

---

(54) **СПОСОБ ОБРАБОТКИ МЕДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ**

---

(31) **2015902212**

(32) **2015.06.12**

(33) **AU**

(43) **2018.07.31**

(86) **PCT/AU2016/050473**

(87) **WO 2016/197201 2016.12.15**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ГЛЕНКОР ТЕКНОЛОДЖИ ПТИ  
ЛИМИТЕД; КОММОНВЕЛТ  
САЙЕНТИФИК ЭНД ИНДАСТРИАЛ  
РИСЕРЧ ОРГАНИЗЕЙШН (AU)**

(72) Изобретатель:

**Николич Станко, Чэнь Чуньлинь,  
Джаханшахи Шариф (AU)**

(74) Представитель:

**Медведев В.Н. (RU)**

(56) **US-A-5888270**  
**US-B1-6761749**  
**WO-A1-2005098059**

---

(57) Способ пирометаллургической переработки содержащего медь сульфидного материала, содержащего относительно большие количества кремнезема и относительно малые количества железа, причем способ включает подачу сульфидного материала в печь TSL, эксплуатируемую при окислительных условиях так, что сульфидный материал образует черновую медь, содержащую между 1,2 и 1,5 мас.% серы, и шлак, содержащий между 7 и 13 мас.% меди.

---

**B1**

**035051**

**035051**

**B1**

### Область техники

Настоящее изобретение относится к способу обработки медных концентратов. В частности, настоящее изобретение относится к способу пирометаллургической переработки медных концентратов в печи с погружной фурмой (TSL).

### Предпосылки изобретения

Во многих процессах выплавки первичной меди, а особенно в процессах выплавки первичной меди в печи TSL (таких как процесс ISASMELT™), существенной частью сырья является железо. В данных процессах обычно получают штейн с сульфидами меди и железа и шлак с силикатом железа, причем эти процессы пригодны для медных концентратов, где преобладающим минералом меди является халькопирит.

По всему миру существуют многочисленные рудные месторождения (например, в Замбии, Демократической Республике Конго, Казахстане и Австралии), где медный концентрат, полученный пенной флотацией, содержит относительно большие количества кремнезема и относительно малые количества железа. Эти концентраты непригодны для выплавки первичной меди, но могут быть подвергнуты плавке в процессах прямого производства черновой меди (от англ. direct-to-blister, DtB) с использованием присутствующего в концентрате кремнезема в качестве флюсующего агента.

Однако низкие уровни содержания железа и высокие уровни содержания кремнезема в этих концентратах, которые делают их непригодными для выплавки первичной меди, также затрудняют DtB-плавку, так как для расплавления шлака требуются высокие температуры печи.

Таким образом, было бы выгодно, если бы можно было создать пирометаллургический способ обработки высококремнеземистого, низкожелезистого медно-сульфидного концентрата с получением черновой меди.

Будет совершенно понятно, что если здесь приводится ссылка на публикацию уровня техники, то такая ссылка не подразумевает признания того, что эта публикация составляет часть общеизвестных сведений в данной области техники в Австралии или в любой другой стране.

### Сущность изобретения

Настоящее изобретение направлено на способ пирометаллургической переработки содержащего медь сульфидного материала, который может, по меньшей мере, частично преодолевать по меньшей мере один из вышеуказанных недостатков или предоставить потребителю возможность полезного или коммерческого выбора.

Принимая во внимание вышеизложенное, настоящее изобретение в одной своей форме заключается, в широком смысле, в способе пирометаллургической переработки содержащего медь сульфидного материала, содержащего относительно большие количества кремнезема и относительно малые количества железа, причем способ включает подачу сульфидного материала в печь TSL, эксплуатируемую при таких условиях, что сульфидный материал образует черновую медь, содержащую до 2 мас.% серы, и шлак, содержащий до 15 мас.% меди.

В еще одном аспекте изобретение заключается, в широком смысле, в способе пирометаллургической переработки содержащего медь сульфидного материала, содержащего относительно большие количества кремнезема и относительно малые количества железа, причем способ включает подачу сульфидного материала в печь TSL, эксплуатируемую при таких условиях, что сульфидный материал образует черновую медь и шлак, имеющий отношение  $\text{CaO/SiO}_2$  между 0,30 и 0,55 по массе и отношение  $\text{SiO}_2/\text{Fe}$  между 1,8 и 2,8 по массе.

