

شرکت سیمان هگمتان

رهنمودهای IBAU HAMBURG

چگونه از تشکیل کلوخه در سیلوهای سیمان جلوگیری کنیم؟

مترجم: ناصر طاهری پور کارشناس فنی از واحد برنامه ریزی و مطالعات راهبردی

[Mail:Taherinasar3@gmail.com](mailto:Taherinasar3@gmail.com)

[:naserkaji90@yahoo.com](mailto:naserkaji90@yahoo.com)

متن اصلی مربوط به شرکت IBAU است که از کارشناسان شرکت مذکور دریافت شده است

کاملاً ثابت شده است که دلیل اصلی تشکیل کلوخه در سیلوهای سیمان دهیدراتاسیون گچ بعد از آسیاب کردن سیمان است. بنابراین با جایگزینی نسبتی از گچ با انیدریت (سنگ گچ بی آب)، بهبود شیوه آسیاب کردن، خنک کردن با هوای آسیاب، نحوه اسپری آب و خنک کردن، تشکیل کلوخه را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. با گرایش به سمت آسیابهای غلطکی در آسیاب سیمان، دهیدراتاسیون گچ بیشتر کاهش می‌یابد زیرا آسیابهای غلطکی در مصرف انرژی کارآمدتر هستند و دمای تولیدی آنها کمتر است.

از سوی دیگر در چند سال گذشته با توجه به موفقیت کلی در ساخت سیلوهای بتنی بزرگ برای ذخیره سیمان و احتمالاً ساخت در سطح گسترده بوسیله پیمانکاران غیر متخصص، مشکلات دیگری همچون مشکل سقف سیلو، شکاف در دیوار سیلو و خشک شدن ناقص بتن بعد از ساخت، افزایش یافته است.

برنامه‌های زمانی بلند پروازانه برخی از تازه واردان به صنعت تولید سیمان برای راه اندازی سریعتر کارخانه و در برخی موارد عدم رعایت دستورالعمل سازندگان تجهیزات سیلو می‌تواند یکی از دلایل تشکیل کلوخه باشد.

اگر تشکیل کلوخه ناشی از نقص در ساخت سیلو نباشد، می‌توان با استفاده از کلوخه شکن در تجهیزات تخلیه، بخشی از مشکلات را رفع کرد، اگر عوامل مختلفی در تشکیل کلوخه دخالت داشته باشند و تشکیل کلوخه زیاد باشد، از میزان خروج سیمان از سیلو کاسته خواهد شد، تا در نهایت تجهیزات تخلیه به طور کامل مسدود شده و سیمان داخل سیلو باید به صورت مکانیکی تخلیه شود. هزینه این کار بالاست و ممکن است باعث مشکلات زیادی در عملیات واحد صنعتی شود. دستورالعملهای تأمین کنندگان تجهیزات نیز برای این اساس پیش بینی شده است که برای اولین بار 20% سیلو پر شود و بعد به صورت کامل تخلیه گردد و در مراحل بعد سالی یکبار تخلیه کامل صورت گیرد. برای این منظور اپراتور سیلو باید یک برنامه زمانی مطمئن جهت تخلیه کامل و مداوم سیلو تهیه کند.

2- تشکیل کلوخه در سیلوهای سیمان

2-1- خصوصیات شکل کلوخه

کلوخه‌ها اندازه‌ها و رنگهای مختلفی دارند. سائز آنها بسته به چگونگی تشکیل آنها می‌تواند از چند سانتیمتر تا بزرگتر از یک متر باشد. همچنین ساختار آنها می‌تواند از نسبتاً ضعیف تا نسبتاً سخت بسیار متفاوت باشد. اگر چه امکان دارد کلوخه‌ها قبلاً به وسیله باکتهای الواتر به داخل سیلو انتقال یافته باشند، به عنوان مثال از طریق تشکیل میعانات در داخل باکتهای الواتر یا از طریق حامل‌های سیمان به داخل سیلوها انتقال یافته باشند. ولی معمولاً کلوخه‌ها در داخل سیلوها تشکیل می‌شوند.

تغذیه سیلو از آسیاب سیمان با یک درجه حرارت بالای سیمان و رطوبت خیلی بالا (بعد از اسپری آب) می‌تواند باعث دهیداته شدن گچ و هیدراتاسیون اولیه سیمان درون سیلو شود. رعایت شرایط خاص محیطی در تخلیه سیلو از طریق هوا می‌تواند موثر واقع گردد. نفوذ آب به داخل سیلو، بیشتر از طریق سقف سیلو، شکافها در دیواره سیلو و از خشک شدن ناقص بتن بعد از تأسیس سیلو است. احتمال‌های دیگر نفوذ آب، زهکشی ناقص آب و خشک شدن ناقص تجهیزات تخلیه سیلو قبل از اولین پر شدگی سیلو یا از طریق خطوط تغذیه و یا لوله‌های فیلترها که در داخل سیلو قرار گرفته اند می‌باشند. لازم به ذکر است که برای جلوگیری از انتشار گرد و غبار در زمان تغذیه و یا تخلیه کمی مکش درون سیلو وجود دارد که نفوذ آب به داخل سیلو را تشدید خواهد کرد.

کوتینگ‌ها و کلوخه‌ها در دیواره سیلو اساساً ناشی از دهیدراتاسیون گچ موجود یا هیدراتاسیون اولیه سیمان درون سیلو است کلوخه‌های نامنظم در قسمت‌های مشخص یا در هر قسمت سیلو اساساً ناشی از کنده شدن کوتینگ از دیواره سیلو یا نفوذ آب به داخل سیلو مخصوصاً از سقف سیلو است.

