

วัสดุอุตสาหกรรม

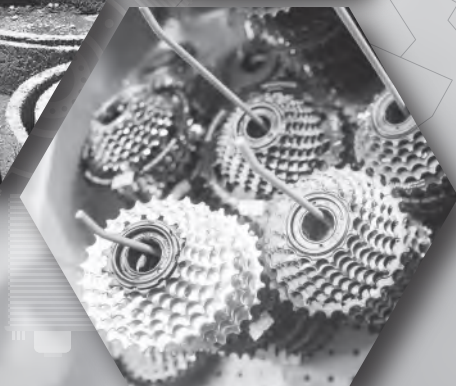
INDUSTRIAL MATERIALS



วัสดุอุตสาหกรรม

INDUSTRIAL

MATERIALS





หนังสือวัสดุอุตสาหกรรม (Industrial Materials) จัดทำขึ้นมาเพื่อนักศึกษาสายช่างอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างกลโรงงาน ช่างผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ ช่างกลโลหะ ช่างโลหะ ช่างยนต์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม เทคนิคอุตสาหกรรม สาขางานรองหล่อโลหะ สาขางานรองเครื่องจักรอัตโนมัติ เทคโนโลยีไอน้ำ เทคโนโลยีพลังงาน ระดับชั้น ปวส. 2 ปี และ ปวส. (หลักสูตร 4 ปี) ซึ่งคณะผู้เรียบเรียงได้เขียนเนื้อหาให้ครอบคลุมหลักสูตรสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล และกรมอาชีวศึกษาของทั้ง 2 สถาบัน

อนึ่ง หนังสือเล่มนี้สำเร็จได้ตามความมุ่งหวัง ก็ต้องขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรชัย เจริญทรัพย์ ท่านผู้ช่วยผู้อำนวยการจำเนียร ศิลพานิช ท่านผู้ช่วย-ผู้อำนวยการวิฑูรย์ สวัสดิ์รักษา (วช. พระนครเหนือ) อาจารย์พงษ์วุฒิ สิทธิพล และอาจารย์สมศักดิ์ ประเสริฐสุข (หัวหน้าแผนกวิชาหล่อโลหะ) ที่ให้คำปรึกษาและดำเนินการช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

เทพนารินทร์ ประพันธ์พัฒน์
วิหาร ดีปัญญา

ลักษณะรายวิชา
INDUSTRIAL MATERIALS
INDUSTRIAL MATERIALS

1. รหัสและชื่อ วัสดุอุตสาหกรรม
[Industrial Materials]
2. สภาพรายวิชา วิชาชีพแกนกลุ่มเทคนิคการผลิต
3. ระดับรายวิชา ภาคเรียนที่ 2 ชั้นปีที่ 4
4. พื้นฐาน -
5. เวลาศึกษา 72 คาบเรียนตลอด 18 สัปดาห์ ทฤษฎี 2 คาบต่อสัปดาห์ ปฏิบัติ 2 คาบต่อสัปดาห์ นอกจากนี้นักศึกษาจะต้องใช้เวลาศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง ทำรายงานเพิ่มขึ้นอีกสัปดาห์ละ 2 ชั่วโมง
6. หน่วยกิต 3 หน่วยกิต
7. จุดมุ่งหมายรายวิชา
 - 7.1 เข้าใจคุณสมบัติเชิงกลของโลหะและอโลหะ
 - 7.2 เข้าใจโครงสร้างอะตอมและโครงสร้างผลึกของโลหะ
 - 7.3 เข้าใจระบบการเกิดโลหะผสม
 - 7.4 เข้าใจเฟสและแผนภาพสมดุลของโลหะ
 - 7.5 เข้าใจแผนภาพสมดุลของเหล็ก-คาร์บอน
 - 7.6 สามารถตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะต่าง ๆ
8. คำอธิบายรายวิชา ทบทวนเรื่องคุณสมบัติ ลักษณะ และโครงสร้างของเหล็กโลหะที่ไม่ใช่เหล็กและโลหะผสม รวมทั้งอโลหะที่มีใช้ในงานอุตสาหกรรม ทฤษฎีของโลหะผสมไดอะแกรมสมดุลของเหล็กคาร์บอน ปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา



บทที่ 1	คุณสมบัติเชิงกลของโลหะและอโลหะ	7
1.1	วัสดุที่ใช้งานในทุกวันนี้	7
1.2	การจำแนกวัสดุ	18
1.3	การผลิตโลหะ	22
1.4	คุณสมบัติทางกายภาพ	25
1.5	คุณสมบัติเชิงกล	34
1.6	การทดสอบความแข็ง	53
1.7	การเปลี่ยนรูปของวัสดุหรือโลหะ	61
1.8	การขึ้นรูปแบบร้อน	81
1.9	การขึ้นรูปแบบเย็น	89
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1	103
บทที่ 2	โครงสร้างของอะตอมและโครงสร้างผลึกของโลหะ	105
2.1	โครงสร้างของอะตอม	105
2.2	คุณสมบัติของธาตุกับความสัมพันธ์กับวาเลนซ์อิเล็กตรอน	115
2.3	พันธะอะตอม	115
2.4	โครงสร้างผลึกของโลหะ	122
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2	139
บทที่ 3	ระบบการเกิดโลหะผสม	141
3.1	ระบบการเกิดโลหะผสม	141
3.2	การละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันทั้งในสภาวะของของเหลว และสภาวะของของแข็ง	150
3.3	การแข็งตัวแบบไม่ละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันในสภาวะของของแข็ง	155
3.4	ปฏิกิริยาในสภาวะของของแข็ง	155
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3	163

บทที่ 4	เฟสและแผนภาพสมดุลของโลหะ	165
4.1	เฟส	165
4.2	Gibb's Phase Rule	167
4.3	โครงสร้าง	173
4.4	สารละลายของแข็ง	175
4.5	การผสมกันในสารประกอบ	178
4.6	แผนภาพสมดุลของเฟสของระบบ 2 ธาตุ	181
4.7	สภาพของการผสมสารผสม	188
4.8	สภาพของส่วนผสมทางเคมี	188
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพหรือเฟส	189
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	209
บทที่ 5	แผนภาพสมดุลของเหล็ก-คาร์บอน	211
5.1	โครงสร้างของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา	211
5.2	แผนภาพสมดุลของเหล็ก-คาร์บอน	214
5.3	บทบาทของธาตุผสมในเหล็กกล้าคาร์บอน	217
5.4	การจำแนกชนิดของเหล็กตามแผนภาพสมดุลของเหล็ก-คาร์บอน	221
5.5	ปฏิกิริยาในแผนภาพสมดุลของเหล็กและคาร์บอน	221
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5	247
บทที่ 6	การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะต่าง ๆ.....	249
6.1	การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะ	249
6.2	ข้อควรระวังในการตรวจสอบ	254
6.3	อุปกรณ์ในการตรวจสอบ	254
6.4	วิธีการขัดแบบเปียก	262
6.5	วิธีการขัดแบบมัน	265
6.6	วิธีการกัดกรด	265
6.7	วิธีการส่องกล้องและถ่ายรูปโครงสร้าง	266
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6	287
	ภาคผนวก	289
	บรรณานุกรม.....	307

