Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LV, вып. 3, 1975 г.

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА И АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО КОНВЕРТИРОВАНИЯ В ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Доктор техн. наук Д. А. ДИОМИДОВСКИЙ,
канд. техн. наук А. А. ГАЛЬНБЕК
(Ленинградский горный ин-т)

В современной пирометаллургии цветных металлов одно из важнейших мест принадлежит конвертерному переделу, который, наряду с рудной плавкой, является основным узлом пирометаллургической схемы производства никеля и меди. На заводах СССР конвертирование применяется для переработки медных, медно-никелевых, никелевых, полиметаллических и кобальтовых штейнов, а также ферроникеля.

Конвертерный процесс является весьма эффективным металлургическим методом и обладает рядом важных достоинств: не нуждается в углеродистом топливе или электроэнергии, характеризуется высокой удельной производительностью агрегатов, имеет сравнительно простое аппаратурное оформление и т. д. Однако в существующем виде конвертированию присущи и весьма значительные недостатки. Самым главным из них, имеющим принципиальное значение, является ярко выраженная периодичность процесса, которая характеризует как течение физико-химических превращений в агрегате, так и режим выполнения рабочих операций. Периодичность конвертирования исключает возможность непрерывного поточного производства в рамках пирометаллургической схемы, хотя смежные с конвертированием переделы (рудная плавка, обеднение конвертерных шлаков) позволяют это. Периодичность конвертирования затрудняет также утилизацию серы и тепла отходящих газов и обуславливает низкий коэффициент использования конвертеров под дутьем, что снижает их производительность и приводит к значительным потерям тепла. Цикличность процесса не позволяет эффективно механизировать и автоматизировать его.

Другим существенным недостатком как горизонтальных, так и вертикальных конвертеров является их нестационарность. Она крайне затрудняет герметизацию агрегатов, что ведет к загазованности цехов и еще более осложняет проблему утилизации серы и тепла газов. Нестационарность усложняет и удорожает конструкцию конвертеров.

Существующий конвертерный процесс сопровождается получением богатых шлаков, в большинстве случаев требующих значительных затрат на последующее обеднение. Значительным минусом обычных

(с боковым дутьем) конвертеров является также невозможность использования обогащенного кислородом дутья и быстрый износ футеровки. Необходимость коренного усовершенствования металлургического производства и недостатки существующего конвертерного процесса выдвинули неотложную задачу замены периодического конвертирования непрерывным.

В 1956 г. в Ленинградском горном институте по поручению Министерства цветной металлургии СССР были начаты работы в направлении создания непрерывного конвертерного процесса, которые явились первыми исследованиями в области непрерывного конвертирования не только в СССР, но и в мире.

Исследования, предпринятые в 1956—1957 гг., велись по трем вариантам переработки жидкого штейна: 1) продувки верхним дутьем в слое; 2) окисления во взвешенном состоянии; 3) окисления в циклонном аппарате. В результате поисковых опытов направлением дальнейших исследований была выбрана верхняя продувка в слое [6]. Другие варианты не обеспечивали получение приемлемых показателей.

Первые укрупненные испытания процесса непрерывного конвертирования с верхним подводом дутья были выполнены на Балшахском комбинате на установке емкостью до 1,5 *т* по медному штейну [4]. Испытания подтвердили возможность осуществления принятой схемы конвертерного процесса и позволили получить ряд показателей в части усвоения дутья и флюса, шлакообразования, получения «белого матта» и черновой меди и др. Дальнейшие испытания по непрерывному конвертированию проводились ЛГИ совместно с институтом «Гипроникель». Процесс исследовался применительно к никелевым штейнам на установке емкостью около 3 *т* на Уфалейском никелевом заводе [8] и применительно к ферроникелю на установке емкостью около 0,6 *т* в опытном цехе института «Гипроникель» [5]. Во всех работах конструкция опытных установок не позволяла организовать длительные непрерывные испытания процесса, поэтому основной задачей исследований являлось изучение закономерностей конвертирования при верхнем подводе дутья с элементами непрерывного процесса (подаче исходных материалов и выпуске жидких продуктов под дутьем).

Следующим этапом разработки процесса явились испытания на укрупненной установке института «Гипроникель» [1, 2] емкостью по штейну до 3 *т*, производительностью по воздуху до 25 *нм*^{3}/*мин*, по техническому кислороду до 1,5 *нм*^{3}/*мин*, оборудованной миксером, позволявшим осуществлять длительные продувки в непрерывном режиме. Помимо технологии, на этой установке отрабатывались наиболее важные конструктивные узлы агрегата непрерывного конвертирования. Испытания велись преимущественно на медно-никелевых и никелевых штейнах; некоторые на медных и полиметаллических штейнах. В результате исследований был получен большой объем технологических тепловых и аппаратурных данных, позволявших перейти к заключительной стадии разработки процесса — опытно-промышленным испытаниям.

Опытно-промышленные испытания процесса непрерывного конвертирования было намечено провести для медно-никелевого штейна и ферроникеля. Установка для штейна была запроектирована на горно-металлургическом комбинате «Печенганикель» для ферроникеля на Буруктальском никелевом заводе комбината «Южуралникель». Установка комбината «Печенганикель» сооружена в 1971 г. и в настоящее время находится в эксплуатации. Строительство второй установки должно быть закончено в начале 1974 г.