2-2- درجه حرارت سیمان و دهیدراتاسیون گچ

در فرآیند آسیاب سیمان حدود 3 الی 5 درصد، سولفات کلسیم به عنوان تنظیم کننده اضافه می‌شود، معمولاً ترکیب دهیدرات گچ به صورت $(\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O})$ است. بیشتر انرژی مصرفی در فرآیند سایش به گرما تبدیل می‌شود در نتیجه سیمان در فرآیند سایش گرمای بالایی خواهد داشت و ممکن است گچ به صورت کامل یا جزئی دهیدراته شود. سپس به شکل هیدرات دارای نیم مولکول آب $(\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O})$ و با گرمای بیشتر در مرحله دوم به صورت انیدریت (سنگ گچ بی آب) $(\text{CaCO}_3\text{III})$ در آید. دهیدراتاسیون در درجه حرارت حدود 60C° شروع می‌شود و در حدود 120C° دهیدرات گچ تقریباً کامل می‌شود.

شدت درجه حرارت آسیاب به نوع آسیاب بستگی دارد. به طور سنتی آسیاب گلوله‌ای مدار بسته با کارایی بالای سپراتور متداول‌ترین سیستم سایش است، با این وجود آسیاب‌های گلوله‌ای در مقایسه با آسیاب‌های غلطکی بلحاظ انرژی برای کوبیدن سیمان خیلی کار آمد نیستند. بنابراین امروزه بطور فزاینده ای آسیاب‌های غلطکی جایگزین آسیاب‌های گلوله‌ای می‌شوند. در مقام مقایسه، در آسیاب‌های گلوله‌ای حدود 75% از نیرو تبدیل به حرارت می‌شود. اما در آسیاب‌های غلطکی تنها حدود 50% از نیرو تبدیل به گرما می‌شود زیرا زمان ماندگاری سیمان در داخل آسیاب‌های غلطکی کوتاه‌تر است و اصول سایش نیز متفاوت است.

وقتی درجه حرارت سیمان بالاست و سیمان هنوز دارای مقدار زیادی گچ است که دهیدراته نشده، دهیدراتاسیون گچ در طی انباشت سیمان در سیلو رخ می دهد، جایی که دمای سیمان در دوره زمان طولانی تقریباً ثابت خواهد ماند.

چندین تحقیق وجود دارد که نشان می دهد از دهیدراتاسیون گچ در دمای بالای 80°C بخار آب در دیواره های سیلو کندانه می شوند چون سیمان های نزدیک به دیواره سیلو دارای افت حرارت، نسبت به سیمان های موجود در وسط سیلو هستند. بخار آب از دهیدراتاسیون اولیه C_3A نتیجه می شود. محصولات واکنش شامل آلومینات های دهیدراته اساساً سوزنی شکل:

[ettringite ($\text{k}_2\text{so}_4 * \text{caso}_4 * \text{H}_2\text{O}$) و syngenite ($3\text{cao} * \text{Al}_2\text{O}_3 * 3\text{caso}_4 * 32\text{H}_2\text{O}$)]

که یک ساختار سخت دارند است. نتیجتاً کلوخه ها و کوتینگ ها در دیواره سیلو شکل می گیرند. تشکیل کوتینگ در سیلو های سیمان را می توان با پایین آوردن SO_3 موجود در سیمان از طریق جایگزینی گچ با انیدریت یا نیم هیدرات، به طور قابل ملاحظه ای کاهش داد. مقدار آب حاصل از دهیدراتاسیون گچ قابل ملاحظه است. یک تن سیمان که حاوی حدود 3% گچ است منجر به تولید 4/4 کیلوگرم آب از دهیدرات گچ و تبدیل آن به گچ دارای نیم مولکول آب می شود. در یک سیلو با 5000t ظرفیت ذخیره وقتی دهیدراتاسیون بطور کامل صورت گیرد می تواند حدود 22 t آب آزاد شود.

اگر دمای سیمان خروجی از آسیاب تا زمان ورود به سیلو بالای 90°C باشد دهیدرات تمام گچ باقیمانده تبدیل به گچ دارای نیم مولکول آب می شود. بر این اساس با متوسط درصد وزنی حدود 1/5% گچ در یک سیلو 5000t وقتی 50% دهیدراتاسیون در سیلو صورت می گیرد بیش از 5t آب آزاد خواهد شد. این، آب سیمان موجود در سیلو را حدود 0/1 درصد افزایش خواهد داد و تأثیر زیادی در شکل گیری کلوخه خواهد داشت، بخصوص اگر رطوبت سیمان قبلاً 0/5 درصد باشد.

