



**Акерс С. О. С.**, д-р наук, Akers Consulting GmbH, Моллис, Швейцария

## ИНДУСТРИЯ ФИБРОЦЕМЕНТА: ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦЕМЕНТОВ И СВЯЗАННЫЕ С ЭТИМ ПРОЦЕССЫ

**Akers, S. A. S.**, Dr., Akers Consulting GmbH, Mollis, Switzerland

## FIBRE CEMENT INDUSTRY: ADAPTION TO MODERN CEMENTS AND INTERRELATED PROCESS ASPECTS

### Аннотация

В статье дается подробный обзор индустрии фиброцемента и сконцентрировано внимание на проблемах, с которыми эта отрасль промышленности сталкивается в связи с разработкой и внедрением в производство новых видов цемента.

**Ключевые слова:** фиброцемент; асбестоцемент; удельная поверхность по Блейну; технология Гачека; зола-унос; шлак; коагулянт.

### Введение

Производство фиброцемента началось более ста лет назад. Материал был изобретен в Австрии в конце XIX в., в качестве армирующей фибры для портландцемента использовался асбест. Асбестоцемент до сих пор производят в разных частях земного шара, и по приблизительным оценкам на сегодняшний день выпускается и продается около 20 млн т асбестоцемента ежегодно. Основным производителем асбестоцемента являются страны БРИК. В Европе и Австралии первые волокнистые материалы взамен асбеста начали применяться в начале 80-х годов прошлого века, а сегодня по всему миру набирает обороты движение за полный запрет использования асбестоцементов и замены армирующей фибры из асбеста на альтернативную.

В 1980-е годы при производстве фиброцемента традиционно использовался бездобавочный портландцемент (БПЦ) с относительно низким показателем удельной поверхности по Блейну (примерно 2800). Однако когда цементные компании по всему миру освоили производство более современных видов цемента (причиной этому отчасти послужило

### Abstract

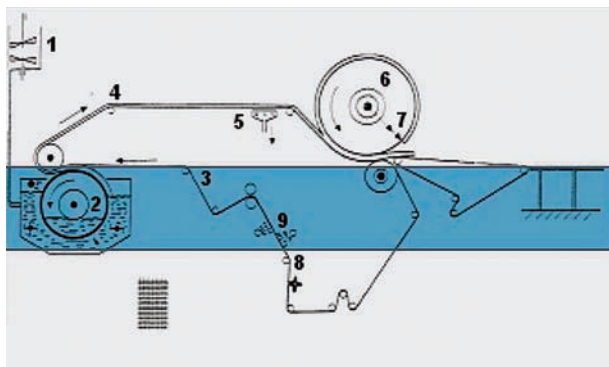
This paper has given a broad insight to the fibre cement industry and highlighted the challenges faced by the industry with the development of new cements.

**Key words:** fibre cement; asbestos cement; The Blaine; Hatschek process; fly ash; slag; flocculent.

### Introduction

The fibre cement industry is more than one hundred years old. The product was invented in Austria in the late XVIII century with asbestos being the reinforcement fibre used with Ordinary Portland Cement (OPC). Asbestos cement is still being produced worldwide and it is estimated that about 20 mln t of asbestos cement is manufactured and sold today. China, India and Brazil are the major countries where asbestos cement is manufactured. In Europe and Australia the first asbestos free products were developed in the early 1980's and today there appears to be a major move worldwide to ban the use of asbestos cement and replace the product with alternative fibres for reinforcement.

In the 1980's the traditional cement used in the fibre cement industry was OPC with a relatively low Blaine (approx. 2800). However, as cement companies worldwide started producing more innovative cement (partly triggered by Kyoto Protocol of 1997) the fibre cement industries were forced to deal with the new cements which were being developed. In particular fibre cement industries use low Blaine cements, as the Hatschek process which is used to manufacture the thin fibre cement sheet is a filtration process and small particles are not desirable for this process.



