รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติกร จามรดุสิต. Eco – Efficiency แนวทางเพิ่มประสิทธิภาพอุตสาหกรรมสู่ความยั่งยืน มหาวิทยาลัยมหิดล, 2551

ก่อเกียรติ เกิดปากแพรก.Eco-Efficiency Evaluation of Petroleum and Petrochemical in the MAP TA PUT Industrial Estate, Rayong Thailand, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล, 2550

จิตวิสุทธิ์ ณ ถลาง. ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจกับอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2545

ชณิชา หมอยาดี. มาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, "คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)", คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, เอกสารวิชาการของบริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2537

บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, รายงานการพัฒนาอย่างยั่งยืน ประจำปี 2549, 2549

ปุณยิศา คืนดี . การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับเทคโนโลยีเพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศ . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551

วีระพงษ์ ประสาทศิลปิน. การประหยัดพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมพระนครใต้ ชุดที่ 1, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และมานิจ ทองประเสริฐ. การลดก๊าซเรือนกระจก : งานวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยี. 2550.

สำนักงานนโยบายและวางแผนสิ่งแวดล้อม. คู่มือติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมโครงการประเภทเหมืองแร่หินปูนและอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์. 2544

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม. โครงการการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมระดับพื้นที่จากกิจกรรมเหมืองหินปูน โรงโม่หิน และอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในจังหวัดสระบุรี. 2537.

เอกสิทธิ์ สุวรรณศรี. การปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

ภาษาอังกฤษ

Adiana B., Ondrej M., John E., CO2 Capture Technology For Cement Industry, 2008

Adiana B. Strategy for the Use of Market-Based Instruments in Idonesia's Environmental Management. Environment Division. Office of Environment and Social Development. Asian Development. 1997

Carpio RC, Alternative fuels mixture in cement industry kilns employing Particle Swarm Optimization algorithm. 2008

Carpio, R.C. Case Study in Cement Kilns Alternative Secondary Fuels Mixing Using Sequential Quadratic Programming, Genetic Algorithms. 2005

Charlene S., Charlotte J., Royce D., Eco-efficiency and firm value, 2008

Das ,A.,and Kandpal T.C. Energy-Environment Implications of Cement Manufacturing in India: a Scenrio Analysis.International Journal of Energy Research.(1997): 56-67

Ernst Worrell, Lynn Price, Nathan Martin, Chris Hendriks, and Leticia OzawaMeida. Carbondioxide Emission from The Global Cement Industry. 2001.

Guerra I., Vivar I., B. Llamas, A.Juan, J.Moran, Eco-efficient concretes: The effects of using recycled ceramic material from sanitary installation on mechanical properties of concrete, 2008

Hanssen ,J.O. Environmental impacts of product systems in a life cycle perspective: a survey of five product types based on life cycle assessments studies. 1998

Iniyana S., Suganthib L., Anand A. Samuel, Energy models for commercial energy prediction and substitution of renewable energy sources, 2006

John W. Halloran, Carbon-neutral economy with fossil fuel-based hydrogen energy and carbon materials, 2007

Kaantee U., Zevenhoven R. Cement manufacturing using alternative fuels and the advantages of process modeling, 2003

Ken Humphreys ,and Maha Mahasenan. Climate Change. World Business Council for Sustainable Development, 2002.

Kessler ,G.r. Cement Kiln Dust (CKD)Methods for Reduction and Control. IEEE Transactions on Industry Application, 1995.

Kharel G. ,Charmondusit K. , Eco-efficiency evaluation of iron rod industry in Nepal, 2008

Kyounghoon Cha, Songtak Lim, Tak Hur, Eco-efficiency approach for global warming in the context of Kyoto Mechanism, 2008

Li,V.C.,Fischer,G.,Kim,Y.,Lepech,M.,Qian,S,Weimann,M.,and Wang,S. Durable link slabs for jointless bridge decks based on strain-hardening cementitious composites. 2003.

McQueen ,A.T.et al. Cement Kiln NOx Control. IEEE Transactions on Industry Applications, 1995.

Mohammmed B., Hernane C ., Ali E., Eric C., Peter L., Analysis and Optimizat Carbon dioxide Emission Mitigation in Cement Industry. 2008.

Mycock, JC.,J.D. Mckenna and L.Theodore. Handbook of Air Pollution C Engineering and Technology. Lewis Publisher, 1995.

Raina , K., and Janakiraman L.K. Use of mineralizer in black meal process for improved clinkerization of energy.Cement and Concrete Research. 1998

Runar Brannlund, Tommy Lundgren, Swedish industry and Kyoto—An assessment of the effects of the European CO2 emission trading system, 2007

Schneider ,M. ,and Kuhlmann K. Environmental Relevance of the Use of Secondary Constituents in Cement Production. ZKG International, 1997.

Sharp, J.H.,Lawrence C.D. ,and Yang R. Calcium Sulfoaluminate Cements Low-Energy Cements. Advances in Cement Research. 1999.

Taeko Aoe. Eco-efficiency and eco-design in electrical and electronic products, 2006

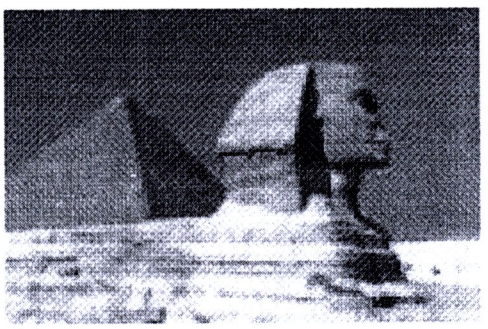
Tahsin Engin *, Vedat Ari, Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems—A case study, 2005

ภาคผนวก

ประวัติปูนซีเมนต์

จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์พบว่า มีการนำปูนซีเมนต์มาใช้งานตั้งแต่สมัยอียิปต์, กรีก และโรมัน โดยในยุคต้นจะเป็นการใช้งานเพื่อสร้างเป็นที่หลบภัยหรือที่อยู่อาศัยเป็นส่วนใหญ่ โดยช่างก่อสร้างได้ใช้ดินเหนียว (Clay) เป็นตัวยึดเกาะก้อนหินขนาดใหญ่เข้าด้วยกันเป็นโครงสร้างแข็งสำหรับสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ในปี พ.ศ. 2367 Joseph Aspdin ซึ่งมีอาชีพเป็นช่างปูน ชาวอังกฤษได้ประดิษฐ์คิดค้นปูนซีเมนต์ขึ้นใช้ชื่อว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) เนื่องจากเมื่อเกิดการก่อตัวจะมีสีเหมือนกับสีของหินปูนบนเกาะปอร์ตแลนด์ บริเวณช่องแคบอังกฤษ ซึ่งชื่อดังกล่าวยังคงใช้อยู่จนถึงปัจจุบันและแพร่หลายไปทั่วโลกในประเทศไทยพบว่า ได้เริ่มผลิตปูนซีเมนต์ใช้เองภายในประเทศในปี พ.ศ. 2456 ด้วยพระราชประสงค์ของ พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชการที่ 6) เพื่อลดการนำเข้าปูนซีเมนต์จากต่างประเทศภายใต้ชื่อ บริษัทปูนซิเมนต์ไทย จำกัด ตั้งอยู่ ณ ตำบลบางซื่อ (โรงงานบางซื่อ) ซึ่งต่อมาได้แปรสภาพเป็นบริษัทมหาชน ภายใต้ชื่อ บริษัทปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) จนถึงปัจจุบัน

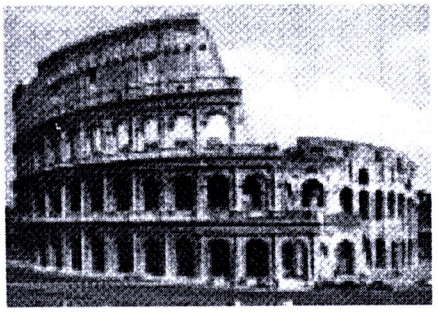
ในยุคแรกของการก่อสร้าง ช่างก่อสร้างได้ใช้ดินเหนียว (clay)และหิน (stone) ผสมเข้าด้วยกันเป็นโครงสร้างแข็งชนิดหนึ่งเพื่อใช้ป้องกันและหลบภัยต่างๆ คอนกรีตที่เก่าแก่ที่สุดถูกค้นพบประมาณ7,000 ปีก่อนคริสต์ศักราช และในปี 1985 ได้มีการค้นพบการทำพื้นถนนคอนกรีตที่ Yiftah. El ใน Galilee ประเทศอิสราเอล ซึ่งคอนกรีตที่ใช้ประกอบด้วยปูนขาว (lime) จากการนำหินปูน (limestone) ไปเผาจนได้เป็นปูนขาว จากนั้นนำปูนขาวดังกล่าวผสมกับน้ำและหิน
ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะอยู่ในรูปคอนกรีต



รูปที่ ผ-1 ปิรามิดในสมัยอียิปต์

ประมาณ 2,500 ปีก่อนคริสต์ศักราช ได้มีการก่อสร้างในประเทศอียิปต์ ซึ่งวัสดุที่ใช้เชื่อมประสานระหว่างก้อนหินสำหรับโครงสร้างของพีระมิดนั้นบางรายงานระบุว่าเป็นมอร์ต้าที่ทำมา

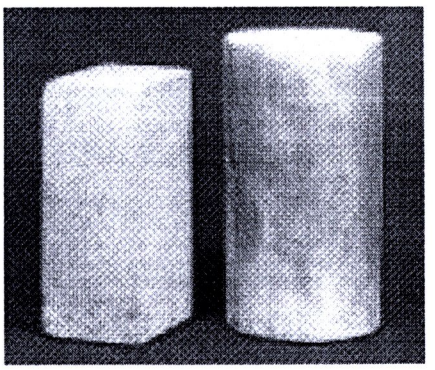
จากปูนขาว ขณะที่บางรายงานระบุว่าเป็นวัสดุที่ได้มาจากการเผายิปซั่มตัวอย่างของคอนกรีตในยุคโรมันอาจจะต้องย้อนกลับไปประมาณ 300 ปีก่อนคริสต์ศักราช ซึ่งคำว่าคอนกรีตได้มาจากภาษาลาติน "concretus" ซึ่งแปลว่า การเข้าด้วยกันหรือการคลุกเคล้าผสมกัน ชาวโรมันได้มีการใช้วัสดุปอซโซลาน (pozzolan) เป็นวัสดุเชื่อมประสาน โดยได้มาจากเถ้าภูเขาไฟ ซึ่งเดิมคิดว่าเป็นพวกทรายโดยนำมาผสมกับปูนขาว ซึ่งของผสมที่ได้มีความแข็งแรงกว่าการผลิตก่อนหน้านี้เป็นอย่างมาก การค้นพบดังกล่าวมีความสำคัญต่อการก่อสร้างเป็นอย่างมาก และนอกจากนี้ยังทำให้ทราบว่าวัสดุดังกล่าวแท้จริงแล้วไม่ใช่เป็นพวกทราย แต่เป็นเถ้าละเอียดจากภูเขาไฟที่ประกอบด้วยสารประกอบซิลิก้า (silica) และอลูมิน่า(alumina) ซึ่งเมื่อมีการรวมกันทางเคมีกับปูนขาวก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เรารู้จักในชื่อ ปูนซีเมนต์ปอซโซลาน (pozzolanic cement)



รูปที่ ผ-2 โคลีเซี่ยมในประเทศอิตาลี

วัสดุเหล่านี้ใช้ในการปลูกสร้างสิ่งก่อสร้างที่มีชื่อเสียง เช่นกำแพงโรมัน, โรงละคร (theatre), Colosseum และ Pantheon ในกรุงโรม เป็นต้น แต่ในช่วงของยุคกลางดูเหมือนว่าปูนซีเมนต์ปอซโซลาน ไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควรเมื่อเทียบกับยุคแรกๆและคุณภาพของวัสดุเชื่อมประสานก็เสื่อมลง การเผาปูนขาวและการใช้วัสดุปอซโซลานจึงไม่มีการนำมาใช้อีกจนกระทั่งปี ค.ศ. 1,300 ได้มีความพยายามในการหาว่า เหตุใดปูนขาวบางชนิดจึงมีคุณสมบัติไฮดรอลิก ขณะที่บางชนิดไม่มีคุณสมบัติดังกล่าวซึ่งไม่สามารถหาคำตอบได้ จนกระทั่งศตวรรษที่ 18 John Smeaton ซึ่งได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งวิศวกรรมโยธาของประเทศอังกฤษ (father of civil engineering in England) ซึ่งงานของเขาเกี่ยวข้องกับทางด้านนี้เป็นอย่างมาก ได้พบว่าความไม่บริสุทธิ์ (impure) ของหินปูนที่อ่อนนุ่ม (soft limestone) ที่มีส่วนผสมของดินเหนียว (clay mineral)จะทำให้เกิดเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกได้ดีที่สุด และเขาใช้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้กับวัสดุปอซโซลานจากประเทศอิตาลีในโครงการก่อสร้าง Eddystone Lighthouse ที่ประเทศอังกฤษในปี ค.ศ.

1759 โดยดำเนินการทั้งหมด 3 ปีจนสำเร็จ การค้นพบการผลิตปูนซีเมนต์ของ John Smeaton ในครั้งนี้นับเป็นจุดเริ่มในการพัฒนาอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์



รูปที่ ผ-3 หินของเกาะปอร์ตแลนด์(ซึ่งเป็นที่มาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์)

การพัฒนาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นผลเนื่องมาจากความพยายามทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ธรรมชาติที่มีคุณภาพดีกว่า ผู้ที่ประดิษฐ์คิดค้นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์คือ Joseph Aspdin ซึ่งมีอาชีพเป็นช่างปูน ชาวอังกฤษ เขาได้จดทะเบียนในปี ค.ศ. 1824 สำหรับที่มาของชื่อ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) เนื่องจากเมื่อเกิดการก่อตัวจะมีสีเหมือนกับสีของหินปูนบนเกาะปอร์ตแลนด์ บริเวณช่องแคบอังกฤษซึ่งชื่อดังกล่าวยังคงใช้อยู่ถึงจนถึงปัจจุบันและแพร่หลายไปทั่วโลก

Aspdin เป็นผู้กำหนดสูตรปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และมีการจดสิขสิทธิ์ไว้เป็นคนแรก อย่างไรก็ตามในปี ค.ศ. 1845 I.C.Johnson และบุตรชาย ได้ทำการเผาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ด้วยความร้อนสูงจนกระทั่งมีลักษณะคล้ายแก้ว (vitrified) ซึ่งเป็นการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เรารู้จักกันในปัจจุบัน ปูนซีเมนต์ดังกล่าวได้กลายเป็นที่นิยมระหว่างช่วงแรกของศตวรรษที่ 19 และได้มีการส่งออกจากประเทศอังกฤษไปยังประเทศต่างๆทั่วโลก และได้มีการผลิตอีกครั้งในประเทศเบลเยียม ฝรั่งเศสและเยอรมัน และมีการส่งออกจากประเทศเหล่านี้ไปยังอเมริกาเหนือในปี ค.ศ. 1865 หลักฐานที่มีการจดบันทึกในการส่งสินค้าประเภทปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไปยังประเทศสหรัฐอเมริกาปรากฏเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1868 ส่วนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในประเทศสหรัฐอเมริกามีขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1871 ที่โรงงานใน Coplay รัฐ Pennsylvania

สถาบันวิจัยแห่งชาติ สถาบันเทคโนโลยีแห่งชาติ

ในสมัยรัชกาลที่ 4 ถึงรัชกาลที่ 6 ประเทศไทยต้องนำเข้าปูนซีเมนต์จากต่างประเทศ ทำให้ต้องเสียเงินตราแก่ต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ประเทศไทยก็มีศักยภาพและวัตถุดิบอย่างเพียงพอในการผลิตปูนซีเมนต์เพื่อใช้งาน ประกอบกับความต้องการปูนซีเมนต์ภายในประเทศเพิ่มสูงขึ้น ทำให้บริษัทผลิตปูนซีเมนต์แห่งแรกของประเทศไทยถือกำเนิดขึ้นในปี พ.ศ. 2456 ด้วยพระราชประสงค์ของ พระบาทสมเด็จพระปรเมนทรมหาวชิราวุธฯ พระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 6) เพื่อให้สามารถผลิตปูนซีเมนต์ขึ้นใช้เองภายในประเทศ ลดการนำเข้าปูนซีเมนต์จากต่างประเทศจัดสรรการใช้ทรัพยากรภายในประเทศอย่างคุ้มค่า และช่วยนำประเทศไปสู่ความเจริญก้าวหน้าในอนาคต ภายใต้ชื่อ บริษัทปูนซิเมนต์ไทย จำกัด โดยเริ่มก่อตั้งเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2456 และได้รับการจดทะเบียนเป็นบริษัทเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2458

ครั้นต่อมา เมื่อความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศเพิ่มสูงขึ้น บริษัทปูนซิเมนต์ไทย จำกัด จึงได้ขยายโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ไปยังภูมิภาคต่างๆทั่วประเทศ ได้แก่ โรงงานปูนซิเมนต์ไทย ท่าหลวง(จ.สระบุรี) โรงงานปูนซิเมนต์ไทย ทุ่งสง(จ.นครศรีธรรมราช) โรงงานปูนซิเมนต์ไทย แก่งคอย(จ.สระบุรี) โรงงานปูนซิเมนต์ไทย เขาวง(จ.สระบุรี) และโรงงานปูนซิเมนต์ไทยลำปาง(จ.ลำปาง) และได้มีการปิดโรงงานที่บางชื่อในเวลาต่อมาโดยใช้เป็นที่ตั้งของสำนักงานใหญ่ของเครือซิเมนต์ไทยในปัจจุบัน

กระบวนการผลิตโดยสังเขป

ซีเมนต์คือ สารที่ทำหน้าที่ยึดผิวของของแข็งเข้าด้วยกันอย่างมั่นคงหรือกล่าวให้เฉพาะเจาะจงก็ คือ ผงที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานโดยต้องผสมกับน้ำก่อน ซึ่งจะแข็งตัวเมื่อแห้งโดยสามารถใช้เป็นตัวประสานหรือยึดอิฐ หิน ฯลฯ ในการก่อสร้างอาคาร สถานที่ต่างๆ

ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์

จากรูปที่ ผ-5 Cement Plant Schematic Process Flow แบ่งขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

Raw Material Preparation

หินปูน (Limestone) และดินดาน (Shale) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตปูนซีเมนต์จะถูกลำเลียงจากเหมืองผ่านเข้าเครื่องย่อย (Crusher) เพื่อย่อยให้มีขนาดเล็กลงพอเหมาะจะผ่านเข้าหม้อบดวัตถุดิบได้ การย่อยวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลงและมีขนาดใกล้เคียงกันทำให้วัตถุดิบแต่ละประเภทมีคุณภาพสม่ำเสมอยิ่งขึ้น วัตถุดิบที่ผ่านการย่อยแล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บในยุ้งด้วย Stacker ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพวัตถุดิบในกองให้สม่ำเสมอกัน และจะถูกลำเลียงออกจากยุ้งด้วยReclaimer ซึ่งช่วยให้เกิดการคลุกเคล้าของวัตถุดิบดียิ่งขึ้นก่อนลำเลียงไปเก็บใน Hopper

Raw Material Grinding

วัตถุดิบที่ป้อนเข้าหม้อบดจะต้องควบคุมส่วนผสมโดยใช้เครื่องป้อนวัตถุดิบ(Feeder) ให้มีส่วนผสมระหว่างวัตถุดิบแต่ละชนิดตามที่กำหนดแล้วป้อนเข้าหม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill) เพื่อบดให้ละเอียด ในระหว่างการบดจะใช้ลมร้อนช่วยไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ หม้อบดวัตถุดิบที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 แบบได้แก่ Horizontal Mill (Tube Mill) และ Vertical Mill วัตถุดิบที่ผ่านการบดและตรวจสอบคุณภาพเรียบร้อยแล้ว (Raw Meal) จะถูกลำเลียงไปเก็บไว้ใน Blending Silo หรือ Homogenizing Silo ซึ่งมีทั้งแบบ Batch Type และ Continuous Type เพื่อคลุกเคล้าส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันใน Silo และพร้อมจะนำเข้ากระบวนการเผาต่อไป

Burning

กรรมวิธีการให้ความร้อนในการเผาปูนซีเมนต์โดยใช้หม้อเผา ปัจจุบันนิยมใช้หม้อเผาแบบหมุน(Rotary Kiln) ซึ่งใน SCI หม้อเผาเป็นชนิด Suspension Preheater with Precalciner Kiln ซึ่งจะติดตั้งชุด Precalciner ต่อจาก Suspension Preheater เพื่อทำหน้าที่แทน Calcining Zone คือ เผาให้$CaCO_3$ แตกตัวประมาณ 85-90% เป็น CaO ก่อนที่จะนำเข้าสู่ Burning Zone ซึ่งหม้อเผาชนิดนี้จะมีThermal Load ใน Burning Zone ลดลง ส่งผลให้อายุการใช้งานของอิฐทนไฟยาวนานขึ้นRaw Meal เมื่อผ่านการเผาใน Burning Zone ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 1,400-1,600 องศาแล้วจะถูกส่งเข้า Cooling Zone เพื่อทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ผลผลิตที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดสีเทาเข้มเรียกว่า ปูนเม็ด (Clinker) เครื่องจักรที่ใช้ทำให้ปูนเม็ดเย็นตัวเรียกว่า หม้อเย็น (Clinker Cooler) ซึ่งใน SCI จะเป็นหม้อเย็นชนิด Grate Cooler ซึ่งภายในจะมีลักษณะเป็นห้องต่อกัน 3-4 ห้อง หรือมากกว่านี้ ภายในแต่ละห้องจะมีแผ่นตะกรับ (Grate) เคลื่อนที่เพื่อลำเลียงปูนเม็ดให้เคลื่อนไปข้างหน้าแผ่นตะกรับจะมีรูพรุนเพื่อให้ลมเย็นผ่านขึ้นไประบายความร้อนออกจากปูนเม็ด ปูนเม็ดที่ออกจากหม้อเย็นชนิดนี้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าแบบ Planetary Cooler หรือ Rotary Cooler ซึ่งปูนเม็ดที่ได้จะถูกลำเลียงไปเก็บไว้ใน Clinker Silo เพื่อเตรียมนำเข้ากระบวนการบดเป็นปูนซีเมนต์ต่อไป

