

## Котельная техника

Dr.-Ing. Eberhard Franz, LOOS INTERNATIONAL

### Два вида производства пара : сравнение котлов с большим водяным объемом и водотрубных котлов.

Промышленное производство пара существует уже свыше 200 лет. В первые 100 лет были известны только котлы, аналогичные сегодняшним котлам с большим водяным объемом. В 1875 году [1], т.е. спустя 106 лет после того, как Джеймс Ватт изобрел паровой котел и паровую машину, фирма Штайнмюллер выпустила первый водотрубный котел.

С того времени наблюдается бурное развитие в области производства водотрубных котлов. В 1927 году был введен в эксплуатацию первый котел Бенсона, вырабатывающий пар 30 т/ч при давлении 180 бар и температуре 450°C. В 60-е годы 20-го столетия производились котлы со сверхкритическими параметрами: с давлением 350 бар и температурой свыше 600°C. В 1970 году был достигнут предел производительности 1000 т/ч. Уже пятью годами

позже стали выпускаться водотрубные котлы паро производительностью 2000 т/ч.

Такой высокой мощности и параметров по выработке пара невозможно было бы добиться на котлах с большим водяным объемом по принципиальным причинам. Тем не менее, работа по совершенствованию котлов с большим водяным объемом также не прекращалась. В качестве примеров здесь можно привести ввод в эксплуатацию котла с тремя газоходами с расположенной внутри огневой камерой водяного охлаждения, выпущенного в 1953 году по инициативе LOOS INTERNATIONAL, а также разработку двухжаротрубного котла (1956г.) и помехоустойчивых электродов уровня воды (1977г.). Таким образом, котлы с большим водяным объемом на сегодняшний день почти полностью покрывают потребности в

паропроизводительности до 55 т/ч. В зависимости от размеров создается давление до 30 бар и температура пара до 300°C

Подытоживая вышесказанное можно сделать вывод о том, что оба конструктивных принципа имеют право на существование. В общем и целом видится или нецелесообразным или невозможным в какой-либо конкретной области применения заменять один принцип на другой. Все же иногда имеют место исключения из этого правила. Настоящая статья представляет собой вспомогательный материал для профилей требования, при которых могут быть использованы обе конструкции котлов. Будут рассмотрены: аспекты безопасности, эксплуатационные аспекты, физические свойства и ценовые аспекты.



Bild 1: Versandfertiger LOOS-Hochdruck-Großwasserraumkessel in Zweiflammrohrbauweise, 35 t/h, 16 bar in der Endmontage



Bild 2: 100 MW Heißwasser-Wasserrohrkessel beim Transport

## 1. Безопасность

В некоторых развивающихся странах котлы с большим водяным объемом не нашли широкого применения. Качество производителей в этих странах котлов с большим водяным объемом не идут ни в какое сравнение со стандартами качества немецких производителей. Это в равной мере касается и обеспечения безопасности в случаях превышения давления или снижения уровня воды. Соответственно низким является уровень безопасности. Опасаясь катастрофических последствий в случае взрыва парового котла и по причине большого водяного объема котлов в этих странах зачастую консервативно настроенные проектировщики отдают предпочтение водотрубным котлам. Наряду с аспектом безопасности немаловажную роль при этом также играет то обстоятельство, что срок службы изготовленных в этих странах котлов с большим водяным объемом очень непродолжителен.

За последние двадцать лет в Германии не было ни одной серьезной аварии, связанной с эксплуатацией котлов с большим водяным объемом. Не последнюю роль здесь сыграло введение в 1977 г. [4] помехоустойчивой электронной системы для регулирования и ограничения уровня воды и норм безопасности, обусловленных конструкцией котлов с большим водяным объемом, 1985 г. [2,3].

Конструктивно обусловленная безопасность означает отказ от определенных материалов, как к примеру, 19Mn6 или P355GH, отказ от конструктивных принципов (например, предварительно заваренный пол, балка для жесткого крепления пола), возможность осмотра и обхода внутренней части котла и достаточное расстояние между элементами котла с разной температурой.

Важным аспектом является испытание гидравлическим давлением при повышенном избыточном давлении, что позволяет простым и надежным способом оценить состояние и безопасность котлов с большим водяным объемом [5].

Перечисленные правила и оборудование, используемые в Германии, вот уже на протяжении десятилетий способствуют безопасной эксплуатации котлов с большим водяным объемом без серьезных аварий. Это утверждение нельзя с полной уверенностью отнести и к другим конструкциям котлов [6,7]. Котлы с большим водяным объемом при соответствующем качестве изготовления и конструкции гарантируют высокую степень безопасности и продолжительный срок службы. Проектировщикам и эксплуатационникам следует обращаться к

изготовителям, на счету которых числится достаточное количество бесперебойно работающих установок.

