

Регенеративные горелки для печи отпуска и нормализации труб

Новая горелочная техника разрабатывается на основе принципа рекуперации тепла в интегрированном теплообменнике. При этом потребление природного газа снижается более чем на половину, а выбросы оксидов азота NO_x уменьшаются до очень низкого уровня. Новая печь для отпуска и нормализации труб оснащена усовершенствованной системой нагрева, включающей в себя полностью компьютеризированное управление для оптимальной точности и повышения качества продукта. Промышленный опыт применения при производстве различных видов труб прошел с очень хорошими результатами и подтвердил потенциал новой технологии горения FLOX®.

Guido Capoferri, Attilio Mattarini и Matteo Ricci

Piefra SpA, CSM, Tecnocentro srl

На сегодняшний день, природный газ используется как основное топливо для нагревательных и термических печей как непрерывного, так и периодического действия. В случае если он доступен, природный газ имеет огромное преимущество по сравнению с побочными газами доменного, коксового производства и жидким топливом. Он чист и имеет высокую теплоту сгорания, при правильно организованном сжигании, выделяется минимальное количество вредных выбросов. Для его сжигания нужно простое и недорогое оборудование; к тому же, он подается с постоянным давлением и составом, практически в любом количестве.

Между тем, цена природного газа растет так же, или даже быстрее, как цена на нефтепродукты. В большинстве стран-производителей стали в 2000 году цена возросла примерно на 25%. Затраты на потребляемый газ, как часть текущих затрат, вряд ли уменьшатся в будущем и могут существенно возрасти в дальнейшем. Другим фактором является необходимость в большом внимании и новых решениях в конструкции и управлении газосжигающего оборудования, как следствие всё более строгих требований к ограничению выбросов в атмосферу. Оба фактора являются серьезной причиной для поиска путей существенного снижения потребления энергии в

высокотемпературных процессах, и не только в производстве металла – наибольшего энергопотребителя, но и в других отраслях, таких как производство стекла, керамики, и в нефтехимической промышленности.