2-3- اسپری آب جهت خنک کردن سیمان و دهیدراتاسیون اولیه

در آسیاب های سیمان گلوله ای دمای سیمان اغلب بالای 120°C است. بر این اساس به منظور محدود کردن دما در آسیاب های گلوله ای نیاز است که خنک شوند. این کار عمدتاً بطور مستقیم با آب خنک یا مخلوطی از هوا و آب خنک انجام می شود. در حالیکه تزریق آب برای کنترل دما معمولاً برای آسیاب های غلطکی مورد نیاز نمی باشد. روش های خنک کنندگی آب به طور گسترده در آسیاب های گلوله ای کارخانه ها بکار می رود. اهداف اصلی از اسپری آب به داخل سیمان عبارتند از:

(1) رعایت دمای بهینه آسیاب (دمای تولید سیمان برای کنترل دهیدراتاسیون گچ)

(2) بهینه سازی دمای سیمان برای ذخیره کردن سیمان در سیلو

چگونگی اسپری آب می‌تواند تأثیرات متعددی روی ذخیره سیمان، همچنین در خواص سیمان مانند زمان گیرش و مقاومت داشته باشد. اگر آب زیادی اضافه شود، مواد معدنی سیمان ممکن است پیش هیدرات (پری هیدرات) شده، منجر به کاهش واکنش سیمان یا کاهش مقاومت گردد. در کارکردهای با حجم بالای آسیاب‌های سیمان گلوله‌ای، به دلیل حجم نسبتاً کم هوای آسیاب و تزریق آب زیاد، فشار بخار آب ممکن است به شدت افزایش و مقدار آب سیمان ممکن است از 6% تجاوز کند. باید توجه شود که رطوبت بیش از حد سیمان، یعنی بالاتر از 5% می‌تواند منجر به هیدراتاسیون اولیه شود و منجر به تشکیل کلوخه در سیلوی سیمان گردد.

2-4- ساخت دیواره‌ها و سقف ناقص سیلو

اصولاً، در صورتی که ساختمان سیلو به درستی ساخته و نصب شده باشد، مشکلی از لحاظ ساختمان سیلو و یا جذب رطوبت جهت تشکیل کلوخه در داخل سیلوه‌ها، حتی در مناطق دارای آب و هوا، با باران‌های سنگین وجود ندارد. از سوی دیگر ساخت معیوب سیلو و سقف معیوب، اغلب به عنوان دلیلی برای نفوذ آب به داخل سیلو است.

امروزه، معمولاً دیوار سیلو از بتن تقویت شده (بتن مسلح) یا سیلوی پیش تنیده (پیش تنیده ناشی از کشش آرماتورهایی که بعد از بتن ریزی تحت کشش قرار گرفته و روی بتن عمل آمده و سخت اتکاء دارد) به صورت ساخت باغالب لغزان (Slip Form) شکل می‌گیرد.

این بدان معناست که قالب بندی باید به ارتفاع حدود 1/2m با متوسط سرعت حدود 10 الی 20 سانتی متر در ساعت به سمت بالا حرکت کند. به دلیل کنترل سخت شدن بتن حین حرکت در روش لغزشی باید سرعت بتن ریزی و نصب آرماتور و همچنین مخلوط کردن بتن با سرعت قالب لغزان تطبیق داده شود.

بتن ریزی به روش لغزشی هم نیاز به برنامه‌ریز ماهر و هم شخصی ماهر در سایت مربوطه دارد، در غیر اینصورت مشکلات کیفیتی زیادی وجود خواهد داشت به همین دلیل در زمان انجام روش لغزشی نظارت دائم به اکیداً توصیه می‌شود. زیرا امکان اصلاحات بعدی وجود ندارد.

اگر همه چیز به درستی انجام شود مقاومت بتن، مشابه بتن درجا می‌شود و نقص ناشی از پوشش بتن که نقاط شروع برای نفوذ آب هستند به حداقل می‌رسد.

مشکلات نفوذ آب از سقف سازی ناقص سیلو، بیشتر از دیواره‌های سیلو است. اغلب مشاهده می‌شود پوشش سست سقفها، نشسته به دلیل نقص در نصب فریم سقف سیلو، نقص در تنظیم پل بین سیلوه‌ها، نقص در منهل‌ها و دریچه بازگشت گرد و غبار به فیلتر از جمله نقصهای ناشی از سقف سازی ناقص سیلو است. اما جدا از نشتیهایی که به راحتی دیده می‌شوند، می‌توان مشکلات ساختاری در سقف سازی سیلو با تقویت ناقص سقف و نداشتن پوشش گالوانیزه در مقابل خوردگی آرماتور فولادی و اتصالات، به طوری که عامل ایجاد ترک‌ها روی سقف سیلو می‌شوند و نفوذ آب به داخل سیلو را ممکن می‌کنند، از جمله مشکلات نفوذ آب دانست. مکش سیلو که برای

غبارگیری سیلو ضروری است مشکل را تشدید می‌کند به طوری که آب باران روی سقف سیلو از طریق شکافها یا رخنه‌ها به داخل سیلو کشیده می‌شود. برای سیلوهای ذخیره بزرگ، شیوه‌های ایمنی از قبیل تقویت کردن سقف سنگین و سقف گالوانیزه فولادی رایج هستند.

2-5- مشکل رطوبت قبل از اولین پرشدگی

گاهی اوقات رطوبت باقیمانده از بتن پس از ساخت سیلو به عنوان دلیل بوجود آمدن کلوخه در سیلوها تشخیص داده شده است. اولین پرشدگی تنها بعد از خشک شدن کامل سیلو باید رخ دهد. این رطوبت کمتر از 5% جرم بتن و بسته به ضخامت بتن، رطوبت نسبی هوا و هوا دهی در محل است و می‌تواند چندین هفته طول بکشد تا خشک شود. چنین خشک شدن زمانی به موقع اتفاق می‌افتد که با حرارت دادن اضافی از دیواره‌های پایین سیلو و یا هوا دهی از طریق فلوییداسلایدها (ایر اسلایدها) در کف سیلو برای هوا دهی و باز کردن منهول‌ها قبل از پرکردن سیلو باشد. اگر رطوبت باقیمانده در بتن بالای 5% باشد و سیلو از سیمان پر شود بخار به داخل سیلو پخش می‌شود. این معمولاً منجر به تشکیل کوتینگ در دیواره‌های سیلو می‌شود و وقتی این کوتینگ‌ها از دیواره‌ها کنده می‌شوند مشابه تشکیل کلوخه در داخل سیلو است.