## 2. Эксплуатационные аспекты

В данном разделе изложены требования по качеству воды, техобслуживанию и периодическим испытаниям.

Совершенно очевидно, что качество питательной воды играет для паровых котлов существенную роль. Требования к воде зачастую сопряжены с определенными денежными расходами.

Для большинства конструкций водотрубных котлов не рекомендуется режим эксплуатации даже с низким содержанием солей [8]. Низкое содержание солей означает, что электрическая проводимость питательной воды для котла меньше или равно 2000 мс/см. Рекомендуется - а при локальной плотности теплового потока свыше 250 кВт/м<sup>2</sup> - просто необходима питательная вода без содержания солей во избежание зашлаковки труб, что влечет за собой снижение теплопередачи. Эти требования могут быть выполнены только при проведении достаточно дорогостоящих мероприятий по водоподготовке.

Котлы с большим водяным объемом могут эксплуатироваться при использовании солесодержащей воды. (электрическая проводимость меньше или равно 6000 мс/см). Нет опасности повреждения поверхности нагрева котла вследствие солевых отложений благодаря возможности удаления солей. Для водоподготовки могут быть использованы простые установки для снижения жесткости воды. Вид водоподготовки зависит от экономических предпосылок и качества исходной воды. Важное значение при этом имеют сроки окупаемости капиталовложений в дорогостоящие водоподготовительные установки, связанные с сокращением производного объема.

Следующее различие представляет собой теплопроизводительность относительно конструктивного размера. При равных требованиях по теплопроизводительности котлы с большим водяным объемом занимают обычно площадь меньших размеров.

По техобслуживанию:

Техобслуживание котлов с большим водяным объемом значительно проще по сравнению с водотрубными котлами. Это обусловлено в первую очередь более низкими трудозатратами при пуске и остановке и легким доступом к поверхностям нагрева.

Подобная картина наблюдается и на проведении периодических испытаний. На котлах с большим водяным объемом, изготавливаемым в соответствии с вышеуказанными правилами прекрасно зарекомендовала себя простая, надежная и экономически выгодная система: визуальная проверка важных деталей котла после гидравлического испытания при повышенном избыточном давлении, см [3,5]. Она позволяет отказаться от применения неразрушающего метода испытания, например, ультразвука. На водотрубных котлах по определенным причинам, не указываемым в данной статье, не зарекомендовало себя гидравлическое испытание при повышенном избыточном давлении. Кроме этого значительные участки водотрубного котла недоступны для визуального контроля (скрытые участки). По этой причине возникает необходимость в применении ультразвука и т.п.

## 3. Физические свойства

Говоря о физических свойствах необходимо затронуть позиции, напрямую следующие из конструктивных принципов: водяной объем, аккумулирующая способность, работа в режиме частичных нагрузок.

Относительно теплопроизводительности у котла с большим водяным объемом объем воды значительно выше, чем у водотрубного котла. Поэтому котел с большим водяным объемом более устойчив к колебаниям нагрузок и удовлетворяет требованиям по нагрузкам, временно превышающим номинальную мощность котла. Это может привести только к кратковременному повышению влажности пара, не оказывая никакого негативного влияния на теплопередачу.

Водотрубным котлам не присущи вышеуказанные свойства.

Колебания давления неизбежно влияют на теплопередачу вследствие возникающего при этом изменения плотности.

Большой объем воды котлов с большим водяным объемом наряду с вышеупомянутыми преимуществами имеет недостатки в случае холодного запуска. Котлам с большим водяным объемом необходимо больше времени для производства пара по сравнению с водотрубными котлами. К тому же каждый холодный запуск котлов с большим водяным объемом вызывает более высокую механическую нагрузку, чем обычный режим эксплуатации [10]. Из этого следует, что холодный запуск котлов с большим водяным объемом должен проводиться щадящим способом. По причине меньшего водяного объема водотрубный котел более

высокой мощности во многих странах может использоваться в качестве так называемого производственного котла благодаря удобству монтажа [9].

Для срока службы паровых котлов важное значение имеет количество запуска горелок. Наряду с правильным подбором котел/установка определяющим здесь является размер минимальной нагрузки, отдаваемой котлом. На котлах с большим водяным объемом эта минимальная нагрузка соответствует минимальной тепловой мощности, заданной горелкой. На вырабатывающих горячий пар водотрубных котлах определенных конструкций эта минимальная нагрузка горелок не может отражаться на котле, так как из-за сокращения массовых водяных потоков на теплопередачу оказывается негативное воздействие, что может привести к нежелательному эффекту берншта в области плотности теплового потока.

