

โลหะวิทยา — 1 — METALLURGY



โลหะวิทยา — 1 — METALLURGY



คำนำ

หนังสือวิชาโลหะวิทยา 1 (Metallurgy 1) รหัสวิชา 04 - 433 - 015 วิชาชีพพื้นฐานในหลักสูตร ปวส. สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และใช้ประกอบการเรียน การสอน ในสาขาวิชาช่างโลหะ ช่างกลโรงงาน ช่างหล่อโลหะ ช่างผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ ช่างเครื่องจักรอัตโนมัติ เทคนิคการผลิต และเทคนิคอุตสาหกรรม ใช้ได้ทั้งหลักสูตรสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล และกรมอาชีวศึกษา

หนังสือเล่มนี้สำเร็จลงได้ก็ต้องขออุทิศส่วนกุศลอันใหญ่หลวงนี้มอบแด่ พระคุณ บิดา - มารดา ครู - อาจารย์ ผู้มีพระคุณ รวมทั้งผู้ที่ให้การสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในด้านการแปล และเรียบเรียงจนสำเร็จลงได้ด้วยดี

นริศ ศรีเมฆ
วีระยุทธ จันทรักษา
เทพนารินทร์ ประพันธ์พัฒน์

ลักษณะรายวิชา



1. รหัสและชื่อ 04 - 433 - 015 โลหะวิทยา 1
Metallurgy 1
2. สภาพรายวิชา วิชาชีพพื้นฐานในหลักสูตร ปวส. สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
3. ระดับรายวิชา ภาคเรียนที่ 2 ชั้นปีที่ 2
4. พื้นฐาน -
5. เวลาศึกษา 36 คาบเรียนตลอด 18 สัปดาห์ ทฤษฎี 2 คาบ ปฏิบัติ 0 คาบต่อสัปดาห์และ
นักศึกษาจะต้องใช้เวลานอกศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง สัปดาห์ละ 2 ชั่วโมง
6. หน่วยกิต 2 หน่วยกิต
7. จุดมุ่งหมายรายวิชา
 1. เลือกใช้เครื่องมือต่างๆ ในงานโลหะวิทยาได้อย่างถูกต้อง
 2. จำแนกชนิดของเหล็กต่างๆ เหล็กผสม และโลหะที่ไม่ใช่เหล็กได้
 3. เข้าใจไดอะแกรมสมดุลของโลหะวิทยาได้
8. คำอธิบายรายวิชา
ทบทวนพื้นฐานวัสดุอุตสาหกรรม ศึกษาเครื่องมือวัดในงานโลหะวิทยา
คุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลของโลหะ โครงสร้างของโลหะ การเกิดผลึก
การเปลี่ยนรูปร่างของโลหะ สภาพของโลหะและโลหะผสมที่อุณหภูมิต่างๆ
การเปลี่ยนรูปร่างของโลหะ ไดอะแกรม สมดุลของเหล็ก คาร์บอน เหล็กผสม
โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก



บทที่ 1	พื้นฐานวัสดุอุตสาหกรรม	7
1.1	วัสดุที่ถูกนำมาใช้งานในทุกวันนี้	7
1.2	งานที่ต้องใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่	7
1.3	แหล่งที่มาของวัสดุ	12
1.4	งานผลิตโลหะ	13
1.5	การจำแนกชนิดของเหล็กตามมาตรฐาน	14
1.6	การจำแนกชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนตามปริมาณคาร์บอน.....	15
	แบบฝึกหัดบทที่ 1	24
บทที่ 2	เครื่องมือวัดในทางโลหะวิทยา	26
2.1	การศึกษาโครงสร้างของโลหะ	26
2.2	การวัดอุณหภูมิโดยการสังเกตสีของโลหะ	41
2.3	เทอร์โมมิเตอร์	41
2.4	เทอร์โมอิเล็กทริก ไพโรมิเตอร์	43
2.5	โลหะที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิล	46
	แบบฝึกหัดบทที่ 2	50
บทที่ 3	คุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลของโลหะ	52
3.1	คุณสมบัติทางกายภาพ	52
3.2	คุณสมบัติทางกล	55
	แบบฝึกหัดบทที่ 3	92

บทที่ 4	โครงสร้างของโลหะ การเกิดผลึก การเปลี่ยนรูปร่างของโลหะ	94
4.1	โครงสร้างอะตอม	94
4.2	อะตอมมิกบอนด์	97
4.3	สเปซแลตติซ และโครงสร้างผลึก	100
4.4	โครงสร้างผลึกมาตรฐาน	101
4.5	ขบวนการเปลี่ยนรูปของโลหะ	108
4.6	การขึ้นรูปแบบร้อน	116
4.7	การขึ้นรูปแบบเย็น	125
	แบบฝึกหัดบทที่ 4	132
บทที่ 5	สภาพของโลหะ และโลหะผสมที่อุณหภูมิต่าง ๆ	134
5.1	สภาพ	134
5.2	แผนภาพสมดุลสภาพของระบบ 2 ธาตุ	138
5.3	แผนภาพสมดุลสภาพของระบบ 3 ธาตุ	160
	แบบฝึกหัดบทที่ 5	164
บทที่ 6	ไดอะแกรมสมดุลของเหล็ก-คาร์บอน เหล็กผสม และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก	166
6.1	พื้นฐานทางโลหะวิทยา	166
6.2	การถลุงเหล็กกล้า	166
6.3	ไดอะแกรมสมดุลของเหล็ก - คาร์บอน	170
	แบบฝึกหัดบทที่ 6	190
ภาคผนวก ก.	ข้อสอบปลายภาควิชา โลหะวิทยา 1	192
ภาคผนวก ข.	เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น	206
ภาคผนวก ค.	ลักษณะของเหล็กที่นิยมใช้งาน	217
บรรณานุกรม		250

1 พื้นฐานวัสดุอุตสาหกรรม

1.1 วัสดุที่ถูกนำมาใช้งานในทุกวันนี้

มีมากมายหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งวัสดุทั้งหลายนั้นได้ถูกมนุษย์คิดค้นและผลิตขึ้นมาหรือดัดแปลงเพื่อใช้กับงานต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการใช้ ในงานอุตสาหกรรม หรืองานวิศวกรรมฯ เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม โลหะผสมต่าง ๆ พลาสติก กระเบื้องเคลือบ ซึ่งวัสดุใช้งานหรือช่วยในงานของการอุตสาหกรรมต่าง ๆ เหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์และเพื่อสนองตอบความต้องการในเทคโนโลยีสมัยใหม่ ซึ่งจะทำให้ได้มาของวัสดุและอุปกรณ์ของเครื่องอุปกรณ์ที่มีคุณภาพที่ดี มีคุณภาพเด่น มีราคาถูก อายุการใช้งานคงทนและมีความปลอดภัยสูง