1. смеситель / мешалка // mixer / agitator
2. сетчатый барабан // screen cylinder
3. лента подачи сырья // felt band
4. пленка из фиброцемента // film of fibre cement
5. обезвоживание // dewatering
6. валик / формовочный барабан // calender / forming drum
7. резак // cutter
8. дробилка / очистка от остатков сырья // beater / felt cleaning
9. опрыскиватель / очистка от остатков сырья // sprayer / felt cleaning

Рис. 1. Принципиальная схема технологии Гачека

Fig. 1. Scheme of the Hatschek process

подписание в 1997 г. Киотского протокола), производители фиброцемента были вынуждены использовать вновь разработанные виды цемента, не всегда стопроцентно удовлетворяющие потребностям отрасли. Так, например, для изготовления фиброцемента необходим цемент с низким показателем удельной поверхности по Блейну вследствие того, что технология Гачека, используемая для получения тонких листов фиброцемента, по своей сути является процессом фильтрации и присутствие в сырье мелких частиц нежелательно.

### Использование технологии Гачека для производства фиброцемента

Сырьевая масса для изготовления фиброцемента закачивается в бак с вращающимся ситом. Процесс напоминает технологию обезвоживания целлюлозы в целлюлозно-бумажной промышленности. Упрощенное схематическое изображение технологического процесса показано на рис. 1.

Предложенный процесс обезвоживания позволяет включать в состав производимого материала относительно большое количество волокнистой массы. В этом отличие технологии Гачека от производства бетона, где вся добавляемая в смесь вода предназначена для гидратации цемента и увеличения текучести бетонной смеси. При изготовлении фиброцемента фибра смешивается с цементом и большим количеством воды для достижения однородности смеси; затем избыточная вода удаляется посредством использования на первой стадии центробежной силы при помощи вращающегося сита, а на второй стадии смесь высушивается в вакуумных камерах. Высокая плотность цемента обеспечивается силой давления на движущийся слой фиброцементной массы.

### Прошлое и настоящее производства фиброцемента

Хорошо известно, что используемые сегодня виды цемента могут содержать значительное количество минеральных добавок — золы-уноса, шлака,  $\text{CaCO}_3$ , а также пуццолановых материалов, таких как аморфный кремнезем, вулканический пепел и т. д. Как упоминалось во введении, цементы, используемые

### Hatschek process used to manufacture fibre cement

Essentially the fibre cement slurry is pumped into a vat which has a rotating sieve, similar to the dewatering of cellulose pulp in the paper industry. See Fig. 1 for a simple schematic representation of the principles of the process.

This unique dewatering process allows the use of a relatively large amount of fibres to be used in the composite. This is different to the concrete industry where all the water added to the mix is designed to be used for the cement hydration and flow properties. In fibre cement the fibres are mixed with cement with large quantities of water in order to achieve a homogeneous mix and then the excess water is removed by the rotating sieve in the first dewatering stage and finally removed by vacuum boxes during the manufacture in a secondary stage. In some cases the final density of the product can be achieved by pressure applied to the “green” sheet, which results in high density fibre cement products.

### History and present of the fibre cement production

It is well known that the choice of cements used today can contain large amounts of fly ash, slag,  $\text{CaCO}_3$  and pozzolanic materials such as amorphous silica, volcanic ash, etc. As mentioned in the introduction the cements used earlier in the fibre cement industry consisted of OPC with no additives. These additives can influence the Hatschek process significantly and can also result in the changes of the material properties of the final product as well. In the discussion below a few of the changes in cement are mentioned with particular reference to their influence on the process and properties in the fibre cement production.

