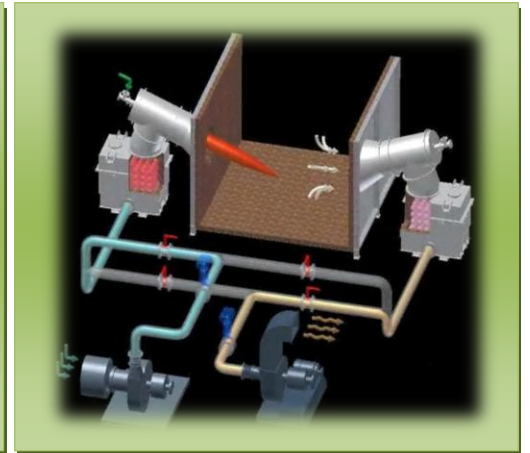




เอกสารความรู้ เรื่อง

เทคโนโลยีการลดมลพิษและประหยัดพลังงานสำหรับอุตสาหกรรม หลอมอลูมิเนียม

โดยคณะกรรมการบริหารจัดการความรู้ของสำนักโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา ๔
กรมโรงงานอุตสาหกรรม (Knowledge Management Team)



บทนำ

สำนักโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา ๔ ได้จัดทำโครงการบริหารจัดการความรู้ในสำนักโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา ๔ กรมโรงงานอุตสาหกรรม (Knowledge Management Team) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีในการลดมลพิษและประหยัดพลังงานสำหรับอุตสาหกรรมหลอมอลูมิเนียม โดยได้คัดเลือกโรงงาน บริษัท บริษัท วโรปกรณ์ จำกัด (มหาชน) ทะเบียนโรงงานเลขที่ ๓-๖๐-๓/๒๖๘๗ ตั้งอยู่เลขที่ ๒๗๔ ม.๔ ถ.สุขุมวิท (กม.๔๑.๕) ต.บางปูใหม่ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ ประกอบกิจการรีดอลูมิเนียมแผ่นเพื่อทำฝาขวดและแผ่นพิมพ์, ทำพอยล์ เป็นโรงงานต้นแบบในการถ่ายทอดเทคโนโลยี เนื่องจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้รับมอบเครื่องจักรและอุปกรณ์ประกอบตามโครงการสาธิตเตาหลอมประสิทธิภาพสูงในอุตสาหกรรมหลอมอลูมิเนียมที่รัฐบาลญี่ปุ่นโดยองค์การพัฒนาพลังงานใหม่และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมแห่งประเทศญี่ปุ่น (NEDO) โดยได้ให้ความช่วยเหลือแบบให้เปล่าตามข้อตกลงที่ได้ทำร่วมกันเมื่อวันที่ ๒๗ มิถุนายน ๒๕๕๐ และตามข้อตกลงเครื่องจักรและอุปกรณ์ประกอบทำการติดตั้งอยู่ที่โรงงานหลอมอลูมิเนียมของบริษัท วโรปกรณ์ จำกัด (มหาชน)

คณะทำงานบริหารจัดการความรู้ของสำนักโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา ๔
กรมโรงงานอุตสาหกรรม (Knowledge Management Team)

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	ก
บทที่ ๑ ความรู้เกี่ยวกับเตาหลอมอลูมิเนียม	
๑.๑ ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเตาหลอมอลูมิเนียม	๑-๑
๑.๒ การถ่ายเทความร้อนภายในเตาไปยังพื้นผิวของโลหะ	๑-๒
๑.๓ ศักยภาพการประหยัดพลังงาน	๑-๓
๑.๔ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	๑-๓
บทที่ ๒ ความรู้เกี่ยวกับรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Burners)	
๒.๑ ความรู้ทั่วไป	๒-๑
๒.๒ ประเภทของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	๒-๒
๒.๓ การแลกเปลี่ยนความร้อนในหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	๒-๒
๒.๔ ประเภทของตัวสะสมความร้อนในหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	๒-๓
๒.๕ ประสิทธิภาพของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	๒-๔
๒.๖ การบำรุงรักษาหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	๒-๔
๒.๗ การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม	๒-๔
๒.๘ ศักยภาพการประหยัดพลังงาน	๒-๔
๒.๙ สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี	๒-๔
๒.๑๐ กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี	๒-๕
๒.๑๑ ราคาของเทคโนโลยี	๒-๖
๒.๑๒ ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี	๒-๖
๒.๑๓ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	๒-๖
๒.๑๔ กรณีศึกษา	๒-๖
บทที่ ๓ กรณีศึกษาเทคโนโลยีหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	
๓.๑ ข้อมูลทั่วไป	๓-๑
๓.๒ ข้อมูลเครื่องจักรที่ปรับเปลี่ยนหัวเผา	๓-๑
๓.๓ ข้อมูลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังปรับเปลี่ยนหัวเผา	๓-๔
๓.๔ ปัญหา/อุปสรรค และข้อเสนอแนะ	๓-๕
ภาคผนวก	
- แสดงภาพการศึกษาดูงานของเจ้าหน้าที่สำนักโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา ๔	
- คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานบริหารจัดการความรู้ในสำนักโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา ๔	
- แผนการจัดการความรู้ (KM Action Plan)	
- แหล่งข้อมูลอ้างอิง	

บทที่ ๑

ความรู้เกี่ยวกับเตาหลอมอลูมิเนียม

๑.๑ ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเตาหลอมอลูมิเนียม

เตาหลอมที่ใช้ในการหลอมโลหะที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแบ่งออกได้ ๓ ลักษณะ ประกอบด้วย

๑) เตาที่เปลวไฟสัมผัสโดยตรงกับโลหะ (Direct fuel fire furnace) เป็นเตาที่เปลวไฟจากการสันดาปสัมผัสโดยตรงกับโลหะในอ่างหลอม (Melting bath) มีการสูญเสียของธาตุผสมประมาณ ๕ – ๒๕% ตัวอย่างคือเตานอน (Reverberatory furnace) ใช้หลอมโลหะในปริมาณมาก สงถ่ายพลังงานความร้อนโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน มีการแบ่งสวนของเตาออกเป็น ๓ สวน ประกอบด้วย สวนที่ใช้ในการอุ่นเศษโลหะร้อน (Preheat zone) สวนหลอมละลายโลหะ (Melting zone) สวนควบคุมอุณหภูมิเหน้าโลหะ (Holding zone or Superheat zone)

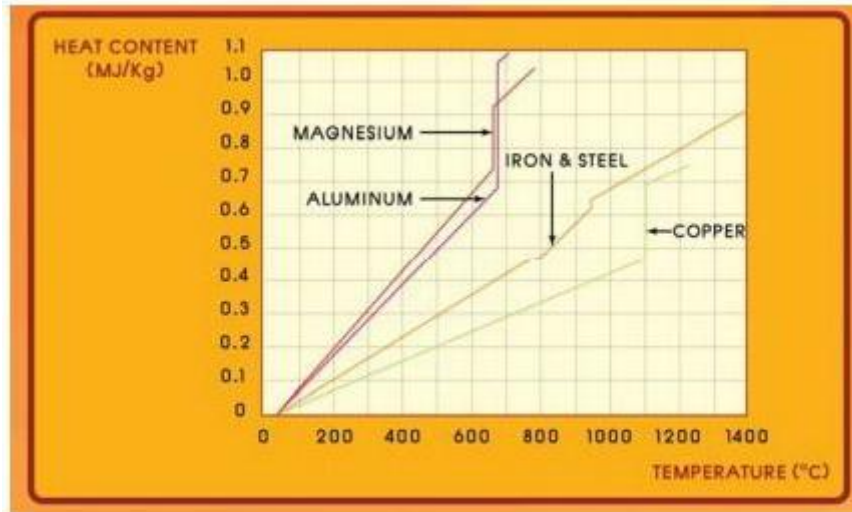
๒) เตาที่เปลวไฟไม่สัมผัสโดยตรงกับโลหะ (Indirect fuel fire furnace) เป็นเตาที่มีภาชนะรูปทรงกระบอกสูง (Crucible) รูปร่างคล้ายกะทะ (Hearth) รูปร่างทรงกระบอกสูง (Shaft) เพื่อใช้บรรจุน้ำโลหะป้องกันก๊าซสันดาปสัมผัสโดยตรงกับน้ำโลหะหลอมเหลวเรียกว่าเบ้าหลอม เตาเบ้าแบบนี้สามารถใช้เชื้อเพลิงจากการสันดาปจากถ่านโค้ก น้ำมัน และก๊าซเชื้อเพลิง สามารถติดตั้งหัวเผาแบบอัตโนมัติ (Automatic burner) ที่สามารถควบคุมอัตราการเผาไหม้ และควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ หัวเผาสามารถปิด – เปิดด้วยระบบอัตโนมัติซึ่งทำ ให้ประหยัดพลังงานได้ถึง ๓๐% เตาเบ้าแบบนี้มีการสูญเสียของธาตุผสมประมาณ ๑ – ๒% เบ้าหลอมทำจากวัสดุทนความร้อนต้องมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง สงถ่ายความร้อนดี ทำจากวัสดุกราไฟต์ ใช้กับเตาเกลือในงานอบชุบโลหะด้วยความร้อน ทำจากวัสดุดินทนไฟผสมกับกราไฟต์ และวัสดุคาร์บอนผสมซิลิคอนคาร์ไบด์ใช้กับการหลอมอลูมิเนียม และทองแดงผสม ทำจากวัสดุอลูมินาผสมสูงใช้กับการหลอมโลหะบริสุทธิ์ และเบ้าโลหะทำจากโลหะพลาตินัมใช้กับการเผาสิโนแร่ในการวิเคราะห์ส่วนผสมของธาตุ ทำจากวัสดุเหล็กหล่อเหนียวเคลือบผิวด้วยวัสดุทนไฟใช้กับการหลอมโลหะแมกนีเซียมผสม แต่ต้องระวังการปนเปื้อนออกไซด์ และเหล็กในน้ำโลหะ เตาเบ้าแบบนี้แบ่งออกได้ ๕ ชนิด ประกอบด้วย เตาเบ้าแบบยกเบ้าหลอมได้ (Lift – out furnace) เตาเบ้าแบบยกเบ้าหลอมไม่ได้ (Bate – out furnace) เตาเบ้าแบบเอียงเหน้าโลหะได้ (Tilting furnace) เตาแบบถายความร้อน (Immersed crucible furnace) เตาเบ้าแบบหมุน (Rotary crucible furnace)