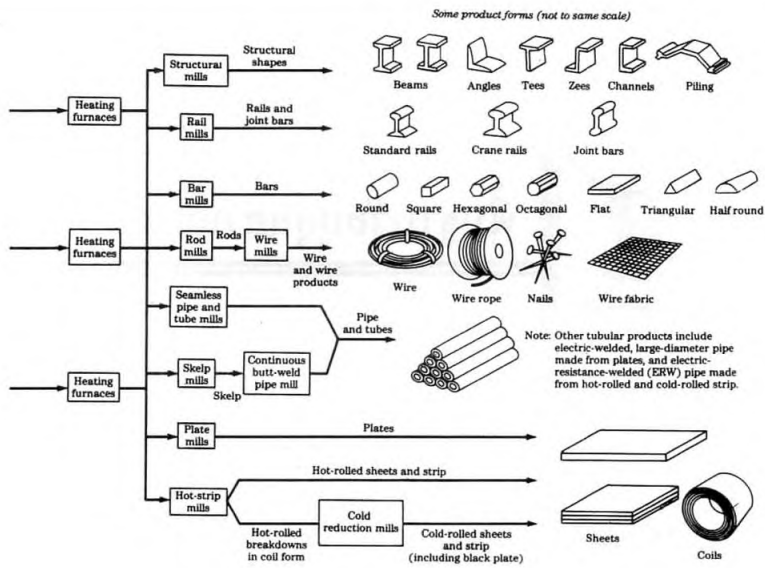
1.2 งานที่ต้องใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่

ได้เข้ามามีบทบาทต่อการผลิต การนำไปใช้ และการวิจัยวงจรทั้ง 3 นี้จะต้องเกี่ยวข้องต่อเนื่องกันไป

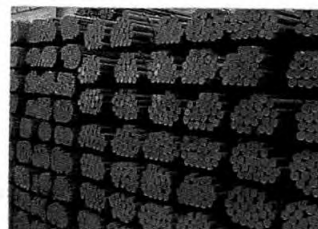
1. การผลิต จะต้องผลิตให้กับงานที่ต้องการในคุณสมบัติของโลหะต่างๆ ของการผลิตในงานอุตสาหกรรมประเภทนั้น ๆ เช่น การทำเหมืองแร่ การขุดเจาะน้ำมัน การถลุงเหล็กกล้า การขนถ่าย การเดินเรือ ฯลฯ ซึ่งการผลิตนั้นต้องให้ได้วัสดุที่มีคุณสมบัติและลักษณะงานให้ตรงกับความต้องการของขบวนการผลิตในอุตสาหกรรมประเภทนั้น ๆ

2. การนำไปใช้ เมื่อได้วัสดุชิ้นแรกแล้วจะต้องนำมาแปรรูปเพื่อผลิตให้เป็นรูปร่างหลาย ๆ อย่าง หลาย ๆ ขนาดและชนิด เช่น เป็นแท่งกลม แท่งกลวง เป็นรูปทรงต่างๆ ตามขนาดหรือเป็นแผ่นรูปทรงชนิดต่าง ๆ เพื่อสนองตอบต่อความต้องการของตลาดอุตสาหกรรมในยุคเทคโนโลยีรุ่นใหม่ ซึ่งจะต้องผ่านขบวนการหลาย ๆ ขั้นตอนจนเป็นวัสดุสำเร็จรูปเพื่อใช้งาน

3. การวิจัย ทั้งนี้หลังจากผลิตเป็นสินค้าสำเร็จรูปพร้อมกับนำไปใช้งานแล้วจะต้องหาข้อมูลเพื่อการวิจัยว่าผลผลิตนั้นภายหลังการใช้งานแล้วยังมีข้อบกพร่องอะไรอยู่บ้าง มีคุณสมบัติ คุณภาพดีหรือบกพร่อง เพื่อที่จะได้มีการปรับปรุงให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น มีความทนทานและความปลอดภัยสูง ผลของการวิจัยและค้นคว้าจะได้ประโยชน์และสร้างวัสดุชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมาทดแทน ทำให้ได้ผลผลิตของวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูป 1.1 แสดงกระบวนการแปรรูปตามกรรมวิธีต่าง ๆ