Разработка непрерывного конвертирования связана с проблемами, касающимися его особенностей как составной части металлургической схемы. Один из основных вопросов состоит в том, в какой степени непрерывным должен быть этот процесс? Существующие рудоплавильные и обеднительные переделы цветной металлургии фактически являются непрерывными по характеру протекающих в них физико-химических, тепловых и гидроаэродинамических процессов и периодическими по загрузке и выпуску материалов и продуктов. Непрерывное конвертирование в принципе можно организовать аналогично рудоплавильным переделам: периодическую загрузку исходным штейном или ферроникелем при непрерывной подаче дутья и периодический выпуск конечного обогащенного продукта и шлака. Такой процесс условно можно назвать полунепрерывным. При полунепрерывном конвертировании связь между агрегатами в технологической цепи может быть такой же, как и при существующем процессе (ковшевой транспорт расплавов мостовыми кранами), а сами агрегаты могут быть пространственно разобщены.

Полностью непрерывный конвертерный процесс характеризуется непрерывностью загрузки и выпуска материалов и продуктов. Обеспечение непрерывного выпуска требует, помимо соответствующей организации конвертирования, определенной перестройки смежных переделов, имеющих сейчас дискретный характер загрузки и выпуска, либо оснащения межпредельных связей, буферными емкостями (миксерами). В первом случае агрегаты технологической цепи должны составлять поточную линию, связанную непрерывным транспортом расплавов, во втором агрегаты цепи могут быть разобщены, а транспорт расплавов может оставаться ковшевым.

Как показывают расчеты, наибольший экономический эффект достигается при непрерывном поточном производстве. Однако этот вариант практически может быть реализован лишь при строительстве новых цехов или значительном расширении или реконструкции действующих. Внедрение процесса в действующих цехах наиболее просто осуществляется организацией полунепрерывного конвертирования или применением миксеров. Экономическая целесообразность определяется совокупностью частных преимуществ непрерывного конвертирования перед обычным (легкостью утилизации серы и тепла отходящих газов, увеличением кампании агрегатов, возможностью применения обогащенного дутья с переработкой в конвертере части рудного сырья, устранением загазованности в цехе, получением более бедных шлаков и др.).

С точки зрения управления процессом, полностью непрерывный режим конвертирования предпочтительнее, чем полунепрерывный. В этом случае задача управления сводится к стабилизирующему регулированию, например, по каналу «содержание данного компонента в конечном продукте — расход кислорода дутья». Условием успеха является надежная непрерывная работа загрузочных (заливочных) и выпускных устройств агрегата, исключающая появление больших возмущений. Полунепрерывный процесс отличается дискретным характером нагрузки по приходу и расходу расплавов, поэтому является значительно более сложным. Во многих своих особенностях он повторяет обычный периодический процесс с той существенной разницей, что полунепрерывный конвертер во время выпусков опорожняется частично и всегда находится под дутьем. Получение при этом заданного состава конечного продукта и соблюдение необходимых гидроаэродинамических параметров процесса предъявляет довольно жесткие требования к режиму выпусков и заливок расплава [3], обеспечение кото-

рых связано с определенными трудностями. Для иллюстрации сказанного на рис. 1 приводится диаграмма хода продувки медно-никелевого штейна на опытно-промышленном агрегате комбината «Печенганикель» в полунепрерывном режиме при заданном составе выпускаемой обогащенной массы по железу 13%. Хотя в ходе процесса в целом выдерживался заданный состав выпускаемой массы (за исключением первого выпуска, который был произведен еще в ходе набора), несоответствия расчетного и фактического режимов значительны. Это в первую очередь определяется трудностями соблюдения заданной дозировки выпусков и заливок. При четкой организации оперативного контроля за составом обогащенного продукта необходимая корректировка хода полунепрерывного процесса не вызывает затруднений.

Несмотря на недостатки, режим полунепрерывного конвертирования имеет существенное преимущество перед полностью непрерывным: получение при прочих равных условиях более бедных шлаков, так как средний состав обогащенной массы в продувочной части полунепрерывного конвертера всегда беднее, чем в непрерывном агрегате, где этот состав в любой момент времени постоянен и отвечает конечному продукту.

Аппаратурно полностью непрерывный конвертерный процесс решается сложнее, чем полунепрерывный. Сложность касается не собственно конвертерного агрегата, а его связей по расплаву. Для конечного обогащенного продукта непрерывный конвертер в любом варианте осуществления процесса (поточном или миксерном) требует выпускных устройств, обеспечивающих непрерывный и достаточно равномерный выпуск расплава, например, сифонов. Аналогичными устройствами должны быть оборудованы рудоплавильные печи, работающие в поточной линии с непрерывным конвертером. При миксерном варианте возможностью равномерной непрерывной подачи должен обладать миксер для исходного расплава (штейна, ферроникеля). Поскольку устройства непрерывного выпуска и транспорта расплавов устойчиво работают только при больших расходах последних, организация полностью непрерывного процесса особенно осложняется при небольшой производительности агрегата. По этой же причине затруднены укрупненные и полупромышленные испытания такого процесса.

Непрерывное конвертирование, как и большинство других непрерывных переделов, характеризуется ярко выраженной пространственной стадиальностью физико-химических, гидроаэродинамических и тепловых процессов.

