โลหะกับการพัฒนาประเทศ

บทที่ 2

เหล็ก

กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน

สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

บทที่ 2
เหล็ก

เหล็กเป็นแร่ธาตุโลหะที่มีอยู่บนพื้นผิวโลกมากที่สุดเป็นอันดับสองรองจากอะลูมิเนียม มนุษย์ได้คิดค้นวิธีการถลุงแร่เหล็กมาเป็นเวลานานกว่า 3,500 ปี โดยในยุคเริ่มแรกได้นำมาใช้เพื่อการสงคราม และด้วยคุณสมบัติที่ดีหลายประการโดยเฉพาะด้านความแข็งแรงสูงและมีราคาถูก ทำให้ปัจจุบันเหล็กนับเป็นโลหะที่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดในโลก โดยมีปริมาณการผลิตเหล็กคิดเป็นร้อยละ 95 ของปริมาณการผลิตโลหะทั้งหมด สำหรับทางอุตสาหกรรมมีการนำเหล็กมาใช้อย่างแพร่หลายในรูปของเหล็กหล่อและเหล็กกล้า

คุณสมบัติทั่วไปของเหล็ก

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

- น้ำหนักอะตอม 55.85
- ระบบผลึก BCC
- ความหนาแน่น (ที่ 20 $^{\circ}$C) 7.86 g.cm^{-3}
- จุดหลอมเหลว 1,538 $^{\circ}$C
- จุดเดือด 2,861 $^{\circ}$C
- ความต้านทานไฟฟ้า (ที่ 20 $^{\circ}$C) 96.1 nΩ.m
- สัมประสิทธิ์การขยายตัว (ที่ 20 $^{\circ}$C) 11.8 μm.m^{-1}.K^{-1}

คุณสมบัติเชิงกล

- Youngs modulus 211 GPa
- Shear modulus 82 GPa
- Brinell hardness 490 MPa

การใช้ประโยชน์ของโลหะเหล็ก

เหล็กมีการนำไปใช้ประโยชน์มากมายนับตั้งแต่การใช้เป็นวัสดุสำหรับงานก่อสร้างต่าง ๆ เช่น โครงสร้างอาคาร เสา คาน หลังคา สะพาน เสาไฟฟ้าแรงสูง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมคมนาคมขนส่งก็มีการใช้เหล็กเป็นวัสดุสำหรับผลิตยานพาหนะต่าง ๆ เช่น รถยนต์ รถบรรทุก รถไฟ เรือเดินสมุทร และเครื่องบิน นอกจากนี้ของใช้ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันของเราก็ล้วนมีส่วนประกอบที่ทำจากเหล็กทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ พัดลม นาฬิกา เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว กระทะ เตาแก๊ส ถังแก๊ส เตารีด โต๊ะ เก้าอี้ มุ้งลวด ท่อน้ำ ช้อน ส้อม มีด ฯลฯ

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของเหล็ก

(ที่มา: www.airport-technology.com, www.bomtrading.vn)

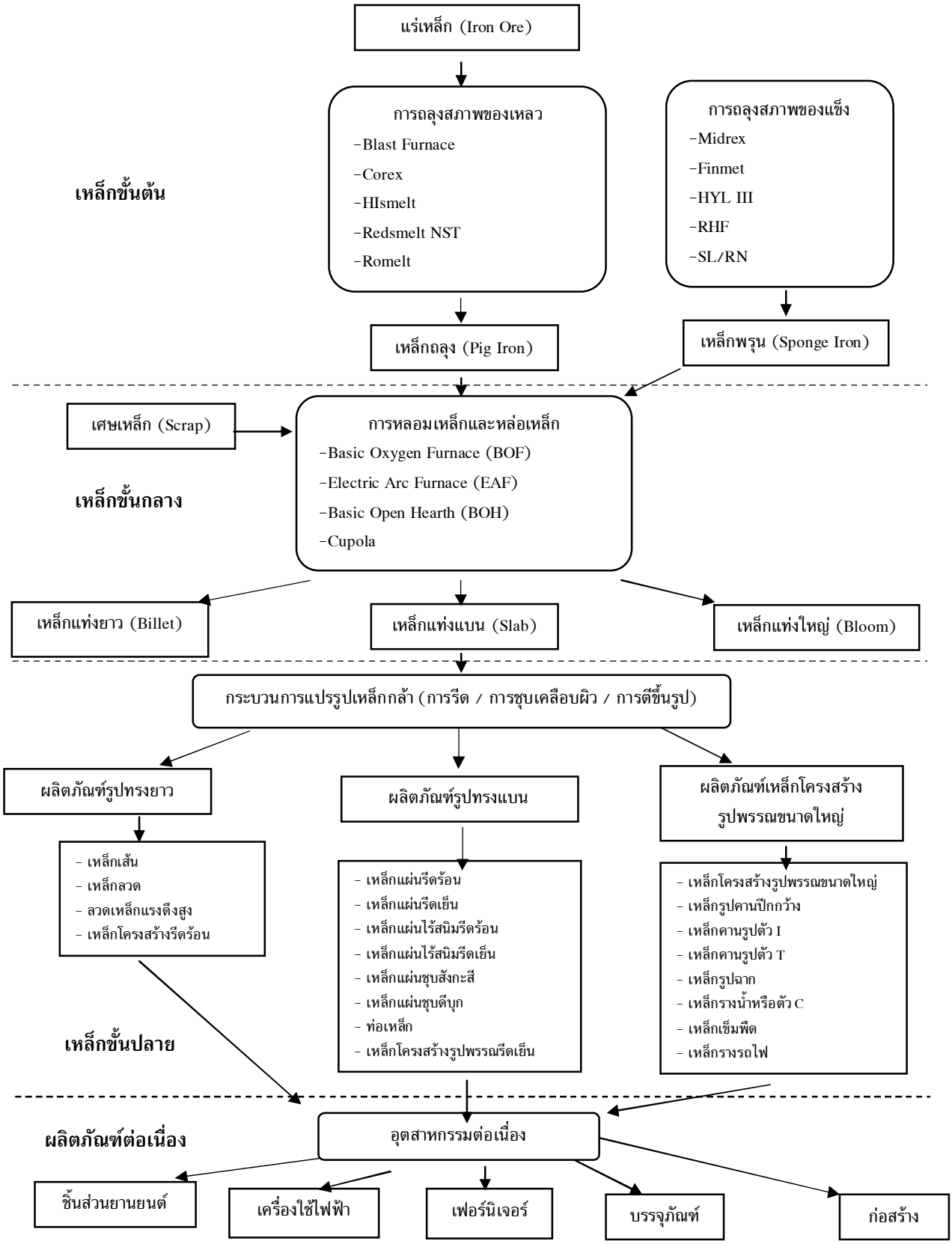
โครงสร้างอุตสาหกรรมเหล็กสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นหลัก คือ อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง และอุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลาย ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3

1. อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น

อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น เป็นขั้นตอนในการนำแร่เหล็กที่อยู่ในรูปของเหล็กออกไซด์มาถลุงให้เป็นโลหะเหล็ก (Iron) ทำให้ได้เหล็กที่มีปริมาณสารมลทินต่ำ ด้วยกระบวนการถลุงแร่เหล็ก โดยมีวัตถุดิบหลัก คือ แร่เหล็ก ถ่านหิน และหินปูน กระบวนการถลุงแร่เหล็กสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักคือ การถลุงสภาพของเหลว ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์คือ เหล็กถลุง (Pig Iron) และการถลุงสภาพของแข็ง ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์คือ เหล็กพรุน (Sponge Iron) ที่ใช้ในการผลิตเหล็กกล้า (Steel) และเหล็กหล่อ (Cast Iron) ชนิดต่าง ๆ อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นนี้จัดได้ว่าเป็นกระบวนการเริ่มต้นของอุตสาหกรรมเหล็กที่มีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต่อ ๆ ไป รวมถึงอุตสาหกรรมที่ต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมเหล็ก เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ และอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น เหล็กขั้นต้นเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง และจำเป็นต้องมีระบบโครงสร้างพื้นฐานและระบบสาธารณูปโภคที่เอื้ออำนวยเหมาะสมต่อการผลิตด้วย

2. อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง

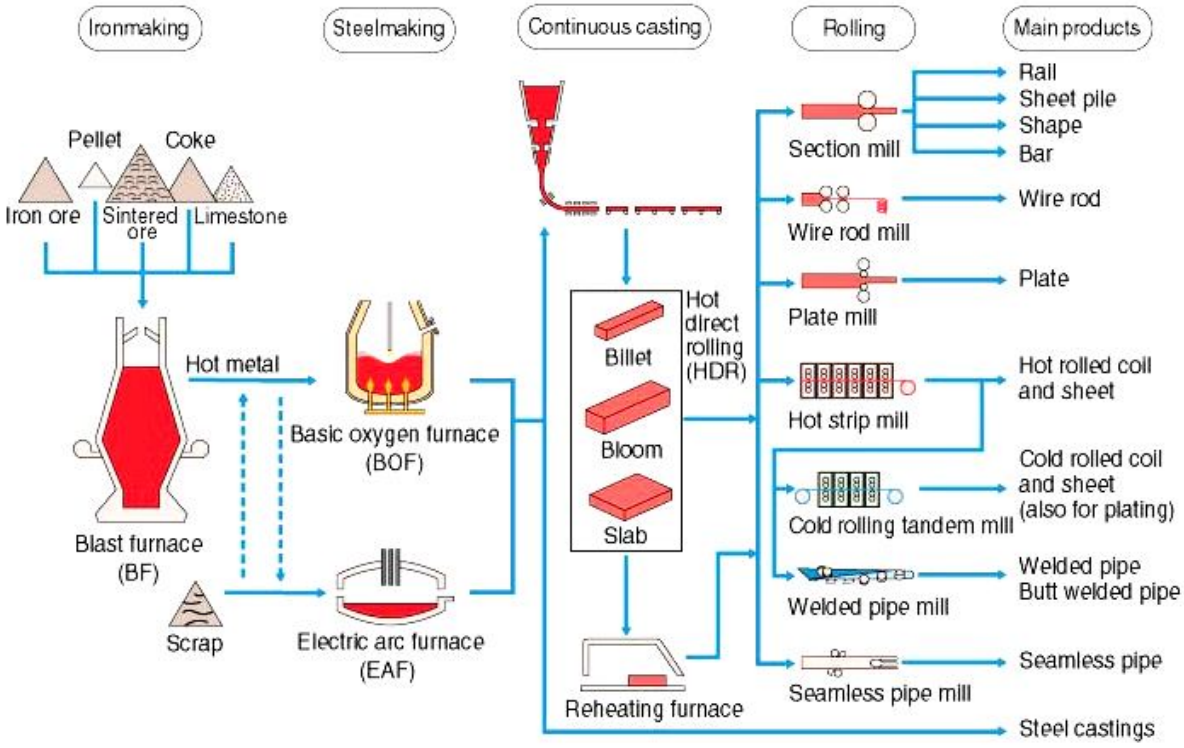
อุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง เป็นขั้นตอนในการหลอมโลหะเหล็ก รวมถึงการควบคุมและปรับปรุงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กให้ได้เป็นเหล็กกล้าที่มีสมบัติตามต้องการ โดยมีการหล่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป ได้แก่ เหล็กแท่งยาว (Billet) เหล็กแท่งแบน (slab) และเหล็กแท่งใหญ่ (bloom) ในเหล็กขั้นกลางนี้มีวัตถุดิบหลักคือ เหล็กถลุงและเหล็กพรุน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น รวมถึงเศษเหล็ก (Scrap) ที่นำกลับมาหลอมใช้ใหม่ ปัจจุบันวิธีการผลิตที่นิยมใช้มีอยู่ 2 วิธีคือ การผลิตเหล็กกล้าด้วยเตาพ่นออกซิเจน (Basic Oxygen Furnace: BOF) และการผลิตเหล็กกล้าด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace: EAF) ส่วนวิธีการหลอมแบบอื่น ๆ เช่น การผลิตเหล็กกล้าด้วยเตา Basic Open Hearth (BOH) นั้นมีแนวโน้มการใช้ลดลง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ล้าสมัย สำหรับประเทศที่มีการจัดตั้งอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นภายในประเทศ ส่วนมากนิยมใช้วิธีการหลอมด้วยเตาพ่นออกซิเจน ซึ่งใช้เหล็กถลุงหรือเหล็กพรุน เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต วิธีการนี้มีกำลังการผลิตสูง สามารถผลิตได้ต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น และสามารถควบคุมส่วนผสมและสมบัติของเหล็กกล้าได้ดี ขณะที่วิธีการหลอมด้วยเตาอาร์คไฟฟ้านั้นใช้เศษเหล็กเป็นวัตถุดิบหลัก ทำให้ต้นทุนมีราคาต่ำกว่าการใช้เหล็กถลุงหรือเหล็กพรุนเป็นวัตถุดิบหลัก เป็นเหตุให้ประเทศส่วนมากที่ไม่มีอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นนิยมใช้เตาชนิดนี้ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีขีดจำกัดในเรื่องของคุณภาพที่ต่ำกว่าเช่นกัน