รูป 1.2 แสดงถึงวัสดุที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้ว



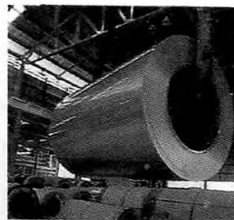
Stainless Steel Factory



Tool Steel Round



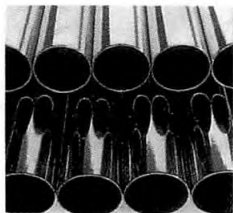
Sheet



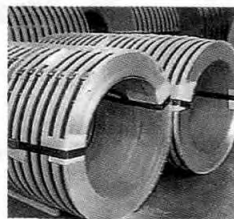
Coil



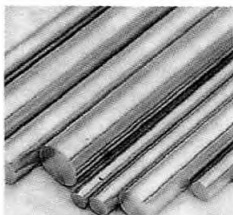
Mould and Die Steel



Pipe



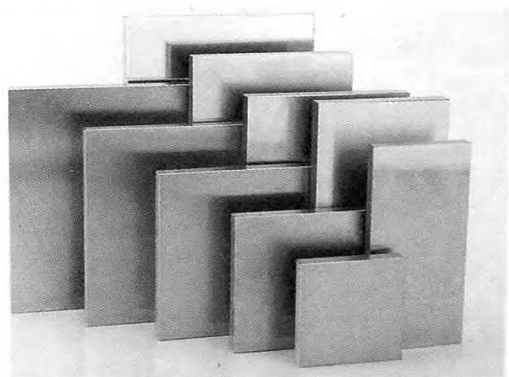
Slit



Round Bar



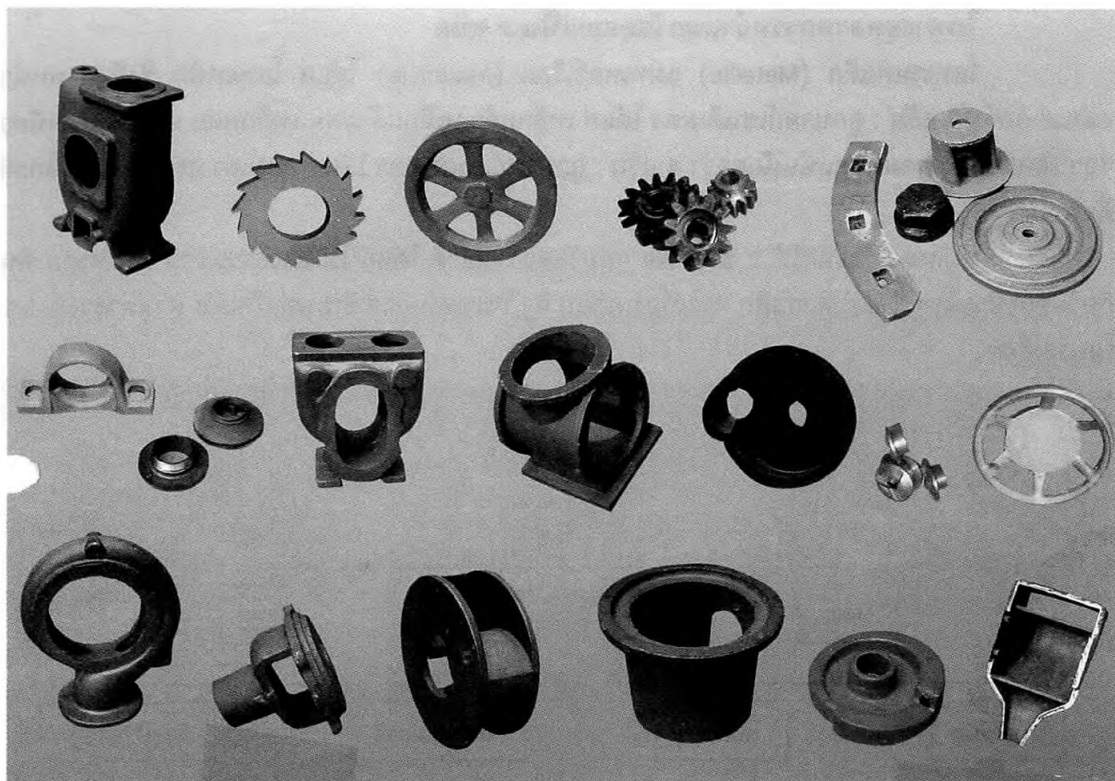
Angle Stainless



Finishing Plate for Mould



รูป 1.4 ชิ้นส่วนที่ผ่านขบวนการหล่อ การรีด การปั๊ม การ Forging ฯลฯ



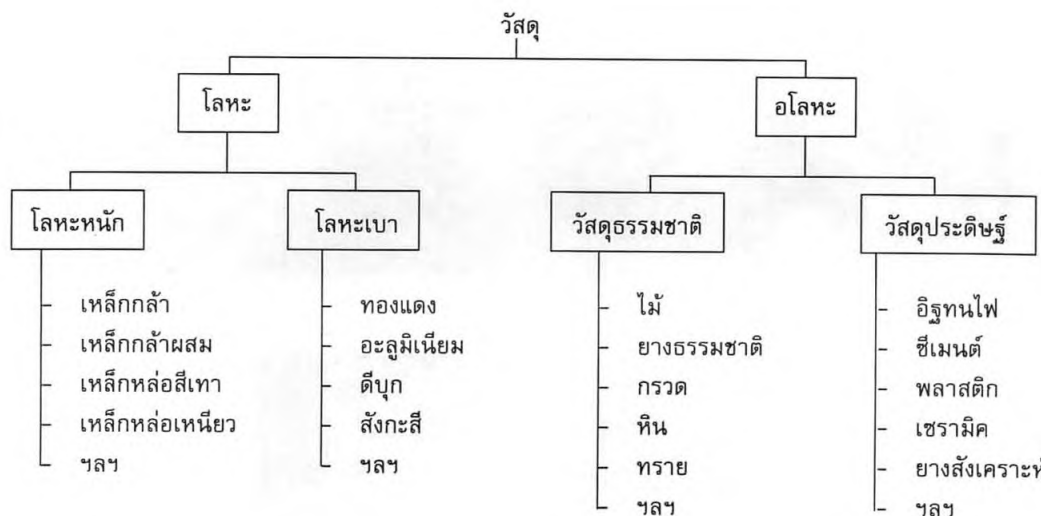
รูป 1.5

ในทางอุตสาหกรรมจำแนกวัสดุออกเป็น 2 ชนิด

โลหะเมทัลลิก (Metallic) แมทเทอร์เรียล (Materials) ได้แก่ โลหะหนัก ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า 4 กรัม : ลูกบาศก์เซนติเมตร ได้แก่ เหล็กกล้า เหล็กกล้าผสม เหล็กหล่อ เหล็กหล่อเหนียว ฯลฯ โลหะเบาที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 4 กรัม : ลูกบาศก์เซนติเมตร ได้แก่ ทองแดง อะลูมิเนียม สังกะสี ดีบุก ฯลฯ

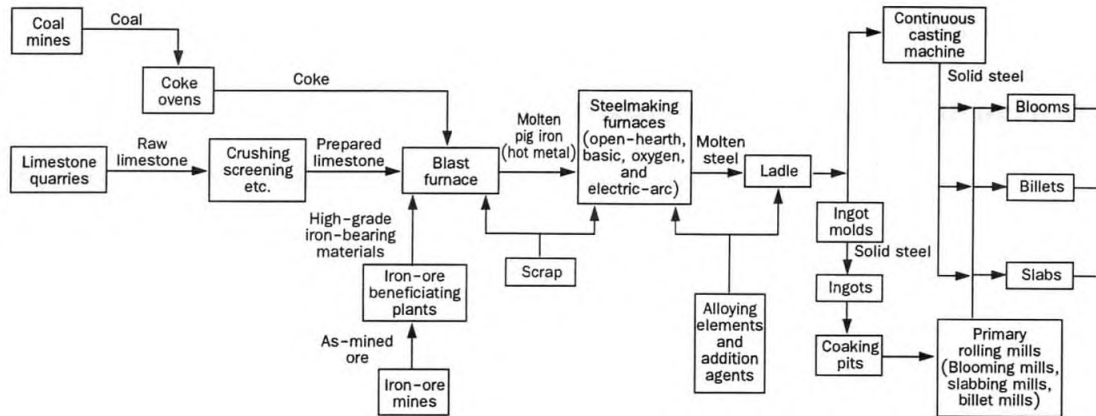
อโลหะ แบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ กลุ่มวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ไม้ ยางธรรมชาติ ดิน ทราช หิน กับวัสดุสังเคราะห์ ได้แก่ พลาสติก กระเบื้องเคลือบ อิฐ ไฟเบอร์กลาส ซีเมนต์ เป็นต้น ตามตารางที่ 1.1 โดยละเอียด

ตารางที่ 1.1



1.3 แหล่งที่มาของวัสดุ

แหล่งที่กำเนิดวัสดุ เราแบ่งออกได้ 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือ แหล่งธรรมชาติ และแหล่งหมุนเวียน กรรมวิธีในการแปรรูปของทรัพยากรทั้งสองแหล่งอาจเหมือนกัน หรือแตกต่างกันแล้วแต่ธรรมชาติของวัสดุนั้น ๆ



รูป 1.6 แผนผังแหล่งที่มาของวัสดุที่เป็นหัวใจในการผลิตหลัก ๗

1.4 งานผลิตโลหะ

การผลิตโลหะแบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ขั้นตอน คือ การผลิตโลหะจากแร่ และกลุ่มการแปรรูป

1. การผลิตจากแร่ แบ่งออกเป็นการผลิตโดยใช้ความร้อน การผลิตโดยใช้สารละลายทางเคมี และอาจจะใช้ไฟฟ้าเข้าช่วย โดยเรียกโลหะที่ได้จากแร่นี้ว่าโลหะปฐมภูมิ

โลหะที่แยกจากแร่ยังมีความบริสุทธิ์ไม่เพียงพอ จึงต้องผ่านการทำให้บริสุทธิ์ให้มากขึ้นอีก ซึ่งเรียกว่า รีไฟน์นิ่ง เช่น ใช้สุญญากาศ การใช้ออกซิเจน โดยการออกซิเดชัน การใช้ไฟฟ้าเคมี การจะเลือกใช้กรรมวิธีใดขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะนั้น ๆ

หลังจากผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วโลหะเหล่านี้จะถูกหล่อหลอมให้เป็นแท่งเป็นแผ่นหรือทรงอื่น ๆ เพื่อที่พร้อมจะนำไปแปรรูปเป็นวัสดุสำเร็จรูปต่อไป

นอกจากโลหะที่ได้มาจากแร่แล้ว เรายังได้โลหะมาจากแหล่งวัสดุหมุนเวียนได้แก่ เศษโลหะที่ถูกนำไปใช้แล้วนำกลับมาหลอมใหม่ เราเรียกโลหะชนิดนี้ว่า โลหะทุติยภูมิ ในการผลิตโลหะชนิดนี้อาจจะต้องทำให้บริสุทธิ์เสียก่อนทั้งนี้แล้วแต่ว่าเศษโลหะหมุนเวียนที่นำมาได้จะมีความสะอาดมากน้อยเพียงใด