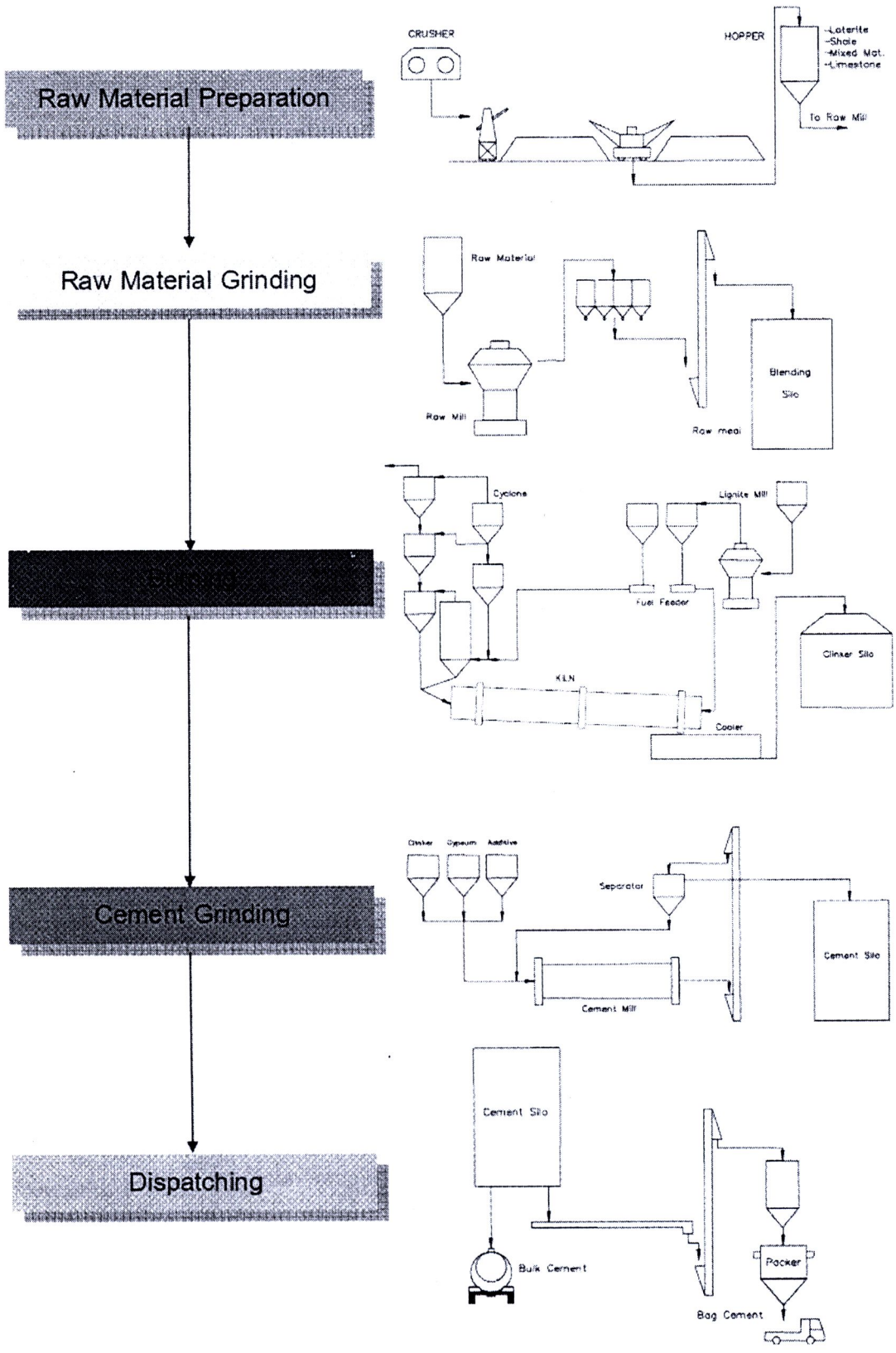
Cement Grinding

ปูนเม็ดที่ผ่านการเผาและทำให้เย็นตัวใน Cooling Zone ของหม้อเผาแล้ว จะผ่านเครื่องย่อยเพื่อย่อยให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 25 mm. แล้วลำเลียงเข้า Clinker Silo หลังจากนั้นจะลำเลียงออกไปยัง Hopper ของหม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill) เพื่อบดให้ละเอียดต่อไป ในระหว่างการบดจะผสมยิปซั่มประมาณ 3-6% เพื่อควบคุมระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) ของปูนซีเมนต์ให้มีคุณภาพตามที่มาตรฐานกำหนดปูนเม็ดและยิปซั่มจาก Hopper จะผ่านเครื่องป้อน (Feeder) เพื่อควบคุมน้ำหนักให้ได้ตามที่ต้องการ และมีปริมาณที่พอเหมาะกับกำลังการบด

ของหม้อบด การบดในระบบปิด (Closed Circuit Grinding system) ซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบันเป็นการบดปูนซีเมนต์ที่มีเครื่องแยก (Separator) เป็นส่วนประกอบ กล่าวคือ ปูนซีเมนต์ที่ผ่านการบดแล้วจะถูกส่งไปเข้าเครื่องแยก เพื่อแยกส่วนที่ละเอียดและส่วนที่หยาบออกจากกัน ส่วนที่หยาบจะถูกส่งกลับเข้าหม้อบดเพื่อบดร่วมกับปูนเม็ดและยิปซั่มอีกครั้งหนึ่ง สำหรับส่วนที่ละเอียดจะเป็นปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดตามที่ต้องการ ซึ่งจะถูกลำเลียงไปเก็บในยุ้งเก็บปูนซีเมนต์ (Cement Silo) เพื่อรอจำหน่ายให้กับลูกค้าต่อไป

Dispatching

เมื่อมีลูกค้าเข้ามาซื้อ ปูนซีเมนต์จากยุ้งเก็บจะถูกลำเลียงมาเข้าเครื่องบรรจุถุง (Packer) เพื่อจ่ายให้กับลูกค้าที่ต้องการปูนซีเมนต์ถุง (Bag Cement) ส่วนลูกค้าที่ต้องการปูนซีเมนต์ผง (BulkCement) จะรับปูนซีเมนต์ผงได้จากยุ้งเก็บปูนซีเมนต์ได้โดยตรงการขนส่งปูนซีเมนต์ถุงและปูนซีเมนต์ผงออกจากโรงงาน จะขนส่งได้ทั้งทางรถยนต์ ทางรถไฟและทางเรือ



รูปที่ ผ-5 Cement Plant Schematic Process Flow

การบดวัตถุดิบ (Raw Milling)

หม้อบดวัตถุดิบรุ่นใหม่มากกว่า 80% จะเป็นหม้อบดแบบตั้ง (Vertical Roller Mill) อย่างไรก็ตามหม้อบดแบบนอน (Ball Mill) ก็ยังคงมีใช้กันอยู่ โดยอาจติดตั้ง Roller Press สำหรับช่วยบดเบื้องต้น (Pre-grinding) เพิ่มเพื่อช่วยบดก่อนเข้าหม้อบดวัตถุดิบ (ในบางครั้งอาจมีการติดตั้งเครื่องตีแผ่นวัตถุดิบที่ผ่านออกจาก Roller Press เพื่อนำส่วนละเอียดแยกออกเป็นวัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal)ก่อนป้อนเข้าหม้อบด การติดตั้ง Roller Press ในระบบหม้อบดแบบนอน (Ball Mill) เช่นนี้มักดำเนินการกรณีที่ต้องการปรับปรุงหม้อบดแบบนอน (Ball Mill)เพื่อเพิ่มอัตราการผลิตและลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า

หม้อบดแบบตั้ง (Vertical Roller Mill) สามารถที่จะรองรับวัตถุดิบที่มีความชื้นได้ถึง 15% ขณะที่หม้อบดแบบนอน (Ball Mill)ที่มีห้องไล่ความชื้น (Drying Compartment) และดูดลมร้อนผ่านตัวหม้อบดด้วยความเร็ว 2.5-3.5 m/s เหนือระดับลูกบด สามารถไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบในปริมาณไม่เกิน 8% ออกจากวัตถุดิบได้ สำหรับหม้อบดแบบนอน (Ball Mill)ชนิด Center Discharge Mill (Double Rotator) ซึ่งดูดลมร้อนผ่านตัวหม้อบดด้วยความเร็ว 5-6 m/s เหนือระดับลูกบด สามารถไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบในปริมาณ 12-14% ซึ่งโดยปกติแล้วความร้อนที่ใช้ในการไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบจะได้จากระบบ Preheater ของหม้อเผาซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 300 °C โดยปกติจากระบบ Preheater ของหม้อเผาอาจไม่สามารถไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบอย่างสม่ำเสมอได้แม้ว่าจะดึงความร้อนออกจากหม้อเผาอย่างเต็มความสามารถของหม้อเผาแล้ว สำหรับหม้อเผาที่มี Preheater 5-6 ระดับจะมีความสามารถในการไล่ความชื้นไม่มากนัก ดังนั้นเมื่อต้องการไล่ความชื้นปริมาณที่มากขึ้นอาจจะต้องใช้ Hot Gas Generator ช่วยในการไล่ความชื้นด้วย ซึ่งมีข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายจะค่อนข้างสูงอย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีการนำความร้อนที่เกิดจากมอเตอร์ขับของหม้อบดวัตถุดิบ (Mill Drive) มาช่วยไล่ความชื้นด้วย ซึ่งปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ขับหม้อบดใช้ไป 1000 kWh สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานงานความร้อนเพื่อไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบได้ประมาณ 1 ตัน

ระบบ Silo จะมีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการเก็บวัตถุดิบก่อนผ่าน Feeder เข้าหม้อบดวัตถุดิบในกรณีที่ไม่มีระบบการผสม (Preblending) หรือ ยุ้งเก็บสำหรับวัตถุดิบจำพวกหินปูนหรือเชลซึ่งมีความชื้นค่อนข้างต่ำ แต่หากว่าวัตถุดิบมีความชื้นค่อนข้างสูงซึ่งจำเป็นจะต้องนำเข้าไปไล่ความชื้นออกที่หม้อบดวัตถุดิบจะไม่จำเป็นต้องมีระบบ Silo เก็บวัตถุดิบแต่ควรมีระบบการกองเก็บในยุ้งวัตถุดิบรวมทั้งระบบการผสม (Preblend) เพื่อช่วยผสมและลดความชื้นแทน

หม้อบดแบบตั้ง (Vertical Roller Mill) จะมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบดต่ำกว่าหม้อบดแบบนอน (Ball Mill) โดยหม้อบดแบบตั้งของ Loesche จะประกอบด้วย Roller 2-4 ลูกซึ่งจะกดลงบนจานหมุน (Table) ผ่านชุด Hydraulic สำหรับแกนของRoller จะเอียงทำมุม 15 ° เมื่อเทียบกับจานหมุน (Table) สำหรับการหมุนของทั้ง Roller และ Table จะมีทั้งแบบกลิ้ง (Rolling) และแบบไถล(Sliding)ไปพร้อมๆกัน เพื่อทำให้เกิดการบดและลดขนาดวัตถุดิบ โดยวัตถุดิบจะถูกลำเลียงเข้าหม้อบดบริเวณกึ่งกลางของจานหมุน(Table)และถูกเหวี่ยงออกเนื่องจาก แรงจากการหมุนของจานหมุน(Table)เข้าสู่ช่องว่างระหว่างจานหมุน (Table) และ Rollerโดยมีลมร้อนผ่านขึ้นมาจากด้านล่างของจานหมุน (Table) โดยสามารถควบคุมทิศทางของลมร้อนได้จากชุด Louvre Ring รอบนอกของจานหมุน (Table) กระแสลมร้อนที่ผ่านขึ้นมาจากใต้จานหมุน (Table) ผ่านชุด Louvre Ring จะหอบวัตถุดิบที่ผ่านการบดแล้วให้ลอยขึ้นผ่านเข้าสู่เครื่องคัดขนาดวัตถุดิบ (Classifier) โดยวัตถุดิบส่วนที่ละเอียดจะถูกหอบออกไปเป็นวัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal) พร้อมกับลม ในขณะที่วัตถุดิบส่วนที่หยาบหรือยังไม่ได้ขนาดจะตกกลับลงสู่จานหมุน (Table) และผ่านเข้าสู่กระบวนการบดซ้ำหมุนเวียนก่อนไปในลักษณะเช่นนี้

กระบวนการไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบจะเกิดขึ้นในช่วงที่กระแสลมร้อนหอบวัตถุดิบที่ผ่านการบดแล้วจากจานหมุน (Table) ผ่านเข้าสู่เครื่องคัดขนาดวัตถุดิบ (Classifier) ซึ่งโดยปกติค่าปริมาณวัตถุดิบที่หมุนเวียนในระบบ (Circulating Load) จะมีค่าประมาณ 800% อย่างไรก็ตามการเดินหม้อบดแบบตั้ง (Vertical Roller Mill) อาจเกิดปัญหาการสั่นของหม้อบด (Vibration) ได้ซึ่งมีสาเหตุจากความไม่สม่ำเสมอของความหนาของวัตถุดิบบนจานหมุน (Table) ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่มักเกิดจากวัตถุดิบที่มีลักษณะแห้งและละเอียดซึ่งแก้ไขได้โดยการฉีดน้ำในหม้อบดเข้าไปบนผิวของวัตถุดิบบนจานหมุน (Table)

นวัตกรรมล่าสุดของระบบหม้อบดวัตถุดิบแบบตั้ง (Vertical Roller Mill) คือ เครื่องคัดขนาดวัตถุดิบประสิทธิภาพสูง (LV High Efficiency Classifier) คิดค้นโดย Nielsen & Tsuchiya ซึ่งหลักการทำงานคือ การเพิ่มความเร็วของกระแสลมร้อนที่หอบวัตถุดิบจากจานหมุนหมุน (Table) ให้เพิ่มสูงขึ้นเพื่อให้ Pressure ตกคร่อมหม้อบดลดลง ส่งผลให้วัตถุดิบส่วนที่ลอยวนอยู่ในหม้อบดลดลง รวมทั้งวัตถุดิบส่วนที่ Reject จากเครื่องคัดขนาดวัตถุดิบ (Classifier) มีสภาพหยาบยิ่งขึ้น ส่งผลให้ความหนาของวัตถุดิบบนจานหมุน (Table) มีความสม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการบดวัตถุดิบให้ละเอียดทำได้ดียิ่งขึ้นอัตราการผลิตจึงเพิ่มขึ้นประมาณ 12-30% ทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงได้ 1.5-5 kWh/t

การเดินหม้อบดวัตถุดิบแบบตั้ง (Vertical Roller Mill) เริ่มต้นโดย Roller จะถูกยกขึ้นจากจานหมุน (Table) ขณะที่วัตถุดิบเริ่ม Feed ลงบนจานหมุน (Table) เพื่อเริ่มกระบวนการบด โดยมีการติดตั้ง Limit Switch หรือ Mechanical Stop เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหา Roller กระทบกับจานหมุน(Table) ขณะบดวัตถุดิบ สำหรับวัตถุดิบที่ลมร้อนไม่สามารถหอบขึ้นไปได้จะตกลงไปในช่อง Reject โดยบางระบบอาจมีการออกแบบระบบลำเลียงวัตถุดิบที่ตกจาก Table กลับขึ้นไปป้อนเข้าหม้อบดใหม่(External Circulating System) ซึ่งจะทำให้สามารถลดความเร็วลมร้อนที่ผ่านช่องลมรอบจานหมุน (Table) ลงได้โดยอาจลดลงจาก 80-85 m/s เหลือ 45-60 m/s ซึ่งส่งผล Pressure ตกคร่อมหม้อบดลดลงได้ อย่างไรก็ตามประเด็นที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับหม้อบดแบบตั้ง (Vertical Roller Mill)คือ ระบบการป้องกันไม่ให้มีโลหะเข้าไปในหม้อบดอย่างเด็ดขาด เนื่องจากจะก่อให้เกิดปัญหาจานหมุน (Table) หรือ Roller แตกหักเสียหายได้

กำลังไฟฟ้าของหม้อบดแบบตั้ง (Vertical Roller Mill) จะขึ้นอยู่กับแรงกดจาก Roller ลงบนจานหมุน (Table) รวมทั้งระยะความสูงของ Dam Ring ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมความสูงของวัตถุดิบบนจานหมุน (Table) โดยความสูงของ Dam Ring จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณวัตถุดิบที่ Reject ออกจากจานหมุน (Table) ความสูงของ Dam Ring ที่มากจะทำให้วัตถุดิบ Reject ในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการบดวัตถุดิบหากพบว่าแรงดันตกคร่อมหม้อบดวัตถุดิบเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าอาจเกิดปัญหาจุดรั่วในระบบการบด จึงควรตรวจสอบหาจุดรั่วในระบบและทำการแก้ไข โดยปกติปริมาณลมรั่วระหว่างหม้อบดวัตถุดิบและเครื่องดูดจับฝุ่น (Dust Collector) ไม่ควรจะเกิน 10-15%

Loesche ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตหม้อบดแบบตั้ง (Vertical Roller Mill) ชั้นนำได้ให้นิยามความหมายรุ่นของหม้อบดแบบตั้งรุ่นต่างๆของ Loesche ที่ผลิตว่า จะบ่งบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานหมุน (Table) และจำนวนลูก Roller เช่น หม้อบดรุ่น LM46.4 หมายถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจานหมุน (Table) 4.6 m. และมีจำนวน Roller จำนวน 4 ลูก

หัวข้อควบคุมซึ่งใช้ในการควบคุมและติดตามประสิทธิภาพการเดินหม้อบดแบบตั้ง (VerticalRoller Mill) มีดังนี้

- กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ขับตัวหม้อบด (Mill Drive Power) หรือ แรงดันตกคร่อมตัวหม้อบด (Differential Pressure) ซึ่งควบคุมอัตราการป้อนวัตถุดิบเข้าหม้อบด
- อุณหภูมิ Gas เข้าหม้อบด (อาจสูงถึง 600 °C)
- อุณหภูมิ Gas ออกจากหม้อบด
- ปริมาณ Gas ออกจากหม้อบด

เนื่องจาก Cycle Time ของการบดวัตถุดิบในระบบหม้อบดแบบตั้ง (Material Cycle Time) อยู่ในช่วงไม่เกิน 1 นาทีซึ่งค่อนข้างสั้นเมื่อเทียบกับหม้อบดนอนซึ่งใช้ระยะเวลาหลายนาที ดังนั้นระบบการควบคุมหม้อบดแบบตั้ง (Control Response Time) จึงจำเป็นต้องรวดเร็วและตอบสนองการควบคุมระบบการบดได้อย่างเหมาะสมและทันท่วงที นอกจากนั้นระบบการป้อนวัตถุดิบเข้าหม้อบดก็ต้องสามารถป้อนวัตถุดิบเข้าหม้อบดได้อย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันปัญหาหม้อบดสั่นและหยุดเนื่องจากวัตถุดิบบนจานหมุน (Table) มีปริมาณน้อยหรือขาดช่วง

ความละเอียดของวัตถุดิบสำเร็จที่ป้อนเข้าสู่หม้อเผา (Kiln Feed) ควรควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ละเอียดมากจนเกินไป เนื่องจากทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการบดมาก แต่ควรเพียงพอเท่าที่หม้อเผาจะสามารถรับได้และคุณภาพปูนเม็ดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยปกติความละเอียดของวัตถุดิบสำเร็จที่ป้อนเข้าสู่หม้อเผา (Kiln Feed) ควรอยู่ที่ประมาณ 15% ค้างตะแกรงเบอร์ 170(88 ไมครอน) และ 1.5-2.5% ค้างตะแกรงเบอร์ 50(300 ไมครอน) สำหรับการกระจายตัวของขนาดวัตถุดิบ (Particle Size Distribution) ควรควบคุมให้อยู่ในช่วงแคบๆ เนื่องจากวัตถุดิบส่วนที่ละเอียดมากเกินไปจะไปเพิ่มปริมาณ Dust Loss ที่ Cyclone ลูกบนสุดของระบบหม้อเผา ขณะที่ส่วนที่หยาบจะส่งผลให้การทำปฏิกิริยาในหม้อเผาเกิดขึ้นได้ยากและปูนเม็ดที่เผาได้มีโอกาสเกิด Free CaO สูงได้ง่าย ซึ่งจะทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผาในปริมาณที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น

อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของหม้อบดวัตถุดิบจะขึ้นกับความแข็ง (Hardness) ของวัตถุดิบรวมทั้งประสิทธิภาพของหม้อบด โดยอัตราการใช้พลังงานของหม้อบดแบบนอน (เฉพาะตัวหม้อบด) จะอยู่ที่ประมาณ 10 kWh/t สำหรับวัตถุดิบที่อ่อน และประมาณ 25 kWh/t สำหรับวัตถุดิบที่แข็ง แต่อัตราการใช้พลังงานของหม้อบดแบบตั้ง (เฉพาะตัวหม้อบด) จะอยู่ในช่วงระหว่าง 4.5-8.5 kWh/t และหากคิดรวมทั้งระบบหม้อบดแล้ว อัตราการใช้พลังงานของหม้อบดแบบตั้ง จะต่ำกว่าหม้อบดแบบนอนประมาณ 30%