Сульфидный материал может быть получен из любого подходящего источника. Однако предусматривается, что сульфидный материал может представлять собой полученный пенной флотацией концентрат. В частности, предусматривается, что сульфидный материал может быть концентратом, полученным пенной флотацией при обработке медной руды, в которой халькопирит не является основным минералом меди. Таким образом, в одном предпочтительном варианте осуществления изобретения сульфидный материал может содержать более чем примерно 20 мас.% меди. Более предпочтительно сульфидный материал может содержать более чем примерно 25 мас.% меди. Еще более предпочтительно сульфидный материал может содержать более чем примерно 30 мас.% меди.

Предпочтительно сульфидный материал содержит между примерно 10 и 40 мас.% кремнезема. Более предпочтительно сульфидный материал содержит между примерно 15 и 35 мас.% кремнезема. Еще более предпочтительно сульфидный материал содержит между примерно 20 и 30 мас.% кремнезема.

Предпочтительно сульфидный материал содержит менее чем приблизительно 20 мас.% железа. Более предпочтительно сульфидный материал содержит менее чем примерно 15 мас.% железа. Еще более предпочтительно сульфидный материал содержит менее чем примерно 12 мас.% железа.

Как указано выше, сульфидный материал подают в печь TSL. Предусматривается, что, когда сульфидный материал подается в печь TSL, печь может содержать ванну из расплавленного в ней материала. Предпочтительно по меньшей мере часть расплавленного материала в печи TSL содержит шлак.

Будет понятно, что печь TSL включает одну или более верхних впускных фурм, нижние концы которых погружены в ванну расплавленного материала во время работы по способу согласно настоящему изобретению.

Могут быть использованы любые пригодные печи TSL, такие как, но не ограничиваясь ими, печи, продаваемые под товарными знаками ISASMELT™. Квалифицированный специалист будет знаком с конструкцией печей TSL, и никакое дополнительное обсуждение конструкции печи не требуется.

Печь TSL может эксплуатироваться при любой подходящей температуре. Предпочтительно, однако, печь TSL может эксплуатироваться при такой температуре, при которой происходит образование жидкого шлака и черновой меди. В предпочтительном варианте осуществления изобретения печь TSL может эксплуатироваться так, что температура ванны внутри печи составляет в пределах диапазона от 1100 до 1450°C. Более предпочтительно печь TSL может эксплуатироваться так, что температура ванны внутри печи составляет в пределах диапазона от 1150 до 1400°C. Еще более предпочтительно печь TSL может эксплуатироваться так, что температура ванны внутри печи находится в пределах диапазона от 1180 до 1380°C. Наиболее предпочтительно печь TSL может эксплуатироваться так, что температура ванны внутри печи составляет в пределах диапазона от 1200 до 1350°C.

В некоторых вариантах осуществления изобретения в печь могут быть добавлены одно или более корректирующих температуру веществ, предназначенных для содействия достижению желательной температуры ванны. Могут быть добавлены любые пригодные корректирующие температуру вещества, хотя предусматривается, что корректирующие температуру вещества могут включать топлива, такие как, но не ограничиваясь ими, дизельное топливо, природный газ, мазут, уголь, кокс, нефтяной кокс или тому подобные или любые подходящие их сочетания.

В одном предпочтительном варианте осуществления изобретения печь TSL эксплуатируют при окислительных условиях. Предусматривается, что окислительные условия внутри печи могут быть созданы введением в печь кислородсодержащего газа. Предпочтительно кислородсодержащий газ может быть введен в печь через фурму. Может быть применен любой подходящий кислородсодержащий газ, такой как воздух, обогащенный кислородом воздух или кислород.

Предпочтительно печь TSL эксплуатируют при условиях, в которых получающийся шлак соответствует зоне низкой температуры плавления на фазовой диаграмме CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO<sub>x</sub>. В этом варианте осуществления предусматривается, что печь TSL может эксплуатироваться при условиях, где состав получающегося шлака находится в или близко к точке насыщения тридимита, в которой активность железа относительно низка. В этих вариантах осуществления изобретения (и, в частности, когда шлак содержит относительно малые количества оксидов, таких как Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> или MgO) предусматривается, что печь TSL может эксплуатироваться при таких условиях температуры и окисления, что отношение CaO/SiO<sub>2</sub> в шлаке составляет между 0,30 и 0,55. Более предпочтительно печь TSL может эксплуатироваться при таких условиях температуры и окисления, что отношение CaO/SiO<sub>2</sub> в шлаке составляет между 0,35 и 0,50. Еще более предпочтительно печь TSL может эксплуатироваться при таких условиях температуры и окисления, что отношение CaO/SiO<sub>2</sub> в шлаке составляет между 0,40 и 0,45.