#### 4. Цена и сроки

Если профиль требований может покрываться за счет установки нескольких котлов с большим водяным объемом, выбор такого котла при условии соответствующего уровня цены и качества представляет собой экономически выгодную альтернативу. Кроме этого, следует отметить более короткие сроки

поставки и время, необходимое для монтажа оборудования.

Котлы с большим водяным объемом при аналогичной температуре отходящих газов и составе за счет меньших потерь от излучения и проводимости имеют более высокий КПД по сравнению с водотрубными котлами.

Котлы с большим водяным объемом благодаря удобству техобслуживания также легче эксплуатировать, что также свидетельствует об экономической выгоде их использования.

#### 5. Заключение

Области применения котлов с большим водяным объемом и водотрубных котлов четко разграничены. К примеру, для производства пара 1000 т/ч при давлении 180 бар и температуре 450 °С невозможно использовать котел с большим водяным объемом. Для 200т/ч, 30 бар и 300 °С использование одного или нескольких таких котлов представляют собой экономически выгодную альтернативу благодаря удобству поставки и эксплуатации. Современные методы изготовления и правила конструктивно обусловленной безопасности обеспечивают высокий уровень безопасности и продолжительный срок службы. Перечисленные в данной статье аспекты отражены в приведенной ниже таблице.

Критерий	Котел с большим водяным объемом	Водотрубный котел
Качество воды	Более низкие требования, возможность эксплуатации на воде с содержанием солей	Более высокие требования, для большинства конструкций - эксплуатация на воде без содержания солей
Техобслуживание	Простая очистка	Более затратное
Периодические испытания	Простота осмотра после испытания повышенным давлением  Испытания без разрушений, например, ультразвуком, редко и в небольших объемах	Помимо гидравлического испытания необходимость испытания ультразвуком и т.п.  Соответственно более высокие временные и финансовые затраты
Цена при аналогичном уровне издержек производства и качества	Ниже	Выше
Коэффициент полезного действия	Выше, простота обращения	Ниже, более сложная эксплуатация
Режим частичной нагрузки	Может быть использована область регулировки пламени, при недостаточной минимальной нагрузке горелки легко отключаются	Необходимость ограничения частичной нагрузки у некоторых конструкций, сложность отключения горелок
Водяной объем	Принципиально обусловлено выше	Ниже
Аккумулирующая способность	Благодаря большому объему воды - устойчивость к колебаниям давления и нагрузок	Восприимчивость к колебаниям нагрузок и давления
Время поставки	Короче	Дольше
Занимаемая площадь	Небольшая	Высоко
Время монтажа, Первоначальный ввод в эксплуатацию	Короткое	Продолжительное

- [1] Леманн Х. Практика производства пара, издательство Реш-Медиа Мейл Ферлаг ГмбХ, Грефельринг 1994г.
- [2] VdTÜV (Объединение инспекций котлонадзора), FDBR (Объединение по строительству паровых котлов, резервуаров и трубопроводов), VGB (Объединение эксплуатационников крупных электростанций): соглашение 1985/1 о правилах оценки конструкций котлов с большим водяным объемом, VdTÜV, Эссен 1985г.
- [3] Франц Э.: Котлы с большим водяным объемом в европейском преобразовании, Технический надзор Bd. 38 (1997), №6 июнь.
- [4] Лоос Дж.: Следует ли заходить так далеко? Специальное издание на тему: «Эксплуатационная безопасность паровых котлов. ЛООС Интернешнл, Гунценхаузен 1995
- [5] Росмайер В.: Доработанные гидравлические испытания жаротрубных, газотрубных и водотрубных котлов, Технический надзор Bd. 38 (1997), №6 июнь.
- [6] Дивок Х-Дж., Маттерн Дж., Хюльманн Г.: Взрыв в котле с плавильной камерой 150 MW, Технический надзор Bd. 37 (1996), №3 март.
- [7] Н.Н. Четверо рабочих погибли в горячем паре, Боннер Генеральанцайгер 20.10.1994.
- [8] Долецаль Р.: Производство пара, издательство Шпрингер-Ферлаг, Берлин, Гейдельберг, Нью-Йорк, Токио и т.д., 1990г.
- [9] Н.Н., TRD (технические правила эксплуатации паровых котлов) 403: Монтаж котельных установок с паровыми котлами группы IV, издание июнь 1984.
- [10] Франц Э.: Холодный запуск котлов с большим водяным объемом