รูปที่ 2.2 แผนผังโครงสร้างอุตสาหกรรมเหล็ก
(ที่มา: การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอุตสาหกรรมเหล็กหลังวิกฤต, ธีรวุธ ตันนุกิจ)

3. อุตสาหกรรมเหล็กขั้นปลาย

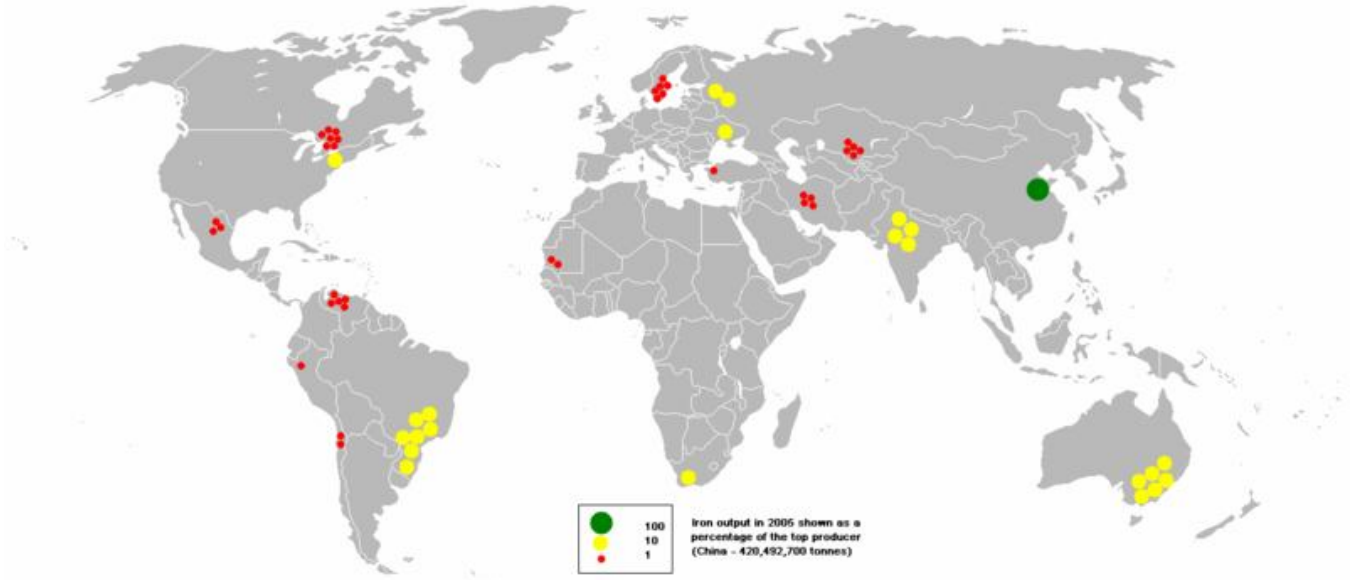
เป็นอุตสาหกรรมแปรรูปเหล็กกล้ากึ่งสำเร็จรูปให้ได้รูปร่างและลักษณะที่เหมาะสมต่อการใช้งานด้วยกระบวนต่างๆ เช่น การรีดร้อน การรีดเย็น การชุบเคลือบผิว การผลิตท่อเหล็ก การตีขึ้นรูป รวมไปถึงการหล่อเหล็กด้วย ซึ่งผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ได้จากขั้นตอนนี้ ได้แก่ เหล็กเส้น เหล็กลวด เหล็กแผ่นรีดร้อน เหล็กแผ่นรีดเย็น เหล็กแผ่นเคลือบ เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน เป็นต้น ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการผลิตตามความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ ต่อไป เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ และอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็ก
(ที่มา: www.steel.org)

การผลิตเหล็กจากแร่

แร่เหล็กเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเหล็กทั้งวิธีเตาพ่นลมหรือผลิตเหล็กพรุน แม้ว่าแร่ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบนั้นมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ชนิดที่สามารถนำมาใช้ในการถลุงเหล็กได้มีเพียงไม่กี่ชนิด เช่น Magnetite (Fe_3O_4) ซึ่งมีปริมาณเหล็กร้อยละ 72.4, Hematite (Fe_2O_3) มีปริมาณเหล็กร้อยละ 70.0 ซึ่งเป็นแร่ที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุด Limonite ($2Fe_2O_3.3H_2O$) ซึ่งมีปริมาณเหล็กร้อยละ 60.0 หรือ Siderite ($FeCO_3$) ซึ่งมีปริมาณเหล็กร้อยละ 48.0 เป็นต้น แร่เหล็กที่ใช้ควรมีปริมาณสารมลทินต่ำ ในกรณีที่แร่มีปริมาณเหล็กต่ำกว่า ร้อยละ 50 จะต้องทำการแต่งแร่เสียก่อน โดยอาจทำให้เป็นแร่ละเอียด หรือแร่อัดก้อน (Pellet) เป็นต้น แหล่งแร่เหล็กที่สำคัญของโลก ได้แก่ จีน บราซิล ออสเตรเลีย อินเดีย และรัสเซีย เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สำหรับประเทศผู้ผลิตแร่เหล็กที่สำคัญมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.4 แหล่งแร่เหล็กที่สำคัญของโลก
(ที่มา: www.wikipedia.org)

กระบวนการถลุงแร่เหล็กเป็นการเปลี่ยนแร่เหล็กที่อยู่ในรูปเหล็กออกไซด์ให้กลายเป็นโลหะเหล็กด้วยการใช้ธาตุคาร์บอนเป็นตัวดึงออกซิเจน รวมถึงการกำจัดสารมลทินต่างๆ เช่น ซิลิกอน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ เป็นต้น ออกจากแร่เหล็ก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ คือ เหล็กถลุงหรือเหล็กพรุน

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลการผลิตแร่เหล็กของโลกระหว่างปี 2544-2548

หน่วย: ล้านตัน

ประเทศ	ปี 2544	ปี 2545	ปี 2546	ปี 2547	ปี 2548
ออสเตรีย	1.843	1.942	2.125	1.889	2.048
รัสเซีย	82.800	85.964	92.604	94.895	96.800
สวีเดน	19.486	20.281	21.498	22.272	23.255
ตุรกี	4.435	3.433	3.429	3.857	3.890
ยูเครน	54.700	59.300	62.500	66.000	69.456
แอลจีเรีย	1.291	1.162	1.426	1.754	1.879
อียิปต์	1.843	2.618	2.900	2.237	2.500
มอริเตเนีย	10.300	9.600	10.100	10.700	10.700
แอฟริกาใต้	34.757	36.484	38.086	39.322	39.542
แคนาดา	29.152	28.704	33.013	28.596	28.343
เม็กซิโก	8.660	9.966	12.398	13.369	14.468
สหรัฐอเมริกา	46.192	51.570	48.554	54.724	55.000
บราซิล	201.400	214.560	230.707	261.675	280.862
ชิลี	8.834	7.269	8.011	8.003	7.862
เปรู	4.564	4.566	5.229	5.229	5.620
เวเนซุเอลา	16.902	16.596	17.954	19.196	20.000
จีน	217.015	232.619	261.085	310.105	420.493
อินเดีย	86.226	99.072	122.838	145.942	154.436
อิหร่าน	14.836	16.906	18.278	18.205	18.200
คาซัคสถาน	15.886	17.675	19.365	20.303	19.471
ออสเตรเลีย	181.435	188.760	212.881	234.002	261.796
นิวซีแลนด์	1.636	1.740	1.950	2.330	2.207
ไทย	0.000	0.570	0.010	0.136	0.231
อื่น ๆ	4.807	5.643	5.059	5.259	4.941
รวม	**1,049.000**	**1,117.000**	**1,232.000**	**1,370.000**	**1,544.000**

ที่มา: British Geological Survey

รูปที่ 2.5 แร่เหล็ก
(ที่มา: www.francolee.trustpass.alibaba.com)

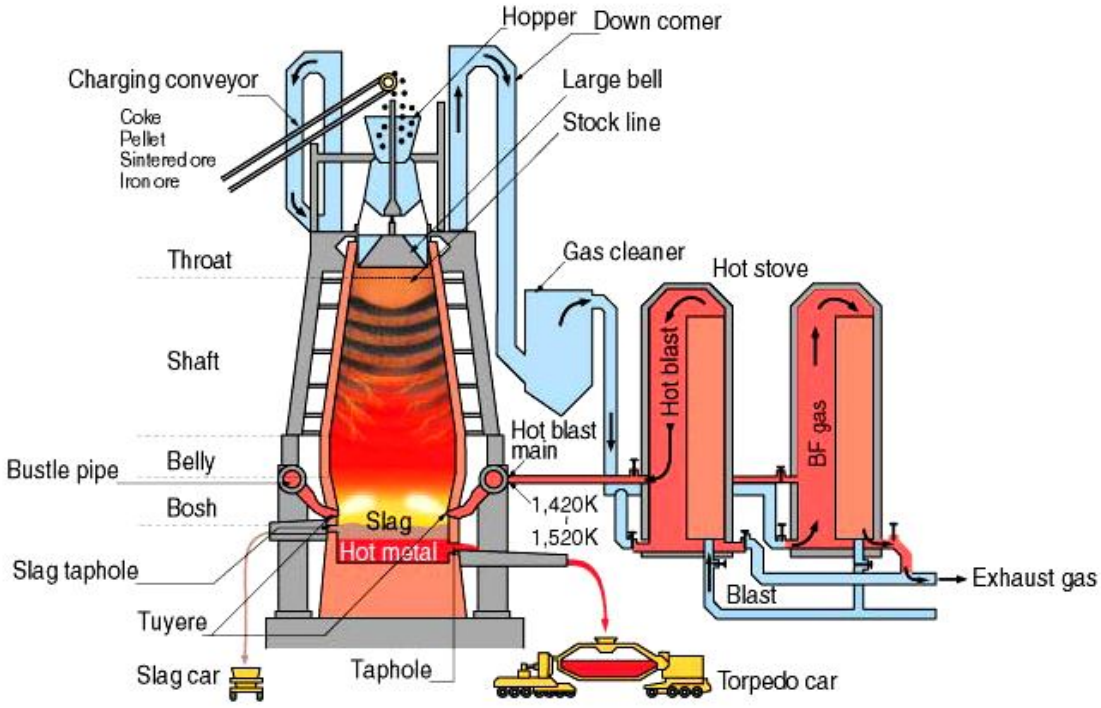
กระบวนการผลิตเหล็กถลุง

เป็นการถลุงเหล็กโดยการเปลี่ยนสภาพแร่เหล็กจากของแข็งเป็นของเหลว กำจัดออกซิเจนในเนื้อเหล็ก และกำจัดสารมลทินโดยการเติมสารปรุงแต่งต่างๆ เพื่อให้สารมลทินแยกตัวออกจากชั้นเหล็กหลอมเหลว ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า เหล็กถลุง (Pig Iron) กระบวนการสำคัญๆ ที่ใช้ในการผลิตเหล็กถลุง ได้แก่ กระบวนการดังต่อไปนี้

1. กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเตาพ่นลม (Blast Furnace)

เป็นกระบวนการถลุงแร่เหล็กแบบดั้งเดิมและมีการใช้งานมากที่สุด เป็นกระบวนการที่ได้มาตรฐานและมีประสิทธิภาพการผลิตสูง อย่างไรก็ตาม กระบวนการนี้ใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูงจากอุปกรณ์เกี่ยวเนื่องต่างๆ ได้แก่ เตาผลิตซินเตอร์ (Sintering Furnace) เพื่อใช้ผลิตแร่เหล็กอัดก้อน (Pellet) และเตาผลิตถ่านโค้ก (Coke Oven) ทำการเผาถ่านหินชั้นคุณภาพที่ใช้ในการผลิตถ่านโค้กซึ่งมีความแข็งแรงไม่แตกร่วนง่าย เป็นต้น ในการผลิตเพื่อให้คุ้มกับการลงทุนนั้น เตาชนิดนี้ต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถผลิตเหล็กหลอมเหลวได้ปริมาณมาก ขั้นตอนกระบวนการถลุงนี้ เริ่มจากการเตรียมก้อนแร่ที่มีปริมาณเหล็กต่ำมาบดให้อยู่ในรูปแร่เหล็กละเอียด ส่วนที่เป็นกากแร่ (Gangue) จะถูกแยกออกมา จากนั้นนำแร่เหล็กละเอียดที่ได้มาเผาเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และปั้นเป็นแร่เหล็กอัดก้อน โดยมีปริมาณเหล็กอยู่ในช่วงร้อยละ 60-65 ทำการป้อนวัตถุดิบ ได้แก่ แร่เหล็ก ถ่านหิน และหินปูน โดยใส่สลับชั้นกับถ่านโค้ก และต้องกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ก๊าซที่เข้าทางช่องลมสามารถผ่านเข้ามาทำปฏิกิริยาได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศในเตาให้สูงขึ้นทำปฏิกิริยากับถ่านโค้กทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาการถลุงกับแร่เหล็ก เปลี่ยนเหล็ก

ออกไซด์ให้กลายเป็นเหล็ก เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ลอยขึ้นด้านบนของเตา และเกิดความร้อนหลอมโลหะเหล็กที่ถูกถลุง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเหล็กหลอมเหลว ไหลลงสู่ด้านล่างของเตา แยกตัวจากสารมลทินต่างๆ ที่ละลายรวมกันเป็นขี้เหล็ก (Slag) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เหล็กหลอมเหลวที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวนี้ มีองค์ประกอบทางเคมีของเหล็กดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยมีปริมาณของเหล็กอยู่ระหว่างร้อยละ 93.50-95.00



รูปที่ 2.6 กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเตาพ่นลม (Blast Furnace)
(ที่มา: www.steel.org)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กที่ได้จากการถลุงด้วยเตาพ่นลม

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
Iron (Fe)	93.5-95.00
Silicon (Si)	0.30-0.90
Sulfer (S)	0.025-0.05
Manganese (Mn)	0.55-0.75
Phosphorus (P)	0.03-0.09
Titanium (Ti)	0.02-0.06
Carbon (C)	4.10-4.40

ที่มา: www.steel.org

การถลุงแร่เหล็กด้วยเตาพ่นลมนี้มีกำลังการผลิตมากกว่า 1 ล้านตันต่อปี ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์เหล็กมากกว่าร้อยละ 60 ที่ผลิตทั่วโลกถูกผลิตด้วยกระบวนการนี้ แต่มีแนวโน้มการใช้งานลดลงเนื่องจากกระบวนการถลุงนี้มีการลงทุนสูงมาก อีกทั้งปัญหาด้านมลภาวะจากเตาผลิตถ่านโค้กที่ต้องการควบคุมดูแลให้ดี ต่อมาได้มีการพัฒนาเตาพ่นลมที่มีขนาดเล็กลง ได้แก่ Compact Blast Furnace และ Mini Blast Furnace ซึ่งกระบวนการไม่สลับซับซ้อนมากนัก แร่เหล็กที่ใช้ไม่จำเป็นต้องแข็งแรงมาก และสามารถใช้ถ่านโค้กคุณภาพปานกลางได้ ใช้เงินลงทุนลดลง เนื่องจากไม่ต้องใช้เตาผลิตถ่านโค้ก และเตาผลิตซินเตอร์ เตาหลอมชนิด Compact Blast Furnace มีกำลังการผลิต 0.8-1.0 ล้านตันต่อปี และชนิด Mini Blast Furnace มีกำลังการผลิตน้อยกว่า 0.25-0.6 ล้านตันต่อปี

ถึงแม้จะมีการพัฒนาให้เตาพ่นลมมีขนาดเล็กลง เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานเตาผลิตซินเตอร์ แต่ก็ต้องบริโภคถ่านหินปริมาณมากขึ้น จึงได้มีการมุ่งเน้นพัฒนาการผลิตเหล็กจากแร่เหล็กโดยตรง ไม่ต้องผ่านกระบวนการเตรียมแร่ ใช้สารถลุงที่ไม่ใช่ถ่านโค้ก เช่น ใช้ถ่านหินชนิด Non-coking coal หรืออาจใช้ก๊าซธรรมชาติ และเป็นกระบวนการที่มีกำลังการผลิตขนาดเล็ก และการลงทุนต่ำ

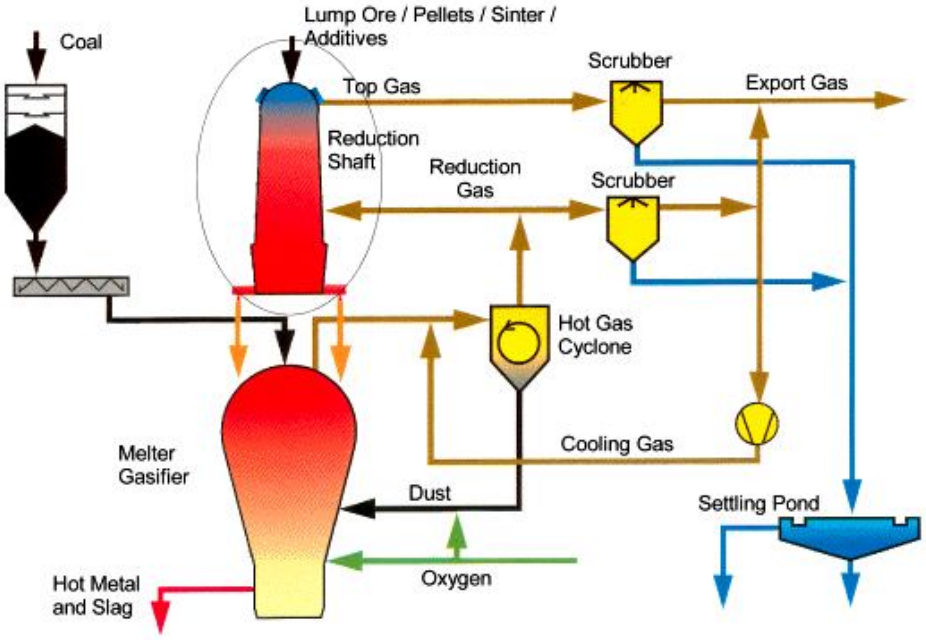
2. กระบวนการถลุงแร่เหล็กหลอมเหลวโดยตรง (Direct Smelting Reduction)

เนื่องจากปัญหาจากการถลุงแร่เหล็กด้วยเตาพ่นลม เช่น ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการผลิตถ่านโค้ก กระบวนการเตรียมแร่ก้อน และปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบคุณภาพสูง อีกทั้งปัญหาเรื่องเงินลงทุนที่สูงมาก ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการถลุงแร่เหล็กหลอมเหลวโดยตรง เพื่อช่วยลดปัญหาเหล่านี้ลง โดยกระบวนการที่ได้รับการพัฒนาได้แก่กระบวนการดังต่อไปนี้

2.1 กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี Corex

เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการผลิตในเชิงพาณิชย์ มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง วัตถุดิบที่ใช้ป้อนเข้าเตานั้นอยู่ในรูปแร่ก้อน แร่อัดก้อน แร่ปั้นเม็ด ผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในรูปเหล็กหลอมเหลว ลักษณะของเตาอยู่ในแนวตั้ง มีการแบ่งขั้นตอนการถลุงเป็น 2 ส่วน คือ เตาถลุงส่วนบน (Reduction Shaft) ทำปฏิกิริยาการถลุงในขั้นแรก โดยใช้ก๊าซที่ได้จากกระบวนการหลอมเหลวที่ส่วนล่างถลุงแร่เหล็ก ได้เหล็กพรุนที่มีประสิทธิภาพการถลุง (Metallization) ประมาณร้อยละ 92 จากนั้นส่งเหล็กพรุนไปเปลี่ยนสภาพเป็นน้ำเหล็กที่เตาหลอมส่วนล่าง (Melter Gasifier) ที่มีการผสมหินปูนและถ่านหิน ซึ่งส่วนนี้นอกจากเป็นส่วนที่เกิดการถลุงแล้ว ยังทำหน้าที่ผลิตก๊าซถลุงจากถ่านหินสำหรับใช้ในการถลุงแร่เหล็กในส่วนแรกด้วย โดยก๊าซที่ได้จะถูกแยกทำความสะอาด แล้วนำกลับไปใช้สำหรับถลุงแร่เหล็กในส่วนแรก ดังรูปที่ 2.7 กระบวนการทั้งหมดนี้ก่อให้เกิดก๊าซออกจากระบบในปริมาณมาก ก๊าซส่วนที่เหลืออาจนำไปผลิตไฟฟ้าหรือผลิตก๊าซที่ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้

ปัจจุบันเทคโนโลยีนี้มีการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมแล้ว โดยมีโรงงาน 3 แห่ง ที่ใช้เทคโนโลยีการถลุงแร่เหล็กชนิดนี้ ได้แก่ แอฟริกาใต้ เกาหลีใต้ และอินเดีย

