

Western Technologies, Inc.

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ВАННЫ ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ

K.C. Мейсон, Western Technologies, Inc.

Резюме

В статье содержится описание нового метода розжига высокоскоростных печей, имеющего целью продление срока эксплуатации ванны горячего цинкования.

Введение

Объяснить приемы, которые мы используем для продления срока эксплуатации ванны, будет легче, если предварительно изложить принципы работы высокоскоростной печи.

Высокоскоростные печи для горячего цинкования с торцевым обогревом имеют прекрасный послужной список длиной свыше 25 лет. Сейчас насчитывается свыше 250 работающих высокоскоростных печей для горячего цинкования. Почти все они - с торцевым обогревом.

Автор статьи непосредственно участвовал в проектировании 101 высокоскоростной печи с торцевым обогревом (или отвечал за проектирование) за период в 23 года. Из этих 101 печи 39 были свыше 7 м в длину, 20 были свыше 10 м в длину. Самая длинная имела в длину 18,3 м, самая глубокая имела глубину 3,73 м, а самая крупная вмещала 860 т цинка. В течение 18 лет тема высокоскоростных печей с торцевым обогревом всесторонне исследуется, сопровождаясь сбором данных о работающих печах.

Торцевой обогрев обладает рядом достоинств, таких как равномерность износа ванны, топливная экономичность, малый объем техобслуживания и др. Однако самое важное достоинство проявляется при поломке горелки. В грамотно спроектированной печи в случае повреждения сопла горелки пламя направляется вдоль галереи, а не на ванну. А вышедшая из строя из-за трещины в сопле плоскофакельная горелка или настенная высокоскоростная горелка может прожечь ванну менее чем за 48 часов.

Критерии разработки

В системах, разработанных Western Technologies, высокоскоростные газовые или мазутные горелки вмонтированы в один или два диагонально противоположных угла замкнутой галереи, целиком охватывающей ванну цинкования по периметру. Импульс выброса горелок, скорость которого достигает 150м/сек, порождает быструю циркуляцию горячих газов вокруг ванны, что обеспечивает высокую скорость теплообмена по всей открытой поверхности ванны. В то же самое время этот мощный поток циркулирующих газов нивелирует избыточную интенсивность воздействия в точке выброса пламени, равномерно распределяя его по периферии ванны. В результате – высокий рабочий КПД и равномерность

теплоотдачи, как по периметру ванны, так и по глубине, что обеспечивает равномерность износа материала ванны.

Что касается распределения тепла по поверхности ванны, возьмем типичный пример с общим количеством теплоты, передаваемой ванне, равным 9 000 000 кДж/час (9,000,000 Btu/hr), размерами ванны 15,25 м (50') в длину x 1,83 м (6') в ширину x 2,44 м (8') в глубину и пропускной способностью 16 200 кг (36,000 lb) в час. В этом случае температура на выходе из горелки примерно на 833°C (1,500°F) выше, чем температура в галерее, однако замеры температуры подтверждают, что колебания температуры, которую реально «чувствует» ванна (т.е. циркулирующего газа), остаются в пределах 128°C (230°F).

Как мы уже сказали, этот принцип прост. Однако реальный проект конкретной печи сложен, поскольку нужно принять во внимание такие переменные параметры, как ширина галереи, размер горелки, точное местоположение горелки и оптимальная скорость потока газа для обеспечения безопасной интенсивности теплообмена, позволяющей избежать повреждений изолирующих материалов. Эти и многие другие факторы необходимо учитывать в процессе проектирования, руководствуясь при котором следует как практическим опытом, так и прикладной теорией.

На данном этапе будет, наверное, нелишним подробнее остановиться на одном из наиболее важных теоретических аспектов проектирования печей цинкования, поскольку он нередко приводит к недопониманию и недоразумениям. Этот аспект – определения КПД системы на основе вычисленной температуры потока газа.

