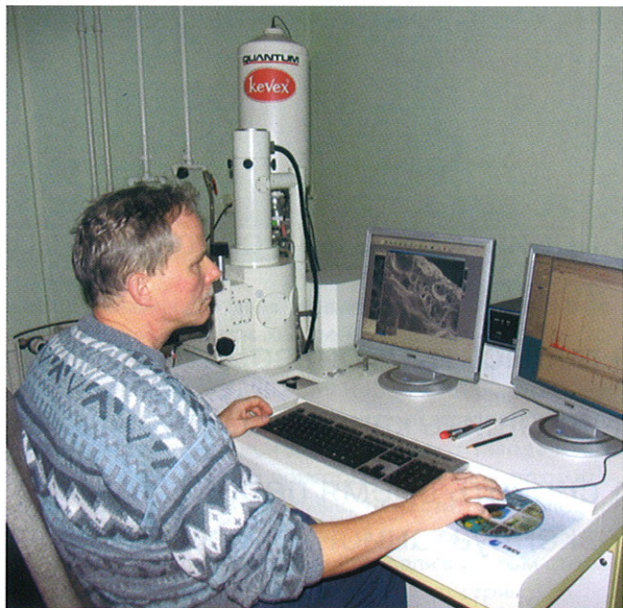


## Майсенский институт керамики — надежный партнер керамической промышленности при решении любых вопросов

Вот уже на протяжении многих лет институт работает на высоком уровне технического ноу-хау, выполняя заказы керамической индустрии из всех стран



Растровый электронный микроскоп

мира. 20 научно-технических сотрудников решают задачи любой отрасли керамической промышленности с ключевыми направлениями:

- ▶ Разработка и переработка керамического сырья
- ▶ Строительная керамика
- ▶ Посуда и декоративный фарфор
- ▶ Санитарная керамика
- ▶ Электрофарфор
- ▶ Огнеупорная керамика
- ▶ Техническая керамика

При этом сотрудники института уделяют особое внимание практическим решениям всех керамических проблем, связанных с развитием и разработкой новых видов продукции, технологическим режимом, контролем качества продукции и производственным надзором.

Отзывы о работе института, размещенные на интернет-сайте [www.keramikinstitut.de](http://www.keramikinstitut.de), отражают профильный спектр деятельности, который охватывает следующие приоритетные области:

- ▶ Оценка качества и контроль керамического сырья
- ▶ Консультационная служба для потребителей и научное руководство во всех областях керамической промышленности
- ▶ Индивидуальные технологические решения и рекомендации

▶ Пуск в эксплуатацию промышленных комплексов и отдельных агрегатов, в особенности сушил и печей  
Лабораторные и опытно-промышленные услуги с учетом надзора за режимом производственного процесса и контролем продукции

▶ Опытное опробование новых технологий и новых видов продукции в экспериментальном цехе института (так называемом "отделе пилотных испытаний"); подготовка серийного производства

▶ Разработка и внедрение новаторских технологий

▶ Исследование новых керамических материалов и определение новых областей их применения

▶ Внедрение методов контроля качества и защитно-предохранительных систем

▶ Информационно-поисковая служба, специально разработанная для керамической промышленности

▶ Производственно-техническое обучение и курсы повышения квалификации обслуживающего персонала и руководящих сотрудников в области керамических технологий

В целях реализации повседневных научно-исследовательских задач высококвалифицированные специалисты института располагают продуктивными лабораториями для проведения химических анализов и физических исследований керамического



Вид на лабораторию физических исследований

сырья, а также экспериментальным цехом наилучшего оснащения, так называемым "отделом пилотных испытаний". Данные предпосылки позволяют реализовать релевантные испытания, имитировать в экспериментальном цехе почти все процессы и производственные условия керамической индустрии и, тем самым, тестировать эффективность результатов их применения. Наряду с классическими лабораторными приборами следует особенно



Экспериментальный цех, оснащенный высококачественным оборудованием

подчеркнуть применение, например, таких приборов: растровый электронный микроскоп, рентгенофлуоресцентный спектрометр, рентгеновский дифрактометр, микрозонд, низкотемпературный дилатометр, стереомикроскоп и свободно про-