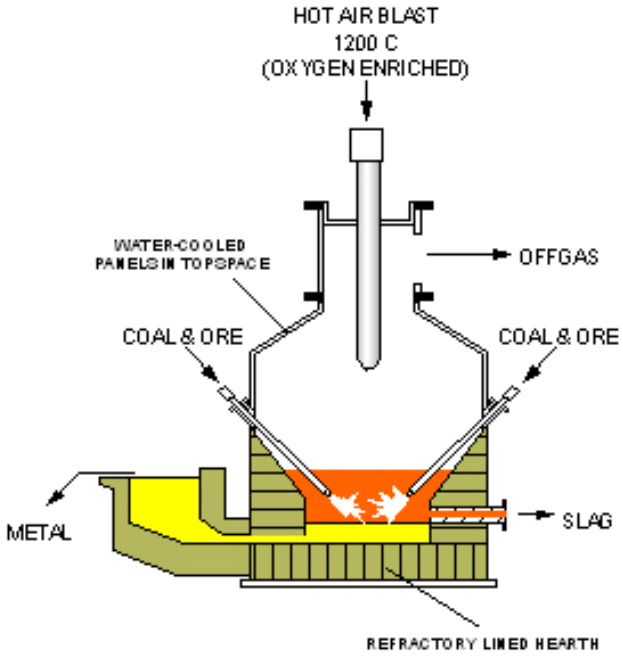


รูปที่ 2.7 กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี Corex
(ที่มา: www.steel.org)

2.2 กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี HIsmelt

กระบวนการถลุงแร่เหล็กนี้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำเหล็ก ปฏิกิริยาการถลุงและหลอมแร่เหล็กเกิดขึ้นในภาชนะเรียกว่า Smelt Reduction Vessel (SRV) ที่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับเตาพ่นลม (Blast Furnace) วัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เตา คือ แร่เหล็กละเอียด รวมถึงเศษเหล็กจากโรงงานเหล็ก ฟลักซ์ และถ่านหิน โดยไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านโค้ก (Non Coking Coal) จึงไม่ต้องมีเตาผลิตถ่านโค้ก รวมถึงเตาผลิตซินเตอร์และเครื่องจักรปั้นเม็ดเพลเลต จุดเด่นของเทคโนโลยี HI smelt คือ การใช้ท่อพ่นวัตถุดิบทั้งถ่านหิน แร่เหล็ก (ที่เป็นแร่เหล็กละเอียด) และอื่น ๆ ลงใน SRV ซึ่งมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาและการตอบสนองที่รวดเร็ว และจากการพ่นก๊าซออกซิเจนจากด้านบนของ SRV ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาการถลุง (ในน้ำเหล็ก) จะลอยตัวขึ้นทำปฏิกิริยาเผาไหม้กับก๊าซออกซิเจน เกิดความร้อนบางส่วนกลับคืนสู่น้ำเหล็ก ในปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงนี้ช่วยสลายสารพิษจำพวก Chlorinated Fluorocarbon, PCSS และ Dioxin ซึ่งก๊าซที่ปล่อยออกมา (Off gas) จะถูกทำให้เย็นลงทันที ทำให้สารเหล่านี้ไม่สามารถรวมตัวกลับมาในรูปเดิมได้อีก ดังรูปที่ 2.8 เทคโนโลยี HI smelt นี้สามารถนำของเสียจากโรงงานเหล็กมาทำการใช้ใหม่อย่างสมบูรณ์โดยไม่ก่อมลภาวะ ช่วยลดต้นทุนการผลิต และต้นทุนวัตถุดิบลดลง เนื่องจากใช้แร่เหล็กละเอียดซึ่งมีราคาถูกและใช้ถ่านหินชนิด Non-coking coal

ในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้ยังอยู่ในตอนการวิจัยและพัฒนา โดยมีโรงงานนำร่องที่มีกำลังการผลิต 0.1 ล้านตันต่อปี ในประเทศออสเตรเลีย



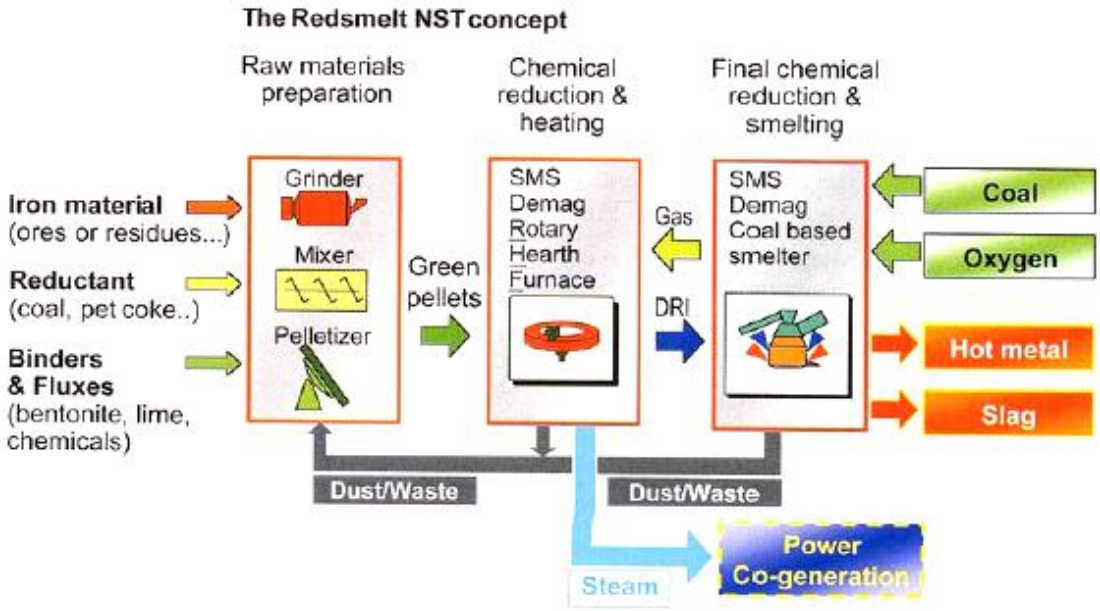
รูปที่ 2.8 กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี HI smelt
(ที่มา: www.steel.org)

2.3 กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี Redsmelt NST

กระบวนการถลุงแร่เหล็กที่ถูกพัฒนาเพิ่มขึ้น โดยการรวมเอาการผลิตเหล็กพรุนที่ใช้เตาชนิด Rotary Heart Furnace (RHF) กับเตาหลอมที่ผลิตน้ำเหล็กชนิดใช้ถ่านหิน (Coal Based Smelter) ที่มีการควบคุมปฏิกิริยาเคมีด้วยฟลักซ์ กระบวนการเริ่มจากการเตรียมแร่เหล็ก ของเสียจากการผลิตเหล็ก เหล็กออกไซด์ หรือแม้แต่ฝุ่นจากการผลิตเหล็กกล้าผสมกับถ่านหินและโดโลไมต์ อัดรวมกันด้วยเครื่อง Pelletizer เป็นวัตถุดิบเรียกว่า Green Pellets ให้กับเตาลักษณะรูปวงแหวนที่หมุนวัตถุดิบอย่างต่อเนื่องเป็นวงกลม พร้อมทั้งให้ความร้อนไปด้วย และผ่านก๊าซ CO และ CO_2 เพื่อรีดิวซ์แร่เหล็กที่ความดันบรรยากาศ จนได้ผลิตภัณฑ์เป็นเหล็กพรุน จากนั้นจึงส่งตรงไปยังส่วนเตาหลอมเพื่อผลิตเป็นน้ำเหล็ก ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในส่วนนี้จะส่งไปใช้ในเตา RHF ต่อไป ดังรูปที่ 2.9 โดยก๊าซที่ออกจากระบบจะถูกควบคุมปริมาณฝุ่น และใช้ในการให้ความร้อนกับก๊าซที่ในเตา RHF หรือหากมีการติดตั้งเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าก็สามารถนำความร้อนส่วนดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ได้ ในกระบวนการมีการใช้พลังงานไฟฟ้า และเชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมัน เพื่อให้ความร้อนกับเตา และควบคุมอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาลดออกซิเจน ซึ่งใช้เวลาในกระบวนการดังกล่าวต่ำกว่า 1 ชั่วโมง ต่างจากการผลิตเหล็กพรุนด้วยเตาชนิด Rotary kiln ที่ใช้เวลากว่า 8 ชั่วโมงขึ้นไป

เทคโนโลยี Redsmelt NST ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาปรับปรุงจากเทคโนโลยีแบบเดิมที่มีส่วนเตาหลอมเป็นชนิดเตาซับเมอร์จอาร์ค (Submerged Arc Furnace: SAF) ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าในการหลอม เป็นการใช้เตาหลอมแบบ Coal based smelter ที่ใช้ถ่านหินและการพ่นก๊าซ

ออกซิเจนในการหลอมที่เหมาะสมกับประเทศที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูง หรือในพื้นที่ที่ถ่านหินมีราคาถูก ผลที่ได้รับคือ อัตราการบริโภคถ่านหินเพิ่มขึ้นร้อยละ 64 แต่การบริโภคไฟฟ้าลดลงถึง 4 เท่า และไม่ต้องมีต้นทุนก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากกระบวนการหลอมจะผลิตก๊าซ CO และ CO_2 ที่สามารถใช้ในเตา RHF ได้



รูปที่ 2.9 กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี Redsmelt NST
(ที่มา: www.steel.org)

กระบวนการผลิตเหล็กพรุน

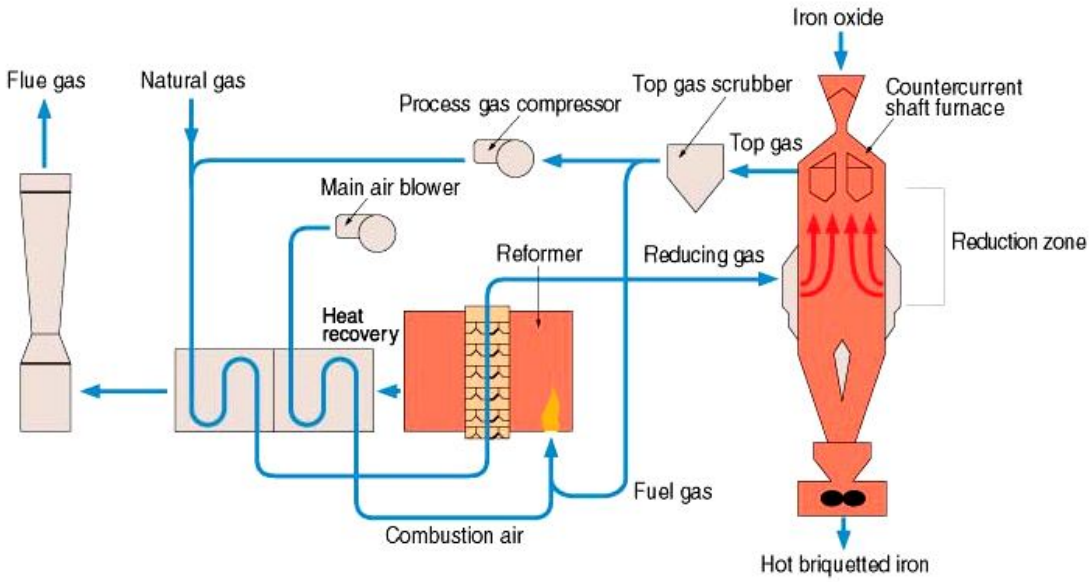
เป็นการถลุงแร่เหล็กโดยการใช้ถ่านหินหรือก๊าซธรรมชาติ ทำการกำจัดออกซิเจนในเนื้อเหล็กที่เป็นแร่เหล็กก้อน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแร่เหล็กก้อนที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เรียกว่า เหล็กพรุน (Sponge Iron หรือ Direct Reduced Iron: DRI) กระบวนการสำคัญๆ ที่ใช้ในการผลิตเหล็กพรุน ได้แก่ กระบวนการดังต่อไปนี้

1. กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี Midrex

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้เป็นเหล็กพรุน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีการถลุงโดยตรงในสภาวะของแข็ง มีลักษณะเตาถลุงเป็นปล่องในแนวตั้ง ใช้ก๊าซธรรมชาติในการถลุง เช่น ก๊าซมีเทน (CH_4) วัตถุดิบที่ป้อนให้กับเตาคือ แร่ละเอียด แร่ก้อน แร่อัดเม็ด (Pellet) โดยแร่อัดเม็ดให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งปฏิกิริยาในเตาถลุงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกปล่อยให้ก้อนแร่เคลื่อนที่สวนทิศทางกับก๊าซธรรมชาติที่ผ่านการแปรสภาพด้วยเครื่องแปรสภาพก๊าซ (Reformer) จนอยู่ในรูป

ก๊าซ CO และก๊าซ H_2 ที่ทำหน้าที่ลดปริมาณออกซิเจนในแร่เหล็ก ณ อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส ในส่วนที่สองทำหน้าที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เย็นตัวลงด้วยก๊าซ CO และ H_2 จากเครื่องแปรสภาพก๊าซ โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีปริมาณคาร์บอนที่ผิวสูงทำให้ลดการเกิด Re-oxidization ได้ สามารถผลิตได้ทั้งเหล็กพรุน (Direct Reduced Iron: DRI) และเหล็กพรุนอัดก้อน (Hot Briquette Iron: HBI) ดังรูปที่ 2.10 โดยผลผลิตมากกว่าร้อยละ 60 ของการผลิตเหล็กพรุนได้มาจากกระบวนการนี้ กระบวนการทั้งหมดมีการควบคุมการหมุนเวียนของฝุ่นที่เกิดขึ้น และนำกลับไปใช้ใหม่ และระบบมีการบริโภคพลังงานไฟฟ้าจำนวนหนึ่ง

ปัจจุบันมีการใช้งานกระบวนการดังกล่าวอย่างแพร่หลาย โดยติดตั้งในโรงงานกว่า 50 แห่งทั่วโลกและเริ่มมีการดำเนินการผลิตในเชิงพาณิชย์มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2512



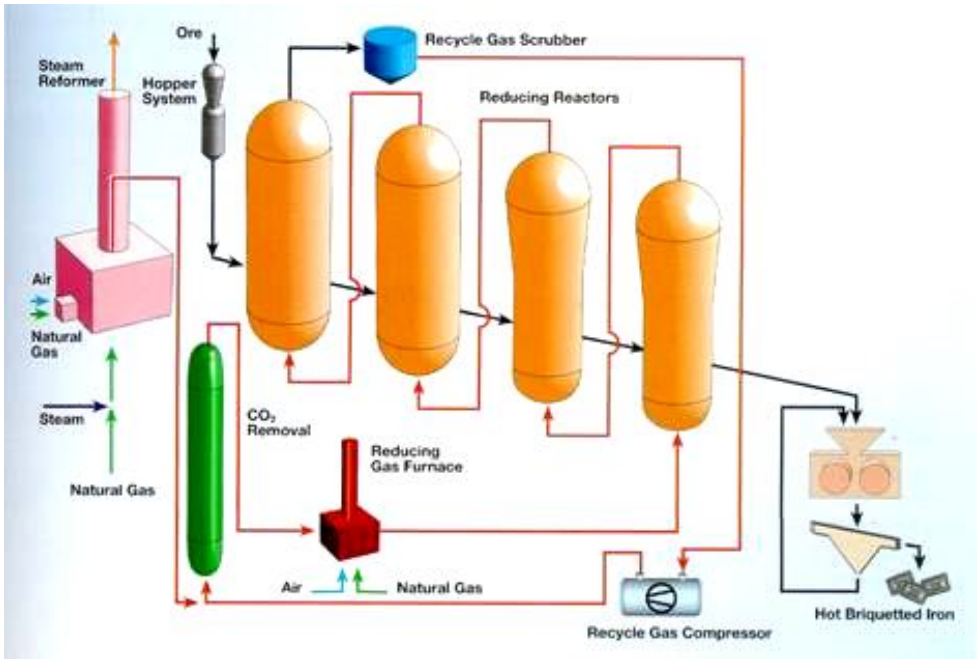
รูปที่ 2.10 กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี Midrex
(ที่มา: www.steel.org)

2. กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี Finmet

เทคโนโลยีนี้ใช้วัตถุดิบเป็นแร่เหล็กละเอียดไม่ต้องผ่านกระบวนการเตรียมแร่ ทำให้ลดต้นทุนด้านวัตถุดิบได้ค่อนข้างมาก และใช้ก๊าซธรรมชาติในการลดออกซิเจนออกจากแร่เหล็ก ลักษณะสำคัญของกระบวนการนี้คือ ชุดเตาต่อเนื่อง 4 เตา (Fluidizing Bed Reactors) ที่ภายในมีการอัดความดันของก๊าซที่ 10-12 บาร์ โดยเตาส่วนแรกทำการให้ความร้อนแก่แร่เหล็กด้วยก๊าซที่ได้จากเตาตัวก่อน จากนั้นส่งผ่านแร่ที่ถูกรีดิวซ์ไปยังเตา (Reactor) ตัวต่อๆ ไป จนได้ระดับประสิทธิภาพการถลุง (Metallization) ที่ต้องการ จากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกอัดเพื่อผลิตเป็นเหล็กพรุนอัดก้อน (HBI) ที่มี

คุณภาพและความบริสุทธิ์สูงกว่าที่ได้จากการผลิตโดยกระบวนการอื่น เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวเชื่อมประสาน อีกทั้งองค์ประกอบทางเคมีและขนาดของเกรนเหล็กมีขนาดสม่ำเสมอ และมีฝุ่นหลุดร่วงระหว่างการขนส่งเคลื่อนย้ายน้อย ก๊าซที่ออกจากกระบวนการจะถูกทำความสะอาดและทำให้เย็นก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการต่อไป ดังรูปที่ 2.11

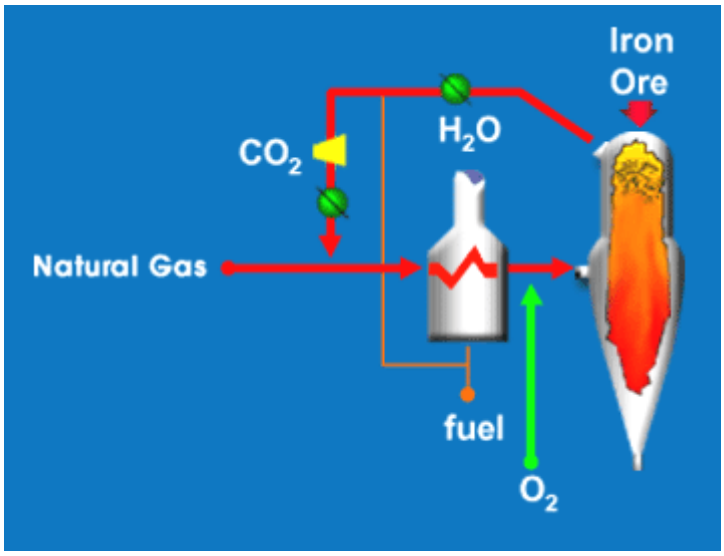
ปัจจุบันมีการพยายามปรับใช้กับอุตสาหกรรมในโรงงาน 2 แห่ง แต่ไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร และยังอยู่ในระหว่างการปรับปรุงพัฒนาต่อไป



รูปที่ 2.11 กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี Finmet
(ที่มา: www.steel.org)

3. กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี HyL III

เป็นเทคโนโลยีการถลุงโดยตรงจากสภาพของของแข็ง เริ่มมีการใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2523 จนถึงปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการถลุง คือ เหล็กพรุน (Sponge iron) หรือเหล็กพรุนอัดก้อน (HBI) โดยมีประสิทธิภาพการถลุงมากกว่าร้อยละ 93 และมีธาตุคาร์บอนประมาณร้อยละ 5.5 มีกำลังการผลิตประมาณ 200,000–750,000 ตันต่อปี สัดส่วนการผลิตคิดเป็นร้อยละ 19 ของการผลิตเหล็กพรุน ลักษณะของเตาเป็นแบบ Moving bed



รูปที่ 2.12 กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี HYL III
(ที่มา: www.steel.org)

4. กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี Rotary Heart Furnace (RHF)

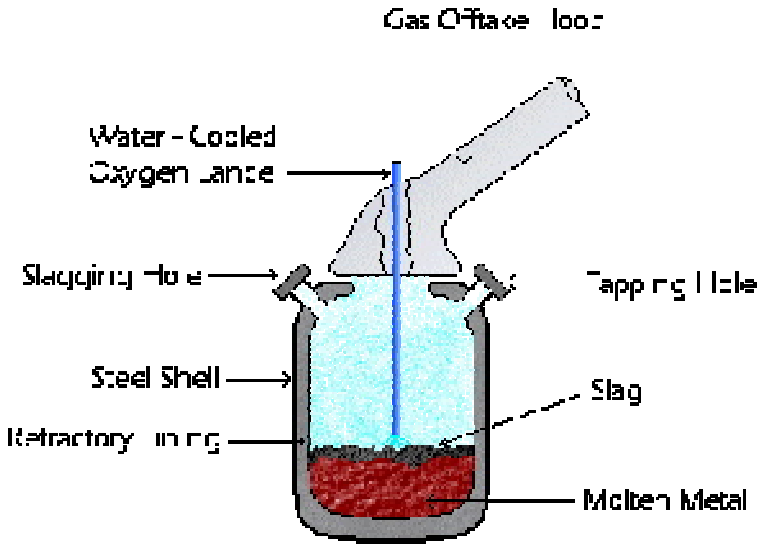
เนื่องจากกระบวนการ RHF เป็นกระบวนการที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ ขนาดกำลังการผลิตในเชิงพาณิชย์ในปี พ.ศ 2543 ได้แก่ ระบบ Iron Dynamic Process จำนวน 0.52 ล้านตัน โรงงานที่ใช้เทคโนโลยีนี้เริ่มทำการผลิตในปี พ.ศ. 2543 ผลผลิตที่ 50,000 ตัน ลักษณะกระบวนการผลิตเป็นกระบวนการที่ใช้หลักการในการอัดแร่เหล็ก หรือของเสียจากการผลิตเหล็กร่วมกับถ่านหินเป็นก้อนวัตถุดิบ และให้ความร้อนโดยเตาเผาหมุนเป็นรูปวงแหวนด้วยเชื้อเพลิง การเคลื่อนที่ของวัตถุดิบสวนทางกับแก๊ส (CO/CO_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการลดออกซิเจนไหลผ่าน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณซัลเฟอร์สูง ดังนั้นต้องเลือกใช้ถ่านหินที่มีปริมาณซัลเฟอร์ต่ำ โดยกระบวนการที่พัฒนาขึ้นด้วยระบบนี้ ได้แก่ Fastmet Inmetco และ Iron dynamic

5. กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเทคโนโลยี SL/RN

ลักษณะกระบวนการผลิตเป็นกระบวนที่ใช้หลักการในการลดออกซิเจนในแร่เหล็ก ด้วยการเผาแร่เหล็กร่วมกับถ่านหินและหินปูนในเตาเผาแบบนอน (rotary kiln) ที่มุมเอียงให้เกิดการไหลของวัตถุดิบจากทาง เข้าและมีการจ่ายเชื้อเพลิงจากทางออก ใช้หลักการเผาถ่านหินรวมกับแร่เหล็กในเตาเผาจนถ่านหินกลายเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่ลดออกซิเจนในแร่เหล็ก ปฏิกิริยาเป็นแบบ Diffusion Control อุณหภูมิของปฏิกิริยาประมาณ 900–1,100 องศาเซลเซียส เป็นกระบวนที่ไม่ยุ่งยาก แต่การควบคุมปฏิกิริยาทำได้ยาก เนื่องจากการแตกของตัวแร่เหล็กและถ่านหินทำให้การลดออกซิเจนไม่สม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภพการถลุง (Metallization) ต่ำ มีปริมาณซัลเฟอร์สูงซึ่งมาจากถ่านหิน

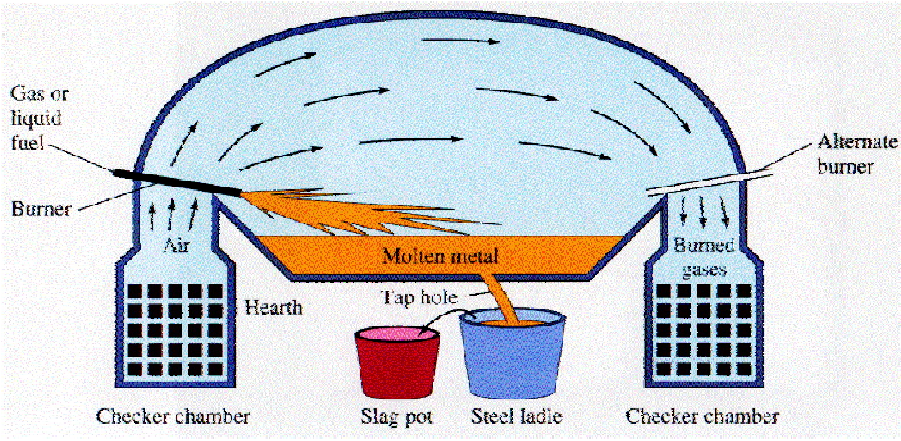
การผลิตเหล็กกล้าจากแร่เหล็ก

การผลิตเหล็กกล้าจากแร่เหล็กหรือเหล็กถลุงในปัจจุบันมากกว่าร้อยละ 60 ของผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าทั่วโลก นิยมใช้กระบวนการหลอมด้วยเตาพ่นออกซิเจน (Basic Oxygen Furnace : BOF) โดยเตาชนิดนี้มีข้อได้เปรียบในด้านของปริมาณการผลิตครั้งละมาก ๆ นอกจากนั้นเหล็กกล้าหลอมเหลวที่ได้จะมีปริมาณธาตุตกค้าง (Residual Element) และไนโตรเจนต่ำ สามารถผลิตเหล็กกล้าที่มีคุณภาพสูงได้ ในกระบวนการผลิตนี้ใช้เหล็กหลอมเหลว (Liquid Pig Iron or Hot Metal) จากเตาถลุงแร่เหล็กมาป้อนเข้าสู่เตานี้ โดยจะป้อนเหล็กหลอมเหลวในสัดส่วนตั้งแต่ร้อยละ 70-80 และสัดส่วนที่เหลือเป็นการใช้เหล็กถลุงหรือเหล็กพรุน ก๊าซออกซิเจนที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 ถูกพ่นเข้าในเตาด้วยความเร็วสูง ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ธาตุคาร์บอน ซิลิกอน แมงกานีส และฟอสฟอรัสในเหล็กกล้าหลอมเหลว สารมลทินอื่น ๆ จะหลอมรวมตัวเป็นขี้เหล็กและถูกกำจัดทิ้ง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเหล็กกล้าที่มีคุณภาพสูง ดังรูปที่ 13 ในกระบวนการผลิตแบบนี้ได้รับการพัฒนาในหลาย ๆ ด้าน เช่น การใช้ระบบออโตเมชั่นเข้ามาช่วยในการทำงานระหว่างเตาถลุงแบบพ่นลม (Blast Furnace) กับเตาพ่นออกซิเจน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด หรือการพัฒนากระบวนการปรุงน้ำเหล็ก (Refining Process) เพื่อให้มีการพัฒนาด้านประสิทธิภาพการผลิต และการผลิตเหล็กเกรดใหม่ ๆ ที่หลากหลายมากขึ้น รวมถึงการพัฒนาในด้านเทคนิคในการประสานงานกับกระบวนการต่อเนื่องอื่น ๆ เช่น การหล่อเหล็ก (Casting) เป็นต้น



รูปที่ 2.13 การผลิตเหล็กกล้าด้วยเตาพ่นออกซิเจน
(ที่มา: www.steel.org)

เตาอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการผลิตเหล็กกล้าคือ เตา Basic Open Hearth (BOH) โดยเตาชนิดนี้มีการผลิตใช้ครั้งแรกเมื่อประมาณ 140 ปีก่อน ในการหลอมเหล็กกล้าด้วยเตาชนิดนี้ มีการเติมแร่เหล็ก และหินปูนผสมเข้าไปกับเหล็กกล้าหลอมเหลว เมื่อให้ความร้อนกับเตา หินปูนจะหลอมปกคลุมน้ำเหล็กที่กำลังหลอมเหลว และควบคุมอัตราการกำจัดสารมลทินอื่น ๆ ธาตุคาร์บอน แมงกานีส และซิลิกอน จะค่อย ๆ ถูกกำจัดออกไปกับขี้เหล็ก จากนั้นทำการกำจัดออกซิเจนส่วนเกินออกจากเหล็กกล้าด้วยดีออกซิไดเซอร์ เช่น เฟอร์โรแมงกานีส (FeMn) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.14 กระบวนการนี้เป็นการผลิตที่ล้าสมัย ประเทศที่ใช้วิธีนี้จะเป็นกลุ่มประเทศที่ยังไม่มีเทคโนโลยีในการผลิตเหล็กสูง และมีการผลิตเหล็กกล้าที่มีราคาถูก คุณภาพต่ำ ได้แก่ กลุ่ม CIS ยุโรปตะวันออก และประเทศจีน เป็นต้น โดยมีแนวโน้มการใช้เตาลดลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.14 การผลิตเหล็กกล้าด้วยเตา Basic Open Hearth (BOH)
(ที่มา: www.steel.org)

การผลิตเหล็กจากเศษเหล็ก (การผลิตขั้นทุตยิภูมิ)

เศษเหล็กถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการผลิตในประเทศที่ไม่มีทรัพยากรแร่เหล็กจึงไม่สามารถผลิตเหล็กถลุงหรือเหล็กพรุนเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นได้ อุตสาหกรรมที่ใช้เศษเหล็กส่วนใหญ่ได้แก่ โรงงานผลิตเหล็กกล้าและเหล็กหล่อเป็นต้น

รูปที่ 2.15 เศษเหล็กที่เป็นวัตถุดิบสำหรับโรงงานเหล็ก
(ที่มา: www.answers.com, www.southerncrossmetalrecyclers.com.au)

กระบวนการผลิตเหล็กกล้าจากเศษเหล็ก

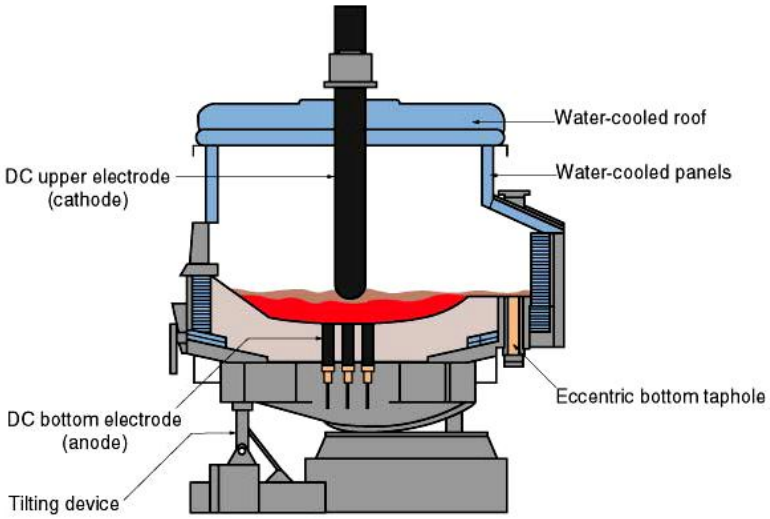
การผลิตเหล็กกล้าจากเศษเหล็กส่วนใหญ่นิยมใช้เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace: EAF) เป็นเตาสำหรับการผลิต โดยกระบวนการหลอมด้วยเตาอาร์คไฟฟ้านี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเมื่อประมาณ 100 ปีก่อน และยังคงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง กระบวนการนี้ส่วนมากจะใช้เศษเหล็กเป็นวัตถุดิบหลักในการหลอม แต่คุณภาพของเหล็กที่ได้สามารถทำได้ดีระดับหนึ่งเท่านั้น จึงอาจมีการผสมเหล็กถลุงและเหล็กพรุนเพื่อปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าให้ดีขึ้นได้ เศษเหล็กจะถูกผสมกับอัลลอยด์และอัดให้แน่นก่อนป้อนเข้าสู่เตาอาร์คไฟฟ้า นอกจากนี้จะมีการเติมวัตถุดิบอื่น ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ฟลักซ์ เช่น ปูนขาว หินฟันม้า โดโลไมต์ ถ่านโค้ก เป็นต้น ธาตุผสมต่าง ๆ เช่น เฟอร์โรซิลิกอน เฟอร์โรแมงกานีส เป็นต้น รวมทั้งสารปรับปรุงปริมาณคาร์บอน เช่น เศษแท่งอิเล็กโทรด และสารลดออกซิเจน เช่น อะลูมิเนียม

เมื่อเศษเหล็กถูกหลอมในเตาหลอม โดยเตาหลอมได้รับไฟฟ้ากำลังสูงมายังแท่งอิเล็กโทรดทำให้เกิดอาร์คไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูง และเศษเหล็กถูกหลอมเหลวอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.16 ในช่วงการหลอม มีการใช้หัวเผา Oxy Fuel ให้ความร้อนเพิ่มเติม เพื่อช่วยหลอมเศษเหล็กในบริเวณที่อาร์คไฟฟ้าหลอมไม่ทั่วถึง (Cold Spot)