Когда газообразное топливо смешивается с воздухом в пределах своей воспламеняемости, эту смесь можно сжечь и высвободить тепло. Эффективность этого сгорания всегда надо вычислять путем сопоставления с общей потенциальной теплотворностью газа – его высшей теплотворной способностью, для природного газа это прибл. 40 000 кДж/м³ (955 Btu/ft³). В реальных условиях можно получить лишь 90% этого тепла, остальные 10% теряются на образование пара в продуктах сгорания.

Из оставшегося тепла часть уходит через изоляцию печи, часть идет на нагрев ванны, и еще часть выходит из печи через дымоход – являясь очень ценным источником энергии, которую можно использовать, например, в сушильной печи или для нагрева ванн предварительной подготовки.

Поскольку потери через изоляцию очень незначительны, мы определяем КПД системы как ту часть общего количества высвобожденной теплоты, которая передается от продуктов сгорания при их проходе через печь, выраженную в процентах.

Таким образом, КПД системы можно задать просто как функцию объема избыточного воздуха, используемого при сгорании и температуры топочных газов на выходе из печи. Полного сгорания топлива невозможно добиться при избытке воздуха менее 0%. Другое теоретическое ограничение – это то, что при температуре цинка в ванне 450°C (840°F) температура газов на выходе не может быть ниже чем 450°C (840°F). Отталкиваясь от этих параметров, получаем максимальный теоретический КПД для печи, работающей на природном газе, 74%.

Температура топочных газов в нашей высокоскоростной импульсной печи зависит от размеров ванны и требуемой производительности, однако она редко превышает температуру цинка больше чем на 200°C (350°F). К тому же, уровень избытка воздуха (требуемый на практике, чтобы обеспечить полное сгорание топлива и минимальное образование СО) точно отслеживается. В отдельных случаях этот показатель нередко достигает 70%. (Не забывайте, что абсолютный теоретический максимум КПД = 74%. Таким образом, здесь какое-либо усовершенствование без добавления регенерирующего (рекуперирующего) оборудования практически невозможно).

При нагреве ванн цинкования равномерность температуры имеет первостепенное значение, поскольку выравнивает скорость износа (выработки) на различных участках ванны и продлевает срок ее службы.

Лучший способ добиться такой равномерности – конвективный теплообмен, получаемый в результате циркуляции горячих газов вокруг ванны на высокой скорости. Чем выше скорость газа, тем ниже необходимая для теплопередачи температура. А более низкая температура дает меньшее количество аккумулируемой остаточной теплоты, лучшую управляемость и более низкие потери через стенки печи, а также дает возможность более экономично расходовать материалы.

Можно показать, что при топке печи цинкования высокоскоростными горелками отношение доли конвективного теплообмена к доле радиационного теплообмена с увеличением мощности пламени горелки повышается.

Поэтому предпочтительно включать горелки на максимальную мощность, какой можно достичь без чрезмерного увеличения нежелательного воздействия теплообмена в непосредственной близости от горелок – зоне, требующей тщательной проработки при проектировании печи.

Сжигание на высокой мощности также повышает эффективность смешивания газа с воздухом в горелке и практически устраняет образование угарного газа, продукта неполного сгорания. К тому же, горелку можно установить на одну скорость сгорания и этим минимизировать количество избыточного воздуха. Здесь уместно сравнение с горелками, работающими с широким диапазоном значений мощности, которым для обеспечения стабильности работы зачастую требуется большее количество избыточного воздуха, что приводит к снижению КПД печи, а иногда и к загрязнению альдегидами, образующимися в результате слишком низкой температуры пламени.

Теперь встает вопрос: как достичь плавного варьирования мощности нагрева печи при работе горелок только на предельной мощности и в режиме дежурного пламени? Здесь мы должны рассмотреть подходящий метод управления.