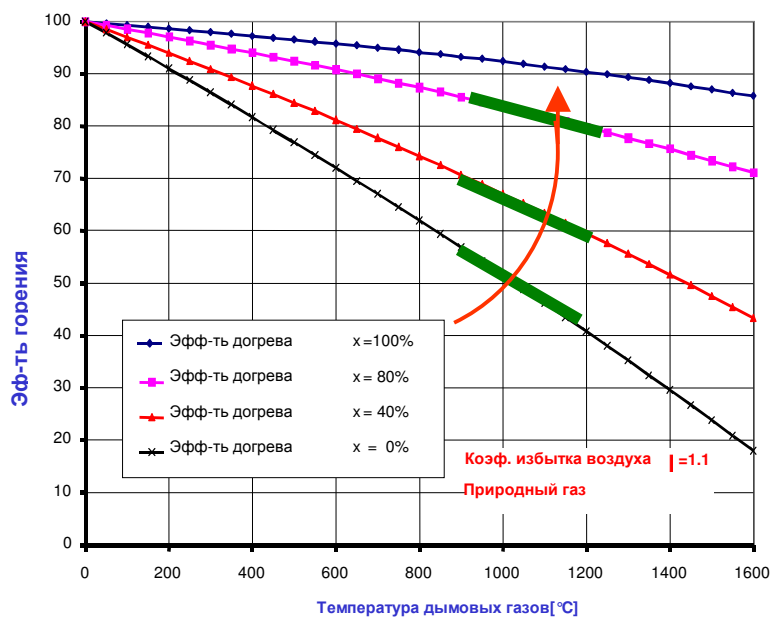


Рисунок 1 Эффективность горения в зависимости от температуры процесса

Фирма WS Wärmeprozessstechnik GmbH (WS) (Германия) в течении многих лет разрабатывает передовые газовые горелки с догревом воздуха для горения во встроенном рекуператоре для термообработки. Несколько десятков тысяч подобных горелок установлены на заводах всего мира (J.G. Wüning, 16th ASM Heat Treating Conference and Exposition, Cincinnati, USA, 1996). В металлургической промышленности предъявляются высокие требования к линиям с печами непрерывного действия и существует широкий диапазон граничных условий, с учетом которых была разработана регенерационная горелка для работы при высоких температурах. Новая система была разработана совместно с Tecnocentro и CSM в Италии и опробована на новом заводе группы AST-Nirosta в Terni. Проект осуществлялся при частичной поддержке Европейского Союза и на базе know-how разработанного A. Milani, G.V. Salamone и J.G. Wüning (GASWÄRME International, 46, 1997, 606-612). При этом использовалась печь для отжига ленты из нержавеющей стали, которая была оборудована новой техникой, успешно проработавшая в течении многих лет.

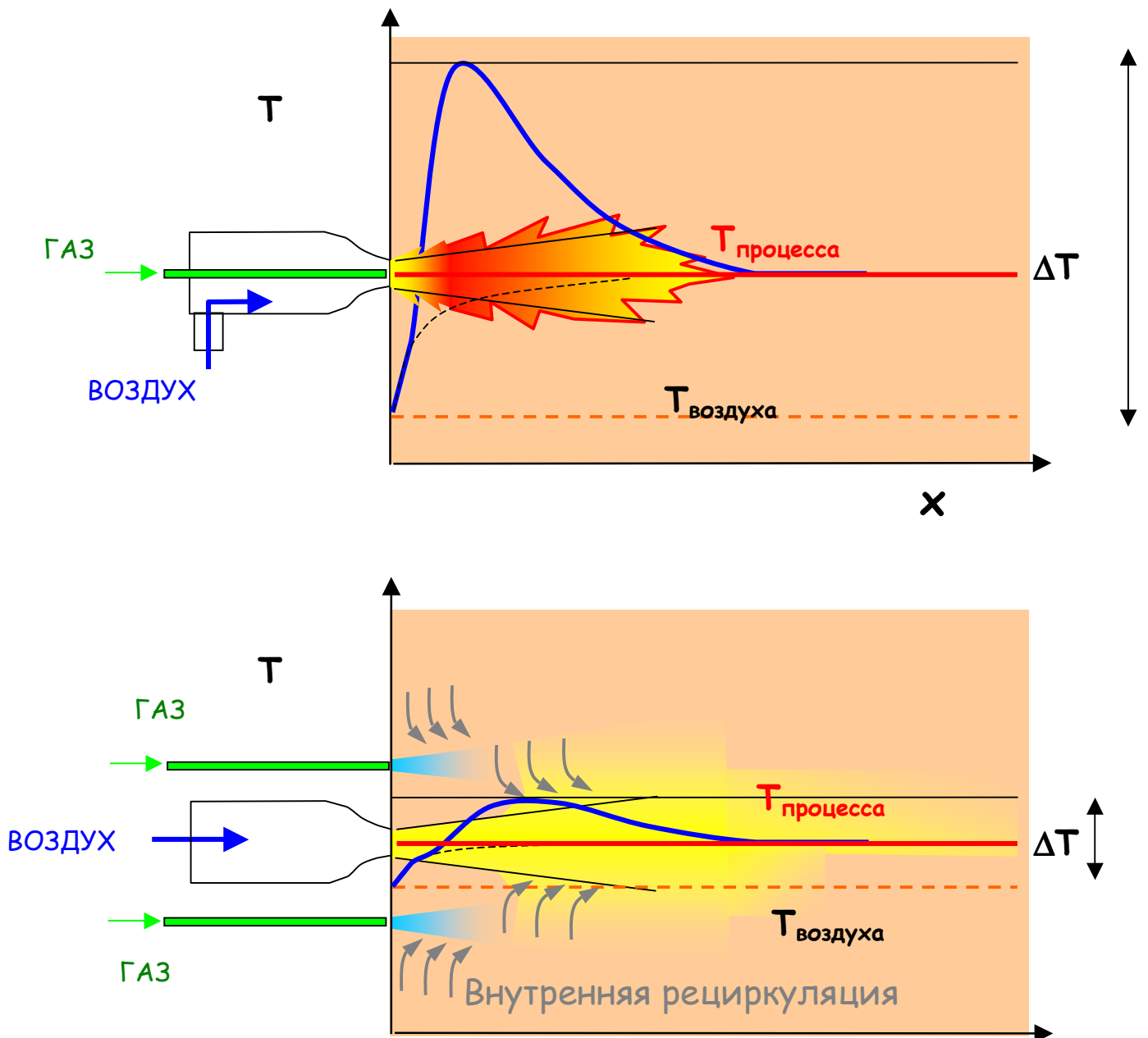


Рисунок 2 Примеры распределения температуры для
 а) обычного пламени и б) режима беспламенного горения

