สภาวะเทคโนโลยีการผลิตเหล็กกล้าในประเทศญี่ปุ่น

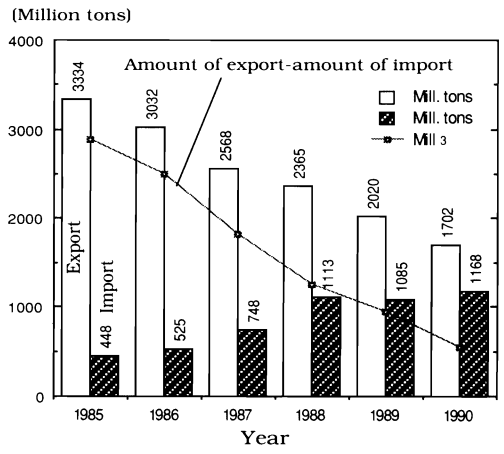
ผศ.วิกรม วัชระคุปต์
ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผลกระทบทางเศรษฐกิจ

1.1 ภูมิหลังทางเศรษฐกิจ

ภายหลังวิกฤตการณ์น้ำมันญี่ปุ่นก็เรียนรู้ว่าไม่สามารถรักษาโครงสร้างอุตสาหกรรมเดิมที่มีโครงสร้างหลักเป็นแบบอุตสาหกรรมทางด้านวัสดุ (Material Industry) เอาไว้ได้ เนื่องจากวัตถุดิบ เช่น แร่และเชื้อเพลิงต่างๆ ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ นับวันจะมีราคาสูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมต่อเรือ ฯลฯ ล้วนแต่ประสบปัญหาแทบทั้งสิ้นในขณะที่หลายประเทศมีทรัพยากรแร่ของตัวเอง และบางประเทศก็มีไฟฟ้าพลังน้ำที่มีราคาถูกใช้อย่างเหลือเฟือ ทำให้ญี่ปุ่นไม่อาจแข่งขันกับประเทศเหล่านั้นได้ นอกจากนี้แล้วมาตรการทางการค้าจากประเทศใหญ่ๆ เช่นยุโรปและสหรัฐอเมริกาก็ทำให้การแข่งขันของประเทศญี่ปุ่นลำบากขึ้น ประกอบกับประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศ เช่น เกาหลี, ไต้หวัน ฯลฯ ก็ได้พัฒนาอุตสาหกรรมขึ้นมาอย่างรวดเร็ว ทำให้ญี่ปุ่นต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอุตสาหกรรมแบบเดิมมาเป็นแบบที่มีอุตสาหกรรมประกอบเครื่องใช้ต่างๆ (Assembly Industry) เป็นหลัก โดยมีอุตสาหกรรมรถยนต์ และอุตสาหกรรมอิเล็คโทนิคส์เป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญ

จากแนวโน้มข้างต้น อุตสาหกรรมเหล็กจึงได้รับผลกระทบอย่างมาก อันจะเห็นได้จากปริมาณการผลิตเหล็กและโดยเฉพาะปริมาณการส่งออกเหล็กที่ลดลงอย่างมาก



รูปที่ 1 แสดงถึงแนวโน้มการส่งออกและนำเข้าผลิตภัณฑ์เหล็กของญี่ปุ่น

ซึ่งในจำนวนการนำเข้าทั้งหมด 45.1% เป็นการนำเข้าจากประเทศเกาหลี 10.5% จากไต้หวัน 8.3% จากบราซิล 6.9% จากสหรัฐอเมริกา และที่เหลือเป็นการนำเข้าจากประเทศจีน, โรมาเนีย, อินโดนีเซีย, อินเดีย และประเทศจากอเมริกาใต้ อื่นๆ

จากปัญหาข้างต้นอุตสาหกรรมเหล็กในญี่ปุ่น จึงพยายามปรับตัวเพราะได้เรียนรู้จากอุตสาหกรรมเหล็กในสหรัฐอเมริกาที่ประสบสภาวะเช่นนี้มาก่อน แต่ไม่สามารถปรับตัวได้จึงเกิดความล้มเหลวของอุตสาหกรรม ญี่ปุ่นได้พยายามปรับรูปแบบของอุตสาหกรรมเหล็กหลายๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นการลดกำลังการผลิตและลดกำลังคนซึ่งมีผลต่อการพัฒนาเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก

1.2 ตัวแปรที่กำหนดทิศทาง

1.2.1 สภาวะพื้นฐาน

อุตสาหกรรมเหล็กในญี่ปุ่นได้ลดกำลังการผลิตและคนงานลงอย่างมากพร้อมกับการปรับโครงสร้างใหม่ด้วยมาตรการต่าง ๆ ที่สรุปได้ดังนี้

ก. การลดกำลังการผลิต ด้วยการปิดเตาและอุปกรณ์การผลิตเหล็กต่างๆ ที่ไม่มีประสิทธิภาพ

ข. การลดกำลังคน บริษัทผู้ผลิตเหล็กได้เปิดกิจการย่อยในสาขาต่างๆ แล้วถ่ายเทงานจากอุตสาหกรรมเหล็กไปยังกิจการเหล่านั้น ซึ่งเป็นวิธีการของญี่ปุ่นในการลดคนงาน

ค. ลดต้นทุนการผลิต โดยการใช้เทคโนโลยีที่ก้าวหน้า

(1) การสนับสนุนการประหยัดพลังงาน

(2) การสนับสนุนการใช้ระบบอัตโนมัติ

(3) อื่นๆ

ง. เพิ่มการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงให้เป็นไปตามความต้องการของตลาด

มาตรการเหล่านี้เป็นตัวกำหนดทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเหล็กกล้าที่จะเกิดขึ้นต่อไป

ตารางที่ 1 แสดงอุปกรณ์และเทคโนโลยีที่พัฒนา เพื่อการประหยัดพลังงานทั้งที่ใช้แล้วและกำลังจะนำมาใช้ในอนาคต

Item	Description		Energy saving
Energy saving equipment and technology developed so far			
Continuous casting equipment	Curtailment of ingot making process, etc. Reduction in fuel necessory for reheating furnace by use of high temperature slabs.	93%	MJ/t 630 to 840
CC-HDR/HCR	Reduction of reheating furnace at rolling processes., reduction in fuel consumption.	50 to 60%	1,050 to 1,260
Continuous annealing plant	Introduction of continuous process in cold rolling finishing process.	-	290 to 460
Blast furnace TRT	Generation of electric power by use of blast furnace gas.	92%	380 to 500
Dry coke quenching equip-ment	Use of inert gas to cool hot coke from coke oven. Using this hot ags, steam is generated.	72%	840 to 1,260
LD gas recovery equipment	Recovery of LD gas before combustion.	90%	840 to 1,000
Scrap preheating equipment	Preheating of material scrap by use of sensible heat contained in waste gas from LD.	60 units	290 to 400
Water cooling EAF	Realization of high effeciency and high voltage operation by means of cooling wall of furnace with water.		290
Energy saving equipment and technology expected to be adopted in the future			
Coke oven humidity adjust-ment equipment	Equipment to decrease moisture contained in coal.	5%	MJ/t 170
Heat recovery equipment for sensible heat contained in slabs	Equipment to recover sensible heet contained in slabs using air.	0%	1,170
DC EAF	Reform of EAF to DC EAF	1%	210
Closed type LD gas recovery	Reduction of loss in LD gas recovery by introduction of closed system	2%	80

1.2.2 ตัวแปรที่สำคัญอื่น ๆ

เนื่องจากอายุการใช้งานเตาถ่านโค้ก (Coke Ovens) กำลังจะหมดไปในราวปี 2,000 และโดยที่กระบวนการผลิตเหล็กดิบด้วยเตา Blast มีข้อจำกัดในเรื่องคุณภาพของแร่เหล็กและถ่านหิน ทำให้ต้องใช้กระบวนการ pretreatments ต่างๆ ที่มีราคาแพง ดังนั้นอุตสาหกรรมเหล็กในญี่ปุ่นจึงมาถึงจุดที่ต้องตัดสินใจว่าจะคงใช้กระบวนการเดิมที่มีเตา Blast Furnace เป็นหลักหรือหาวิธีการอื่นเช่น Smelting Reduction Process มาทดแทน แต่อุตสาหกรรมเหล็กในญี่ปุ่น ก็ดูจะมีแนวโน้มเลือกประการหลังมากกว่า โดยดูจากการลงทุนที่เกี่ยวกับเตา Blast ในระยะหลังๆ มีน้อยมาก

การปรับปรุงเทคโนโลยีใหม่ๆ ก็มักจะอยู่ในขั้นตอน Refining การหล่อหรือการรีดเหล็กมากกว่า (ยกเว้นกรณีการประหยัดพลังงาน) ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะไม่ถูกกระทบไม่ว่าจะยังคงใช้เตา Blast ต่อไป หรือใช้กระบวนการอื่นมาทดแทนการถลุงเหล็กด้วย เตา Blast ก็ตาม

1.2.3 การเปลี่ยนมาผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มสูง

ถึงแม้ญี่ปุ่นจะลดปริมาณการส่งออกลงอย่างมาก แต่มูลค่าการส่งออกก็ไม่ลดลงมากนัก เนื่องจากมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงมากขึ้น เช่นเหล็กแผ่นเคลือบชนิดต่างๆ และเหล็ก TMCP (Thermo Mechanical Control Processing) ที่นำไปใช้ในงานก่อสร้าง โครงสร้างเหล็กทางทะเลและอุตสาหกรรมต่อเรือเป็นต้น

2. การประหยัดพลังงาน

การใช้พลังงานเมื่อคิดเป็นปริมาณของถ่านหินได้ลดลงจาก 94.08 ล้านตัน เหลือ 70.3 ล้านตัน และปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยเหล็กที่ผลิตได้ก็ลดลงถึง 20% เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเลขในปี 1973 การพัฒนาเทคโนโลยีด้านการประหยัดพลังงานสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ

ก. การใช้อุปกรณ์เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูงและการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ข. การปรับกระบวนการผลิตให้เป็นแบบต่อเนื่องและการลดขั้นตอนการผลิตบางอย่างลง

ค. การนำความร้อนที่สูญเสียกลับมาใช้ใหม่

3. การเปลี่ยนแปลงอุปสงค์ของเหล็กกล้า

3.1 ความต้องการจากผู้ใช้

คุณสมบัติของเหล็กกล้าที่ต้องการได้เปลี่ยนไปในทางที่ซับซ้อนมากขึ้นตามความต้องการของตลาดที่เปลี่ยนไป เช่น ในอุตสาหกรรมรถยนต์ที่เป็นผู้ใช้เหล็กแผ่นมากที่สุด ก็หันมาใช้เหล็กแผ่นที่มีการเคลือบผิวชนิดต่างๆ มากขึ้น โดยมุ่งที่จะให้มีความทนทานต่อการกัดกร่อนสูงขึ้น ความต้องการนี้เกิดขึ้นกับอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าและการก่อสร้างเช่นเดียวกัน อันมีผลทำให้เกิดการพัฒนากรรมวิธีการเคลือบผิวแบบต่างๆ ทั้งชนิดชุบด้วยไฟฟ้าและแบบจุ่มร้อน (Hot Dip) ตลอดจนการเคลือบด้วยสารอินทรีย์ (Organic Coating) ชนิดต่างๆ อีกด้วย

ก. เหล็กแผ่นที่ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์

ตารางที่ 2 แสดงถึงเหล็กเคลือบผิวชนิดต่างๆ ที่มีการนำไปใช้กับส่วนต่างๆ ของรถยนต์การเลือกใช้ผิวเคลือบประเภทต่างๆ ขึ้นกับนโยบายในการออกแบบของผู้ผลิตรถยนต์เป็นหลัก แต่ส่วนใหญ่บริเวณตัวถังก็จะเป็นพวกเหล็กเคลือบสังกะสี (Galvanized) หรือสังกะสีผสมเช่น Zn-Fe, Zn-Ni ฯลฯ ซึ่งก็มีทั้งแบบจุ่มร้อนและชุบด้วยไฟฟ้าตลอดจนเคลือบด้วยสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ แนวโน้มการใช้งานก็มักจะเป็นแบบเคลือบ 2 ด้านมากกว่าเคลือบด้านเดียว และน้ำหนักของผิวเคลือบก็จะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 เหล็กเคลือบผิวที่ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์

Usage	Major products
Body	Hot dipping Zn galvanized steel sheet, (Zinc alloy, Non alloy), Electroplating Zn galvanized steel sheet, Electroplating Zinc alloy galvanized steel sheet, Organic film coated galvanized steel sheet, zinchometal
Fuel tank	Terne plated steel sheet
Exhaust system	Al plated steel metal, Copper plated sheet metal

ในส่วนของพวกท่อไอเสียก็มักใช้เหล็กเคลือบอะลูมิเนียม ซึ่งเหล็กที่นำมาเคลือบก็มักจะมีการผสมธาตุบางตัวลงไปเพื่อให้ทนทานต่อการกัดกร่อนดียิ่งขึ้น ส่วนถังน้ำมันเนื่องจากน้ำมันที่ใช้มีแนวโน้มที่จะเติมสารแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น พวกสีหรือสารอินทรีย์ที่เคลือบผิวถังน้ำมันก็มีการพัฒนาให้ทนทานต่อน้ำมันชนิดใหม่ๆ ด้วย