#### Amorphous Silica and $\text{CaCO}_3$ as an additive

These two products have very different properties. Amorphous Silica is pozzolanic and reacts with the cement. It is also very fine and has a very significant influence on the particle size distribution when mixed with cement.  $\text{CaCO}_3$  is regarded as inert and does not react with



Рис. 2. Культурно-спортивный центр: рельеф фасада с закрытыми раздвижными ставнями из фиброцемента  
Fig. 2. Community centre: Facade relief with closed sliding shutters of fibre cement

ранее при производстве фиброцементов, представляли собой в основном БПЦ. Минеральные добавки способны значительно влиять на процесс Гачека, что может отразиться на свойствах получаемых изделий. Ниже описаны изменения, происходящие в структуре фиброцементов в зависимости от применяемой добавки, а также рассматривается их влияние на процесс производства фиброцемента и его свойства.

#### Аморфный кремнезем и $\text{CaCO}_3$ в качестве добавок

Аморфный кремнезем и  $\text{CaCO}_3$  — материалы, сильно различающиеся по своим свойствам. Аморфный кремнезем представляет собой пуццолановую добавку, он является тонкозернистым веществом и при введении в состав цемента значительно влияет на его гранулометрический состав. В свою очередь,  $\text{CaCO}_3$  является инертной добавкой и не вступает в реакцию с гидроксидом кальция в процессе гидратации цемента. Гранулометрический состав  $\text{CaCO}_3$  можно подобрать таким образом, чтобы он соответствовал требованиям технологии Гачека, в то время как аморфный кремнезем отличается очень высокой дисперсностью (состоит из частиц менее 20 мкм). При этом оба наполнителя могут измельчаться совместно с клинкером, а также использоваться в качестве добавки к цементу после помола.

Аморфный кремнезем негативно влияет на процесс фильтрации через сито в аппарате Гачека. Его тонкозернистые частицы могут сильно затруднять движение материала по ленте транспортера, которая несет тонкий слой фиброцемента, снимаемого с поверхности сита. Для улучшения показателей процесса фильтрации раствор цемента в баках должен содержать коагулянт. Коагулянты несут анионный заряд и имеют определенный молекулярный вес, различающиеся в зависимости от типа. Следовательно, упомянутые выше добавки могут оказывать значительное влияние на эффективность применения коагулянта.

the  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  during the cement hydration. The particle size distribution of the  $\text{CaCO}_3$  additive can be chosen to suit the Hatschek technology whereas Amorphous Silica has a given particle size distribution in the very fine range (below 20  $\mu\text{m}$ ). Both products, Amorphous Silica and Calcium Carbonate can be inter-ground with the cement or used as an additive to the cement after grinding.

Amorphous Silica has a negative influence on the filtration at the sieve in the vats of the Hatschek machine. Very fine particles can also block the felt which is the transport medium for the thin fibre cement layer picked up from the sieve. The cement slurry in the vats requires flocculent in order to improve the filtration properties. The flocculent has an anionic charge and a certain molecular weight. Every flocculent type can have varied anionic charges and different molecular weights. Therefore the additives to the cement mentioned above could have a significant influence on the efficiency of the flocculent. For example, the addition of Amorphous Silica which is a very fine powder, requires a flocculent with a lower anionic charge when compared with an OPC mix. This in principle applies to the use of  $\text{CaCO}_3$  as well. Not only does the type of additive but also the quantity of the additive influence the choice of flocculent used.

The type of additive used will influence the process and curing conditions of the “green” sheet. For example, Amorphous Silica will react with the highly alkaline production water in the Hatschek machine and will form C-S-H from the available  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . This will influence the process at the forming drum (improve the layer adhesion) and also the solids which pass through the sieve in small quantities. The excess solids and wet waste will have advanced reactivity when returned to fresh mix in the process. Therefore the product quality and green sheet properties will be different if Amorphous Silica is used as opposed to  $\text{CaCO}_3$ .

The post curing of the fibre cement green sheet before it is de-stacked from the steel form plates will be influenced by the additives. In some factories steam curing tunnels are used for low reactive cements and obviously the more reactive Amorphous Silica will require less time in the steam curing tunnel than a cement using Calcium Carbonate.