اثر دیگر رطوبت آب که از ساخت سیلو به جامانده و هنوز درون سیستم هوا دهی است این است که اگر این آب قبل از اولین پرشدگی زهکشی نشود و اگر پارچه‌های هوادهی خشک نباشند، این پارچه‌ها با لایه‌ای از سیمان روکش دار خواهند شد و امکان هوا دهی در تمام کف سیلو کنترل شده نخواهد بود در نتیجه تخلیه کامل امکان پذیر نبوده و کلوخه تشکیل خواهد شد.

2-6- مشکل میعان و تعمیر و نگهداری ناقص تجهیزات

در طی عملیات عادی، هوادهی سیلو با کمپرسورها و بلورها، بدون تشکیل میعانات امکان پذیر است. این در طول زمان وقفه وقتی که میعانات در سیستم هوادهی ممکن است انباشته شده باشند کمی متفاوت است. بویژه زمانی که هوای فشرده از لوله‌های عمومی کارخانه سیمان گرفته شده است. در اینجا تشکیل میعانات در داخل لوله شایع است، به طوری که سیستم هوادهی باید با زانوئیه‌های (سیفون‌ها یا تله‌های) میعان مجهز شود و قبل از هوادهی سیلو، آب درون سیستم باید تخلیه شود.

اگر نگهداری مناسب از سیستم سیلو انجام نشود چند اشکال ممکن است اتفاق بیفتد، چرخه هوادهی ممکن است قطع شود، بطوریکه در طول یک چرخه همه بخش‌ها هوادهی نشود، یا در بخش‌هایی از سیلو که هوادهی صورت می‌گیرد بدون تخلیه است. این گونه موارد در داخل سیلو منجر به تشکیل کلوخه خواهد شد. مشکلات دیگری که ممکن است بدلیل تعمیر و نگهداری ناقص اتفاق بیفتد مشکلات نشت اسلایدهای هوادهی یا نفوذ آب به داخل سیستم هوادهی از طریق عدم آبیندی قسمت‌ها است.

3- چگونه می‌توان از تشکیل کلوخه جلوگیری کرد

3-1- شرایط عمومی

اگر دهیدراتاسیون گچ در طی فرآیند آسیاب کردن سیمان کامل نشود و سیمان خیلی داغ (حدود 70 C°) به داخل سیلو برود، ممکن است گچ در سیلو دهیدراته شود. درجه حرارت سیمان در اصل بوسیله آب و اتر انجکشن کنترل می‌شود. اگر خنک کردن بوسیله آب برای کنترل پیش‌هیدرات (هیدراتاسیون اولیه) مشکل است می‌توان از روشهای جایگزین جهت اجتناب از دمای بالای سیمان استفاده کرد که عبارتند از:

1) خنک کردن با هوای آسیاب

2) جایگزینی بخشی از گچ با گچ انیدریت (سنگ گچ بی آب)

3) خنک ساز خارجی سیمان

راندمان خنک کنندگی با هوای آسیاب نسبتاً پایین است، خنک کردن با هوا در آسیاب‌های مدار باز تا قطر $3/3$ متر و در آسیاب‌های مدار بسته تا $3/9$ متر می‌تواند کافی باشد. بطور کلی، سیستم سایش سیمان آسیاب گلوله‌ای باید به روشی عمل کند که ماکزیمم دهیدرات گچ در جریان آسیاب حاصل شود، اما نه به آن وسعت که مجموعه کاذب رخ دهد. انیدریت همچون بعضی از منابع سولفات وقتی C_3A محتوی سیمان کمتر از 8% باشد مفید است.

گزینه دیگر، خنک کردن غیر مستقیم با یک خنک ساز خارجی سیمان است. خنک کننده‌های سیمان روی اصل جهت مخالف جریان (آب) کار میکنند. یک روتور داخلی، سیمان داغ را از پایین خنک کننده به بالا انتقال می‌دهد. مبادله حرارتی غیر مستقیم از طریق تماس سیمان با سیلندر آب سرد عملی می‌شود. روشی که اجازه می‌دهد درجه حرارت سیمان زیر 60 C° باشد، که برای رهایی از مشکلات ذخیره سیمان در سیلوها پیشنهاد می‌شود.

3-2- ساختمان سیلو و هوادهی از پایین

ساختمان سیلو باید ضد آب باشد و بتن داخلی سیلو باید به طور کامل خشک شده باشد. در ساختمان سیلو، غالباً سقف سیلو یک نقطه ضعیف با احتمال نفوذ آب از طریق سوراخ‌هاست. برای غلبه بر مشکلات ساخت و ساز نا مناسب حداقل دو امکان وجود دارد، یک اقدام خیلی مؤثر بکار بردن پوشش روی سقف سیلو، مهر و موم کردن کامل منهول‌ها، سوراخ‌ها و دیگر محل‌های نفوذ است. یکی از تجربه‌های خوب، ساخت اتاقک (پنت هاوس) بالای سیلو است که تمام سوراخ‌ها را پوشش می‌دهد.