ข. งานก่อสร้างและอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน

ในงานก่อสร้างทั่วไป แผ่นเหล็กเคลือบที่นิยมใช้มากก็จะเป็นพวกสังกะสีผสมอะลูมิเนียมเช่น 5% Al และ 55% Al หรือเป็นพวกเคลือบอะลูมิเนียมล้วน ซึ่งผิวเคลือบเหล่านี้ทนทานต่อการกัดกร่อนดี

สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านก็มีผิวเคลือบแบบต่างๆ ขึ้นกับความต้องการใช้งาน เช่นผิวเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนที่เคลือบสังกะสีหนาก็จะทนการกัดกร่อนดีผิวเคลือบสังกะสีผสมก็จะให้คุณสมบัติด้านการเชื่อมที่ดีและการทาสีที่ดี ฯลฯ

ตารางที่ 3 เหล็กเคลือบผิวใช้ในงานก่อสร้างและอุปกรณ์ไฟฟ้า

Usage	Major products used
Roof, wall interior materials	Zn galvanized steel sheet, Electroplating Zn galvanized steel sheet, Hot dipping Zn-Al alloy plated steel sheet Coated galvanized steel sheet
Exterior materials, sharcy, etc.	Hot dipping Zn galvanized steel sheet (Alloy galvanized, Non alloy galvanized) Electroplating Zn galvanized steel sheet Coated galvanized steel sheet Terne plated steel sheet

ค. กระป๋องเครื่องดื่ม

ที่ญี่ปุ่นในบรรดากระป๋องใส่อาหาร กระป๋องเครื่องดื่มมีปริมาณสูงถึง 90% กระป๋องเครื่องดื่มเหล่านี้ต้องการคุณสมบัติของเหล็กแผ่นที่แตกต่างไปจากกระป๋องใส่อาหารทั่วๆ ไป กล่าวคือ ต้องการเหล็กที่บางกว่า มีผิวเคลือบบางกว่า คุณภาพผิวดีกว่า และความแม่นยำของขนาดสูงกว่า เป็นต้น

เหล็กที่ทำกระป๋องพวกนี้ส่วนใหญ่เป็นพวกเหล็กเคลือบโครเมียม (Tin Free Steel) ที่เคลือบทับด้วยฟิลม์สารอินทรีย์ (Organic Film) หรือเหล็กเคลือบดีบุกและนิกเกิล โดยตัวเนื้อเหล็กเองก็จะเป็นเหล็กที่บางแต่มีความต้านทานแรงดึงสูง (Double Reduced) นอกจากนี้แล้วก็มีการพัฒนากระป๋องประเภท 2ชิ้น (Two-piece Can) ซึ่งเป็นแบบ Draw & Ironing (DI Can) ที่ใช้เหล็กเคลือบดีบุกมาผลิต (DI tin plated steel)

3.2 การแบ่งประเภทของเหล็กแผ่นเคลือบผิว

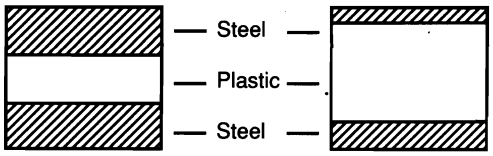
เหล็กแผ่นเคลือบผิวแบ่งได้เป็นประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4

3.3 การขยายตัวของเหล็กกล้า TMCP

เหล็ก TMCP (Thermo Mechanical Control Process) เริ่มนำมาใช้งานเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมต่อเรือ ตั้งแต่ปี 1984 ด้วยคุณสมบัติที่มีความแข็งแรงสูงและคุณสมบัติด้านการเชื่อมดี ตลอดจนคุณสมบัติทางด้านความต้านทานแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำได้ดีอีกด้วย ต่อมาก็มีการขยายเข้าไปในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เพื่อใช้ในการสร้างแท่นขุดเจาะน้ำมันในทะเลในบริเวณที่อุณหภูมิต่ำท่อส่งน้ำมันและแก๊สโดยเฉพาะท่อ UOE นอกจากนั้นมีการใช้งานเพิ่มขึ้นทางด้าน Vessel ทนแรงดันสูง (High Pressure Vessal) และเริ่มมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างอีกด้วย ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างมาตรฐานของเหล็กในชั้นคุณภาพ 50 กิโลกรัม สำหรับการก่อสร้างศึก

3.4 แผ่นเหล็ก Metal/Plastic Sandwitch Laminate

พัฒนาเพื่อจุดประสงค์ในการลดเสียงที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนต่างๆ เช่นรถยนต์ที่วิ่งบนถนน, เครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ จึงถูกนำมาใช้ในที่ต่างๆ เช่นการก่อสร้างถนน, ทางรถไฟ, ในรถยนต์, อุปกรณ์ไฟฟ้า ตลอดจนอาคาร สถานที่ แผ่นเหล็กชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่นที่ประกบหุ้มพลาสติกไว้ข้างในมีทั้งแบบธรรมดาที่เป็น Vibration damping steel sheet และแบบ Light weight laminated sheet ซึ่งมีโครงสร้างต่างกันดังรูปที่ 3



Vibration damping steel sheet
Steel 0.3-2.3mm
Resin 0.05-0.2mm

Light weight laminated sheet
Steel 0.2-0.35mm
Resin 0.3-0.6mm

รูปที่ 3

3.5 แผ่นเหล็ก Clad Steel

เป็นแผ่นเหล็กที่หุ้มด้วยโลหะพิเศษหรือเหล็กพิเศษ เพื่อให้มีคุณสมบัติด้านต่างๆ ดีขึ้นการใช้งานมีหลายลักษณะ ดังแสดงในตารางที่ 6 แผ่นเหล็ก Clad Steel เหล่านี้มีข้อดีในด้านความประหยัด ความสามารถในการแปรรูป (Good workability) และมีประสิทธิภาพสูง

4. อุปสงค์ของตลาดทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่

จากที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าความต้องการของตลาดได้เปลี่ยนไป พร้อมกับอุตสาหกรรมเหล็กในญี่ปุ่นก็ได้สูญเสียสถานภาพความเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญที่สุดของประเทศไปด้วย อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมเหล็กในญี่ปุ่นก็ได้พยายามปรับโครงสร้างของตัวเองเพื่อสนองความต้องการในอนาคต

ตัวอย่างการพัฒนาเทคโนโลยีที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

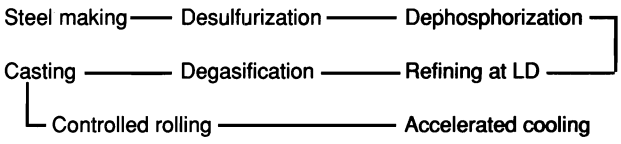
4.1 กรณี TMCP

ตามนิยามใน JIS กำหนดไว้ว่า TMCP เป็นกระบวนการผลิตที่ประกอบด้วยการรีดที่ถูกควบคุม (Controlled rolling) เป็นกระบวนการหลักแล้วต่อเนื่องด้วยการทำให้เย็นตัวแบบเร่ง (accelerated cooling)

รูปที่ 4 แสดงแผนภาพวิธีการ TMCP

การรีดที่ถูกควบคุม (Controlled rolling) เป็นวิธีการรีดเหล็กเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของเหล็กให้ดียิ่งขึ้น โดยทำให้โครงสร้างผลึกมีขนาดเล็กลงด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่เผาเหล็ก (heating temperature) อุณหภูมิในการรีด (rolling temperature) และความดันในการรีด (rolling pressure) ระหว่างกระบวนการรีดร้อนส่วนการทำให้เหล็กเย็นตัวแบบเร่ง (accelerated cooling) เป็นการทำให้เหล็กซึ่งผ่านการแปรรูปร้อนมาแล้ว เย็นตัวลงมาในอัตราที่เร็วกว่าการปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ วัตถุประสงค์ของการทำให้เย็นตัวแบบเร่งก็เพื่อปรับปรุงโครงสร้างผลึกสุดท้ายด้วยการควบคุมการเปลี่ยนแปลง phase ในขณะที่ยังรักษาคุณลักษณะทางโลหวิทยาที่ได้มาจากกระบวนการรีดที่ถูกควบคุมไว้

การรีดที่ถูกควบคุมได้มีการใช้งานมานาน แต่เมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา บริษัทผู้ผลิตเหล็กก็ได้พัฒนาระบบทำให้เย็นตัวแบบเร่งที่อยู่ในสายการผลิต (On-line) ขึ้น อันเป็นผลให้ขยายช่วงคุณภาพของเหล็กที่ผลิตได้ให้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น ด้วยกระบวนการรีดที่ถูกควบคุมและการเร่งเย็นที่เป็นแบบ Online ทำให้สามารถผลิตเหล็กที่มีกำลังวัสดุสูงขึ้น ในขณะที่ยังรักษาคุณสมบัติทางด้าน Toughness ที่อุณหภูมิต่ำไว้ได้ ตลอดจนมีคุณสมบัติด้านการเชื่อมที่ดี



รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนการผลิตในกระบวนการ TMCP จะเห็นได้ว่านอกจากขั้นตอนการแปรรูปที่ต้องควบคุมแล้ว ขั้นตอนการหลอมการปรุงแต่งส่วนผสมและการหล่อก็มีความสำคัญด้วย

4.2 กรณีของเหล็กแผ่นเคลือบ

ในระยะ 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการขยายการผลิตเหล็กแผ่นเคลือบ โดยเฉพาะเหล็กชุบสังกะสีและสังกะสีผสม ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5 และตารางที่ 8 ในปี 1990 ก็มีการติดตั้งสายการผลิตเหล็กชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนเพิ่มอีก 5 ชุด ทำให้การผลิตเพิ่มขึ้นอีก 1.4 ล้านตันจากทั้งหมด 12.94 ล้านตัน การขยายตัวเช่นนี้ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเหล็กแผ่นเคลือบที่มีมูลค่าสูงนี้ขยายตัวไปหลายรูปแบบด้วยกัน ทั้งเทคโนโลยีแบบจุ่มร้อนและชุบด้วยไฟฟ้า ตลอดจนการเคลือบสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ คุณสมบัติและสมบัติใช้งานเหล็กแผ่นเคลือบแสดงให้เห็นในรูปที่ 5

ตารางที่ 4 เหล็กแผนเคลือบผิวประเภทตาง ๆ

Item	Structure If plated film	Thick-ness of plated metal	Features	Major uses
Hot dipping galvanized steel sheet				
Hot dipping Zn galvanized sheet	Zn / Base sheet	60 to 300	Corrosion resistance	Car body, petroleum stove tank, color steel sheet material, sash, roof, duct, container, mark, drum can
Zn alloy hot dipping galva nized sheet	Zn-Fe alloy / Base sheet	30 to 90	Corrosion resistance after painting Weldability	Internal material of washing machine and refrigerator, sash, door shutter, car body
1& 1/2 type hot dipping Zn galvanized steel sheet	Zn-Fe alloy / Base sheet / Zn	30 to 60 90 to 150	Corrosion resistance after painting Weldability	Car body, vending machine, show case
Hot dipping Zn-Al alloy galvanized steel sheet	Zn-Al(55%) or Zn-Al(5%) / Base sheet	60 to 200	Weather resistance Heat resistance	Exhaust system of cars, duct roof, sizing material, container, petroleum stove, toaster parts, metallic tiles∑
Electroplating steel sheet				
Two layers alloy hot dipping Zn galvanized steel sheet	Zn-Fe alloy / Fe-P / Zn-Fe alloy / Base sheet	3 to 6 20 to 60	Crater resistance Corrosion resistance after painting Weldability	Car body
Electroplating Zn galvanized steel sheet	Zn / Base sheet	3 to 50	Corrosion resistance Workability for press	Car body, car chassis, speaker, tank of petroleum stove, stereo, T.V. mark, air conditioner
Electroplating Zn galvanized steel sheet	Zn-Ni, Zn-Fe Zn-Co system / Base sheet	10 to 40	Corrosion resistance after painting Corrosion resistance Workability	Car body Tank of petroleum stove
Two layer electroplating Zn alloy galvanized steel sheet	Fe-Zn, Fe-P / Zn-Ni, Zn-Fe / Base sheet	3 to 5 20 to 40	Corrosion resistance after painting Workability	Car body
Hot dipping galvanized steel sheet				
Hot dipping aluminum plating steel sheet	Al / Base sheet	20 to 75	Heat resistance Weather resistance	Heat resistant Parts of petroleum stove, toaster, etc., Exhaust system of cars
Hot dipping				
Hot dipping terne plated steel sheet	Pb-Sn alloy / Base steel	40 to 75	Corrosion resistance Soldering availability	Fuel tank, radiator parts Chassis, shielded cases and other audio equiment parts
Electroplating steel sheet				
Copper clet oplated steel sheet	Cu / Steel sheet	20 to 130	Brazable Soldering availability	Car brake pipe, oil supply pipe, radiator tank, oil cooler, electric and electronic parts, dish, etc.
Tinplated	Sn / Steel sheet	2 to 17	Corrosion resistance, beauty Paintable, printable	Materials for containers Battery cases
Tin free steel	CrO / Metal Cr / Steel sheet	50 to 150 mg/m2	Paintable Printable	Materials for containers (can, cap) Battery case, film case Home electric appliance

