

Эд Лестер, профессор; Томас Хаддл, Ноттингемский университет; Патрик Дейли, Центр подготовки докторантов по вопросам уловления и хранения CO₂ и использования экологически чистой энергии, получаемой из ископаемого топлива, при Совете по инженерным и физическим научным исследованиям; Пол Хей, компания Carbolite Gero Ltd, Великобритания, усовершенствование испытаний на плавкость золы.

Испытания на плавкость золы: перспективы

Испытания на плавкость золы проводятся с начала XX в. для расчета зольных отложений на стенках больших паровых котлов с угольным отоплением. Невысокий технологический уровень того времени требовал от лаборанта постоянного наблюдения за образцом (спрессованная зола) через смотровое окошко для определения четырех характеристических температур образца по четырем степеням его расплава (Рис. 1).

В конце 1990-х гг. в ходе всестороннего исследования системность и воспроизводимость данных испытаний была подвергнута пересмотру. Действия лаборанта были признаны слишком субъективными, а результаты

испытаний, проводимых разными лаборантами (и даже при повторном проведении испытаний одним и тем же лаборантом), сильно отличались друг от друга. Результаты измерений температуры одного и того же образца, проведенных одним и тем же лаборантом, варьировали в диапазоне от 30 до 50 °С, а результаты измерений, проведенных в разных лабораториях, показали разницу температур начала деформации образца до 400 °С. Столь большая разница в результатах испытаний была вызвана, в числе прочего, различием способов изготовления образцов спрессованной золы, в отношении которого существовали только общие указания.

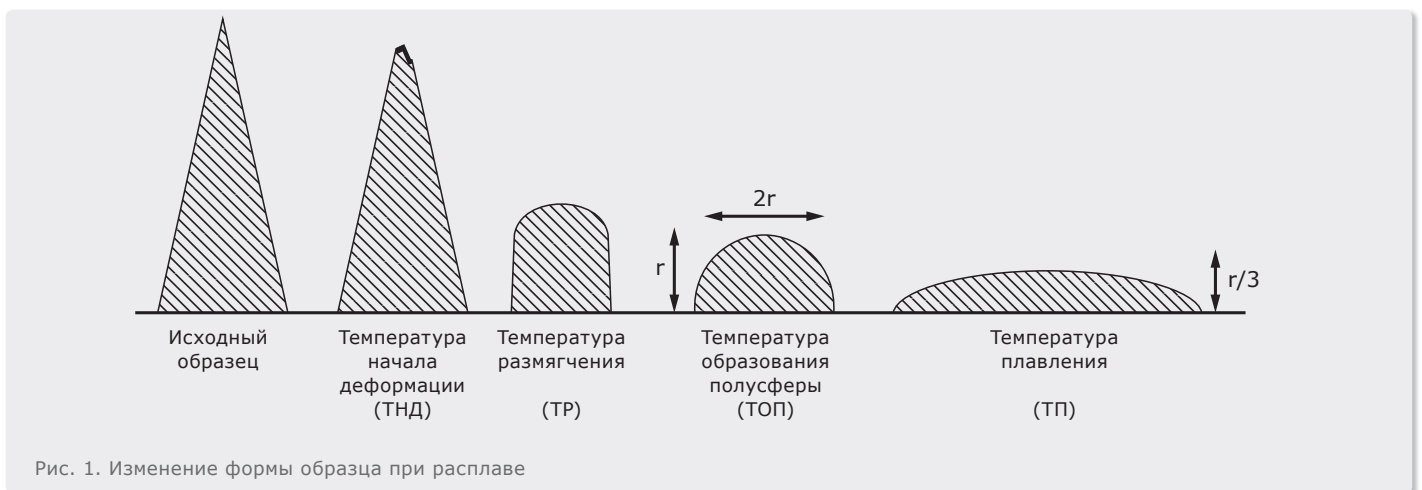


Рис. 1. Изменение формы образца при расплаве

Помимо вопросов повторяемости и воспроизводимости результатов испытаний, в отрасли существует разное понимание важности четырех характеристических температур для расчета отложений шлака и загрязнений паровых котлов. В некоторых случаях в качестве показателя зольных отложений и образования шлака используется только температура начала деформации, тогда как в других случаях используется только температура плавления - как показатель состояния, при

котором образец, получив достаточную мягкость, может стекать по стенкам котла.

Кроме того, в последние годы многие электростанции, движимые стремлением к снижению уровня CO₂ в атмосфере, стали активно отказываться от использования угля в пользу биомассы. Это поставило перед ними ряд новых трудностей, связанных с изменением исходного содержания минеральных

2 Испытания на плавкость золы: перспективы

веществ и эффективности сгорания топлива, включая трехкратное увеличение содержания летучих соединений и общее увеличение содержания калия и натрия, что повышает вероятность загрязнения котла.