В некоторых вариантах осуществления изобретения (и, в частности, когда шлак содержит относительно низкие количества оксидов, таких как Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> или MgO) предусматривается, что печь TSL может эксплуатироваться при таких условиях температуры и окисления, что отношение SiO<sub>2</sub>/Fe в шлаке составляет между 1,8 и 2,8. Более предпочтительно печь TSL может эксплуатироваться при таких условиях температуры и окисления, что отношение SiO<sub>2</sub>/Fe в шлаке составляет между 2,0 и 2,6. Еще более предпочтительно печь TSL может эксплуатироваться при таких условиях температуры и окисления, что отношение SiO<sub>2</sub>/Fe в шлаке составляет между 2,2 и 2,4.

Предпочтительно печь TSL может эксплуатироваться при таких условиях температуры и окисления, что состав шлака в печи практически попадает в пределы заштрихованной области тройной фазовой диаграммы, показанной на чертеже.

В некоторых вариантах осуществления изобретения в печь могут быть добавлены одно или более веществ, модифицирующих химический состав шлака. Могут быть добавлены любые пригодные модифицирующие химический состав шлака вещества, хотя предусматривается, что модифицирующие химический состав шлака вещества могут содействовать достижению желательных отношений CaO/SiO<sub>2</sub> и SiO<sub>2</sub>/Fe в шлаке. Предпочтительно модифицирующие химический состав шлака вещества включают вещества, содержащие кальций. Могут быть использованы любые кальцийсодержащие вещества, такие как, но не ограничиваясь ими, известь, известняк, доломит или тому подобные или любые пригодные их сочетания.

Как указано выше, полученная способом по настоящему изобретению черновая медь может содержать до 2 мас.% серы. Более предпочтительно полученная способом по настоящему изобретению черновая медь может содержать до 1,8 мас.% серы. Еще более предпочтительно полученная способом по настоящему изобретению черновая медь может содержать до 1,6 мас.% серы. Наиболее предпочтительно полученная способом по настоящему изобретению черновая медь может содержать до 1,53 мас.% серы.

Как указано выше, полученный способом по настоящему изобретению шлак может содержать до 15 мас.% меди. Более предпочтительно полученный способом по настоящему изобретению шлак может содержать до 13,5 мас.% меди. Еще более предпочтительно полученный способом по настоящему изобретению шлак может содержать до 13 мас.% меди. Наиболее предпочтительно полученный способом по настоящему изобретению шлак содержит между примерно 7 мас.% меди и примерно 13 мас.% меди.

Предусматривается, что в способе по настоящему изобретению также может быть получен диоксид серы. Как правило, полученный согласно настоящему изобретению диоксид серы будет находиться в газообразном состоянии.

Настоящее изобретение обеспечивает многочисленные преимущества перед уровнем техники. В-первых, потребности в топливе для такого способа сведены к минимуму за счет полезного использования тепла, выделяющегося во время сгорания железа и серы внутри ванны расплавленного шлака.

В дополнение настоящее изобретение устраняет необходимость в смешивании концентратов перед плавкой, а также устраняет необходимость в добавлении железосодержащих флюсов для получения традиционных шлаков. Кроме того, настоящее изобретение обеспечивает возможность непосредственного (прямого) получения черновой меди и создает только единственный источник богатого диоксидом серы газа, удаляемого из плавильной печи, сокращая тем самым расходы на разработку и сооружение плавильной установки.

Любые из описанных здесь признаков могут быть скомбинированы в любом сочетании с любыми одним или более другими описанными здесь признаками в пределах объема изобретения.

Ссылка на любой уровень техники в этом описании не является и не должна восприниматься как признание того или указание в любой форме на то, что уровень техники составляет часть общеизвестных сведений.

