

роликовых конвейеров – гофрировщик-подпрессовщик. Здесь происходит окончательное сжатие и уплотнение до нужной плотности и толщины. Гофрировщик придает волокну вертикальное направление для улучшения прочностных свойств.

После прохождения гофрировщика ковер поступает в камеру полимеризации. Камера полимеризации предназначена для формирования пласта теплоизоляционного материала (сжатие в зависимости от заданной толщины выпускаемой продукции), сушки (выпаривания воды) и полимеризации (отвердевания) связующего, которым пропитаны волокна. Минераловатный ковер поступает в камеру полимеризации в виде равномерного по толщине слоя минераловатных волокон, который на входе в камеру при помощи верхнего и нижнего конвейеров сжимается до заданной толщины выпускаемого изделия. Отобранные газы подвергаются фильтрации и дожигу.

Перед распиловкой ковер проходит зону охлаждения и поступает на резку пилами (по толщине, ширине и длине) для получения конечных размеров плит. Плиты проходят штабелем, где происходит набор определенного количества плит для упаковки в пачки. Сформированная пачка направляется на упаковку в терм усадочную пленку. Затем происходят укладка пачек на поддоны и транспортирование их в склад готовой продукции.

Уральский федеральный университет проводит научно-исследовательские работы по совершенствованию технологического оборудования на комплексе ОАО «Ураласбест». На сегодня выполнены предварительные исследования по установке резервов увеличения технико-экономических и экологических показателей. Содружество с предприятием позволяет совместными усилиями создать экологически чистое производство высококачественной минераловатной продукции.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТСУ В ТРУБЧАТЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧАХ ДЛЯ КАЛЬЦИНАЦИИ ГЛИНОЗЕМА**

**© М.А. Черноскутов, М.Д. Казяев, 2012**

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

Основным этапом получения глинозема из бокситовой руды, является извлечение из нее гидроксида алюминия. Наиболее простым и распространенным способом извлечения из боксита гидроксида алюминия является способ, предложенный Байером и называемый Байер-процессом. Он основан на следующем химическом свойстве гидроксида алюминия: кристаллический гидроксид алюминия, входящий в состав боксита, хорошо растворяется при высокой температуре в растворе едкого натра (каустической щелочи,  $\text{NaOH}$ ), высокой концентрации, а при понижении температуры и концентрации раствора вновь кристаллизуется. Бесполезные для получения алюминия вещества, входящие в состав боксита (так называемый балласт), не переходят при этом в растворимую форму или перекристаллизовываются и выпадают в осадок до того, как производится кристаллизация гидроксида алюминия. Поэтому после растворения гидроокиси алюминия балласт может быть отделен и удален в отвал. Очищенный от посторонних примесей раствор гидроксида алюминия в щелочи, представляющий собой в основном раствор алюмината натрия  $\text{NaAlO}_2$ , подвергается кристаллизации. С этой целью концентрация щелочи и температура раствора понижаются до определенных значений, являющихся оптимальными для получения кристаллического гидроксида алюминия. Кристаллизация существенно ускоряется, если в растворе уже присутствуют кристаллы гидроксида алюминия достаточной крупности (зародыши). Поэтому на этом этапе в раствор специально вводят определенное количество мелкокристаллического гидроксида алюминия, называемое затравкой. После достаточной степени кристаллизации производится отделение твердого гидроксида от

раствора. Глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) получается из гидроксида алюминия ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) прокаливанием в печах кальцинации для удаления связанной воды.

Процесс кальцинации является завершающей стадией производства глинозема. Задачей кальцинации является удаление из гидроксида алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$  физически и химически связанной воды и получение глинозема определенного фазового и химического состава при нагревании его до  $1150\div 1250^\circ\text{C}$ . Под действием высокой температуры гидроксид алюминия претерпевает следующие превращения:

- при температуре  $110\div 120^\circ\text{C}$  из гидроксида начинается удаление внешней влаги;
- при температуре  $200\div 250^\circ\text{C}$  гидроксид теряет кристаллизационную воду и превращается в бемит;
- при температуре  $\sim 500^\circ\text{C}$  бемит превращается в безводный  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ;
- при температуре выше  $950^\circ\text{C}$  происходит превращение  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  в практически негигроскопичный  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

Все эти превращения идут с поглощением значительного количества тепла (эндотермический процесс), кроме превращения  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  в  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (экзотермический процесс). Основное количество тепла затрачивается при нагревании материала до  $500\div 600^\circ\text{C}$ , когда происходит разложение гидроксита и испарение выделяющейся влаги. Фазовый состав глинозема зависит от температуры и продолжительности обжига. С повышением температуры и продолжительности кальцинации содержание  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  в глиноземе возрастает. Скорость фазовых превращений гидроксида алюминия возрастает в присутствии фтористых соединений, одновременно при этом снижается температура этих превращений. Глинозем, полученный в присутствии фтора, весьма абразивен (имеет большую плотность и шероховатую поверхность) и меньше пылит при загрузке и транспортировании. Производство глинозема (металлургического и неметаллургического) осуществляется в прокалочных печах (трубчатых вращающихся печах – ТВП) цеха кальцинации.