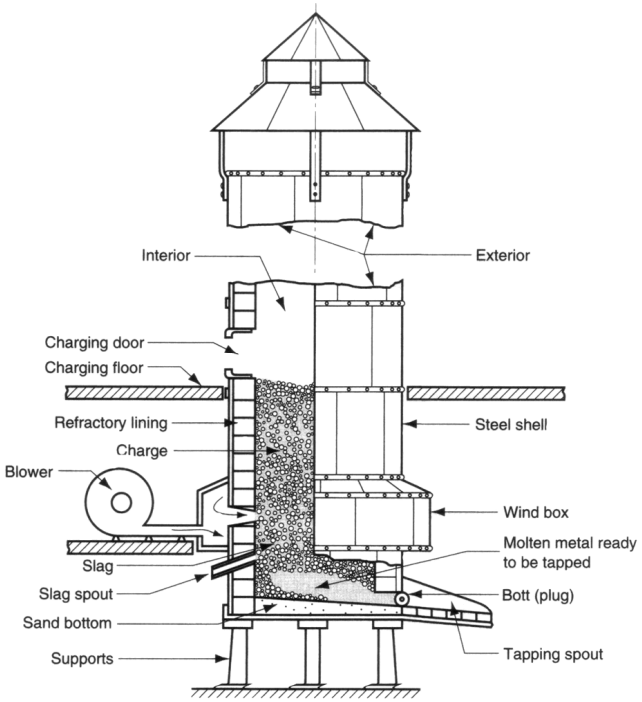
กระบวนการผลิตเหล็กหล่อจากเศษเหล็ก

การผลิตเหล็กหล่อส่วนใหญ่จะนิยมใช้เตาคิวโพลา (Cupola) ซึ่งโครงสร้างของเตามีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.17 กระบวนการผลอมเริ่มจากป้อนเศษเหล็ก ถ่านหิน ฟลักซ์ ธาตุอัลลอยด์ที่ต้องการเข้าในเตาปริมาณต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของระดับความสูงของเตา และอาจมีการผสมเหล็กถลุงเล็กน้อย รวมถึงเศษเหล็กที่เหลือจากการหล่อครั้งก่อน ๆ เชื้อเพลิงที่ใช้ให้ความร้อนกับเตาส่วนใหญ่จะเป็นถ่านหิน นอกจากนี้จะใส่ฟลักซ์สำหรับทำปฏิกิริยากับขี้เถ้าและสิ่งเจือปนอื่น ๆ เพื่อให้รวมตัวกัน

เกิดเป็นขี้เหล็ก ซึ่งขี้เหล็กเหล่านี้ช่วยป้องกันน้ำเหล็กทำปฏิกิริยากับบรรยากาศภายในเตา และช่วยลดการสูญเสียความร้อนก่อนที่น้ำเหล็กจะถูกเทออกจากเตา



รูปที่ 2.16 การผลิตเหล็กกล้าด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า
(ที่มา: www.steel.org)



รูปที่ 2.17 การผลิตเหล็กหล่อด้วยเตาคิวโพลา
(ที่มา: www.steel.org)

การผลิตเหล็กโดยใช้เหล็กเหล็กเป็นวัตถุดิบแม้จะมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้เหล็กถลุงหรือเหล็กพรุนที่ได้จากแร่เหล็ก แต่คุณภาพของเหล็กที่หลอมได้ก็จะต่ำเช่นกัน วิธีการเพิ่มคุณภาพให้กับวัตถุดิบมีหลายประการเช่น การคัดแยกคุณภาพของเศษเหล็กก่อนโดยอาจใช้เศษเหล็กใหม่ที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีสิ่งปนเปื้อนน้อย การใช้กระบวนทางเคมีเพื่อดึงธาตุมลทินที่สำคัญ เช่น ทองแดง ออกก่อน แต่วิธีที่นิยมใช้มากคือ กระบวนการทางกายภาพ เช่น การใช้แม่เหล็กเพื่อดูดเอาเฉพาะเหล็กสำหรับป้อนเข้าเตา เนื่องจากกระบวนการไม่ยุ่งยาก และไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม การใช้เศษเหล็กเป็นวัตถุดิบจำเป็นต้องมีการเตรียมที่ดีก่อนป้อนเข้าเตาหลอม เพราะเศษเหล็กมีขนาดและคุณภาพที่แตกต่างกัน หากเตรียมไม่ดีจะสิ้นเปลืองเศษเหล็กและพลังงานที่ใช้หลอม รวมถึงใช้ระยะเวลาการหลอมที่นานขึ้น อีกทั้งอาจได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่ดี ปัจจุบันการจัดการผลิตที่เหมาะสมมักมีการอุ่นเศษเหล็กด้วยไอร้อนจากเตาหลอม (Scrap preheater) ก่อนนำเข้าเตาหลอม ซึ่งสามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้มาก

อุตสาหกรรมเหล็กของประเทศไทย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กของประเทศไทยมีการผลิตเฉพาะขั้นกลางและขั้นปลาย ได้แก่ การผลิตเหล็กกึ่งสำเร็จรูป (Semi-Finished Products) จากเศษโลหะโดยใช้เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace: EAF) และการผลิตเหล็กสำเร็จรูปต่าง ๆ (Finished Products) เป็นหลัก สำหรับอุตสาหกรรมเหล็กต้นน้ำยังไม่มีผู้ประกอบการรายใดสามารถผลิตได้ แต่อย่างไรก็ตามรัฐบาลได้มีนโยบายส่งเสริมการลงทุนเพื่อให้เกิดเหล็กขั้นต้นในประเทศไทยอย่างจริงจัง ทำให้ในช่วงกลางปี 2551 มีผู้ประกอบการทั้งภายในและต่างประเทศแสดงความสนใจที่จะลงทุนในอุตสาหกรรมเหล็กขึ้นต้นแล้วจำนวน 6 ราย ได้แก่ เครือสหวิริยา บริษัท ทาทาสตีล จำกัด (มหาชน) บริษัท นิปปอนสตีล จำกัด บริษัท เจ เอฟ อี สตีล คอร์ปอเรชั่น จำกัด บริษัท บาวสตีล จำกัด และบริษัท อาร์เซลอร์มิตทอล จำกัด นอกจากนี้ ยังมีผู้ประกอบการรายเล็กในพื้นที่แหล่งแร่เหล็กบริเวณภาคเหนืออีกหลายรายที่มีโครงการจะก่อสร้างโรงงานถลุงเหล็กขั้นต้น สำหรับศักยภาพการผลิตของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้ามีรายละเอียด ดังนี้

1. อุตสาหกรรมเหล็กทรงยาว

ปัจจุบันประเทศไทยมีผู้ประกอบการผลิตเหล็กทรงยาวจำนวนทั้งสิ้น 66 ราย (ภาวะการประกอบโลหกรรมของประเทศไทยปี 2548, กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่) สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ เหล็กเส้น เหล็กลวด และเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ โดยมีกำลังการผลิตรวม 11.3 ล้านตันต่อปี (ภาคผนวก ง) สำหรับรายละเอียดของผู้ประกอบการในแต่กลุ่ม มีดังนี้

(1) ผู้ประกอบการเหล็กเส้น

บริษัทผู้ผลิตเหล็กเส้นในประเทศไทยมีจำนวนทั้งสิ้น 55 ราย แบ่งเป็นกลุ่มผู้ผลิตที่มีเตาหลอมไฟฟ้าจำนวน 12 ราย และกลุ่มผู้ผลิตที่ไม่มีเตาหลอมจำนวน 43 ราย โดยมีกำลังการผลิตรวม 3.4 และ 4.1 ล้านตันต่อปีตามลำดับ บริษัทผู้ผลิตเหล็กเส้นในประเทศรายใหญ่ที่สุด ได้แก่

บริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด (มหาชน) และ บริษัท บางสะพานบาร์มิลล์ จำกัด ซึ่งมีกำลังการผลิตสูงถึง 950,000 และ 720,000 ตันต่อปีตามลำดับ สำหรับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเหล็กเส้นที่ผลิตได้ประกอบด้วยเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างภายในประเทศ และมีผู้ผลิตบางรายที่ส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศใกล้เคียง เช่น ลาว กัมพูชา พม่า เป็นต้น

(2) ผู้ประกอบการเหล็กลวด

ผู้ผลิตลวดในประเทศมีจำนวน 10 ราย แบ่งเป็นผู้ผลิตที่มีเตาหลอมจำนวน 5 ราย มีกำลังการผลิตรวม 1.0 ล้านตันต่อปี และผู้ผลิตที่ไม่มีเตาหลอมจำนวน 5 ราย มีกำลังการผลิตรวม 1.3 ล้านตันต่อปี อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กลวดในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการผลิตลวดเหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างทั่วไป และเหล็กลวดคาร์บอนต่ำที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตตะแกรงเหล็ก สำหรับการผลิตเหล็กลวดคาร์บอนสูงและเหล็กลวดคาร์บอนปานกลางที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตลวดทนแรงดึงสูง สปริง ตะปู น็อต เป็นการผลิตโดยกลุ่มผู้ผลิตที่ไม่มีเตาหลอมซึ่งจะนำเข้าเหล็กแท่งเล็ก (Billet) คาร์บอนสูง และคาร์บอนปานกลางจากต่างประเทศมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต

(3) ผู้ประกอบการเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

อุตสาหกรรมเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการผลิตในประเทศไทย ได้แก่ เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนที่ใช้ตอบสนองความต้องการในประเทศเป็นหลักตามมาตรฐานและชั้นคุณภาพที่กำหนด เช่น เหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เหล็ก H-Beam เหล็ก I-Beam เหล็กเข็มพืด เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างขนาดใหญ่ต่าง ๆ เช่น สะพาน ทางด่วน โครงสร้างอาคาร นอกจากการผลิตเพื่อจำหน่ายให้กับอุตสาหกรรมในประเทศแล้ว ผู้ผลิตบางรายยังสามารถพัฒนาศักยภาพในการแข่งขันเพื่อเพิ่มปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์ไปยังต่างประเทศ โดยปรับปรุงคุณภาพสินค้าให้ตรงตามมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนดอีกด้วย ปัจจุบันกลุ่มผู้ผลิตเหล็กโครงสร้างรูปพรรณมีจำนวนทั้งสิ้น 8 ราย แบ่งเป็นผู้ผลิตที่มีเตาหลอมไฟฟ้าจำนวน 3 ราย มีกำลังการผลิตรวม 1.5 ล้านตันต่อปี และผู้ผลิตที่ไม่มีเตาหลอมจำนวน 5 ราย มีกำลังผลิตรวม 575,000 ตันต่อปี สำหรับบริษัทผู้ผลิตเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรายใหญ่ที่สุดได้แก่ บริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด ซึ่งมีกำลังการผลิตสูงถึง 600,000 ตันต่อปี

2. อุตสาหกรรมเหล็กทรงแบน

กลุ่มผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กทรงแบนในประเทศไทยมีจำนวน 17 ราย คิดเป็นกำลังการผลิตรวมทั้งสิ้น 11.2 ล้านตันต่อปี สำหรับผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้ประกอบด้วย เหล็กแผ่นรีดร้อน เหล็กแผ่นรีดเย็น เหล็กแผ่นรีดเย็นไร้สนิม และเหล็กแผ่นเคลือบ โดยมีรายละเอียดของผู้ผลิตแบ่งตามประเภทผลิตภัณฑ์ดังนี้