ตารางที่ 4 เหล็กแผ่นเคลือบผิวประเภทต่าง ๆ (ต่อ)

Item	Structure of film	Thickness of plated metal	Features	Major uses
Painted steel sheet				
Printed galvanized steel sheet	Organic resin / Zn, Zn system alloy / Steel sheet	25 to 200 u / 60 to 300	Easy to design Heat resistance Weather resistance	Car interior parts, washing machine Refrigerator, air conditioner Roof etc. Container
Thin organic film coated steel sheet	Organic film / - Zn / - Steel sheet	1 u / 20 to 30	Finger print resistance Easy to lubricate	Materials of home electric appliances Motor cover, chassis,
Black steel sheet	Orginic film / Zn, Zn-Ni other / Steel sheet	1 u / 10 to 20	Easy to design	Materials of home electric appliances OA equipment, Audio equipment
Zinc rich print steel sheet	- Zinchromet - Dachromet - Steel sheet	15 u	Corrosion resistance	Car materials
Organic composite plating steel sheet	Organic film / Chromate / Zn-Ni / Zn	1 u / 20 to 30	Corrosion resistant Weldability Workability	Car materials

ตารางที่ 5 มาตรฐานเหล็กกล้าสำหรับก่อสร้างตึกชั้นคุณภาพ 50 กิโลกรัม

Yield level (kgf/mm2)	Thickness (mm)	Chemical composition	Car bon equivalent (%)	Weldability sensibility (%)	Tensile strength test				Sharby Impact test	JIS
					Yield point (kgf/mm2)	Tensile strength (kgf/mm2)	Elongation	Yield ratio (%)		
33	40.1 to 50	Same to SM50B	Under 0.38	Under 0.24	Over 33	Same to SM50B	Same to SM50B	Under 80	Same to SM50B	SM50B
	50.1 to 100		Under 0.40	Under 0.26						
36	40.1 to 50	Same to SM53B	Under 0.26	Under 0.26	Over 36	Same to SM53B	Same to SM53B	Under 80	Same to SM53B	SM53B
	50.1 to 100		Under 0.27	Under 0.27						

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการใช้งานเหล็ก Clad Steel

Composite functions	Applications
Strength+corrosion	High pressure, high temperature high corrosion resistant vessel Reaction tower, water gate
Stress corrsion crack resistance+strength	Hot tank Chemical reaction vessel
Heat conduction+corrosion resistance	Large pan, container with jackets Plate heat exchanger
Electric conduction + ferromagnetism	Electric parts Electromagnetic cooker
Abration resistance + workability	Industrial machine parts Agricultural machines
Joint for different materials	Joints for pipes Aluminum alloy LNG tank Supports

ตารางที่ 7 การลงทุนของอุตสาหกรรมเหล็กญี่ปุ่นในปี 1990

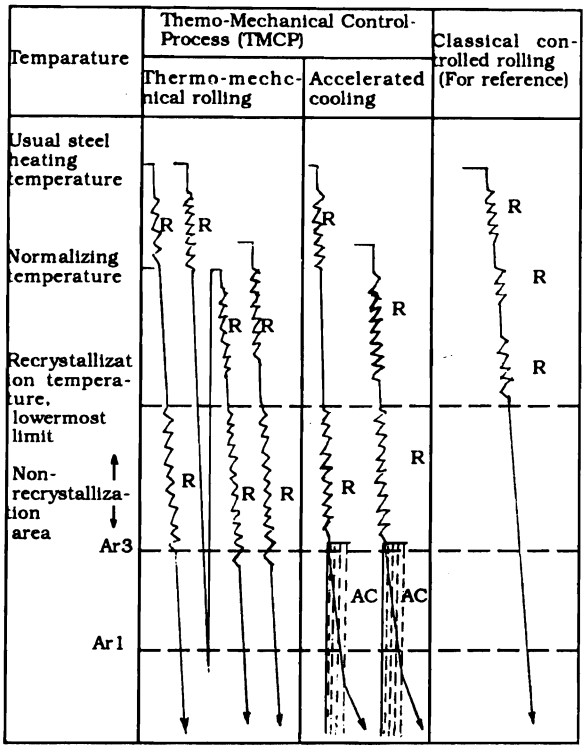
Works	Plant	Construction period	
		Construction start	Completion
Nippon Steel Corp.			
Nagoya	No.2CAPL(New)	'90/12	'91/12
Kimitsu	No.2 CAPL(New)	'90/12	'91/07
	No.4 CGL(New)	'90/11	'91/09
R&D	Device development center	'90/06	'91/09
Yawata	Tobata No.4 BF Repair	'90/01	'90/04
	Cold strip mill (replacement	'89/12	'90/07
Nagoya	No.5 CGL	'89/10	'90/05
R&D	Comprehensive Technical center	'88/17	'91/06
Kawasaki Steel			
Mizushima	No.3 BF repair	'90/03	'90/06
	No.2 EGL	'89/10	'91/07
	No.2 CAPL	'89/10	'91/05
	Silicon steel sheet plant	'88/04	'90/06
Chiba	Cold roll for stainless steel sheet	'89/06	'91/03
	No.2 CGL	'89/10	'91/06
Nisshin Steel			
Kure	Hot strip mill	'88/12	'90/06
Syuunan	EAF replacement	'89/05	'91/02
Sakai	CGL	'88/10	'90/08

Works	Plant	Construction period	
		Construction start	Completion
NKK.			
Keihin	No.4 CAPL(New)	'90/04	'92/03
Fukuyama	No.4 EGL(New)	'90/04	'91/06
	Ap for stainless steel	'90/04	'92/07
	No.4 BF repair	'89/04	'90/06
	Stainless steel refinery (new0	'89/04	'90/08
	No.2 TFS	'88/04	'90/04
	No.2 CGL(New)	'88/04	'90/04
	No.5 EGL(New)	'89/04	'91/01
	Sheet plant refreshment	'89/04	'94/03
Sumitomo Metal			
Steel works	Replacement of foring plant	'90/10	'91/05
	Rolling stock mfg. line improvements	'90/10	'91/01
Kokura	Wire mill	'90/11	'91/06
Kashima	No.2 CAPL(New)	'90/09	'92/02
	No.2 CGL(New)	'90/04	'92/02
	No.3 BF(New)	'90/02	'90/08
	Hot strip mill improvement	'89/07	'91/04
Wakayama	Annealing furnace replacement	'89/10	'91/10
Kobe Steel			
Takasago		'90/07	'92/03
Kakogawa	No.4 CC	'89/10	'91/12
	No.2 CGL	'88/12	'90/12
	N3 Pickling plant	'88/12	'90/08
	No.3 BF repair	'88/04	'92/03
	Hot strip mill refreshment	'89/12	'92/12

ตารางที่ 8 ผลผลิตและการใช้งานเหล็กแผ่นเคลือบประเภทต่าง ๆ

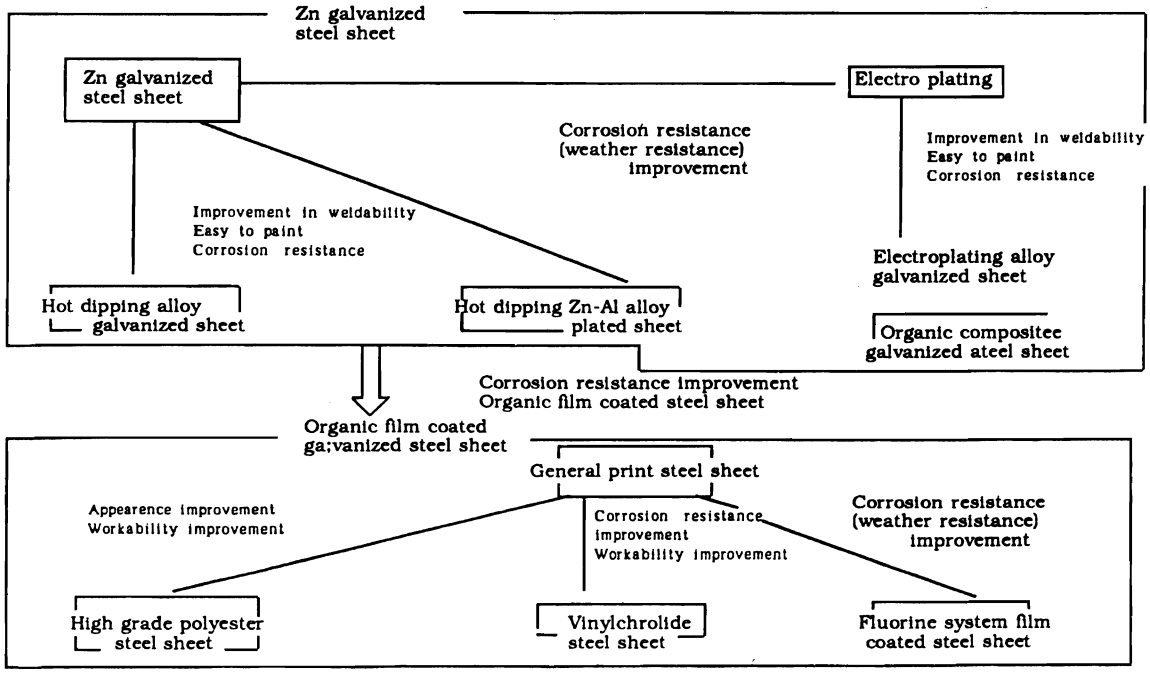
		1979	1985	1986	1987	1988
Automobile						
	Electroplating	59	69	73	96	110
	Hot dipping		58	60	81	119
	Other	16	55	52	48	48
	Zinchrometal	1	1	1	3	2
	Sub total	76	183	186	228	273
Total		682	783	699	779	867
Electric machines						
	Electroplating	47	36	32	33	48
	Hot dipping		27	23	27	33
	Other	6	14	18	16	18
	Zinchrometal	8	8	8	7	8
	Sub total	61	85	81	88	107
Total		142	138	123	138	162
Construction						
	Electroplating	50	5	5	5	6
	Hot dipping		42	45	63	80
	Other	5	15	15	18	17
	Zincro metal	44	46	55	57	66
	Sub total	99	108	121	143	170
Total		135	150	157	181	213

รูปที่ 4 แผนภาพแสดงกระบวนการ TMCP



Notes : R: Rolling, AC: Accelerated cooling

รูปที่ 5 เหล็กแผ่นเคลือบชนิดต่างๆ และสมบัติการใช้งาน



5. เทคโนโลยีการผลิตเหล็กกล้า

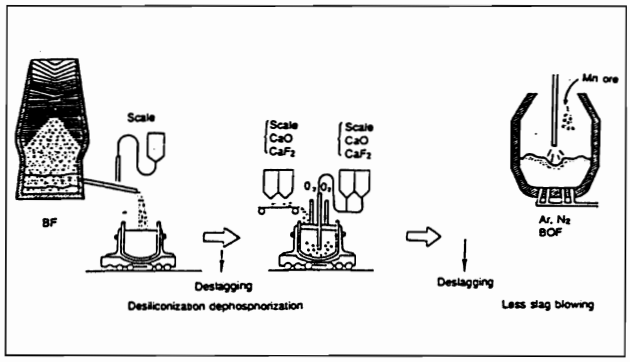
เพื่อสนองต่อความต้องการเหล็กที่มีคุณภาพสูงขึ้นและสะอาดขึ้น จึงได้มีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีต่างๆ เริ่มตั้งแต่การลดซิลิกอน ลดฟอสฟอรัส และลดกำมะถันในขั้นตอน Pretreatment ของเหล็กดิบหลอมเหลว (Hot Metal) ;การเพิ่มอุณหภูมิ, การลดคาร์บอน และการลดฟอสฟอรัสในขั้นตอนของ Basic Oxygen Converter ; และการลดฟอสฟอรัส, ลดซัลเฟอร์, ลดแกสและการลดและควบคุมสารมลทิน (Inclusion) ในขั้นตอน secondary refining (การทำบริสุทธิ์ทุติยภูมิ) ของน้ำเหล็ก

5.1 การทำ Pretreatment ของเหล็กดิบหลอมเหลว (Hot Metal) และการพ่นออกซิเจนที่มีตะกรันน้อย (Less-Slag Blowing)

การทำ Pretreatment ของ hot metal ทำให้สามารถผลิตเหล็กกล้าที่มีความบริสุทธิ์และคุณภาพสูงได้ และยังมีบทบาทสำคัญในการลดปริมาณการใช้ fluxes และ ferro alloy อีกด้วย ในระยะ 10 ปีที่ผ่านมา โรงงานเหล็กในญี่ปุ่นได้พยายามพัฒนากรรมวิธี pretreatment แบบต่างๆ โดยเฉพาะการลดซิลิกอนและการลดฟอสฟอรัส ซึ่งขั้นตอนนี้จัดเป็นส่วนที่สำคัญของโรงงานสมัยใหม่เลยทีเดียว ถึงแม้ว่าตำแหน่งในการติดตั้งส่วนการผลิตของขั้นตอนนี้จะต่างกันไปตามโรงงานแต่โดยทั่วไปแล้วการลดซิลิกอนก็มักจะทำที่ทางวิ่งน้ำเหล็กของเตา Blast (Blast furnace runner) หรือในถังน้ำเหล็กหรือรถ Torpedo และการลดฟอสฟอรัสก็จะทำในถังน้ำเหล็กหรือรถ Torpedo เช่นในกรณีของบริษัท NKK ที่โรงงาน Keihin Work สามารถลด Si จาก 0.2% เมื่อตอนเทลงเหลือ 0.1% ได้ และ P ลดลงจาก 0.1% เหลือ 0.01% ภายหลังการทำการลดซิลิกอนและลดฟอสฟอรัสตามลำดับ