Технология высокотемпературного горения

Рекуперационная техника Существенное повышение энергосбережения при работе высокотемпературных печей возникает при повышении эффективности горения. В печах, работающих на жидком топливе, работающих с равномерной температурой $t_{\text{проц}}$, которая задаётся технологическими требованиями (реактор с хорошим перемешиванием), отходящие газы уносят из пространства горения большую часть получаемой энергии в виде физического тепла с температурой $t_{\text{проц}}$. Эти потери энергии могут быть существенно снижены дожигом кислорода (снизив поток отходящих газов с обычных $11,5 \text{ м}^3$ с дожигом кислорода до 3 м^3) или, более

распространенное, путем предварительного нагрева сжигаемого воздуха до температуры $t_{\text{воздуха}}$ в теплообменнике (отходящие газы / воздух). Таким образом можно получить назад часть тепла, содержащегося в отходящих газах и вернуть его обратно в пространство горения.

Если мы определяем эффективность предварительного нагрева воздуха как $\xi = t_{\text{возд}}/t_{\text{проц}}$, тогда термическая эффективность печи, η_{th} , легко рассчитывается для модели реактора с хорошим перемешиванием, как показано на *Рисунке 1*. Для большинства стандартных печей экономия энергии составляет 15-25% для установок без устройств для догрева воздуха. (см. *Рисунке 1* для $\xi = 0$ и 40%). Показатели

догрева свыше 40% отражают современные технологии. Удвоение этого показателя до 80% практически удваивает экономию энергии, всё еще оставляя при этом область до верхнего предела, $\xi = 100\%$. При обычной температуре процесса $t_{\text{proc}} = 1200^\circ\text{C}$, удвоение ξ привело бы к увеличению предварительного нагрева воздуха от $t_{\text{air}} \sim 500^\circ\text{C}$ до $t_{\text{air}} \sim 1000^\circ\text{C}$; но такая высокая температура недостижима для систем с центральным рекуператором в дымоходе. Невозможным является сохранить такую температуру догретого воздуха до горелок, расположенных в нескольких зонах печи.

Решением этой проблемы является разработка метода интегрированной в горелку рекуперации тепла, в соответствии с концепцией децентрализованной рекуперации, когда образующиеся при горении газы отводятся непосредственно этой горелкой. Встречный поток теплообмена отходящие газы/воздух в теплообменнике, расположенном в горелке, догревает подаваемый в горелку воздух и удаляет отходящие газы через каждую горелку, охлаждая их на несколько сотен градусов Цельсия. Системе необходимы жаропрочные компоненты в горячей зоне горения, для чего отлично подходят усовершенствованные керамические материалы. Как показывает практика, температура прогретого воздуха может превышать $1000\text{-}1200^\circ\text{C}$.

Экономию энергии легко оценить при помощи простой диаграммы, такой как на *Рисунке 1*, которая отображает повышение достижимую эффективность горения. Эти расчеты подтверждены промышленным применением и большими демонстрационными проектами включающими печи непрерывного нагрева и/или печи для термообработки в компаниях по производству стали, большей частью в Европе и Японии.

Очень эффективный компактный теплообменник смонтирован в корпусе горелки и использует хорошо известный принцип регенерации используемый для снабжения горячим воздухом устаревшего процесса производства стали в мартеновской печи. Система использует два теплоаккумулятора, которые поочередно нагреваются отводящимися газами и охлаждаются воздухом; новый принцип характеризуется очень кратким циклом чередования (10-20 секунд), так что цикл регенерации, и следовательно размер оборудования можно существенно уменьшить. Данная концепция применялась

много лет с небольшим успехом, в большинстве своем из-за того, что горение при догреве воздуха до температур свыше 1000°C образует области повышенной температуры возле горелки, приводя к недопустимо высокому содержанию NO_x в отходящих газах и тепловым перегрузкам.