วัตถุดิบสำเร็จที่ผลิตได้ (Raw Meal) จะถูกตรวจวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง (On-Line Analysis) หรือการวิเคราะห์รายชั่วโมงในห้องทดสอบ เพื่อควบคุมสัดส่วนวัตถุดิบให้ได้วัตถุดิบสำเร็จที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ โดยนำโปรแกรมคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมและลดความแตกต่างจากสิ่งเจือปนตามธรรมชาติในแต่ละวัตถุดิบ ทำให้ได้วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal) ที่มีคุณภาพสม่ำเสมออยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ

สิ่งที่ต้องเฝ้าติดตามในการเดินหม้อบดวัตถุดิบ มีดังนี้

- อัตราการป้อนวัตถุดิบ (t/h)
- ชั่วโมงการบดวัตถุดิบ

สำนักวิทยบริการฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หอสมุดแห่งชาติ การวิจัยแห่งชาติ

- ชั่วโมงการหยุดหม้อบดวัตถุดิบ
- อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ Main Motor ของหม้อบดวัตถุดิบ
- %ความละเอียดของ Raw Meal (%ค้างตะแกรงเบอร์ 170 และเบอร์ 50)
- %ความชื้นของวัตถุดิบเข้าหม้อบดวัตถุดิบ
- %ความชื้นของ Raw Meal ที่ผลิตได้
- %หินที่ใช้เทียบกับปริมาณ Raw Meal ที่ผลิตได้
- %Clay/Shale ที่ใช้เทียบกับปริมาณ Raw Meal ที่ผลิตได้
- %Additive ที่ใช้เทียบกับปริมาณ Raw Meal ที่ผลิตได้

นอกจากนี้ยังมีตัวแปรในกระบวนการผลิตที่ควรตรวจสอบเป็นระยะๆดังนี้

- Circulating load (%)
- อัตราการใช้ลูกบดเทียบกับปริมาณ Raw Meal ที่ผลิตได้ (g/t) กรณีหม้อบดแบบนอน)
- ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ Raw Meal ที่ค้างตะแกรงเบอร์ 170

สำหรับ Raw Meal ส่วนหยาบที่ผลิตได้ (ค้างตะแกรงเบอร์ 170) อาจมีสัดส่วนของ Lime หรือ Silica สูงเมื่อเทียบกับตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งควรมีการติดตามและควบคุมไม่ให้มีปริมาณมาก เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาในขั้นตอนการเผาในหม้อเผา

<u>ขนาด Silica ที่ควรควบคุมปริมาณ</u>

>200 ไมครอน ไม่ควรมากกว่า 0.5% ของ Kiln Feed

90-200 ไมครอน ไม่ควรมากกว่า 1.0%

>45 ไมครอน ไม่ควรมากกว่า 2.0%

ขนาด Calcite ที่ควรควบคุมปริมาณ

>125 ไมครอน ไม่ควรมากกว่า 5.0%

การผสมวัตถุดิบ (Blending)

ระบบ Blending Silo สำหรับเก็บและผสมวัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal) มีการออกแบบอยู่มากมายหลายระบบ แต่ระบบหลักที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีเพียง 2 ระบบได้แก่ ระบบ Turbulence ซึ่งหลักการทำงานคือ วัตถุจะถูกลำเลียงให้ไหลออกจาก Silo ด้วยปริมาณลมจำนวนมากที่เป่าผ่านAirpad จำนวนมากที่ติดตั้งอยู่บริเวณก้น Silo แต่สำหรับระบบ Control Flow จะมีหลักการทำงานที่แตกต่างกันกล่าวคือ จะใช้ปริมาณลมจำนวนน้อยกว่าเป่าผ่าน Airpad ที่ติดตั้งในแต่ละบริเวณของ Silo ในลำดับเวลาที่แตกต่างกันเพื่อให้เกิดการผสมกันของ Raw Meal แต่ละชั้น

ภายใน Silo โดย Blending Silo ระบบนี้มักจะมีช่องทางออกของ Raw Meal หลายช่อง รวมทั้งอาจมีโดม (Inverted Cone) บริเวณกึ่งกลาง Silo เหนือช่องทางออก โดยบริเวณใต้โดมห้องว่างและมีลมเป่าช่วยในการผสมวัตถุดิบ สำหรับอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของ Blending Silo แต่ละระบบมีค่าโดยประมาณดังนี้

- Turbulent Mixing (air-merge) 1.50 - 2.50 kWh/t
- Control Flow Inverted Cone 0.25 - 0.50 kWh/t

  Multi Outlet 0.10 - 0.13 kWh/t

Turbulent Mixing สามารถเดินเครื่องจักรได้ 2 รูปแบบคือ แบบ Batch-wise ซึ่งผสม Raw Meal ทีละชุดแบบ Batch ไม่ต่อเนื่อง หรือแบบ Continuous ซึ่งจะผสม Raw Meal แบบต่อเนื่องกันไป สำหรับรูปแบบการทำงานแบบ Batch-wise จะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเติม การผสม การเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์ การแก้ไข การผสมใหม่ และการป้อนเข้าสู่หม้อเผา แต่สำหรับรูปแบบการทำงานแบบ Continuous จะมีการผสมอย่างต่อเนื่องพร้อมกันไปกับการลำเลียงเข้าสู่ Silo แรก การ Over Flow เข้าสู่ Silo ที่ 2 และการป้อนเข้าสู่หม้อเผาตามลำดับ

โดยทั่วไประบบ Blending Silo รุ่นใหม่ๆจะเป็นระบบ Controlled Flow แบบผสมต่อเนื่อง (CF-Silo) ซึ่งออกแบบให้มีขนาดความจุ (Capacity) มากกว่าปริมาณการใช้ที่หม้อเผา 24 ช.ม. และมี Blending Ratio ประมาณ 3-5 เท่า (Silo แบบเก่ามี Blending Ratio เพียงประมาณ 2-3 เท่า)

สิ่งที่ต้องเฝ้าติดตามในการเดินระบบ Blending Silo มีดังนี้

- Blending Ratio (sdfeed / sdproduct)
- อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดลมเป่าใต้ Silo (Compressor) เทียบปริมาณ Raw Meal ที่ Feed เข้าหม้อเผา

โดยปกติภายใน Blending Silo อาจมีแนวโน้มการจับตัวของวัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal) ที่บริเวณก้น Silo อันเนื่องจากความชื้นจาก Raw Meal หรือความผิดปกติของระบบลมเป่าใต้ Silo ซึ่งอาจมีความชื้นปะปนเข้ามาในระบบ จึงควรมีการตรวจสอบสภาพภายในและดำเนินการซ่อมแซมทุก1-2 ปี และกรณีที่ไม่ได้ใช้งาน Blending Silo เป็นระยะเวลานาน เช่น การหยุดซ่อมหรือปรับปรุงหม้อเผาเป็นระยะเวลานาน ควรมีการเคลียร์ Raw Meal ออกจาก Blending Silo หรือเดินเครื่องจักรเพื่อหมุนเวียนวัตถุดิบ (Recirculated) เพื่อป้องกัน Raw Meal จับตัวกันแน่นภายใน Blending Silo

วัตถุดิบป้อนเข้าหม้อเผา (Kiln Feed)

องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณ Raw Meal ที่ป้อนเข้าหม้อเผา (Kiln Feed) ควรมีความสม่ำเสมอ เพื่อควบคุมสภาพการเผาภายในหม้อเผาให้อยู่ในสภาพนิ่ง ซึ่งนอกจากจะส่งผลให้คุณภาพปูนเม็ดที่ผลิตมีคุณภาพที่ดีแล้ว ยังเป็นการลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงในหม้อเผาด้วย จึงควรจะมีการติดตามและควบคุมทั้งคุณภาพและปริมาณ Raw Meal ที่ Feed เข้าหม้อเผาทั้งในช่วงระยะเวลาสั้นๆในรายชั่วโมง รวมทั้งค่าเฉลี่ยในช่วงระยะเวลายาวๆ

ระบบ Cyclone Preheater ของหม้อเผารุ่นใหม่ในปัจจุบัน จะก่อให้เกิดการสูญเสีย Kiln Feedที่ละเอียดบางส่วนไปกับลมร้อนที่ออกจาก Preheater (Dust Lost) ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณ Dust Lossจะมีปริมาณอยู่ในช่วง 6-12% ของปริมาณ Kiln Feed ที่ Feed เข้าหม้อเผา และเนื่องด้วยคุณภาพของ Dust Lost แตกต่างจาก Kiln Feed ปกติดังนั้นการนำ Dust Lost ป้อนกลับเข้าสู่ระบบจึงควรติดตั้งชุด Hopper เล็กๆเพื่อเป็น Buffer รวมทั้งติดตั้งชุด Feed เพิ่มอีกชุดเพื่อควบคุมปริมาณการFeed กลับเข้าหม้อเผาให้มีปริมาณสม่ำเสมอ โดยมีการนำคุณภาพของ Dust Lost ที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณร่วมกับคุณภาพ Kiln Feed ปกติเพื่อควบคุมให้คุณภาพของ Kiln Feed รวมที่ป้อนเข้าหม้อเผาเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ นอกจากนี้ Dust Lost จากระบบ Cyclone Preheater ยังสามารถนำไปเป็นส่วนผสมในการบดปูนซีเมนต์หรือนำไปทำเป็นปุ๋ยได้ด้วย

สิ่งที่ต้องเฝ้าติดตามสำหรับ Kiln Feed มีดังนี้

- ผลวิเคราะห์ทางเคมีของ Kiln Feed ทุกๆ 4 หรือ 8 ชั่วโมงเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเบี่ยงเบนทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะวิเคราะห์ Oxide หลักๆในรูป C3S หรือ LSF

โดยปกติ Kiln Feed จะถูกลำเลียงด้วยชุดกะพล้อจากบริเวณด้านล่างของ Blending Silo ขึ้นไป Feed เข้าบริเวณด้านบนของ Preheater เพื่อให้อัตราการใช้ไฟฟ้าในการลำเลียงต่ำที่สุด แต่หากใช้ลมในการลำเลียง (Air Lift) แทนชุดกะพล้อก็ควรควบคุมปริมาณลมที่ใช้ในการลำเลียงให้น้อยที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเรื่อง Load ของพัดลม IDF ที่เพิ่มสูงขึ้นมากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลให้ต้องลดปริมาณ Kiln Feed เข้าหม้อทำให้ปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ลดลงตามไปด้วย

อัตราส่วนของปริมาณ Kiln Feed ที่ใช้ต่อปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ (Kiln Feed to Clinker Ratio) โดยปกติจะอยู่ในช่วงประมาณ 1.65-1.75 เท่า ซึ่งควรปรับแก้ให้ถูกต้องเป็นระยะๆโดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัด Stock จริงของปูนเม็ดและปูนซีเมนต์ รวมทั้งปริมาณ Dust Loss จากลมร้อนที่ผ่านออกจาก Preheater

การเผาปูนเม็ดและการทำให้เย็น (Burning and Cooling)

ระบบหม้อเผาปูนซีเมนต์ในปัจจุบันโดยทั่วไปจะประกอบด้วยพรีฮีตเตอร์ (Preheater) ซึ่งทำหน้าที่อุ่นวัตถุดิบให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกันระหว่างวัตถุดิบกับลมร้อน สำหรับหม้อเผาปูนเม็ด (Kiln) ทำหน้าที่เผาวัตถุดิบที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วให้ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นปูนเม็ด (Clinker) และลำเลียงวัตถุดิบผ่านหม้อเย็น (Clinker Cooler) ซึ่งทำหน้าลดอุณหภูมิปูนเม็ดให้ลดต่ำลงโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับลมเย็น

วัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่ระบบหม้อเผา (Kiln) จะเกิดปฏิกิริยาต่างๆตามช่วงอุณหภูมิต่างๆดังนี้

> 100 °C น้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ

> 500 °C องค์ประกอบของน้ำในวัตถุดิบระเหย

> 860 °C หินปูนเกิดการแตกตัวจาก $CaCO_3$ ---> $CaO + CO_2$

> 900 °C เกิดปฏิกิริยาระหว่าง CaO กับ Al_2O_3 และ Fe_2O_3 กับ SiO_2

> 1,200 °C เกิดการหลอมละลายเป็นเฟสของของเหลว (Liquid Phase)

> 1,280 °C เกิด C_3S และปฏิกิริยาของ CaO อย่างสมบูรณ์

ระบบหม้อเผาแบบไซโคลนพรีฮีตเตอร์ (Cyclone Preheater Kiln) มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วตั้งแต่ปี 1950 เป็นต้นมาและเป็นที่นิยมใช้จนถึงปัจจุบัน โดยการติดตั้งครั้งแรกเป็นแบบไซโคลน 4 ลูก1 แถว ซึ่งมีอัตราการผลิตปูนเม็ดในปริมาณจำกัดที่ประมาณ 4,500 ตัน/วัน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนมากถึง 10 เมตร แต่ในปัจจุบันหม้อเผาขนาดใหญ่ๆจะประกอบด้วยพรีฮีตเตอร์จำนวน 2-3 แถวรวมถึงอาจจะมีพรีแคลไซเนอร์ (Precalciner) ติดตั้งระหว่างพรีฮีตเตอร์และหม้อเผาร่วมด้วยเพื่อช่วยเผาไหม้ก่อนเข้าหม้อเผา ซึ่งหม้อเผาระบบนี้สามารถจะผลิตปูนเม็ดได้มากถึงวันละ10,000 ตัน อย่างไรก็ตามกรณีที่ไม่ต้องการปริมาณความร้อนจากลมร้อนเพื่อไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบมากนัก สามารถจะออกแบบระบบอุ่นวัตถุดิบเป็นแบบไซโคลน 5 หรือ 6 ลูกได้ ซึ่งจะสามารถลดความดันตกคร่อมลงได้โดยไม่ประสิทธิภาพของไซโคลนไม่ลดลง

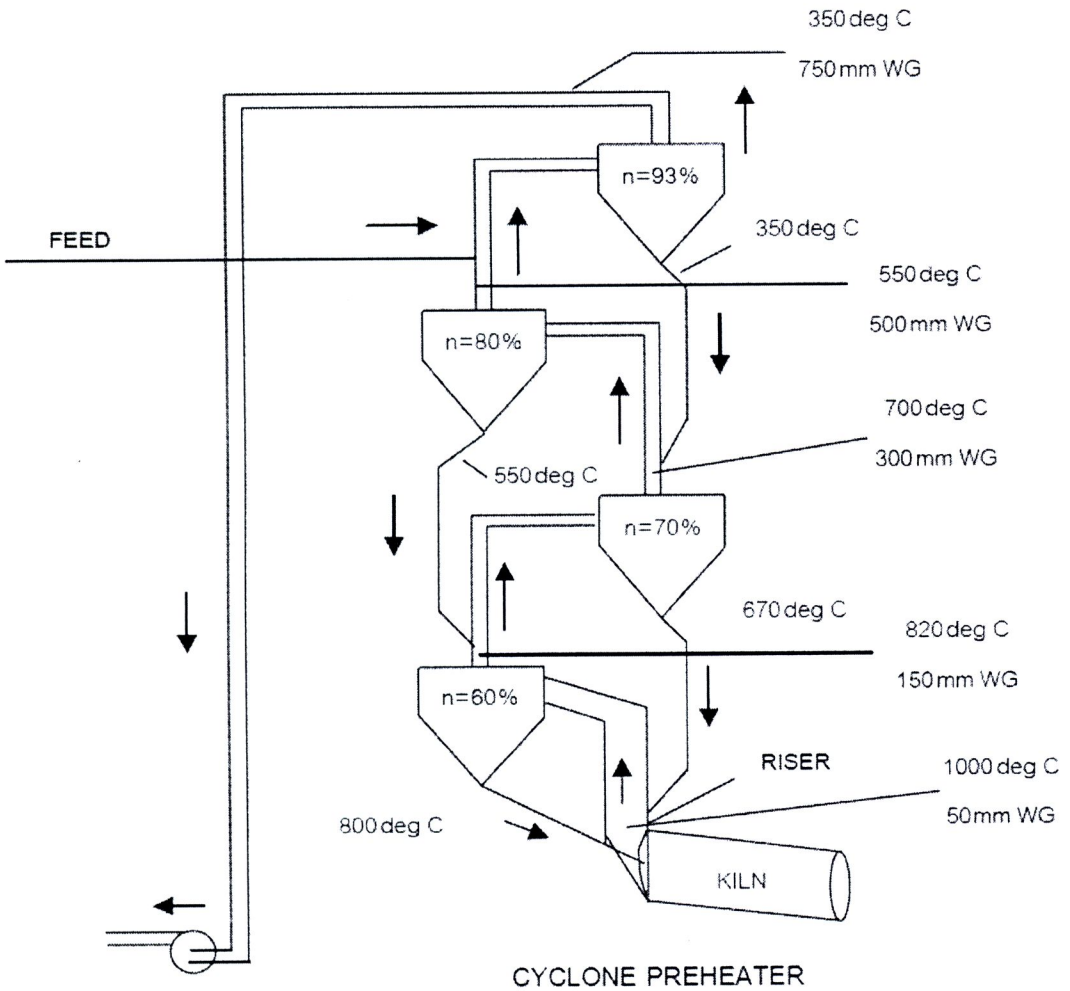
อุณหภูมิลมร้อน ความดัน และอัตราการใช้เชื้อเพลิงออกจากระบบหม้อเผาสมัยใหม่เป็นดังนี้

ไซโคลน 6 ลูก 280 °C 450 mmH_2O 710 kcal/kg-cli.

ไซโคลน 5 ลูก 310 °C 400 mmH_2O 725 kcal/kg-cli.

ไซโคลน 4 ลูก 350 °C 350 mmH_2O 750 kcal/kg-cli.

โดยทั่วไปอุณหภูมิลมร้อนที่ออกจากระบบหม้อเผาสมัยใหม่ซึ่งมีพรีแคลไซเนอร์จะต่ำกว่าระบบหม้อเผาแบบที่ไม่มีพรีแคลไซเนอร์ประมาณ 20 - 30 °C และสำหรับระบบหม้อเผาแบบไซโคลน 4 ลูกในยุคแรกๆจะมีความดันตกคร่อมอยู่ในช่วง 700-800 mmH2O (และอาจจะสูงกว่านี้หากมีการปรับปรุงพัดลม IDF โดยไม่มีการปรับปรุงไซโคลนและท่อลมให้เหมาะสม) โดยอัตราการใช้เชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วง 850-900 kcal/kg-cli.



รูปที่ ผ-6 CYCLONE PREHEATER

กระบวนการเผาในหม้อเผา (Kiln Burning)

โดยทั่วไปข้อมูลที่ต้องเฝ้าติดตามในขณะเดินหม้อเผามีดังนี้

- อัตราการผลิต (t/h)
- ชั่วโมงการเดิน
- ชั่วโมงการหยุดของเครื่องจักรที่ไม่ได้กำหนดไว้
- ปริมาณความร้อนที่ใช้ (kcal/kg-cli.)
- อัตราการใช้เชื้อเพลิง (t/h)
- สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงที่แคลไซเนอร์ และ หม้อเผา
- อุณหภูมิของลมทุติยภูมิ (secondary air temp.)
- ความดันตกครอมพัดลม IDF (mmH2O)
- อุณหภูมิลมร้อนที่ออกจากพรีฮีตเตอร์ (°C)
- ปริมาณออกซิเจนบริเวณท้ายหม้อเผา (%)
- ปริมาณออกซิเจนบริเวณท้ายหม้อเผา (%)
- คุณภาพวัตถุดิบก่อนเข้าหม้อเผา - LOI (%) , - SO3 (%)
- กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับหม้อเผา (kW)

ข้อมูลต่างๆเหล่านี้ควรมีการบันทึกไว้เพื่อใช้ติดตามดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระบบการเผาซึ่งจะส่งสัญญาณให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นหรืออาจจะเกิดขึ้นในระบบการเผา นอกจากนี้ยังเป็นข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นสำหรับใช้วิเคราะห์ระบบการเผา เช่น การทำสมดุลความร้อนระบบการเผา (Heat Balance)

นอกจากนี้ยังมีข้อมูลอื่นๆที่มีผลต่อการเดินหม้อเผา ที่ควรติดตามอย่างต่อเนื่อง เช่น

- ความเร็วลมปฐมภูมิ (primary air velocity, m/sec)
- ปริมาณวัตถุดิบจำเพาะในหม้อเผา (specific kiln volume loading, %)
- ความเร็วลมภายในหม้อเผาในช่วง Burning Zone (m/sec)
- ปริมาณความร้อนจำเพาะในช่วง Burning Zone (specific heat loading of burning zone, kcal/h/m2 ของพื้นที่หน้าตัดในช่วง Burning Zone (effective burning zone))
- ปริมาณลมที่ใช้ในหม้อเย็น (Clinker Cooler, Nm3/h/m2 ของพื้นที่แผ่น Grate)
- ปริมาณลมหม้อเย็นและปริมาณลมปฐมภูมิที่ใช้ (Nm3/kg-cli.)
- อุณหภูมิ ความดันและปริมาณออกซิเจนที่พรีฮีตเตอร์

อย่างไรก็ตามกรณีปริมาณความร้อนที่ใช้ในระบบหม้อเผาสูงเกินไป ควรจะต้องเร่งหาสาเหตุและแก้ไขโดยด่วน เนื่องจากอาจเป็นสิ่งบ่งชี้ความคลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดของเครื่องมือวัด อัตราการป้อนวัตถุดิบหรือคุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ ความผิดปกติของเชื้อเพลิงหรือหัวเผา (main burner)ปริมาณออกซิเจนในระบบที่มากหรือน้อยเกินไปไป เกิดลมรั่วบริเวณซีลหม้อเผาหรือพรีฮีตเตอร์ อุณหภูมิของลมทุติยภูมิ (secondary air temp) ที่ต่ำเกินไป หรือปัญหาความบิดเบี้ยวเสียรูปของ splash-plates ในพรีฮีตเตอร์ เป็นต้น

ปริมาณ Free CaO ที่เหลือในปูนเม็ด ควรควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์ที่สูงที่สุดที่สามารถยอมรับได้เพื่อไม่ให้กระบวนการเผายากจนเกินไป แต่ก็ไม่ควรสูงจนก่อให้เกิดปัญหาการขยายตัวของมอร์ต้า(mortar expansion) ซึ่งค่าปกติอยู่ในช่วง 0.5-2% อย่างไรก็ตามหากเป็นไปได้ควรควบคุมให้คงที่อยู่ในช่วงประมาณ 0.8-1.0% แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นกับคุณภาพและเกณฑ์การควบคุมของแต่ละโรงงาน

ปัญหาการแกว่งของคุณภาพวัตถุดิบสำเร็จ (kiln feed) ที่ป้อนเข้าหม้อเผาอาจส่งผลให้การควบคุมกระบวนการเผาเพื่อให้ได้ปูนเม็ดคุณภาพดีทำได้ยาก การเผาแบบเผาร้อน (over burning) ซึ่งอาจควบคุมให้สามารถเผาได้ปูนเม็ดที่มีคุณภาพดี แต่จะส่งผลให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเผา เกิดความเครียดในอิฐทนไฟ (stress) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการบดปูนซีเมนต์สูงขึ้นเนื่องจากปูนเม็ดแข็งขึ้น รวมทั้งความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ (strength) ต่ำลง ซึ่งโดยทั่วไปพบว่าค่า Free CaO ทุกๆ0.1% ที่ลดลงจะต้องใช้ปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 14 kcal/kg-cli.