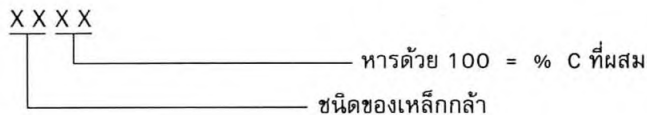
2. การแปรรูป โลหะที่ผ่านการหล่อหลอมออกมาเป็นแท่งหรือหล่อต่อเนื่องจะเป็นวัตถุดิบของการแปรรูปเพื่อนำมาใช้งานต่อไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ขั้นตอนของการแปรรูปได้แก่

1. งานหล่อโลหะรูปพรรณ
2. งานขึ้นรูป
3. งานเครื่องมือกล
4. งานอบชุบ
5. งานตกแต่งผิว

งานแต่ละประเภทจะมีรายละเอียดปลีกย่อยแตกต่างกันไป ซึ่งอาจจะพบเห็นและปฏิบัติกันมาแล้วในกรรมวิธีการผลิตโลหะพรรณ

1.5 การจำแนกชนิดของเหล็กตามมาตรฐาน

ตามมาตรฐานเหล็กและเหล็กกล้าของอเมริกา ได้จัดแบ่งชนิดของเหล็กกล้าโดยใช้รหัสดังนี้

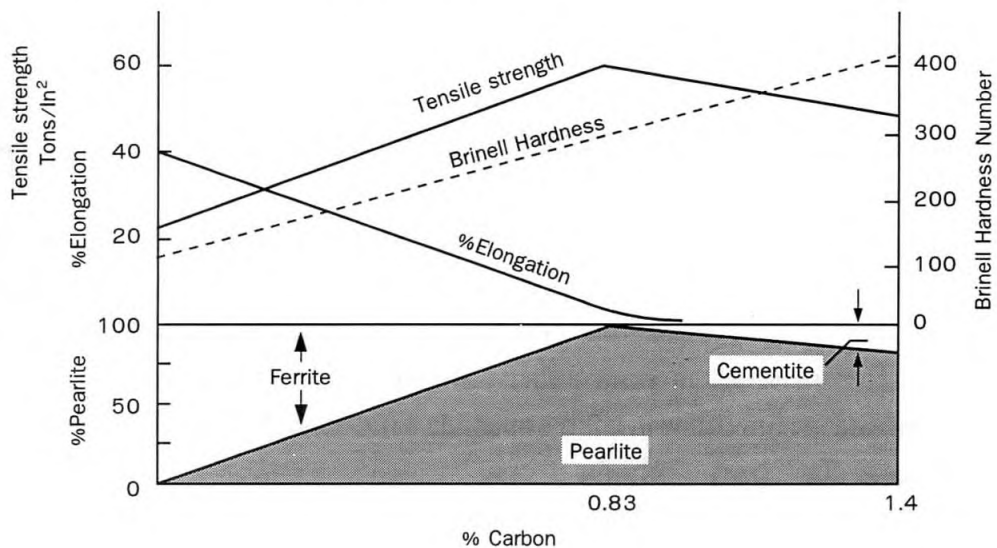


ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของเหล็กกล้าได้ดังนี้

- 10 XX Plain Carbon Steel
- 11 XX Carbon Steel กำมะถันสูง ฟอสฟอรัสต่ำ
- 12 XX Carbon Steel กำมะถันและฟอสฟอรัสสูง
- 13 XX Manganese Steel (1.6 - 1.9% Mn)
- 23 XX Nickel Steel (3.5% Ni)
- 25 XX Nickel Steel (5% Ni)
- 31 XX Nickel - Chromium Steel (Ni 1.25%, Cr 0.6%)
- 32 XX Nickel - Chromium Steel (Ni 1.75%, Cr 1%)
- 33 XX Nickel - Chromium Steel (Ni 3.5%, Cr 1.5%)
- 40 XX Molybdenum Steel (Mo 0.25%)
- 41 XX Chromium - Molybdenum Steel (Cr 1%, Mo 0.25%)
- 48 XX Nickel - Molybdenum Steel (Ni 3.5%, Mo 0.25%)
- 51 XX Chromium Steel (Cr 0.8%)
- 52 XX Chromium Steel (Cr 1.5%)
- 61 XX Chromium - Vanadium Steel
- 86 XX Nickel - Chromium - Molybdenum Steel (Ni 0.55%, Cr 0.5%, Mo 0.2%)
- 87 XX Nickel - Chromium - Molybdenum Steel (Ni 0.55%, Cr 0.5%, Mo 0.25%)
- 99 XX Manganese - Silicon Steel (Mn 0.8%, Si 2%)
- 93 XX Nickel - Chromium - Molybdenum Steel (Ni 3.25%, Cr 1.2%, Mo 0.12%)
- 98 XX Nickel - Chromium - Molybdenum Steel (Ni 1%, Cr 0.8%, Mo 0.25%)

1.6 การจำแนกชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนตามปริมาณคาร์บอน

เหล็กกล้าคาร์บอน คือ เหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่เพียงอย่างเดียว โดยไม่นับรวมถึงสารมลทิน คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน จะแปรตามคุณสมบัติเฉพาะตัวของสภาพ และการกระจายตัวของสภาพ ซึ่งประกอบอยู่ในเหล็กนั้น ๆ



รูป 1.7 อิทธิพลของคาร์บอนต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาในสภาวะอ่อนตัว

ในกรณีของเหล็กไฮโปยูเทคตอย

$$Y = 45x + 22$$

เมื่อ Y = ความเค้นแรงดึงสูงสุด (ตัน / ตร.นิ้ว)

X = % คาร์บอน

1. เหล็กกล้าคาร์บอนแบ่งออกได้ 3 ชนิด

เหล็กที่มีคาร์บอนต่ำ เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาที่มี C ต่ำกว่า 0.3% เหล็กพวกนี้ไม่ค่อยทำด้วยความร้อน นอกจากบางครั้งอาจทำการ คาร์บูไรซิงค์ หรืออาจอบอ่อนมาบ้างหลังจากการทำให้เย็นมาแล้ว เหล็กคาร์บอนต่ำจะมีโครงสร้างประกอบด้วย Ferrite และ Pearlite

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง มี C ผสมระหว่าง 0.25% - 0.55% เหล็กพวกนี้มักจะต้องทำการอบชุบเมื่อต้องการคุณสมบัติ เช่น ความแข็ง ความเหนียว หรือเพื่อทำการขึ้นรูปได้ง่าย มีโครงสร้างประกอบด้วย Ferrite และ Pearlite

เหล็กกล้าคาร์บอนสูง มี C ผสมอยู่มากกว่า 0.55% เหล็กพวกนี้เกือบจะต้องทำการชุบแบบเย็นและอบคลายเสมอ เพราะมีความแข็งแรง เหล็กชนิดนี้ต้องนำไปใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง มีโครงสร้างขึ้นอยู่กับส่วนผสม ดังนี้

- เหล็กซึ่งมี C มากกว่า 0.55% แต่น้อยกว่า 0.83% โครงสร้างประกอบด้วย Ferrite และ Pearlite
- เหล็กที่มี C 0.83% โครงสร้างเป็น Pearlite เพียงอย่างเดียว
- เหล็กที่มี C มากกว่า 0.83% - 2.0% โครงสร้างเป็น Pearlite และ Secondary Cementite

ทั้ง 3 ข้อข้างบนนี้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนชนิด นอล ฟรี คัดตั้ง ซึ่งจะได้จากเตา Basic Open Hearth ตั้งแต่เบอร์ C1006 - C1095 พวกนี้มีความบริสุทธิ์สูง มีธาตุผสมน้อยเพราะว่าเหล็กที่ทำจากเตา Basic Open Hearth จะถูกกำจัดกำมะถันไปจำนวนมาก