อนึ่งการทำ pretreatment ในอุปกรณ์ขนถ่ายน้ำเหล็ก เช่นถังน้ำเหล็กหรือรถ Torpedo ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุทนไฟที่ใช้กับอุปกรณ์เหล่านี้ด้วย

น้ำเหล็กที่ผ่านการ Pretreat แล้วแทบไม่ต้องการ flux อีกเลยในขั้นตอนพ่น Oxygen ใน Converter เพื่อกำจัด Si, P และ S นั่นก็คือเกิดตะกรันน้อยลง (Less-Slag) นั่นคือขั้นตอนนี้ก็จะเป็นเพียงการลดคาร์บอนและเพิ่มอุณหภูมิน้ำเหล็กเท่านั้น และเพราะตะกรันใน Converter น้อยลง จึงสามารถดึงแมงกานีสกลับมาได้มากขึ้น อีกทั้งยังสามารถเติมแร่แมงกานีส เพื่อเพิ่มแมงกานีสในน้ำเหล็กด้วยปฏิกริยา Reduction ได้อีกด้วย นั่นก็คือปริมาณการใช้ ferro manganese ลดลงได้จาก 8 กก./ตัน เหลือเพียง 2 กก./ตันเท่านั้น



รูปที่ 6 แสดงภาพการลดซิลิกอนและการลดฟอสฟอรัส

5.2 การพ่นใต้เตาของเตาอาร์คไฟฟ้า (Bottom Blowing Electric Arc Furnace)

จำนวนเตาอาร์คไฟฟ้าที่มีการพ่นใต้เตาได้เพิ่มเป็น 15 เตาในปี 1990 การใช้เทคนิคนี้และการหันมาใช้เตากระแสตรง (DC EAF) ช่วยเพิ่มผลผลิตของเหล็กกล้าจากเตาอาร์คและคุณภาพของเหล็กที่ได้

การลดเวลาในการหลอมและการทำบริสุทธิ์ (Refining) ในเตา EAF ได้มีการพัฒนากันมาหลายปี เทคนิคที่นิยมใช้ได้แก่ การอุ่นเศษเหล็ก (scrap preheating) การใช้ไฟฟ้ากำลังสูง (ultra high power), การใช้หัวฉีด (Oxy-fuel burners), การพ่น Oxygen, การกวนด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic stirrer) ตลอดจนการติดตั้งหน่วย Refining ไว้แยกจากเตาหลอม เป็นต้น

เมื่อไม่นานมานี้ โรงงานเหล็กหลายแห่ง ได้ติดตั้งอุปกรณ์พ่นแก๊สใต้เตากับเตา EAF เพื่อลดเวลาในการหลอมและ refining ลง ตลอดจนเพิ่มอัตราการดึงโครเมียมกลับในการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม ที่โรงงาน Himeji Work ของบริษัท Toa Steel Corporation เมื่อติดตั้งระบบพ่นใต้เตาแล้ว ปรากฏว่า yield ของน้ำเหล็กเพิ่มขึ้นประมาณ 1%

เนื่องจากสามารถลดปริมาณเหล็กในตะกรันลงได้ นอกจากนี้แล้วยังมีผลช่วยให้การลดกำมะถันดีขึ้น และเพิ่มปริมาณแมงกานีสในน้ำเหล็กขึ้นอีกด้วย ส่วนโรงงาน Keihin Work ของบริษัท NKK พบว่าในการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิมเมื่อใช้เทคนิคนี้แล้วสามารถเพิ่ม yield น้ำเหล็กได้ 0.7% ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง 50 KWh/t การลดโครเมียมเข้าใกล้สภาวะสมดุลย์ และประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 20% และด้วยการพ่นแร่โครเมียมเข้าไปทางใต้เตาใต้แท่งอิเลคโทรดร่วมกับระบบนี้สามารถเพิ่มการคืนโครเมียมกลับได้สูงถึง 93% จึงเป็นที่คาดกันว่าเทคโนโลยีนี้คงจะมีการใช้งานเพิ่มขึ้นในอนาคต

5.3 เตาอาร์คไฟฟ้ากระแสตรง (DC EAF)

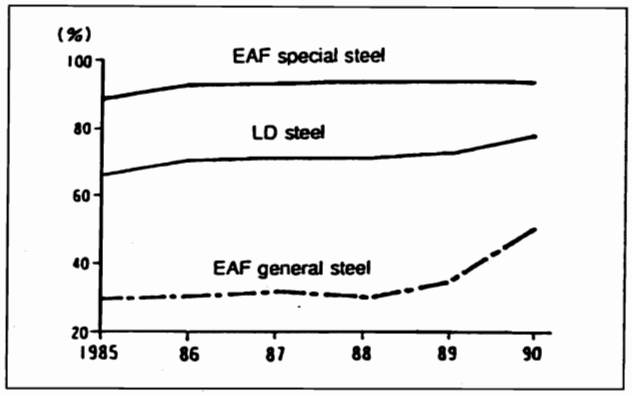
จากสถิติในปี 1990 มีการใช้เตาอาร์คไฟฟ้ากระแสตรงในประเทศญี่ปุ่นถึง 5 เตา และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถลดปริมาณการใช้อิเลคโทรด และการใช้ไฟฟ้าลงได้ และยังช่วยลด power faults ได้อีกด้วย โรงงานแรกที่เริ่มใช้เตาชนิดนี้ก็คือ โรงงาน Toyohashi Works ของบริษัท Topy Industries Ltd. ได้นำเตา AC 30 ตัน มาดัดแปลง ต่อมาบริษัท Tokyo Steel Mfg. ที่โรงงาน Kyushu ก็ได้ติดตั้งเตาขนาดใหญ่ 130 ตัน อีกถึง 4 เตา

การใช้ระบบพ่นใต้เตาและเตาไฟฟ้ากระแสตรงได้เปลี่ยนแปลงคุณลักษณะ และวิธีการติดตั้งของวัสดุ ทนไฟที่ใช้งานกับเตาไฟฟ้าชนิดนี้ไปจากเดิม

5.4 Secondary Refining (การทำบริสุทธิ์ทุติยภูมิ)

รูปที่ 7 และตารางที่ 9 แสดงแนวโน้มการใช้อุปกรณ์ Secondary Refining ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้องการเหล็กที่มีคุณภาพสูงขึ้น อุปกรณ์สำหรับทำ Secondary Refining ที่มีการใช้กันทั่วไป ได้แก่

1. VSC (Vacuum Slag Cleaner)
2. NK-AP
3. RH
4. PI (Powder Injection)
5. Ca-Si wire feeder
6. VOD
7. VAD



รูปที่ 7 แนวโน้มอัตราส่วน Secondary Refining ในการผลิตเหล็กกล้า

ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน Secondary refining

		1984	'85	'86	'87	'88
BOF steel	Treatment ratio		65.9	70.4	71.7	71.7
	Vacuum treatment ratio	50.0	53.3	53.5	52.9	51.4
EAF steel	Treatment ratio	42.5	49.1	51.4	53.4	53.5

อุปกรณ์เหล่านี้มักจะใช้ร่วมกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูง เช่น การใช้อุปกรณ์ลดแก๊ส (Degasing Unit) ร่วมกับอุปกรณ์พ่นผง (Powder Injection) เป็นต้น และด้วยเทคนิคของกระบวนการ Refining ที่พัฒนาขึ้นเรื่อยๆ เพื่อให้ได้เหล็กที่มีคุณภาพดี อุปกรณ์เหล่านี้จึงมักมีส่วนให้ความร้อนด้วย อันทำให้สามารถจัดการกับเหล็กกล้าหลอมเหลวได้เป็นระยะเวลานานๆ เช่น การใช้อาร์คจากอิเลคโทรด ในรูปแบบของเตา Ladle เป็นต้น

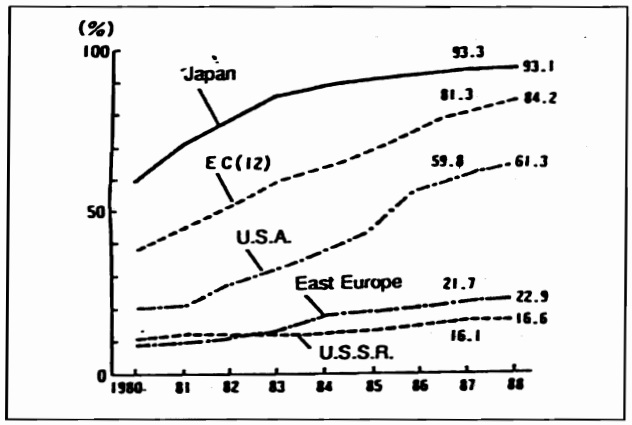
ตัวอย่างการพัฒนาที่สำคัญ ได้แก่การผลิตเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมาก (Ultra low carbon steel) สำหรับผลิตเหล็กแผ่นเพื่อการขึ้นรูปที่ดี ได้มีการปรับปรุงการทำงานของ RH ให้สามารถลดคาร์บอนลงมาในระดับที่ต้องการได้ โดยมี

ประสิทธิภาพสูงขึ้น การปรับปรุงที่สำคัญคือการใช้ Snorkels ขนาดโตขึ้น, เพิ่มปริมาตรของแกสที่พ่นเข้าไป อันจะช่วยให้การไหลเวียนของน้ำเหล็กดีขึ้น และการเพิ่มกำลังของระบบสูบสูญญากาศ

เทคโนโลยี secondary refining ได้มีความสำคัญ และใช้ร่วมกันไปกับกระบวนการผลิตเหล็กกล้าพิเศษต่างๆ และโดยที่ความต้องการเหล็กคุณภาพสูง มีมากขึ้น กระบวนการนี้จึงมีความสำคัญเพิ่มขึ้น อันก่อให้เกิดผลกระทบกับเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์นี้ เช่นวัสดุทนไฟและอุปกรณ์อื่นๆ เป็นต้น

6. การหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Casting)

อัตราการใช้การหล่อแบบต่อเนื่องในประเทศญี่ปุ่น จัดได้ว่าสูงที่สุดในโลก โดยสถิติในปี 1988 สูงถึง 94% อันเป็นผลให้ได้ผลผลิตสูง, คุณภาพสม่ำเสมอ และประหยัดพลังงาน โดยเทคโนโลยีนี้ ได้มีการขยายไปใช้กับเหล็กกล้ามากชนิดขึ้น แนวโน้มการใช้การหล่อแบบต่อเนื่อง แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แนวโน้มการใช้การหล่อแบบต่อเนื่อง

เครื่องหล่อแบบต่อเนื่องสมัยใหม่จะมีผลผลิตสูง เช่น เครื่องหล่อเหล็กแท่งรูปทรงแบน (Slab) รุ่นล่าสุดสามารถผลิต Slabs ได้สูงถึง 360,000 ตันต่อเดือนด้วยเครื่องเพียงชุดเดียว ความเร็วในการหล่อ Slabs ปัจจุบันจะอยู่ระหว่าง 2-3 เมตรต่อนาที

ในระยะหลังได้มีความพยายามที่จะรวม การหล่อแบบต่อเนื่องกับการรีดร้อนเข้าด้วยกัน เพื่อให้มีการใช้ความร้อนจากตัว Slabs เองอย่างเต็มที่

6.1 การเชื่อมต่อโดยตรงระหว่างกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง และการรีดร้อน

การเชื่อมต่อโดยตรงระหว่างกระบวนการรีดร้อนและการหล่อแบบต่อเนื่องแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การป้อน Slab ร้อนจากเครื่อง CC เข้าเตาอบ (Hot Charge) หรือ CC-HCR และการรีด Slab ที่ออกมาจากเครื่อง CC โดยตรง (Direct Rolling) หรือ CC-HDR กระบวนการนี้ได้ทำให้ขั้นตอนในการผลิตลดลง, เวลาในการรอคอยลดลง, ประหยัดพลังงาน (ลดพลังงานในเตาอบเหล็ก) ประหยัดแรงงาน และลดการเก็บสต๊อก Slab ลงได้

เทคโนโลยีต่อไปนี้เป็นองค์ประกอบหลักของ CC-HDR/HCR

6.1.1 เทคโนโลยีการผลิต Slab ที่ไม่มีจุด-บกพร่อง

เพื่อป้องกันจุดบกพร่องใน Slab เช่น รูเข็ม (pin hole) รอยแตกร้าว (Crack) ฯลฯ จึงมีความจำเป็นต้องทำให้เหล็กหลอมเหลวสะอาด และรักษาสภาพนั้นไว้ตลอดการหล่อด้วยการป้องกัน Oxidation จากอากาศ, การรีดทับของตะกรัน (roll-in of slag) และทำให้การแข็งตัวในแบบหล่อมีเสถียรภาพ