ТВП по длине условно разделяются на следующие температурные зоны:

- зона сушки и дегидратации: верхняя, наиболее холодная часть печи, температура газового потока в которой от  $200$  до  $550^\circ\text{C}$  (по ходу материала);
- зона прокаливания: средняя зона печи температура в которой  $600\div 1200^\circ\text{C}$ ;
- зона охлаждения: нижняя часть печи (за факелом) Здесь температура снижается до  $600\div 700^\circ\text{C}$  и через порог печи глинозем непрерывно пересыпается в барабанный холодильник.

За счет охлаждения барабана водой и просасываемым через холодильник воздухом глинозем на выходе имеет температуру  $80\div 150^\circ\text{C}$ . Камерными пневмонасосами с помощью сжатого воздуха глинозем транспортируется в бункера склада товарного глинозема. Образовавшиеся при сгорании топлива дымовые газы, за счет создаваемого дымоходом разрежения, идут навстречу материалу. После теплообмена с материалом, газы с температурой  $160\div 230^\circ\text{C}$  проходят систему газоочистки. Уловленная пыль возвращается в печь, а очищенные дымовые газы выбрасываются в атмосферу.

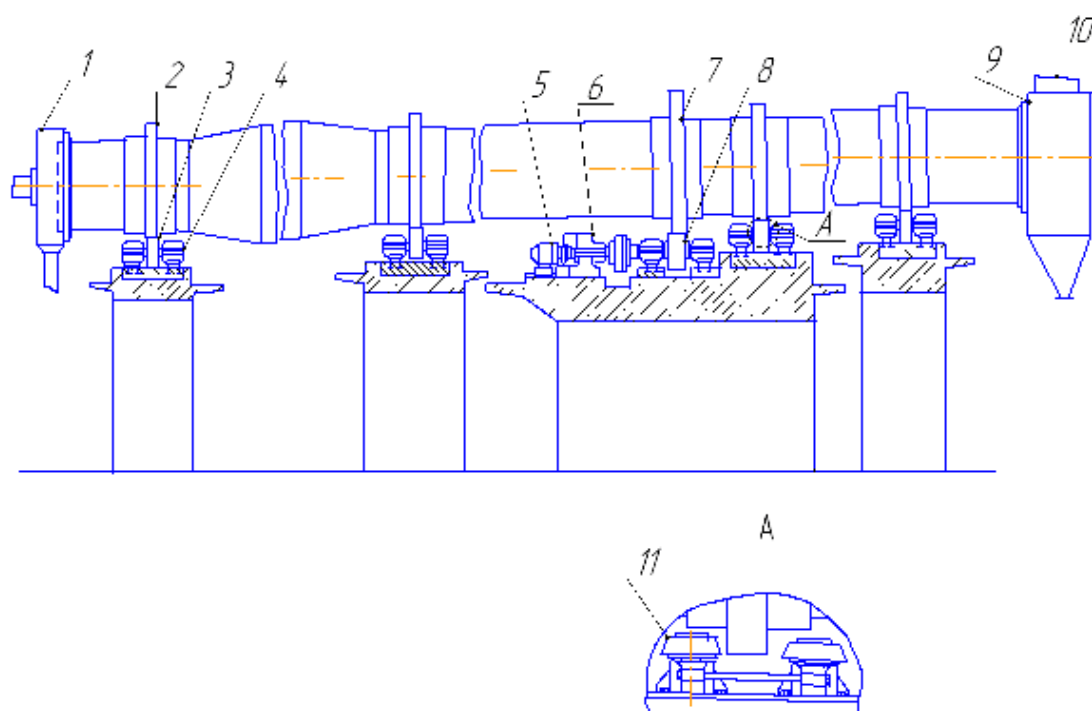


Рис. 1. Схема трубчатой вращающейся печи:

1 – горячая головка; 2 – бандаж; 3 – опорный ролик; 4 – подшипник; 5 – электродвигатель; 6 – редуктор; 7 – венцовая шестерня; 8 – подвенечная шестерня; 9 – холодная головка; 10 – газоход; 11 – упорный ролик

ТВП для проковки глинозема имеет стальной цилиндрический корпус, установленный бандажами на роlikоопоры с уклоном  $2 \div 3 \%$  в сторону выхода материала из печи. Корпус состоит из обечаек, соединенных между собой клепаными или сварными швами. Бандажи выполнены в виде неразрывных колец шириной  $400 \div 800$  мм. Вращение печи производится от привода.

Основными параметрами печи являются диаметр, длина барабана и скорость вращения. В рассматриваемой печи длина равна 75 м, диаметр – 3,8 м. Скорость вращения 1,85 об./мин. В данное время на рассматриваемой печи установлена горелка ГРД-2000.