วิธีการการประมาณค่า Free CaO ของปูนเม็ดที่รวดเร็ววิธีหนึ่งคือ การหาค่า Litre-weight ของปูนเม็ดโดยการใช้ตะแกรงร่อนขนาดปูนเม็ดที่เก็บจากหม้อเย็น (clinker cooler) ขนาด ซึ่งโดยทั่วไปค่า Litre-weight ควรอยู่ในช่วงประมาณ 1,100 – 1,300 g/L ซึ่งปกติค่า Litre-weight จะแปรผกผันกับค่า Free CaO

อุณหภูมิของลมทุติยภูมิ (secondary air temp.) ควรควบคุมให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้สามารถนำความร้อนกลับมาใช้ในกระบวนการเผาในหม้อเผาให้ได้มากที่สุด ซึ่งโดยปกติจะอยู่ในช่วง 800-1,000°C การเพิ่มอุณหภูมิของลมทุติยภูมิให้สูงขึ้นจะสัมพันธ์กับความหนาของชั้นปูนเม็ดบนแผ่นGrate ที่ควบคุม รวมทั้งปริมาณลมที่เป่าเข้าไปใน recuperating zone ของหม้อเย็น (clinker cooler)อย่างไรก็ตามการวัดอุณหภูมิของลมทุติยภูมิโดยตรงนั้นโดยปกติจะทำได้ค่อนข้างยาก นอกจากจะวัดจากลมร้อนที่ดึงไปใช้สำหรับการเผาไหม้ที่พรีแคลไซเนอร์หรือหม้อบด

ถ่าน สำหรับเครื่องวัดอุณหภูมิที่ไม่มีการป้องกันการแผ่รังสีความร้อนอาจมีความคาดเคลื่อนจากค่าที่อ่านได้

โดยทั่วไปหม้อเผาที่มีพรีแคลไซเนอร์จะป้อนเชื้อเพลิงที่พรีแคลไซเนอร์เพื่ออุ่นวัตถุดิบประมาณ60% และป้อนผ่านหัวเผา (main burner) ที่หน้าหม้อเผา 40% ซึ่งจะช่วยให้ขนาดของหม้อเผารวมทั้งปริมาณความร้อนในหม้อเผา (heat load) ลดลง แต่ไม่ได้หมายความว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption) ในหม้อเผาจะลดลง สำหรับหม้อเผาที่ไม่มีพรีแคลไซเนอร์จะสามารถป้อนเชื้อเพลิงเพื่ออุ่นวัตถุดิบบริเวณ riser pipe ได้ประมาณ 10-20% ซึ่งจะทำให้ควบคุมหม้อเผาได้ค่อนข้างนิ่ง อายุอิฐยาวขึ้น รวมทั้งสามารถนำเชื้อเพลิงคุณภาพต่ำหรือกากของเสียมาใช้ได้ แต่ควรติดตามและควบคุมอย่างใกล้ชิด เนื่องจากหากเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์อาจก่อให้เกิด CO ระบบการเผาไหม้ได้

หลังจากเดินหม้อเผาไปหลายๆปีอาจเกิดปัญหาการเอียงและเสียรูปบริเวณ dip tubes ของไซโคลนลูกล่างได้ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักไม่ได้มีการซ่อมแซมหรือเปลี่ยน แต่สำหรับ dip tubes รุ่นใหม่จะออกแบบให้ทำจากอัลลอย (Alloy) ที่ทนอุณหภูมิได้สูงโดยสามารถติดตั้งเข้าไปแทนที่ dip tubes เดิมได้อย่างไรก็ตามสามารถสังเกตผลของ Vortex Finder (dip tubes) ที่มีต่ออุณหภูมิและความดันตกคร่อมที่พรีฮีตเตอร์ รวมทั้งความสิ้นเปลืองในการใช้เชื้อเพลิงช่วงก่อนและหลังที่ท่อถูกถอดออกหรือหลุดร่วงไปเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินว่าควรจะติดตั้งใหม่หรือไม่

ในระบบหม้อเผาที่ใช้หม้อเย็น (clinker cooler) แบบ grate plate ปลายของหัวเผา (main burner) ควรติดตั้งอยู่ในแนวระนาบเดียวกับ kiln nose หรือยื่นเข้าไปในตัวหม้อเผา เพื่อป้องกันความเสียหายจากปูนเม็ดที่ร่วงลงมา รวมทั้งควรติดตั้งอยู่ในแนวศูนย์กลางของตัวหม้อเผา ผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่มักตั้งหัวเผาให้อยู่ในแนวระนาบซึ่งจะกระดกลงเมื่อมีน้ำหนักจากปูนเม็ดกดลงที่หัวเผา อย่างไรก็ตามทฤษฎีการปรับตั้งหัวเผามีด้วยกันหลายทฤษฎี ผู้ปฏิบัติงานควรพิจารณาเลือกใช้จากสภาพจริงที่เกิดขึ้นประกอบด้วย สำหรับตำแหน่งการติดตั้งหัวเผาและความเร็วลมปฐมภูมิ (primary air) บริเวณปลายหัวเผาส่งผลต่อสภาพลมร้อนในบริเวณดังกล่าว (hood aerodynamic) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสภาพการเผาในช่วง Burning Zone

แหวนดินในหม้อเผา (kiln ring) คือ สภาพการเกิดการเกาะจับตัวของ Coat ในหม้อเผาเป็นวงโดยรอบหม้อเผาในปริมาณที่มากผิดปกติ โดยปกติจะพบในบริเวณ Burning Zone รวมทั้งบริเวณท้ายหม้อเผาซึ่งจะขวางกั้นทิศทางการไหลของวัตถุดิบ รวมทั้งลมร้อนในหม้อเผา ซึ่งอาจส่งผลให้ต้องหยุดหม้อเผาเพื่อระบายออก ในทางตรงกันข้ามหากแม้ไม่ต้องหยุดหม้อเผาแต่แหวนดินที่เกิดและพังหรือร่วงเป็นระยะๆก็ก่อให้เกิดปัญหาปูนเม็ด Free CaO สูงได้เนื่องจากเกิดการ

สถาบันวิจัยแห่งชาติ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทะลักของวัตถุดิบเป็นระยะๆสำหรับแหวนดินที่เกิดบริเวณ Burning Zone สามารถตรวจสอบพบได้จากการใช้เครื่องสแกนเนอร์(Scanner) ซึ่งสามารถตรวจวัดอุณหภูมิเปลือกหม้อเผาได้รอบวงตลอดความยาวของหม้อเผาเพื่อให้สามารถเร่งแก้ไขโดยเร็ว อย่างไรก็ตามกรณีแหวนดินก่อตัวเพิ่มมากขึ้นให้ใช้วิธีปรับความเร็วรอบหม้อเผารวมทั้งปรับเปลวไฟเข้าและออก สำหรับแหวนดินที่เกิดบริเวณท้ายหม้อเผาโดยส่วนใหญ่มักเกิดจากสารระเหยที่ปนอยู่ในวัตถุดิบและเชื้อเพลิง โดยเฉพาะสารระเหยของซัลเฟอร์ซึ่งควรเร่งดำเนินการแก้ไขคุณภาพของวัตถุดิบทันที

โรงงานปูนซีเมนต์บางแห่งมีการใช้วัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนหรือต้องการกำจัดดินที่ปนเปื้อนน้ำมันซึ่งโดยทั่วไปอาจมีสัดส่วนน้ำมันมากถึง 3% ซึ่งถ้าป้อนร่วมกับวัตถุดิบสารระเหยในน้ำมันปนเปื้อนจะเกิดการระเหยเมื่อมีอุณหภูมิมากกว่า 300-400 °C และถูกปล่อยออกปล่องไปกับก๊าซทิ้ง ดังนั้นเพื่อป้องกันการปล่อยมลพิษและนำความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์ วัตถุดิบที่มีน้ำมันปนเปื้อนควรถูกป้อนในที่มีอุณหภูมิสูงและเพียงพอต่อการเผาไหม้ไอระเหยดังกล่าว สารที่มีการระเหยต่ำเช่นปิโตรเลียมโค้ก (Petroleum Coke) หรือ คาร์บอนในเถ้าลอยสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยสามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนได้อย่างดี อย่างไรก็ตามเถ้าลอยอาจมีค่าคาร์บอนสูงและแกว่งมาก (1-30%) ถ้าไม่มีการผสมให้ดีก่อนใช้ อาจทำให้เกิดปัญหาในการเผาได้

การควบคุมหม้อเผา

การเดินหม้อเผาเป็นศิลปะที่ซับซ้อนซึ่งมีหลักการที่สำคัญดังนี้

1. อุณหภูมิ Burning zone (จากไพโรมิเตอร์ หรือดูจากกำลังขับหม้อเผาหรือ NOx) 1500 °C
2. อุณหภูมิท้ายหม้อเผา 1000 °C
3. ออกซิเจนท้ายหม้อเผา 2.0 %

การควบคุมหม้อเผาสามารถทำได้โดยปรับความเร็วรอบของหม้อเผา อัตราป้อนเชื้อเพลิงและความเร็วพัดลม IDF ไม่ว่าจะเดินหม้อเผาในระบบ Manual หรือระบบอัตโนมัติ หม้อเผาส่วนใหญ่ยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับแหวนดิน Coating และการสูญเสียความร้อนอื่นๆ ดังนั้นจึงมีความพยายามต่างๆในการที่จะลดผลของความยุ่งยาก สร้างความเสถียรในการเดินหม้อเผาซึ่งถือเป็นสิ่งที่ต้องการของระบบคอมพิวเตอร์ควบคุม

อัตราการป้อนวัตถุดิบและความเร็วรอบของหม้อเผาปกติจะถูกควบคุมแบบโดยการแปรผันตรงตามสัดส่วนคือมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ส่วนการปรับความเร็วอย่างเดียวควรจะใช้ใน

กรณีสั้นๆหรือกรณีพิเศษเท่านั้นและส่วนมากจะแนะนำให้ควบคุมแบบความเร็วคงที่อัตราป้อนในระดับสูง

ความเร็วหม้อเผาควรจะถูกปรับเพื่อให้โหลดอยู่ในช่วง 10 – 13 % ปกติหม้อเผาแบบไซโคลนพรีฮีตเตอร์ จะหมุนที่ 2 - 2.5 rpm (50 - 70 cm/sec) และระยะเวลาของวัตถุดิบในหม้อเผาอยู่ที่ 20 – 40 นาที ขณะที่หม้อเผาที่มีพรีแคลไซเนอร์จะหมุนที่ 3.5 – 4.5 rpm (80 - 100 cm/sec) ที่ใช้เวลาในการเผาเท่ากันกับหม้อเผาแบบพรีฮีตเตอร์ พบว่า CaO ที่ได้จากการแตกตัวของหินปูนมีความไวในการทำปฏิกิริยามาก อย่างไรก็ตามความไวนี้จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิจาก 900 ถึง 1300 °C ส่งผลให้ต้องใช้พลังงานที่สูงในการเผาเพื่อทำให้เกิดปูนเม็ด ถ้าเพิ่มระดับการแตกตัว(Degree of Calcination) ของวัตถุดิบที่จุดก่อนเข้าหม้อเผาขณะที่ระยะเวลาการเผาเท่าเดิมจะทำให้ CaO มีความไวมากขึ้น (อัตราการการใช้พลังงานลดลง)

หม้อเผาส่วนใหญ่จะเดินพัดลม IDF เต็มที่ ดังนั้นจึงต้องปรับอัตราการป้อนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงเพื่อรักษาระดับออกซิเจนให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

หม้อเผาแบบพรีแคลไซเนอร์จะสันดาปเชื้อเพลิงที่หัวเผาโดยดึงลมจากหม้อเย็นห้องแรก ส่วนการสันดาปที่พรีแคลไซเนอร์จะใช้ลมจากหม้อเย็นห้องที่ 2 โดยผ่านท่อลมส่วนที่ 3 (Tertiary air) บางหม้อเผาจะมี Damper ที่ท่อลมส่วนที่ 3 และท่อไรเซอร์ไป๊เพื่อสามารถคุมปริมาณลมของจุดสันดาปทั้งสองได้แต่ส่วนใหญ่จะใช้วิธีปรับปริมาณเชื้อเพลิงให้สอดคล้องกับปริมาณลม โดยคุมระดับออกซิเจนที่ท้ายหม้อเผาที่ประมาณ 2% อุปกรณ์วัดก๊าซที่ท้ายหม้อควรติดตั้งโดยมีการป้องกันการรบกวนจากลมรั่วที่เข้าไปในหม้อเผาซึ่งเป็นปัญหาที่พบบ่อย นอกจากนี้ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอตไซด์และ NOx ก็ควรถูกวัดเช่นกัน

ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนที่ท้ายหม้อขึ้นอยู่กับความนิ่งของการเดินหม้อเผาและประสิทธิภาพของการเผาไหม้ การเผาไหม้ที่ดีออกซิเจนควรอยู่ที่ 1-2 % ที่คาร์บอนมอนอตไซด์น้อยกว่า 100 ppm ขณะที่เปลวจากการเผาไหม้ที่มีการแกว่งอาจส่งผลให้เกิดคาร์บอนมอนอตไซด์มากกว่า 0.1% และออกซิเจนมากกว่า 3% ได้ ในบางหม้อเผามีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซก่อนเข้าพัดลมIDF จะสามารถหาค่าลมรั่วได้จากค่าออกซิเจนที่สูงขึ้นได้ (เช่น 2-3 %)

โดยปกติในการเผาปูนจะมีการเก็บข้อมูลทุกๆ 2 ชั่วโมง โดยวิเคราะห์หาค่า SO3 ในปูนเม็ดและทุก 8 ชั่วโมงจะหา SO3 และอัลคาไล จากการเก็บตัวอย่างวัตถุดิบที่ก้นไซโคลน ค่าปกติของ SO3ที่ปูนเม็ดจะเท่ากับ 0.6 % และที่ตัวอย่างวัตถุดิบที่ก้นไซโคลนลูกล่างสุดเท่ากับ 2 - 3% ในหม้อเผาแบบ พรีแคลไซเนอร์ ระยะเวลาการเผาวัตถุดิบและอัตราการให้ความร้อนจะมีค่าค่อนข้างต่ำและอัลคาไลด์ (K, Na) จะผ่านไปกับปูนเม็ด ขณะที่ SO3 จะเกิดวงจรการระเหย

(Volatile Cycle) ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ง่ายมากถ้ามีอัลคาไลด์ต่ำ โดย SO3 จะระเหยเมื่อเข้ามาในหม้อเผาและจะเกิดการกลั่นตัวที่ไรเซอร์ไป๊บและไหลมากับวัตถุดิบเข้าหม้อเผา ถ้าสภาพการเผาร้อนมากจะเกิดวงจรนี้เพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดการจับก้อนอุดตันที่ไรเซอร์ไป๊และที่ทางเข้าหม้อเผา ขณะที่คุณภาพปูนเม็ดจะมีค่า SO3 ต่ำอย่างผิดปกติ แต่ถ้าหม้อเผามีสภาพไม่ร้อนมาก SO3 จะหลุดไปกับปูนเม็ดได้มาก การแกว่งของค่า SO3ส่งผลต่อค่าความแข็งของปูนเม็ดและความสามารถในการบด

ปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อความเสถียรของหม้อ ประสิทธิภาพการใช้ความร้อน การใช้พลังงานไฟฟ้าในการบดซีเมนต์ รวมทั้งความสม่ำเสมอของคุณภาพของปูนซีเมนต์นั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณการป้อนวัตถุดิบและเชื้อเพลิง การควบคุมสภาพหม้อเผาควรติดตามค่าวัดจากเครื่องวัดรวมทั้งรายงานผลต่างๆด้วย และสิ่งที่ควรพิจารณาคือ

- ค่าวัดที่ผิดพลาดจากเครื่องวัดความดันและก๊าซ
- ค่าแกว่งแบบช่วงสั้นเนื่องจากการลดทอนสัญญาณทางอิเลคทรอนิคส์
- การแกว่งของชุดป้อนเนื่องจากวัตถุดิบเหนียวหรือเปียกหรือเป็นผงมาก
- การแกว่งของคุณภาพวัตถุดิบเนื่องจากความผิดพลาดจากการวัด วิธีทางสถิติ หรือ

วิธีการจัดการไม่ถูกต้อง

การแกว่งของหม้อเผาจะต้องมีสาเหตุแต่กรณีที่ไม่สามารถอธิบายสาเหตุได้ว่ามาจากการป้อนหรือจากกระบวนที่แกว่ง อาจถือว่ามีค่าผิดพลาด (Error) เกิดขึ้นแล้ว ในทางปฏิบัติควรมีเครื่องแสดงข้อมูลชนิดอ่านอย่างเดียวหรือตัวเก็บข้อมูลเพื่อไว้ติดตามค่าโดยไม่รบกวนกระบวนการเช่น อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ความเร็วหม้อเผา เป็นต้น

หม้อเผาแบบใหม่และระบบกล้องส่องในหม้อเย็นช่วยสังเกตรูปร่างเปลวและตำแหน่งวัตถุดิบในหม้อเผา สโนแมน (Show men) ที่เกิดขึ้นที่Grate Plateใต้หม้อเผา และการเป่าลมมากเกินไปสภาพของปูนเม็ดจะบอกถึงสภาพการเผาได้ ปูนเม็ดที่มีผิวและแก่นกลางสีดำเข้มเป็นเงาและเนื้อแน่นหมายถึงปูนเม็ดมีคุณภาพดี การเผาได้ที่ มีฝุ่นน้อย ในขณะที่ปูนเม็ดที่มีแก่นกลางสีน้ำตาลบอกถึง Reducing Condition ในหม้อเผา (ไม่มี O2) หรือเกิดจากปูนเม็ดที่มีสภาพ Permeability ลดลงเพราะมี Belite และความเข้มข้นของ SO3 สูง ซึ่งเกิดจากความสามารถในการออกซิเดชั่นของเหล็ก(Fe2+) ให้เป็นเหล็ก.(Fe3+) ลดลงในช่วงระบายความร้อนทำให้ปูนเม็ดส่วนนั้นไม่เป็นสีดำซึ่งเป็นผลจากการแกว่งทางคุณภาพของวัตถุดิบและภาวะสารระเหยซัลเฟอร์ต่ำในหม้อเผา การเกิดปูนเม็ดสีน้ำตาลทำให้มีอัตราการใช้ความร้อนสูง บดยาก ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ลดลงและมีเวลาในการก่อตัวต่ำ

ระบบเตือนต่างๆในระบบหม้อเผาเป็นสิ่งสำคัญ นอกจากระบบเตือนปกติทางด้านเครื่องจักรและอุณหภูมิผิวหม้อเผาอันเนื่องจากความผิดปกติของอิฐแล้ว ระบบเตือนบางชนิดต้องการการตอบสนองที่พิเศษออกไปเช่นเครื่องวัดก๊าซที่ท้ายหม้อ ถ้าคาร์บอนมอนอตไซด์เกิน 1% จะต้องมีระบบเตือนและถ้าเกิน 2% ควรมีการตัดการป้อนของเชื้อเพลิงหรือหยุดการทำงานของเครื่องกำจัดฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตเพื่อป้องกันการระเบิด บางครั้งยังมีการตรวจจับเปลวไฟในช่วงอุ่นหม้อเผาด้วย โดยต้องมีระบบตัดเชื้อเพลิงอัตโนมัติเมื่อเปลวไฟดับ

ช่วงการอุ่นหม้อเผานับว่ามีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากอุณหภูมิยังต่ำจนไม่สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อย่างสมบูรณ์ต่อเนื่องทำให้อาจมีเชื้อเพลิงสะสมในหม้อเผาและค่อยๆ สันดาปกลายเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอตไซด์ซึ่งอาจเกิดการระเบิดได้ หากเกิดเปลวไฟดับในช่วงระหว่างอุ่นหม้อเผา ควรทำการไล่ไอน้ำมันด้วยการดึงลมผ่านหม้อเผาในปริมาณ 5 เท่าของปริมาตร (หรือนานประมาณ 3-5 นาที) ก่อนที่จะจุดไฟอีกครั้ง

