

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Короля Юрия Александровича

на тему «Использование фурм в защитной оболочке для увеличения кампании конвертора», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов» в диссертационный совет Д212.285.05 на базе ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

### 1. Актуальность работы

Конвертирование в никелевой, медно-никелевой и медной промышленности – один из основных пирометаллургических процессов переработки штейнов с целью получения черновой меди (в медном производстве) или фанштейна (в медно-никелевой или никелевой промышленности).

Уже более 100 лет наиболее часто используемым в цветной металлургии конвертером является конвертер Пирс–Смита. Это горизонтальный агрегат, который является поворотным, чтобы слить шлак, черновую медь или фанштейн. Процесс продувки сульфидов (штейна) в этих конвертерах периодический. Заливка штейна и слив товарного продукта и конвертерного шлака осуществляется через горловину при повороте конвертера.

Конвертирование – автогенный процесс. Выделяющегося при окислении сульфидов тепла достаточно не только для поддержания штейна в конвертере в расплавленном состоянии, но и для расплавления добавляемых в расплав холодных присадок, содержащих цветные металлы.

На сегодняшний день фурмы с защитной оболочкой нашли широкое применение в промышленной практике и позволяют не только увеличить кампанию конвертера, но, например, и интенсифицировать процесс за счет применения обогащенного кислородом дутья. Как известно, прямое увеличение обогащения дутья приводит к значительному износу футеровки конвертера, особенно его фурменного пояса.

В связи с вышесказанным задача применения фурм в защитной оболочке, решение которой позволяет увеличить кампанию конвертера, интенсифицировать процесс конвертирования или решить другие технологические задачи (например, улучшить показатели по обеднению шлаков), является актуальной.

### 2. Научная новизна

Диссертант на основании рассмотрения особенностей конвертирования никелевых штейнов, для смещения высокотемпературного фокуса дутья от огнеупорной

футеровки вглубь ванны конвертора предложил ограничить контакт кислорода дутья с расплавом в начальной стадии проникновения струи в ванну, используя защитный газ вокруг воздушной струи. В отличие от подобных используемых в металлургии меди устройств, где охлаждение достигается за счет уноса тепла нейтральным газом из зоны реакции, в основе идеи в предлагаемой работе лежит равенство скоростей истечения воздушного дутья и защитного газа на срезе фурм. Это обстоятельство позволяет в разы снизить потребляемый объем защитного газа и обеспечить защиту футеровки в наиболее агрессивных условиях при конвертировании никелевых штейнов.

Для реализации этой идеи была разработана методика расчета фурм в защитной оболочке, выполнена математическая модель. Новая методика позволила изготовить новые конструкции фурменных приборов, смонтировать их на действующем оборудовании, получить положительный результат и внедрить фурмы с защитной оболочкой на никелевых конверторах комбината "Южуралникель".

Предложенная методика позволила использовать дутье низких энергетических параметров, что, в свою очередь, дало возможность внедрять это оборудование без затрат на модернизацию и реконструкцию энергетического хозяйства действующих плавильных цехов.

В процессе внедрения были определены:

- оптимальная конструкция новых фурм с учетом параметров энергоносителей и дутьевые режимы;
- оптимальные составы защитного газа;
- механизмы защитного действия фурмы с защитной оболочкой на футеровку конвертера и его производительность;
- освоен новый способ обеднения конвертерных шлаков с использованием природного газа в качестве защитной среды.

### 3. Практическая значимость

В результате выполненных исследований диссертантом обоснована новая конструкция фурмы в защитной оболочке, даны пояснения по механизму воздействия защитной оболочки на химизм процесса конвертирования и защиты огнеупорной футеровки. Даны рекомендации по практическому использованию фурм в защитной оболочке для конвертеров, перерабатывающих медные, медно-никелевые и никелевые штейны. Также предложен способ повышения эффективности обеднения конвертерных шлаков методом перемешивания фаз и использования таких фурм с применением в качестве защитного агента природного газа.

Разработанная конструкция была внедрена в промышленное производство. Промышленная эксплуатация подтвердила существенное увеличение кампании конвертеров.

#### 4. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Степень достоверности результатов научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, обеспечивается применением теоретических основ физико-химических пирометаллургических процессов, математическими методами исследований на базе современного программного обеспечения, корректным использованием достаточного объема аналитической и статистической информации, сопоставлением теоретических обобщений и выводов с их практическим использованием при конвертировании цветных металлов. Результаты практического применения разработанной конструкции фурменного прибора подтвердили теоретические предположения и показали преимущество исследуемой фурмы при сопоставлении с ранее достигнутыми показателями.