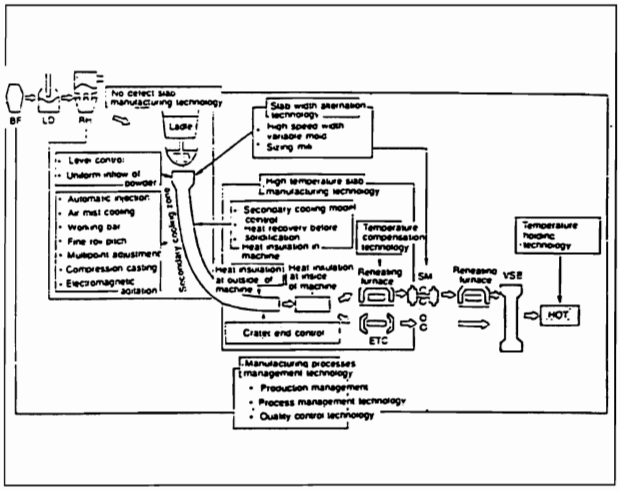
1. การควบคุมผิวเหล็กกล้าหลอมเหลว เป็นการควบคุมระดับน้ำเหล็กภายในแบบหล่อ (mould) ให้คงที่ด้วยเครื่องมือต่างๆ เพื่อป้องกันรอยแตกที่ผิว

2. การใช้สเปรย์อากาศผสมน้ำเพื่อหล่อเย็น ทำให้การเย็นตัวใน mould ในส่วน secondary cooling zone มีความสม่ำเสมอขึ้นป้องกันการแตกร้าวที่ผิว

3. ควบคุมการหล่อภายใต้แรงอัด เนื่องจากการผลิต Slab ที่มีอุณหภูมิสูงด้วยการทำให้เย็นช้าลงจะทำให้เกิดรอยแตกภายใน หากใช้วิธีการหล่อแบบปกติ ทั้งนี้เพราะว่าอุณหภูมิสูงจะทำให้เปลือกของ Slab ขณะแข็งตัว บางลง และความแข็งแรงลดลง ดังนั้นจึงต้องควบคุมแรงขับเคลื่อน Slab ระหว่างการหล่อให้อยู่ภายใต้แรงอัดเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

6.1.2 เทคโนโลยีการผลิตSlab อุณหภูมิสูง

การต่อเชื่อมกระบวนการผลิตระหว่าง CC และ HDR/HCR จำเป็นต้องใช้ Slab ที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งจะได้

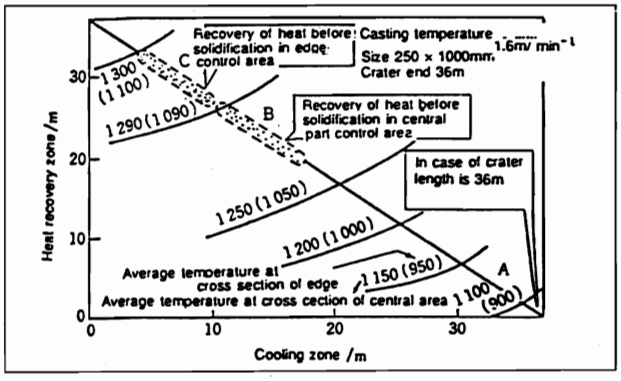


รูปที่ 9 เทคโนโลยีที่ใช้กับ CC-HDR/HCR

มาด้วยการเพิ่มความเร็วในการหล่อ ลดการเย็นตัวในช่วง secondary cooling, การติดตั้งฉนวนกันความร้อนสำหรับ Slab, การลดเวลาการขนถ่าย Slab ฯลฯ

1. การหล่อด้วยความเร็วสูง โดยปกติจะทำให้ใช้ mould powder ลดลง ทำให้เกิดจุดบกพร่องที่ผิวและเพิ่มการเกิด break out จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคต่างๆ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ เช่นการใช้ powder ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ และมีการไหลตัวดี, การออกแบบ mould ที่มีการเย็นตัวอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ การควบคุมระดับน้ำเหล็กใน mould ที่แม่นยำ ฯลฯ

2. การใช้ความร้อนก่อนการแข็งตัว ด้วยการใช้เปลือกเหล็กที่แข็งตัวแล้ว ดูดกลืนความร้อนจากความร้อนแฝงของเหล็กส่วนที่ยังหลอมเหลวอยู่ขณะแข็งตัว วิธีการนี้ทำได้โดยการหยุดการเร่งเย็น



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาว Cooling Zone กับอุณหภูมิของ Slab

3. การปรับอุณหภูมิที่ปลาย Crater end (ส่วนแข็งตัวสุดท้าย) เพื่อให้ได้ Slab ที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดเท่าที่ทำได้ Crater end ต้องอยู่ที่ปลายสุดของเครื่องหล่อแบบต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆ เช่นเครื่อง ultrasonic เพื่อตรวจสอบหาตำแหน่ง Crater end ได้อย่างแม่นยำ

6.1.3 เทคโนโลยีการปรับความกว้างของ Slab

การที่จะปรับความกว้างของ Slab ให้ได้ความต้องการเพื่อให้การผลิต CC-HDR/HCR เป็นไปอย่างต่อเนื่องสามารถทำได้ 2 วิธีคือ 1) การปรับความกว้างของ Slab ระหว่างการหล่อ และ 2) โดยใช้เครื่องรีด

1. Mould ที่สามารถปรับความกว้างได้รวดเร็ว

อุปกรณ์นี้สามารถเปลี่ยนความกว้างได้เร็วถึง 60 มม./นาที

2. เครื่องรีดปรับความกว้าง (Sizing mill)

เป็นเครื่องรีดแบบต่อเนื่อง (tandem mill) 3 แท่น ประกอบด้วยชุดลูกรีด V-H-V (vertical mill-horizontal mill-vertical mill) ที่สามารถให้อัตราผลผลิตสูงกว่า 99%

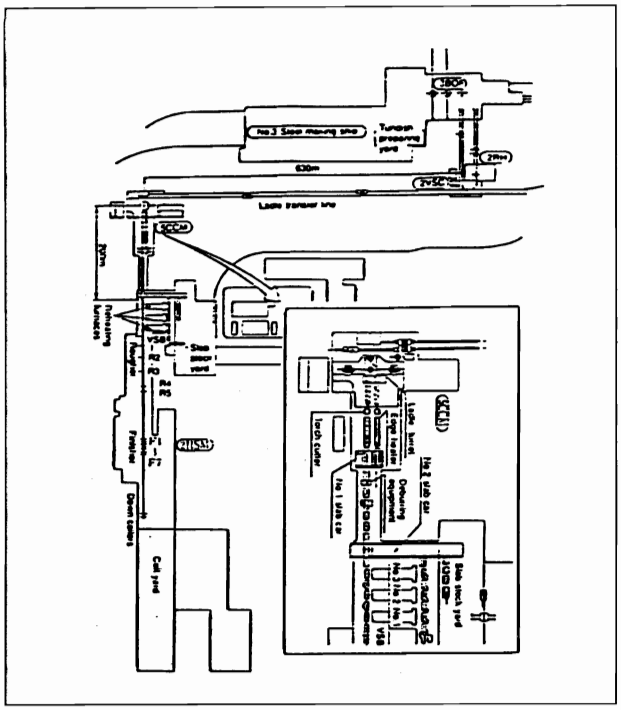
ตัวอย่างต่อไปนี้คือการทำ CC-HDR/HCR ที่ได้ปฏิบัติจริง ที่โรงงาน Fukuyama Work ของบริษัท NKK

1. เครื่องหล่อแบบต่อเนื่อง หมายเลข 5 ได้ปรับให้อยู่ในแนวกับเครื่องรีดร้อน หมายเลข 2 โดยน้ำเหล็กถูกส่งมาโดยรถไฟ

2. ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องหล่อแบบต่อเนื่องให้ทันกับเครื่องรีดร้อน โดยการหล่อด้วยความเร็วสูงเพื่อให้ได้ Slab ที่มีอุณหภูมิสูงพอ

3. เครื่องหล่อเป็นแบบ Vertical bending type เพื่อให้พวก nonmetallic inclusions ลอยตัวได้ดี และใช้ลูกกลิ้งขนาดเล็กประคอง Slab ไว้ เป็นระยะที่ถี่พอสมควรที่จะป้องกันการเกิดรอยแตกร้าวภายในแบบแปลนของโรงงานนี้แสดงไว้ในรูป 11

โรงงานนี้สามารถหล่อ Slab ด้วยความเร็วกว่า 2 เมตรต่อนาที โดยใช้ powder สำหรับหล่อความเร็วสูง, แบบหล่อชนิด uniform force-cooled และการเขย่า



รูปที่ 11 แบบแปลนของโรงงาน Fukuyama ที่ทำการเชื่อมต่อ CCM No.5 กับ No.2 hot strip mill

แบบที่ตรง (non-sinusoidal mold oscillation) ผงหล่อที่ใช้สำหรับหล่อความเร็วสูงมีปริมาณการใช้ประมาณ 0.3กก./ม.^{2} ด้วยการเตรียมสาร Li_2O ลงไปในเครื่องหล่อ No.5นี้มีการใช้ air mist spray เพื่อทำให้การเย็นตัวของ Slab สม่ำเสมอ และด้วยการปรับความกว้างของ Spray ให้เหมาะสมทำให้ป้องกันการเย็นตัวที่มุมมากเกินไปด้วย

วิธีการที่ทำให้คุณภาพของ Slab สูงขึ้น แสดงไว้ในตารางที่ 10 วิธีการที่ใช้ก็เพื่อลดการเกิดรอยแตกร้าวภายใน, รอยฝังของ mold powder, รอยแตกร้าวที่ผิวตามยาว ผลที่ได้ก็คือ สามารถผลิตเหล็กได้ถึง 270,000 ตันต่อเดือน โดย 150,000 ตันต่อเดือน เป็นการรีดโดยตรง และความเร็วในการหล่อเฉลี่ย 2.2 เมตรต่อนาที

6.2 โลหะวิทยาของ Tundish (อ่างน้ำเหล็ก), Tundish Metallurgy

เนื่องจาก tundish มีผลกับคุณสมบัติของเหล็กที่หล่อมาได้ จึงถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญ ด้วยเหตุนี้อุตสาหกรรมเหล็กจึงได้ปรับปรุงด้วยการใช้ tundish ที่สามารถให้ความร้อนกับน้ำเหล็ก เพื่อป้องกันการตกตะกอน (Segregation)

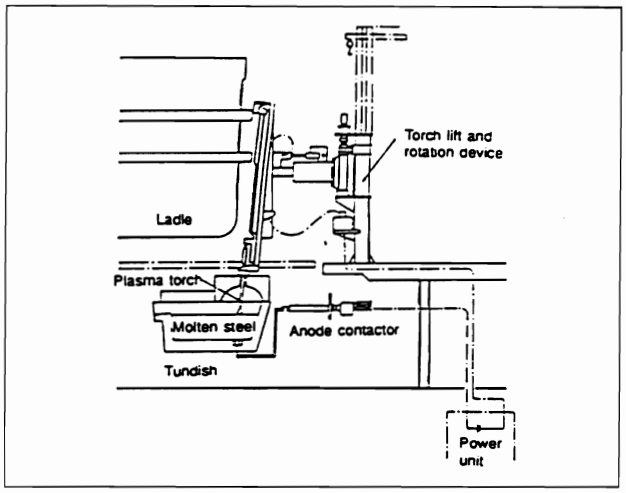
ตาราง 10 วิธีการปรับปรุงคุณภาพของ Slab ที่ทำในเครื่อง CCM

Purpose	Countermeasures
Surface quality	1. Very precise mold level control 2. Application of optimum mold powder for high speed casting 3. Optimum design of submerged nozzle 4. Air-mist cooling
Inner quality	1. Clean steel by VSC and RH treatment 2. Large capacity tundish 3. Vertical bending type machine 4. Small roll pitch segment 5. Soft-reduction segment
Quality assurance	1. On-line quality prediction system 2. Roll gap checker

และทำให้เหล็กสะอาดขึ้น อุปกรณ์ให้ความร้อนมี 2 ลักษณะ คือแบบ Induction และแบบใช้ plasma แบบ induction ใช้ที่โรงงานที่ Chiba ของบริษัท Kawasaki Steel Corp, โรงงาน Murona ของ NSC และโรงงาน Wakayama ของ SMI ส่วน plasma ใช้ที่ Hirohata ของ NSC, โรงงาน Keihin ของ NKK และโรงงาน Kakogawa ของบริษัท Kobe Steel

อุปกรณ์ plasma ที่โรงงาน Keihin แสดงในรูปที่ 12 และรายละเอียดของอุปกรณ์นี้ แสดงใน ตารางที่ 11

plasma torch เป็นแบบ DC transfer type ขนาด 7,000 A ซึ่งใหญ่ที่สุดในโลก จากกรณีนี้จะเห็นได้ว่าการสร้าง plasma chamber นี้จะต้องใช้วัสดุทนไฟชนิดพิเศษ ด้วยอุปกรณ์นี้ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิในtundishได้ละเอียดถึง 1.0° C