граммируемые морозильные камеры, которые позволяют специалистам института проводить отвечающие всем нормам и стандартам анализы и испытания индивидуальных проб заказчиков. Широкий диапазон лабораторного оборудования дополняет оросительная башня, предусмотренная для изготовления разных гранулированных материалов. Диапазон ее мощности охватывает спектр от минимального объема вплоть до производительности 5-10 тонн "производственной мощности" в месяц. Как независимое частное предприятие институт керамики работает по принципу особенной секретности и доверенности, надежности, быстроты и стремительности. Базирующиеся на многолетнем опыте работы и выполняемые с учетом производственной практики анализы и результаты исследований оказывают огромную помощь нашим заказчикам.

KI Keramik-Institut GmbH  
Ossietzkystrasse 37a  
01662 Meissen  
Germany  
Тел.: +49 35 21 463 515  
Факс: +49 35 21 463 516  
info@keramikinstitut.de  
www.keramikinstitut.de

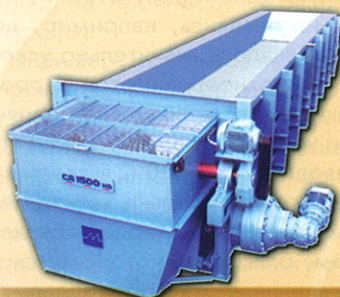


Машины и полные линии для производства кирпича и черепицы

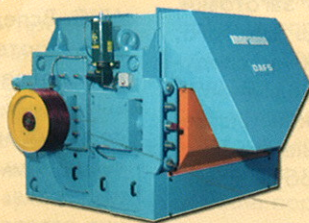
Morando s.r.l. Tel ++ 39 0141 417311  
Strada Rilate 22, Fax ++ 39 0141 417504  
14100 ASTI (Italy) E mail: info@morando.ws



Ящичные питатели Серии CA



Дробилки (дезинтеграторы) Серии DAF



Высокоскоростные помольные вальцы Серии VELOX



Фильтрующая глиномешалка Серии MBAF



Кирпичные формовочные прессы Серии MUN



Компания MORANDO уже 100 лет занимается изготовлением самого полного ассортимента оборудования для кирпично-черепичной промышленности



THE 100th ANNIVERSARY

## Микроволны — не решение для просушки сырца!

На основе теоретических выкладок и данных практических опытов считается, что сушка сырца методом микроволн невозможна. Процессы испарения и выпаривания воды в засыхающих областях постоянно приводят к разрушению, так как в этих областях нет открытых пор, выводящих образующийся водяной пар.

### 1 Постановка задачи

Как известно, глиняные заготовки высыхают при сушке. Так как конвективная сушка, широко применяемая в кирпичной промышленности, неизменно приводит к тому, что обдуваемые воздухом поверхности высыхают быстрее, чем внутренние области заготовок, всегда возникают различия в скорости высыхания. Возникающие при этом силы напряжения могут оказаться выше предела прочности, что приводит к появлению трещин.

В противном случае напряжения ведут к возникновению остаточных пластических или временных деформаций. Как остаточные деформации, т. е. искривление кирпича, так и трещины совершенно неприемлемы. Опасность возникновения трещин можно попытаться предотвратить следующим образом: повысить прочность кирпичной массы, например, при помощи добавки специальных видов глины или волокнистых веществ или снизить градиенты усадки, т. е. локальные различия в скорости процессов сушки и высыхания. Самым простым способом является крайне медленное протекание процесса сушки. Градиент высыхания можно понизить и при помощи повышения влагопроводности материала. Особенно эффективны при этом повышение температуры заготовки и использование отошающих добавок [1, 2]. Добавки снижают степень высыхания и повышают влагопроводность, но также снижают прочность заготовки, так что возникает конфликт целей. Ведь для того, чтобы избежать повреждений при высыхании, следует повысить как прочность, так и влагопроводность. Этого можно добиться, используя волокнистые вещества, спутывающие массу, а не обычные отошающие добавки, как, например, песок. Особую слож-

ность представляет сушка заготовок, в структуре которых встречаются зоны с очень разной толщиной материала. Зачастую это касается кровельной черепицы, в особенности черепицы для ската крыши, коньковой черепицы и других специальных видов черепицы. Такая черепица состоит из большей тонкой части и из меньшей толстой, например, насадки навеса края крыши.