При обычном конвертировании эти процессы преимущественно дифференцированы во времени. Пространственная стадиальность в агрегате непрерывного конвертирования выражается наличием в ванне печи нескольких зон, отличающихся своими характеристиками. Независимо от назначения агрегата, режима его работы и других особенностей в конвертере прослеживаются пять зон: продувки, шлакообразования, промывки шлака, отстаивания шлака и отстаивания продукта [7] (рис. 2). В зону продувки *I* сверху подается дутье. Параметры дутья обеспечивают возникновение в ванне вертикально замкнутого циркуляционного потока расплава *1*, охватывающего все зоны агрегата. Непосредственно в месте ввода дутья в ванну образуется дутьевая воронка *2*. В зоне продувки расплав перемешивается наиболее интенсивно. Для этой зоны характерно высокое содержание кислорода и недостаток флюса, вследствие чего расплав сильно переокисляется.

В зону шлакообразования *II* загружаются флюс и холодные добавки. Перемешивание здесь менее интенсивно, но достаточно для

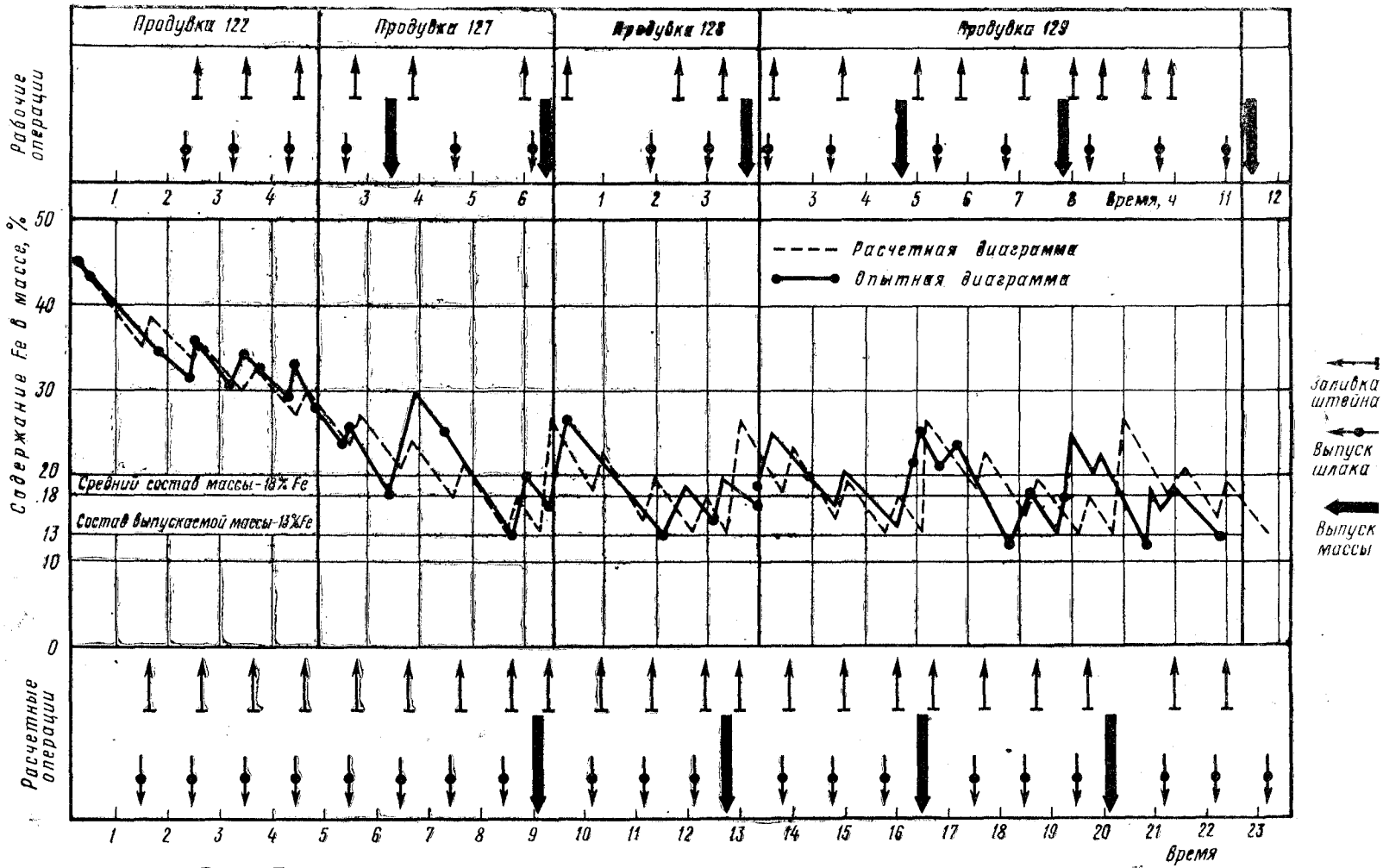


Рис. 1. Диаграмма хода конвертирования медно-никелевого штейна в полунепрерывном режиме

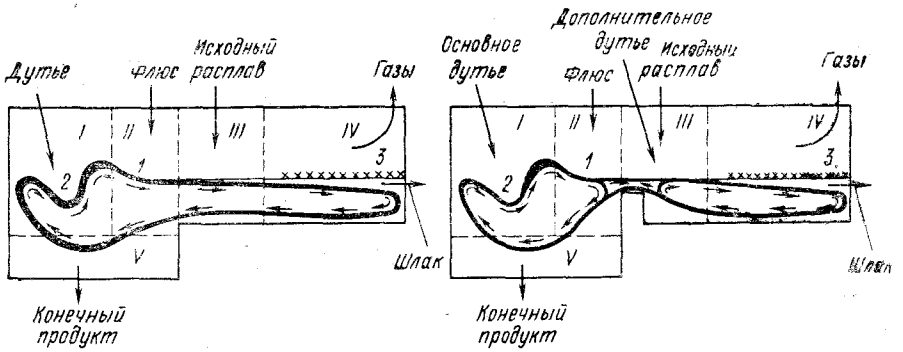


Рис. 2. Схема агрегата непрерывного конвертирования:
а — однокамерного; *б* — двухкамерного

активного усвоения флюса. В этой зоне образуется первичный богатый цветными металлами шлак.