รูปที่ 12 Plasma heater

ตารางที่ 11 รายละเอียดของอุปกรณ์ plasma สำหรับ tundish

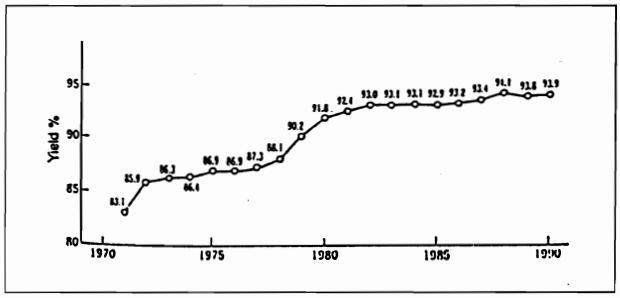
Type of products	No.3 CCM	No.4 CCM
Mold size	Slab	Boom
Production amount	250x (700 to 1700mm)	400 x 520mm
Average casting time	55 min/ch	105 min/M
Tundish capacity	10t (2 str)	24t (3 str)
Type of torch	DC transfer arc	
Ignition	HF starter and non-transfered arc	
Power source capacity	1.4 MW (7kA x 200V)	
Heat chamber	Middle of tundish, Ar atmosphare	
Operation mode	Manual and automatic temp, control	
Heating ability	9° C max	19° max

ในการทำ Sequence Casting โดยปกติแล้วความสะอาดของ Slab ที่หล่อในช่วง transition จะต่ำกว่าปกติ โรงงานต่างๆ จึงได้ปรับปรุงโดยออกแบบ tundish ให้ใหญ่ขึ้นและมีรูปทรงต่างๆ เช่นแบบ H-type tundish ที่โรงงาน Nagoya ของ NSC เป็นต้น

นอกจากนี้แล้วก็มีการวิเคราะห์การไหลตัวของน้ำเหล็กใน tundish การลอยตัวของ Inclusion เพื่อทำให้เหล็กที่หล่อมามีคุณสมบัติดีขึ้น

7. เทคโนโลยีการรีดเหล็ก (Rolling Technology)

การพัฒนาเทคโนโลยีการรีดเหล็กของประเทศญี่ปุ่นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมานี้มีไม่มากนัก ถึงแม้กระบวนการรีดบางส่วนได้มีการรวมเข้าไปกับกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่องเป็นแบบ CC-HDR / HCR ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว แต่ก็มีกระบวนการรีดที่แยกเป็นอิสระอยู่ก็ยังเป็นส่วนใหญ่ของงานรีดเหล็ก รูปที่ 13 แสดงถึงการปรับปรุง Yield ของ Plate Mill ในระยะ 10ปีที่ผ่านมา



รูปที่ 13 การปรับปรุง yield ของแผ่นเหล็ก

ใน plate mill (โรงงานรีดร้อนเหล็กแผ่นหนา) ได้มีการพัฒนาแผ่นเหล็กที่ไม่ต้องตัดขอบ (trimming-free plates) แผนที่มีความหนาแตกต่าง (differential thickness plates) และเหล็กแผ่นชนิดหุ้มติด (cladding plates) เป็นต้น ส่วน hot strip mill (โรงงานรีดร้อนเหล็กแผ่นม้วน) มีการเชื่อมต่อกับกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง และพัฒนาการรีดแบบ schedule free rolling, การควบคุมรูปทรง และลูกรีดที่ทนการสึกกร่อนสูงเป็นต้น สำหรับโรงงานรีดเย็น (cold strip mill) มีการเชื่อมต่อของกระบวนการล้างกรด (pickling) กับเครื่องรีดแบบ tandem, การใช้ระบบขับเคลื่อนแบบ AC, ระบบ

ชดเชยการบิดเบี้ยวของลูกรีด, ระบบ Vidiplan-VC สำหรับควบคุมความเรียบแบบอัตโนมัติ และระบบ gauge control แบบอัตโนมัติ ชนิดใหม่

7.1 โรงงานรีดแผ่นหนา (Plate Mill)

7.1.1 รูปที่ 14 แสดงแนวโน้มการผลิตเหล็กแผ่นหนาของญี่ปุ่น ตั้งแต่ปี 1976 จะเห็นได้ว่ามีการปิดโรงงานไปหลายแห่งทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมาก จริงอยู่ที่ yield ในการผลิตเพิ่มขึ้นแต่การเพิ่มนี้ก็ไม่มากนัก ในขณะที่ความต้องการของผู้ใช้มีความเข้มงวดมากขึ้น ดังตารางที่ 12 ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาจึงมุ่งไปที่การควบคุมรูปร่างและขนาดให้แม่นยำมากขึ้น โดยการพัฒนาได้มีความก้าวหน้าไปมากในระยะไม่กี่ปีที่ผ่านมา การใช้ความดัน ไฮดรอลิกส์ และการติดตั้งเครื่องวัดความหนาได้เพิ่มความแม่นยำของความหนาแผ่นเหล็กที่ผลิตได้อย่างมาก การติดตั้ง edger ทำให้ได้แผ่นเหล็กที่ไม่ต้องตัดขอบ แต่วิธีการนี้ยังไม่แพร่หลายนัก

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการรีดเหล็กแผ่นหนาได้ทำกันอยู่ 4 จุด ด้วยกันคือ

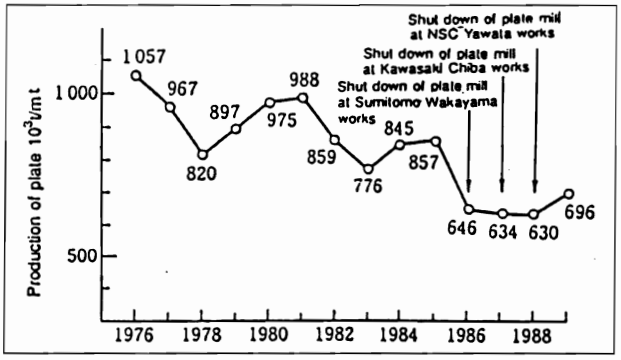
1. โมเดลสำหรับควบคุม
2. actuators สำหรับควบคุม
3. senser
4. เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

สำหรับการรีดเหล็กแผ่นหนา ก็ได้มุ่งประเด็นไปที่สิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ความเบี่ยงเบนไปจากขนาดที่ตั้งไว้
2. ความเรียบ
3. ความเบี่ยงเบนของความหนาในทิศทางตามยาว (ผลมาจาก รอย Skid ฯลฯ)
4. ความเบี่ยงเบนในแนวความกว้าง (crown)
5. side block
6. การโก่งงอ และวิธีการควบคุม

7.1.2 การควบคุมความหนา

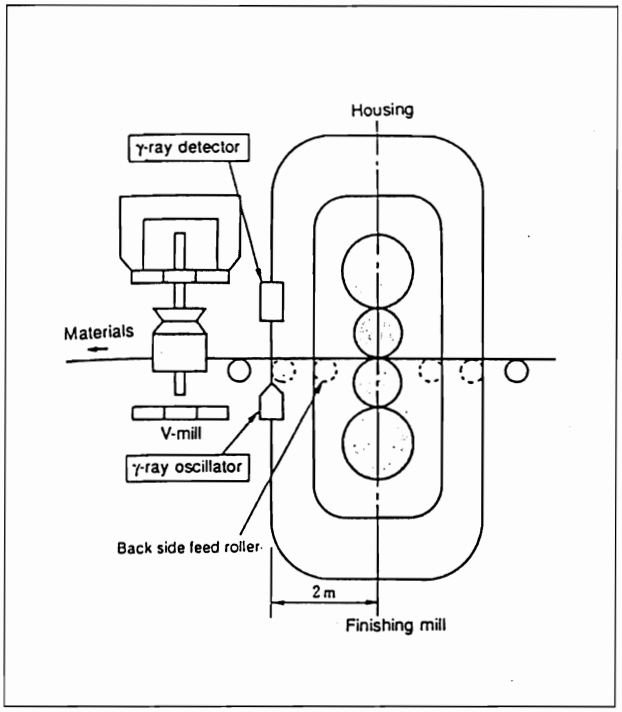
การนำระบบ ไฮดรอลิกส์ AGC (Automatic Gauge Control) มาใช้ได้ ทำให้ควบคุมความหนาได้แม่นยำ รูปที่ 15 แสดง gauge วัดความหนาที่ติดเข้าไป รูปที่ 16 แสดงระบบควบคุมที่ใช้ในระบบ FF AGC ผลของการควบคุมแสดงให้เห็น ในรูปที่ 17



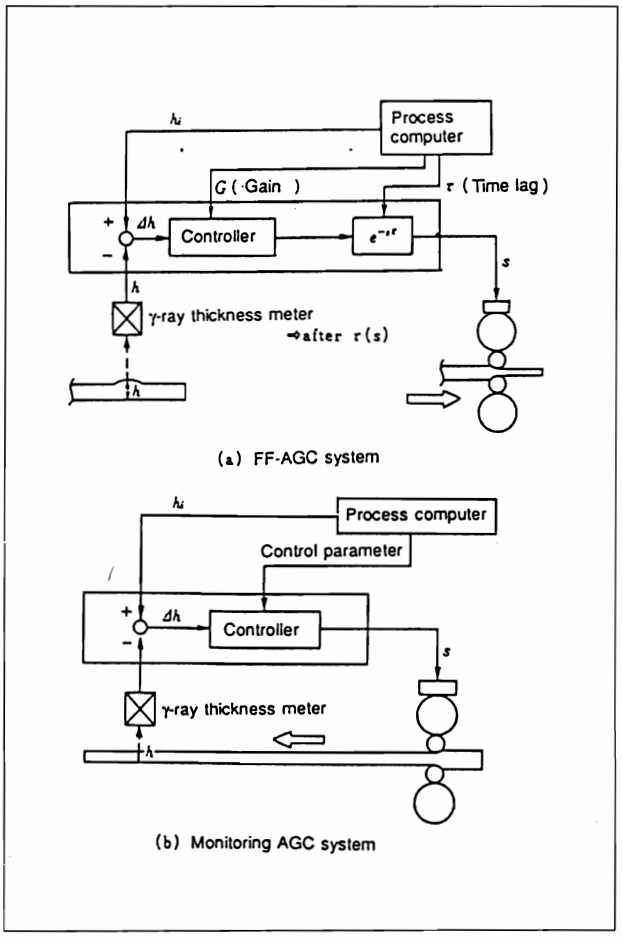
รูปที่ 14 ความเปลี่ยนแปลงของการผลิตเหล็กแผ่นหนาในญี่ปุ่น

ตารางที่ 12 แนวโน้มความต้องการของผู้ใช้

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	Object
Thickness allowance	Same as JIS allowance	—	(1) ±0.4mm	(1) (2) (3) ±0.3mm	(3) ±0.2mm	—	(1) Round saw (2) Multi-wall (3) Bridge beam (4) Rocket
Plate wigth allowance	(1) Omm +10mm	(1) Omm +6mm	(2) (4) (5) Omm +5mm	(3) Omm +4mm	—	—	(1) Carrier (2) Column (3) Tank (4) Pressure vessel
Camber	(1) (2) 5mm/total length	(1) 4mm/total length	(1) 3mm.total length	(1) 1.5mm/total length	—	—	(1) Deck (2) Tank

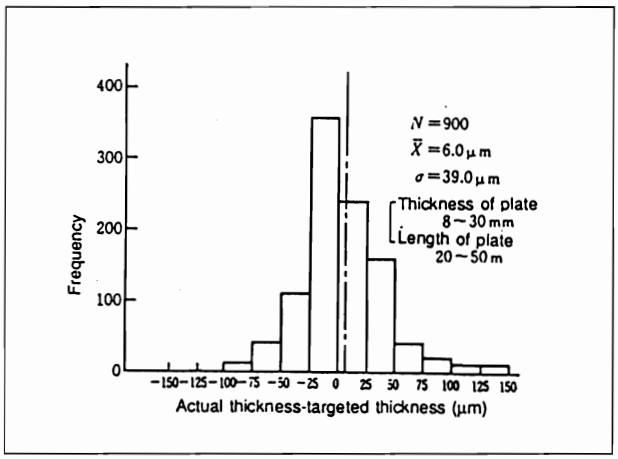


รูปที่ 15 guage วัดความหนา



รูปที่ 16 ระบบ AGC ที่นิยมใช้

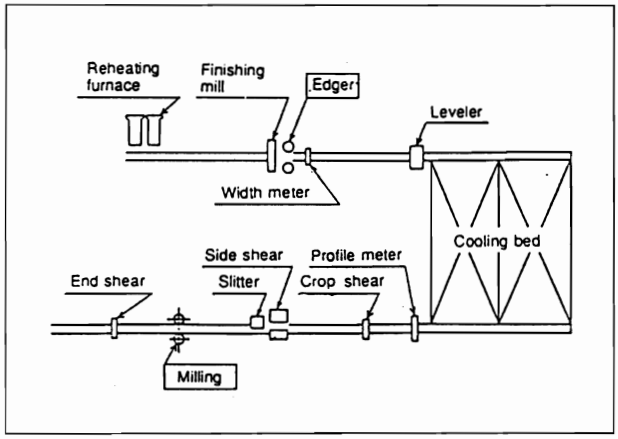
ได้มีการพัฒนาการควบคุมการตกผลึกใหม่ (recrystallization) ในกระบวนการรีดได้อย่างแม่นยำ ทำให้สามารถควบคุมความหนาของเหล็กที่รีดมาได้อย่างแม่นยำด้วยระบบการวัดใหม่ๆ สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่าง ลูกรีดกับเหล็กแผ่นได้ ความแม่นยำของความหนาสามารถทำได้น้อยกว่า 50 ไมครอน (σ = 35)