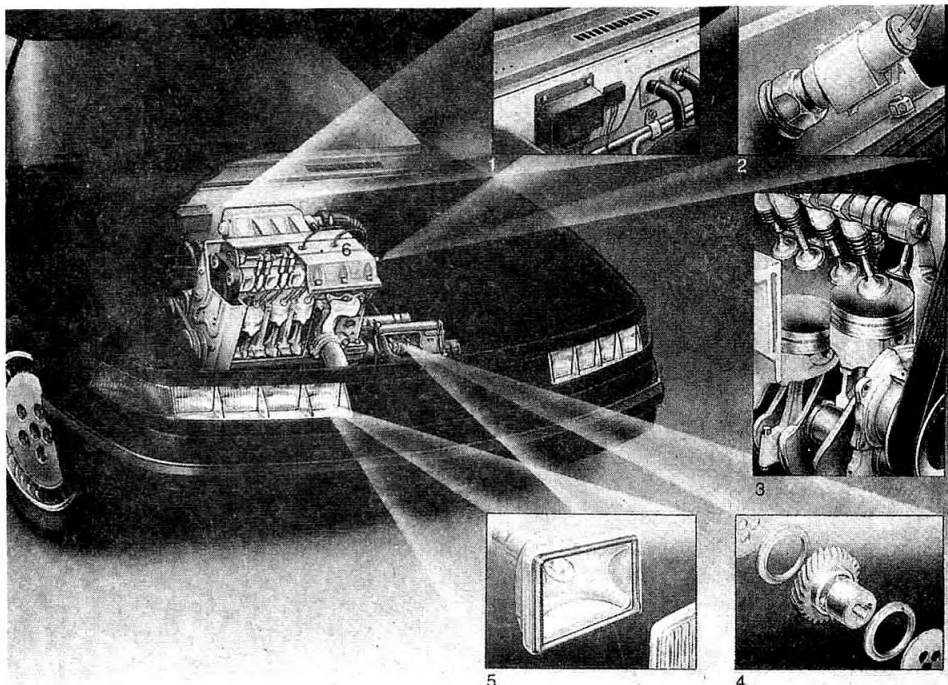
คุณสมบัติเชิงกลของโลหะ และอโลหะ **INDUSTRIAL MATERIALS** **INDUSTRIAL MATERIALS**

1.1 วัสดุที่ใช้งานในทวกรันนี้

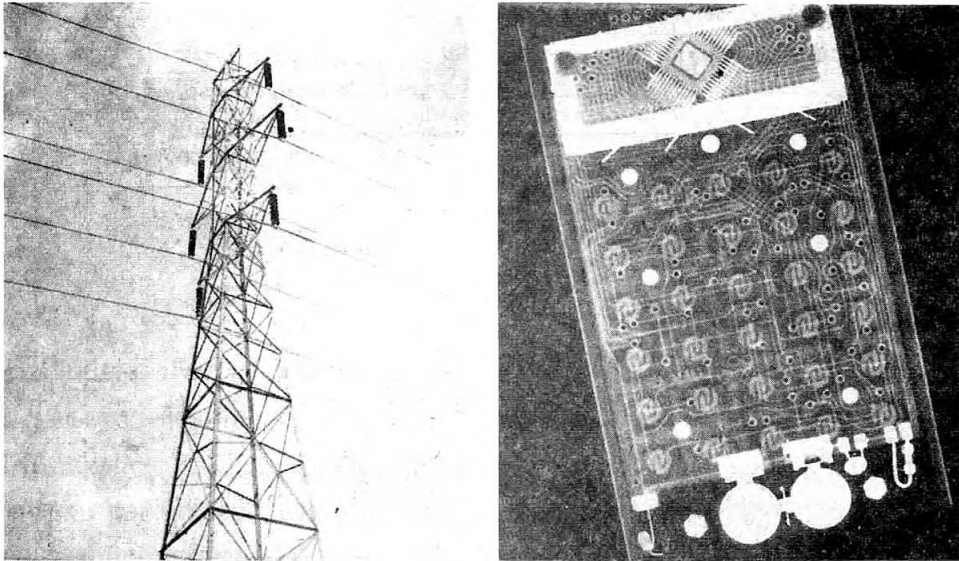
วัสดุ (Materials) ทั้งหลายเหล่านั้นได้ถูกมนุษย์คิดค้น และผลิตหรือดัดแปลงเพื่อใช้กับงานในด้านต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับงานในด้านต่าง ๆ เช่น โลหะจำพวกเหล็ก (Ferrous Metals) และโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non Ferrous Metals) หรือจะเป็นพลาสติกและเซรามิก ซึ่งล้วนแต่จะเป็นวัสดุที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีพในปัจจุบันของมนุษยชาติ รวมทั้งช่วยสนองตอบต่อความต้องการในด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่ เพื่อการให้ได้มาถึงคุณภาพ ปริมาณ อายุ และความทันสมัยนิยมของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในโลกปัจจุบัน

งานในเทคโนโลยีอันทันสมัยในปัจจุบัน มีวงจรอยู่ 3 ประการ ดังนี้

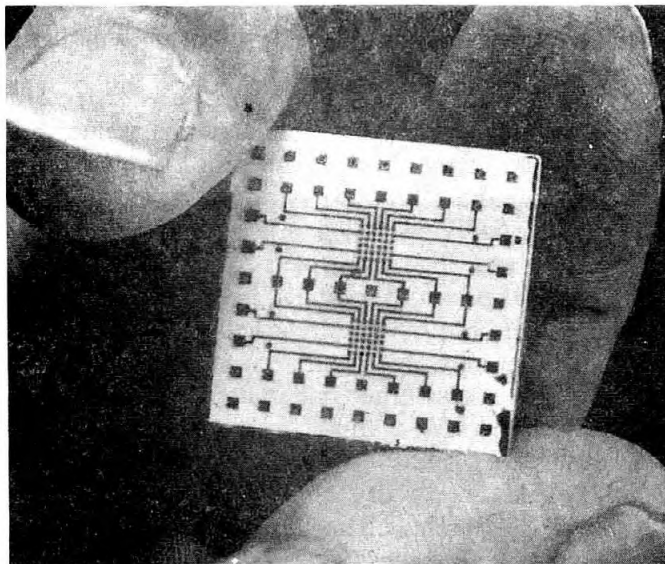
1. กรรมวิธีการผลิต จำเป็นต้องผลิตให้ได้งานที่ต้องการตามคุณสมบัติของโลหะ หรือวัสดุต่าง ๆ ของกรรมวิธีผลิตในงานด้านอุตสาหกรรมประเภทนั้น ๆ เช่น การขุดเจาะน้ำมัน การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ การทำเหมืองแร่ การถลุงเหล็ก การขนถ่ายสินค้า รวมถึงการเดินเรือทะเล ฯลฯ