การสร้าเตาเบาลอมโลหะสำหรับงานหลอมดวยแมพิมพ์ (Die casting) งานหลอมดวยแบบหลอมถาวร (Permanent mold) งานหลอมดวยแบบทราย (Sand casting) โดยการออกแบบสร้าพัดลมเป่าอากาศ (Combustion blower) และหัวเผาอยู่ในชุดเดียวกัน มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับ (Flame safety) อุปกรณ์จุดไฟอัตโนมัติ (Spark ignition) และอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงอัตโนมัติ (FM approved main gas valve) มีกลไกการยกฝาปิดเตาดวยระบบไฮดรอลิก (Pneumatic) มีการออกแบบผนังวัสดุทนไฟ ๔ ชั้น ไซเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (Neutral gas) หรือก๊าซพรอพเพน (Propane gas)

๓) เตาที่ใช้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้าแบ่งออกได้ ๒ ชนิด ประกอบด้วย เตาแบบความต้านทานดวยกระแสไฟฟ้า (Resistance furnace) ที่มีการออกแบบขดลวดความร้อนทำจากซิลิคอนคาร์ไบด์ซึ่งให้อุณหภูมิได้สูงถึง ๑๖๐๐ °C และขดลวดทำจากโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ (MoSi_๒) ให้อุณหภูมิได้สูงถึง ๑๗๐๐ – ๑๙๐๐ °C และเตาแบบเหนี่ยวนำดวยกระแสไฟฟ้า (Induction furnace) ที่แบ่งออกได้เป็นแบบมีแกนเหนี่ยวนำ (Core induction furnace) และแบบไม่มีการเหนี่ยวนำ (Coreless induction furnace) ซึ่งจะสามารถแบ่งออกได้ ๓ ประเภท คือ เตาความถี่ต่ำ (Low frequency) ไซความถี่ ๕๐ เฮิรตซ์ เตาความถี่ปานกลาง (Medium frequency) ไซความถี่ ๑๕๐ – ๕๐๐ เฮิรตซ์ เตาความถี่สูง (High frequency) ไซความถี่ ๑๐๐ – ๑๐๐๐๐ เฮิรตซ์ การออกแบบและสร้าเตาลอมแบบ Induction skull melting (ISM) ไซสำหรับหลอมโลหะไทเทเนียมและเซอร์โคเนียม ที่ต้องการความบริสุทธิ์สูงดวยเบาลอมโลหะทองแดงที่มีระบบน้ำหล่อเย็นอยู่ในผนังเบาลม ภายใต้อากาศสุญญากาศหรือบรรยากาศที่ควบคุมดวยก๊าซเฉื่อย ดวยขดลวดเหนี่ยวนำไม่มีการใช้วัสดุทนไฟบุผนังเบาลอม จึงไม่มีการปนเปอนในโลหะหลอม การหลอมโลหะจะประกอบด้วยขั้นตอนในการถายเทความร้อนดังนี้

๑.๒ การถายเทความร้อนภายในเตาไปยังพื้นผิวของโลหะ

การถายเทความร้อนภายในชิ้นโลหะโดยการนำความร้อนจากบริเวณพื้นผิวเข้าไปภายใน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ การนำความร้อนและค่าความจุความร้อนของโลหะชนิดนั้นๆ และแสดงโดยค่าสัมประสิทธิ์การถายเทความร้อน เวลาที่ใช้ในการหลอมขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถายเทความร้อน ขนาดและรูปร่างของ ชิ้นงาน ในการที่จะทำให้อุณหภูมิที่แกนกลางถึงจุดหลอมเหลว ทั้งนี้ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการ หลอมโลหะสามารถประมาณได้จากกราฟต่อไปนี้ ซึ่งแสดงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำให้อุณหภูมิของชิ้นโลหะเพิ่มขึ้นและปริมาณพลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลว ซึ่งก็คือช่วงกราฟตั้งชันที่อุณหภูมิไม่เพิ่มขึ้น



รูปที่ ๑-๑ กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนของโลหะ

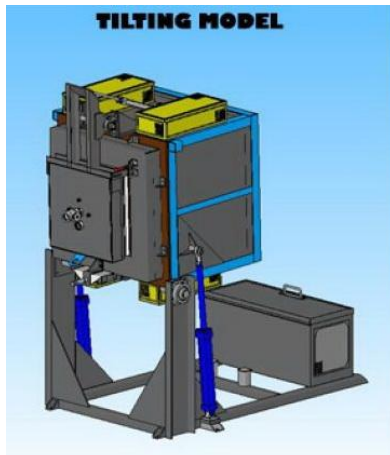
๑.๓ ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

เตาหลอมโลหะเป็นกระบวนการที่อุณหภูมิสูง ซึ่งมักพบในอุตสาหกรรมเหล็ก และโลหะอื่น ๆ ตลอดจนอุตสาหกรรมโลหะต่าง ๆ เช่น ซีเมนต์ แก้ว เซรามิกส์ อิฐ ปูนขาว เป็นต้น แนววิธีการประหยัด มีดังนี้

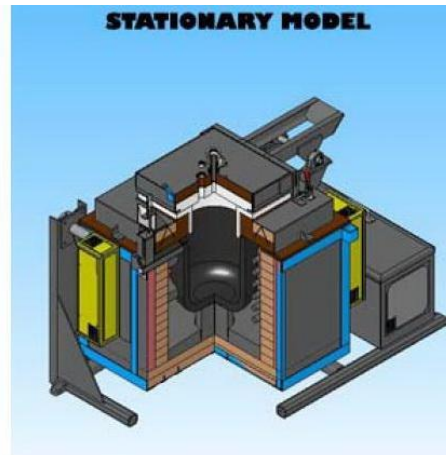
- ปรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้สมบูรณ์
- ฉนวนเตาเพื่อลดความร้อนสูญเสียในการนี้ อาจพิจารณาใช้แผ่นใยเซรามิกส์ ซึ่งกันความร้อนได้ดีกว่า และอมความร้อนน้อยกว่า
- พยายามลดอุปกรณ์ประกอบในตัวเตาและถ้าหากจำเป็นต้องใช้ควรออกแบบใหม่น้ำหนักน้อย ๆ วัสดุที่มีค่าความร้อนจำเพาะต่ำ จะได้ออมความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้อยลง ตัวอย่าง เช่น รถเข็นที่ใช้บรรทุกเซรามิกส์เข้าไปเผาในเตา เป็นต้น
- พยายามอุดรูรั่วหรือลดขนาดของช่องเปิดต่าง ๆ เพื่อไม่ให้ความร้อนสูญเสียออก
- พิจารณานำความร้อนในไอเสียมาใช้ประโยชน์ อาจพิจารณาใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Recuperator) นำความร้อนในไอเสียมาใช้อุ่นอากาศที่จะเผาไหม้ใน Burner เป็นต้น

๑.๔) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ แต่หากติดตั้งร่วมกับหัวเผาที่มีการนำความร้อนจากก๊าซเสียทิ้งมาใช้ในการอุ่นอากาศเผาไหม้ช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงในเตาเผาดีขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงลดน้อยลง จึงถือว่าเป็นอีกแนวทางในการลดปัญหาภาวะโลกร้อนได้



เตาหลอมชนิดเอียงหน้าโลหะ



เตาหลอมชนิดอยู่นิ่งกับที่

รูปที่ ๑-๒ ชนิดของเตาหลอมอลูมิเนียม

Aluminum & Zinc / Stationary models

Models	Alu. Capacity Aluminum (lbs / kgs)	Melting rate Aluminium (lbs/kgs/hr)	Zinc capacity (lbs / kgs)	Power (kW)	Overall dimensions		
					Width (in / cm)	Depth (in / cm)	Height (in / cm)
FCSF 25	150 / 68	100 / 45	380 / 172	26	42 / 106	42 / 106	43 / 109
FCSF 54	330 / 149	200 / 90	830 / 376	40	46 / 116	46 / 142	45 / 114
FCSF 100	600 / 272	300 / 136	1 520 / 689	60	51 / 129	51 / 129	53 / 134
FCSF 130	800 / 362	400 / 181	2 020 / 916	80	51 / 129	51 / 129	60 / 152
FCSF 190	1 150 / 521	500 / 226	2 900 / 1315	110	55 / 139	55 / 139	63 / 160