Основные положения диссертационной работы использованы при разработке новой конструкции фурменного прибора и последующего внедрения фурмы в защитной оболочке на действующем производстве предприятия по переработке окисленных никелевых руд.

#### 5. Структура диссертации

Диссертационная работа Короля Ю.А. состоит из введения, литературного обзора, глав, посвященных методике расчета фурм с защитной оболочкой, их конструкции и внедрению в промышленную эксплуатацию, выводов, заключения и списка использованных литературных источников.

Во введении автором обоснована актуальность выполнения данного исследования, представлена цель работы, изложена основная научная идея, обозначены задачи, которые необходимо решить для выполнения поставленной цели, а также сформулированы защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В Главе 1 изложены теоретические основы конвертирования никелевых и медно-никелевых штейнов. Основное место уделено конвертированию никелевых штейнов на примере комбинатов «Южуралникель» и «Уфалейникель», подробно рассмотрены закономерности, особенности и недостатки конвертирования, а также рассмотрены вопросы обеднения шлаков в конвертерах, получения автоклавной кобальтовой массы и фاینштейна. Отдельные разделы литературного обзора посвящены анализу термического, химического и механического воздействия на огнеупорную футеровку конвертера, проанализированы причины короткой кампании конвертера, рассмотрены пути повышения эффективности работы конвертеров. Также в данной главе проанализирован зарубежный опыт использования фурм с защитной оболочкой. В завершении главы автор приходит к закономерному выводу о целесообразности решения ряда технологических проблем конвертирования с помощью внедрения фурм с защитной оболочкой.

В Главе 2 выполнен анализ известных методик расчета фурм с защитной оболочкой. Диссертантом справедливо отмечается, что существующие методики не вполне отвечают специфике конвертирования никелевых штейнов. Главной отличительной особенностью разработанной автором методики является принятие скорости кислородсодержащего дутья равной скорости потока защитного газа.

Диссертант представляет свою методику в виде 8 последовательно решаемых уравнений, позволяющих определить основные технологические параметры фурм с защитной оболочкой, являющихся основой для обоснования конструкции фурмы. В соответствии с этой методикой на первом этапе рассчитывается объем воздушного дутья, подаваемого через фурму. Далее рассчитываются параметры (давление и скорость) на срезе фурмы для штейновых и шлаковых расплавов. Завершающей частью главы является математическая модель расчета, выполненная в среде Excel.

Глава 3 посвящена конструкции фурмы с защитной оболочкой. Представлены требования к конструкции фурм, сама конструкция, обсуждены особенности конструкции. С учетом разработанной конструкции выполнена и смонтирована установка подачи защитной среды в фурменный прибор для последующего вдувания в расплав конвертера. Регулировка количества подаваемого защитного газа и расход конвертерного воздуха осуществлялась с пульта управления конвертера. Опыт практического внедрения разработанной автором конструкции подтвердил заложенные в расчет теоретические предпосылки.

В главе 4 представлены результаты внедрения разработанной конструкции фурмы с защитной оболочкой. Этот раздел работы является наиболее емким с позиций изложения результатов работы и анализа полученных промышленных данных. Рассмотрены результаты испытаний фурм с защитной оболочкой азотом. Показано, что кампания конвертеров набора увеличилась с 5-8 до 16-34 суток, кампания конвертеров набора и варки автоклавной массы – с 13-15 до 22-39 суток, а кампания конвертеров обеднения – в 1,4-1,5 раза. Следует заметить, что это очень хорошие результаты. Отмечено, что в целом за период наблюдений в течение полутора лет конвертера с фурмами с защитной оболочкой показали небольшой рост в переработке штейна – 4,4%, довольно существенный рост в переработке отходов – на 18,3% и некоторое снижение в переработке холодных присадок – на 6,9%. В данной главе также рассмотрены результаты использования в конвертерах обеднения фурм с защитной оболочкой в виде азота и природного газа, обсуждено влияние такой защиты на реакции обменного взаимодействия. Завершается глава разделом, посвященным механизму защитного действия фурм с защитной оболочкой, в котором соискатель высказывает интересные соображения об этом механизме.

Диссертационная работа завершается выводами, содержащими адекватные обобщающие оценки результатов работы, заключением и списком литературы, свидетельствующим о большой работе, проделанной автором при подготовке диссертации.