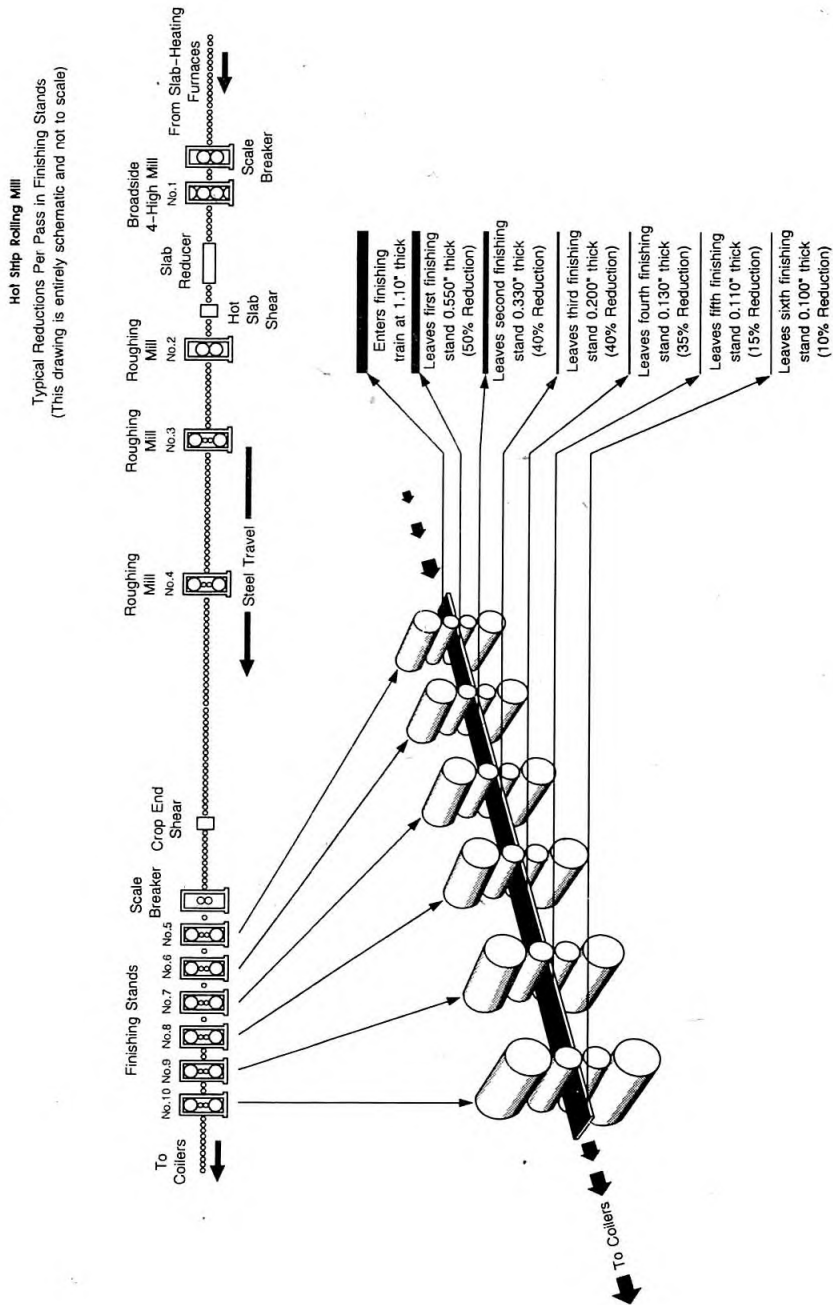
รูปที่ 1.1 แสดงถึงวิวัฒนาการอันทันสมัยของส่วนประกอบรถยนต์



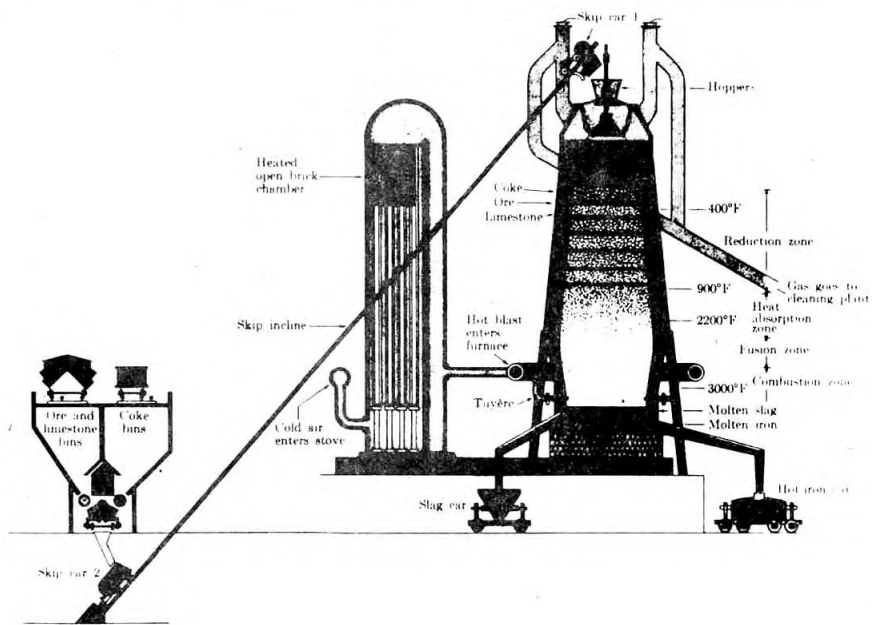
รูปที่ 1.2 แสดงถึงเทคโนโลยีทางไฟฟ้าและทางอิเล็กทรอนิกส์