Free Cutting ได้แก่ เหล็กที่ได้จากเตา Bessemer ตั้งแต่เบอร์ B1111, B1112, B1113 ซึ่งมีปริมาณกำมะถันปนอยู่ต่างกันและเหล็กพวกนี้ได้จากเตากระทะ ซึ่งได้เติมกำมะถันเข้าไปใหม่มีตั้งแต่เบอร์ C1108, C1151 พวกนี้มีกำมะถันมากทำให้มีคุณสมบัติทางขึ้นรูปได้ง่าย และในบางกรณีทนต่อการสึกหรอด้วยการรับภาระได้ดี แต่เชื่อมยาก มีความเหนียวน้อย ทนต่อความล้าได้น้อย

ในเหล็กกล้าคาร์บอนนอกจากจะมี C ผสมอยู่แล้ว ยังมีสารมลทินปะปนอยู่ได้แก่

แมงกานีส (Mn)	มีไม่เกิน	1%
ซิลิกอน (Si)	มีไม่เกิน	0.3%
กำมะถัน (S)	มีไม่เกิน	0.05%
ฟอสฟอรัส (P)	มีไม่เกิน	0.05%

2. บทบาทของธาตุที่ผสมในเหล็กกล้าคาร์บอน

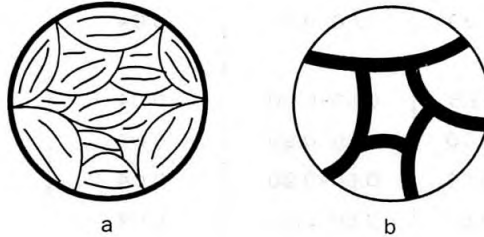
ในเหล็กกล้าคาร์บอนนอกจากจะมี C แล้วยังมีธาตุอื่น ๆ อีก เช่น Mn, Si, S, P ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อเหล็กกล้าคาร์บอน ดังจะกล่าวแยกกัน ดังนี้

แมงกานีส (Mn) เป็นองค์ประกอบของเหล็กกล้าคาร์บอนที่สำคัญอย่างหนึ่ง เพราะแมงกานีส เป็นตัวทำให้ไม่เกิดรูพรุนหรือรูอากาศในเหล็กกล้า และแมงกานีสนี้จะรวมตัวกับกำมะถัน โดยทั่วไปแล้วแมงกานีสจะช่วยเพิ่มจุดคราก ความเค้นแรงดึงสูงสุด และค่าความเค้นแรงกระแทก นอกจากนั้นในการชุบแข็ง ธาตุแมงกานีสจะเป็นตัวช่วยให้มีความแข็งที่ผิวได้ลึก แต่ในขณะเดียวกันมันจะทำให้เกิดความเหนียวเยี่ยงที่จะทำให้เหล็กเกิดบดงอหรือแตกในระหว่างการชุบแข็งนั้นได้ ด้วยในเหตุนี้เองเหล็กกล้าคาร์บอนประเภทคาร์บอนปานกลาง หรือคาร์บอนผสมสูงจึงต้องควบคุมให้มีแมงกานีสต่ำกว่า 0.5% เพราะเหล็กดังกล่าวจะต้องนำไปชุบแข็งเสมอ

ซิลิกอน (Si) เหล็กที่ซื้อขายกันทั่วไป ส่วนใหญ่จะมีซิลิกอนผสมอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.2% ซึ่งซิลิกอนจำนวนดังกล่าวไม่ค่อยมีผลต่อคุณสมบัติของ Mild Steels มากนัก สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนประเภทผสมคาร์บอนสูง ควรจะมีซิลิกอนอยู่ไม่เกิน 0.2% ทั้งนี้เพราะซิลิกอนจะเป็นตัวทำให้ Fe_3C แยกตัวออกเป็น Ferrite และ Graphite

กำมะถัน (S) จะอยู่ในเหล็กได้ 2 ลักษณะ คือ

- อยู่ในลักษณะประกอบด้วยกำมะถันซัลไฟด์ ถ้าดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นแมงกานีสประกอบด้วยกำมะถันเป็นสีน้ำตาลอ่อน ๆ เป็นแนวทั้งนี้เพราะถูกซึ้ไปตามทิศทางของการถูกแรงกระทำ ดังรูป 1.8 (a)



รูป 1.8 ลักษณะของกำมะถันในแมงกานีส ทั้ง 2 ภาพ

รูป 1.8 (b) อยู่ในลักษณะที่เป็นการประกอบด้วยเหล็กซัลไฟด์ (FeS) จะเห็นเหล็กซัลไฟด์อยู่ตามขอบเกรน ดังรูป 1.8 (b) FeS นี้ มีคุณสมบัติแข็งและเปราะและมีจุดหลอมเหลวต่ำ ซึ่งจะทำให้เหล็กแตกได้ในขณะที่ทำขบวนการขึ้นรูปแบบร้อนหรือเหล็กรีดเย็น ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดจึงพยายามให้เหล็กมีจำนวนแมงกานีสและกำมะถันมีสัดส่วนที่พอเหมาะกัน คืออย่างน้อยที่สุดจำนวนแมงกานีสต่อกำมะถันควรจะเท่ากับ 1 : 1

โดยทั่วไปแล้ว กำมะถันจะมีอยู่ประมาณ 0.05% แต่เหล็กบางชนิดที่เรียกว่าเหล็ก Free Cutting จะมีกำมะถันอยู่ถึง 0.2% และมีแมงกานีสอยู่ 1.5% ซึ่งในกรณีเช่นนี้จะทำให้เกิดขึ้นจำนวนมากและทำให้เกิดผล คือ เหล็กชนิดนั้นสามารถนำไปขึ้นรูปได้ง่าย

ฟอสฟอรัส อยู่ในเหล็กในรูปของ Cementite ซึ่งเป็นสารประกอบที่เปราะ ดังนั้น ฟอสฟอรัสควรจะมีอยู่ในเหล็กได้ไม่เกินกว่า 0.05% ด้วยกัน

เหล็กกล้าบางทีก็แบ่งออกได้โดยส่วนผสมของ C เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมี C 0-0.25% เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางมี C 0.25 - 0.55% เหล็กกล้าคาร์บอนสูงมี C ตั้งแต่ 0.55% ขึ้นไป

ตารางที่ 1.2

AISI NO.*	%C	%Mn	%P max	%S max	SAE NO.
Plain-Carbon Steels					
C1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.04	0.05	1010
C1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.04	0.05	1015
C1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.04	0.05	1020
C1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.04	0.05	1025
C1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.04	0.05	1030

C1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.04	0.05	1035
C1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.04	0.05	1040
C1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.04	0.05	1045
C1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.04	0.05	1050
C1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.04	0.05	1055
C1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.04	0.05	1060
C1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.04	0.05	1065
C1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.04	0.05	1070
C1074	0.70-0.80	0.50-0.80	0.04	0.05	1074
C1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.04	0.05	1080
C1085	0.80-0.93	0.70-1.00	0.04	0.05	1085
C1090	0.85-0.98	0.60-0.90	0.04	0.05	1090
C1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.04	0.05	1095
Free-Machining Carbon Steel					
B1112	0.13 max	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23	1112
B1113	0.13 max	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33	1113
C1110	0.08-0.13	0.30-0.60	0.04	0.08-0.13	
C1113	0.10-0.16	1.00-1.30	0.04	0.24-0.33	
C1115	0.13-0.18	0.60-0.90	0.04	0.08-0.13	1115
C1120	0.18-0.23	0.70-1.00	0.04	0.08-0.13	1120
C1137	0.32-0.39	1.35-1.65	0.04	0.08-0.13	1137
C1141	0.37-0.45	1.35-1.65	0.04	0.08-0.13	1141
C1212	0.13 max	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23	1112
C1213	0.13 max	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33	1113
C12L14T	0.15 max	0.80-1.20	0.04-0.09	0.25-0.35	12L14