### Краткое описание чертежа

Предпочтительные признаки, варианты осуществления и вариации изобретения могут быть уяснены из нижеследующего подробного описания, которое предоставляет специалистам в этой области техники достаточную информацию для осуществления изобретения. Подробное описание никоим образом не должно рассматриваться как ограничивающее объем предшествующего раздела "Сущность изобретения". Подробное описание будет содержать ссылки на чертеж.

Чертеж иллюстрирует тройную фазовую диаграмму состояния системы  $\text{CaO-SiO}_2\text{-FeOx}$ .

### Примеры

Эксперименты на опытной установке.

Подходящий медно-сульфидный концентрат из местного рудника подвергли эксперименту по плавке. Эксперименты на опытной установке проводили в печи ISASMELT™ с габаритами опытной установки. Печь состоит из цилиндрической емкости с внутренним диаметром приблизительно 305 мм и высотой приблизительно 1,8 м. Емкость футерована хромомагнезитовыми огнеупорными кирпичами с последующими высокоглиноземистыми кирпичами и футеровкой из каолиновой ваты (Kaowool) до оболочки. Применяется регулятор массового расхода для вдувания природного газа и воздуха в ванну через фурму из нержавеющей стали с внутренним диаметром 29 мм. Подаваемый в печь твердый материал добавляют в известных количествах на ленту транспортера с калиброванной переменной скоростью, которая сбрасывает сырье на вибрационный питатель, а затем через лоток на верху печи. Удаление расплавленных продуктов из печи может достигаться открыванием единственной летки у основания печи и сбором материалов в чугунные ковши. Если необходимо, печь может быть наклонена вокруг ее центральной оси, чтобы полностью слить содержимое из печи. Технологические отходящие газы проходят через осадительную камеру дожига и испарительный газоохладитель перед тем, как направляются через рукавный пылеуловитель и скруббер с раствором каустической соды, для удаления любых пыли и серосодержащих газов перед выпуском в дымовую трубу. Температуру ванны измеряют непрерывно с помощью термопары, пропущенной сквозь огнеупорную футеровку печи. Независимое подтверждение температуры ванны получают с использованием оптического пирометра, измерения погружным зондом во время выпуска плавки или измерения погружным зондом шлака через верх печи. Опытную печь сначала нагревают, а затем поддерживают при температуре между испытаниями посредством газовой горелки, размещенной в летке.

Табл. 1-5 показывают подаваемые материалы, предусмотренные для опытно-испытательных работ, и химический состав подаваемых материалов.

Таблица 1

Состав медного концентрата, использованного в плавильных испытаниях (мас.%)

Название образца	Cu	Fe	S	Si	Al	As	Mg	Pb	Zn	Ca	K	Na
Концентрат	33,6	11,2	17,4	11,0	2,89	0,43	0,51	0,06	0,22	0,56	1,45	0,65

Известняк, добытый из рудника Glencore's Mount Isa Mines, использовали в качестве флюса для этих опытов. Состав известнякового флюса показан в табл. 2.

Таблица 2

Состав известнякового флюса, использованного в плавильных испытаниях (мас.%)

Название образца	CaCO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Известняк	93,7	0,80	1,10	4,40

Кремнезем, добытый из каменоломни местного оптового продавца, использовали в качестве флюса точной регулировки и для создания псевдоконцентрата. Состав кремнезема показан в табл. 3.

Таблица 3

Состав кремнеземного флюса, использованного в плавильных испытаниях (мас.%)

Название образца	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeSO <sub>4</sub>
Кремнеземный флюс	97,95	1,29	0,56	0,20

Уголь, использованный в качестве дополнительного кускового топлива во время одного из испытаний, имеет аналитический состав, показанный в табл. 4.

Таблица 4

Состав угля, использованного в плавильном испытании (мас.%)

Название образца	Влага	Зола	Летучие	Связанный углерод	Сера
Кусковой уголь	1,0	11,9	33,8	51,6	1,7

Дополнительно к традиционным флюсам сырье было также легировано кобальтом с тем, чтобы во время проведения этого испытания могло быть определено распределение кобальта. Легирующей добавкой, выбранной для применения при проведении этого испытания, был карбонат кобальта, приобретенный у местного поставщика керамики. Состав кобальта показан в табл. 5. Для обеспечения того, чтобы тонкодисперсный карбонат кобальта не уносился потоком отходящих газов, его нужно было смешать с равной порцией воды и 5% лигносульфонатного связующего.