การเริ่มเดินหม้อเผาและการหยุดหม้อเผา

แผนการหยุดซ่อมหม้อเผาควรมีการจัดเตรียมและแจ้งต่อผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย เพื่อให้มั่นใจว่าทุกอย่างดำเนินไปอย่างถูกต้อง การอุ่นหม้อเผาต้องได้รับความเห็นชอบจากทั้งส่วนผลิตและส่วนซ่อมบำรุงว่าปิดงานเสร็จแล้ว เช่น เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัตถุดิบ ได้นำออกไปแล้ว และประตูทุกบานได้รับการปิด งานซ่อมหม้อเย็นอาจยังทำได้แต่ต้องไม่มีคนงานอยู่ในหม้อเย็นในช่วงของการจุดไฟอุ่นหม้อเผา โดยปกติการอุ่นหม้อเผาจากสภาวะเย็นจะใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมงแต่สามารถอุ่นนานกว่า 24 ชั่วโมงได้ในกรณีพิเศษ เช่นต้องการรักษาอิฐ การปรับเพิ่มอุณหภูมิสามารถทำได้โดยการเพิ่มเชื้อเพลิงและความเร็วรอบหม้อเผาตามโปรแกรมการป้อนเชื้อเพลิง (50% อัตราการป้อนปกติ) การป้อนเชื้อเพลิงที่อัตราปกติจะทำได้หลังป้อนวัตถุดิบไปแล้ว 8 ชั่วโมง สำหรับหม้อเผาที่มี พรีแคลไซเนอร์ เชื้อเพลิงจะป้อนเข้าพร้อมกับวัตถุดิบ (ใช้วัตถุดิบที่ร้อนเป็นตัวจุดเชื้อเพลิง โดยป้อนผ่าน Swivel Gate ในขณะที่พัดลม IDF ควรเดินโดยควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจนที่ประมาณ 10% ที่ท้ายหม้อ จากนั้นเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะการเดินปกติจึงปรับค่าควบคุมออกซิเจนลงมาเหลือ 2-3%

สำหรับหม้อเผาที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง (ถ่านหิน) มักใช้ก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันเตาในการอุ่นหม้อเผาแล้วค่อยเปลี่ยนเป็นถ่านหินเมื่อเริ่มป้อนวัตถุดิบ แต่ถ้าหม้อบดถ่านหินใช้ลมร้อนจากหม้อเย็นก็จะต้องรอนานกว่านั้นอีกเพื่อให้ได้ลมร้อนเพียงพอในการเดินหม้อบดก่อน

ก่อนและหลังการอุ่นหม้อเผาอุปกรณ์ต่างๆจะต้องถูกตรวจเช็คจนแน่ใจได้ว่าเครื่องจักรทุกตัวพร้อมสำหรับการเดิน การอุ่นหม้อเผาในขณะที่หม้อเผายังร้อน (เช่นหยุดน้อยกว่า 24 ชั่วโมง) จะใช้เวลาอุ่นราวครึ่งหนึ่งของช่วงเวลาที่หยุด

การหยุดเดินหม้อเผา (Shut-down) เกิดขึ้นได้ในกรณีดังนี้

- กรณีฉุกเฉิน การหยุดฉุกเฉินเครื่องจักรทุกตัวหยุดพร้อมกันหมดแบบทันทีทันใด
- กรณีควบคุม คือการหยุดโดยตั้งใจจะมีการทำความสะอาดในระบบทุกๆจุด เช่นระบบ

ป้อนวัตถุดิบ ระบบถ่านหิน วัตถุดิบในหม้อเผาและในหม้อเย็น หัวเผาจะถูกนำออก มีการเดินพัดลมหม้อเย็นและหมุนหม้อเผาตามตารางมากกว่า 12 ชั่วโมง จนกระทั่งเย็นโดยเดินพัดลม IDF ที่ความเร็วต่ำ

ข้อแนะนำสำหรับการหยุดหม้อเผา

0 – 2 ชั่วโมง = ตลอดเวลา

2 – 4 ชั่วโมง = ¼ รอบทุกๆ 15 นาที

4 – 12 ชั่วโมง = ¼ รอบทุกๆ ชั่วโมง

ถ้าการหยุดน้อยกว่า 1 วันและไม่ต้องเข้าหม้อเผาหรือ พรีฮีตเตอร์ ต้องควบคุมความร้อนไว้ในหม้อเผาโดยการหยุดพัดลม IDF ทันทีหลังจากผ่านไปแล้ว 2 ชั่วโมงให้ปิด Damper ของพรีฮีตเตอร์หรือ(ถ้าไม่มี Damper) ให้หยุดพัดลม IDF หลังจากผ่านไปแล้ว 2 ชั่วโมง

อิฐทนไฟ (Kiln Refractories)

สำหรับหม้อเผาที่มีพรีแคลไซเนอร์ค่าเฉลี่ยของอายุอิฐทนไฟจะยาวกว่าหม้อเผาธรรมดาโดย อายุเฉลี่ยของอิฐทนไฟแสดงดังต่อไปนี้

Discharge – 1D 70 - 85% alumina 8 เดือน

1D - 8D Basic, dolomite, or spinel 6-10 เดือน

8D - 10D 70% alumina 21 เดือน

10D - Feed end 40% alumina 21-37 เดือน

การบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนอิฐทนไฟการทบทวนข้อมูลการเปลี่ยนอิฐเป็นสิ่งสำคัญในการลดต้นทุนและลดการหยุดหม้อเผา ในทางปฏิบัติอิฐทนไฟชนิดอลูมินาสูงจะถูกเปลี่ยน ถ้าพบว่ามีความหนาเท่ากับหรือน้อยกว่า 10 cm ดังนั้นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำ คือ เมื่อใดที่มีการหยุดหม้อเผาและ Coat ถูกลอกออก ให้เจาะรูเพื่อตรวจสอบความหนาของอิฐทุก ๆ 1 เมตร (สามารถลดระยะ

ในการเจาะหรือลดความถี่ในการเจาะได้สำหรับอิฐอลูมินาต่ำ) การเจาะรูวัดความหนาอิฐเพื่อพิสูจน์ความผิดปกติของอิฐนั้นจะต้องระมัดระวังเมื่อใกล้เปลือกหม้อเผา โดยเครื่องมือที่ใช้วัดความหนาอิฐแบบไม่ต้องมีการเจาะก็มีเช่นกัน เช่น Hoganas Lino Meter

การเปลี่ยนเชื้อเพลิง วัตถุดิบ หรือวิธีการเผาจะกระทบต่อตำแหน่งของ Burning Zone ตำแหน่งของ Coat และสภาวะของอิฐทนไฟ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยดูผลจากอุณหภูมิผิวหม้อเผาโดยใช้สแกนเนอร์ขณะที่บริเวณใต้แหวนหม้อเผาควรได้รับการตรวจอุณหภูมิผิวหม้อเผาเป็นพิเศษด้วยตา เนื่องจากสแกนเนอร์ไม่สามารถตรวจวัดได้

เปลือกหม้อเผาที่ร้อนผิดปกติสามารถควบคุมได้โดยใช้พัดลมแบบติดตั้งอยู่กับที่หรือแบบเคลื่อนที่ทำการเป่าไปยังตำแหน่งที่ร้อนผิดปกติ กรณีที่เกิดจุดแดง "Red Spot" เมื่อเปลือกหม้อเผามีความร้อนมากขึ้นจนเป็นสีแดงจะแสดงถึงความผิดปกติอย่างมากและไม่ควรที่จะเดินหม้อเผาต่อ

ถ้าจุดแดงน้อยลงและเป็นจุดที่อยู่ใน Burning Zone อาจจะเป็นไปได้ที่ Coat มาจับเกาะอีกครั้งซึ่งจะสามารถเดินหม้อเผาต่อไปได้ กรณีที่เกิดจุดเล็ก ๆ ที่เป็นเหลี่ยม อาจจะเกิดการอิฐหลุดออกมา 1 หรือ 2 ก้อน หากเกิดขึ้นที่ Burning Zone สามารถแก้ไขเบื้องต้นได้ โดยการหยุดหม้อเผา 2-5 นาที ขณะมีวัตถุดิบและใช้ลมเป่าที่จุดแดง อย่างไรก็ตามการเกิดจุดแดงจะเป็นปัญหาระยะยาวซึ่งอาจทำให้เปลือกหม้อเผาบิดเบี้ยว หากจุดแดงเกิดขึ้นที่จุดอื่นที่ไม่ใช่บริเวณการเผาไหม้สามารถแก้ไขได้โดยใช้กล่องเหล็กปิดบริเวณด้านนอกของพื้นที่ที่ร้อนผิดปกติ โดยต้องเท Castable ลงในกล่องและกล่องเหล็กควรตัดออกและซ่อมถาวรในการหยุดหม้อเผาตามแผนครั้งต่อไป

จากข้อมูลทั่วไปอัตราการใช้อิฐเฉลี่ยอยู่ที่ 850 กรัม/ตันปูนเม็ด สำหรับหม้อเผาแบบไซโคลนพรีฮีตเตอร์ และอัตราการใช้อิฐเฉลี่ยที่ 500 กรัม/ตันปูนเม็ด สำหรับหม้อแบบที่มี พรีแคลไซเนอร์

ความหนาของอิฐทนไฟที่ใช้ก่อจความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหม้อเผา ดังนี้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาอิฐที่ใช้ก่อ

< 4.2 m. 180 mm.

4.2 - 4.7 m. 200 mm.

4.7 - 5.2 m. 225 mm.

> 5.2 m. 250 mm.

และ อิฐทนไฟที่ใช้มีความถ่วงจำเพาะโดยประมาณ

Magnesite 3.05

Spinel 2.95

Dolomite 2.80

70% Alumina 2.30

40% Alumina 2.05

วิธีการก่ออิฐในหม้อเผามีอยู่ 2 วิธี คือ Epoxy method และ Ring-jack method การก่ออิฐด้วยวิธี Ring-jack ปกติจะใช้เวลาเร็วกว่าสำหรับการก่ออิฐระยะทางยาวแต่จะไม่สามารถหมุนหม้อเผาในช่วงที่มีการก่ออิฐ ถ้ามีงานบำรุงรักษาอื่นๆที่ปฏิบัติที่เปลือกหม้อเผา ชุดขับหรือซีล โดยปกติการก่ออิฐจะอยู่ที่อัตรา 0.5 เมตร/ชม.

นอกจากอิฐที่ก่อแล้วยังมี Monolithic ซึ่งประกอบด้วย Castable และ Plastic Refractory สามารถใช้งานได้อย่างหลากหลาย เช่นใช้ปืนยิงหรือเทในแบบหล่อที่มีรูปร่างซับซ้อนเช่นเทที่หัวเผา

Castable เป็นคอนกรีตที่ประกอบด้วยวัสดุทนไฟและตัวผสมที่มีความต้านทานความร้อนสูง Castable มีทั้งชนิดที่มีน้ำหนักมากและน้อยซึ่งสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

- Standard (> 2.5% CaO)
- Low cement (1.0-2.5% CaO)
- Ultra-low cement (<1.0% CaO)

Castable จะถูกผสมกับน้ำ และหล่อลงแม่พิมพ์หรือยิงเข้าไปในตำแหน่งที่ต้องการ โดยจะต้องทิ้งไว้ให้แข็งตัวเป็นเวลา 24 ชม. Castable ชนิดผสมซีเมนต์ต่ำจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่ใช้ ดังนั้นจึงต้องพิถีพิถันในการผสมน้ำและควรในปริมาณน้อยที่สุดซึ่งจะทำให้ Castable มีระยะเวลาในการเทต่ำลง จึงต้องใช้เครื่องสั่นช่วยในการเทลงแบบหล่อต่างๆ

วัสดุทนไฟชนิดพลาสติก (Plastics) มีลักษณะคล้ายดินเหนียวสามารถปั้นขึ้นรูปได้ โดยปกติจะใช้วิธีตำแทรกเข้าไปในพื้นที่มีช่องว่างและอาจจะใช้ยิงเข้าไปถ้าสามารถทำได้ โดยสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

- Standard
- Air- Setting
- Chemically Bonded (ปกติจะเป็นพันธะ Phosphate)

วัสดุทนไฟประเภทนี้ควรจะถูกบ่มให้ความร้อนที่ค่าอัตราค่าหนึ่งก่อนในการแข็งตัวเพื่อให้พร้อมในการอุ่นหม้อเผาได้ต่อไป

วัสดุทนไฟชนิด Castable และ Plastic ต้องการเหล็กหนามเตยในการยึดเกาะกับพื้นที่ผิว การออกแบบและการติดตั้งจึงเป็นสิ่งที่สำคัญเพื่อที่สามารถให้ Castable เคลื่อนที่ระหว่างเหล็กหนามเตยได้และควรเผื่อระยะขยายตัวไว้ด้วย ในการเลือกการใช้งานจะพิจารณาถึงอุณหภูมิการใช้งาน การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและการทนต่อการขัดสีที่ต้องการ

แม้ว่ามีการพิจารณาเรื่องการขยายตัวไว้แล้วการติดตั้งแหวนเหล็กรับน้ำหนักที่ติดกับเปลือกหม้อเป็นสิ่งจำเป็นต้องมีเพื่อรับแรงผลักจากอิฐจากการหมุนหม้อเผาและการเอียงของหม้อเผา การติดตั้งแหวนเหล็กจะติดตั้งที่ระยะประมาณ 1 m จากปากหม้อเผา ส่วนแหวนอื่นๆจะติดตั้งตามความต้องการแต่ต้องห่างจากแท่นหม้อเผาอย่างน้อย 5 m โดยปกติแหวนเหล็กจะเป็นแผ่นเหล็กโค้งสูง 40 - 50 mm และมีความหนาน้อยกว่าความกว้างของอิฐ 1 ก้อน ดังนั้นแหวนเหล็กจะถูกปิดด้วยแนวอิฐแหวนเหล็กกับเปลือกหม้อเผาจะติดกันโดยการเชื่อม ผลของการรับน้ำหนักของแหวนเหล็กที่เตี้ยกว่าอิฐทำให้เกิดภาระของอิฐส่วนล่างมาก (ส่วนที่ดันแหวนเหล็ก) และจะมีความเสี่ยงในภายหลังได้ (อิฐแถวแรกที่ติดแหวนเหล็กหัก/แตก) นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาแหวนรับน้ำหนักที่เป็นลักษณะลิ่มซึ่งประกอบด้วยเหล็กอัลลอยด์พิเศษที่มีรูเป็นลักษณะรังผึ้งโดยเติม Castable ลงไป

การยิงฝุ่นเข้าไปในเปลวหม้อเผา (Insufflation)

การยิงฝุ่นเข้าไปในเปลวหม้อเผา ฝุ่นอาจถูกป้อนเข้าไปกับลูกที่ใช้ในการเผาไหม้หรืออาจป้อนเข้าไปในหม้อเผาโดยใช้ระบบลมเป่าต่างหากแยกจากหัวเผา วัตถุประสงค์ของการยิงฝุ่นเข้าในเปลวหม้อเผามีดังนี้

- เพิ่มความสว่าง และทำให้การถ่ายความร้อนจากเปลวไฟของน้ำมันหรือก๊าซดีขึ้น
- ลดอุณหภูมิของเปลวไฟและการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ลง
- หมุนเวียนฝุ่นกลับเข้าหม้อเผา เป็นการเพิ่มโอกาสในการรวมกับปูนเม็ดซึ่งดีกว่าการถูกหอบไปกับลมร้อน
- เพิ่มการระเหยเป็นไอของอัลคาไรด์ในฝุ่น ซึ่งดีต่อการในการผลิตปูนเม็ดชนิดอัลคาไรด์ต่ำ
- สามารถผลิตปูนเม็ดชนิดพิเศษที่มีปริมาณน้อย โดยการปรับการออกแบบการผสมวัตถุดิบโดยไม่ต้องปรับการผสมวัตถุดิบใหม่ทั้งกอง หรือการป้อนวัตถุดิบใหม่ ในอีกกรณีหนึ่งถ้ามีการใช้น้ำมันหรือก๊าซทดแทนการใช้ถ่านหินเป็นการชั่วคราว ซึ่งขี้เถ้าของถ่านหินมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของปูนเม็ด ก็จะสามารถรักษาสภาพปูนเม็ดได้โดยการฉีดฝุ่นวัตถุดิบที่เหมาะสมเข้าไปในหม้อเผาได้

สถาบันวิจัยแห่งชาติ กรมอนามัย

• เหมาะสำหรับการกำจัดกากวัตถุมีพิษปริมาณน้อยๆที่ต้องป้อนโดยตรงเข้าที่โซนที่มีอุณหภูมิสูงมากๆ เพื่อการกำจัดให้หมดสิ้นในทันที

สังเกตได้ว่าการป้อนฝุ่นวัตถุดิบที่หัวเผานั้นเป็นการใช้ความร้อนเกินปริมาณที่จำเป็นในการอุ่นวัตถุดิบซึ่งมีการใช้ประสิทธิภาพความร้อนน้อยกว่าการป้อนวัตถุดิบแบบปกติ แต่มีข้อดีตรงที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีกว่า อย่างไรก็ตามในกรณีใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจะทำให้การแผ่ความร้อนลดลง และการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงและลมอาจจะไม่ดีนัก

Kiln Bypass

ถ้าสารระเหยส่วนเกิน (K2O, Na2O, Sulfur หรือ Chloride) อยู่ในวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิงจะทำให้เกิดการระเหยใน Burning Zone และจะเกิดการกลั่นตัวในพรีฮีตเตอร์ เกิดเป็นวัฏจักรซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นวัตถุดิบ และเกิดอุดตันใน พรีฮีตเตอร์ ซึ่งมีผลกระทบต่อการผลิตอย่างมากดังนั้นถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงส่วนประกอบที่เป็นสารระเหยได้ หรือถ้ามีผลต่อค่าใช้จ่ายมากแล้ววิธีการ Bypass น่าจะเป็นทางออกที่ดี โดยการติดตั้งระบบเพื่อดูดลมร้อนบริเวณท้ายหม้อเผาแล้วทำให้เย็นด้วยลมเย็นปริมาณ 2-3 เท่าของลมร้อนที่แยกออกมาแล้วปรับสภาพด้วยน้ำให้มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 150-200 °C, ทำการแยกฝุ่นออกมา แล้วนำไปกำจัดด้วยวิธีที่ถูกต้อง

โดยทั่วไปการทำ Bypass จะทำที่ 10-70% ของลมร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อเผา ตำแหน่งของการติดตั้งระบบ Bypass เป็นจุดที่สำคัญเพื่อให้แน่ใจว่าจุดที่มีสารระเหยสูงสุด และถูก Bypass ออกด้วยปริมาณลมร้อนต่ำสุด เพื่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนต่ำสุดนั่นเอง ฝุ่นที่ Bypass ออกจะมีค่าประมาณ 100-300 mg/Nm3

ประมาณการความร้อนที่ต้องสูญเสียในการทำ Bypass เป็นดังนี้

- หม้อเผาไซโคลนพรีฮีตเตอร์ ca 5 kcal/kg-cli. . x % bypass
- หม้อเผาแบบพรีแคลไซเนอร์ ca 2 kcal/kg-cli. . x % bypass

การทำ Bypass นั้นค่อนข้างซับซ้อนเนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ปริมาณอัลคาไลด์ในวัตถุดิบ การสมดุลระหว่างอัลคาไรด์และซัลเฟอร์ขึ้นอยู่กับค่าระเหยที่แท้จริง อัตราการให้ความร้อนและระยะเวลาการเผา และยังขึ้นกับเกณฑ์คุณภาพปูนซีเมนต์ ในการทำ Bypass ที่ 10% ของลมร้อนจากหม้อเผา จะสามารถลดปริมาณ Cl 45-65%, 20% สำหรับ SO3, 10% สำหรับ K2O และ 4% สำหรับ Na2O มีการพัฒนาการควบคุมการ Bypass แบบอัตโนมัติโดยใช้

การสุ่มตัวอย่างและวิเคราะห์วัตถุดิบ ค่าคลอไรด์ที่สะสมในหม้อเผาควรถูกจำกัดที่ 5-10g/kg.ปูนเม็ด ขึ้นอยู่กับระดับการแตกตัวของหินปูน

แนวโน้มปูนซีเมนต์ปัจจุบันจะเป็นประเภทมีอัลคาไรด์ต่ำมากขึ้น (Na2O+ 0.658K2O < 0.6%)ในขณะที่ SO3 ที่เกินในปูนเม็ด จะขัดขวางการเกิด C3S อย่างไรก็ตามสภาวะที่มีอัลคาไรด์หรือ SO3 เกิน 1% หรือคลอไรด์เกิน 0.015% เทียบกับน้ำหนักปูนเม็ด คาดว่าจะเกิดปัญหาของหม้อเผาได้

โดยทั่วไปก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกจับอย่างมีประสิทธิภาพในไซโคลนพรีฮีตเตอร์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่พบจากปล่องจะเป็นไพไรท์ (Pyrite) หรือเป็นซัลเฟอร์จากสารอินทรีย์ในวัตถุดิบไม่ใช่ ซัลเฟอร์จากซัลเฟสหรือซัลเฟอร์จากเชื้อเพลิง

การทำสะอาดไซโคลน

พรีฮีตเตอร์ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มที่จะเกิดการสะสมของฝุ่นวัตถุดิบได้ โดยเฉพาะที่ข้อต่อระหว่างหม้อเผาและไรเซอร์ไป๊ พนักงานเดินเครื่องที่ดีหรือโชคดีเท่านั้นที่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดอุดตันที่ไซโคลนได้ซึ่งสาเหตุการตันมาจากความเหนียวของการกลั่นตัวของสารระเหย (K, Na, S, Cl) หรือจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปมา ฝุ่นวัตถุดิบที่สะสมจะอยู่ในรูปของ Spurrite (2C2S.CaCO3) ซึ่งเป็นผลมาจากเกิดคาร์บอนเนต วัตถุดิบที่ท้ายหม้อเผาและไซโคลนลูกล่างๆมีแนวโน้มที่เกิดการจับตัวและสะสมบริเวณที่มีอุณหภูมีต่ำโดยเฉพาะจุดที่มีลมรั่ว ดังนั้นควรจะมีการป้องกันลมรั่วที่รอยต่อของหม้อเผาและที่จุดอื่นๆทั้งหมดของไซโคลนลูกล่าง