اغلب هوای فشرده که جهت هوادهی استفاده می‌شود، به عنوان منبعی برای رطوبت در سیلو مورد توجه است. این از آنجا ناشی می‌شود که معمولاً رطوبت گیر یا هوا خشک کن پیش‌بینی نمی‌شود و هوای ورودی به کمپرسور می‌تواند 100% با آب اشباع شده باشد. با فشار نرمال و درجه حرارت حدود 90 C° هوای فشرده، نسبت رطوبت هوای فشرده تنها 5 الی 6 درصد خواهد بود. اما وقتی دمای هوای فشرده کاهش یافته و به دمای محیط می‌رسد کندانسیون صورت می‌گیرد. با این وجود رطوبت یا میعان‌ات حاصل از هوای فشرده همراه با تخلیه مواد از سیلو خارج می‌شود و تا زمانی که سیمان درون سیلو بدون تخلیه سیمان هوادهی نمی‌شود تجمع رطوبت امکان‌پذیر نیست.

رطوبت حاصل از کندانسیون ، مقدار رطوبت سیمان استخراجی را در دمای محیط حدود 20°C و میزان استخراج حدود 150t/h ، فقط $0/0025\%$ افزایش خواهد داد. در نهایت عملکرد صحیح سیستم تخلیه سیلو اثری روی تشکیل کلوخه ندارد. اگر عملکرد مناسب سیستم سیلو امکان پذیر نمی باشد کلوخه شکن و خشک کن هوا تنها دستگاه ایمنی هستند.

3-3- سیلوهای IBAU یکی از بالاترین قابلیت ها در صنعت سیمان را دارند. با این حال برای رهایی از مشکلات بهره برداری و تخلیه تقریباً 100% سیلو، یک نگهداری مناسب ضروری است و برخی اصول ذخیره باید به روش های زیر باشد:

پر کردن سیلو برای بار اول نباید از 20% حداکثر ظرفیت سیلو تجاوز کند و بعد از 3 الی 5 روز تمام مواد داخل سیلو باید تخلیه شود. این جهت اطمینان است، بنابراین رطوبتی که در داخل سیلو و سیستم هوادهی وجود دارد با تخلیه سیمانی که بار اول به داخل سیلو ریخته شده است زدوده می شود.

توصیه اکید شده است که هر سال سیلو به طور کامل تخلیه شود و سیستم هوادهی بررسی شود اگر در بازرسی ها کلوخه ای مشاهده شود باید به طور کامل حذف شود و علل امکان تشکیل کلوخه تحلیل شود.

توصیه ها:

- به طور کلی رطوبت سیمان همیشه باید زیر 5% نگهداشته شود، بنابراین تزریق آب در آسیاب ها باید محدود باشد.
- برای جلوگیری از دهیدراتاسیون در سیلو ، وقتی دهیدراتاسیون گچ بعد از آسیاب سیمان کامل نشده است درجه حرارت سیمان تغذیه سیلو نباید از 70°C تجاوز کند.
- به عبارت دیگر اگر دهیدراتاسیون گچ قبلاً در جریان آسیاب تمام شده باشد حرارت 100°C و بیشتر می تواند قابل تحمل باشد. یک آسیاب سیمان، دائم حرارت تولید می کند و آنالیز XRD نشانگر خوبی است به اینکه چقدر دهیدراتاسیون درون سیلو شکل می گیرد.
- عملکرد مناسب تجهیزات تغذیه و تخلیه سیلو ضروری است.
- از نفوذ آب به داخل سیلو به هر دلیلی که باشد باید اکیداً جلوگیری شود بدین معنی که منهول ها و دیگر دریچه های روی سقف بسته شوند.
- بازرسی های سیلو باید طبق راهنمایی های IBAU انجام شود.