Таблица 5

Состав кобальтового флюса (мас.%)

Название образца	CoCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Кобальтовый флюс	90	10

Во время плавки сырьевых материалов в печи ISASMELT™ требуется кислород из воздуходувной фурмы для сжигания медно-сульфидного концентрата с получением газообразного SO<sub>2</sub>, черновой меди и шлака.

Всего выполнили 4 отдельных испытания, длительность которых варьировалась от 1 до 3 ч. В общем 10-килограммовые партии смешанного сырья, предварительно навешенного в ведрах, распределяли по 1-метровым участкам длины питающего транспортера, а скорость транспортера регулировали для придания желательной скорости подачи (типично 45-50 кг/ч влажного сырья). Добавки известнякового флюса отвешивали и распределяли подобным образом при фиксированной скорости добавления по каждому 1-метровому участку длины транспортера. Кремнеземный флюс и кобальтовый флюс также добавляли таким же образом с целью имитирования высококремнеземистых и высококобальтовых концентратов, которые имеются в продаже и пригодны для DtB-плавки.

Затем наконечник фурмы погружали в шлаковую ванну, начинали подачу сырья в печь и изменяли потоки из фурмы на такие, которые требуются для расплавления подаваемой шихты.

Температуру шлаковой ванны отслеживали посредством термодпары, находящейся в кожухе в контакте со шлаковой ванной. Температурой ванны управляли посредством регулировок расхода природного газа и/или вариации обогащения кислородом воздуха из фурмы.

Образцы шлака для целей анализа отбирали через определенные интервалы посредством погружного стержня, опускаемого до основания печи. Толщина шлака, застывшего на стержне, была хорошим показателем степени текучести расплавленного шлака. Температуру шлака можно было измерять, поднося фурму и введя температурный зонд в печь так, чтобы он контактировал со шлаком.

По завершении плавильного испытания подачу сырья прекращали и вынимали фурму из шлаковой ванны. Затем черновую медь и шлак сливали из печи открыванием летки с помощью сочетания бура и кислородной фурмы. Отбирали ложечные пробы черновой меди и шлака, плюс образец расплавленного шлака гранулировали медленным выливанием расплавленного шлака в воду.

Описание условий отдельных испытаний, в том числе входные и выходные параметры печи, температуры ванны (по показаниям термодпары в печи) и т.д., приведены в табл. 6.

Таблица 6

## Обобщение результатов

Испытание №	Начальная ванна кг	Сырье		Известняк кг	Кремнеземный флюс кг	Кобальтовый флюс кг	Воздух н.м <sup>3</sup>	Кислород н.м <sup>3</sup>	Природный газ н.м <sup>3</sup>	Уголь кг	Температура °C	Конечный шлак				Черновая медь			
		Тип сырья	Сухое, кг/ч									Всего, кг	%Co	%Cu	Отношение CaO/SiO <sub>2</sub>	Отношение SiO <sub>2</sub> /Fe	кг	%S	кг
6	50	Концентрат N Parkes	45	93,6	23,39	11,23	-	138,9	18,64	16,05	-	1229	0,02	12,52	0,42	2,29	136,3	1,21	14,2
7	50	Концентрат N Parkes	50	150	37,50	18,00	2,84	188,1	40,07	26,78	-	1261	0,65	7,93	0,44	2,41	160,4	1,53	30,0
8	50	Концентрат N Parkes	50	130	32,50	15,60	2,46	147,5	40,96	24,59	-	1280	0,66	8,11	0,43	2,43	162,6	1,24	24,1
9	50	Концентрат N Parkes	50	140	35,00	16,80	2,65	161,8	44,50	20,36	8,40	1282	0,83	8,30	0,41	2,57	185,0	1,22	17,0

Изложенная выше работа на опытной установке демонстрирует, что при контролируемом окислении медного концентрата печь может надежно производить черновую медь с содержанием серы 1,2-1,5 мас.% в равновесии со шлаком, содержащим 7-13 мас.% Cu. При этих условиях кобальт переносится в шлак.