การทำความสะอาดการสะสมของวัตถุดิบในระหว่างการผลิตเป็นสิ่งที่มักปฏิบัติกัน โดยใช้ Air Lances, jack-hammers และ ลมอัดและน้ำแรงดันสูง ผู้ปฏิบัติงานต้องได้รับการอบรมและได้รับอนุญาตและช่องเปิดควรเปิดเพื่อเฉพาะสำหรับทำความสะอาดเท่านั้นและต้องแน่ใจว่าไม่มีคนอยู่ใต้บริเวณพื้นที่ทำงาน นอกจากนี้ยังพบว่าการนำ ZrO2 และ SiC มาใส่ในวัสดุทนไฟมีแนวโน้มที่จะลดการสะสมได้

การเคลียร์ไซโคลนเป็นงานหลักในการเดินหม้อเผาเพื่อไม่ต้องการให้หม้อเผาหยุด โดยปกติจะใช้ Long Air lances ผ่าน angled port ในไซโคลน การใช้น้ำแรงดันสูงที่ 700 kg/cm2 สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและวัตถุดิบถ้าปฏิบัติไม่ถูกต้อง ซึ่งทุกคนที่ปฏิบัติจะต้องมีจิตสำนึกและเข้าใจว่าการเคลียร์ ไซโคลน มีโอกาสที่จะมีการปล่อยฝุ่นปริมาณมากและอุณหภูมิสูงออกมา เนื่องจากการใช้น้ำ ช่องเปิดและประตูข้างใต้ไซโคลนควรจะปิดและต้องไม่มีใครยืนอยู่หน้า Hood และไม่มีใครเข้าไปในหม้อเย็น

เชื้อเพลิงสำหรับหม้อเผา

ปกติเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิตปูนเม็ดได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันเตาหรือถ่านหิน โดยราคาและการจัดหาเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้ โดยปกติเชื้อเพลิงจะคิดราคาในเทอมของค่าความร้อนรวม (Gross Heat: ความร้อนทั้งหมดที่ได้ รวมถึงความร้อนแฝงจากการกลั่นตัวของน้ำ) ในทางปฏิบัติความร้อนสุทธิ (Net Heat) เท่านั้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้ (เนื่องจากไอน้ำจะไม่ได้กลั่นตัวโดยจะออกไปในลักษณะยังเป็นไอน้ำอยู่) ตัวอย่างค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ แสดงในตารางต่อไปนี้

ค่าความร้อนรวม kcal/kg-cli.	สุทธิ kcal/kg-cli	ผลต่าง
ถ่านหิน 5,500-7,100	5,400-7,000	2%
น้ำมัน 10,200	9,700	5%
ก๊าซธรรมชาติ (kcal/m3) 6,200	5,600	10%

ตารางที่ ผ-1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

การเผาก๊าซจะมีการแผ่ความร้อนต่ำที่สุดและมีความต้องการปริมาณอากาศที่ใช้ในเผาไหม้ต่อหน่วยความร้อนมากกว่า ทำให้มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด โดยปกติกำลังการผลิตของหม้อเผาสามารถเพิ่มขึ้นได้ราว 2-3% เมื่อใช้ถ่านหินแทนก๊าซธรรมชาติ อย่างไรก็ตามก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ง่ายที่สุดคือจ่ายเงินหลังการใช้และไม่มีการเก็บ

ตารางต่อไปนี้เปรียบเทียบอุณหภูมิเปลว อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้และปริมาณก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ โดยมีอัตราการใช้ความร้อนในการผลิตที่ 850 kcal/kg-cli.
และมีออกซิเจนส่วนเกิน 2 %อุณหภูมิเปลว ลมใช้ในการเผาไหม้ ก๊าซจากการเผาไหม้

เชื้อเพลิง	อุณหภูมิเปลว	Nm3/M cal	Nm3/ton clinker
ถ่านหิน	2250°C	1.23	1360
น้ำมัน	2350°C	1.31	1420
ก๊าซธรรมชาติ	2400°C	1.45	1550

ตารางที่ ผ-2 เปรียบเทียบอุณหภูมิเปลว อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้และปริมาณก๊าซเสียที่เกิด

เมื่อเทียบกับน้ำมันเตาหรือก๊าซธรรมชาติแล้ว ถ่านหินมีองค์ประกอบที่แกว่งมากกว่า การผลิตโดยทั่วไปผู้ขายจะสามารถลดการแกว่งในระยะสั้นได้ ส่วนการลดการแกว่งในระยะยาวจะเป็นการจัดการโดยระบบการวิเคราะห์และควบคุมกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามถ้าเป็นการจัดหาจากผู้ขายจำนวนมากราย หรือมาจากหลายแหล่ง อาจจำเป็นต้องทำการกองหรือผสมใช้ ให้ดีก่อนใช้งาน

การกองเก็บถ่านหินจะต้องมีความระมัดระวังเนื่องจากถ่านหินสามารถลุกติดไฟด้วยตนเองโดยเฉพาะถ่านหินที่มีส่วนประกอบของกำมะถัน ถ่านหินส่วนที่คุควรจะขุดออกแล้วโรยด้วยฝุ่นหินปูนจากนั้นกดอัดให้แน่น ถ้ามีความจำเป็นต้องเก็บในระยะยาว การทำกองจะต้องมีการกดอัดให้แน่น และปิดด้วยน้ำมันถ่านหินผสมน้ำและมีการวัดอุณหภูมิของกองโดยฝังเครื่องวัดอุณหภูมิลงไปลึก 1 – 2 เมตร จากผิวกองเพื่อตรวจสอบว่ามีการเผาไหม้หรือไม่

ปกติถ่านหินจะถูกอบแห้งแล้วบดจนมีการค้างตะแกรง 200# (75μ) ไม่มากกว่า 0.5% ของสารระเหย จากนั้นจะถูกเป่าด้วยลมอัดที่ความดัน 120-150 g/cm2 และที่ความเร็ว 60-80 m/sec

ในขณะที่น้ำมันเตาต้องมีการอุ่นเพื่อลดความหนืดก่อนที่จะปั๊มเข้าหัวฉีด ด้วยความดันประมาณ 20 kg/cm2 ส่วนความดันที่ใช้สำหรับการกระจายเป็นละอองจะใช้ที่ 100 kg./cm2 น้ำมันที่ปล่อยออกมาควรมีขนาดละอองไม่เกิน 200 μ เพื่อให้สามารถเผาไหม้ได้ และอยู่ภายในเปลวไฟ

ปกติก๊าซธรรมชาติจะได้รับที่ความดัน 10-70 kg/cm2 และไม่ความจำเป็นต้องใช้ลมไพร์มารี แอร์ โดยก๊าซจะถูกเป่าในแนวแกนหรือผสมกับสแวร์ลแอร์ (swirl air) โดยมีการไหลที่ความดัน 3-10 kg/cm2 และความเร็วที่ 300-400 m/sec (การส่งก๊าซปกติจะถูกจำกัดที่ความเร็วเสียงคือ 430 m/sec สำหรับมีเทนที่อุณหภูมิ 0 °C) ก๊าซต้องการลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนและการกระจายความร้อนจะเป็นไปอย่างช้าๆ มากกว่าน้ำมันหรือถ่านหิน จุดที่มีความร้อนสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 20 เมตร เข้าไปในหม้อเผา ขณะที่น้ำมันเตาจะอยู่ที่ระยะราว 5-10 เมตร การเผาก๊าซจึงมีลักษณะการตอบสนองช้าทำให้การควบคุมหม้อเผายากขึ้นไปด้วย อุณหภูมิที่ใช้ในการติดไฟของก๊าซสูงกว่าน้ำมันและถ่านหินดังนั้นก๊าซธรรมชาติจึงอาจจะมีปัญหาในการจุดติดไฟขณะที่หม้อเผายังไม่ร้อน

ในปัจจุบันมีการผลิตหัวฉีดแบบ "Precessing jet" เพื่อเพิ่มความสว่างของเปลวไฟและลด NOx ในการเผาไหม้ เทคโนโลยีนี้ได้ถูกใช้ในการผสมระหว่างก๊าซและถ่านหินด้วย
การเผาไหม้ประกอบด้วย

- การผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง
- การจุดติดไฟ
- การเกิดการเผาไหม้
- การปล่อยก๊าซเสีย

ในกระบวนการเผาไหม้ส่วนใหญ่ขั้นตอนการผสมจะใช้เวลานานที่สุด การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะขึ้นอยู่กับระบบการเคลื่อนไหวของลมผ่านหม้อเผาหรือพรีแคลไซเนอร์ และโมเมนตัมที่ปลายหัวฉีดจะมีความสัมพันธ์กับโมเมนตัมของลมทุติยภูมิ

ในปัจจุบันนี้ราคาของเชื้อเพลิงมักเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดของต้นทุนดังนั้นบริษัทส่วนใหญ่จึงมีแนวโน้มที่จะหาเชื้อเพลิงที่มีราคาถูกมาทดแทน ปิโตรเลียมโค้กเป็นหนึ่งในทางเลือกและเป็นเชื้อเพลิงที่ดี โดยเฉพาะมีค่าความร้อนสูง แต่ในบางตลาดก็มีราคาสูงขึ้นทำให้ไม่คุ้นทุนในการนำไปใช้ โดยปกติ

ปิโตรเลียมโค้กจะมีส่วนประกอบของซัลเฟอร์อยู่ระหว่าง 3-6% ซึ่งเป็นตัวจำกัดอัตราการใช้ปิโตรเลียมโค้กมีอยู่ 2 ชนิดหลัก คือ "Delayed" และ " Fluid" ปิโตรเลียมโค้กชนิด Delayed เป็นชนิดที่มีน้ำหนักมากมาจากกระบวนการ Delayed Batch โดยให้ความร้อน 500 °C ภายใต้แรงดูดจะมีค่าสารระเหยอยู่ในช่วง 8-16% ในขณะที่ถ้าให้ความร้อนที่ 1700 °C จะมีค่าสารระเหยน้อยกว่า 1% ปิโตรเลียมโค้กชนิดนี้สามารถบดกับถ่านหินได้ โดยสามารถใช้ได้ที่ 60% ของเชื้อเพลิงทั้งหมด (มีผู้แจ้งว่าสามารถใช้ได้ถึง 100%) ส่วนปิโตรเลียมโค้กชนิด Fluid จะประกอบด้วย อนุภาคกลมๆขนาดเล็กที่เป็นผลมาจากกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิ 650 °C สารระเหยอยู่ที่ 5-10% และจะแข็งมากโดยปกติจะถูกยิงเข้าหม้อเผาโดยไม่ต้องบดในอัตรา 10-20% ของเชื้อเพลิงทั้งหมด

นอกจากนี้ยังมีการใช้เชื้อเพลิงทดแทนอื่นๆอีก เช่นกากของเสียจากกระบวนการผลิตต่างๆ ซึ่งบางครั้งอาจได้ค่ากำจัดด้วย อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาในการนำมาใช้ เช่น การจัดหากากของเสียที่มีค่าความร้อนสูงและใช้ง่าย (สารละลายหรือน้ำมันเครื่องใช้แล้ว) หรือปัญหาด้านการแข่งขันราคาของเชื้อเพลิงชีวมวล นอกจากนี้แล้วกากของเสียประเภทของแข็งต่างๆ ทั้งเป็นพิษและไม่เป็นพิษจะมีปัญหาเกี่ยวกับข้อกำหนดที่มากมายและยุ่งยากในการนำมาใช้ประโยชน์ และต้องมีการตรวจสอบความสม่ำเสมอด้านคุณภาพและการปนเปื้อนด้วย ยางรถยนต์มีความเป็นไปได้ที่นำมาใช้แต่มีปัญหาเรื่องการกองเก็บ ในขณะที่การทำเป็นชิ้นเล็กๆเพื่อสะดวกในการใช้ก็มีต้นทุนสูงมาก การป้อนเชื้อเพลิงแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น ยางทั้งเส้นมีผลกระทบต่อการเดินหม้อเผาซึ่งจำเป็น

ที่ต้องเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอสำหรับการเผาไหม้ ซึ่งมีลักษณะแบบลูกคลื่น ตารางต่อไปนี้แสดงตัวอย่างกากของเสียต่างๆที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้

สารละลาย น้ำหล่อลื่นใช้แล้ว
กากตะกอนสี กากตะกอนน้ำมัน
เศษพลาสติก ยางรถยนต์
กากตะกอนน้ำเสีย เศษยาง

หม้อเผาที่มีการใช้เชื้อเพลิงทดแทน จะมีต้องมีรายละเอียดในการจัดการและควบคุม เพื่อลดผลกระทบที่อาจมีต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยมีการสุ่มตัวอย่างและตรวจเช็คก่อนการใช้งานทุกครั้งที่มีการขนส่ง โดยทั่วไปค่าความร้อนไม่ควรมีต่ำกว่า 4,500 kcal/kg-cli. . และคลอไรด์น้อยกว่า 1% และโรงงานส่วนใหญ่จะไม่ใช้เชื้อเพลิงที่มีสารพีซีบี (PCB:สารก่อมะเร็ง) เกิน 50 ppm เชื้อเพลิงทดแทนสามารถป้อนเข้าหม้อเผาที่บริเวณไรเซอร์โป๊ พรีแคลไซเนอร์ หรือที่หัวเผา

การเผาด้วยถ่านหิน

การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อเผาจะมีการใช้อยู่ 2 แบบ (รูปที่ 4-4) 1) แบบเผาตรง (Direct firing) จะมีการบดถ่านหินและป้อนโดยตรงเข้าหัวเผา ลมที่ใช้ในการอบแห้งถ่านหินจะเป็นลมที่ใช้ลำเลียงถ่านหินด้วยโดยเป่าเข้าในหัวเผาเหมือนเป็นลมไพร์มารีแอร์ (ประมาณ 15-30% ของปริมาณลมที่ใช้ในการเผาไหม้ทั้งหมด) 2) แบบเผาทางอ้อม (Indirect Firing) จะมีการเก็บถ่านหินที่บดแล้ว ก่อนที่จะป้อนเข้าหม้อเผา ซึ่งระบบทั้ง 2 จะมีความแตกต่างกันในหลายประเด็นดังนี้

ระบบเผาทางอ้อมจะให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าเนื่องจากสามารถลดปริมาณไพร์มารีแอร์ได้และยังสามารถแยกความชื้นจากการอบแห้งถ่านหินออกจากไพร์มารีแอร์ได้ด้วย ซึ่งใช้ได้กับทุกหัวเผายกเว้นหัวเผาแบบใช้ลมไพร์มารีแอร์ต่ำ เนื่องจากส่วนผสมที่ไม่ดีของเชื้อเพลิงและอากาศขณะที่ไอน้ำที่ปนอยู่ในเปลวไฟจะมีสภาพเหมือนตัวช่วยในการเผาไหม้ สิ่งที่สำคัญที่สุดคือความสามารถของระบบทางอ้อมที่ประกอบด้วยหม้อบด 1 ใบ แต่สามารถป้อนเชื้อเพลิงส่งไปให้หัวฉีด 2 จุดหรือมากกว่าได้ ขณะที่การเผาแบบตรงจะต้องใช้ 1 หม้อบดต่อ 1 หัวเผา การระบายอากาศของระบบการบดจะทำให้สูญเสียสารระเหยซึ่งมีค่าความร้อนราว 280 kcal/kg-cli.

ถ่านหินสามารถบดโดยใช้หม้อบดได้หลายชนิด แต่นิยมใช้หม้อบดแบบตั้ง (Vertical Mill) ในการบดเช่น Badcock E-Mill แม้ว่าจะมีการใช้ในงานอุตสาหกรรมซีเมนต์ไม่มาก แต่ก็นิยมใช้งานบดถ่านหินในอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า

โดยทั่วไปหม้อบดแบบตั้งจะถูกออกแบบให้มีการใช้งานกับเครื่องคัดแยกแบบ Intergral Static Classifiers แต่มีบ้างที่ใช้ Dynamic classifiers ซึ่งสามารถปรับความละเอียดได้โดยปรับความเร็วของโรเตอร์ ระยะห่างของลูกกลิ้งและจานหมุนควรห่างกันประมาณ 5-10 mm. และขนาดของถ่านหินที่ป้อนเข้าหม้อบดมีขนาดไม่เกิน 25 mm. และประมาณค้างตะแกรง 10 mm. ที่ 30% หินและเศษเหล็กจะถูกแยกโดยหล่นออกจากจานหมุนลงไปในลมร้อนและถูกกวาดโดยตัวกวาดแบบหมุน การมีวัสดุออกมามากกว่าปกติ (เช่นมากกว่า 2% ของอัตราการป้อน) อาจเกิดจากช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งกับจานหมุนมีค่ามากกว่า 15 mm. หรือระยะห่างของจานหมุนและ louvre ring มีค่ามากกว่าปกติ เช่นถ้าช่องว่างมีระยะมากกว่า 10 mm.จากปกติ จะไม่สามารถรักษาระดับความเร็วของลมซึ่งต้องการที่ 25 m/sec ได้

หม้อบดแบบแบบตั้งสามารถอบแห้งถ่านหินได้ถึงระดับความชื้น 10% ตามการออกแบบของแต่ละโรงงาน โดยปกติหม้อบดจะถูกออกแบบสำหรับถ่านหินที่ความแข็งขนาด 55 HGI ถ่านหินที่มีค่า HGI ต่ำลงจะมีความแข็งมากขึ้น ซึ่งจะทำให้อัตราการบดของหม้อบดลดลง ในการออกแบบหม้อบดหนึ่งๆ ถ้าหม้อบดและพัดลมมีชุดขับแยกกันจะสามารถเพิ่มอัตราการผลิตขึ้นได้โดยการปรับความเร็วของจานหมุนให้สูงขึ้น (เช่นจาก 900 rpm เป็น 1200 rpm) ส่วนการปรับด้านพัดลมจะต้องมีการประเมินด้านวิศวกรรมก่อน

อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นไม่ควรเกิน 315°C และถ่านหินไม่ควรถูกอบแห้งจนมีความชื้นผิวต่ำกว่า 1% อุณหภูมิของลมที่ออกจากหม้อบดไม่ควรเกิน 65°C สำหรับระบบเผาไหม้อ้อมและ 80°C สำหรับระบบเผาไหม้ตรง ความเร็วของลมที่หอบควรมากกว่า 20 m/sec เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีการสะสมของฝุ่นในท่อ

เพื่อให้มั่นใจต่อการลำเลียงถ่านผง อัตราไหลต่ำสุดของลมที่ใช้ในการลำเลียงควรอยู่ระหว่าง 1-1.5 kg (0.8-1.2Nm3) อากาศต่อกิโลกรัมถ่านหินผง โดยจะต้องใช้ลมที่อัตรานี้แม้ว่าจะไม่ต้องการอบแห้งถ่านหินก็ตาม อาจจะมีการติดไฟขึ้นเนื่องจากมีเศษผ้าหรือไม้ในหม้อบดโดยสามารถตรวจพบได้จากอุณหภูมิของลมที่ออกจากระบบที่เพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติและไม่สัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของลมร้อนเข้าหรืออัตราการป้อน ไฟที่เกิดขึ้นในหม้อบดในระบบเผาไหม้ตรงสามารถทำให้หมดไปได้โดยการเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบเพื่อให้ความร้อนและอุณหภูมิของวัตถุดิบต่ำลง ส่วนหม้อบดในระบบเผาไหม้อ้อม ปกติจะดูค่าคาร์บอนมอนอตไซด์เพื่อตรวจสอบการเผาไหม้แทนการดูอุณหภูมิเนื่องจากการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแสดงผลได้ช้า หากมีการลุกติดไฟสามารถดับได้โดยการฉีดน้ำหรือใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือไนโตรเจนพร้อมกับคาร์บอนไดออกไซด์จะมีประสิทธิภาพดีกว่า

ลมร้อนที่ใช้สำหรับการไล่ความชื้นถ่านหินสามารถดึงจากลมร้อนทิ้งของหม้อเย็นหรือลมร้อน (มีปริมาณออกซิเจนต่ำ) จากพรีฮีตเตอร์ โดยต้องคุมอุณหภูมิลมร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิลมขาออกตามที่กล่าวแล้วข้างต้น การดึงลมจากหม้อเย็นจะได้อุณหภูมิประมาณ 370 °C ขณะที่ถ้าดึงลมร้อนจาก พรีฮีตเตอร์ จะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 300-350 °C โดยมีออกซิเจน 5% และความชื้น 6% อุณหภูมิและความชื้นเป็นเรื่องที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบระบบ อย่างไรก็ตามการลุกติดไฟในหม้อบดส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงเริ่มเดินหม้อเผาหรือเพิ่งหยุดหม้อบด ขณะที่ปริมาณออกซิเจนที่มีน้อยในอากาศจะทำให้ลดความเสี่ยงในการเกิดไฟในหม้อบดขณะเดินปกติ

ในระบบการเผาไหม้ตรงถ่านหินผงจะถูกเป่าออกจากหัวเผาที่ความเร็วปลายหัวฉีดประมาณ 80 m/sec ซึ่งความเร็วนี้ควรจะต้องสูงกว่าความเร็วเปลวไฟเสมอโดยอาจสูงถึง 25 m/sec ปลายท่อหัวเผาควรจะมีขนาดเล็กลงเพื่อให้เกิดการความปั่นป่วนซึ่งจะช่วยให้การผสมระหว่างเชื้อเพลิงและลมดีขึ้น สำหรับระบบเผาไหม้อ้อมหัวเผาถูกออกแบบให้มี 3 ช่อง (ตามรูปที่ 4-4) โดยช่องนอกสุดเป็นช่องสำหรับแจ็ดแอร์ (Jet air) ถัดไปเป็นช่องสำหรับถ่านหินและด้านในจะเป็นสแวร์ลแอร์ การที่จะได้โมเมนตัมที่เพียงพอสำหรับการหมุนเวียนเปลว (Flame Recirculation) โดยใช้ลมไพร์มารีแอร์ที่น้อยนั้น แจ็ดแอร์ควรจะมีความเร็วสูงถึง 440 m/sec และ สแวร์ลแอร์ จะมีความเร็ว 160 m/sec ส่วนช่องกลางอาจจะใช้สำหรับเชื้อเพลิงชนิดที่สอง