The quality of the final product is significantly influenced by the varied additives to cement where high density is required for example to improve the frost resistance, Amorphous Silica has a positive influence.  $\text{CaCO}_3$  is generally used to act as filler and improves the moisture movement of the material. It is also clear that the strength of the final product will be directly influenced by the cement additives.

#### Blaine and chemistry

The Blaine, or particle size distribution, influence the filtration properties, as more reactive cements were developed, both the Blaine and chemical composition of the cement has changed. In the 1980's it was more

Например, использование аморфного кремнезема, который является высокодисперсным веществом, требует флокулянта с более низким анионным зарядом по сравнению с вариантом использования БПЦ. Отмеченный фактор необходимо учитывать и в случае применения карбоната кальция в качестве добавки. На выбор используемого коагулянта влияет не только вид, но и количество добавки.

Вид применяемой добавки также будет влиять на сам процесс и условия выдерживания слоя фиброцементной массы. Например, в процессе производства аморфный кремнезем реагирует с присутствующим в сильнощелочной среде аппарата Гачека  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и образует фазу  $\text{C-S-H}$ . Это влияет на процессы, происходящие на поверхности формовочного барабана (улучшает адгезию в тонком слое фиброцементной массы), а также на частицы твердого вещества, которые в небольших количествах проходят через сито. В итоге в течение всего процесса производства избыточные твердые вещества и излишки воды после возвращения в бак аппарата обладают повышенной реакционной способностью. Следовательно, если заменить  $\text{CaCO}_3$  на аморфный кремнезем, свойства слоя фиброцементной массы и итоговое качество продукта изменятся.

Условия выдерживания слоя сырого фиброцемента до момента снятия со стальной формовочной пластины зависят от типа добавки. На некоторых заводах для цементов с низкой активностью используется автоклавная обработка. Очевидно, что более реакционноспособному аморфному кремнезему потребуется меньше времени при автоклавном твердении, чем карбонату кальция.

И наконец, влияние различных добавок на качество конечного продукта становится особенно заметно, когда речь идет о цементе, которому требуется высокая плотность, например для повышения морозостойкости. В этом случае положительный эффект оказывает аморфный кремнезем. Карбонатные добавки ( $\text{CaCO}_3$ ) обычно используют в качестве заполнителя для улучшения миграции влаги в материале. Очевидно, что от добавок в цемент напрямую зависит и качество изделий.

#### Удельная поверхность по Блейну и состав цементного клинкера

Удельная поверхность по Блейну, или гранулометрический состав, оказывают заметное влияние на свойства фильтрации. В результате разработки и применения более активного цемента и значение удельной поверхности по Блейну, и химический состав цемента изменились. В 1980-е годы чаще использовался белитовый цемент с низким показателем тонкости помола по Блейну. Сейчас большинство цементов — это алитовые цементы с высоким показателем тонкости помола. Оба вида цемента способны оказывать как позитивное, так и негативное влияние на технологические свойства листов фиброцемента. Цементам с высоким показателем по Блейну требуется другой



Рис. 3. Частный дом: фасадные панели, изготовленные из белого цемента

Fig. 3. Private residence: facade panels made from white cement

common to use low Blaine belite cement. Today the majority of the cements are high Blaine alite cement. Both can be negative and positive with regard to the fibre cement sheets. The high Blaine cements require a different flocculent type in the vats and alite cements require different and shorter post curing conditions.

#### Slag additives

The addition of slag has made a positive influence to sulphate attack for pipes. However, due to the lower reaction time of slag combined with cement, the curing time needs to be adjusted accordingly, i.e. pipes need longer curing times in a curing tunnel after production. Also the ovality of the pipes is affected and different process procedures were introduced to accommodate to the longer setting times.