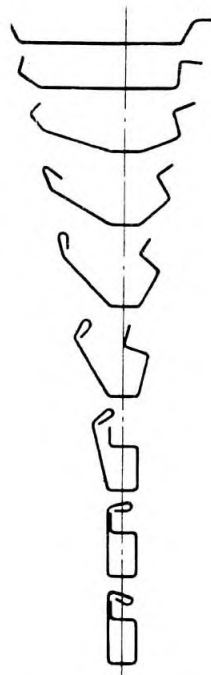
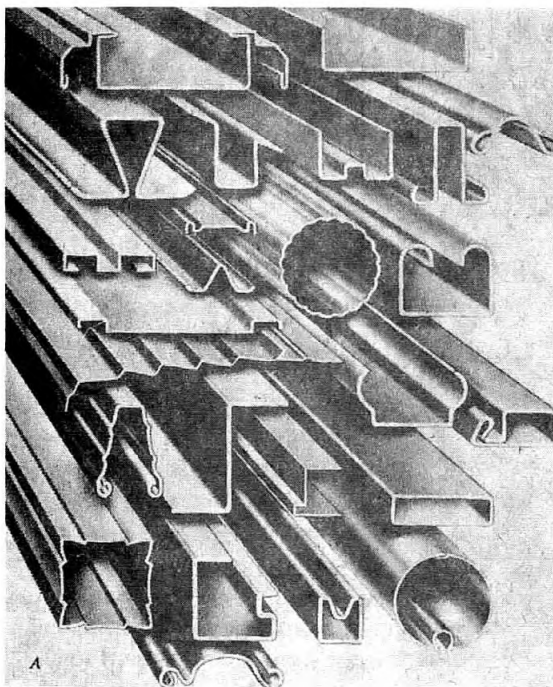
รูปที่ 1.3 เทคโนโลยีขนาดเล็ก ๆ ของ Superconductor Circuit



