

Коксохимическое производство в Чиллегоне, Индонезия – линия очистки производственных газов

Статья подготовлена на основе презентации, представленной на Международной конференции «Уголь и кокс. Технологии и риски». Москва, 17–18 сентября 2015 г.

В 2011 – 2013 гг. компания ДМТ (DMT GmbH & Co. KG) в сотрудничестве с компанией «Пауль Вурт Италия» (Paul Wurth Italia) осуществила поставку, монтаж и пуск в эксплуатацию одной из самых современных установок по очистке коксового газа. Данная промышленная линия предназначена для очистки газа коксохимического производства металлургического комплекса PT Кракатау POSCO производственной мощностью 1 321 000 т

кокса в год. Работы выполнены параллельно со строительством линии по производству кокса и завершены в течение 36 месяцев. Современный проект вообрал в себя многолетний опыт и ноу-хау компаний ДМТ и Paul Wurth Italia в этой области. Он полностью соответствует международным экологическим стандартам и позволяет эффективно использовать ресурсы компании PT Кракатау POSCO.

Cokemaking facility in Cilegon, Indonesia – modern coking gas scrubbing facility

In 2011 – 2013 DMT GmbH & Co KG in cooperation with Paul Würth Italia have delivered, assembled and commissioned one of the most modern coking gas by-product extraction plants in the world till date. The plant is designed to scrub the gas from cokemaking facility of PT Krakatau POSCO steel complex with the capacity of 1.321.000 tons per annum. The work was performed

in parallel with the construction of cokemaking facility and completed within ca. 36 months. Modern design includes decades of experience and know-how of DMT and Paul Wurth Italia in this field. It comprehends relevant international environmental standards and allows efficient use of the resources by PT Krakatau POSCO

Введение

Металлургический комплекс PT Кракатау POSCO является совместным предприятием индонезийской компании PT Krakatau Steel и южнокорейского концерна Posco. В 2011 г. консорциум компаний Paul Wurth Italia, POSCO Engineering & Construction и PT Krakatau Engineering получил заказ на строительство коксохимического производства мощностью 1 321 000 т кокса в год и установки по очистке коксового газа.

Коксохимическое производство было построено как часть первого в Индонезии интегрированного сталелитейного комплекса. Строительство началось в 2011 г. и было завершено в течение 36 месяцев.



Рис. 1. Установка по очистке коксового газа PT Krakatau POSCO

Проект установки по очистке коксового газа PT Krakatau POSCO вообрал в себя многолетний опыт и ноу-хау, наработанные в отрасли коксохимических технологий компаниями «Пауль Вурт Италия» (Paul Wurth Italia) и ДМТ (DMT GmbH & Co. KG).

Первая коксохимическая батарея и установка по очистке коксового газа были введены в эксплуатацию в 2013 г., а первый кокс выдан 8 октября 2013 г.

Установка, построенная при тесном сотрудничестве с клиентом, спроектирована по последнему слову техники в данной отрасли.

В статье описываются технические характеристики отдельных элементов и процесс пуска комплекса в эксплуатацию (рис. 1).

Проектные характеристики установки

Основные характеристики установки по очистке коксового газа приведены ниже.

Узел очистки предусматривает направление в него газа с обеих батарей коксохимического производства. При объеме производства кокса 1 321 000 т в год количество поставляемого газа составит 88 000 Нм³/ч парогазовой смеси из коксовых печей, остаточного газа из установки Клауса и газов сгорания. Батареи состоят из 42 печей типа «Джамбо».

Очищенный коксовый газ имеет следующие характеристики:

- Смола $\leq 0,02$ г/Нм³
- Н₂S $\leq 0,5$ г/Нм³

• NH_3	$\leq 0,04 \text{ г/нм}^3$
• C_{10}H_8	$\leq 0,2 \text{ г/нм}^3$
• Бензольные углеводороды	$\leq 5 \text{ г/нм}^3$
• Цианистый водород	$\leq 1 \text{ г/нм}^3$
Производство смолы:	прибл. 215 тн/сут
Качество смолы:	$< 4\% \text{ H}_2\text{O}$
Производство сырого бензола:	55 – 60 тн/сут
Качество сырого бензола:	$> 95\%$
Выход серы (пластины):	прибл. 13 тн/сут
Качество серы:	$> 99,8\%$

Описание процесса

Блочная диаграмма показывает основные узлы процесса очистки (рис. 2).