Исходный расплав подается в зону промывки шлака *III*, в которой формируется шлаковый слой и происходит дальнейшее усвоение флюса.

В зоне отстаивания шлака *IV* движение расплава наименее интенсивно. Конвертерный шлак отстаивается перед сливом. На поверхности шлакового слоя обычно поддерживается слой флюса *3* («флюсовая шуба»), способствующий дополнительному насыщению шлака флюсом. Шлак сливается из-под «шубы».

Обогащенный продукт сливается из зоны отстаивания продукта *V*, расположенной под зонами продувки и шлакообразования.

Зоны продувки, шлакообразования и отстаивания продукта в совокупности образуют продувочную часть агрегата, зоны промывки и отстаивания шлака — шлаковую (обеднительную) часть. Обе части могут быть конструктивно объединены в общей камере агрегата (рис. 2, *а*) или обособлены (рис. 2, *б*). Во втором случае камеры разделяются переливным порогом.

В двухкамерном агрегате непрерывного конвертирования расплав из шлаковой камеры по мере заливки в агрегат исходного расплава переливается через порог и поступает в продувочную камеру. Первичный шлак, образующийся в продувочной части агрегата, движется навстречу конвертируемому расплаву в шлаковую камеру. Поскольку массо- и теплообмен между продувочной и шлаковой частями ванны в двухкамерном агрегате во много раз слабее, чем в однокамерном, обеспечить тепловую и гидродинамическую стабильности шлаковой камеры за счет дутья, подаваемого в зону продувки, как правило, невозможно. Поэтому некоторое количество дутья в двухкамерном агрегате должно быть подано в зону промывки шлака.

Двухкамерный агрегат позволяет получить обедненные конвертерные шлаки. Состав массы в шлаковой камере, благодаря ее отделению от продувочной части, значительно беднее, чем в последней, и приближается к составу исходного расплава. При этом богатый первичный шлак, поступающий из продувочной камеры, обедняется за счет приведения его в равновесие с бедной массой в шлаковой камере. Для успешного протекания этого процесса дополнительное дутье, подаваемое в зону промывки, должно обеспечивать хорошее перемешивание (промывку) первичного шлака и массы.

Применение одно- или двухкамерного агрегатов определяется видом сырья и особенностями технологической схемы. Однокамерный

агрегат целесообразен в тех случаях, когда конечный продукт слабо обогащен по сравнению с исходным расплавом, например, при рафинировании сырого ферроникеля. Конвертирование некоторых видов богатых материалов, таких, как медные штейны с высоким содержанием меди, также можно вести в однокамерном агрегате; количество конвертерных шлаков в этом случае невелико, получить же значительный эффект обеднения промывкой шлаков богатым исходным штейном невозможно. Однокамерный процесс целесообразен и в тех схемах, где сама рудная плавка сопровождается получением богатых шлаков, подлежащих дальнейшему обеднению. Если количество шлака рудной плавки велико по сравнению с конвертерным, последний может быть направлен на общий обеднительный передел без предварительного обеднения в конвертере.

Для большинства технологических схем с переработкой медных, медно-никелевых и никелевых штейнов и обогащением ферроникеля предпочтительно непрерывное конвертирование в двухкамерном агрегате. При большой производительности заводов возможен вариант разделения двухкамерного агрегата на две самостоятельные печи, в которых проходят отдельные стадии процесса конвертирования.

На ход непрерывного конвертирования исключительно большое влияние оказывает гидроаэродинамика процесса. Для обеспечения требуемых показателей характер движения расплава в различных участках ванны должен быть неодинаковым. В зонах продувки и шлакообразования необходимо энергичное перемешивание жидкой, газообразной и твердой фаз для более полного усвоения флюса и кислорода дутья, т. е. получения возможно более тесного и одновременного контакта всех взаимодействующих фаз. Воздействие дутья, газообразных продуктов конвертирования и движущегося расплава не позволяет кусковому флюсу удерживаться непосредственно в зоне продувки и выносит его в зону шлакообразования. Как и в существующих конвертерах [9, 10], в зоне продувки непрерывного агрегата преимущественно происходит окисление компонентов с образованием в случае продувки штейнов пересыщенного по магнетиту расплава. В зоне шлакообразования гидродинамика ванны должна обеспечить кинетику восстановления избыточных окислов и образование компонентов шлака.

В отличие от зон продувки и шлакообразования, в зоне отстаивания шлака допустимо лишь относительно вялое циркуляционное движение расплава, не препятствующее осаждению из шлака взвешенных частиц массы. При этом циркуляция расплава должна быть достаточной для теплопереноса в эту зону, так как собственное тепловыделение в ней отсутствует.