В этом случае тонкая часть заготовки неизбежно прекратит высыхать в то время, как в соседних более толстых частях процесс высыхания только начнется. В результате возникают очень высокие градиенты высыхания с высокой вероятностью возникновения трещин.

### 2 Существует ли возможность снизить вероятность возникновения трещин при помощи микроволн?

В домашнем хозяйстве и промышленности для эффективного нагрева продуктов, содержащих воду, например, продуктов питания, широко используются микроволновые устройства. То, что использование таких устройств возможно и при сушке кирпичных заготовок, было показано в исследовании группы "Отто фон Герике" в 1995 году [3].

Тем не менее, речь в той работе не шла собственно о сушке. Исследователи успешно пытались при помощи микроволн или ввода высокочастотного излучения нагреть заготовку перед попаданием в сушилку так, чтобы она без достижения точки росы могла быть сразу подвергнута воздействию влажной и теплой атмосферы с предельной температурой отжига при улучшенной влагопроводности [1, 2]. Опыты Меркерта и Диделя над заготовками кровельной черепицы [4] имели схожую цель и результаты. При этих опытах заготовки нагревались, например, до 60°C. Вследствие этого удавалось значительно ускорить протекающий на поверхности заготовок процесс конвективной сушки без возникновения трещин, вызванных градиентами усадки. Причина заключается в том, что влагопроводность при 60°C в два раза выше, чем при 20°C [5], и градиенты высыхания уменьшаются. Следует отметить и равномерное обтекание заготовок воздухом, благодаря которому снижаются локальные различия в массопередаче. В обоих вышеназванных опытах [3, 4] для нагрева заготовок использовалось микроволновое или высокочастотное излучение. Однако сам процесс сушки протекал в основном на поверхности — конвективно, а затем, во второй фазе — как процесс испарения в плоскости осушения, постепенно проникавшей вглубь образца [2].

Конечно, микроволновое поле можно использовать не только для нагрева водосодержащих продуктов, которые впоследствии следует просушить, но и для непосредственной просушки. Этот способ используется в промышленности при сушке заготовок из различных материалов, и необходимым условием является то, чтобы плотности материалов позволяли достаточное проникновение поля в заготовку. Локаль-

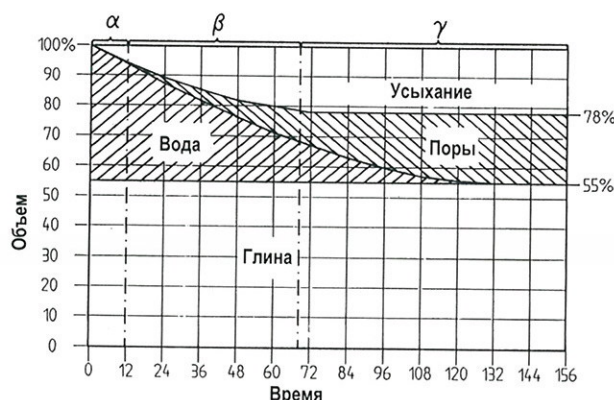


Рис. 1: Диаграмма процесса сушки глиняной массы по Бурри [9]