Aluminum & Zinc / Tilting models

Models	Alu. Capacity Aluminum (lbs/kgs)	Melting rate Aluminium (lbs//kgs/hr)	Zinc capacity (lbs / kgs)	Power (kW)	Overall dimensions		
					Width (in / cm)	Depth (in / cm)	Height (in / cm)
FCBF 21	130 / 58	100 / 45	335 / 151	26	66 / 167	78 / 198	73 / 185
FCBF 48	295 / 133	200 / 90	750 / 340	40	70 / 177	82 / 208	79 / 200
FCBF 90	550 / 249	300 / 136	1 390 / 630	60	75 / 190	87 / 220	92 / 233
FCBF 120	750 / 340	400 / 181	1 900 / 861	80	75 / 190	87 / 220	99 / 251
FCBF 160	1 000 / 453	500 / 226	2 500 / 1133	110	79 / 200	91 / 231	106 / 269
FCBF 320	2 000 / 907	420 / 190	N/A	100	98 / 248	110 / 279	161 / 408

ตารางที่ ๑-๑ ข้อมูลทางเทคนิคของเตาหลอมโลหะ

บทที่ ๒

ความรู้เกี่ยวกับรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Burners)

๒.๑ ความรู้ทั่วไป

หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ คืออะไร หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ คือ หัวเผาที่ออกแบบมาเพื่อให้มีการนำเอาความร้อนที่กลับมามีใช้ให้ได้อีกมากที่สุด ซึ่งก๊าซไอเสียจะนำมาเก็บสะสมความร้อนที่ห้องสะสมความร้อน การสะสมความร้อนสามารถทำได้โดยมีประสิทธิภาพเนื่องจากห้องเก็บก๊าซไอเสียถูกออกแบบให้ใช้วัสดุที่สะสมความร้อนได้สูงมาก อากาศเย็นที่จะใช้ในการเผาไหม้จะแลกเปลี่ยนความร้อนจากห้องเก็บไอเสียทำให้ อากาศที่จะใช้เผาไหม้มีอุณหภูมิสูงใกล้เคียงกับอุณหภูมิใช้งาน ทำให้สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากและ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น นอกจากนี้หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟยังออกแบบเพื่อให้อากาศที่ถูกทำให้ร้อน ขึ้นจนมีอุณหภูมิสูง วิ่งผ่านหัวเผาเข้าไปในเตาเผาด้วยความเร็วสูงกว่าหัวเผาทั่วไป ทำให้แรงการหมุนเวียนของ ก๊าซเผาไหม้ซึ่งส่งผลให้การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผาไปอย่างสม่ำเสมอ และยังช่วยลดอุณหภูมิ สูงสุดของเปลวไฟในห้องเผาไหม้ ทำให้การปลดปล่อย NOx สามารถลดลงได้

โดยทั่วไปหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟมีข้อดีและข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานดังนี้

- ข้อดี

- ขนาดของหัวเผาล็กลงเนื่องจากประสิทธิภาพสูง
 - สามารถนำความร้อนที่กลับมามีใช้ให้ได้อีกมากถึง ๙๐% ทำให้อุณหภูมิอากาศเผาไหม้สูงมาก เนื่องจากการสูญเสียจากก๊าซไอเสียที่มีมากที่สุดในเตาเผาอุตสาหกรรม
 - การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งเตาเผาทำให้ชิ้นงานได้รับอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ
 - เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิในหัวเผาทำให้ลดการติดตั้งชุดอุ่นอากาศแบบรีคูเพอเรเตอร์
 - ประหยัดเชื้อเพลิงทำให้ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
 - ลดการเกิด NOx * ซึ่งทำให้ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- * หมายเหตุ : ปริมาณการเกิด NOx จะขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้ หากปริมาณอากาศ ส่วนเกินสูงขึ้นนอกจากจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนมากขึ้นแล้วยังทำให้ปริมาณการเกิด NOx สูงตามไปด้วย

- ข้อพิจารณาในการเลือกใช้งาน

- ราคาหัวเผาแพงเนื่องจากต้องติดตั้งเป็นคู่ในการใช้งาน (ยกเว้นหัวเผาแบบ Self Regenerative) และมีวาล์วสลับทางในการบังคับทิศทางการไหลของอากาศ
- หากมีการเปลี่ยนการชนิดของเชื้อเพลิงจากของเหลวมาเป็นเชื้อเพลิงก๊าซจะต้องเพิ่มการลงทุนของ สถานีก๊าซ (Bulk Tank) และชุดจ่ายก๊าซเชื้อเพลิง (Gas Valve Train)
- การบำรุงรักษาอาจยุ่งยากซับซ้อนเช่นการทำทำความสะอาดชุดสะสมความร้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของ

เชื้อเพลิง (เชื้อเพลิงเหลวจะต้องทำความสะอาดดีกว่าเชื้อเพลิงก๊าซ)

๒.๒ ประเภทของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

หัวเผาเรเจนเนอเรทีฟในปัจจุบันมีการใช้งานในอุตสาหกรรมอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานและรูปร่างของหัวฉีด (Nozzle Geometry) และวัสดุที่ใช้เป็นตัวสะสมความร้อน โดยทั่วไปมี ๒ ประเภทตามลักษณะการติดตั้งคือ

- หัวเผาเรเจนเนอเรทีฟแบบติดตั้งเป็นคู่ (Twin Bed Burner)

เป็นหัวเผาเรเจนเนอเรทีฟที่ติดตั้งใช้งานเป็นคู่และสลับกันทำงานโดยควบคุมการทำงานวาล์วสลับทางซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาในการสลับกันทำงาน (Switching Time) เหมาะสำหรับหัวเผาขนาดใหญ่ที่มีความต้องการความร้อนมาก แต่ต้องใช้พื้นที่ติดตั้งมากกว่า

- หัวเผาเรเจนเนอเรทีฟแบบหัวเดียว (Self Regenerative Burner)

เป็นหัวเผาเรเจนเนอเรทีฟที่ติดตั้งใช้งานเพียงหัวเดียวแต่มีชุดสะสมความร้อนจำนวน ๒ ชุดติดตั้งอยู่กับหัวเผา โดยทั่วไปเป็นหัวเผาที่มีขนาดเล็กไม่เกิน ๑ MW ความร้อน จึงเหมาะสมสำหรับการติดตั้งในเตาหลอมขนาดเล็กเช่น Pot Furnace

ลักษณะรูปร่างภายนอกและภายในโดยทั่วไปของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ประกอบไปด้วย

- ช่องทางเดินอากาศเผาไหม้และก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้
- ห้องสะสมความร้อนหรือรีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator)
- ตัวสะสมความร้อนแบบลูกบอลกลมหรือแบบรังผึ้ง (Ceramic Ball หรือ Honey Comb)
- ช่องทางเดินเชื้อเพลิง (ก๊าซหรือของเหลว)
- หัวฉีดเชื้อเพลิง (Gas/Oil Nozzle)
- หัวฉีดอากาศเผาไหม้ (Air Nozzle)

นอกจากนี้ในการทำงานของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟยังต้องประกอบไปด้วยวาล์วสลับทางเพื่อทำหน้าที่ป้อนอากาศเผาไหม้และดูดก๊าซไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ โดยวาล์วสลับทางจะต้องมีหน้าที่ต่อไปนี้

- ทำงานเปลี่ยนทิศทางอย่างรวดเร็ว (ควรจะอยู่ใน ๑ วินาที)
- ไม่มีการรั่วไหลเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพตกลง
- ทนทานเนื่องจากต้องทำงานอย่างต่อเนื่องและจำนวนครั้งมาก
- ทนอุณหภูมิ
- ทนการกัดกร่อน

๒.๓ การแลกเปลี่ยนความร้อนในหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

หลักการสำคัญที่ทำให้หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟประหยัดเชื้อเพลิงได้ นั่นคือการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศเย็นที่จะใช้เผาไหม้ ซึ่งชุดหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟประกอบด้วยหัวเผาและรีเจนเนอเรเตอร์ อย่างละ ๒ ชุด และวาล์วสลับทิศทางอีก ๑ ชุด หลักการทำงานคือ หัวเผาชุดที่ ๑ ทำงาน อากาศจากภายนอกถูกป้อนเข้าที่รีเจนเนอเรเตอร์ชุดที่ ๑ ในขณะเดียวกันก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้จะผ่านออกไปทางหัวเผาชุดที่ ๒ และไปเก็บสะสมความร้อนที่รีเจนเนอเรเตอร์ชุดที่ ๒ เมื่อวาล์วสลับทิศทางไหลของอากาศที่ป้อนเข้า อากาศก็จะถูกอุ่นโดยความร้อนที่สะสมในรีเจนเนอเรเตอร์ก่อนที่จะถึงหัวเผาทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น การเผาไหม้ที่หัวเผาชุดที่ ๒ ก็จะประหยัดเชื้อเพลิงได้ การสลับทิศทางของวาล์วจะสลับทุกๆ ๑๐-๒๐ วินาที ขึ้นกับการออกแบบ