3. การใช้งานของเหล็กกล้าคาร์บอน

0.05-0.07% C ใช้ทำลวดที่อ่อนมาก ๆ

0.07-0.15% C พวงเหล็กกล้าอ่อนธรรมดา ใช้ทำเหล็กแผ่น เหล็กแท่ง ทำลวด ทำของที่ต้องการผิวเรียบจริง เช่น ตัวถังรถ ฝากระโปรงรถ ฝาปิดห้องคลัตช์ ห้องส่งกำลังของรถยนต์ ทำออยส์ ฟิน และเหล็กที่จะเอามารีดให้มีรูปร่างต่าง ๆ เช่น หมุดย้ำ เป็นพวก คีลล์ สตีล มักใช้แทนเหล็กกล้าอ่อนธรรมดา ในส่วนที่เราจะต้องเพิ่ม C ที่ผิว เหล็กพวกนี้

มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดต่ำ ฉะนั้นไม่ควรใช้ในที่ที่ต้องการความแข็งแรงมาก แต่ถ้านำมาทำการรีดเย็นมันจะทำให้ความแข็งแรงและที่ความแข็งเพิ่มขึ้นอีก 20% เมื่อเทียบกับการรีดร้อน แต่ว่าความแข็งแรงหรือความแข็งที่ได้เพิ่มขึ้นจากการรีดเย็นจะหายไปทันที ถ้าเผาให้ร้อนถึง 535°C หรือสูงกว่าเล็กน้อย โครงสร้างพวกนี้เป็น Ferrite และขึ้นรูปไม่ค่อยดีนัก ไม่ควรทำน็อต หรือสกรู แต่ถ้ารีดเย็นหรือดึงเหล็กพวกนี้แล้ว จะทำให้การขึ้นรูปดีขึ้น โดยเฉพาะถ้ามีแมงกานีสผสมอยู่มาก จะทำให้การขึ้นรูปและความแข็งดีขึ้น

0.18-0.20% C ทำผาผนังของหม้อน้ำขนาดใหญ่ ทำผนังเรือ เหล็กชนิดนี้ใช้ทำการเพิ่ม C ที่ผิวสำหรับทำแครกชาร์ฟ โขลากลู ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอื่น ๆ เช่น ใบพัด เหล็กชนิดนี้อาจเชื่อมด้วยทองเหลืองได้ แต่ไม่นิยมบีบหรือรีดมาก พวกที่มีแมงกานีสปนอยู่มาก จะทำให้มีคุณสมบัติทางกลดีขึ้นและทำให้แข็งได้ เหล็กพวกนี้ถ้าทำการเพิ่ม C ที่ผิวและทำให้แข็งแล้ว มักจะไม่มีจุดอ่อนปนอยู่มากเหมือนเหล็ก 1020

0.20-0.30% C มักจะใช้ทำการตีขึ้นรูปต่าง ๆ แครกพิน เกียร์ วาล์ว และแครกชาร์ฟ เหล็ก 0.20-0.26% C ใช้ทำเพลารถไฟ 0.23-1.30% C ใช้ทำข้อเสือ ข้อต่อ ขอบนอกของเกียร์ เทอร์ไบด์ เพลาของอาร์เมเจอร์ทั่วไป 0.24-0.32% C ชนิดนี้มีคุณสมบัติทางกลดี ใช้ในการทำเกลียว งานแท่งขึ้นรูป เทอร์ไบด์ พวกงานตีขึ้นรูปมากจะขึ้นรูปได้ดีในสภาพอบอุ่นหรืออบเหนียว

ตารางที่ 1.3

Some Representative Alloy-steel Specifications

AISI NO.	%C	%Mn	%Ni	%Cr	%Mo	%V	SAE NO.	TYPE
1330	0.28-0.33	1.60-1.90	...	...	...	...	1330	Mn steels
1340	0.38-0.43	1.60-1.90	...	...	...	...	1340	
2317	0.15-0.20	0.40-0.60	3.25-3.75	...	...	...	2315	3% Ni steels
2330	0.28-0.33	0.60-0.80	3.25-3.75	...	...	...	2330	
E2512*	0.09-0.14	0.45-0.60	4.75-5.25	...	...	...	...	5% Ni steels
2515	0.12-0.17	0.40-0.60	4.75-5.25	...	...	...	2515	
3115	0.13-0.18	0.40-0.60	1.10-1.40	0.55-0.75	...	...	3115	Ni-Cr steels
3130	0.28-0.33	0.60-0.80	1.10-1.40	0.55-0.75	...	...	3130	
3140	0.38-0.43	0.70-0.90	1.10-1.40	0.55-0.75	...	...	3140	
E3310	0.08-0.13	0.45-0.60	3.65-3.75	1.40-1.75	...	...	3310	

ตารางที่ 1.3 (ต่อ)

Some Representative Alloy-steel Specifications

AISI NO.	%C	%Mn	%Ni	%Cr	%Mo	%V	SAE NO.	TYPE
4023	0.20-0.25	0.70-0.90	...	...	0.20-0.30	...	4023	Mo steels
4037	0.35-0.40	0.70-0.90	...	...	0.20-0.30	...	4037	
4419	0.18-0.23	0.45-0.65	...	...	0.45-0.60	...	4419	
4118	0.18-0.23	0.70-0.90	...	0.40-0.60	0.08-0.15	...	4118	Cr-Mo steels
4130	0.28-0.33	0.40-0.60	...	0.80-1.10	0.15-0.25	...	4130	
4140	0.38-0.43	0.75-1.00	...	0.80-1.10	0.15-0.25	...	4140	
4150	0.48-0.53	0.75-1.00	...	0.80-1.10	0.15-0.25	...	4150	
4320	0.17-0.22	0.45-0.60	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30	...	4320	Ni-Cr-Mo steels
4340	0.38-0.43	0.60-0.80	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30	...	4340	
4720	0.17-0.22	0.50-0.70	0.90-1.20	0.35-0.55	0.15-0.25	...	4720	
4620	0.17-0.22	0.45-0.60	1.65-2.00	...	0.20-0.30	...	4620	Ni-Mo steels
4626	0.24-0.29	0.45-0.65	0.70-1.00	...	0.15-0.25	...	4626	
4820	0.18-0.23	0.50-0.70	3.25-3.75	...	0.20-0.30	...	4820	
5120	0.17-0.22	0.70-0.90	...	0.70-0.90	...	...	5120	Cr steels
5130	0.28-0.33	0.70-0.90	...	0.80-1.10	...	...	5130	
5140	0.38-0.43	0.70-0.90	...	0.70-0.90	...	...	5140	
5150	0.48-0.53	0.70-0.90	...	0.70-0.90	...	...	5150	
E52100*	0.95-1.10	0.25-0.45	...	1.30-1.60	...	...	52100	
6118	0.16-0.21	0.50-0.70	...	0.50-0.70	...	0.12	6118	Cr-V steels
6150	0.48-0.53	0.70-0.90	...	0.80-1.10	...	0.15	6150	
8620	0.18-0.23	0.70-0.90	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	...	8620	Low Ni-Cr-Mo steels
8630	0.28-0.33	0.70-0.90	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	...	8630	
8640	0.38-0.43	0.75-1.00	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	...	8640	
8720	0.18-0.23	0.70-0.90	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	...	8720	
8740	0.38-0.43	0.75-1.00	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	...	8740	
8822	0.20-0.25	0.75-1.00	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.40	...	8822	