Предварительное охлаждение

Парогазовая смесь, выходящая через стояки батарей коксовых печей, охлаждается перед попаданием в газосборник оборотной водой, отделяющейся при получении сырой смолы. При парообразовании коксовый газ охлаждается и большая часть содержащейся в нем смолы конденсируется. На следующей ступени, в сепараторе, разделяются газ и аммиачная вода. Водосмоляная смесь далее подается в узел получения сырой смолы.

Коксовый газ, очищенный от смолы, после сепаратора подается в узел первичного охлаждения (холодильники). Из пяти параллельно установленных холодильников постоянно используются четыре. Пятый холодильник является резервным. Охлаждение в холодильниках происходит через теплообменную поверхность труб при прохождении газа сверху вниз. Прохладная вода движется противотоком в верхнем сегменте, а холодная вода – в нижнем (рис. 3).

Отдельные охлаждающие трубки холодильника постоянно орошаются смоляной эмульсией, получаемой из установки извлечения смолы, для предотвращения образования отложений. Конденсат, образующийся при охлаждении газа, вместе со смоляной эмульсией проходит через сатуратор и скапливается в накопителе. Конденсат, собираемый в накопителе из различных узлов процесса, заново подается в сепаратор для повторной очистки от смолы.

Коксовый газ при выходе из холодильников подается на электрофильтры для освобождения от туманообразной смолы.

Извлечение смолы и фильтр надсмольной (аммиачной) воды

Получаемая из сепаратора водо-смоляная смесь подается в отстойник, где собирается чистая смола.

Через сточные трубопроводы сепаратора водо-смоляная смесь подается в конденсаторы смолы. В них происходит отделение смолы от воды, после чего смола выкачивается через специальную систему подачи и собирается в небольших контейнерах. Получаемая смола подмешивается в угольную шихту для производства кокса.

Надсмольная вода, остающаяся в контейнерах, выкачивается и проходит еще раз через смолоотделитель. Два аппарата постоянно находятся в работе и один – в резерве.

В смолоотделителе за счет разности плотности и расчетного времени нахождения водо-смоляной смеси происходит ее разделение. В нижней части смолоотделителя смола извлекается и направляется в контейнеры хранения.

Из верхней части смолоотделителя надсмольная вода самооток подается в бак хранения. На уровне разделения воды и смолы отбирается смоляная эмульсия, которая подается специальными насосами в холодильник. Аммиачная вода, получаемая в верхней части смолоотделителя, прокачивается между внешней оболочкой и коническим дном смолоотделителя и выкачивается на приемники коксовых батарей (рис. 4).

Надсмольная вода из водосборников очищается от смолы и твердых частиц при прохождении через гравийный фильтр. Из трех фильтров системы два постоянно параллельно эксплуатируются. Третий фильтр является резервным. Регенерация/очистка гравийных фильтров проводится путем подачи воды в обратном направлении.

Вода для промывки после прохождения через гравийные фильтры собирается, предварительно фильтруется и подогревается. После очистки фильтров вода собирается в отдельном водосборнике и перекачивается в смолоотделитель с подмешиванием к водо-смоляной смеси.

Надсмольная вода, прошедшая через гравийные фильтры, подается в водосборники для промывки или напрямую в сепараторы.

Электрофильтр

Очищенный коксовый газ подается после первичного охлаждения в электрофильтр. В одном из параллельно подключенных электрофильтров происходит отделение пыли и смолы от коксового газа. Второй электрофильтр является резервным.

Поле напряжения в электрофильтрах создается между коронирующими и осадительными электродами. Отделяемые элементы коксового газа извлекаются и осаждаются через поле напряжения на осадительных электродах.

Для увеличения текучести отделяемой смолы в газовый поток через специальные форсунки постоянно подается вода.

Смоляной конденсат, собирающийся в электрофильтре, отводится через промежуточный сборник, собирается в