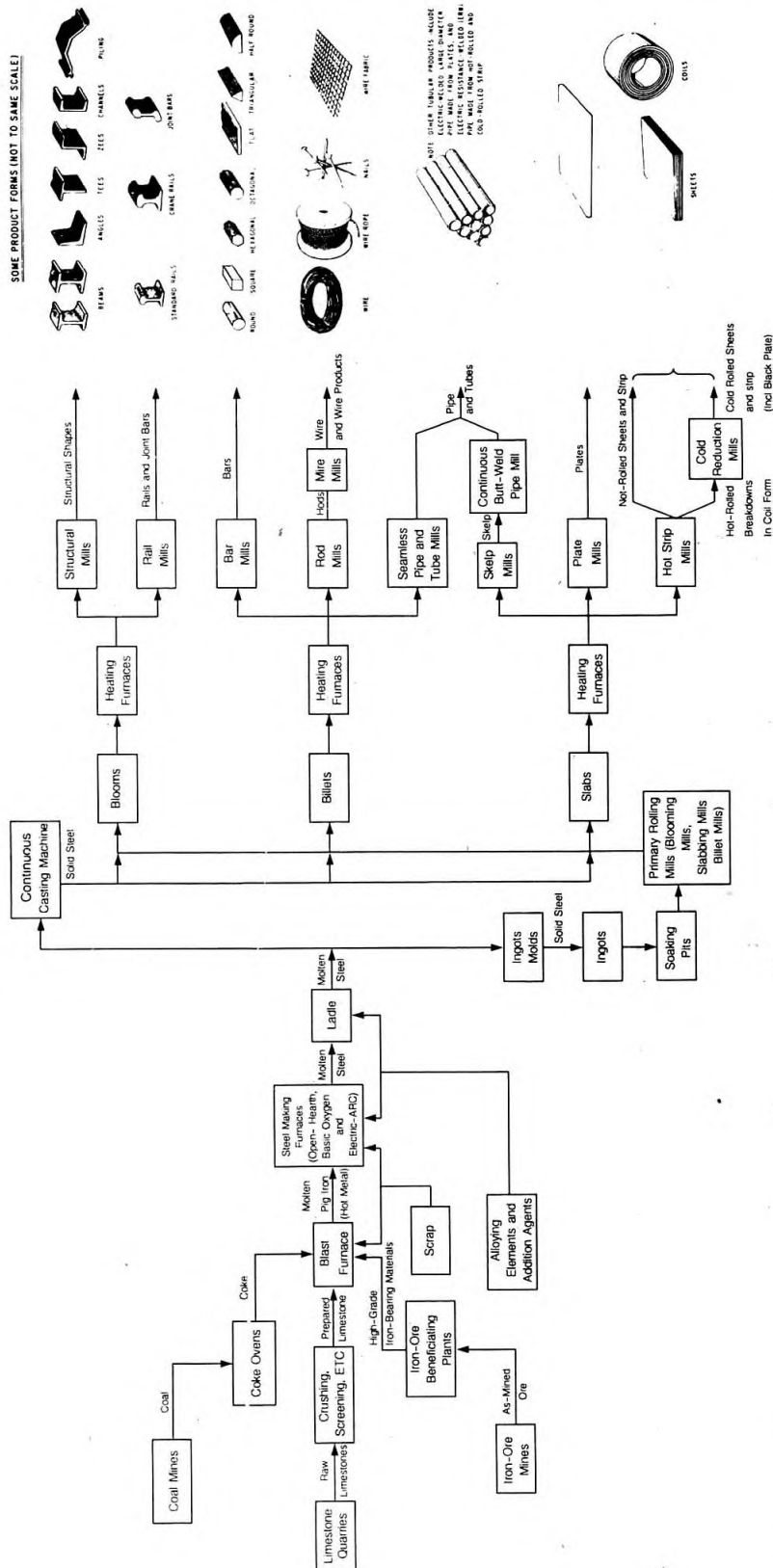
รูปที่ 1.4 แสดงกระบวนการผลิตโดย Rolling



รูปที่ 1.5 แสดงต้นกำเนิดในการผลิต (เตาสถู)



รูปที่ 1.6 แสดงลักษณะของผลผลิตที่ได้จาก Cold-rolled

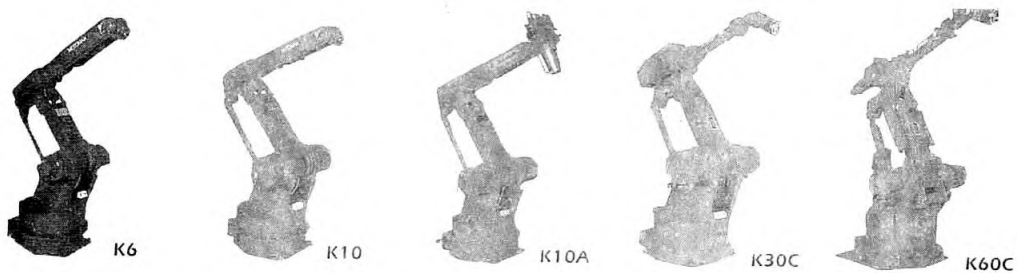


รูปที่ 1.7 แสดงกระบวนการ Steel Making

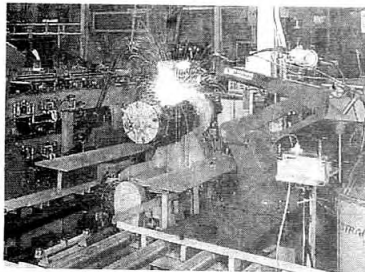
ซึ่งเป็นกรรมวิธีการผลิตให้ได้มาซึ่งวัสดุที่มีคุณสมบัติ รวมทั้งลักษณะของงานให้ตรงกับความต้องการของขบวนการในการผลิตในกลุ่มงานอุตสาหกรรมนั้น ๆ