Зона промывки шлака в однокамерном агрегате играет второстепенную технологическую роль, поскольку существенного обеднения при заливке исходного расплава через шлак не происходит. Гидродинамический режим этой зоны при однокамерном варианте является промежуточным между энергичным перемешиванием в зоне шлакообразования и слабой циркуляцией в зоне отстаивания шлака. В двухкамерном агрегате зона промывки приобретает важное значение, так как для обеднения шлака перемешиванием фаз в ней должен поддерживаться интенсивный гидродинамический режим.

В зоне отстаивания продукта необходима достаточно активная циркуляция массы для предотвращения выпадения настылей, например, магнетитовых. Вместе с тем нельзя допустить распространения области интенсивного перемешивания зоны продувки на зону отстаи-

вания во избежание попадания окислов и шлаковых включений на слив конечного продукта.

Необходимый гидродинамический режим непрерывного конвертирования обеспечивается условиями подвода дутья и геометрией ванны агрегата. Формирование вертикально замкнутого циркуляционного потока расплава с уменьшающейся по длине агрегата интенсивностью перемешивания достигается применением верхнего дутья, подаваемого наклонно к поверхности ванны в сторону хвоста печи. Угол подвода дутья может изменяться от 70 до 85°, причем с увеличением угла снижается интенсивность циркуляции. Большое значение имеет высота расположения фурм над уровнем ванны и дутьевая нагрузка на единицу площади сечения насадок фурм, определяющие глубину проникновения дутья в расплав. Уменьшение высоты расположения фурм и повышение дутьевой нагрузки увеличивает глубину проникновения дутья [9] и, как следствие, заглубляет циркуляционный поток при одновременном ослаблении направленного перемещения расплава в поверхностных слоях ванны.

Рассмотренные особенности движения расплава в различных зонах приводят к необходимости иметь переменную глубину ванны по длине агрегата (рис. 2). При этом сопряжение глубин отвечает границе между продувочной и шлаковой частями конвертера. В зависимости от рода перерабатываемого расплава и степени обогащения дутья кислородом соотношение глубин ванны может изменяться от 0,4 до 0,8.

Наиболее сложным является гидродинамический режим двухкамерного агрегата. Условия продувки в этом случае, с одной стороны, должны обеспечивать беспрепятственное перемещение шлака из продувочной камеры в шлаковую, а с другой — не допускать переброса богатой массы через разделительную перегородку. Переполнение шлаком продувочной камеры ведет к расстройству хода процесса, переброс массы — к обогащению сливаемых шлаков. Помимо параметров дутья и геометрии ванны, нормальный режим работы двухкамерного агрегата требует поддержания определенного перепада в уровнях масс в камерах.

Наиболее ответственными конструктивными узлами агрегата непрерывного конвертирования являются дутьевые фурмы, свод над областью подачи дутья и разделительный порог (в двухкамерном агрегате). На фурмы и свод воздействуют струи расплава, выбрасываемые из дутьевых воронок. Исследования показывают, что тепловые нагрузки, которые воспринимают эти элементы, могут достигать на отдельных участках 10^6 *ккал/м²·ч* и более [2]. Стойкость свода агрегата достигается устройством над областью продувки водоохлаждаемых кессонированных секций, снабженных арматурой для удержания естественного гарниссажа. В зависимости от производительности фурм и параметров дутья высота расположения кессонов свода должна быть не меньше предельно допустимой, определяемой условиями выбрасывания расплава из дутьевых воронок.

Более сложной задачей является обеспечение стойкости дутьевых фурм. Снижение тепловых нагрузок на фурмы также может быть достигнуто увеличением высоты их расположения над уровнем расплава. Однако при этом ухудшается гидродинамический режим ванны в целом и, кроме того, на фурмах образуются настыли, которые нарушают нормальный подвод дутья и требуют периодической очистки. В настоящее время стойкость применяемых при испытаниях процесса непрерывного конвертирования фурм еще недостаточна (не превышает 300—400 *ч*).

Ванна в двухкамерном агрегате разделяется охлаждаемым порогом, представляющим собой регистр медных труб. Расстояние между трубами выбирается с расчетом заполнения их естественным гарниссажем. Большей своей частью порог расположен в энергично перемешиваемой штейновой или металлической ванне и воспринимает высокие тепловые нагрузки, достигающие $5 \cdot 10^5$—10^6 *ккал/м²·ч*. Система охлаждения порога должна не только обеспечивать высокие коэффициенты теплоотдачи, но и быть безопасной, исключающей взрыв в случае прогорания охлаждаемого элемента и контакта охладителя с расплавленным штейном или металлом. При разработке конструкции агрегата непрерывного конвертирования было выбрано водо-воздушное охлаждение. В ходе исследований найдены параметры водо-воздушной смеси, обеспечивающие высокий теплосъем при одновременной взрывобезопасности. Испытания в опытно-промышленном масштабе подтвердили эффективность разработанной конструкции порога (рис. 3) и системы его охлаждения.