ตารางที่ 1.3 (ต่อ)

Some Representative Alloy-steel Specifications

AISI NO.	%C	%Mn	%Ni	%Cr	%Mo	%V	SAE NO.	TYPE
9260	0.56-0.64	0.75-1.00	1.80-2.20	...	...	...	9260	Si steel
			Si					
E9310*	0.08-0.13	0.45-0.65	3.00-3.50	1.00-1.40	0.08-0.15	...	9310	Higher Ni-Cr-Mo steels
9840	0.38-0.43	0.70-0.90	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	...	9840	
9850	0.48-0.53	0.70-0.90	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	...	9850	
			Ni					
94B30	0.48-0.53	0.70-0.90	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	...	94B30	Boron steel

- 0.35-0.45% C ใช้ทำเพลลาพิเศษ ข้อต่อ ดีขึ้นรูปขนาดเล็กและขนาดกลาง ทำเครื่องจักรกล สปริง แผ่นอาร์เมเจอร์ สำหรับเทอร์โมเอนเนอร์เรเตอร์ สำหรับเทอร์ไบด์ชาร์ฟ สำหรับ Rotor หรือเกียร์ ทำโมลท์ยึดสมอเรือ (Anchor bolt) เหล็กชนิดนี้มีการขึ้นรูปได้ดีพอสมควรทำให้แข็งได้ลึก ถ้ามีแมงกานีสมากจะช่วยให้คุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนหนาๆ ได้ดีขึ้นด้วย
- 0.45-0.55% C ใช้ทำชิ้นส่วนสำหรับรับแรงกระแทกกระทั้นทันที มีค่าความเค้นกลับไปกลับมา เช่น เฟลารดไฟ แครงพินของเครื่องจักรใหญ่ ๆ งานดีขึ้นรูปใหม่ ๆ เช่น แครงชาร์ฟ สลักเกียร์ของสตาร์ทเตอร์สปริงพิเศษเหล็กพวกนี้จะต้องระวังให้มากโดยเฉพาะชิ้นเล็ก ๆ หรือบาง ๆ ในการชุบให้เย็นตัวในน้ำ
- 0.60-0.70% C พวกนี้ใช้ทำแม่พิมพ์ งานดีขึ้นรูปต่าง ๆ เช่น สำหรับหัวโมลท์ ดาย บล็อก ทำพื้นที่เจาะเหล็ก ทำเซทสกรู สแนปเกจ แหวนวาล์ว สปริงคลัตช์ สปริงคลิบ แผ่นคลัตช์
- 0.70-0.80% C ใช้ทำพวกลิ้ว ขวาน ใบมีด ใบเลื่อย ล้อรถไฟ ลวดก่อสร้าง แผ่นคลัตช์แบบอัตโนมัติ คันไถ
- 0.80-0.90% C ใช้ทำรางรถไฟ งานไถ หัวเจาะหิน ใบเลื่อยวงเดือน ลิ้วสำหรับเครื่องจักรพั่นท์และด้ามืดเครื่องตัดหญ้า
- 0.90-1.00% C ใช้ทำพินท์และดาย สปริงมอลล์แบร์ริง คีย์พิน แผ่นประกบดุมล้อรถ
- 1.00-1.10% C ใช้ทำแหวนรถไฟ ทำชิ้นส่วนเครื่องมือกล สปริงต๊ाप
- 1.10-1.20% C ทำต๊ाप เครื่องมือตาย มีดเจาะบิด มีดธรรมดา
- 1.20-1.30% C ทำตะไบ
- 1.30-1.50% C ทำดายสำหรับเส้นลวด มีดตัดกระดาด มีดกลึง
- 1.50-1.60% C ทำใบเลื่อยตัดเหล็ก ดายสำหรับดึงลวด

ตารางที่ 1.4 ตารางเหล็กมาตรฐาน

อเมริกา AISI SAE	เยอรมัน				ออสเตรเลีย		สวีเดน		ญี่ปุ่น				จีน บ.ป.เค.เจ.ฯ GB(YB)	
	DIN	Mat. No. Code	ROCHLING (บ.ค้าปลีกแอลลอย)	บ.ลีด เบอร์	THYSSEN BGH	บ.ลีด เบอร์	BOHLER VEW	บ.ลีด เบอร์	ASSAB UDDEHOLM	JIS	HITACHI อุเมโตะ	KOSHUHA บ.จุฬารัตน์		DAIDO หอก.กังฉ่าง
M1		1.3346	GIANT M9		THYRAPID 3346		Mo Rapid Extra 9				YXMT	HM 9T		W6Mo5Cr4V2
		S 2-9-1			BoSS 3346		S 401							
M2		1.3343	GIANT M5		THYRAPID 3343		Super Rapid Extra Mo		HSP - 41	SKH 51	YXM 1	H 9	MH 51	W8Mo5Cr4V2Co5
		S 6-5-2			BoSS 3343		- S 600		KM 2					
M35		1.3243	GIANT MK		THYRAPID 3243		Mo Rapid Extra 500			SKH 55	YXM 4	HM 35	MH 55	W2Mo9Cr4VCo8
		S 6-5-2-5			BoSS 3243		S 705							
M42		1.3247	GIANT 101		THYRAPID 3247		S 500			SKH 59	YXM 42	HM 42		W18Cr4V
		S 2-10-1-8			THYRAPID 3355		Super Rapid Extra V		HSP - 11					
T1		1.3355	GIANT 50		BoSS 3355		S 200		CASTOR 3	SKH 2	YXH 2	H 2	WH 2	W12Cr4V5Co5
		S 18-0-1			THYRAPID 3215		CC 55 N		HSP - 16	SKH 10	XVC 3	HV 5	VH 10	
T15		1.3215	GIANT 66		THYRAPID 3215		S 307			SKD 12	SCD	KD 12	DC 12	Cr5Mo1V
		S 12-0-5-5			THYRUDUR 2363		SPECIAL K5		XW - 10					
A2		1.2363	RKCM		THYRUDUR 2363		K 305		RIGOR					Cr12 MoV
		x 100 CrMoV 57			THYRUDUR 2379		SPECIAL KNL		XW - 41	SKD 11	SLD	KD 11	DC 11	
D2		1.2379	RCC Supra		THYRUDUR 2080		SPECIAL K		SVERKER 21	SKD 1	CRD	KD 1	DC 1	Cr12W
		x 155CrVMo 121			BoW 2080		K 100		XW - 5					
D3		1.2080	RCCO		THYRUDUR 2436		SPECIAL KR		SVERKER 3	SKD 2		KD 2	CD 2	
		x 210 Cr 12			BoW 2436		K 107		- SVERKER 3					
D6		1.2436	RCC Extra		THYRUDUR 2414		SSW							
		x 210 CrW 12			THYRUDUR 2067		-K 405							
F1		1.2414	RTW 1		BoW 2067		K 200			SUJ 1				Gr9
		120 W 4			THYRUDUR 2510		AMUTITS		DF2	SKS 3	SGT	KS 3	GO 3	
L3		1.2067	RTC 14		THYRUDUR 2482		MST		ARNE					CrWMn
		100 Cr 6			BoW 2482		K 720							
O1		1.2510	RUS 3		THYRUDUR 2550		KLD		M4	SKS 41		KS 41	GS 41	4CrW2Si
		100 MnCr W 4			BoW 2550		K 445		REGIN 3					
O2		1.2842	RUS		THYROTHERM 2365		W 320			SKD 7		KDH 1	DH 72	
		90 MnCrV 8			BoW 2365		W 300			SKD 6		KD 6	DHA	
S1		1.2550	RTW 2H		THYROTHERM 2343		W 302		8407	SKD 61	DAC	KDA	DHA 1	4Cr5MoV1Si
		60 WCrV 7			BoW 2344		W 100		ORVAR 2M	SKD 5	HDC	KD 5		
H10		1.2365	RPG 3		THYROTHERM 2581		GNM		HWT 5A	SKT 4		-KT 4		3Cr2W8V
		x 32 CrMoV 33			BoW 2581		W 500							
H11		1.2343	RDC 2		THYROTHERM 2714		NBS N		M - 14	SKS 51		KS 51		5CrMnMo
		x 38 CrMoV 51			BoW 2714		W 501		GRANE					
H13		1.2344	RDC 2V		THYROTHERM 2713									
		x 40 CrMoV 51			BoW 2713									
H21		1.2581	RCW 2H		BoW 2713									
		x 30 WCrV 93			BoW 2713									
6F3		1.2714			BoW 2713									
		56 NiCrMoV 7			BoW 2713									
L6		1.2713			BoW 2713									
		55 NiCrMoV 6			BoW 2713									