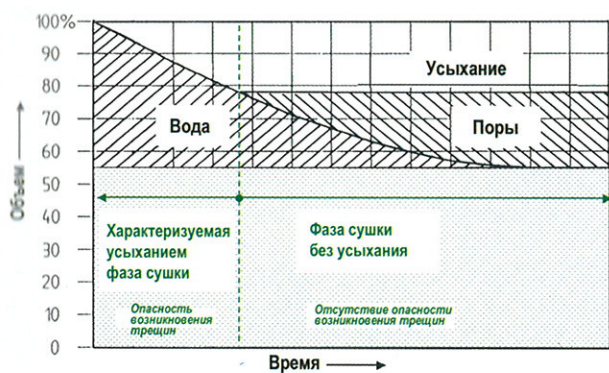


Рис. 2: Диаграмма Бурри для массы из кирпичной глины

ное распределение теряемой мощности микроволн в сохнувшем материале схоже с полем источника тепла. Достижимые при этом локальные температуры так влияют на тепловое равновесие, что имеющиеся свободные поры подвергаются давлению насыщенного пара. Оно сопротивляется давлению окружающего пара тем слабее, чем ниже коэффициент диффузионного сопротивления структуры пор [5]. При низком коэффициенте локальная температура заготовки будет соответственно низкой. С другой стороны, при том же уровне проникновения микроволн температура будет значительно выше, если диффузионное сопротивление (в продуктах с узкими порами) велико, вследствие этого возникнет большая разница между локальным давлением насыщенного пара и давлением пара в окружающем воздухе. Если давление насыщенного пара окажется выше атмосферного давления (при очень высоком диффузионном сопротивлении), сохнувший образец будет подвергнут изнутри избыточному давлению (температура превысит  $100^{\circ}\text{C}$ ) и – при превышении предела прочности – разорвется под давлением пара [6].

Например, использование микроволн при просушке пористых пород дерева очень широко распространено. Так как тепловыделение в точках с максимальным содержанием влаги происходит особенно интенсивно [7], при использовании микроволн происходит необходимое выравнивание внутренних различий в содержании влаги во время процесса сушки. Это зачастую оправдывает высокие финансовые расходы на микроволновую технологию [8].

Так как высокие градиенты влажности, возникающие при сушке кирпичных заготовок, ведут к опасным напряжениям высыхания, напрашивается вопрос о возможности использования сушки с помощью микроволн аналогично сушке дерева. В этом случае проникновение волн будет максимальным там, где локальное содержание влаги особенно высоко. Поэтому микроволновое излучение привело бы к тому, что во время сушки содержание влаги в заготовке было бы относительно выровнено. Вследствие этого не возникли бы серьезные различия в процессе высыхания, и в материале не было бы механических напряжений, так что большие расходы на оборудование и энергию во многих случаях были бы

оправданы. При этом большое значение имеет диаграмма процесса сушки глиняной массы по Бурри. Ее описывают и объясняют, например, Сальманг [9] и авторы многочисленных статей по технологии сушки Института исследования кирпича, например, в [1]. Изображенная на рис. 1 диаграмма поясняет, что испарение воды во время сушки ведет исключительно к высыханию материала в течение лишь очень короткого отрезка времени, обозначенного "А". Очень скоро происходит переход в длительную фазу "Б", во время нее уже возникают заполненные воздухом поры, по которым пар может покидать внутреннюю часть заготовки. Во время фазы "Б" процесс высыхания завершается, и процесс сушки можно закончить относительно легко без возникновения механического напряжения, вызванного высыханием. Проведенные в 2004 году Институтом исследования кирпича изучения процессов, происходящих в сохнувших заготовках, вызвали первые сомнения в том, возможно ли вообще желаемое действие одновременного локального образования пор и высыхания. Это означало бы, что капиллярная сила всасывания, поверхностное натяжение, электростатическое дипольное взаимодействие и ван-дер-ваальсова сила не достаточны для того, чтобы сжимать материал, пока частицы не начнут опираться и цепляться друг за друга. У сильно разбухающих веществ, содержащихся в кирпичной глине, в некоторых случаях может проявиться переходная фаза "В" (рис. 1), пренебрегать которой нельзя.

Но большей частью фаза, волюметрически характеризующаяся испарением, компенсированным только высыханием, резко заканчивается, и начинается фаза дальнейшей сушки без высыхания поверхности заготовки. На рис. 2 изображена модифицированная диаграмма Бурри [2, 5]. Характеризуемая высыханием поверхности фаза сушки (у заготовок мокрой прессовки) заканчивается примерно тогда, когда будет испарено около половины воды затворения. К этому моменту в массе заготовки нет никаких открытых пор, и заготовка состоит исключительно из воды и твердого вещества. Только позднее потеря воды при сушке уже не может быть компенсирована дальнейшим сближением частиц твердого вещества. С этого момента воздух с поверхности проникает сначала в крупные, затем в средние и, наконец, в мелкие поры. Если течение в еще проводящих воду тонких порах становится настолько быстрым, что возникающая сила трения будет больше капиллярной силы всасывания, плоскость высыхания пойдет от поверхности вглубь заготовки, и начнется вторая фаза сушки. Эта фаза связана с высыханием лишь постольку, поскольку не может начаться, пока не завершится процесс высыхания поверхности заготовки. Момент окончания высыхания на поверхности можно определить по тому, что сохнувшие заготовки меняют цвет. Из-за проникновения воздуха в поверхность цвет становится заметно светлее (например, он меняется с темного серо-коричневого на светло-серый) сначала по углам и на кромках (там площадь удельной поверхности больше всего), а затем на большей площади в середине заготовки. Это можно заметить и на внутреннем материале, если разрезать заготовку. Светло-серые частички не обяза-