Обычная система контроля температуры импульсной системы не подходит по следующим причинам:

Обычная система контроля температуры импульсной системы функционирует следующим образом: температура цинка замеряется термопарой, и электрический сигнал поступает на двухпозиционный регулятор

(включающий/выключающий контроллер) температуры. Когда температура превышает установленный максимальный предел, мощность пламени горелки будет автоматически понижена до минимального установочного значения. Когда температура цинка упадет ниже установленного максимального предела, мощность пламени горелки будет автоматически повышена до максимального установочного значения. Однако вследствие эффекта временной задержки, подобная система заставляет температуру цинка в ванне изменяться по синусоиде – постоянное повышение и понижение неизбежно даже при близких значениях температуры переключения при превышении и при недоборе, что затрудняет получение стабильного качества оцинкования.

С точки зрения управления, для стабилизации отклонений температуры цинка средняя скорость подачи тепла в высокоскоростную печь должна регулироваться между максимальным и минимальным значениями мощности небольшими шагами. Однако любая настройка мощности пламени горелки неизбежно вступает в противоречие с требованиями, предъявляемым к печи, работающей только на высоком/низком пламени.

Мы разрешили это противоречие, применив систему управления, в которой переменной в уравнении среднего количества теплоты является не мощность пламени горелки... а время. В этой системе, известной как «система импульсного пламени», мощность пламени горелки изменяется по прямоугольной волне с постоянным периодом и регулярным ступенчатым изменением между низким и высоким пламенем. Отрезки высокого пламени на этой волне называются «импульсами». Среднее количество теплоты, поступающей в печь, регулируется путем изменения длительности импульсов высокого пламени. Поскольку период волны остается неизменным, увеличение или сокращение длительности импульсов приводит, соответственно, к повышению или понижению средней скорости подвода тепла в соответствии с изменениями в производительности процесса оцинкования.

Важно понимать, что это ступенчатое понижение мощности пламени горелки не приводит к резким изменениям температуры на границе сталь/сплав или сплав/цинк. При достаточно высокой частоте следования импульсов и стандартной толщине стенок ванны сама ванна сглаживает перемену температуры и сплав «ощущает» лишь незначительные и плавные модуляции тепловой мощности, что имеет огромную ценность для минимизации износа ванны.

Выше мы упомянули об ограничении мощности пламени горелок, необходимым для того, чтобы избежать чрезмерного увеличения нежелательного воздействия теплообмена в непосредственной близости от горелок, и должны признать, что здесь всегда приходится искать компромисс между производительностью печи и долговечностью ванны.

Пожалуй, для всех очевидно, что износ ванны зависит не только от температуры, но и от времени. Однако понимание того, как меняется выгода между этими двумя переменными, дает возможность обеспечить цинковальному производству большую эксплуатационную гибкость без ущерба для долговечности ванны.

Система управления температурой при пиковой нагрузке

Для данной ситуации мы разработали систему, которая дает возможность прерывистого повышения мощность пламени горелки сверх максимального значения для импульсного сжигания, и мы назвали это термином «турборежим». Если бы нам пришлось спроектировать печь, которая непрерывно работала бы в турборежиме, это несомненно привело бы к существенному сокращению срока службы ванны. Но если его применять лишь в отдельные моменты пиковой нагрузки, то суммарное время работы в турборежиме составит лишь небольшую часть рабочего времени, что не скажется существенно на продолжительности срока службы ванны.

Теперь рассмотрим, как применять турборежим на практике.

Частота погружений в ванну цинкования зависит от типа метизов и системы управления, однако нормой для линий с ручным управлением является 4–6 погружений в час.

Когда метизы погружены в расплавленный цинк, температура цинка падает. Падение температуры зависит от аккумулированной теплоты, т.е. содержания теплоты в цинке и ванны, и крайне мало – от мощности пламени горелок. Однако время перехода, т.е. время, необходимое цинку для восстановления температуры, зависит прежде всего от мощности пламени горелок печи.