ดังนั้นหัวเผาชุดที่ ๑ และ ๒ จะได้รับการอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ตลอดเวลา สำหรับก๊าซร้อนที่ถูกใช้ให้ความร้อนไปแล้วจะถูกดึงออกโดยพัดลมดูดอากาศสำหรับการเผาไหม้

โดยทั่วไปก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกจากปล่องหลังจากผ่านชุดสะสมความร้อนหรือรีเจนเนอเรเตอร์แล้ว จะเหลือไม่เกิน ๒๕๐ °C

๒.๔ ประเภทของตัวสะสมความร้อนในหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

วัสดุที่ใช้ในการผลิตตัวสะสมความร้อนเป็นวัสดุประเภทเซรามิกซึ่งมีอยู่หลายประเภทและมีคุณสมบัติดังแสดงไว้ในตาราง

ตารางที่ ๒-๑ แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการผลิตตัวสะสมความร้อนประเภทต่างๆ

วัสดุดิบ	ส่วนประกอบ	อุณหภูมิใช้งานสูงสุด (°C)	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ($\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)
โคเดไรต์	$2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$	1,200	6
มูไรต์	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1,400	45
อลูมิน่า	Al_2O_3	1,400	78
ลิเทียม-อลูมิเนียมซิลิเกต	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	1,300	6
อลูมิเนียมไททานต	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$	1,500	4

สำหรับตัวสะสมความร้อนในหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟสามารถแบ่งได้เป็น ๒ ลักษณะคือ

- แบบลูกบอลกลม (Ball)

ข้อดี

- ใช้งานง่ายเหมาะกับเครื่องสะสมความร้อนหลากหลายรูปร่าง
- สามารถทำความสะอาดแล้วนำกลับมาใช้ได้อีก
- ผลิตง่ายและมีวัสดุให้เลือกใช้หลายประเภท

ข้อเสีย

- พื้นที่ถ่ายเทความร้อนน้อย ทำให้เครื่องสะสมความร้อนมีขนาดใหญ่มีน้ำหนักมาก
- สูญเสียความดันมากกว่าทำให้มีความสกปรก

- แบบรังผึ้ง (Honeycomb)

ข้อดี

- พื้นที่ถ่ายเทความร้อนมาก ทำให้เครื่องสะสมความร้อนมีขนาดเล็ก
- สูญเสียความดันน้อยกว่าทำให้มีความสกปรกน้อยกว่าแบบลูกบอล

ข้อเสีย

- แตกง่ายเมื่อได้รับแรงกระแทกหรืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เนื่องจากวัสดุทำเป็นชิ้นงานหล่อ

๒. ไอเสียซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ง่ายทำให้เสียหายจากปฏิกิริยาเคมี

๓. เกิดการอุดตัน

โดยทั่วไปชุดรีเจนเนอเรเตอร์แบบรังผึ้ง (Honeycomb) จะดีกว่าแบบลูกบอล (Ball) เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูง การสูญเสียความดันต่ำ แต่มีข้อเสียคือแตกง่ายได้ง่าย

๒.๕ ประสิทธิภาพของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

ประสิทธิภาพของหัวเผารีเจนเนอเรทีฟโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพทางความร้อนของชุดสะสมความร้อนรีเจนเนอเรเตอร์ซึ่งหมายถึงคุณสมบัติในการสะสมความร้อนของลูกบอลเซรามิกหรือรังผึ้ง และความดันสูญเสียในชุดรีเจนเนอเรเตอร์ โดยทั่วไปความดันสูญเสียในชุดสะสมความร้อนจะประมาณ ๑๐๐ มม. H₂O และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนและเวลาในการสลับเปลี่ยนการทำงานของหัวเผา (Switching Time)

๒.๖ การบำรุงรักษาหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

การบำรุงรักษาหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟเหมือนกับการบำรุงรักษาหัวเผาโดยทั่วไป และสิ่งที่ต้องดูแลเพิ่มเติมได้แก่การบำรุงรักษาชุดรีเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งมีดังนี้

- ทำความสะอาดตัวสะสมความร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวสะสมความร้อน และประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยทั่วไปถ้าเป็นเชื้อเพลิงน้ำมันเตาจะต้องทำความสะอาดตัวสะสมความร้อนทุก ๒-๓ เดือน แต่ถ้าเป็นเชื้อเพลิงก๊าซจะต้องทำความสะอาดทุก ๒ ปี
- ทำความสะอาดโดยใช้ไม่ผสมซีเมนต์ขนาดเล็กสำหรับทำความสะอาดลูกบอลเซรามิก
- ขนาดของลูกบอลเซรามิกจะต้องเปลี่ยนเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางเหลือ ๙ มม. จากเดิม ๑๓ มม.
- เนื่องจากหัวเผารีเจนเนอเรเตอร์จะต้องสลับกันทำงานตามจังหวะการเผาไหม้ หากหัวเผารีเจนเนอเรเตอร์สลับกันทำงานทุก ๓๐ วินาที จำนวนครั้งในการสลับกันทำงานจะสูงถึง ๑ ล้านครั้งต่อปี ทำให้ต้องการความเชื่อมั่นในการทำงาน ความทนทานของอุปกรณ์วาล์วสลับทางสูงมาก

๒.๗ การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

เตาอุตสาหกรรมทั่วไปหัวเผาที่ใช้เป็นแบบหัวเผาอากาศเย็น ซึ่งอุณหภูมิอากาศที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศ (ประมาณ ๓๐-๓๕ °C) ซึ่งหากสามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ใช้เผาไหม้ได้จะทำให้ลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ การติดตั้งหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟจะต้องมีการปรับปรุงเตาค่อนข้างมาก หรืออาจจะต้องสร้างเตาใหม่เพื่อให้เป็นเตาสำหรับการใช้หัวเผารีเจนเนอเรทีฟ แต่อย่างไรก็ตามด้วยเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงจึงถือว่าเหมาะที่จะนำมาใช้ทดแทนเทคโนโลยีการอุ่นอากาศเผาไหม้แบบเดิมที่มีการใช้งานอยู่ในระดับอุตสาหกรรม

๒.๘ ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

จากข้อมูลกรณีศึกษาการติดตั้งในต่างประเทศ การให้ความร้อนในเตาอุตสาหกรรมโดยการติดตั้งหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟสามารถลดการใช้พลังงานได้ประมาณ ๔๐%-๕๐% เมื่อเทียบกับการให้ความร้อนในเตาเผาที่ใช้หัวเผาแบบอากาศเย็นทั่วไปและสามารถลด NO_x ได้ประมาณ ๕๐%

๒.๙ สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อุ่นอากาศในการเผาไหม้โดยการติดตั้งหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ สามารถนำความร้อนจากก๊าซร้อนทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ ๑,๔๐๐ °C มาแลกเปลี่ยนโดยจะทำให้อุณหภูมิของอากาศที่จะใช้เผาไหม้สูงได้ประมาณ ๑,๐๐๐ - ๑,๒๐๐ °C และไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของชนิดเชื้อเพลิง



รูปที่ ๒-๑ ภาพแสดงการติดตั้งหัวเผาไร้เงินเนอเรทฟกับเตาเผา



รูปที่ ๒-๒ รูปขยายหัวเผาไร้เงินเนอเรทฟที่ติดกับเตาเผา

- ข้อควรพิจารณาการนำหัวเผาแบบไร้เงินเนอเรทฟมาใช้งาน

- มีความต้องการใช้พลังงานความร้อนมากและอุณหภูมิของห้องเผาไหม้สูง
- มีชั่วโมงการทำงานที่ยาวนานหรือเดินต่อเนื่องซึ่งจะลดช่วงการอุ่นเตา
- การจัดหาเชื้อเพลิง เช่น การขนส่ง การจัดเก็บ และการใช้งาน
- ราคาเชื้อเพลิงต่างๆ เช่น น้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซแอลพีจี
- มีพื้นที่สำหรับติดตั้งชุดหัวเผาแบบไร้เงินเนอเรทฟ

๒.๑๐ กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้แก่

- โรงงานผลิตโลหะ เช่น การรีดเหล็กเส้น โรงงานผลิตโลหะเป็นกลุ่มที่มีศักยภาพการนำเทคโนโลยีไปใช้ เนื่องจากมีเตาหลอม เตาเผาอุณหภูมิสูงประเภทต่างๆ เช่น เตาฮีตติ้ง (Reheating Furnace) อุณหภูมิ ๑,๑๐๐ -๑,๒๐๐ oC และนอกจากนี้ยังสามารถใช้กับเตา Heat Treatment ประเภทต่างๆได้
- โรงงานผลิตอลูมิเนียม โรงงานผลิตอลูมิเนียมจะมีเตาหลอมอลูมิเนียม (Melting Furnace) ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบเช่น แบบ Top Charge, Side Charge ซึ่งเป็นเตาหลอมแบบงวด (Batch) และแบบ Side Well และ