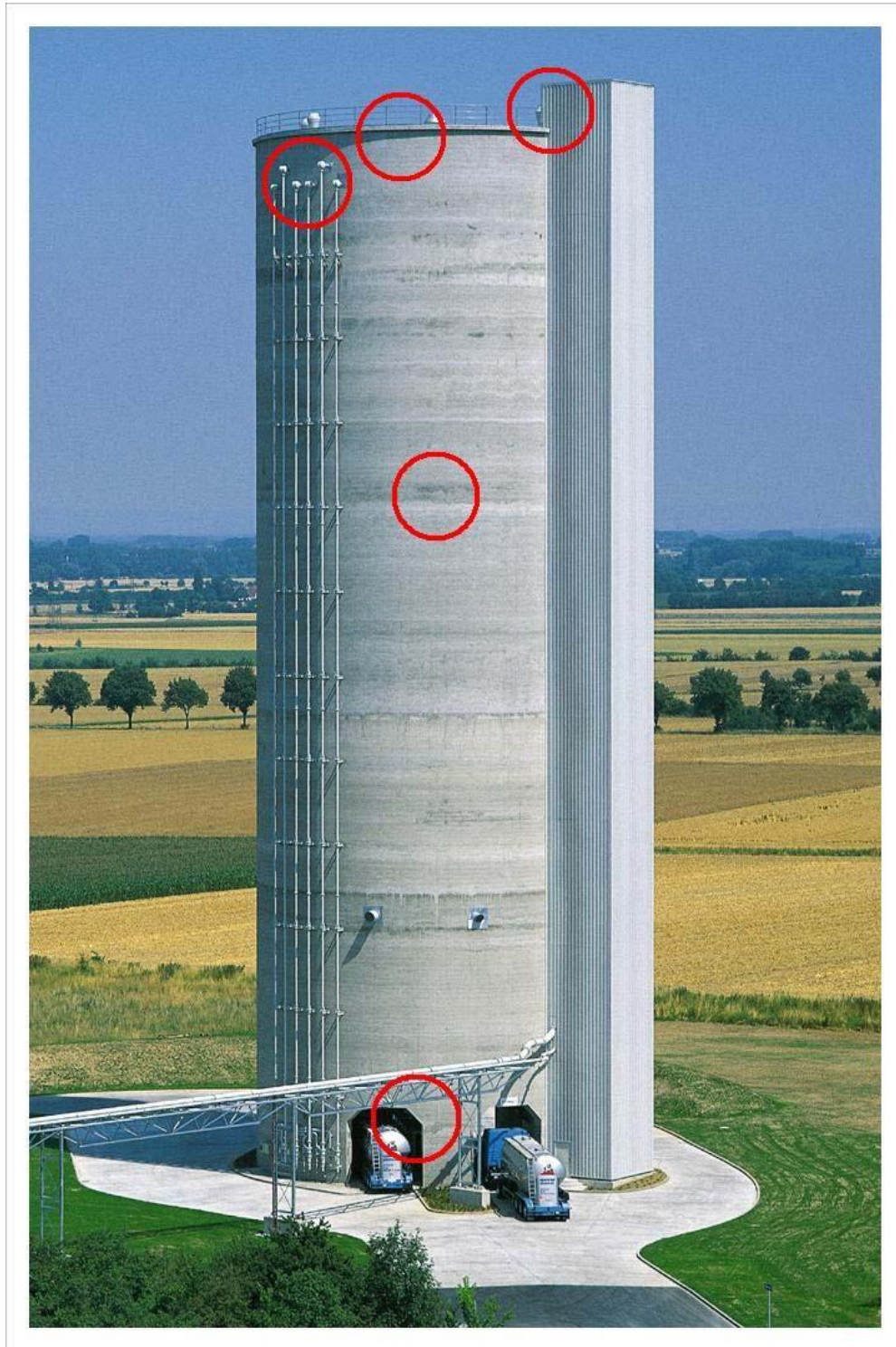




Fig. 2: Ball mill for cement grinding
(Source: Chr. Pfeiffer Beckum)