Растущая потребность в эффективном управлении работой паровых котлов и нахождении экономически гибкого подхода к закупкам топлива приводит к осознанию важности разработки и, по возможности, усовершенствования методов испытаний на плавкость золы, позволяющих получить быстрые и точные результаты. Сегодня испытания на плавкость золы используются в сфере производства электроэнергии для расчета возможных отложений шлака и загрязнения котлов при сжигании угля или биомассы. Анализ полученных данных нередко проводится только после использования топлива, когда золные отложения уже сформировались.

Интерпретация данных вручную

Перспективным методом определения четырех характеристических температур может считаться анализ профиля расплава образца по изображениям, создаваемым с помощью видеоаппаратуры, которой оснащена печь. До сегодняшнего дня при испытаниях на плавкость золы использовались аналоговые видеокамеры, позволяющие получить изображения разрешением 752x582 пикселя со скоростью до одного изображения на градус Цельсия во всем температурном диапазоне (от комнатной температуры до 1500°C и выше) при скорости нагрева до 10°C/мин. Изображения сохранялись во время испытаний, позволяя лаборанту отмечать на экране четыре характеристические температуры плавления золы с точностью до 1°C.

Испытаниям каждый раз подвергались несколько образцов за прогон, размещаемых на держателе, что позволяло одновременно наблюдать за поведением разных образцов. Время выполнения каждого прогона составляло 5 ч с момента получения золы на спрессовывание до анализа характеристических температур.

Шаги по усовершенствованию испытаний на плавкость золы

За прошедшее десятилетие изменениям подверглись особенности использования, сам процесс, а также область применения испытаний; были разработаны альтернативные методики и подходы к автоматизации процесса испытаний.

Новая печь для испытаний на плавкость золы CAF G5 от компании Carbolite Gero (Рис. 2) претерпела изменения в двух важных аспектах с целью решения проблемы объективности анализа и пригодности к эффективному использованию биомассы – более качественными стали получаемые изображения (благодаря видеокамере более высокого разрешения и более эффективному местному освещению), а анализ изображений стал возможен в полуавтоматическом режиме. Вместо аналоговой видеокамеры стала использоваться цифровая HD-видеокамера 1,3 Мпикс., позволяющая получать изображения разрешением 1280x1024 пикселя. Более



Рис. 2. Новая печь для испытаний на плавкость золы CAF G5 от компании Carbolite Gero

четкие изображения позволяют следить за изменением формы образца в ручном режиме и более точно определять характеристические температуры.

Одной из ключевых проблем при анализе образцов золы, получаемой из биомассы, являлось недостаточное освещение рабочей камеры печи при низких температурах. Образцы золы, получаемой из угля, как правило, отличаются более высокой температурой начала деформации – или температурой начала плавления – по сравнению с образцами золы из биомассы; изменение формы образца из биомассы начинает происходить при значительно более низкой температуре. Теплоизлучение, возникающее начиная с 650 °C, позволяет с достаточной четкостью наблюдать образцы в рабочей камере печи. Однако при температуре ниже 650 °C видеочамера не может получать изображения необходимого качества, так как освещения внутри печи недостаточно, в связи с чем, многие характеристические изменения образца остаются неизученными.

Для решения данной проблемы потребовалось усовершенствовать конструкцию видеочамеры, предусматривающую не только освещение внутри печи, но и работу видеочамеры при температуре 1600 °C. Система CAF G5 успешно решает эти задачи благодаря кварцевому стержню, при помощи которого можно подсвечивать заднюю стенку рабочей камеры при низких температурах. Этот дополнительный источник освещения отключается по достижении 650 °C, когда теплоизлучение внутри рабочей камеры становится достаточно ярким.

Следующим шагом по усовершенствованию конструкции печи стало решение проблемы объективной интерпретации изображений при определении характеристических температур. Новая печь способна работать в автоматизированном режиме, при котором характеристические температуры плавления образца записываются в реальном времени с помощью программного обеспечения. Данный процесс выполняется согласно требованиям международных стандартов по проведению испытаний на плавкость золы, используемых лаборантами при анализе.

В сотрудничестве с наукой: новые шаги по усовершенствованию испытаний на плавкость золы

Компания Carbolite Gero использовала результаты своих фундаментальных исследований, проводимых в Ноттингемском университете (авторы: Ченг Хенг Панг, Тао Ву и Эд Лестер), для разработки автоматизированного режима работы печи, при котором создается профиль расплава образца с учетом различных переменных (температура и время расплава), отображаемых на графике. Стандартный профиль расплава представляет собой график зависимости высоты / исходной высоты образца от температуры (Рис. 3). График позволяет подробно изучить особенности расплава образца по всему температурному диапазону, а не просто определить четыре характеристические температуры. Профили расплава демонстрируют, что одного знания четырех характеристических температур как показателей фазового перехода явно недостаточно для определения поведения образца при расплаве. Авторы исследования показали, что полный температурный профиль способен предоставить уникальные характеристики поведения топлива при расплаве. Новая печь Carbolite Gero - это эффективная полуавтоматическая система, требующая от лаборанта только размещения образцов в печи вручную, после чего выполняется их автоматизированный анализ.