แบบ Open Well ซึ่งเป็นเตาหลอมแบบต่อเนื่อง(Continuous) ใช้งานที่อุณหภูมิภายในเตาประมาณ ๗๕๐ – ๘๐๐ oC การติดตั้งใช้งานหัวเผาจะเป็นแบบรีเจนเนอเรทีฟที่สามารถใช้แทนระบบอุ่นอากาศแบบรีคูเพอเรเตอร์ (Recuperator)

- โรงงานผลิตเซรามิก โรงงานผลิตเซรามิกจะมีเตาเผาเซรามิก ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบเช่น แบบ Tunnel Kiln, Pusher, Roller Hearth Kiln (RHK) และ Shuttle Kiln ซึ่งเป็นเตาหลอมแบบต่อเนื่อง (Continuous) ใช้งานที่อุณหภูมิภายในเตาประมาณ ๑,๒๐๐ – ๑,๖๕๐ oC การติดตั้งใช้งานหัวเผาจะเป็นแบบรีเจนเนอเรทีฟ
- โรงงานผลิตแก้ว โรงงานผลิตแก้วจะมีเตาหลอมแก้ว (Melting Furnace) ใช้งานที่อุณหภูมิภายในเตาประมาณ ๑,๔๐๐ – ๑,๖๐๐ oC ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเศษแก้วที่ผสมในวัตถุดิบ (ยิ่งสัดส่วนของเศษแก้วยิ่งสูง อุณหภูมิในการหลอมจะลดลง) การติดตั้งใช้งานหัวเผาจะเป็นแบบรีเจนเนอเรทีฟโดยห้องสะสมความร้อนจะเป็นอิฐทนไฟเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวสะสมความร้อนไว้ใช้ในการอุ่นอากาศเผาใหม่ มีข้อดีคือมีประสิทธิภาพสูงถึง ๗๐-๘๐% ทำให้อุณหภูมิอากาศเผาใหม่สูงถึง ๑,๐๐๐ -๑,๒๐๐ oC แต่ข้อเสียคือมีขนาดใหญ่ ราคาติดตั้งสูง

๒.๑๑ ราคาของเทคโนโลยี

ราคาของหัวเผารีเจนเนอเรทีฟขึ้นกับขนาดของอุปกรณ์รวมทั้งค่าการติดตั้งที่จะต้องมีการปรับปรุงเตา สำหรับหัวเผารีเจนเนอเรทีฟที่ใช้ชุดสะสมความร้อนแบบลูกบอลขนาด ๒๐๐ x ๑๐๔ kCa/hr ราคาอยู่ที่ประมาณ ๑๑๕,๐๐๐ * เหรียญสหรัฐต่อ ๑ คู่ (๒ หัวเผา) สำหรับขนาดหัวเผ่อื่นจะแตกต่างกันไปตามผู้ผลิต

๒.๑๒ ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

ระยะเวลาคืนทุนของการติดตั้งหัวเผารีเจนเนอเรทีฟนั้นจากข้อมูลจากกรณีศึกษาในต่างประเทศ พบว่าเทคโนโลยีการใช้หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟสามารถให้ผลประหยัดซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ ๑-๒ ปี ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และติดตั้งอุปกรณ์ และระดับอุณหภูมิภายในเตาเผา

๒.๑๓ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การนำความร้อนจากก๊าซเสียทิ้งมาใช้ในการอุ่นอากาศเผาใหม่ช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงในเตาเผาดีขึ้นส่งผลให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงลดน้อยลง จึงถือว่าเป็นอีกแนวทางในการลดปัญหาภาวะโลกร้อนได้ โดยสามารถลดก๊าซที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกและก๊าซที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ ก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้มีผลต่อสิ่งแวดล้อมดังนี้

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้สมบูรณ์ หลีกเลียงไม่ได้ ก๊าซนี้จะทำให้โลกร้อนขึ้น หรือที่เรียกว่าก๊าซเรือนกระจก
- ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซที่เกิดเฉพาะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้สูดดม
- ก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO_x) เกิดจากเชื้อเพลิงที่มีกำมะถัน (ซัลเฟอร์) เป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ถ่านหิน ก๊าซนี้มีผลให้เกิดฝนกรด สามารถแก้ไขได้โดยการใช้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันต่ำหรือติดตั้งระบบบำบัดก๊าซ
- ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง หรือ มีก๊าซออกซิเจนเข้าเผาไหม้มาก ก๊าซนี้จะทำให้เกิดฝนกรดเช่นเดียวกัน และมีผลต่อสุขภาพประชาชน สามารถแก้ไขได้โดย หลีกเลียงสภาวะที่ทำให้เกิด NO_x หรืออาจใช้หัวเผาพิเศษชนิด NO_x ต่ำ

๒.๑๔ กรณีศึกษา

๑) กรณีศึกษาที่ ๑

การติดตั้งหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟสำหรับเตาหลอมอลูมิเนียม



รูปที่ ๒-๓ การติดตั้งหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟสำหรับเตาหลอมอลูมิเนียม

ตารางที่ ๒-๒ แสดงผลประหยัดจากการใช้หัวเผารีเจนเนอเรทีฟเปรียบเทียบกับหัวเผาชนิดอื่น

Operating Cost Comparison Per Hour For

๑๐ mmBTU/hr (๒.๕๒ x ๑๐๖ Kcal/hr) Net Heat Input to Furnace

	(อากาศเย็น) Cold Air	Recuperative 500°C Preheat	Regenerative	Oxy Fuel
Equivalent Burner Input (10 ⁶ Kcal/Hr)	8.09	5.27	3.54	3.54
Natural Gas (NM ³)	909	594	399	399

ตารางที่ ๒-๒ (ต่อ) แสดงผลประหยัดจากการใช้หัวเผารีเจนเนอเรทีฟเปรียบเทียบกับหัวเผาชนิดอื่น
 Operating Cost Comparison Per Hour For
 ๑๐ mmBTU/hr (๒.๕๒ x ๑๐๖ Kcal/hr) Net Heat Input to Furnace

	(อากาศเย็น) Cold Air	Recuperative 500°C Preheat	Regenerative	Oxy Fuel
Fuel Cost (\$)	96.20	62.90	42.20	42.20
Oxygen (NM ³)	-	-	-	913
Oxygen Cost (\$)	-	-	-	80.52
Electrical Cost for Blowers (\$)	1.97	2.67	2.74	-
Total Cost/Hr (\$)	98.17	65.57	44.94	122.72

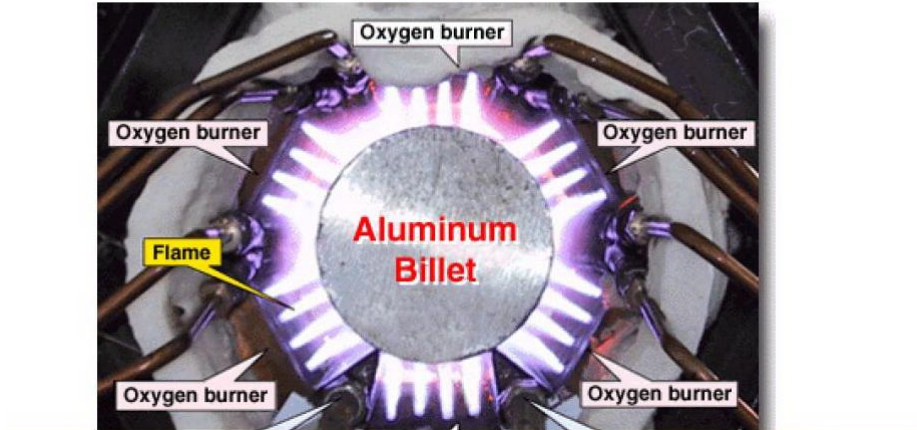
หมายเหตุ

- Efficiencies calculated on furnace exhaust gas temperature of ๑๓๐๐°C
- ราคาเชื้อเพลิง (Fuel Cost) \$๓.๐๐/MM BTU
- ราคาออกซิเจนเหลว (Oxygen Cost) \$๐.๒๕/ccf
- ค่าไฟฟ้า (Electricity Cost) \$๐.๐๗๕/kWh