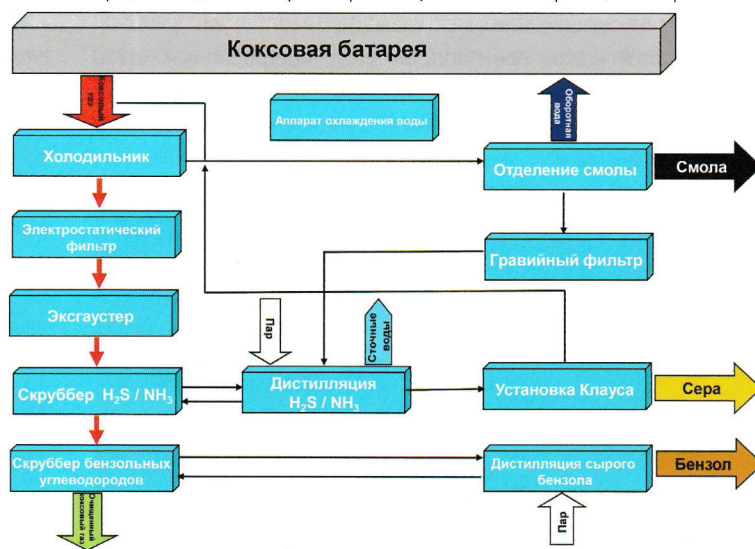


Рис. 2. Блочная схема установки очистки



Рис. 3. Холодильники первичного охлаждения газа

специальных емкостях и подается для возврата в технологический процесс.

Фильтры обеспечивают степень очистки, превышающей 99,9%, и снижают содержание пыли и смолы в газе до менее 20 мг/Нм³.

Экспаустер

Коксовый газ, образующийся в коксовых батареях, подается экспаустером на установку очистки после нескольких ступеней охлаждения и очистки и компримируется для обеспечения достаточного давления в сети. Каждый из двух экспаустеров имеет производительность 100 000 Нм³/ч. Один находится в работе, а второй – в резерве.

Осаждающийся газовый конденсат подается через промежуточный сборник в хранилища конденсата, откуда предварительно подогретым подается в смолоотделитель.

Очистка газа от H₂S–/NH₃– и бензольных углеводородов

Коксовый газ, подаваемый экспаустером, направляется в установку очистки газа от H₂S–/NH₃. Она представляет собой узел отделения H₂S, флекс–скруббер и узел отделения NH₃, установленные последовательно. Флекс–скруббер является резервным как для установки отделения H₂S, так и NH₃. Газ подается в направлении снизу вверх сначала через скруббер H₂S, а затем через скруббер NH₃.

В скруббере H₂S на первой ступени охлаждения понижается температура скомпримированного газа при поступлении из



Рис. 5. H₂S–, Флекс–, NH₃– и БТК–скрубберы (справа налево)



Рис. 4. Установка отделения смолы и водосборники установки PT Krakatau POSCO

экспаустера. Для этого используется метод циркуляционного охлаждения водой технологического процесса. В скруббере H₂S отделяется в первую очередь сероводород с использованием аммиачной воды. Для этого используется аммиачная и нейтрализованная вода из отстойника/нейтрализатора скруббера NH₃.

Абсорбция H₂S, CO₂, HCN и NH₃ в скрубберах ведется с использованием экзотермических процессов. Для предотвращения нагревания газа высвобождающейся в скруббере H₂S энергией используются циркуляционные охлаждающие установки.

В скруббере NH₃ газ орошается водой из сепаратора/нейтрализатора. Стекающая в зумпф вода охлаждается в теплообменнике и подается на скруббер H₂S.

Использованная вода из зумпфа скруббера H₂S подается в специальный водосборник и оттуда в сепаратор/нейтрализатор.

Все скрубберы сделаны из просечно–вытяжного листового металла (рис. 5).

Скруббер для улавливания бензольных углеводородов и установка дистилляции сырого бензола

После скрубберов H₂S–/NH₃ частично очищенный коксовый газ прогоняется через бензольный скруббер, в котором извлекаются бензольные углеводороды (бензол, толуол, ксилол). Для этого масло «дебензине» из отделения дистилляции бензола подается в бензольный скруббер. Насыщенное сырым бензолом масло подается обратно в отделение дистилляции сырого бензола. Бензольные углеводороды извлекаются из насыщенного масла в дистилляционной колонне бензольного отделения.

Сепаратор/нейтрализатор

Для нейтрализации обогащенной воды используются две нейтрализационные колонны и две сепарационные колонны, по одной рабочей и по одной резервной в паре.

Обогащенная вода после предварительного подогрева в теплообменнике путем непрямого нагрева подается на вход нейтрализатора. Через фильтр, находящийся в верхней части нейтрализационной колонны, отделяются примеси.

Часть объема воды из нейтрализатора через теплообменник и промежуточную емкость подается в скруббер H₂S. Другая часть перекачивается в сепаратор.

Сепарация оставшихся примесей осуществляется путем подачи пара. Аммиачная паровоздушная смесь из сепаратора



Рис. 6. Установка Клауса линии очистки газа PT Krakatau POSCO

возвращается в нейтрализатор для использования ее теплоты при нейтрализации загрязненных вод и их обогащения аммиаком.