Экспериментальная работа на опытной установке неожиданно показала также, что, когда изобре-

ние реализовывали в печи с верхней впускной фурмой, не происходило неконтролируемое вспенивание ванны. Авторы изобретения придерживались того мнения, что неконтролируемое вспенивание было вероятным следствием процесса по настоящему изобретению до проведения работы на опытной установке. Специалистам в этой области техники будет понятно, что, как известно, состояние окисления железа в равновесии с черновой медью обуславливает сильную предрасположенность к образованию магнетита в шлаке, насыщению шлака и созданию идеальных условий для появления шлаковой пены при вдувании воздуха в ванну расплавленного шлака. Однако работа на опытной установке продемонстрировала, что либо вспенивание не происходило вообще, либо образовывалась стабильная пена. Поэтому задача сводится к подбору состава шлака.

В данном описании и формуле изобретения (если есть) слова "включающий" и "содержащий" и их производные, в том числе "включает", "включают", "содержит" и "содержат", подразумевают наличие каждого из указанных целых чисел или объектов, но не исключают включения одного или более других целых чисел или объектов.

Приводимые на протяжении этого описания ссылки на "один вариант осуществления" или "вариант осуществления" означают, что конкретные признак, структура или характеристика, описанные в связи с этим вариантом осуществления, относятся по меньшей мере к одному варианту осуществления настоящего изобретения. Таким образом, появление выражений "в одном варианте осуществления" или "в варианте осуществления" в различных местах по всему этому описанию не обязательно предполагает, что все они ссылаются на один и тот же вариант осуществления. Кроме того, конкретные признаки, структуры или характеристики могут быть скомбинированы любым подходящим образом в одном или более сочетаниях.

В соответствии с законодательством изобретение было описано с применением терминологии, более или менее специфической для конструктивных или технологических признаков. Следует понимать, что изобретение не ограничивается показанными или описанными конкретными признаками, поскольку описанные здесь средства включают предпочтительные формы реализации изобретения на практике.

Поэтому изобретение заявлено в любой из его форм или модификаций в пределах надлежащего объема прилагаемой формулы изобретения (если есть), надлежащим образом интерпретируемой специалистами в этой области техники.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ пирометаллургической переработки содержащего медь сульфидного материала, содержащего между 10 и 40 мас.% кремнезема и менее 20 мас.% железа, причем способ включает подачу сульфидного материала, одного или более модифицирующих химический состав шлака соединений, содержащих кальций, и топлива в печь с погружной фурмой (TSL), эксплуатируемую с температурой ванны в печи в пределах диапазона от 1100 до 1450°C, в результате чего сульфидный материал образует черновую медь и шлак, имеющий отношение  $\text{CaO/SiO}_2$  между 0,30 и 0,55 по массе и отношение  $\text{SiO}_2/\text{Fe}$  между 1,8 и 2,8 по массе.

2. Способ по п.1, в котором сульфидный материал представляет собой полученный пенной флотацией концентрат.

3. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором сульфидный материал содержит более чем 20 мас.% меди.

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором сульфидный материал содержит между 15 и 35 мас.% кремнезема.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором сульфидный материал содержит менее чем 15 мас.% железа.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором печь TSL включает одну или более верхних впускных фурм, и при этом нижний конец каждой из упомянутых одной или более верхних впускных фурм погружен в ванну расплавленного материала в печи TSL во время работы.

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором печь эксплуатируют с температурой ванны от 1150 до 1400°C.

8. Способ по п.7, в котором печь эксплуатируют с температурой ванны от 1180 до 1380°C.

9. Способ по п.8, в котором печь эксплуатируют с температурой ванны от 1200 до 1350°C.

10. Способ по п.9, в котором в печь TSL добавляют одно или более корректирующих температуру веществ, включающих топлива, выбранные из дизельного топлива, природного газа, мазута, угля, кокса, нефтяного кокса или их сочетаний.

11. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором печь TSL эксплуатируют при окислительных условиях введением в печь кислородсодержащего газа.

12. Способ по п.7, в котором печь TSL эксплуатируют так, что отношение  $\text{CaO/SiO}_2$  в шлаке составляет между 0,30 и 0,55 и отношение  $\text{SiO}_2/\text{Fe}$  в шлаке составляет между 1,8 и 2,8.

13. Способ по п.12, в котором состав шлака находится в или близко к точке насыщения тридимита на фазовой диаграмме  $\text{CaO-SiO}_2\text{-FeO}_x$ .

14. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором в печь TSL добавляют одно или более модифицирующих химический состав шлага веществ.

15. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором черновая медь содержит до 1,6 мас.% серы.

16. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором шлак содержит между 7 и 13 мас.% меди.