#### Fly ash additives

In the concrete industry, the addition of fly ash was found to be very positive and is commonly used. However, fibre cement is more sensitive due to the change in particle size distribution of fly ash cement. Also process parameters such as flocculants need to be adjusted accordingly to compensate for the charge in fly ash cement. In fact in India up to 25 % of fly ash is used in asbestos cement production with minor adjustment to the process. With asbestos free technology, however, the margins for product quality are much smaller and therefore the quality of the fly ash is extremely important.

Modest quantities of up to 8 % of fly ash additions are acceptable with appropriate changes to the production process. Compromises are however evident with regard

тип коагулянта. Кроме того, алитовым цементам требуется меньше времени для набора прочности в процессе твердения.

#### Добавки шлаков

Добавка шлаков при изготовлении труб позволяет увеличить сульфатостойкость изделий. Однако из-за того, что в результате введения шлака в состав цемента последний схватывается более медленно, возникает необходимость подбора правильного времени выдерживания в процессе твердения, т. е. после изготовления трубам необходимо большее количество времени при выдержке в автоклаве. Поэтому для предотвращения недопустимой овальности труб были разработаны технологии, при применении которых изделия на основе шлакоцемента в течение длительного срока схватывания и твердения сохраняют правильную форму.

#### Добавки золы-уноса

При производстве бетона добавка золы-уноса дает положительный эффект и поэтому используется довольно часто. Однако фиброцемент более чувствителен к введению золы-уноса из-за изменения гранулометрического состава цементной смеси. В этом случае также необходимо соответствующим образом изменять параметры процесса, например тип коагулянта, чтобы компенсировать заряд частиц цемента, меняющийся после введения золы-уноса. Между тем в Индии при совсем незначительных изменениях в технологии процесса до 25 % золы-уноса идет на производство асбестоцемента. Однако безасбестовая технология позволяет достичь более стабильного качества продукции, и поэтому состав и свойства применяемой золы-уноса очень важны.

На сегодняшний день при соответствующих изменениях в технологии процесса допустимо введение небольшого (до 8 %) количества золы-уноса. Кроме того, иногда возможно достичь компромисса по качеству продукции. Наиболее трудным вопросом остаются очень большие колебания химического состава золы-уноса. Для стабильного производства фиброцемента требуется тщательный контроль качества золы-уноса и максимальное ограничение допустимых пределов колебаний химического состава.

#### Выводы

Производителям фиброцемента пришлось отказаться от традиционных технологий и применения бездобавочных портландцементов с низкими показателями величины удельной поверхности по Блейну и низкой активностью цемента в пользу более современных видов цемента с такими минеральными добавками, как зола-унос, шлак, карбонат кальция, пуццоланы и т. п. Это привело к положительным изменениям прочно укрепившейся точки зрения в достаточно консервативной отрасли, которой является



Рис. 4. Частный дом с гладкой фасадной обшивкой, соответствующей кровельной черепице

Fig. 4. Private residence smooth facade skin to match roofing tiles

to product quality. More important is the large variability in chemical composition of the fly ash. The fibre cement industry needs to monitor the fly ash quality very carefully and introduce acceptable limits for the chemical composition.

#### Summary and conducting remarks

The industry was forced to change the traditional thinking from ordinary Portland cements with a low Blaine and low reactivity to more modern cements having additives such as fly ash, slag,  $\text{CaCO}_3$ , pozzolanic, etc. This resulted in a positive change in mind-set in a well-established and relatively conservative fibre cement industry in that engineers started to investigate the process and fibre cement properties in more depth. In particular this brought about innovative ways of running Hatschek machines and the end product could be designed more precisely according to the increasing demands with regard to durability and composite mechanical properties. At the same time the design of Hatschek machines also changed significantly.