Горение при догреве воздуха до высокой температуры Необходимость решения проблемы, описанной в предыдущем параграфе, является ключом к экономии энергии в производстве с высокотемпературными процессами. Всесторонние исследования и разработки проводились не только для горения природного газа, но и для сгорания при высоких температурах всех видов природного и попутного топлива. Описание новых технологий горения, открытых в настоящее время, было недавно опубликовано А. Milani и А. Saponaro (*La Termotecnica*, Январь-Февраль 2000, 87-94)

Горелочную технику, разработанную WS для работ, описанных в этой статье, отличает конструктивные решения снижения содержания NO_x , основанные на ступенчатом горении и на разрежении пламени при рециркуляции отходящих газов в пространстве горения. Этот эффект показан на *Рисунке 2*, который отображает обычную характеристику и распределение температуры в высокоскоростной газовой горелке. Отвод отходящих газов из пространства горения осуществляется кинетической энергией струи.

Если топливо и газ вдуваются непосредственно в пространство горения и разбавлены отходящими газами перед смешиванием и сгоранием в стационарном фронте пламени, существует возможность работы без стабилизации пламени, при условии что температура процесса превышает безопасный порог самовозгорания. Это горение без пламени характеризуется практически невидимым пламенем и отсутствием шума горения; также отсутствует турбулентный фронт пламени возле горелки, и реакция горения происходит распределено и равномерно по всей камере сгорания.

Температурные профили при работе с пламенем и без него сильно отличаются (*Рисунке 2*), что существенно влияет на выделение NO_x . Горение без пламени, известное как *FLOX[®] (Flammlöse Oxidation)*, существенно снижает эти выбросы и обеспечивает однородное распределение температуры. Режим работы без пламени допустим только при температурах,

превышающих безопасный порог (~ 850 °C), когда реакция сгорания может происходить полностью без риска взрыва. Ниже этого порога единственным решением является горелка с обычным стабильным пламенем с контролем безопасности горения. При температурах выше FLOX® температуры горелочная система может быть переключена в режим горения без пламени для получения всех преимуществ техники высокотемпературного сжигания.

Новая печь для отпуска и нормализации Конструкция установки и управление

Новая печь, установленная в прокатном стане бесшовных труб компании Pietra SpA, Brescia, Италия, разработана для повторного нагрева и термообработки труб поступающих из прошивного стана горячей прокатки для передачи их на чистовой редуцирующий стан для прокатки труб с натяжением. Ассортимент состоит из труб с широким диапазоном размеров (диаметры и длины), которые подаются в печь при различных температурах (от температуры окружающей среды до около 300 °C); мощности производства также отличаются (максимум – 30 т/ч). Температура процесса в основном выше порога беспламенного горения и поэтому возможно успешное применения этой технологии высокотемпературного горения.

Печь имеет неохлаждаемый шагающий под в рабочей зоне и имеет прямоугольную форму. На *Рисунке 3* показана выходная часть печи, а на *Рисунке 3* – рабочее пространство печи. Трубы, поступающие со стороны загрузки при помощи роликов, подвигаются нажимным рычагом на шагающий под, который продвигает их ступенчатыми движениями к противоположной стене к стороне выгрузки.

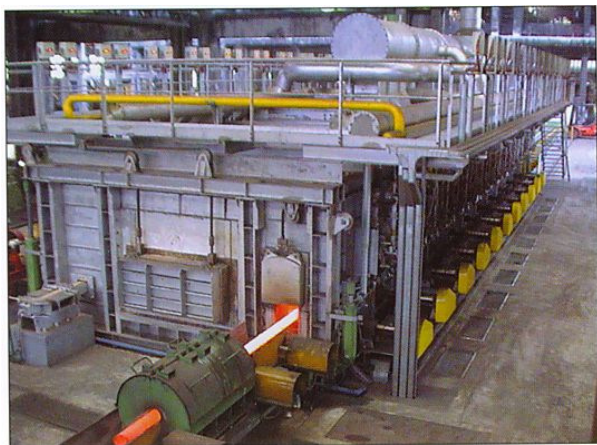


Рисунок 3 Сторона выгрузки печи

Система загрузки полностью автоматизирована и работает последовательно с загрузкой на шагающий под и выгрузкой. Каждая труба проходит через установку, поэтому контролирующий компьютер знает положение и историю обработки каждой из них.