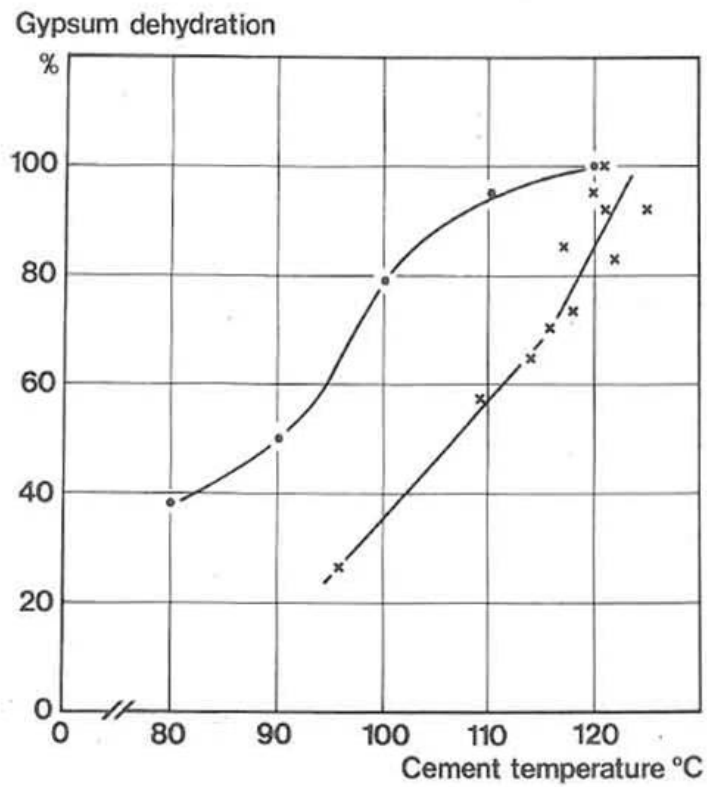


Fig. 3: Gypsum dehydration in different ball mills /2/

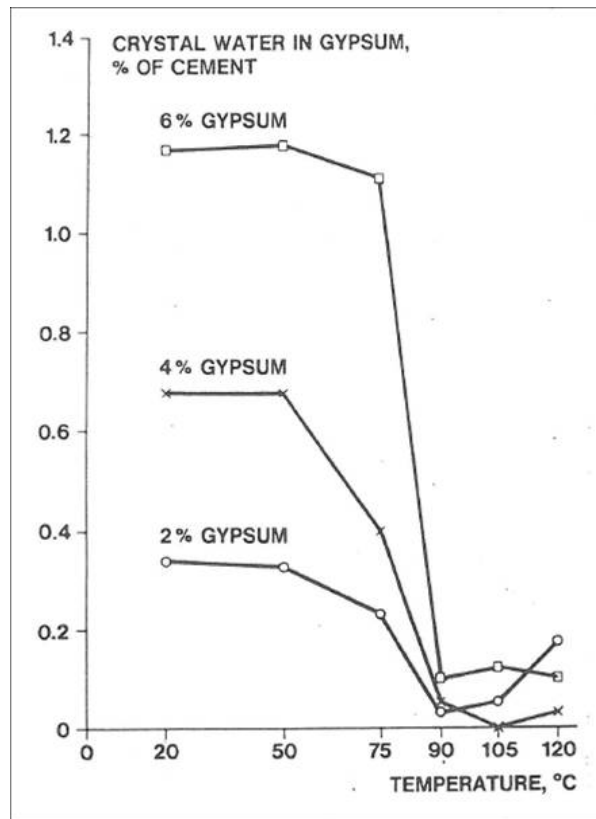


Fig. 4: Gypsum dehydration depending on cement temperature /2/

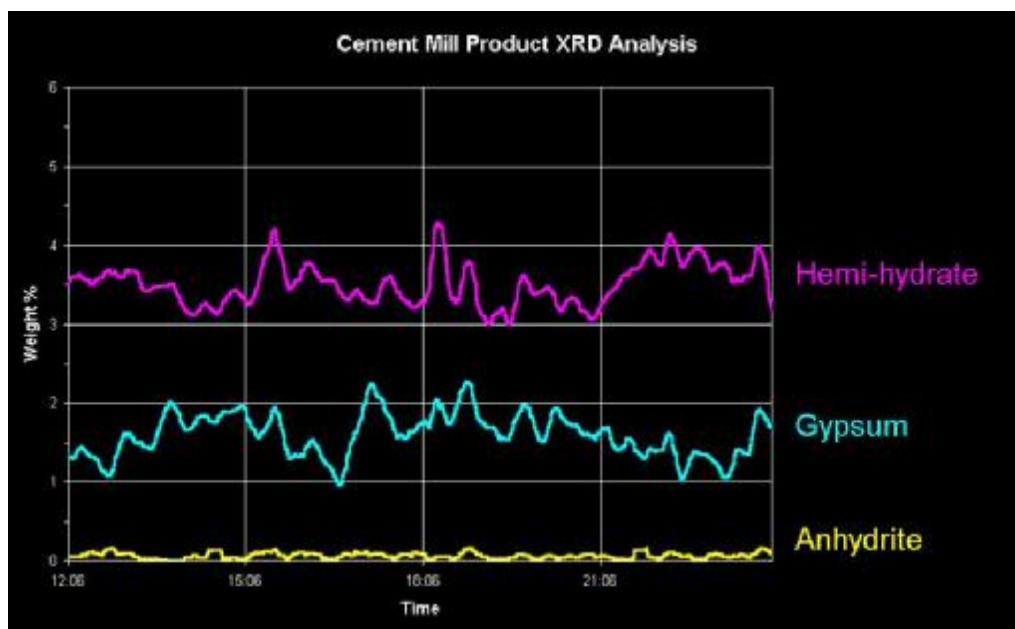


Fig. 5: Cement mill product XRD analysis (Source: FCT)

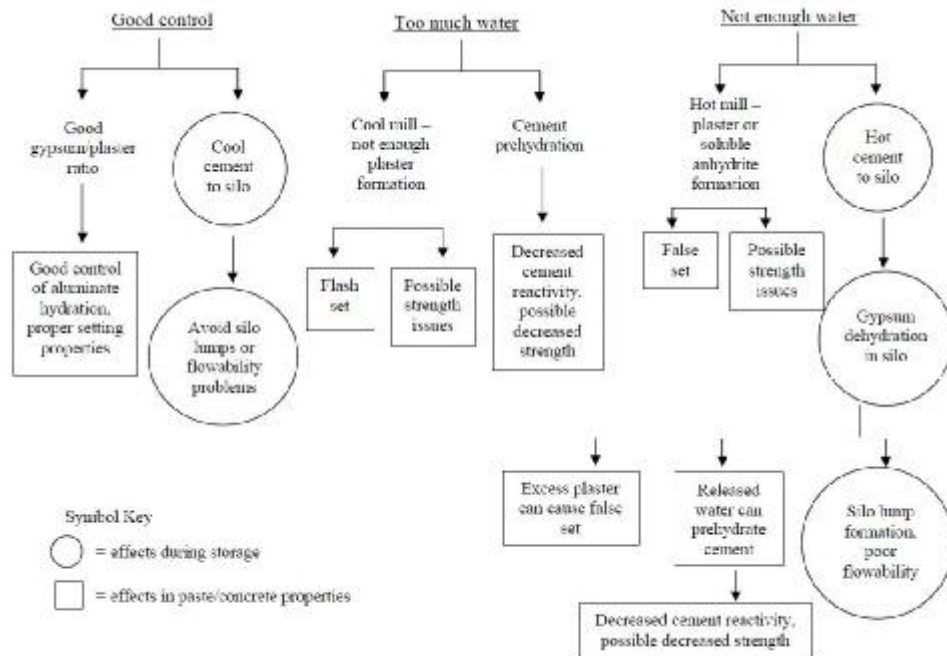


Figure 1. Relationships between finish mill water spray and cement storage, setting, and strength.