๒) กรณีศึกษาที่ ๒

กรณีตัวอย่างนี้ใช้หัวเผาออกซิเจนสำหรับอุ่นแท่งอลูมิเนียมแทนอินดักชั่นฮีตเตอร์

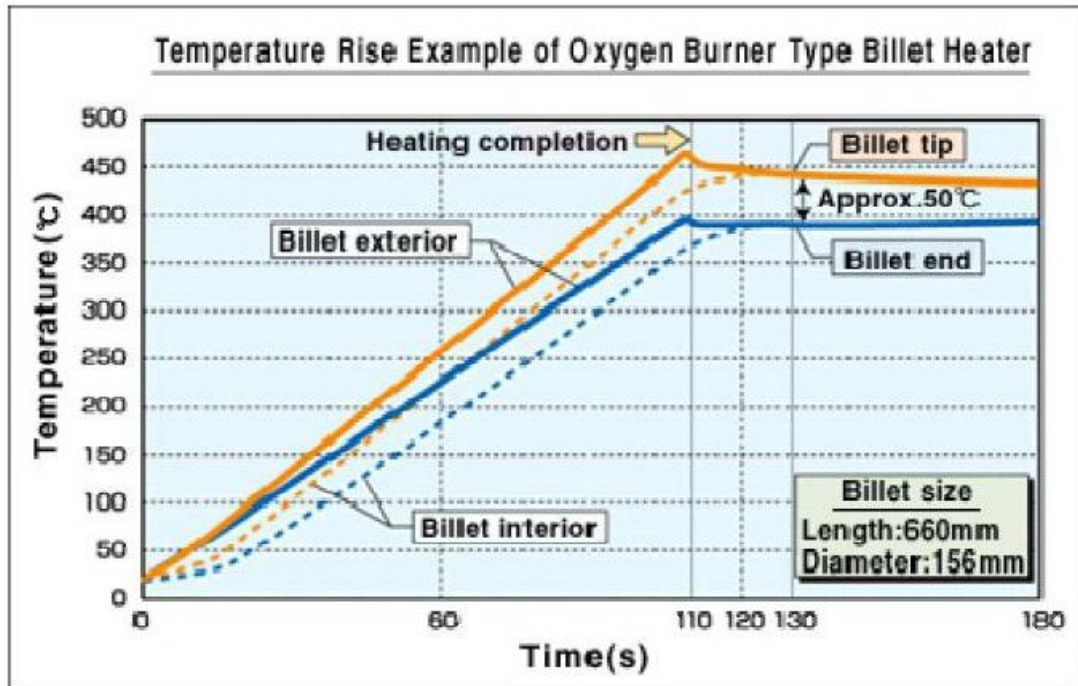
กรณีตัวอย่างนี้ใช้หัวเผาออกซิเจนสำหรับอุ่นแท่งอลูมิเนียมแทนอินดักชั่นฮีตเตอร์



รูปที่ ๒-๔ การติดตั้งหัวเผาออกซิเจนสำหรับอุ่นแท่งอลูมิเนียม

ตารางที่ ๒-๓ เปรียบเทียบผลประหยัดจากการใช้หัวเผาออกซิเจน และการใช้อินดักชั่นฮีตเตอร์เพื่ออุ่นแท่งอลูมิเนียมให้ได้อุณหภูมิ ๔๐๐-๔๕๐ °C

Item	Oxygen burner type	Induction heater type	Remarks
Running cost	50	100	Based on the induction heater type as 100
Quantity of CO ₂ exhausted	40	100	Same as above *With total energy conversion
Heating speed	90 ~ 120 sec	90 ~ 120 sec	0 → 450°C 6B
Heating efficiency	Approx. 40 %	Approx. 40 %	Heat receiving rate/ Heat conductive × 100
Taper heating	Freely between 0°C and 150°C	Not available to all sizes	Inclined temperature for 1000mm
Installation space	Approx. 2 m	Approx. 2 m	
Quality	Rough edge surface without discoloration	Temperature Rise Example of Oxygen Burner Type Billet Heater	



หมายเหตุ ผลประหยัดที่ได้ ๕๐% โดยไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป

บทที่ ๓

กรณีศึกษาเทคโนโลยีหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

๓.๑ ข้อมูลทั่วไป

คณะทำงานได้คัดเลือกโรงงาน บริษัท วโรปกรณ์ จำกัด (มหาชน) ทะเบียนโรงงานเลขที่ ๓-๖๐-๓/๒๖ สป ตั้งอยู่เลขที่ ๒๗๔ ม.๔ ถ.สุขุมวิท (กม.๔๑.๕) ต.บางปูใหม่ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ ประกอบกิจการรีดอลูมิเนียมแผ่นเพื่อทำฝาขวดและแผ่นพิมพ์,ทำฟอยล์ เป็นโรงงานต้นแบบในการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยมีข้อมูลนี้

- ชื่อสถานประกอบการ : โรงงาน บริษัท วโรปกรณ์ จำกัด (มหาชน)
 - ที่ตั้งโรงงาน : เลขที่ ๒๗๔ ถนนสุขุมวิท ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ
 - ประเภทอุตสาหกรรม : อุตสาหกรรมโลหะ (รีดอลูมิเนียมแผ่นเพื่อทำฝาขวดและแผ่นพิมพ์,ทำฟอยล์)
 - เป้าหมายการประหยัดพลังงาน : เป้าหมายประหยัดเชื้อเพลิงและลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของอุปกรณ์ที่ใช้อยู่โดยการแทนที่ด้วยอุปกรณ์ใหม่ดังต่อไปนี้
- ๑) เตาหลอม ชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด
 - ๒) เตาอุ่น ชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด
 - ๓) เตาอบ ชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ ๓-๑ เตาหลอมอลูมิเนียมของ บริษัท วโรปกรณ์ จำกัด (มหาชน)

- เชื้อเพลิงปัจจุบัน : ก๊าซธรรมชาติ
 - วันทำงานต่อปี : ๓๒๐ วันต่อปี
 - ความสามารถในการผลิต :
- ๑) ความสามารถในการหลอม ๑๗,๐๐๐ ตันต่อปี
 - ๒) ความสามารถในการอุ่น ๑๗,๐๐๐ ตันต่อปี
 - ๓) ความสามารถในการอบ ๖,๐๐๐ ตันต่อปี

๓.๒ ข้อมูลเครื่องจักรที่ปรับเปลี่ยนหัวเผา

๑) เตาหลอม

- ความสามารถในการหลอม ๒๐ ตันต่อครั้ง
- เตาตัวเป็นเหล็กชนิดหนาและอิฐทนไฟ
- อุปกรณ์เผาใหม่ ชนิดให้ความร้อนทางตรงและนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ใหม่ได้ (Direct Fired Type Regenerative Gas Burner ๓MW/Burner*๑ set)

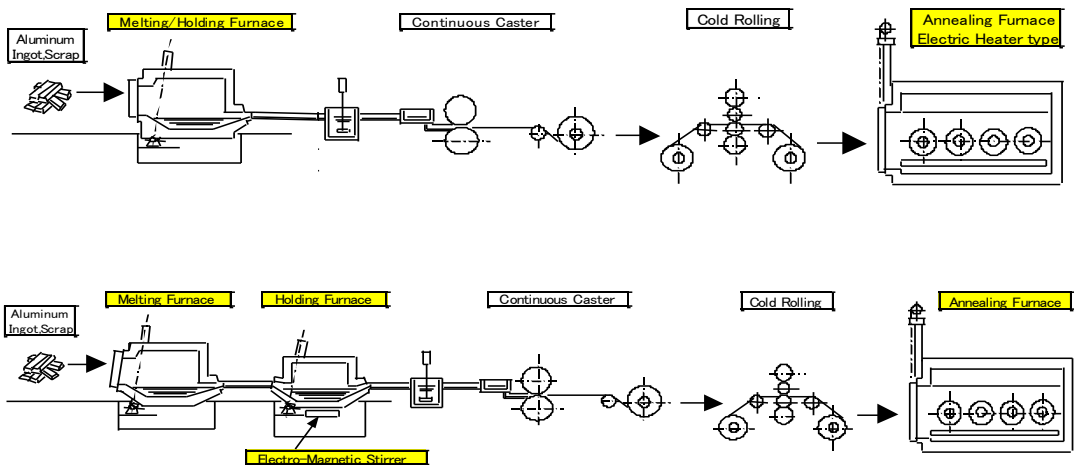
- ระบบยกเท กระบอกสูบไฮดรอลิก ถังและชุดควบคุม
- การออกแบบก่อสร้าง การออกแบบก่อสร้าง วัสดุและการตรวจสอบเป็นไปตามกฎข้อบังคับญี่ปุ่น

๒) เตาอุ่น

- ความสามารถในการอุ่น ๒๐ ตันต่อครั้ง
- เตาตัวเป็นเหล็กชนิดหนาและอิฐทนไฟ
- อุปกรณ์เผาไหม้ ชนิดหัวฉีดผสมก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ต่ำ (Nozzle-mix Type Low NO_x Gas Burner)
- ระบบยกเท กระบอกสูบไฮดรอลิก ถังและชุดควบคุม
- ระบบการกวน อุปกรณ์กวนแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- การออกแบบก่อสร้าง การออกแบบก่อสร้าง วัสดุและการตรวจสอบเป็นไปตามกฎข้อบังคับญี่ปุ่น