การลุกติดไฟของถ่านหินผงเป็นเรื่องที่ปกติและหลีกเลี่ยงได้ยาก เนื่องจากถ่านหินผงจะสัมผัสกับลมก่อนที่จะลำเลียงไปถึงหัวเผาซึ่งเกี่ยวข้องกับการติดไฟและระเบิดด้วยตัวเอง การออกแบบระบบเผาไหม้ถ่านหินจึงเป็นสิ่งที่สำคัญและควรพิจารณาถึงเรื่องต่างๆ ดังนี้

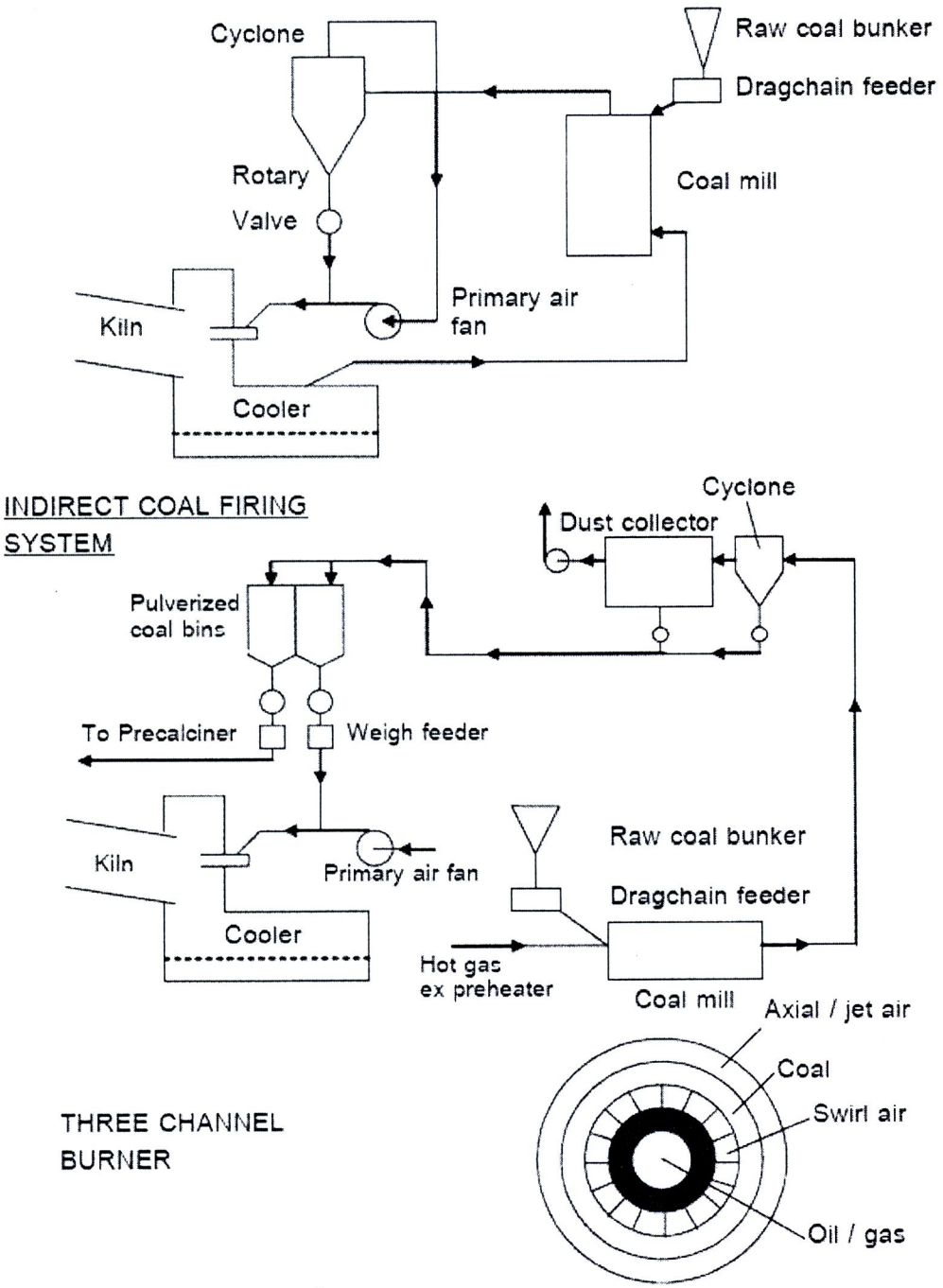
- อุณหภูมิต่ำสุดในการติดไฟของการผสมเชื้อเพลิงกับลม โดยถ่านหินจะมีอุณหภูมิติดไฟอยู่ระหว่าง 200-750 °C ขณะที่อุณหภูมิติดไฟของสารระเหยจะมีค่าต่ำกว่านี้
- ปริมาณของเชื้อเพลิงในอากาศต่ำสุดที่สามารถระเบิดได้ มีค่าประมาณ 40 g/m3 (ฝุ่นจะแขวนลอยไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน)
- ปริมาณออกซิเจนมากที่สุดที่ยอมรับได้ที่ไม่เกิดการจุดติดไฟ คือ 12%
- ระบบถ่านหินผงจะต้องถูกออกแบบให้สามารถทนความดันได้ 3.5 kg./cm2 หรือมีระบบลดแรงดันจากการระเบิด

ฝุ่นถ่านหินมีแนวโน้มที่จะระเบิดเพิ่มขึ้นถ้าถานหินนั้นมีสารระเหยและความละเอียดสูงขึ้น แต่จะลดลงถ้ามีน้ำหรือฝุ่นเฉื่อย (เช่นหินฝุ่น) มากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฝุ่นถ่านหินจะมีแนวโน้มการจุดติดไฟด้วยตนเองเพิ่มขึ้นตามความหนาของฝุ่นและความง่ายในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เช่นไพไรท์ (มากกว่า 2%) และถ่านหินที่คุอยู่สามารถลุกเป็นไฟได้ถ้าถูกกวน

Figure7 DIRECT COAL FIRING SYSTEM



รูปที่ ผ-7 DIRECT COAL FIRING SYSTEM

การทำให้ปูนเม็ดเย็น

หม้อเย็นมีไว้สำหรับทำให้ปูนเม็ดเย็นตัวลงจากอุณหภูมิ 1,200 °C ขณะที่ออกจากหม้อเผาให้ลดลงเหลืออุณหภูมิน้อยกว่า 100 °C โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนจากปูนเม็ดกับอากาศปกติ ทำให้อากาศที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นและใช้เป็นอากาศ สำหรับการเผาไหม้ในหม้อเผาหรือในพรีแคลไซเนอร์ ต่อไป

หม้อเย็นแบบGrate Plateถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกโดยบริษัท Fuller เป็นชนิดเคลื่อนที่ไปหน้า - หลัง (Reciprocating) ประกอบด้วยห้องใต้Grate Plateหลายห้อง แต่ละห้องมีพัดลมสำหรับเป่าลมเข้าหม้อเย็นแบบGrate Plateสามารถควบคุมได้ทั้งปริมาณลมและความดัน โดยอาจแบ่งห้องใต้Grate Plateได้ถึง 8 ห้อง และมีชุดขับแผ่นGrate Plateได้ถึง 2-3 ชุด Grate Plate ของ Fuller กำหนดเป็นค่าความกว้างและความยาวของแต่ละGrate Plate โดยใช้ตัวเลขเป็นชุด เช่น 825S/1031/1031 หมายถึง Grate Plate1 มีความกว้าง 8 ฟุต ยาว 25 ฟุต (S หมายถึง Sloped คือมีความเอียง), Grate Plate 2, 3 มีความกว้าง 10 ฟุต ยาว 31 ฟุต ไม่มีความเอียง เป็นต้น ความดันห้องใต้ Grate Plate1 มีค่าประมาณ 600 mm. และจะลดลงจนมีค่าประมาณ 200 mm. ที่ห้องใต้Grate Plateห้องสุดท้าย

หม้อเย็นแบบGrate Plate สามารถยืดอายุการใช้งาน(ให้ยาวกว่าอายุหม้อเผา)ได้ โดยการเพิ่มความดันและปริมาณอากาศที่ห้องใต้Grate Plateและการทำเช่นนั้น ไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนักต่อการไหลของปูนเม็ดที่Grate Plate1 หรือต่ออุณหภูมิลมทุติยภูมิที่จะลดลงหรือค่า ความร้อนสูญเสียที่ออกจากหม้อเย็นที่เพิ่มมากขึ้น

Grate Plateแบบปกติทั่วไปจะกำหนดระยะห่างใต้จมูกแต่ละGrate Plate 3-5 mm. ตัวรองรับที่ผิดรูปมีผลต่อระยะห่างและหน้าสัมผัสของแผ่นGrate Plateซึ่งจะลดประสิทธิภาพของหม้อเย็นจึงควรมีการจัดแนวใหม่โดยการใช้แผ่นรอง (Shim) ตลอดความยาวของGrate Plate

โดยทั่วไปการระบายความร้อนปูนเม็ดให้เหลืออุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C จะต้องใช้อากาศปริมาณ 2-2.5 Nm3/kg ปูนเม็ด ซึ่งอากาศจำนวนประมาณ 0.9 Nm3/kg จะถูกนำไปใช้ต่อสำหรับการเผาไหม้และที่เหลือจะถูกปล่อยทิ้งซึ่งคิดเป็นค่าความร้อนประมาณ 100 kcal/kg-cli. โดยขนาดของหม้อเย็นจะอยู่ที่ 35 – 40 t/m2/day และความหนาของปูนเม็ดบนแผ่นGrate Plateจะอยู่ในช่วงประมาณ 200 – 400 mm

ปัจจุบันผู้ผลิตหม้อเย็นทุกรายมีการออกแบบท่อลมที่จะนำลมไปยังช่องแผ่นGrate Plate และจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการนำลมออกสู่ชั้นของปูนเม็ดมากกว่าGrate Plateแบบเดิม โดย

Grate Plateจะใช้อากาศประมาณ 1.5-2 Nm3/kg และอัตราการผลิต 45-55 t/m2/day โดยมีความหนาของชั้นปูนเม็ด ~800 mm สำหรับท่อลมของGrate Plateของบริษัท FL.Smidth ถูกออกแบบให้อากาศผ่านในแนวนอนไปยังช่องลมหน้าแผ่นGrate Plateทำให้ลดการตกลงมาของปูนเม็ดที่ละเอียดและทำให้การเปลี่ยนแปลงการไหลของอากาศขึ้นกับความหนาของชั้นปูนเม็ดลดลง Grate Plateในลักษณะนี้จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Reduced Fall Through (RFT)

ชิ้นส่วนGrate Plateจำนวนมากจะถูกประกอบบนโครงแบบแขนแกว่งตุ้มและถูกขับโดย 1 ชุดขับเพื่อลดการซ่อมบำรุง นอกจากนี้ยังมีGrate Plateชุดแรกที่เอียงและไม่เคลื่อนที่โดยใช้ท่อลมอีก 6-9 ชุด เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการกระจายของปูนเม็ดก่อนเข้าGrate Plateถัดไป นอกจากนี้ยังมีการป้อนกันความร้อน (Heat Shield) ที่ควบคุมด้วยระบบไฮโดรลิคคอยกั้นที่ปลายห้อง Recouperation เพื่อนำอากาศไปใช้เป็นลมทุติยภูมิหรือลมเทอร์ซะรีแอร์ (Tertiary Air) เป็นการลดการสูญเสียความร้อนที่ปล่อยออกสู่ปล่อง โดยGrate Plate 1 ชุดมีมูลค่าการติดตั้งประมาณ 0.5-1.0 ล้านเหรียญสหรัฐ

เนื่องจากปูนเม็ดที่ออกจากหม้อเผามีการเปลี่ยนแปลงทั้งอัตราและขนาด ทำให้มีผลต่อความดันตกคร่อมที่ห้องใต้Grate Plateเนื่องมาจากปูนเม็ดบนแผ่นGrate Plateที่เปลี่ยนไป โดยปกติความดันที่ห้องใต้Grate Plateจะถูกรักษาให้คงที่ (โดยเฉพาะห้องที่ 2) ได้โดยการควบคุมความดันกับความเร็วที่ใช้ขับGrate Plate1 ซึ่งควบคุมความเร็วที่ใช้ขับGrate Plate2 โดยความเร็วGrate Plate2 ต้องเร็วกว่า Grate Plate1 10% ที่ความกว้างGrate Plateเท่ากัน

ปูนเม็ดขนาดใหญ่และชิ้นส่วนที่หลุดจาก Coating ในหม้อเผา จะไม่สามารถทำให้เย็นอย่างมีประสิทธิภาพจึงได้มีการติดตั้งตัวย่อยปูนเม็ดในหม้อเย็นแบบGrate Plateเพื่อลดขนาดของปูนเม็ดโดยอาจติดตั้ง Roll Crusher ที่ตอนกลางของหม้อหรือติดตั้ง Hammer Breaker ที่ตอนท้ายของหม้อเย็น (เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องการซ่อมบำรุง) นอกจากนี้ยังมีการแนะนำให้ใช้ Acoustic Horn ในการเพิ่มประสิทธิภาพการนำความร้อนกลับคืนของหม้อเย็น

การตรวจสอบหม้อเย็นด้วยการมองดูเป็นเรื่องสำคัญ เช่นการตรวจพบ "Red River" ซึ่งแสดงถึงการเกิดปัญหาที่แผ่นGrate Plateหรือเป็นเรื่องของการกระจายลม หรือการตรวจพบอาการ "blow through" ซึ่งแสดงถึงอากาศไหลมากผิดปกติที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งของGrate Plate

การตรวจสอบการทำงานของหม้อเย็นสามารถตรวจสอบจากพารามิเตอร์ต่างๆต่อไปนี้

- อุณหภูมิของ Secondary Air (°C)

- อุณหภูมิของ Tertiary Air (°C)
- อุณหภูมิลมร้อนจากปล่อง (°C)
- ปริมาณของลมร้อนจากปล่องหรือกำลังพัดลม (amps)
- อุณหภูมิปูนเม็ด (°C)

แผ่นGrate Plateที่แตกชำรุดอาจทำให้ปูนเม็ดที่ร้อนตกลงไปยังห้องใต้Grate Plateและสร้างความเสียหายมากได้ ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องวัดอุณหภูมิหรือวัดระดับติดตั้งอยู่ใต้ชุดขับGrate Plateเพื่อสร้างสัญญาณเตือนหากมีปูนเม็ดร้อนตกลงมาสะสมอยู่มากที่ห้องใต้Grate Plate การวัดปริมาณการผลิตปูนเม็ดไม่สามารถวัดได้โดยตรงต้องใช้การคำนวณจากปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนหรือจากการจ่ายซีเมนต์แต่จะมีประโยชน์มากถ้ามีการติดตั้งเครื่องวัดน้ำหนักที่ระบบลำเลียงปูนเม็ดเพื่อตรวจสอบได้ถูกต้อง

หม้อเย็นชนิดอื่น ๆ ที่มีการใช้ในปัจจุบันโดยไม่ต้องใช้ระบบจับฝุ่นได้แก่

- หม้อเย็นแบบโรตารี่มีลักษณะเป็นถังที่หมุนเพื่อยกปูนเม็ดขึ้นไปแล้วเทลงมาผ่านอากาศที่นำเข้ามาสำหรับการเผาไหม้ หม้อเย็นชนิดนี้ใช้ได้เฉพาะหม้อเผาขนาดเล็ก (เช่นหม้อเผาซีเมนต์ขาว เป็นต้น)
- หม้อเย็นแบบแพนเนทตารี่ (Planetary) ประกอบด้วยท่อหลายอันเรียงกันเป็นแหวนติดอยู่กับเปลือกหม้อเผาและหมุนไปพร้อมกับหม้อเผาทำงานคล้ายกับมีหม้อเย็นแบบโรตารี่หลายๆ ชุดหม้อเย็นชนิดนี้อาจสร้างปัญหาให้กับตัวหม้อเผา การควบคุมสภาพเปลวไฟยากจึงเป็นอุปสรรคในการแก้ไขสภาพปัญหาพิเศษ นอกจากนี้ยังเป็นการยากที่จะกระจายปูนเม็ดเข้าไปในท่อให้เหมาะสมด้วย

หม้อเย็นแบบโรตารี่และแพนเนทตารี่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าหม้อเย็นแบบGrate Plate เนื่องจากปริมาณอากาศถูกจำกัดด้วยปริมาณที่จะนำไปใช้สำหรับการเผาไหม้ที่หม้อเผาเท่านั้น แต่ด้วยการมีอุปกรณ์ภายในในการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อุณหภูมิปูนเม็ดที่ออกจากหม้อเย็นอยู่ในระดับ 180 °C (แต่ก็ยังสูงอยู่ดี) การเปลี่ยนหม้อเย็นจากแบบโรตารี่เป็นหม้อเย็นแบบGrate Plate จึงเป็นที่นิยมกัน

หม้อเย็นแบบ G (จาก Claudius Peters) มีประสิทธิภาพมาก ปูนเม็ดที่ออกจากหม้อเย็นชนิดนี้จะมีอุณหภูมิต่ำ โดยอาศัยการรวมหม้อเย็นแบบแพนเนทตารี่ (ซึ่งใช้ปริมาณอากาศน้อย) และหม้อเย็นแบบGrate Plateเข้าด้วยกันทำให้สามารถเพิ่มกำลังของหม้อเผาได้สูงกว่าระดับหม้อเย็นแบบ Grate Plate ปกติปูนเม็ดที่ผ่านหม้อเย็นและการย่อยแล้วจะถูกปล่อยให้มีการถ่ายเทความร้อนในท่อที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ หม้อเย็นชนิดนี้ออกแบบโดยพิจารณาความกว้าง

ความยาวและการลดลงของอุณหภูมิปูนเม็ด หม้อเย็นชนิดนี้ต้องการการบำรุงรักษาน้อย แต่มีข้อเสียคือปูนเม็ดที่ละเอียดจะอยู่ในหม้อเย็นนานทำให้ต้องมีการควบคุมระดับชั้นปูนเม็ดในหม้อเย็นอย่างใกล้ชิด

กลไลหม้อเผา

เปลือกหม้อเผาถูกออกแบบสำหรับรองรับการก่ออย่างแน่นหนาของอิฐทนไฟภายในและลำเลียงวัตถุดิบจากทางเข้าจนออกไปเป็นปูนเม็ด เนื่องจากการเปลี่ยนอิฐทนไฟเป็นสาเหตุหลักของการหยุดหม้อเผา จึงเป็นเรื่องสำคัญในการจัดการปัจจัยต่างๆที่มีผลต่ออายุอิฐ เพื่อให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ขณะที่เปลือกหม้อเผาต้องอยู่ในสภาพที่ดีด้วย

แม้ว่าหม้อเผาจะทำด้วยเหล็กเป็นท่อทรงกระบอกตรง แต่ในความเป็นจริงจะตกท้องช้างและเสียรูปได้ตรงช่วงระหว่างแท่นหม้อเผา หน้าตัดที่ตำแหน่งใด ๆ จะเป็นวงรี การเปลี่ยนตำแหน่งของแกนตามแนวยาวจะไม่เหมือนกันในจุดต่างๆของหม้อเผา ที่บริเวณใกล้กับลูกกลิ้งและคานเหนือหน้าตัดแกนตามแนวยาวจะเคลื่อนที่ในแนวนอน ขณะที่ตำแหน่งระหว่างแท่นหม้อเผา (บริเวณที่ตกท้องช้าง) แกนจะเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้ง เปลือกหม้อเผาจะบิดตัวไปมาน้อยเพียงใดขึ้นกับการหมุนความเครียดของอิฐทนไฟที่เกิดความเครียดจากความร้อน โดยอิฐทนไฟจะดูดซับความเครียดไว้ได้เพียงใดขึ้นกับคุณลักษณะของอิฐและการเคลื่อนที่ระหว่างอิฐด้วยกัน ความแข็งแรงของอิฐและจุดที่เชื่อมต่อกันของอิฐจะทำให้ Lining ผิดรูปไปได้บ้างโดยไม่เสียหาย แต่ถ้ามีความเครียดที่มากเกินไปอาจทำให้อิฐทนไฟเสียหายได้ เป็นการยากที่จะหาค่าความเครียดของอิฐทนไฟแต่สามารถสรุปได้ว่าควรหลีกเลี่ยงการทำให้เกิดความเครียดที่มากเกินไปกับเปลือกหม้อเผาเนื่องจากจะส่งผลแก่อิฐทนไฟการตั้งและจัดวางที่เหมาะสมของลูกกลิ้งหม้อเผา และการดูแลระยะแผ่นรองลูกกลิ้งอย่างถูกต้องเป็นเรื่องสำคัญอันดับแรกที่จะช่วยลดความเครียดลงได้