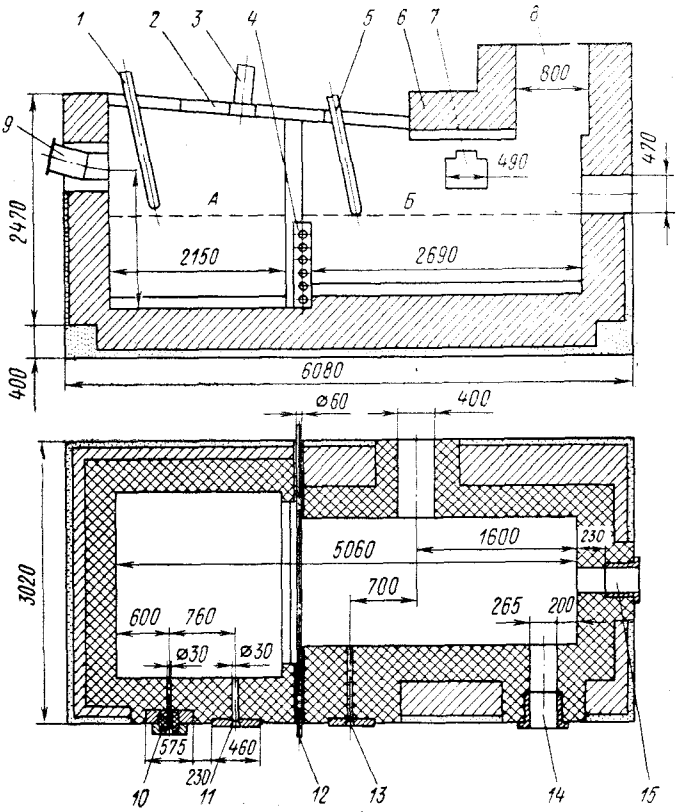


Рис. 3. Опытно-промышленный агрегат непрерывного конвертирования ГМК «Печенганикель»:

А — продувочная камера агрегата; *Б* — обеднительная камера агрегата; *1* — главные фурмы; *2* — кессонированный свод; *3* — флюсовая течка; *4* — охлаждаемый порог; *5* — перемешивающие фурмы; *6* — огнеупорный свод; *7* — окно для заливки штейна; *8* — газоотвод; *9* — форсунка для разогрева; *10* — главный шпур для выпуска файнштейна; *11* — резервный шпур; *12* — труба охлаждаемого регистра порога; *13* — шпур для опорожнения обеднительной камеры; *14* — боковое шлаковое окно; *15* — торцевое шлаковое окно

Наибольший объем испытаний процесса непрерывного конвертирования выполнен на медно-никелевых штейнах на укрупненной установке института «Гипроникель» и опытно-промышленной установке ГМК «Печенганикель». Испытания проводились как на одно-, так и двухкамерном вариантах конструкции агрегата. В исследованиях технологии непрерывного конвертирования в однокамерном агрегате основное внимание уделялось изучению влияния различных факторов на состав шлаков, сливаемых из агрегата.

Зависимость между содержанием цветных металлов в шлаках непрерывного конвертирования и степенью обогащения массы в агрегате (соотношение Ni:Cu в массе составляло около двух) по данным испытаний на укрупненной установке (рис. 4) свидетельствует о возможности получения в однокамерном агрегате при работе на достаточно глубоко обогащенных массах шлаков (с остаточным содержанием железа порядка 10—15%), практически не отличающихся от обычных конвертерных.

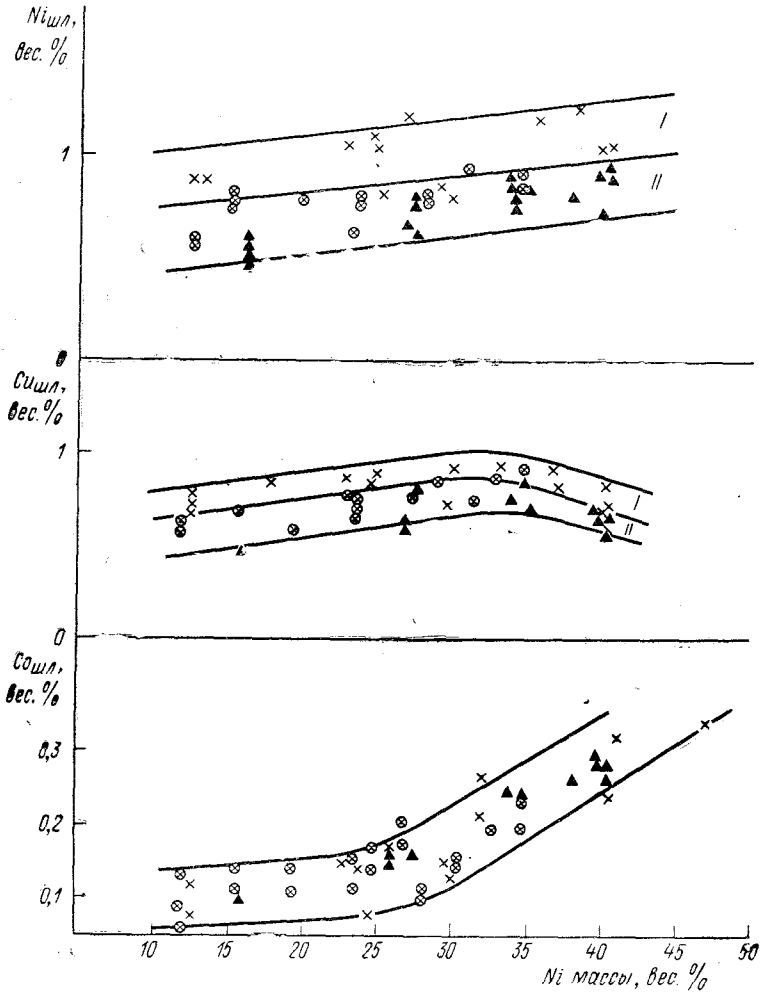


Рис. 4. Зависимость содержаний цветных металлов в шлаках укрупненного однокамерного агрегата от степени обогащения массы:
I — шлаки, слитые под дутьем; *II* — шлаки, слитые после отстаивания в агрегате