Fig. 6: Influence of water spray on cement properties and storage /8/



Fig. 7: Slipforming of a cement silo (Source: Peter & Lochner)

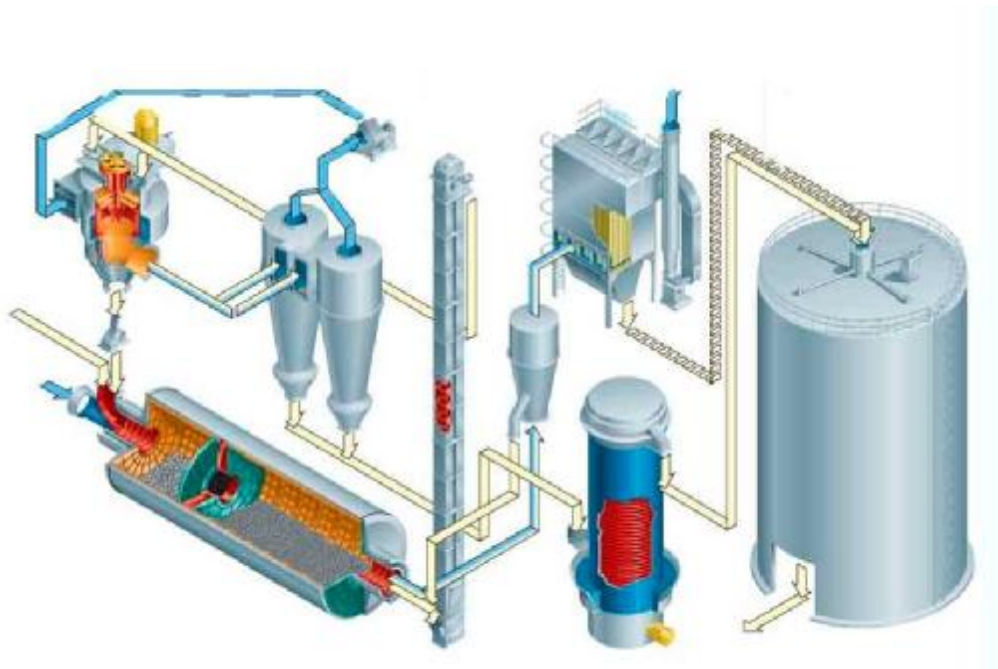


Fig. 8: Illustration cement cooler (Source: Chr. Pfeiffer Beckum)

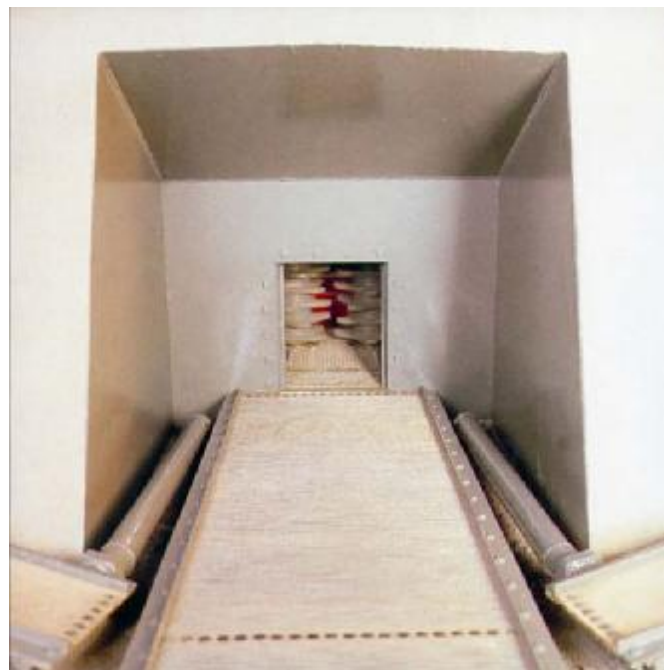


Fig. 9: Silo discharge with lump breaker
(Source IBAU HAMBURG)

Table 1: Gypsum phases (Source: Gypsum Data Book,

- 17 -

Zeile	Chemische Formel der Phase	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	CaSO_4 III	CaSO_4 II
1	Bezeichnung	Calciumsulfat-Dihydrat	Calciumsulfat-Halbhydrat	Anhydrit III	Anhydrit II
2	Weitere Bezeichnungen	Naturgips, Rohgips, Gipsstein, technischer Gips, abgebundener Gips	β -Halbhydrat, β -Gips, Stuckgips, α -Halbhydrat, α -Gips, Autoklavengips	löslicher Anhydrit	Natur-Anhydrit, Rohanhydrit, Anhydritstein, synthetischer Anhydrit, erbrannter Anhydrit
3	Formen		α -Form β -Form	α -A III β -A III	A II-s (schwerlöslich) A II-u (unlöslich) A II-E (Estrichgips)
4	Kristallwasser (M.-%)	20,92	6,21	0	0
5	Dichte (g/cm ³)	2,31	2,619 β 2,757 α	2,580	2,93 2,97
6	Molmasse	172,17	145,15	136,14	136,14
7	Kristallsystem Raumgruppe	monoklin-prismatisch A2/a	monoklin-prismatisch I 121	orthorhombisch C 222	orthorhombisch Amma
8	Härte nach Mohs	2			3 1/2
9	Löslichkeit in H ₂ O bei 20° C (gCaSO ₄ /l)	2,05	8,8 β 6,7 α	8,8 β 6,7 α	2,7
10	Stabilität	< 40° C	metastabil	metastabil	40 – 1.180° C
11	Bildungstemperatur im Laboratorium		β : 45 – 200° C in trockener Luft α : > 45° C in Wasserdampf-atmosphäre	50° C Vakuum 100% Luftfeuchtigkeit	200 – 1.180° C
12	Bildungstemperatur im technischen Prozess		β : 120 – 180° C trocken α : 80 – 180° C nass	β : 290° C trocken α : 110° C nass	300 – 900° C A II-s: 300 – 500° C A III-u: 300 – 500° C A II-E: > 700° C