Some of the modifications, which the fibre cement industry made, are:

- ▷ Changes to process conditions;
- ▷ Development of more modern and efficient felts;
- ▷ Selection of the right type of flocculent added as a process aid;

производство фиброцемента. В частности, инженеры и ученые начали глубже исследовать процесс формирования фиброцемента и его свойства, что позволило найти новые способы использования технологии Гачека. Стали учитываться свойства конечного продукта в связи с возрастающими требованиями к долговечности и механическим свойствам композитных материалов и изделий. Одновременно существенно изменились технология и конструкция аппаратов Гачека.

Перечислим некоторые модификации в производстве фиброцементов:

- ▷ изменения условий протекания процесса;
- ▷ применение более современного эффективного сырья;
- ▷ выбор коагулянта правильного типа для улучшения технологического процесса;
- ▷ более эффективные условия твердения изделий;
- ▷ проектирование свойств конечного продукта с учетом необходимости повышения их долговечности и улучшения механических свойств.

Представляется, что производители фиброцемента адаптировались к изменениям, и это положительно повлияло на промышленное производство изделий на основе фиброцементов в целом, привнесло инновационные идеи и поставило перед исследователями новые задачи. ◀



Рис. 5. Материал под классическую деревянную отделку компании «Джеймс Харди»

Fig. 5. Classic James Hardie wood finish product

- ▷ More efficient curing conditions;
- ▷ Design of the end product with regard to improved durability and tailor made mechanical properties.

It is considered in the fibre cement industry that adapting to the changes in the cement resulted in a positive influence in general and brought about innovative ideas and new challenges. ◀

## ПОДАЧА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ SUBMITTING PAPERS FOR SCIENTIFIC PUBLICATION

Редакция журнала публикует материалы по профильным темам отечественных и зарубежных авторов, нигде ранее не опубликованные и не предназначенные для передачи в другие издания.

### Передаваемый в редакцию материал должен сопровождаться:

- Рекомендательным письмом руководителя предприятия (института, отдела, кафедры);
- Подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале Международное аналитическое обозрение «ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси», что она ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания;
- Сопроводительным письмом, в котором указаны фамилия, имя и отчество автора(ов) полностью; сведения об авторе(ах) — ученое звание, ученая степень, место работы/учебы, контактная информация каждого автора — почтовый адрес и адрес электронной почты, номер телефона;
- Распечаткой статьи, обязательно подписанной всеми авторами.

### Текст статьи должен включать:

- Название на русском и английском языках;
- Имена и фамилии авторов на русском и английском языках;
- Сведения об авторах на русском и английском языках — ученое звание, ученая степень, место работы/учебы;
- Реферат (500 знаков) — на русском и английском языках;
- Ключевые слова (3–5 слов) на русском и английском языках;
- Коды УДК;
- Список литературы.

Текстовые материалы принимаются в форматах **(.doc)** или **(.rtf)**.

Иллюстративные материалы, схемы, диаграммы принимаются в форматах **(.tif)**, **(.jpg)**, **(.eps)**, **(.ai)**, и **(.cdr)** (шрифты конвертированы в кривые).

Editorial Board publishes papers by local and foreign authors on profile themes if they were not published before and are not under consideration for publication elsewhere.

### The submitted material must be accompanied by:

- Recommendation Letter from the head of the company (department, faculty, chair);
- Confirmation Letter which declares that the submitted paper is intended solely for publication in International Analytic Review "ALITinform: Cement. Concrete. Dry Mixtures", it reports unpublished work and is not under consideration for publication elsewhere;
- Cover Letter containing author(s)' full name(s); information about each author: academic degree; place of work/study; contact information — postal address and e-mail, telephone numbers;
- Printed version signed by all authors.

### Articles should include:

- Title;
- The full name of each author;
- Information about each author — academic degree, place of work/study;
- Abstract — 500 characters;
- Key words, which may or may not appear in the title
- References.

Text material is accepted in **(.doc)** or **(.rtf)** file formats.

Illustrative material is accepted in **(.tif)**, **(.jpg)**, **(.eps)**, **(.ai)**, or **(.cdr)** file formats (characters converted to curves).