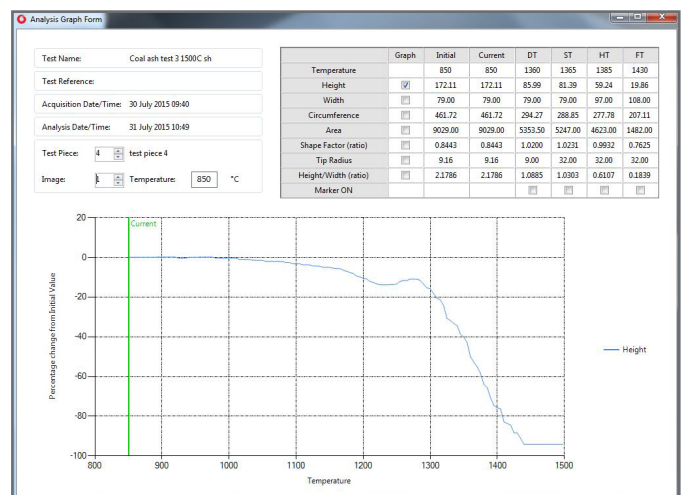


Рис. 3. График расплава образца, созданный программным обеспечением печи Carbolite Gero CAF G5

4 Испытания на плавкость золы: перспективы

В настоящий момент исследования в Ноттингемском университете (Великобритания) все еще находятся на стадии выполнения, а финансирование их осуществляется Ассоциацией по вопросам исследования топлива, получаемого из биомассы и полезных ископаемых (BF2RA), с целью разработки полностью автоматизированной системы для проведения испытаний на плавкость золы. Новая печь для испытаний на плавкость золы используется в программе BF2RA для разработки нового профиля расплава, позволяющего определять характеристические температуры образца, а также методов интерпретации формы образца (высота, периметр, округлость и т. д.) для расчета эффективности паровых котлов без необходимости знания характеристических температур. Увеличение разрешающей способности видеокамеры новой печи существенно повысило эффективность анализа изображений и обработки данных, а большая четкость изображений снизила уровень шума во всем температурном диапазоне (Рис. 4).

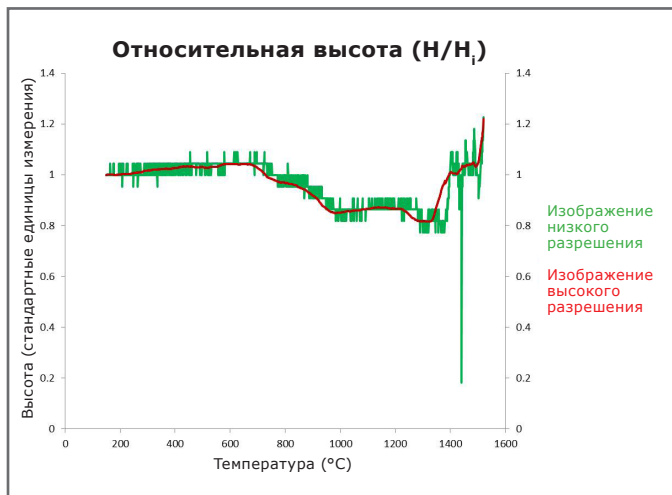


Рис. 4. Сравнение уровня шума на изображениях разного разрешения

Это означает, что метод определения четырех характеристических температур утрачивает свою актуальность, вытесняясь использованием температурных профилей, создаваемых в ходе анализа по изображениям характеристических изменений морфологии образцов во всем температурном диапазоне.

Поскольку температурный профиль позволяет получить уникальный набор характеристик каждой партии топлива, результаты испытаний на плавкость золы также могут использоваться для сравнения характеристик топлива различных поставок.

Заклучение

В последнее время оборудование для испытаний на плавкость золы претерпело существенные изменения: использование цифровых видеокамер позволило получать более качественные изображения высокого разрешения и увеличить скорость их обработки. Также было значительно улучшено освещение внутри рабочей камеры печи. Все эти изменения - значительный шаг по усовершенствованию анализа плавкости золы, получаемой из угля и биомассы.

Усовершенствование программного обеспечения сделало возможным автоматическую обработку от нескольких сотен до нескольких тысяч изображений, позволяя получать данные о форме образцов во всем температурном диапазоне.

Имеются перспективы разработки новых методов определения характеристических изменений формы образцов золы для расчета эффективности паровых котлов. С целью разработки полностью автоматизированной системы расчета отложений шлака и загрязнения котлов проект BF2RA предполагает работу с конечными потребителями перед приобретением топлива для испытаний, доступного на рынке.

Дальнейшие шаги по усовершенствованию испытаний на плавкость золы

Поскольку испытания на плавкость золы продолжают активно использоваться в отрасли, необходимо обеспечить их точность, быстроту и соответствие требованиям, предъявляемым пользователями современных паровых котлов, использующими различные виды топлива (от угля до биомассы), а также их различные сочетания.

Редактор: Харли Хоббс. Настоящая статья впервые опубликована в журнале World Coal, февраль 2016 г.
Дата публикации: 8 февраля 2016 г.