Вода из зумпфа сепаратора после охлаждения в теплообменнике подается для использования в скруббере NH_3 .

Очистка надсмольной воды также производится в сепараторе. Она подается в сепаратор напрямую или через резервуар оборотной воды. В сепараторе осуществляется подача раствора едкого натра для отделения соединений аммиака из воды.

Избыточные надсмольные воды и сопутствующие конденсаты пара сбрасываются.

Паровоздушная смесь, образующаяся в нейтрализаторе, содержит примеси, извлеченные из коксового газа. После косвенного, регулируемого охлаждения с использованием холодной воды в выпаривателе она подается на установку Клауса.

При ремонте или простое установки Клауса или сепаратора/нейтрализатора есть также возможность перепуска паровоздушной смеси через байпас и погружной горшок обратно в холодильник предварительного охлаждения.

Колонны изготовлены из титана и оборудованы титановыми тарелками, нечувствительными к загрязнениям.

Колонны также оборудованы элементами защиты от недостаточного и избыточного давления. При возникновении критической ситуации в колонны подается азот.

Установка Клауса

Паровоздушная смесь из сепаратора/нейтрализатора перерабатывается в установке Клауса (рис. 6). В ней происходит превращение сероводорода в элементарную серу. Аммиак (NH_3) и HCN удаляются каталитическим способом.

Паровоздушная смесь под определенным давлением подается в реактор на сжигание. Оно проводится в реакторе с подачей воздуха ниже стехиометрической концентрации, для дожигания части сероводорода до оксида серы. Регулируемое соотношение SO_2 -/ H_2S позволяет дальнейшее получение элементарной серы.

После частичного сжигания сероводорода газ подается на катализаторы реактора, на которых происходит отделение NH_3 -/ HCN . После катализаторов в газовую смесь подается вторичный воздух.

В двух дальнейших реакторах Клауса происходит превращение сероводорода и оксида серы в элементарную серу. По причине наличия двух реакторов процессы могут проходить при различных температурных режимах, чтобы повысить



Рис. 7. Сера, произведенная на линии очистки газа PT Krakatau POSCO

коэффициент извлечения серы. В первом реакторе при температуре 300°C проводится гидролиз соединений COS и CS_2 . После реакторов Клауса газ снова охлаждается в серных конденсаторах для доизвлечения серы на осадочных пластинах и перегрузки ее в хранилище.

Газ после установки Клауса снова подается в процесс перед первичными газовыми холодильниками. По этой причине необходим высокий коэффициент извлечения элементарной серы из SO_2 и H_2S и гидролитическое извлечение соединений COS и CS_2 . Это достигается путем двойной очистки.

Чистота получаемой серы составляет 99,8% (рис. 7).

Произведенная сера затем транспортируется в пресс для брикетирования.

Ввод в эксплуатацию

Ввод установки в эксплуатацию проводился в четыре этапа:

- На первом этапе монтировались и запускались холодильник, электрофильтр, эксгаузер, смолоотделитель и гравийный фильтр. На электрофильтр не подавалось питание. Все скрубберы работали через байпасы. Надсмольная вода бункеровалась.
- На втором этапе в эксплуатацию вводились скрубберы $\text{H}_2\text{S}/\text{NH}_3$ и сепаратор/нейтрализатор. Пары с сепаратора/нейтрализатора осуществляли возврат в технологический процесс перед холодильником.
- На третьем этапе пары были направлены на нагретую установку Клауса.
- На четвертом этапе в эксплуатацию были введены бензольный скруббер и отделение дистилляции сырого бензола.

Заключение

Газоочистительный комплекс коксохимического производства PT Krakatau POSCO спроектирован и построен по последнему слову техники с использованием технологии и ноу-хау компаний Paul Wurth Italia и DMT GmbH & Co. KG. Комплекс соответствует всем международным техническим и экологическим нормам и обеспечивает высокую степень защиты окружающей среды, качество извлекаемых продуктов и эффективность использования ресурсов.

Авторы

Вольфганг Керн (Wolfgang Kern), Руководитель по продажам, Дивизион промышленного инжиниринга, DMT GmbH & Co. KG

Бьорн Оттен (Björn Otten), Руководитель проектов, Дивизион промышленного инжиниринга, Отдел инжиниринга установок очистки коксового газа, DMT GmbH & Co. KG

Антонио Эспозито (Antonio Esposito), Вице-президент по коксохимии, Paul Wurth Italia S.p.A.

Фабио Черутти (Fabio Cerutti), Эксперт-коксохимик, Paul Wurth Italia S.p.A.