(1) เหล็กแผ่นรีดร้อน

ผู้ผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนในประเทศมีจำนวน 5 ราย แบ่งเป็นผู้ผลิตที่มีเตาหลอมจำนวน 2 ราย มีกำลังการผลิตรวม 3.0 ล้านตันต่อปี และผู้ผลิตที่ไม่มีเตาหลอมจำนวน 3 ราย มีกำลัง

การผลิตรวม 4.1 ล้านตันต่อปี โดยบริษัทที่มีกำลังการผลิตสูงที่สุดได้แก่ บริษัท สหวิริยาสตีล อินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ซึ่งสามารถผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนได้ปริมาณ 2.4 ล้านตันต่อปี สำหรับผลิตภัณฑ์ที่กลุ่มผู้ประกอบการเหล็กแผ่นรีดร้อนผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ เหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน (Hot Rolled Coils) ซึ่งส่วนใหญ่มีความหนา 1.0-12.0 มิลลิเมตร ใช้เป็นวัตถุดิบของท่อเหล็ก เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น เหล็กแผ่นรีดเย็น ชิ้นส่วนยานยนต์ ถังแก๊ส และอีกประเภทคือ เหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดแผ่นหนา (Hot Rolled Plates) ซึ่งส่วนใหญ่มีความหนา 4.5-100.0 มิลลิเมตร ใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมก่อสร้างขนาดใหญ่ ท่อน้ำขนาดใหญ่ ท่อน้ำมัน ถังเก็บน้ำมัน ถังอัดความดัน หม้อไอน้ำอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมต่อเรือ เป็นต้น

(2) เหล็กแผ่นรีดเย็น

ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเหล็กแผ่นรีดเย็นในประเทศไทยมีจำนวน 3 ราย กำลังการผลิตรวม 2.6 ล้านตันต่อปี โดยใช้วัตถุดิบหลักคือเหล็กแผ่นรีดร้อนที่ผลิตในประเทศและการนำเข้าจากต่างประเทศ ผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้แบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับการใช้งานที่ไม่ต้องการคุณสมบัติในการขึ้นรูป (Cold-Rolled Steel Sheet for Galvanized Iron Substrate: GIS) เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับการใช้ในงานทั่วไปที่ต้องการคุณสมบัติในการขึ้นรูป (Cold-Rolled Steel Sheet for General Use: CRS) และเหล็กแผ่นรีดเย็นชนิด TMBP (Cold-Rolled Steel Sheet for Tinplate and Tin Free Steel: Tin Mill Black Plate) โดยเหล็กแผ่นรีดเย็น GIS ส่วนใหญ่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีสำหรับทำหลังคา และเหล็กแผ่นรีดเย็น CRS จะใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เฟอร์นิเจอร์ สำหรับเหล็กแผ่นรีดเย็นชนิด TMBP ใช้เป็นวัตถุดิบของเหล็กแผ่นเคลือบโครเมียมและเหล็กแผ่นเคลือบดีบุกสำหรับผลิตกระป๋อง

(3) เหล็กแผ่นรีดเย็นไร้สนิม

ผู้ประกอบการเหล็กแผ่นรีดเย็นไร้สนิมในประเทศไทยมีเพียงรายเดียวได้แก่ บริษัท ไทยน็อคซ์สตีล จำกัด มีกำลังการผลิต 200,000 ตันต่อปี โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้แก่ เหล็กแผ่นไร้สนิมรีดร้อน ซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศทั้งหมด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ประมาณร้อยละ 40 จะใช้เพื่อตอบสนองความต้องการใช้ในประเทศ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ การขนส่ง ภาชนะบรรจุภัณฑ์ เครื่องครัว อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องจักรกล และอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ส่วนผลผลิตที่เหลือจะส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ

(4) เหล็กแผ่นเคลือบ

ปัจจุบันผู้ประกอบการเหล็กแผ่นเคลือบในประเทศมีจำนวนทั้งสิ้น 9 ราย มีกำลังการผลิตรวม 1.3 ล้านตันต่อปี โดยสามารถแบ่งตามประเภทของผลิตภัณฑ์เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มเหล็กแผ่นเคลือบดีบุกและโครเมียม มีผู้ผลิตจำนวน 2 ราย โดยวัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ เหล็กแผ่นรีดเย็นชนิด TMBP แบบ Single cold-reduced และ Double cold-reduced สำหรับ

การใช้งานเหล็กแผ่นเคลือบดีบุกและโครเมียมส่วนมากจะใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เช่น กระป๋องบรรจุผัก ผลไม้ ผลิตภัณฑ์นมผง และ ปลากระป๋อง เป็นต้น

- กลุ่มเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี มีผู้ผลิตจำนวน 7 ราย โดยใช้เหล็กแผ่นรีดเย็นเป็นวัตถุดิบและมีกรรมวิธีการผลิตทั้งแบบจุ่มร้อนและแบบใช้ไฟฟ้า สำหรับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีจะใช้งานในอุตสาหกรรมก่อสร้าง (เช่น หลังคา รั้ว ท่อน้ำ รางน้ำ เป็นต้น) อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมยานยนต์

- กลุ่มเหล็กแผ่นเคลือบโลหะผสมระหว่างสังกะสีและอะลูมิเนียม มีผู้ผลิตเพียงรายเดียวคือ บริษัท บลูสโคป สตีล (ประเทศไทย) จำกัด โดยใช้เหล็กแผ่นรีดเย็นเป็นวัตถุดิบในการผลิตเหล็กแผ่นเคลือบชนิดนี้ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น

- กลุ่มเหล็กแผ่นเคลือบสี มีผู้ผลิตจำนวน 4 ราย โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และงานทั่วไป เช่น ป้ายจราจร เป็นต้น สำหรับวัตถุดิบที่ใช้มีทั้งเหล็กแผ่นรีดเย็น เหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี และเหล็กแผ่นเคลือบโลหะผสมระหว่างสังกะสีกับอะลูมิเนียม

รูปที่ 2.18 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เหล็กที่มีการผลิตในประเทศไทย
(ที่มา: www. chatisgarhsteelproducts.com)

ในปี 2550 ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กทั้งหมด 10.66 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 268,500 ล้านบาท โดยการผลิตเหล็กที่มีปริมาณมากที่สุดได้แก่ ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเหล็กทรงยาว (Long products) เช่น เหล็กเส้น เหล็กลวด สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง รองลงมาได้แก่ ผลิตภัณฑ์เหล็กแผ่นรีดร้อน เหล็กแผ่นรีดเย็น และเหล็กแผ่นเคลือบ ตามลำดับ การนำเข้าผลิตภัณฑ์เหล็กในปี 2550 มีปริมาณทั้งหมด 12.40 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 316,126 ล้านบาท ผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนการนำเข้ามากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ เหล็กแผ่นรีดร้อน ผลิตภัณฑ์เหล็กกึ่งสำเร็จรูป (Semi-Finished products) และเหล็กแผ่นเคลือบ ตามลำดับ ในขณะที่การส่งออกผลิตภัณฑ์เหล็กของประเทศไทยในปี 2550 มีปริมาณ 2.98 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 89,253 ล้านบาท โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการส่งออกมากที่สุด ได้แก่ เหล็กแผ่นรีดร้อน เหล็กทรงยาว และท่อเหล็กตามลำดับ สำหรับราคาของผลิตภัณฑ์เหล็กในประเทศโดยเฉลี่ยในปี 2550 อยู่ที่ 21 บาทต่อกิโลกรัม (ราคาเหล็กเส้น)

ปัญหาและอุปสรรคของอุตสาหกรรมเหล็ก

ข้อจำกัดที่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเหล็กของประเทศไทยทั้งทางตรงและทางอ้อมมีหลายประการ ได้แก่

1) ไม่มีโรงงานผลิตเหล็กขั้นต้น เนื่องจากประเทศไทยมีลักษณะการดำเนินธุรกิจเหล็กที่เริ่มต้นจากการเป็นผู้ซื้อขายสินค้าเหล็กแล้วจึงพัฒนาในลักษณะย้อนกลับมาเป็นผู้ผลิต ดังนั้นการพัฒนาอุตสาหกรรมนี้จึงเป็นได้ช้ากว่าประเทศอื่นที่มีการวางแผนและได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐเป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านต่างๆ เช่น ความพร้อมของผู้ลงทุน ขนาดของตลาดในประเทศและสถานที่ตั้งโรงงาน ทำให้การลงทุนอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยเกิดขึ้นได้ลำบาก ส่งผลให้ประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบกึ่งสำเร็จรูปจากต่างประเทศคิดเป็นมูลค่าปีละมากกว่าแสนล้านบาท

2) ปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบโดยเฉพาะเศษเหล็กซึ่งโรงงานผู้ผลิตเหล็กที่มีเตาหลอมมีความต้องการใช้ประมาณ 5 ล้านตันต่อปี แต่ปริมาณเศษเหล็กในประเทศที่จัดหาได้มีไม่เพียงพอ เนื่องจากปัจจุบันการบริหารจัดการเศษเหล็กในประเทศยังไม่มีระบบที่ดี ทำให้ไม่สามารถนำเศษเหล็กหมุนเวียนกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงปัญหาที่ผู้ค้าจำนวนหนึ่งเลือกที่จะส่งออกเศษเหล็กไปจำหน่ายยังต่างประเทศ แทนที่จะจำหน่ายให้กับผู้ผลิตภายในประเทศ นอกจากนี้การจัดเก็บเศษเหล็กที่ไม่มีมาตรฐานยังก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของเศษเหล็กซึ่งส่งผลก็ประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

3) วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เหล็กกึ่งสำเร็จรูปมีราคาสูงมากตามการปรับตัวเพิ่มขึ้นของตลาดโลก ในขณะที่ราคาจำหน่ายของผลิตภัณฑ์เหล็กสำเร็จรูปไม่สามารถปรับตัวได้ทันทีเนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงต่อประชาชนส่วนใหญ่ ดังนั้นผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมเหล็กจึงต้องแบกรับภาระต้นทุนที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผู้ประกอบการบางรายมีการทำสัญญาซื้อขายล่วงหน้ากับโครงการ

ต่างๆ โดยตกลงราคาไว้ก่อนแล้ว จึงไม่สามารถปรับราคาจำหน่ายเพิ่มให้สอดคล้องกับต้นทุนการผลิตที่แท้จริงได้

4) นโยบายทางการค้าของอุตสาหกรรมต่อเนื่องหลายบริษัทฯ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีการจำกัดประเภทและคุณสมบัติเฉพาะของวัตถุดิบซึ่งส่วนใหญ่บังคับให้ต้องใช้ผลิตภัณฑ์เหล็กกึ่งสำเร็จรูปจากบริษัทแม่หรือบริษัทในเครือเท่านั้น อาทิเช่น บริษัทผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็น และเหล็กแผ่นเคลือบ เป็นต้น ทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องนำเข้าผลิตภัณฑ์เหล็กเพิ่มขึ้น แม้ว่าผลิตภัณฑ์หลายชนิดสามารถผลิตได้เองโดยผู้ผลิตในประเทศ

5) ผู้ประกอบการภายในประเทศต้องเผชิญกับปัญหาจากนโยบายด้านการค้าและข้อกีดกันทางการค้าของต่างประเทศ เช่น การใช้มาตรการตอบโต้การทุ่มตลาดและการอุดหนุนของประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้อัตราการขยายตัวของภาคการส่งออกไม่เติบโตเท่าที่ควร