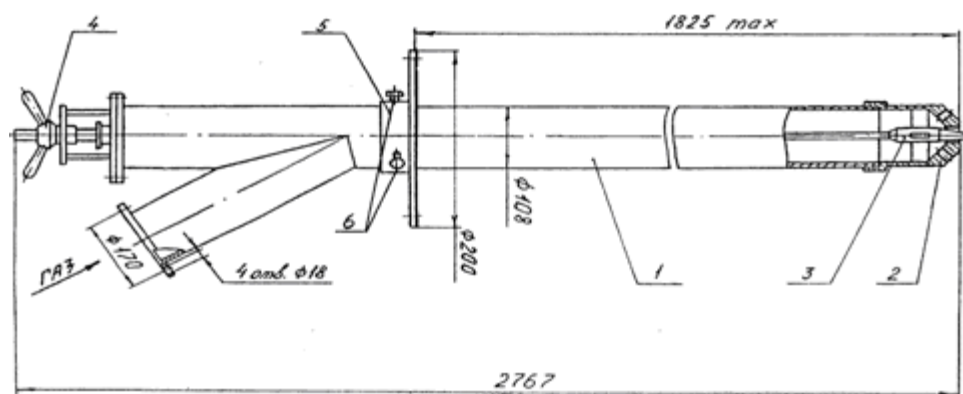


Рис. 2. Схема горелки ГРД-2000:

1 – корпус горелки; 2 – сопло газовое; 3 – дроссель игла; 4 – механизм перемещения дросселя; 5 – фланец установочный; 6 – болты крепления

Во время работы печи происходит неорганизованный подсос воздуха из холодильника, отрицательно сказывающийся на возможности регулирования процесса горения. При постоянной производительности это не являлось бы существенным недостатком. Но в реалиях современного процесса производства глинозема требуется частое изменение производительности печи. Более гибко регулировать процесс горения топлива, и быстро изменять длину факела, что приведет к возможности перемещения температурных зон по длине печи. Будет возможность более качественно регулировать перемещение температурных зон по длине печи, что при данной конструкции горелки выполнить проблематично. В целях решения этих проблем в настоящее время ведется разработка более современного ТСУ, способного обеспечить технологию производства глинозема при постоянно изменяющейся производительности.

### СКВОЗНАЯ ЭМИССИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПРОЦЕССЕ NYL-3

© Ю.Н. Чесноков, В.Г. Лисиенко, А.В. Лаптева, 2012

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

Диоксид углерода  $\text{CO}_2$  – парниковый газ. По этой причине оценка его эмиссии в различных технологических процессах представляет практический интерес.

Сквозная эмиссия  $\text{CO}_2$   $M_S$  или углеродный след («Carbon Footprint») – это суммарная эмиссия во внешнюю среду  $\text{CO}_2$ , которая произошла при выпуске той или иной продукции по всей технологической цепи. Почти каждый металлургический процесс приводит к эмиссии диоксида углерода, которая является эмиссией собственно технологического процесса  $M_P$ . Транзитная эмиссия  $M_T$  – это эмиссия  $\text{CO}_2$ , пересчитанная с предыдущих процессов, показывает значение эмиссии произошедшей в предыдущих переделах. Для  $i$ -го передела имеет место:

$$M_{Si} = M_{Pi} + M_{Ti}. \quad (1)$$

Для определения эмиссии диоксида углерода собственно процесса ХИЛ-3 проанализируем сам процесс.

Процесс ХИЛ-3 (NYL-3) относится к бескоксовым технологиям прямого восстановления железа в шахтном реакторе – восстановительной печи [1]. В этом процессе в первых установках применялась только паровая конверсия природного газа в аппаратах с кирпичной насадкой и с катализатором  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2$ . Конвертированный газ содержал 14 % –  $\text{CO}$ ; 58 % –  $\text{H}_2$ ; 21 % –  $\text{H}_2\text{O}$ ; 4–5 % –  $\text{CO}_2$ . В котле-утилизаторе он освобождался от паров воды, затем подогревался до 980–1240 °С в трубчатых рекуператорах, отапливаемых газом, выходящим из агрегатов восстановления. В конечном итоге весь газ сгорал до диоксида углерода. Расход природного газа в таких агрегатах составлял 2,4 Гкал/т металлургических окатышей (МО). Что при нижней теплоте сгорания природного газа в 8500 ккал/м<sup>3</sup> соответствует 282 м<sup>3</sup>/т МО.

Значительное повышение экономической эффективности производства металлургических окатышей в шахтных реакторах ХИЛ было достигнуто за счет новой технологии получения восстановительного газа, а именно процесса самореформинга природного газа, разработанного фирмой NYL с участием фирмы Sidor/Danieli (прежний процесс Agex) [1]. Природный газ поступал в восстановительную печь, в конверсионную установку как топливо и на конверсию для получения восстановительного газа. Общий расход природного газа в таких установках составил 2,198 Гкал/т МО [1], что соответствует расходу природного газа 258,6 м<sup>3</sup>/т МО. Однако в этих установках часть колошникового газа очищается от  $\text{CO}_2$  процессом короткоциклового адсорбции, после чего он подается на