Содержание цветных металлов в сливаемых под дутьем шлаках в большей мере зависит от удельной нагрузки по дутью и размеров агрегата, чем от степени обогащения массы. Приведенные на рис. 4 данные укрупненных испытаний отвечают удельной нагрузке около 10—12 *нм*^{3}/*мин* на 1 *м*^{3} объема ванны. Как видно из этих данных, для масштаба укрупненного агрегата (емкость по штейну около 3 *т*) указанная удельная нагрузка по дутью позволяла выпускать под дутьем шлаки, мало отличающиеся от отстойных. Аналогичные данные, полученные на опытно-промышленном агрегате емкостью по штейну около 25 *т* при тех же удельных нагрузках (рис. 5), доказывают, что шлаки, слитые под дутьем, значительно богаче никелем и медью, чем отстойные (на содержании кобальта условия отстаивания не сказываются ввиду преимущественно электрохимического механизма потерь этого металла в шлаках).

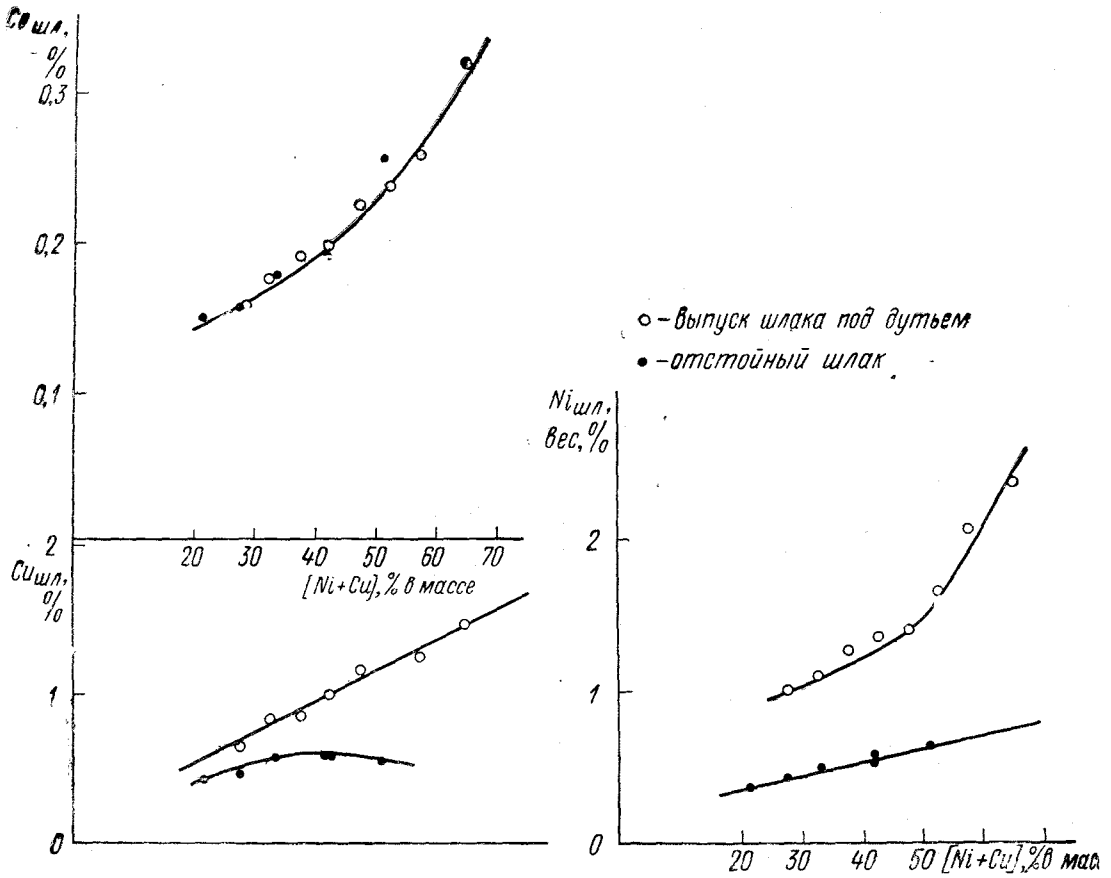


Рис. 5. Зависимость содержаний цветных металлов в шлаках опытно-промышленного однокамерного агрегата от степени обогащения массы

Кислотность шлаков непрерывного конвертирования при стабилизировавшемся ходе процесса составляла в испытаниях 20—25% SiO_2. При этом в качестве флюса использовались как относительно чистые кусковые кварциты с содержанием SiO_2 75—80%, так и низкокачественный флюс — речной песок, содержащий 67—68% SiO_2 и 14—16% Al_2O_3. Содержание магнетита в сливаемых шлаках в целом соответствовало пределам, характерным для шлаков обычного процесса, и ко-

лебалось в зависимости от кислотности шлака и состава массы, над которой получен шлак, в диапазоне 15—25% Fe_3O_4.