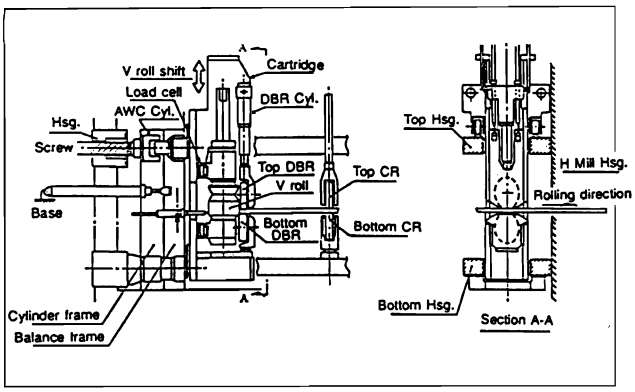
รูปที่ 17 ความแม่นยำของความหนาที่ได้จากการใช้ระบบ AGC

7.1.3 การควบคุมความกว้าง

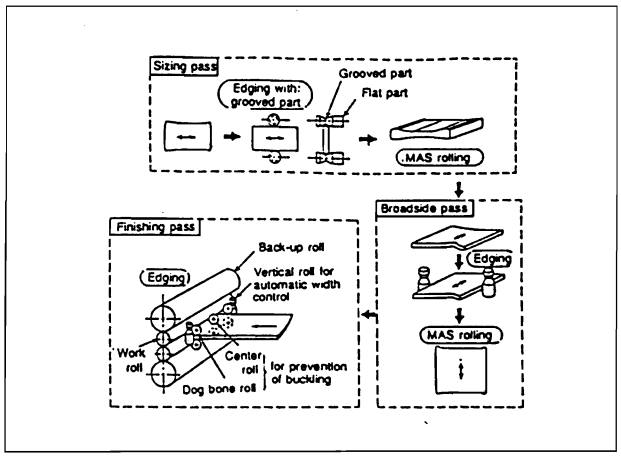
การควบคุมความกว้างของแผ่นเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมความหนาด้วย รูปที่ 18 แสดงผังของ edger และ milling ของแผ่นที่ไม่ต้องตัดขอบ (trimming free plates, TFP), รูปที่ 19 แสดงภาพร่างของ TFP ที่โรงงาน Mizushima ของบริษัท Kawasaki Steel รูปที่ 20 แสดงหลักการในการใช้ระบบกันขอบในการรีดเหล็กแผ่น หรือ rolling schedule ของ TFP



รูปที่ 18 แปลนของ edger และ milling



รูปที่ 19 แบบร่างของ TFP ที่โรงงาน Mizushima



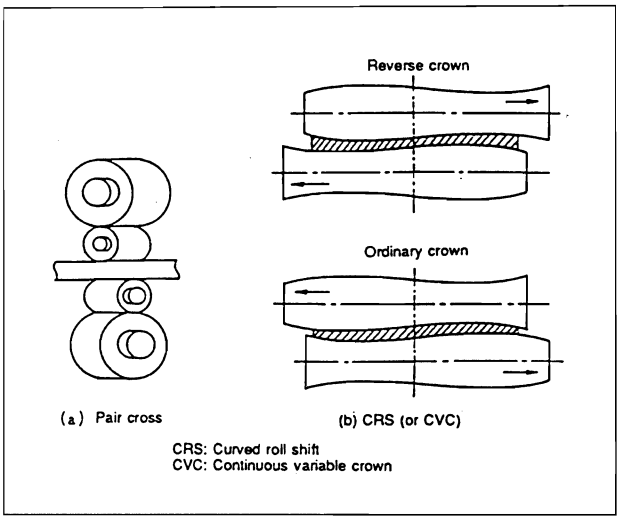
รูปที่ 20 Schedule การรีดของ TFP

7.1.4 การควบคุมความเรียบและการโก่งงอ (Crown and Flatness Control)

การควบคุมความเรียบและความโค้งในโรงงานรีดร้อนเหล็กแผ่นหนา โดยปกติทำได้ด้วยการพัฒนาระบบการตั้งเครื่องรีด แต่ด้วยความต้องการที่เข้มงวดขึ้น จึงมีการปรับปรุงขึ้นในหลายโรงงานด้วยกัน เช่น บริษัท Mitsubishi Heavy Industry ได้เสนอเครื่องรีดแบบไขว้ ดังรูปที่ (21a) ส่วนระบบ CRS ของบริษัท Nippon Steel แสดงในรูปที่ (21 b)

7.2 โรงงานรีดเหล็กม้วน (Hot Strip Mill)

โรงงาน hot strip mill ของญี่ปุ่นได้มีการพัฒนา เพื่อการประหยัดพลังงาน และการเพิ่มผลผลิต อย่างไรก็ตามในระยะไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงตามความต้องการของลูกค้า



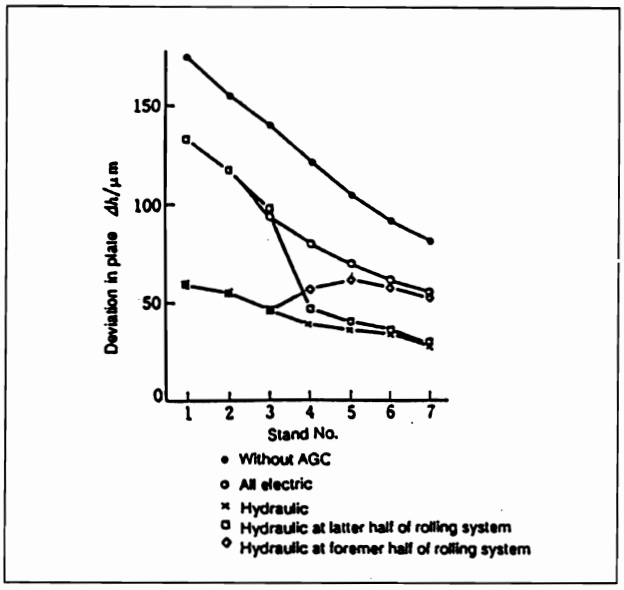
รูปที่ 21 a, b เครื่องรีดที่มีการควบคุมความเรียบและความโก่ง แบบก้าวหน้า

การปรับปรุงนี้มีผลให้ได้ (1) การพัฒนาระบบ CC-HCR / HDR ทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน (2) การพัฒนาการรีดที่มีความแม่นยำสูง และ (3) การผลิตเหล็กกล้าที่มีมูลค่าเพิ่มสูง ซึ่งมีคุณภาพดี ในกรณีข้อ (3) นี้ ได้มีการพัฒนาทฤษฎีกรรมวิธีทางความร้อนรวมถึง การควบคุมการรีดและการควบคุมการเย็นตัว ส่วนกรณีข้อ 1 และ 2 ทำได้ด้วยระบบไฮดรอลิกส์ AGC, เครื่องรีดแบบ cross mill work roll shift mill และ 6 Hi-mill เพื่อให้สามารถควบคุมความหนาและความโก่งได้ด้วย software ที่ก้าวหน้า นอกจากนี้แล้วก็ยังมีการนำมอเตอร์ AC มาแทน DC ด้วย

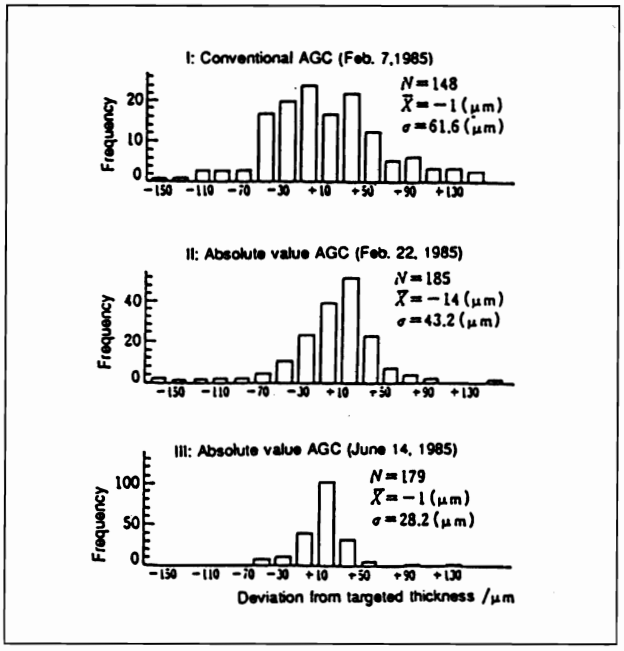
7.2.1 การควบคุมความหนา

การควบคุมความหนาใน hot strip finishing mills ประกอบด้วย FSU เป็นหลัก ซึ่งได้ปรับปรุงให้ดีขึ้นอย่างมากด้วยการเริ่มใช้ระบบการเรียนรู้, การสามารถตั้งสภาพการทำงานเริ่มต้น และ AGC โดย AGC เป็นแบบไฮดรอลิกส์

การใช้ AGC แบบไฮดรอลิกส์ ในโรงรีดแบบ hot strip mill นี้ช้ากว่าโรงรีดเหล็กแผ่นหนาและโรงรีดเย็น อย่างไรก็ตามโรงงาน finishing mill ใหม่ๆ ก็จะติดตั้งระบบนี้ทุกแห่ง โรงงานเก่าๆ ก็กำลังปรับปรุงมาใช้เช่นกัน รูปที่ 22 แสดงผลการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำ AGC มาใช้มีข้อได้เปรียบอย่างไร รูปที่ 23 แสดงให้เห็นความแม่นยำของระบบ AGC



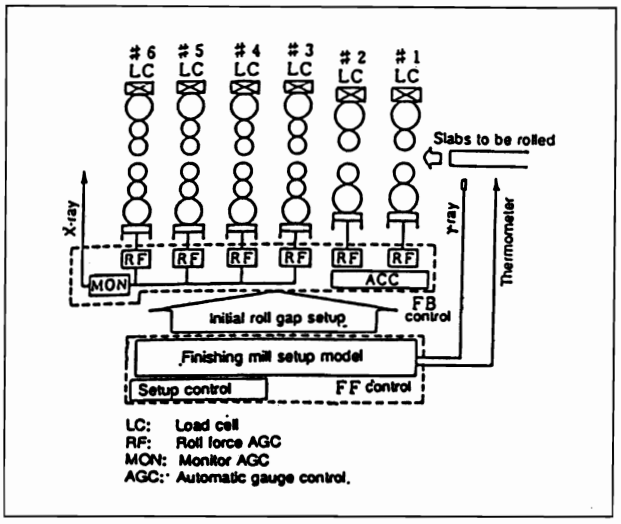
รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่าง Stands และ ความผิดพลาดของความหนาเหล็กแผ่นที่ออกมา



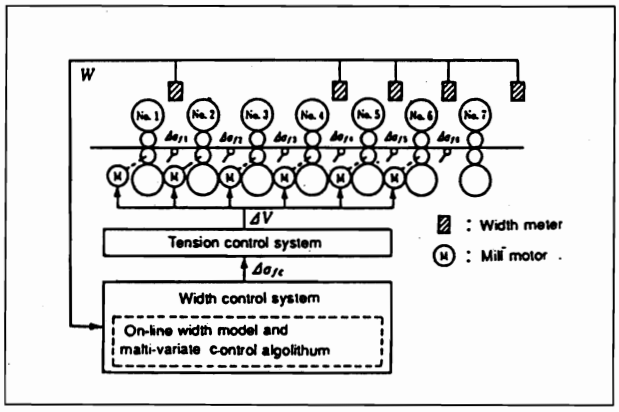
รูปที่ 23 การเปรียบเทียบความแม่นยำของความหนา

7.2.2 การควบคุมความกว้าง

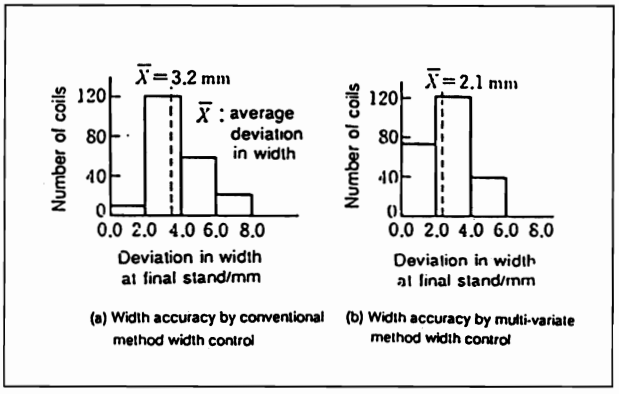
การใช้การหล่อแบบต่อเนื่อง ทำให้โรงงาน hot strip mill ต้องติดตั้งระบบควบคุมความกว้าง ซึ่งรวมกับเทคโนโลยีการปรับความกว้างขนาดใหญ่ด้วย รูปที่ 24 แสดงระบบควบคุมความกว้างใน hot strip mill รูปที่ 25 แสดงระบบที่ใช้วิธี Multi-variate ควบคุม โดยผลการใช้แสดงให้เห็นในรูปที่ 26