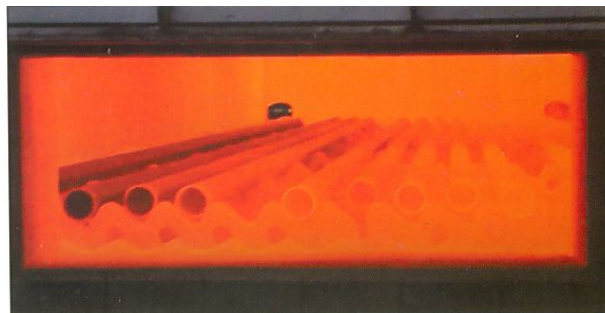


Рисунок 4 Печь изнутри

Система рассчитывает необходимую скорость движения и на основании этого - время обработки в печи, в зависимости от размеров и входной температуры каждой отдельной трубы, учитывая требования термообработки (они хранятся в памяти компьютера) и температуру в печи. Компьютерное наблюдение удобно и информативно, принимая во внимание частоту такта загрузки. Частота загрузки высока, до двух изделий в минуту, и главной целью процесса является не нормализация труб в печи, а прокатка их в заданный размер на редуцирующем стане; таким образом, печь должна максимально соответствовать требованиям стана.

Успех управления процессом базируется на системе на основе программируемого логического контроллера PLC, система уровня 1, которая полностью оснащена высококачественными приводами и отслеживает сигналы о скорости различных моторов, механических устройств и датчиков. Конечно же, горелочная система должна соответствовать точности системы управления. Базовым устройством является самовосстанавливающаяся горелка Regemat мощностью 200 кВт (*Рисунок 5*) которая работает в режиме беспламенного горения, который описан выше. Отличительной особенностью данной горелки является монтаж в корпусе одной горелки двух встроенных теплообменников, в то время, что обычно каждая регенерационный горелочный блок представляет собой два отдельных блока. Такой вид конструкции горелки делает ее очень компактной и позволяет установить все необходимые устройства:

переключающие клапаны для управления регенеративным циклом, электроклапаны для воздуха и газа, настройку потока и оборудование безопасности, а также центральную стартовую горелку.

Установка стартовой горелки необходима по той причине, что режим FLOX® допускается только при температурах свыше 850 °С (термопары безопасности расположены во всех зонах печи). При температурах ниже этого порога, например, при разогреве холодной печи, необходимо использование обычной горелки со стабильным пламенем с контролем безопасности горения. Тридцать шесть горелок Regemat установлены вдоль на противоположных сторонах печи на Pietra SpA; горелки работают так же, как и высокоскоростные горелки, усиленно перемешивая атмосферу в камере сгорания. Управление осуществляется тактово, включением / выключением горения, то есть, последовательным зажиганием каждой горелки на рассчитанный временной интервал, в привязке к сигналу контроллера в потребности нагрева. Поэтому горелки всегда работают на полную мощность, соответствующую оптимальным конструктивным условиям.

Все горелки установлены параллельно и подключены к общим линиям подачи воздуха и газа и отвода отходящих газа. Обычная методика разделения на зоны контроля, с модулируемой подачей мощности в каждую зону, связана с контролем соотношения воздух / топливо, что является необходимостью традиционной конструкции агрегата. В сравнении с ней, новая система является более гибкой: зоны регулирования не разделяются физически, а вместо этого задаются на основании концепции «электронной» зоны и могут легко изменяться посредством программного обеспечения системы. На печи заданы восемь зон контроля либо электронных зон (в сравнении с обычными тремя или четырьмя в традиционных печах), что обеспечивает высокие стандарты точности и однородности температуры продукта в широком диапазоне рабочих условий.