Условия получения медно-никелевого файнштейна отрабатывались на двухкамерном агрегате установки ГМК «Печенганикель» в полунепрерывном режиме конвертирования. Испытания показали, что получение кондиционного по существующим нормам файнштейна с содержанием 2—3% железа и 23—24% серы требует приведения периода варки в непрерывном конвертере в соответствие с особенностями, присущими обычному периодическому процессу при пониженных температурах ванны с получением «свернутых» шлаков. После выпуска под дутьем части файнштейна в ходе последующего набора массы «свернутые» шлаки разжижаются, не нарушая процесса. Без «сворачивания» шлаков при непрерывной продувке могут быть получены файнштейны с содержанием серы около 21—22%.

Испытания подтвердили, что степень усвоения кислорода дутья при верхней продувке штейнов составляет не менее 90—92%.

В отходящих газах непрерывного конвертера ГМК «Печенганикель» по анализам проб, взятых в газоходе за агрегатом (дутье воздушное), концентрация SO_2 в газах обычно составляла 9—12% (рис. 6). Колебания в содержании SO_2 определялись в основном изменениями в тяговом режиме агрегата, влиявшем на величину подсосов воздуха в печь.

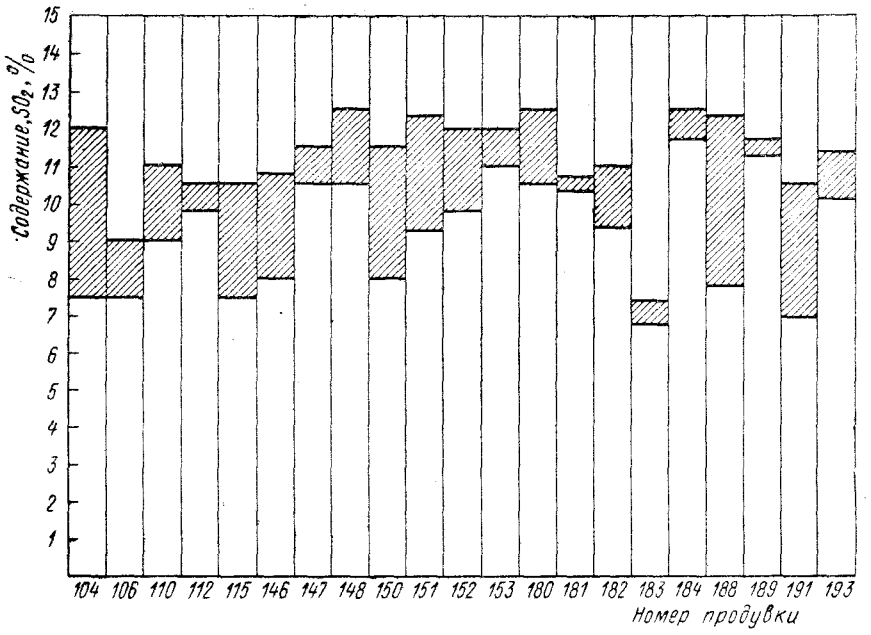


Рис. 6. Содержание сернистого ангидрида в отходящих газах опытно-промышленного агрегата (по измерениям в газоходе)

Выполненные ЛГИ совместно с институтом «Гипроникель» и заводами исследования по разработке нового процесса и агрегата непрерывного конвертирования расплавов цветной металлургии свидетельствуют о реальности этого процесса и его большом значении для развития цветной металлургии.

Состояние разработок и исследований по непрерывному конвертированию утверждает приоритет СССР в области разработки этого процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гальнбек А. А., Шмонин Ю. Б. Некоторые особенности шлакового режима непрерывного конвертирования штейнов. Изв. вузов «Цветная металлургия», 1969, № 1.
2. Гальнбек А. А., Декопов Ю. Д. Тепловая работа гарниссажных элементов металлургической печи. В сб.: Новые исследования в цветной металлургии и обогащении. Изд. ЛГИ, 1969.
3. Гальнбек А. А., Шмонин Ю. Б. Технологический режим и размеры зоны продувки агрегата для непрерывного конвертирования штейнов. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 44, 1969.
4. Непрерывное конвертирование штейнов. «Цветные металлы», 1959, № 2. Авт.: Д. А. Диомидовский, Л. М. Шалыгин, А. А. Гальнбек, И. А. Южанинов.
5. Испытания процесса непрерывного конвертирования ферроникеля. «Цветные металлы», 1971, № 2. Авт.: А. А. Гальнбек, И. А. Южанинов, Ю. Д. Декопов, О. И. Желдыбин.
6. Способ конвертирования медных и медно-никелевых штейнов. Авт. свид. № 120646, 1959. Авт.: Д. А. Диомидовский, Л. М. Шалыгин, А. А. Гальнбек. И. А. Южанинов.
7. Способ конвертирования металлургических расплавов. Авт. свид. № 274915, 1970. Авт.: А. А. Гальнбек, Д. А. Диомидовский, Л. М. Шалыгин, И. А. Южанинов, С. Д. Шереметьев, Б. Ф. Вернер, Я. Х. Осипов, В. И. Михайлов.
8. Шалыгин Л. М., Диомидовский Д. А. Испытания процесса непрерывного конвертирования никелевых штейнов. «Цветные металлы», 1963, № 8.
9. Шалыгин Л. М. Конвертерный передел в цветной металлургии. «Металлургия», 1965.
10. Явойский В. И. Теория процессов производства стали. «Металлургия», 1967.