รูปที่ 24 ระบบควบคุมความกว้างเหล็กแผ่นของ hot trip mill



รูปที่ 25 ระบบ Multi Variate Control

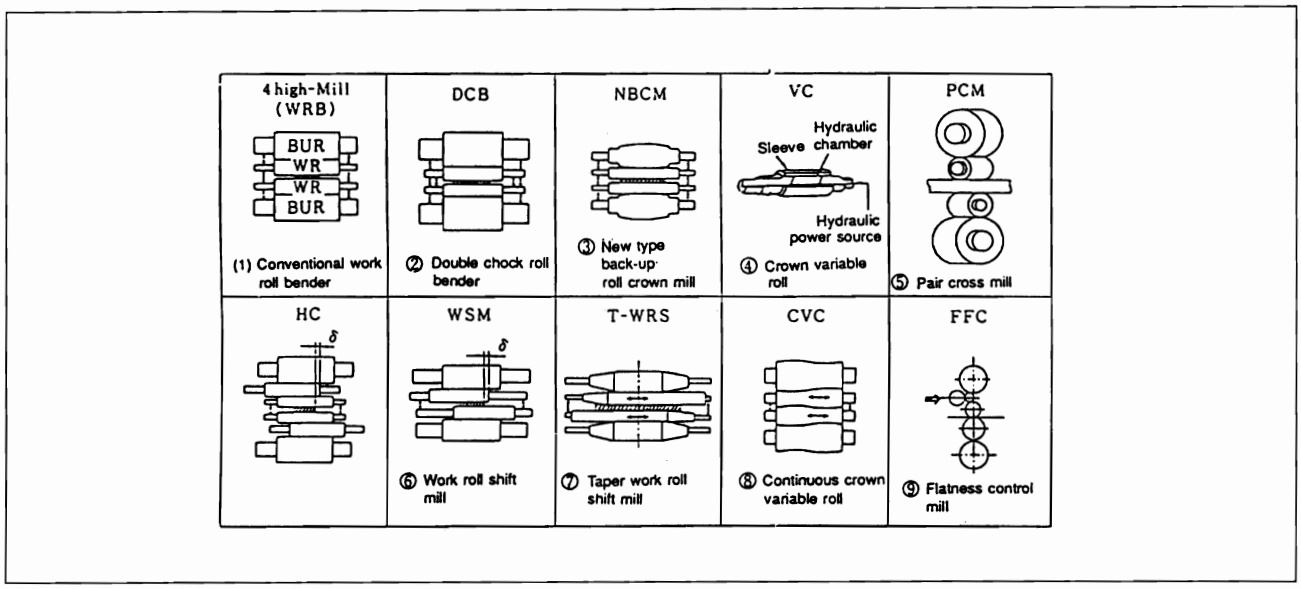


รูปที่ 26 ผลการใช้ระบบ multi-variates control

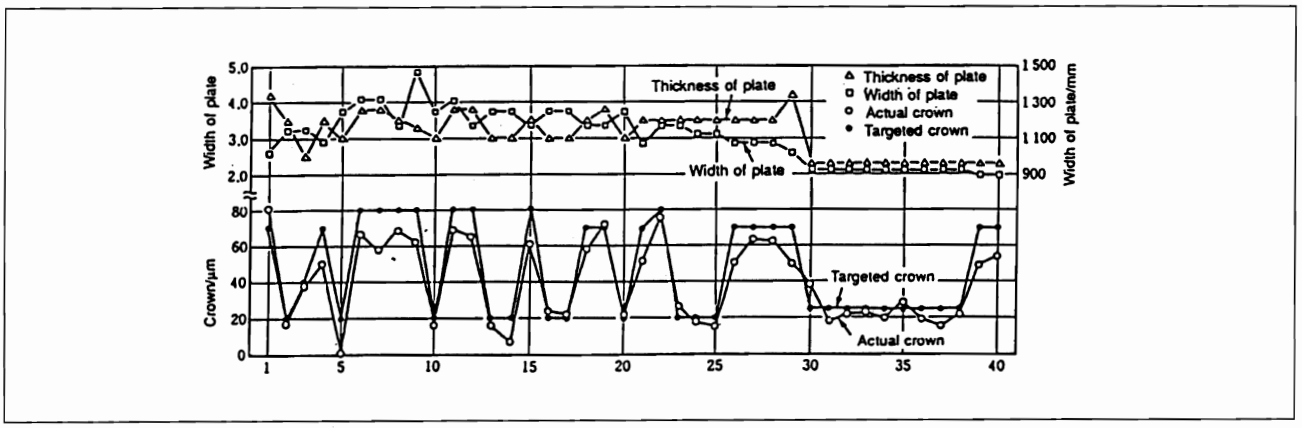
7.2.3 การควบคุมความเรียบ และ Crown

รูปที่ 27 แสดงระบบควบคุม Crown ที่ใช้กันใน hot strip mill โดยวิธี pair cross mill (PCM) ใช้ช่วงการควบคุมที่กว้างที่สุด และช่วงการควบคุมจะแคบกว่าของ

HC ถ้าใช้กับเหล็กแผ่นแคบ ผลการใช้ระบบ PCM แสดงให้เห็นในรูปที่ 28



รูปที่ 27 Crown control mills

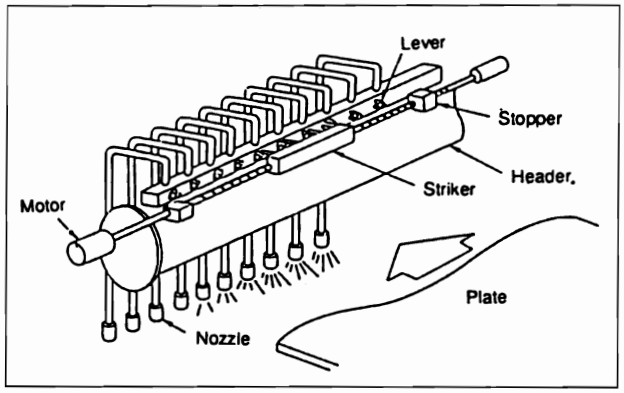


รูปที่ 28 Targeted crown and actual crown

7.2.4 กระบวนการ Thermomechanical Control (TMCP)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ตลาดของ TMCP ได้พัฒนาอย่างรวดเร็ว ดังนั้น โรงงานเหล็กในญี่ปุ่นก็ได้ติดตั้ง TMCP facilities เพื่อสนองความต้องการของตลาดได้

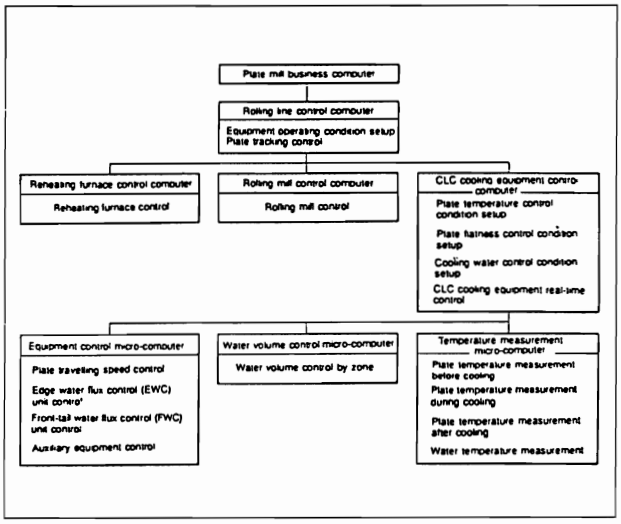
บริษัท NSC ได้พัฒนาระบบ TMCP ใหม่โดยตั้งชื่อว่า Continuous on-lin Control Process (CLC) ซึ่งเป็นตัวแทนของ TMCP ในญี่ปุ่นที่เดียว CLC นี้มี (1) การเร่งเย็นและการ quench โดยตรง (2) การติดตั้ง leveler (เครื่อง



รูปที่ 29 ภาพแสดงระบบควบคุมปริมาณน้ำ

ปรับความเรียบ) ทางด้านหลังเพื่อให้ได้แผ่นที่เรียบ และ (3) การเย็นตัวแบบต่อเนื่องและเป็นระบบปิด

รูปที่ 30 แสดงระบบ CLC โดยรูป 29 แสดงวิธีการควบคุมปริมาณน้ำ

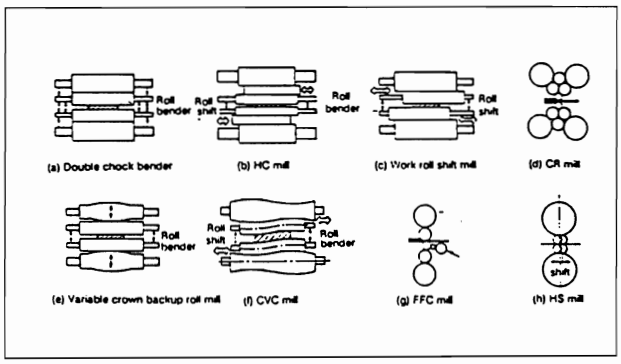


รูปที่ 30 ระบบควบคุมกระบวนการ CLC

7.3 โรงงานรีดเย็น (Cold Strip Mill)

7.3.1 การพัฒนาเทคโนโลยี

เหล็กแผ่นเป็นผลิตภัณฑ์หลักของอุตสาหกรรมเหล็กญี่ปุ่น เหล็กพวกนี้ผลิตโดยโรงรีดแบบต่อเนื่อง (continuous rolling mill) ซึ่งรวมระบบการล้างกรด (pickling), การรีดเย็น (cold rolling) และกระบวนการอบอ่อน (annealing process) เข้าด้วยกัน ด้วยวิธีนี้ทำให้สามารถเพิ่มผลผลิต, ลดเวลาขนส่ง และประหยัดแรงงาน



รูปที่ 31 เครื่องรีดเย็นแบบใหม่ ๆ

ด้วยความก้าวหน้าของการผลิตแบบอัตโนมัติที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วในญี่ปุ่น ทำให้มีความต้องการเหล็กแผ่นที่มีความแม่นยำสูง เพื่อให้การผลิตเป็นไปอย่างราบรื่น โดยเฉพาะความหนาที่มีความแม่นยำอย่างมาก เช่น บางครั้งละเอียดถึง 0.06 ไมครอนต่อความหนา 1 มิลลิเมตร เลยทีเดียว

เทคโนโลยีการรีดที่แม่นยำสูง และได้ความเรียบสูง จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้เหล็กแผ่นที่มีคุณสมบัติตามต้องการได้

7.3.2 โรงรีด (Rolling Mill)

ถึงแม้เครื่องรีดเย็นแบบ tandem ชนิดต่อเนื่องจะได้พัฒนามาตั้งแต่ปี 1989 และ tandem mill ชนิด 4-stand ตั้งแต่ปี 1970 แต่การนำเครื่องรีดแบบนี้มาใช้ยังเป็นไปอย่างช้าๆ อย่างไรก็ตามตั้งแต่ปี 1986 เป็นต้นมา ก็ได้เริ่มมีการนำมาใช้เพิ่มขึ้นอย่างมาก

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก continuous tandem cold mill สามารถเพิ่มผลผลิตได้อย่างมาก ด้วยการทำงานอย่างต่อเนื่องและความก้าวหน้าทางการรีด นอกจากนี้ก็ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ ในเรื่องการรีด strip, strip centering และการม้วน, เครื่องรีดแบบต่างๆ ได้มีการพัฒนาขึ้นมา รวมถึง 6 Hi mill (HC-mill, UC-mill), DC-WRB, EFC mill, Z-Hi mill claster CR mill, KT mill, CBS mill, TRM mill, NPV mill, 1-stand multi-paart mill (NCM mill) variable crown UC roll, TP roll และ NIPCO roll ซึ่งเครื่องวัดเหล่านี้ หลายชนิดถูกพัฒนาขึ้นในญี่ปุ่น รูปที่ 31

ได้มีการทดลองรวมกระบวนการผลิตการรีดเย็นหลายลักษณะด้วยกันเช่นการรวมการล้างกรด (pickling line) กับ tandem mill 4 stand ให้เป็นแบบต่อเนื่อง นั่นคือได้มีการพัฒนาเครื่องรีดแบบ 4-Hi mill ที working roll ขยับได้ และ 6-Hi mill เป็นต้น นอกจากนี้แล้วการศัดขอบของ cold strip ได้ลดลงถึงหนึ่งส่วนสี่ของการรีดแบบปกติ

ในการที่จะลดขนาดได้มากกว่า 70% ด้วยการรีดเพียงครั้งเดียวก็ได้มีการพัฒนาเครื่องรีดแบบ compact multi-reduction mill เช่น CBS Mill เป็นต้น

7.3.3 การควบคุมรูปร่างและ Crown

การควบคุม crown และรูปร่างของแผ่นเหล็กเหมือนกันทั้งในหลักการและปรากฏการณ์ อย่างไรก็ตาม การควบคุม crown จะมีอัตราการผิดพลาดอยู่ในช่วง 2-3 ไมครอน ในขณะที่การควบคุมรูปร่าง (shape) ต้องคุมอยู่ในช่วง 0.1 ไมครอนหรือน้อยกว่า การควบคุม crown โดยมากจะทำที่ hot strip mill ในขณะที่แผ่นเหล็กยังมีความหนามากอยู่

ปรากฏการณ์การรีดที่ไม่สมดุลย์, off-centering และ chambering ใน strip สามารถศึกษา และทำนายได้ด้วยการวิเคราะห์แบบ 3มิติ และวิธีการ Elastic Plastic FEM