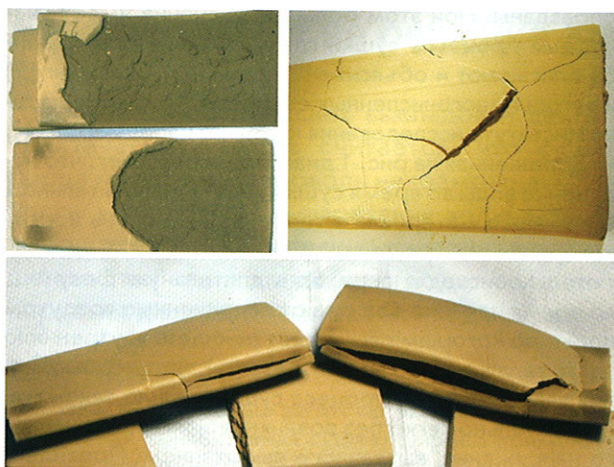


Рис. 3: Образцы, разрушенные при испытании в микроволновой сушилке

тельно высохли, но уже перестали сохнуть. С точки зрения сушки микроволнам интересен только период перед окончанием высыхания. После этого уже не существует серьезной опасности возникновения трещин, и нет необходимости использовать вместо обычной конвективной сушки относительно дорогую микроволновую технологию. Однако на рисунке 2 видно, что перед окончанием высыхания в массе заготовки нет открытых пор! Поэтому попытка просушить заготовки во время фазы высыхания при помощи микроволн будет неудачной.

### 3 Результаты опыта по сушке кирпичных заготовок микроволновым излучением

Приведенные в главе 2 теоретические выкладки в значительной степени базируются на результатах, которые были получены в основополагающем исследовательском проекте [2, 5] при помощи математического моделирования процесса сушки высыхающих материалов и подтверждены путем практических опытов. Связь этих выкладок с методом микроволн стала ясной только после многочисленных экспериментов и безуспешных попыток объяснить их результаты.

На рис. 3 изображены некоторые типичные результаты экспериментов, полученных при сушке различных образцов микроволновым излучением. В левом верхнем углу хорошо видна причина разрушения и действие волн. Видно, что поверхность, по которой произошел раскол заготовки на две части, осталась темной, в то время как поверхность всего образца уже окрашена в светлый цвет. То есть в темной средней части еще не образовались открытые (наполненные воздухом) поры, воздух мог проникнуть только во внешнюю поверхность образца. Высыхающая, не содержащая воздуха средняя часть сильнее всего поглощает микроволны [7], поэтому здесь происходит интенсивное выделение тепла. Давление насыщенного пара внутри заготовки постоянно растет, хотя испарение и не происходит. Таким образом, вызванная излучением энергия не используется как сдерживающая нагревание энтальпия испарения, а ведет к постоянному локальному нагреву. Удерживающие воду в капиллярах силы очень велики, поэтому водяной пар не может пробиться через капил-



Рис. 4: Вспененный при сушке образец с отколовшейся частью

ляры. Локальное нагревание в сырых высыхающих заготовках нарастает. Испарение, как и прежде, не происходит, поэтому нет и энтальпии испарения для понижения уровня энергии. Температура продолжает подниматься и переходит рубеж  $100^{\circ}\text{C}$ ; давление пара становится больше давления окружающего воздуха, и заготовка подвергается воздействию избыточного давления. В зависимости от прочности материала заготовка будет в течение большего или меньшего времени выдерживать воздействие повышающейся температуры и экспоненциально нарастающего внутреннего давления. Потом заготовка взорвется. В момент взрыва появится не только трещина разгрузки, но и резко начинает действовать выкипание, которому до этого препятствовало давление. Если не ограничиться нагреванием заготовки микроволновым полем малой мощности выше предельной температуры отжига [5] для повышения влагосодержания, то каждое испытание заканчивается неудачей. Образцы, изображенные на рис. 3 сверху справа и внизу, состоят из различных видов кирпичной глины. Их облучали волнами очень небольшой мощности, которой по расчетам хватило бы только для испарения, но не для нагревания. Они также взорвались под влиянием внутреннего давления.