Производительность системы
Потребление энергии зависит в определенной мере от размера печного пространства, что значит, от производительности, которая главным образом определяется прокатным станом. Специфический расход газа находится в диапазоне между 21 и 23 нм³/т (около 210 –

230 кВт/т) по сравнению с 24 нм³/т, гарантированными в контракте. (Обычное потребление для печей без оборудования догрева воздуха составляет 50-60 нм³/т).

Установка работает с апреля 2000 года без особых проблем, несмотря на сложность и новизну технологии. Выбросы NOx существенно ниже законодательных ограничений. Однородность температур труб также является очень хорошей.

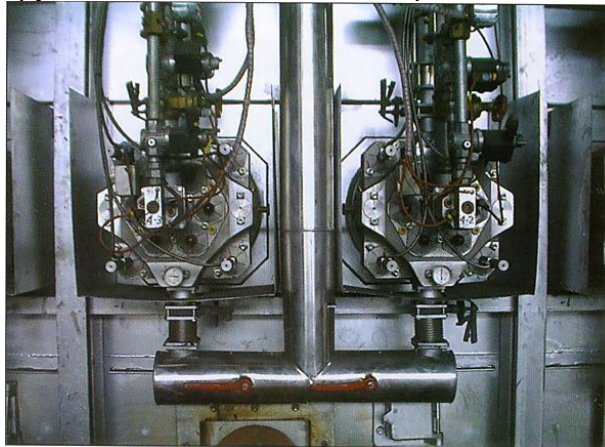


Рисунок 5 Горелка REGEMAT®

Заключение

Описанная в данной статье новая технология горения особо применима для высокотемпературных процессов (до 1300 °С). Весь потенциал преимуществ высокоэффективной системы догрева воздуха, работающей с температурой, близкой к температуре процесса, позволяющей добиться экономии энергии и снижения выброса NOx, может быть полностью реализован свыше так называемого «беспламенного порога». При использовании в большинстве печей для термообработки технологии FLOX®, экономия энергии достигает 25-50%.

Новая технология горения основывается на технике тактового горения, отличающаяся горением некоторых горелок на полную мощность и, как результат, однородным распределением теплового потока в пространстве горения. Гибкость, точность и скорость управления существенно улучшены в сравнении с обычным методом пропорционального управления. Децентрализованная рекуперация выгодна для достижения максимальной производительности, в особенности для туннельных печей со встречным потоком (где диапазон повышения производительности достигает от 25% до 50%).

Естественно, новая система более сложная и более дорога в сравнении с традиционной, из-за необходимости децентрализации на уровне горелок

устройств интегрированной рекуперации и устройств управления, включая такие компоненты, как отсекающие клапаны моментального действия, оборудование для переключения режимов «Пламя»/ «Беспламенный» и прочих, не использующихся в традиционной технологии.

Преимущества, описанные в данной статье, могут стать ключевыми в принятии решения о введении новой технологии горения, которая была продемонстрирована в нескольких печах термообработки (использующих как прямое пламя так и нагрев радиантными трубами) и в нагревательных печах. Важный опыт был приобретён WS при поддержке консорциума CSM и Tecnocentro в дизайне, обеспечении и работе новой технологии при тесном сотрудничестве с металлургическим производством.

Естественно, при росте цен на природный газ, снижение потребления газа играет главную роль в текущих затратах, что оправдывает несколько большие первоначальные затраты. Окупаемость существенно зависит от интенсивности производства, но находится в диапазоне от одного года до трех лет.

И последнее, но не менее важное – проект демонстрирует, что инвестиции в новые технологии энергосбережения, разработанные с учетом снижения содержания NOx и выбросов вредных газов, обеспечивает не только снижение затрат на топливо и снижение загрязнения окружающей среды, но также повышает производительность и качество продукции.

FLOX® и REGEMAT® являются зарегистрированными торговыми марками WS Wärmeprozess-technik GmbH.

Guido Capoferri – директор трубного производства Pietra SpA в Brescia ; Attilo Mattarini – директор испытательной станции CSM в Genoa, Matte Ricci– технический директор Tecnocentro srl в Terni, Италия.