๓) เตาอบ

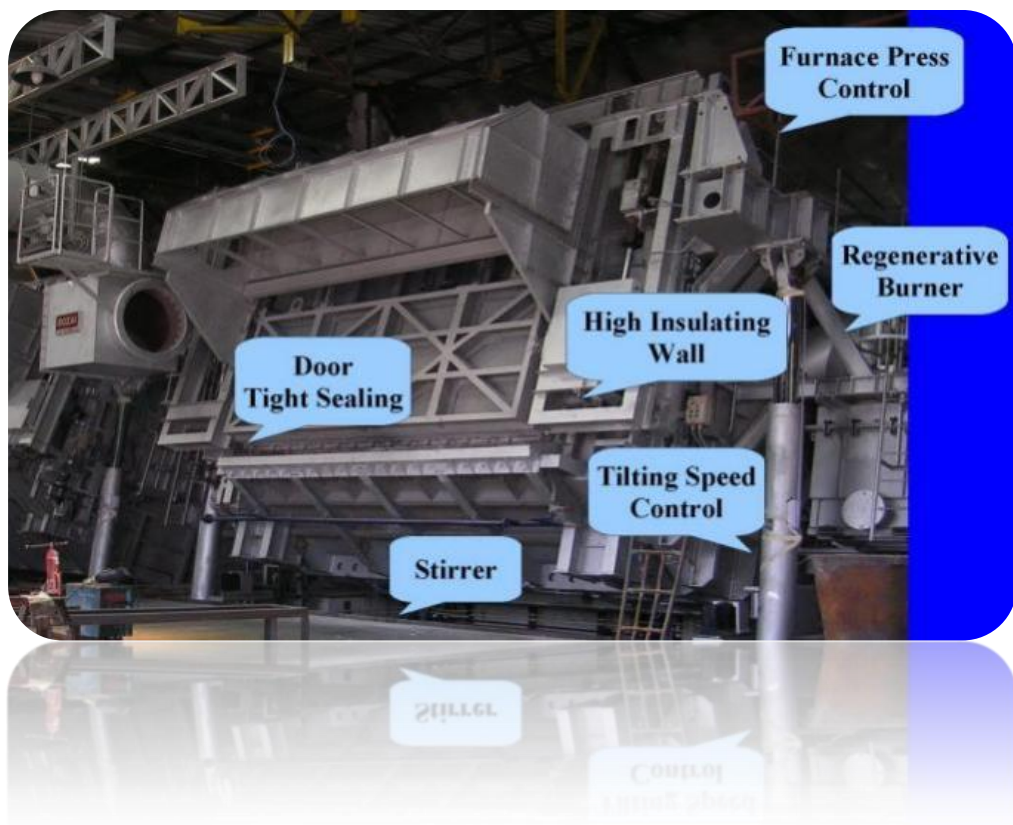
- ความสามารถในการอบ ๔๐ ตันต่อครั้ง
- เตาตัวทำจากเหล็ก ฉนวน และสแตนเลส
- ห้องเตาหมุนเวียนอากาศร้อนโดยกระบังลมทำด้วยแผ่นสแตนเลสกัน
- อุปกรณ์เผาไหม้ ชนิดให้ความร้อนทางอ้อม(หลอดแผ่รังสี) และนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ใหม่ได้
- พัฒลมหมุนเวียนอากาศร้อน พัฒลมหมุนเวียนตามแกนแต่ละตัวมีระบบควบคุมความเร็ว
- ระบบทำความเย็น มีระบบทำความเย็นหมุนเวียนด้วยน้ำ
- ระบบเคลื่อนย้าย เข้า/ออกเตาด้วยชั้นเลื่อน
- การออกแบบก่อสร้าง การออกแบบก่อสร้าง วัสดุและการตรวจสอบเป็นไปตามกฎข้อบังคับญี่ปุ่น



รูปที่ ๓-๒ แสดง line การผลิตเก่า (line บน) และ line การผลิตใหม่ (line ล่าง) หลังจากเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีรีเจนเนอเรทีฟ



รูปที่ ๓-๓ แสดงภาพการทำงานของเตาอบ (Annealing Furnace)



รูปที่ ๓-๔ แสดงภาพการทำงานของเตาหลอม (Melting Furnace) และเตาอุ่น (Holding Furnace)

๓.๓ ข้อมูลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังปรับเปลี่ยนหัวเผา

๑) การวางแผนอุปกรณ์ที่ใช้

- เตาหลอม (Melting Furnace) ๑ ชุด พร้อมอุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องมือและเครื่องควบคุม
- เตาอุ่น (Holding Furnace) ๑ ชุด พร้อมอุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องมือและเครื่องควบคุม
- เตาอบ (Annealing Furnace) ๑ ชุด พร้อมอุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องมือและเครื่องควบคุม

๒) การเผาผลาญเชื้อเพลิงในเตาเดิมก่อนเปลี่ยนมาใช้เตารีเจนเนอเรทีฟ

- เตาหลอมก๊าซธรรมชาติ LPG : ๕๖.๗๒ T J/Y
- เตาอุ่นก๊าซธรรมชาติ LPG : ๓๕.๖๕ T J/Y
- เตาอบก๊าซธรรมชาติ LPG : ๒.๕๔ GWh/Y
= ๒.๕๔ * ๓.๖ = ๙.๑๔ TJ/Y

$$\text{ระบบเผาผลาญเชื้อเพลิง LPG} = ๕๖.๗๒ \text{ T J/Y} + ๓๕.๖๕ \text{ TJ/Y} + ๙.๑๔ \text{ TJ/Y}$$

$$= ๑๐๑.๕๑ \text{ TJ/Y}$$

๓) การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในเตาเดิมก่อนเปลี่ยนมาใช้เตารีเจนเนอเรทีฟ

- เตาหลอมก๊าซธรรมชาติ LPG : ๓,๕๗๗.๓ T/Y
 - เตาอุ่นก๊าซธรรมชาติ LPG : ๒,๒๔๘.๔ T/Y
 - เตาอบก๊าซธรรมชาติ LPG : ๕๗๖.๕ T/Y
- รวมการปล่อยก๊าซ CO₂ = ๖,๔๐๒.๒ T/Y

๔) การเผาผลาญเชื้อเพลิงและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในเทคโนโลยี Regenerative Gas Burner

- เตาหลอมก๊าซธรรมชาติ LPG : ๔๕.๙๑ T J/Y
 - เตาอุ่นก๊าซธรรมชาติ LPG : ๑๗.๒๘ T J/Y
 - เตาอบก๊าซธรรมชาติ LPG : ๔.๔๔ GWh/Y
- รวมเผาผลาญเชื้อเพลิง : = ๔๕.๙๑ T J/Y + ๑๗.๒๘ TJ/Y + ๔.๔๔ TJ/Y
- $$= ๖๗.๖๓ \text{ T J/Y}$$

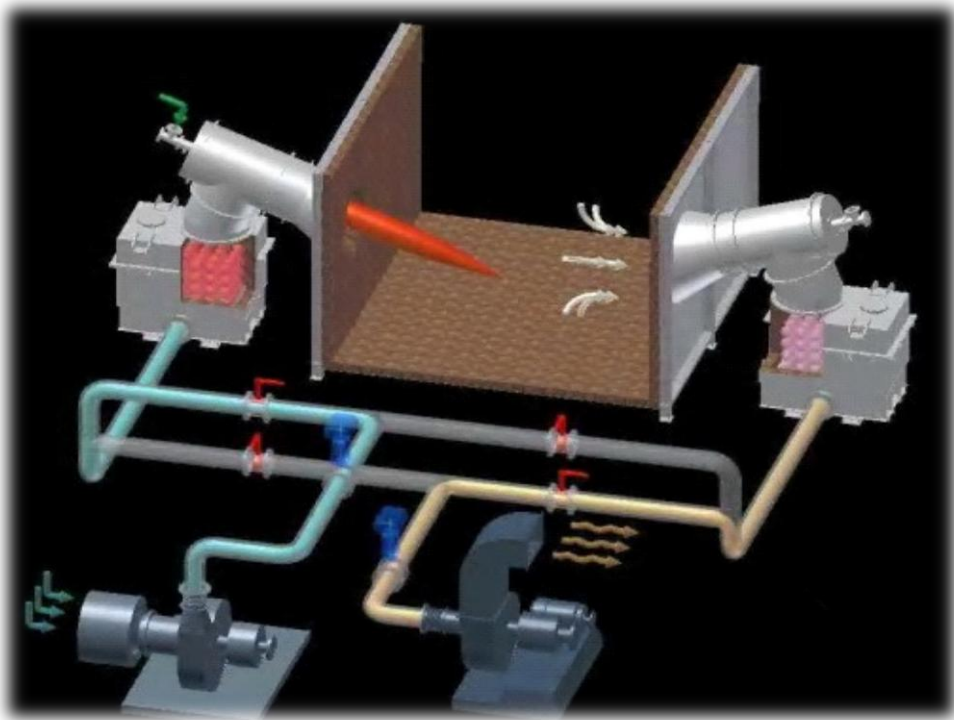
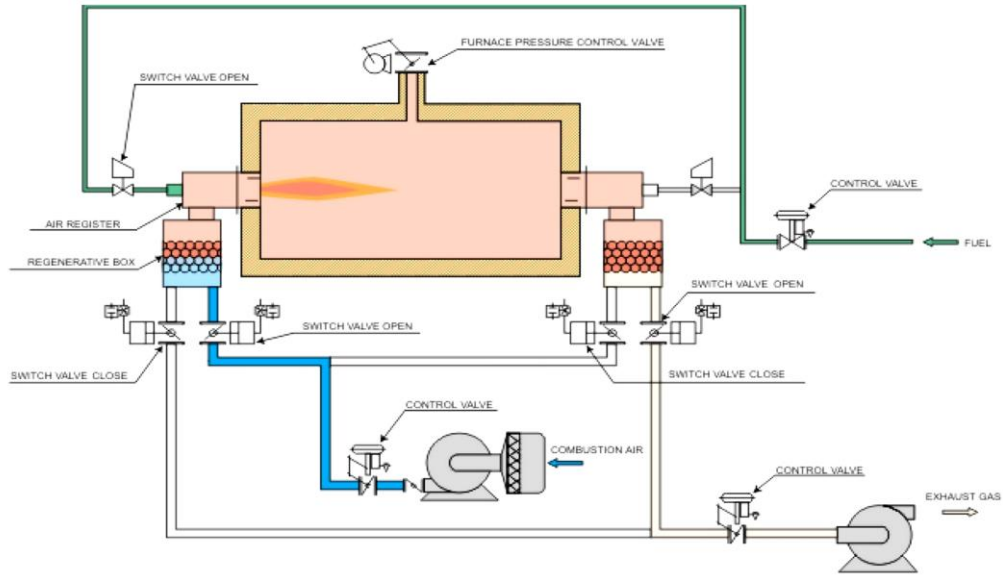
๕) การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในเทคโนโลยี Regenerative Gas Burner