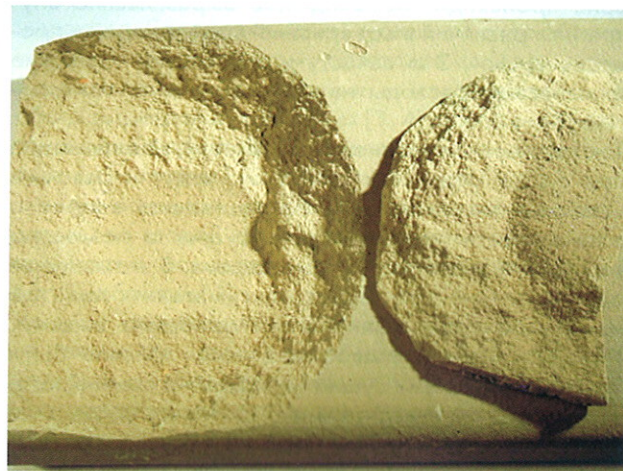


Рис. 5: Отколы вследствие статического излома при воздействии высокого внутреннего давления

На рис. 4 показан образец, получивший небольшую порцию микроволнового излучения.

Этот образец был еще настолько мягким, когда начала высыхать его влажная середина, что он вспенился под действием возникшего пара, и на поверхности появились соответствующие пузыри. Однако некоторые участки поверхности уже в достаточной степени высохли и потеряли пластичность, в результате чего образовались сколы. На рис. 5 изображена полусферическая, относительно гладкая часть заготовки, отколовшаяся из-за избыточного давления, несмотря на свою прочность. Это произошло уже после высыхания, иначе полусфера и большая часть поверхности, от которой откололся кусок, были бы темными.

#### 4 Заключение

Предыдущие исследования показали, что вызванное микроволновым излучением нагревание сырца может улучшить его влагопроводность и уменьшить вероятность возникновения трещин высыхания. Теоретические выкладки и практические результаты данного исследования показывают, что сушка методом микроволновых излучений высыхающих заготовок невозможна. И неважно, используется ли при этом дополнительно конвективная сушка. Процесс испарения или выпаривания воды внутри высыхающих областей заготовки всегда ведет к разрушению заготовки, так как в ней нет открытых пор, подходящих для отвода образующегося водяного пара. Это утверждение подтверждает недавно законченное исследование группы "Отто фон Герике" 13015, а также основанная на этом исследовании диссертация Телльоханн [5].

Финансирование данной исследовательской работы производилось Рабочей группой промышленных исследовательских объединений "Отто фон Герике" (AiF), Кельн, под номером 13579 на средства Федерального министерства экономики и труда, Берлин.

#### Литература

- [1] Junge, K.: Erhöhung der Rohlingstemperatur zur Verminderung der Trockenrissegefahrung. Zi-Jahrbuch 1993, S. 11-23
- [2] Junge, K.; Telljohann, U.: Trocknung von Ziegelrohlingen - Einfluss der Feuchteleitfähigkeit auf Trocknungsfortschritt und Trocknungsverlauf. Zi-Jahrbuch 2005, S. 21-34
- [3] Rimpel, E.: Trocknung von Ziegelrohlingen durch die Kombination von Hochfrequenz-trocknung und konvektiver Trocknung. Schlussbericht AiF 9072 von 1995
- [4] Markert, J.; Diedel, R.: Mikrowellentrocknung in der Dachziegelindustrie. Zi Ziegelindustrie International 44 (1991), 8, S. 407-412
- [5] Telljohann, U.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen der Trocknung plastisch geformter Ziegelrohlinge. Dissertation Magdeburg 2004
- [6] Kroll, K.: Trocknungstechnik 2. Bd., Trockner und Trocknungsverfahren, 2. Auflage, Kap. 2.3.4.3., Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 1978
- [7] AiF 13579: Trocknung von Ziegelrohlingen durch Kombination von Mikrowellentrocknung mit konvektiver Trocknung, zu beziehen über die Forschungsstelle der Deutschen Ziegelindustrie e.V., Berlin
- [8] Kroll, K; Kast, W.: Trocknungstechnik 3. Bd., Trocknen und Trockner in der Produktion, Kap. 4.4.2.4.2., Springer-Verlag Berlin. 1989
- [9] Salmang, H.: Die physikalischen und chemischen Grundlagen der Keramik, 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin Göttingen Heidelberg. 1958