Как уже упоминалось, интенсивность износа ванны определяется не только температурой перегрева, но и его длительностью. Рассмотрим снова типичный пример печи цинкования:

Размеры ванны (Г)	15,25 м (50') x 1,83м (6') x 2,44 м (8')
Максимальная пропускная способность	16 200 кг/час (36,000 lb/hr) 40 000 т/год (40,000 Tons/yr)
Количество рабочих часов в году	4 000
Средняя пропускная способность	9 000 кг/час (20,000 lb/hr)
Температура цинка	450°C (840°F)

При использовании определенного количества горелок на 100%-ой мощности максимальная пропускная способность составит 16 200 кг/час (36,000 lb/hr). При использовании тех же самых горелок на 80%-ой мощности можно достичь максимальной пропускной способности 11 880 кг/час (26,400 lb/hr).

Скорость эрозии ванны зависит от температуры слоя сплава и длительности воздействия этой температуры. При сжигании со 100%-ой мощностью температура сплава на стенках ванны может достигать 467°C (873°F). При сжигании с 80%-ой мощностью максимальная температура сплава на стенках ванны составит всего 464°C (867°F). Если удастся уменьшить температуру слоя сплава и длительность воздействия этой температуры, то можно продлить срок службы ванны. Для поддержания пропускной способности нужно давать горелкам работать на 100%-ой мощности, но только в случае насущной необходимости и в течение минимально возможного времени.

Падение температуры цинка при загрузке 2380 кг (5,280 lb), что эквивалентно пропускной способности 11 880 кг/час (26,400 lb/hr) при 5 погружениях в час (т.е. непрерывном горении горелок на 80% мощности) составит 2,8°C (5°F). Таким образом, если температура падает на 2,8°C (5°F) ниже установленного значения, это будет означать превышение ежечасной пропускной способности 11 880 кг (26,400 lb/hr) и необходимость мощности пламени, превышающей 80%.

Располагая этой информацией, мы можем теперь запрограммировать наш микропроцессорный температурный контроллер для работы с функцией турборежима.

В приведенном примере печь работает в диапазоне от 0 до 80% мощности пламени горелки со средней пропускной способностью, равняющейся 9 180 кг/час (20,400 lb/hr). Если при каком-либо погружении установленный средний показатель будет превышен, приведя к большему падению температуры цинка, немедленно сработает система «турбо», увеличив мощность горелок до 100%.

Потери в стали (износ) ванны цинкования

Потери в стали при 100%-ой нагрузке горелок при средней скорости теплообмена 89 879 КДж/м² (8,361 Btu/ft²) равны 14,91 x 10⁻³ см/час (5.87 x 10⁻³), что при пропускной способности 40 000 т/год приведет к максимальной ежегодной потере в 0,422 см (0.166"). Потери стали ванны при работе горелок на 80% при кратковременных включениях на 100%, при том же значении ежегодной пропускной способности и при средней скорости теплообмена 72 722 КДж/ м² (6,765 Btu/ft²) составит 0,363 см (0.143"). Считая, что ванну заменяют после потери 2,54 см (1") стали и не ремонтируют, мы видим, что при соответствующем режиме импульсного сжигания минимальный срок службы ванны составляет 5 лет, а при использовании функции «турбо» – 6 лет.

Заключение

Данную систему обогрева можно приспособить для работы с любой рабочей печью и увеличить срок службы ванны, почти во всех случаях, на 20% и более.

Источники:

- 1) Nizzola 1 (1967). Heat Transfer Through the Walls of a Galvanizing Pot. Proc. 8th Int. Conf. on Hot Dip Galvanizing
- 2) Sakar, KK (1981). Galvanizing Pot Life Related to Control of Heat Flux. Proc. Seminar on Heating Systems for Galvanizing Plants
- 3) M.A. Harding and R.A. Etchells. The prediction of Useful Life with Particular References to Pulse Fired High Velocity Galvanizing Furnaces. Proc. 17th Int. Conf. on Hot Dip Galvanizing