## 6. Замечания и вопросы

По диссертационной работе имеется ряд замечаний и пожеланий:

6.1 Объем литературного обзора представляется чрезмерным. Диссертант излишне подробно излагает теоретические основы процесса конвертирования, которые подробно рассмотрены во многих монографиях. Достаточно было бы остановиться на специфических особенностях конвертирования никелевых штейнов, не наводняя обзор теоретическими выкладками процесса, существующего уже более 100 лет;

6.2 На стр. 18 автор пишет о том, что никелевые штейны представляют собой сплав сульфидов и металлов системы Fe-FeS-Ni-NiS-CoS-CuS. Во-первых, никелевые штейны, если их даже рассматривать упрощенно с позиций диаграммы Fe-Ni-S, ограничены линией псевдобинара FeS-Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub>, а не линией FeS-NiS. Также в отношении меди следует говорить о существовании в сульфидных расплавах ближнего порядка на основе формулы Cu<sub>2</sub>S, а не CuS – сульфида, неустойчивого при температурах процесса конвертирования никелевых штейнов;

6.3 В формуле 22 Главы 2 диссертационной работы (см. стр. 47) желательно было бы указать диапазон показателя адиабаты;

6.4 На стр. 54 в Главе 2 соискатель отмечает: *«В основе расчета лежит главный посыл, что для ограничения взаимодействия кислорода дутья с расплавом необходимо не допустить их взаимодействие на срезе фурмы. С этой целью вокруг воздушной струи создается поток газа, не допускающего смешение и защищающий воздушное дутье от контакта с металлом. Для обеспечения этого условия скорость истечения воздуха и защитного газа из фурмы в расплав конвертера должны быть одинаковыми»*. При этом, для расчетов параметров фурм с защитной оболочкой можно применять методику, предложенную автором, указывая, что давление, расход и соответственно скорость защитного газа должны быть не менее рассчитанных. Оппонент полностью согласен с основным постулатом соискателя, что для увеличения срока службы фурменного пояса конвертера необходимо ограничение взаимодействия кислородсодержащего дутья с расплавом вблизи (на срезе) фурмы. Наличие высокотемпературного факела на срезе фурмы приводит к ускоренному износу фурменного пояса. Однако следующее утверждение автора следует изложить более расширенно, а именно: *«Для обеспечения этого условия скорость защитного газа из фурмы в расплав конвертера должна быть РАВНА ИЛИ ВЫШЕ, чем скорости истечения воздуха»*. Увеличение давления (скорости истечения) защитного газа на взгляд оппонента позволит сместить зону высоких температур вглубь конвертера и решить проблему выгорания футеровки НАД фурменным поясом;

6.5 Оппонент полностью согласен с указанным автором допустимым диапазоном щели между фурмами в 1-3 мм. Однако, было бы очень интересно сравнить расходные показатели по азоту и воздушному дутью для предельных значений данного диапазона и их влияние на тепловой баланс работы конвертера;

6.6 В Главе 4 соискатель достаточно вольно обращается с терминами «термодинамическая константа равновесия» обменного взаимодействия между никелем (кобальтом) и железом и «условная константа равновесия». Во-первых, поскольку в работе представлены численные данные по условной константе равновесия, следовало бы привести формулу ее расчета, а не ограничиться ссылкой на литературные данные. Во-вторых, рассуждая на стр. 84 (последний абзац) об изменении константы равновесия реакции сульфидирования кобальта железом штейна диссертант говорит об ее изменении в десятки раз, забывая уточнить, что это условная константа равновесия, так как термодинамическая константа равновесия реакции зависит применительно к открытым металлургическим системам только от температуры и в данном случае не может изменяться в столь широком диапазоне.

Указанные замечания по работе не снижают научной и практической значимости работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

Диссертация Короля Ю.А. является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, которая решает актуальную научно-техническую задачу по коренному повышению стойкости футеровок конвертеров и длительности кампаний их работы при конвертировании штейнов, получаемых при переработке окисленных никелевых руд.

Основные решения по разработке новых фурм, фурменных приборов и дутьевых режимов были внедрены на комбинате «Южуралникель» с большим экономическим эффектом.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы на предприятиях цветной и черной металлургии.

Диссертационная работа и автореферат находятся в полном соответствии и по содержанию отвечают паспорту специальности 15.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Результаты работы достаточно полно отражены в опубликованных, научных изданиях, статьях и автореферате диссертации.

Представленная диссертационная работа отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание

ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Король Юрий Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Официальный оппонент:

Заведующий лабораторией пиromеталлургии  
ООО «Институт Гипроникель»,  
Чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор

Цымбулов  
Леонид Борисович

22.11.2018 г

195220, Российская Федерация  
г. Санкт-Петербург,  
Гражданский пр., д.11  
Тел. +7 812 335 32 87

Подпись Цымбулова Леонида Борисовича заверяю:

Директор по исследованиям и разработкам  
ООО «Институт Гипроникель», к.г.-м.н.

С.М. Козырев