\* Институт исследования кирпича Эссен  
Institut fuer Ziegelforschung Essen e.V.  
Am Zehnthof 197-203 · 45307 Essen · Germany  
Тел.: +49/20 15 92 13 01 · Факс: +49/20 15 92 13 20  
info@izf.de  
www.izf.de

\*\* Lafarge Dachsysteme GmbH  
Rembruecker Str. 50 · 63150 Heusenstamm · Germany  
Тел.: +49/6 10 49 37 00 · Факс: +49/61 04 93 73 75  
www.lafarge-dachsysteme.de



Смотрите в  
**РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ,**  
что происходит  
с вашей продукцией  
в процессе обработки.

**Обратитесь к нам сегодня:**  
DATAPAQ GmbH, русская «горячая линия»: +49 57 33 910714  
Valdorfer Strasse 100, 32602 Vlotho, Germany Tel: +49 5733 91070 Fax: +49 5733 910727 sales@datapaq.de

**DATAPAQ**  
www.datapaq.ru

## Муниципальный кирпичный завод с земляной кольцевой печью и использование кирпича в Казахстане



Глиняный карьер



Конвейер и сарай для сушки

В июне 2005 года у нас появилась возможность посетить небольшой муниципальный кирпичный завод в Казахстане, расположенный в 125 км к северу от Астаны в районном центре Аккол. Этот завод является сезонным предприятием с производительностью 1-2 миллиона штук в год. Построен он был в 60-е годы.

### 1 Карьер и сырье

Площадь вырытого в степи карьера невелика, а максимальная глубина достигает 2 м. На дне собирается вода. Это вполне могут быть грунтовые воды, так как по дороге мы видели пруд со стоячей водой. После того, как мы попробовали пожевать и раскатать глину, стало ясно, что в качестве лёссового сырья здесь используется глина с очень низким содержанием песка, высокой пластичностью и примерной влажностью ямы около 25%. Последовательность залегания слоев сверху вниз: если отбросить пустую породу, 10 см плодородной почвы и 90 см песчаного

лёсса, откроется 1 м глины. Ниже должны находиться еще 8 метров глины, но из-за грунтовых вод ее добыча невозможна. Месторождение протянулось на несколько километров по каждой стороне карьера. Сырье, судя по всему, добывают при помощи различных сельскохозяйственных орудий, причем ни один из стоявших поблизости аппаратов не был исправен. На сельскохозяйственных грузовиках глину доставляют по грунтовой дороге на расстояние 1 км к самостоятельно построенному ящичному питателю, который здесь называют бункером.

### 2 Первичная обработка, формовка, размеры

Бункер и мешалка с двумя валами находятся под открытым небом. Ленточный конвейер ведет к кирпичному зданию. Здесь расположен вакуумный червячный пресс с диаметром цилиндра 45 см и поднятой на козлы мешалкой с одним валом и отрезное приспособление с поводковым хомутиком. На заводской табличке написано, что установка произведена в Харькове. Это оборудование не работало.

Начальник производства Юрий с гордостью сообщил, что формовка производится в вакууме. Измерительного оборудования нигде не было видно, а назвать измеряемое значение для вакуума он не смог. По его словам, производительность пресса достигает 7000 штук в час. Размеры кирпича соответствуют размерам, принятым в бывшем СССР, здесь это стандарт. Мы заметили, что установка для резки слегка заклинивает, но дефектов кромки и текстуры нет.

### 3 Сушка

По длинному транспортеру под открытым небом и по проходящим под прямым углом к нему транспорте-