ตารางที่ 1.4 (ต่อ) ตารางเหล็กมาตรฐาน

ชนิดเหล็ก	420	1.2083 x 40 Cr 13	THYROPLAST 2083 BoW 2083	M 310	STAVAX STAINLESS 31	sus 420 J2	HPM 38	U 420 J2	DSR 20F	3Cr15
เหล็กกล้าคาร์บอน	440A	1.4140 x 40 CrMo 15	REMANIT 4140	KW 80		SUS 440A		SM3		
	440B	1.4112 x 90 CrMoV 18	REMANIT 4112	N 685		SUS 440B		SM2		9Cr18MoV
	440C	1.4125 x 105 CrMo 17	REMANIT 4125	N 695	930 AEB	SUS 440C		SM3		9Cr18
	310	1.4841 x 15 CrNiSi 2520	THERMAX 4841	ANTITHERM FFB H 522, H 532	STAINLESS 25	SUS Y310		U 310		
เหล็กกล้าโครม-นิกเกิล	316	1.4401 x 5 CrNiMo 1810	THERMANIT 4401	A 120	STAINLESS 24 + 724 SAST 2	SUS 316		U 316		CCr17Ni11Mo2V
	321	1.4878 x 12 CrNiTi 189	THERMAX 4878	S 120, A 100	STAINLESS 53 + 573	SUS 321		U 321		1Cr18Ni9Ti
	1015	1.1141 Cr 15	BoB 1141	E2	UHB 3S					15
	5117	1.7131 16 MnCr 5	TEW 16 MnCr 5	E 920		SMnC 420				15CrMn
(๖ หมู่) เหล็กกล้าผสม	4115	1.7337 16 CrMo 44	BoB 7131	E 410		SCM 415		CM 415		15CrMo
	5120	1.7149 20 MnCr S 5	TEW 20 MnCr S 5	E 401	EM 80	SCr 420		Cr 420		20Cr
	5115	1.7015 15 Cr 3	TEW 15 Cr 3	E 525		SCr 415		Cr 415		15Cr
	1045	1.1191 Cr 45	BoB 1191	EH	~ 760	S 45 C				45
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	4140	1.7225 42 CrMo 4	TEW 42 CrMo 4	V 945		SCM 440		CM 4		42CrMo
	4340	1.6565 40 NiCrMo 6	BoB 7225	V 320	709M	SCNM 439		NCM 439		40CrNiMo
	5140	1.7035 41 Cr 4	TEW 41 Cr 4	V 100	705M	SMnC 443				40Cr
	1060	1.1221 Cr 60	TEW 60	KNCW	UHB -12	-S58C				60
เหล็กกล้าโครม-นิกเกิล	6150	1.8159 50 CrV 4	BoB 1221	V 960		SUP 10				50CrV
	9260	1.0908 60 SiMn 6	TEW 50 CrV 4	V 130		SUP 6				60Si2Mn
	P20	1.2330 35 CrMo 4	BoB 7035	V 500				KPM 25	PDS 5	
	W1	1.1645 C 105 W	TEW 65 Si 7	F 105	718 IMPAX SUPREME	SK 3	HPM 2	K 3	YK 3	T10
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	52100	1.3505 100 Cr 6	BoB 6565	R 6		SUJ 2		KR		GCr15
			BoB 7015	RE 2C						
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง			BoB 7015	R 4						
			BoB 7015	Mo 40						
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง			BoB 7015	Monix 10						
			BoB 7015	~ Monix 15						
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง			BoB 7015	RDPZ						
			BoB 7015	R 6						
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง			BoB 7015	F 2K						
			BoB 7015	1.0908						
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง			BoB 7015	1.2330						
			BoB 7015	35 CrMo 4						
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง			BoB 7015	1.1645						
			BoB 7015	C 105 W						
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง			BoB 7015	1.3505						
			BoB 7015	100 Cr 6						

แบบฝึกหัดบทที่ 1

คำสั่ง จงทำเครื่องหมาย X ทับบนข้อที่ถูกที่สุด

1. งานที่ต้องใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ ได้เข้ามามีบทบาทต่อการผลิต การนำไปใช้ และการวิจัยวงจรทั้ง 3 ขั้นตอน ขั้นตอนใดเป็นขั้นตอนแรก

1. การผลิต	2. การนำไปใช้
3. การวิจัย	4. ถูกทั้ง 1 และ 2
2. การแปรรูปเป็นแท่งกลม ตรงกับข้อใด

1. การผลิต	2. การนำไปใช้
3. การวิจัย	4. ถูกทั้ง 1 และ 2
3. การทำเหมืองแร่ ตรงกับข้อใด

1. การผลิต	2. การนำไปใช้
3. การวิจัย	4. ถูกทั้งข้อ 2 และ 3
4. การเดินเรือ ตรงกับข้อใด

1. การผลิต	2. การนำไปใช้
3. การวิจัย	4. ถูกทุกข้อ
5. เป็นการหาข้อมูลภายหลังการใช้งานแล้วยังมีข้อบกพร่องอะไรอยู่บ้าง

1. การผลิต	2. การนำไปใช้
3. การวิจัย	4. ถูกทุกข้อ
6. งานผลิตโลหะ แบ่งการดำเนินงานออกเป็นกี่ขั้นตอน

1. 1	2. 2
3. 3	4. 4
7. จากข้อ 6 ได้แก่อะไรบ้าง

1. การผลิตจากแร่	
2. การผลิตจากแร่ และการแปรรูป	
3. การผลิตจากแร่ การแยกแร่ และการแปรรูป	
4. ถูกทั้ง 2 และ 3	

8. เหล็กกล้าคาร์บอน แบ่งออกได้เป็นกี่ชนิด

- | | |
|------|------|
| 1. 1 | 2. 2 |
| 3. 3 | 4. 4 |

9. เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง มีคาร์บอนผสมระหว่าง

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1. 0.22 - 0.52% | 2. 0.23 - 0.53% |
| 3. 0.24 - 0.54% | 4. 0.25 - 0.55% |

10. เป็นธาตุที่ไม่ทำให้เกิดรูพรุน หรือรูอากาศในเหล็กกล้า คือข้อใด

- | | |
|-------|-------|
| 1. S | 2. Mn |
| 3. Si | 4. P |