- เตาหลอมก๊าซธรรมชาติ LPG : ๒,๘๙๕.๕ T/Y
 - เตาอุ่นก๊าซธรรมชาติ LPG : ๑,๐๘๙.๘ T/Y
 - เตาอบก๊าซธรรมชาติ LPG : ๒๘๐.๐ T/Y
- รวมการปล่อยก๊าซ CO₂ = ๔,๒๖๕.๓ T/Y

๖) การลดปริมาณเชื้อเพลิง/ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

- เชื้อเพลิงที่ลด ๑๐๑.๕๑ T J/Y - ๖๗.๖๓ T J/Y = ๓๓.๘๘ T J/Y (ลด ๓๓.๔ %)
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ลด ๖,๔๐๒.๒ T/Y - ๔,๒๖๕.๓ T/Y = ๒,๑๓๖.๙ T/Y (ลด ๓๓.๔ %)

หมายเหตุ : ค่าความร้อนสุทธิของพลังงานที่ถูกเผาผลาญ = พลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ * ๓.๖ เมกกะจูล/กิโลวัตต์ชั่วโมง



รูปที่ ๓-๕ ภาพแสดงการทำงานของเตาเผารีเจนเนอเรทีฟ

๓.๔ ปัญหา/อุปสรรค และข้อเสนอแนะ

จากการประเมินผลการเปลี่ยนแปลงเตาหลอมเป็นเตาหลอมประสิทธิภาพสูงด้วยเทคโนโลยีรีเจนเนอเรทีฟพบว่ามีปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น ดังนี้

ปัญหาที่เกิดจากเตาหลอม

- ต้องวางแผนเพื่อเวลาประมาณ ๒ ชั่วโมง ต่อ ๑ หัวเผาเพื่อหยุดเตาระหว่างรอกหลอมอลูมิเนียมเพื่อเปลี่ยน Alumina ball

วิธีแก้ไข หามาตรการปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อลดเวลาในการเปลี่ยน Alumina ball

- มีค่าใช้จ่ายและต้องใช้เวลาในการทำความสะอาดและเปลี่ยน Alumina ball ๑-๒ ครั้ง/เดือน/ ๑ หัวเผา

ปัญหาที่เกิดจากเตาอบ

- ค่าบำรุงรักษาสูง
 - ต้องทำความสะอาดหัวเผาและเปลี่ยน Honey-comb/seal ทุก ๖ เดือน จำนวน ๒๔ ชิ้น
 - ใช้เวลาในการซ่อม ๓ วัน/PM ๑ ครั้ง
 - เปลี่ยน CEM valve actuator ทุก ๑ ปี (๓ ชิ้น/เตา เพราะ CEM actuator มีปัญหาบ่อยจากความร้อน)
- ใช้เวลาในการ Heat up นานเวลาผลิตรวมต่อ batch นาน
 - Ramp up ๔๐-๗๐ องศา/ชั่วโมง เมื่อเทียบกับเตาอื่น ๆ ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติใช้เวลา ๑๘๐-๒๕๐ องศา/ชั่วโมง
 - เหมาะสมกับการใช้งานแบบใช้อุณหภูมิที่ไม่สูงมาก แต่ไม่เหมาะกับการอบแบบใช้อุณหภูมิสูง
- Production time นานจาก Burner capacity ไม่พอและการทำงานที่ละ ๖ burners

ข้อเสนอแนะสำหรับการควบคุมการเผาไหม้ในเตาหลอมโลหะ (โรงงานชนิดหรือประเภทที่ ๕๙ และ ๖๐) ให้มีประสิทธิภาพ

เราสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ให้ดีขึ้นได้ ด้วยวิธีการต่อไปนี้

- ทำความสะอาดหัวเผาเชื้อเพลิงน้ำมันทุกสัปดาห์ และ/หรือเชื้อเพลิงก๊าซทุกเดือน เขม่าหรือสิ่งสกปรกจะทำให้เชื้อเพลิงและอากาศไหลไม่สะดวก ไม่สามารถฉีดเป็นละอองได้
- ควรลดขนาดหัวเผา หากพบว่าหัวเผาทำงานที่ภาระต่ำอยู่ตลอด หรือหยุดบ่อย
- ปรับตั้งทิศทางของหัวเผาให้เหมาะสม อย่าให้เปลวไฟสัมผัสผิววัตถุภายในเตาโดยตรง เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเขม่าและปรับความยาวของเปลวให้เหมาะสม อย่าให้ลวดออกทางปล่องควันหรือประตู

ในกรณีโรงงานใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง

- ควรทำเครื่องหมายไว้ที่เกจวัดความดันน้ำมันเชื้อเพลิง และหมั่นตรวจสอบว่าความดันยัง ใกล้เคียงค่าเดิม
- ควบคุมอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าเผาไหม้ให้เหมาะสม เชื้อเพลิงที่หนืดเกินไปจะกระจายเป็นละอองได้ไม่ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดต่ำลง ขณะเดียวกันอุณหภูมิในเตาจะสูงขึ้นเปลืองพลังงาน และส่วนประกอบในเชื้อเพลิงจะกลายเป็นไอก่อนเข้าเผาไหม้ อีกทั้งทำให้หัวเผาสกปรก
- ล้างกรองน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นประจำ และปล่อยน้ำกันถังอย่างน้อยปีละครั้ง

ข้อเสนอแนะสำหรับเทคโนโลยีหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

- ตรวจสอบสภาพการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ เพื่อไม่ให้มีเขม่าจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกาะที่ Alumina ball ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของ Alumina ball สั้นลง
- ถ้าใช้งานหัวเผาแบบธรรมดา ควรพิจารณาเปลี่ยนเป็นหัวแบบรีเจนเนอเรทีฟที่มีการนำความร้อนปล่อยทิ้งจากเตาเผาเหลือมาอุ่นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้
- ภาครัฐควรส่งเสริมสนับสนุนเทคโนโลยีหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ เพื่อการลดมลพิษและประหยัดพลังงาน

ภาคผนวกแสดงภาพการศึกษาดูงานของเจ้าหน้าที่สำนักโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา ๔
ณ โรงงานบริษัท วโรปกรณ์ จำกัด (มหาชน) เมื่อวันที่ ๕ สิงหาคม ๒๕๕๗









แหล่งข้อมูลอ้างอิง

๑. [http://www๒.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial\(PDF\)/Bay%๒๐๓%๒๐Regenerative%๒๐Burner.pdf](http://www๒.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial(PDF)/Bay%๒๐๓%๒๐Regenerative%๒๐Burner.pdf)
๒. http://www๒.dede.go.th/km_berc/downloads/menu๔/%E๐%B๙%๘๐%E๐%B๙%๙๓%E๐%B๙%๘๔%E๐%B๙%๘๒%E๐%B๙%๙๙%E๐%B๙%๘๒%E๐%B๙%A๕%E๐%B๙%A๒%E๐%B๙%B๕/%E๐%B๙%๘๒%E๐%B๙%A๓%E๐%B๙%๘๓%E๐%B๙%๘๓%E๐%B๙%B๒%E๐%B๙%๙๙/๐๑%๒๐%E๐%B๙%AB%E๐%B๙%B๑%E๐%B๙%A๗%E๐%B๙%๘๐%E๐%B๙%๙C%E๐%B๙%B๒%E๐%B๙%๘๑%E๐%B๙%๙A%E๐%B๙%๙A%E๐%B๙%A๓%E๐%B๙%B๕%E๐%B๙%๘๐%E๐%B๙%๘๘%E๐%B๙%๙๙%E๐%B๙%๘๐%E๐%B๙%๙๙%E๐%B๙%AD%E๐%B๙%๘๐%E๐%B๙%A๓%E๐%B๙%๙๓%E๐%B๙%B๕%E๐%B๙%๙F.pdfการจัด-3
๓. การอนุรักษ์พลังงานความร้อน, เอกสารการฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ๒๕๕๐
๔. เอกสารประกอบการฝึกอบรม THE CORE TECHNOLOGY OF HIGH PERFORMANCE INDUSTRIAL FURNACE ,ROZAI,NEDO,JAPAN
๕. <http://www.eri.chula.ac.th/eri-main/wp-content/uploads/๒๐๑๓/๐๒/๘.๒.๖.pdf>
๖. <http://www.eei-ku.com/technics/Deep/Do๘.pdf>
๗. เอกสารข้อมูลการผลิต, บริษัท วโรปกรณ์ จำกัด (มหาชน) ๒๕๕๗
๘. http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/๕_๒_๑.html