เพลาลูกกลิ้งจะต้องเอียงเป็นค่าเดียวกับหม้อเผา แม้ว่าจะมีการบิดตัวเนื่องจากภาระในแนวดิ่งของหม้อเผาสูงถึง 100–500μ เพลาทุกตัวจะต้องขนานกันเพื่อหลีกเลี่ยงแรงกระทำที่จะเกิดกับแบริ่งเพลาจะต้องลาดเอียงน้อยกว่าแนวแกนของหม้อเผาเล็กน้อย เพื่อให้เกิดแรงกระทำที่ลูกกลิ้งให้ผลักหม้อเผาขึ้น เมื่อตั้งค่าลาดเอียงให้แบริ่งเหมาะสมแล้ว ลูกกลิ้งจะหมุนโดยเคลื่อนตัวลงแต่จะมี Thrust Bearing คอยประคองอยู่ การเปลี่ยนความลาดเอียงเล็กน้อยของลูกกลิ้งแท่นหม้อเผาจะช่วยลดแรงกระทำลงที่มีต่อ Thrust Roller ลงได้

แม้ว่า Thrust Roller จะถูกออกแบบมาให้รับแรงกระทำลงของหม้อเผา โดยใช้ระบบไฮโดรลิคจึงสามารถทำงานเช่นนี้ได้ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามเมื่อลูกกลิ้งทุกตัวมีความลาดเอียงอยู่ใน

สำนักงานวิจัยแห่งชาติ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

แนวที่เหมาะสมภายใต้การเดินหม้อเผาที่ปกติ ลูกกลิ้งแต่ละตัวจะสร้างแรงกระทำขึ้นเพื่อผลักหม้อเผาให้เคลื่อนที่ขึ้น โดยหม้อเผาได้กดน้ำหนักหรือมีการสัมผัส Thrust Roller เป็นระยะๆเท่านั้น

แรงกระทำที่เกิดกับลูกกลิ้งสามารถตรวจสอบได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิของ Thrust Bearing และอัตราการสึกของแบริ่ง โดยหม้อเผาส่วนใหญ่ไม่มีเครื่องวัดอุณหภูมิแบริ่งโดยตรง แต่จะใช้อุณหภูมิของเปลือกแบริ่งหรือการวัดอุณหภูมิของบ่าเพลาลูกกลิ้งแทนโดยใช้ไพร์โรมิเตอร์ วิธีอื่น ๆที่ใช้ตรวจสอบแรงกระทำที่เกิดกับลูกกลิ้งคือการถูนิ้วมือกับผิวของลูกกลิ้งไปทั้ง 2 ทิศทาง โดยผิวลูกกลิ้งจะเรียบในทิศทางหนึ่งขณะที่จะหยาบในอีกทิศทางหนึ่ง

ช่วงทางเข้าและทางออกของหม้อเผาต้องมีซีลเพื่อป้องกันอากาศที่ไม่ต้องการที่จะเข้ามาในระบบ ซีลด้านขาเข้าควรมีค่าทนความดัน 4-5 cmH2O ขณะที่ด้านขาออกซีลควรทนความดัน 1 cmH2O หรือน้อยกว่า ลมรั่วจากที่ทางออกหม้อเผาจะเข้าไปแทนที่ลมที่ใช้ในการเผาไหม้ (900-1000 °C) นั่นคือทำให้ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงลดลง ในขณะที่ลมรั่วที่ด้านขาเข้าไม่เพียงทำให้กำลังผลิตและประสิทธิภาพลดลง แต่เป็นการเปิดช่องให้อากาศเย็นเข้าไปในกลางวัฏจักรของสารระเหยซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการจับตัวของวัตถุดิบอย่างมาก จนไปรบกวนการไหลของวัตถุดิบและก๊าซ

ซีลหม้อเผามีการออกแบบที่หลากหลาย ซึ่งจะใช้งานได้ดีถ้ามีการบำรุงรักษาที่ถูกต้อง การออกแบบโดยทั่วไปจะใช้ซีลแบบเปลี่ยนใบได้โดยใช้เหล็กแผ่นที่ยืดยุ่นตัวได้นำมาเรียงรอบๆหม้อเผาแผ่นเหล็กจะสัมผัสกับหม้อเผาที่ซีล (แม้จะเป็นซีลแบบนี้ก็ยังมีการออกแบบที่แตกต่างกันอีกมาก) สาเหตุหลักที่มักทำให้ซีลเสียหายคือการได้รับความร้อนมากเกินไป การป้องกันคือการออกแบบให้ผิวด้านในของซีลหลีกเลี่ยงการสัมผัสความร้อนหรือการใช้ลมเป่า

นอกจากการที่ได้รับความร้อนมากเกินไปซึ่งทำให้ซีลเสียหายแล้ว ยังเกิดจากสาเหตุที่มีการสัมผัสกันระหว่างส่วนที่หมุนและส่วนที่อยู่กับที่ทำให้เกิดการสึกจึงต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาเป็นพิเศษ

การออกแบบเปลือกหม้อเผา จะพิจารณาเหมือนกับการออกแบบท่อนทรงกระบอก การออกแบบที่ดีจะกำหนดตำแหน่งของแท่นที่จะกระจายภาระไปยังส่วนบนและส่วนล่างของหม้อเผานับจากแท่นกลาง รวมทั้งน้ำหนักของเปลือกหม้อเผาที่แขวนอยู่ระหว่างแท่นด้วย ความหนาของเปลือกหม้อเผาจะออกแบบโดยใช้ข้อยืนยันทางสถิติให้สามารถรองรับระดับความเครียดได้ภายใต้ความสามารถของเนื้อเหล็กที่ใช้ รวมถึงสมมติฐานของการออกแบบด้วย

เหล็กที่นำมาใช้ทำเปลือกหม้อเผาจะสูญเสียความแข็งแรง เมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 400 °C แต่ในความเป็นจริงที่อุณหภูมิ 500 °C เหล็กจะมีความแข็งแรงเป็นครึ่งหนึ่งของความแข็งแรงที่

อุณหภูมิบรรยากาศ ดังนั้นอุณหภูมิที่เปลือกหม้อเผาควรได้มีการติดตามเป็นพิเศษอย่างต่อเนื่อง ทำการบันทึกและมีสัญญาณเตือน ซึ่งมักจะมีการนำระบบแสงอินฟาเรดมาใช้ตรวจสอบเพื่อตรวจสอบสภาพอิฐทนไฟ ความหนาของ Coat และระยะ Tire Creep ซึ่งจะไม่เป็นศูนย์ แต่จะอยู่ที่ประมาณ 2 cm ต่อ 1 รอบการหมุน อุณหภูมิของเปลือกหม้อเผาที่เกินกว่า 350 °C ต้องติดตามอย่างใกล้ชิด และควรมีการแก้ไขอย่างถูกต้องก่อนที่อุณหภูมิเปลือกหม้อเผาจะสูงถึง 500 °C ซึ่งจะทำให้เปลือกหม้อเผาเสียรูปอย่างถาวร หรือเริ่มมีรอยร้าว

โดยทั่วไปที่แต่ละแหวนของหม้อเผาจะมีส่วนที่หนากว่าปกติคือ ที่ใต้แหวนจะมีส่วนที่หนามากเรียกว่า Tire Course และส่วนที่หนารองลงมาจะอยู่ที่ด้านข้างของแหวนเรียกว่า Flanking Plate สำหรับส่วนอื่น ๆ ของเปลือกหม้อเผาจะบางกว่า Flanking Plate ส่วนที่เกิดรอยร้าวได้ง่ายคือช่วงรอยต่อระหว่าง Flanking Plate และส่วนที่บางกว่า ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ระหว่างแท่นหม้อเผา ส่วนที่เสียได้บ่อย คือ รอยเชื่อมต่อของเปลือกหม้อเผาด้านที่บาง แต่เราสามารถทำเครื่องหมายตรงรอยร้าวไว้ก่อนโดยยังไม่หยุดหม้อเผา รอยร้าวสามารถกำจัดได้โดยการเผาหรือการเซาะจากร่องด้านนอกด้วยมุม 60 °C

การเชื่อมจะต้องใช้โลหะสำหรับเชื่อมให้ถูกต้องและเชื่อมเป็นแนวตรงให้ซ้อนทับกันครึ่งหนึ่งตามแนวยาว เพื่อให้ความร้อนจากการเชื่อมช่วยลดความเครียดที่เกิดจากการหดตัวและแนวเชื่อมที่อยู่ด้านล่าง แนวเชื่อมต้องเป็นเส้นตรงขนานกัน ห้ามเชื่อมแนวสานกันเพราะคุณภาพการเชื่อมจะต่ำและมีความเครียดตกค้าง ชั้นของการเชื่อมจะต้องสูงจนเสมอขอบที่ได้ทำการเซาะร่องไว้ หลังการเชื่อมไม่ต้องทำการลดความเครียดแต่เปลือกหม้อเผาควรรักษาอุณหภูมิให้สูงกว่า 5 °C ตลอดการเชื่อมการหยุดการแพร่กระจายของรอยร้าวที่เป็นที่นิยมใช้คือ การเจาะรูที่ปลายรอยร้าวทั้ง 2 ข้าง แต่มักจะไม่ได้ผลยกเว้นในบางกรณีเช่นรูต้องมีขนาด 2 นิ้วขึ้นไป จึงควรใช้วิธีการเผา และเซาะร่องแล้วเชื่อมใหม่ตามที่ได้อธิบายข้างต้น

นอกจากเรื่องการได้รับความร้อนมากเกินไป ความเสียหายสำคัญที่มักเกิดกับเปลือกหม้อเผาอีกชนิดคือการร้าวของเปลือกหม้อเผา ซึ่งมีสาเหตุมาจากความล้าเนื่องจากความเครียดที่สูงเกินไปจากการหมุนหม้อเผาที่มีระยะห่างของ Tire Pad สูง แม้ว่า Tire Creep จะถูกบันทึกอยู่ทุกวัน แต่ก็ไม่ได้เป็นสิ่งที่แสดงได้แน่ชัดว่าระยะห่างของ Tire Pad เป็นเท่าใด ซึ่งควรใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า Obourg Pen Tester ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ระหว่าง Tire และเปลือกหม้อเผาจากการหมุนได้ สิ่งที่สำคัญกว่านั้นคือจะต้องทำการวัดค่า Ovality ที่ tire ทุกตัวว่าเปลือกหม้อเผามีการบิดตัวไปเท่าใด โดยหากค่า

" %Ovality > เส้นผ่าศูนย์กลางเปลือกหม้อเผา/10 "

สำหรับ Tire ที่อยู่ใกล้กับเฟืองขับหม้อเผาจะต้องมีการหาค่าปกติหรือ Low Ovality เมื่อระยะห่างระหว่าง Tire Pad มีค่าสูงถึงระดับหนึ่ง จะต้องดำเนินการแก้ไข เพราะแม้ว่าเกียร์จะสามารถรองรับเปลือกหม้อเผาที่มีค่า Ovality เล็กน้อยได้ แต่ไม่ได้ถูกออกแบบให้รองรับความเครียด ที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ดังกล่าว Tire Creep จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิเปลือกหม้อเผาและสามารถวัดค่าได้จากสแกนเนอร์บางครั้ง Creep จะเกิดขึ้นตลอดเวลา และจะอยู่ที่ประมาณ 2 cm. ต่อ1 รอบการหมุน การแก้ไขทำได้ด้วยการรอง Tire Pad

Tire Thrusting หรือภาวะโหลดส่วนเกินที่เกิดกับ Tire จะสังเกตได้จากการเกิดการสัมผัสกันของแรงระหว่าง Kiln Tire และอุปกรณ์ที่รองรับ สาเหตุที่มักทำให้ Tire Thrust สูงคือความแตกต่างของความเอียงของลูกกลิ้งกับแกนหม้อเผาที่ลากผ่าน Tire นอกจากนี้บางครั้งการสึกแบบกรวยของ Tire หรือลูกกลิ้งหรือระยะห่างที่สูงเกินไปของ Tire Pad ก็เป็นสาเหตุได้เช่นกัน

Axial thrusting ของ Kiln Tire จะต้องได้รับการแก้ไขก่อนที่จะเกิดการหลุดของชิ้นส่วนโลหะ ออกจากด้านข้างของ Tire เนื่องจากจะเป็นงานยากที่จะทำการแก้ไขในภายหลัง การปรับมุมเอียงของลูกกลิ้งมีผลต่อ Tire Thrust น้อยมาก สิ่งที่จะดำเนินการเพื่อแก้ไขในเรื่องนี้ได้คือ การออกแบบความเอียงให้ที่ถูกต้อง การทำให้ลูกกลิ้งและ Tire ให้เป็นทรงกระบอกกลมหรือลดระยะห่างของ Tire Pad

ระบบขับหม้อเผาจะใช้ระบบเฟืองและพินเนียน (Pinion) ที่ถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานได้มากกว่า 20 ปี ถ้ามีการหล่อลื่นและการตั้งแนวอย่างถูกต้อง การหล่อลื่นจะต้องปฏิบัติตามคำแนะนำจากผู้ขายทั้งค่าความหนืดและอุณหภูมิทำงาน การวัดค่าอุณหภูมิของเฟืองและพินเนียนจะใช้ไพร์โรมิเตอร์ซึ่งอย่างน้อยจะต้องมีการวัดค่า 3 จุดตลอดหน้าเฟือง โดยบันทึกค่าไว้ทุกเดือน ชุดเฟืองที่มีการตั้งตำแหน่งดีแล้วไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเกินกว่า 5°C ในแต่ละฟันเฟือง การปรับตั้งแนวเฟืองควรกระทำเมื่อมีภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเกินกว่า 10°C

ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางถึงปลายระหว่างเฟืองและพินเนียนจะต้องวัดค่าอยู่เป็นประจำ โดยเฉพาะหลังการเกิดเสียหายของอิฐทนไฟทุกกรณี ซึ่งอาจมีผลเสียหายต่อผิวหม้อเผาได้ การวัดค่าจะต้องวัดที่ตำแหน่งเหนือและล่างของซี่ฟันเฟืองพินเนียนในทุกๆตำแหน่ง 60° ของการหมุนหม้อเผาเพื่อให้มั่นใจว่าระยะห่างฯยังคงสามารถใช้งานได้อย่างไม่เกิดปัญหา การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของลูกกลิ้งจะต้องพิจารณาเรื่องการแก้ไขการจัดวางตำแหน่งของเฟือง

กว่า 80% ของแรงม้าที่ใช้ในการขับหม้อเผาเป็นการใช้เพื่อยกน้ำหนักของหม้อเผา การตั้งแนวที่ไม่ถูกต้องจะเป็นการเพิ่มภาระการใช้ไฟฟ้ามากขึ้น การออกแบบทั่วไปจะกำหนดให้มอเตอร์

สามารถรับแรงบิดได้ 2.5 เท่าในระยะสั้นเพื่อเอาชนะแรงเฉื่อยของหม้อเผาในช่วงการเริ่มเดิน (หมุน)หม้อเผา เทคโนโลยีด้านพรีแคลไซเนอร์และการลดระยะเวลาการเผาของวัตถุในช่วงการทำให้หินปูนแตกตัวและหลอมละลายมีแนวโน้มที่จะใช้ความเร็วการหมุนหม้อเผาเพิ่มขึ้นได้

หม้อเผารุ่นเก่าสามารถปรับปรุงเพื่อเพิ่มความเร็วได้ 3 วิธี ดังนี้

- เปลี่ยนอัตราทดเกียร์
- ลดความแรงของมอเตอร์
- ใช้ความถี่ที่สูงกว่าเดิมกับมอเตอร์ไฟสลับด้วยอุปกรณ์ปรับความถี่

ก่อนการตัดสินใจเพิ่มความเร็วรอบหม้อเผา ควรตรวจสอบว่ามอเตอร์จะสามารถรับภาระที่เพิ่มขึ้นในสภาพการเผาที่ผิดปกติได้ ถ้ามอเตอร์ทำงานที่สภาพเกือบเต็มที่อยู่แล้ว ภาวะโหลดที่เกิดในช่วงหม้อเผาเดินผิดปกติ จะทำให้ไม่สามารถควบคุมความเร็วหม้อเผาได้ตามต้องการซึ่งสามารถเกิดผลเสียหายอย่างมากได้ ดังนั้นในการปรับปรุงเพิ่มความเร็วการหมุนหม้อเผา ควรเปลี่ยนใช้มอเตอร์ที่สามารถรองรับภาวะโหลดส่วนเพิ่มได้ โดยระหว่างการเดินหม้อเผามอเตอร์ควรมีภาระอยู่ที่ประมาณ 60% ซึ่งจะช่วยให้รับแรงบิดที่สูงขึ้นจาก Thermal bowing, การเกิด Coating ที่ไม่สม่ำเสมอและการตั้งแนวที่ไม่ถูกต้องได้

แนวหม้อเผา (Kiln Alignment) การตั้งแนวของหม้อเผาจะถูกจำกัดด้วยความดันของแบริ่งระหว่างเพลาของลูกกลิ้งกับแบริ่งอยู่ที่ประมาณ 35 kg/cm2 ซึ่งอาจสูงกว่านี้ได้ถ้าเป็นแบริ่งชนิดแบบปรับตัวเองได้ ความดันของแบริ่งขึ้นกับวัสดุที่ใช้ผลิต (เช่นทองเหลืองหรือเงิน) นอกจากนี้ความยาวของสลักแบริ่งจะต้องสามารถรักษาแรงดันตามที่ออกแบบได้ ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นที่เกิดจากการหมุนของสลักลูกกลิ้ง โดยปกติจะหนาไม่เกิน 125μ เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องมีการตรวจสอบผิวของเพลาเป็นประจำขณะที่หยุดหม้อเผา ก่อนที่จะเกิดรอยสึกมากที่ผิวและเกิดความเสียหายของแบริ่งได้

การออกแบบหม้อเผาจะต้องสามารถรองรับน้ำหนักของวัตถุดิบ อิฐทนไฟ และสิ่งอื่น ๆ ที่มาจับเกาะได้ การที่จะเดินหม้อเผาให้นิ่ง ผิวของสลักลูกกลิ้ง และระยะห่างของแบริ่ง ต้องมีน้ำมันหล่อลื่นที่มีค่าความหนืด ปริมาณ และความสะอาดเพียงพอ การเปลี่ยนแปลงของ Coating ที่ไม่แน่นอนจะทำให้อุณหภูมิของเปลือกหม้อเผาเปลี่ยนแปลง เป็นเหตุให้เกิดการผิดและเสียรูปอย่างถาวรและแบริ่งเสียหาย

การที่ลดความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่หม้อเผาอย่างหนึ่งคือการตั้งแนวช่วงรอยต่อของเปลือกหม้อเผาให้เหมาะสม ซึ่งต้องมีการวัดเส้นแกนหม้อเผาขณะกำลังเดินหม้อเผาโดยการวัดตำแหน่งของ Riding Ring โดยตั้งสมมติฐานว่าแหวนและเปลือกหม้อเผากลมสมบูรณ์

จากนั้นจึงคำนวณตำแหน่งแกนหม้อเผาที่แต่ละ Tire แล้วลากเส้นตรงผ่านแกนดังกล่าว ถ้าเส้นที่ลากไม่อยู่ในแนวเดียวกันกับเส้นที่ควรจะเป็นในทางทฤษฎี โดยยอมให้ห่างจากเส้นในทางทฤษฎีได้ 3 mm. ไปทางซ้ายหรือขวาเมื่อมองจากด้านบน ตำแหน่งในแนวตั้งของแนวแท่นหม้อเผาเทียบกับแนวแกนหม้อเผาทางทฤษฎี อาจมีการแตกต่างกันได้อย่างมาก ในแต่ละหม้อเผา

โดยทั่วไปชุดรองรับหม้อเผาทั้ง 3 ตัว ตัวกลางจะรับภาระสูงที่สุด จึงต้องจัดให้มีระดับต่ำกว่าเส้นทฤษฎีเล็กน้อยเพื่อลดความดันที่แบริ่งลงบางส่วน วิธีการที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการตั้งแนวขั้นสุดท้ายคือการใช้ Ovality Gauge วัดค่าการบิดตัวของหม้อเผาที่แต่ละแท่น จากนั้นลูกกลิ้งจะถูกปรับให้ค่าการบิดตัวทั้งซ้ายและขวาเท่ากัน อย่างไรก็ตาม แต่ละแท่นหม้อเผาไม่จำเป็นต้องถูกปรับให้มี %Ovality ที่เท่ากัน เนื่องจาก Ovality เกิดจากระยะห่างของ Tire Pad อุณหภูมิของแบริ่งก็เป็นตัวแสดงภาระของลูกกลิ้งได้จึงต้องเฝ้าดูอย่างใกล้ชิด Tire Ovality ไม่ควรมีค่าเกิน 0.2% Tire (แหวนหม้อเผา)ที่สึกมากจะทำให้เกิด Tire Ovality มากซึ่งจะต้องถูกเปลี่ยนใหม่

ลูกกลิ้งหม้อเผาถูกออกแบบให้รับน้ำหนักของหม้อเผารวมทั้ง Thrust ที่เกิดจากการเอียงตัวของหม้อเผาด้วย แนวแกนของลูกกลิ้งที่แต่ละแท่นของหม้อเผา จะต้องขนานกับแนวเส้นทางทฤษฎีเพื่อให้สามารถรองรับ Thrust ที่แต่ละแท่นหม้อเผาได้ และแรงทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่ลูกกลิ้งจะรองรับไม่ให้น้ำหนักของหม้อเผาทั้งหมดกดลงมาที่ Thrust Roller ตลอดเวลาในสภาพการเดินหม้อเผาและสภาพ Coat ปกติ การขยายตัวตามแนวยาวของหม้อเผาปกติจะอยู่ที่ประมาณ 20 cm. และต้องมั่นใจว่า Tire จะอยู่ตรงกลางของลูกกลิ้งขณะที่หม้อเผาเดิน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย วรเดช เกรียงสันติกุล เกิดเมื่อวันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยม จากโรงเรียน อัสสัมชัญ บางรัก และเข้าศึกษาต่อจนสำเร็จปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีการศึกษา 2547 เข้าศึกษาในคณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหงในปีการศึกษา 2550 จนสำเร็จปริญญานิติศาสตรบัณฑิตในปีการศึกษา 2552 และได้ศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาของโรงเรียนกฎหมายแห่งเนติบัณฑิตยสภา