2. ขบวนการนำไปใช้ เมื่อผ่านขบวนการในขั้นที่ 1 มาแล้วก็จะต้องนำไปทำการแปรรูปเพื่อผลิตให้เป็นรูปร่างหลากหลายไม่ว่าจะเป็นแผ่น แท่งกลม แท่งกลวง เพื่อสนองตอบต่อความต้องการของตลาดในปัจจุบัน

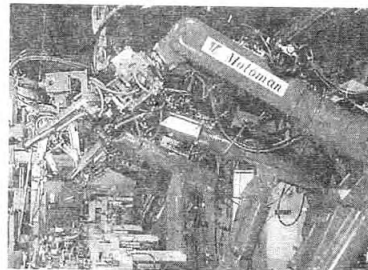
3. ขั้นตอนในการวิจัย มาถึงในขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญยิ่ง ทั้งนี้หลังจากผลิตเป็นสินค้าสำเร็จรูปพร้อมกับการนำป้ใช้งานแล้วจะต้องหาข้อมูลเพื่อทำการวิจัยดูว่าผลผลิตนั้นหลังจากผ่านการใช้งานมาแล้วยังมีข้อบกพร่องอะไรหลงเหลืออยู่บ้าง มีคุณสมบัติคุณภาพดีพอหรือไม่ เพื่อทำการปรับปรุงให้มีคุณภาพทนทานดียิ่ง ๆ ขึ้น และรวมทั้งปลอดภัยในการใช้งานได้สูง ผลการวิจัยดังกล่าวจะมีประโยชน์และช่วยในการคิดสร้างผลผลิตใหม่เข้ามาทดแทน ทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพมากขึ้นนั่นเอง



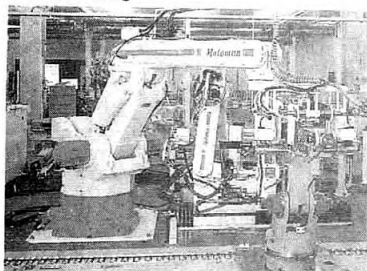
■ Are Welding



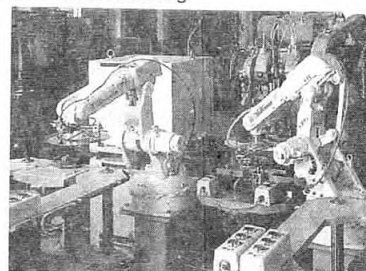
■ Spot Welding



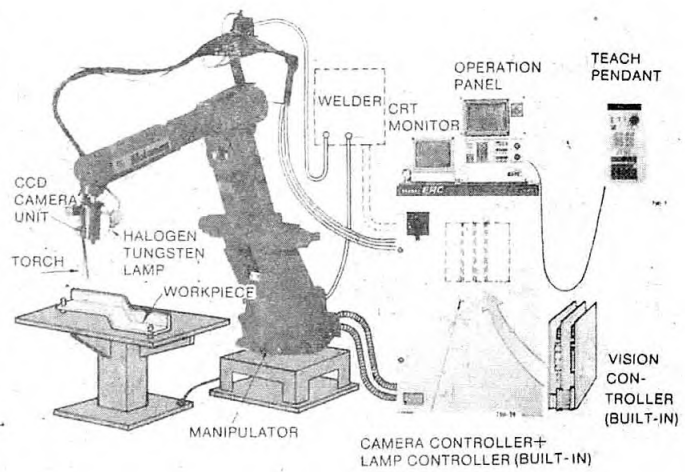
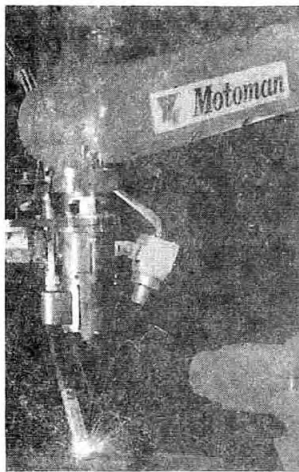
■ Assembling



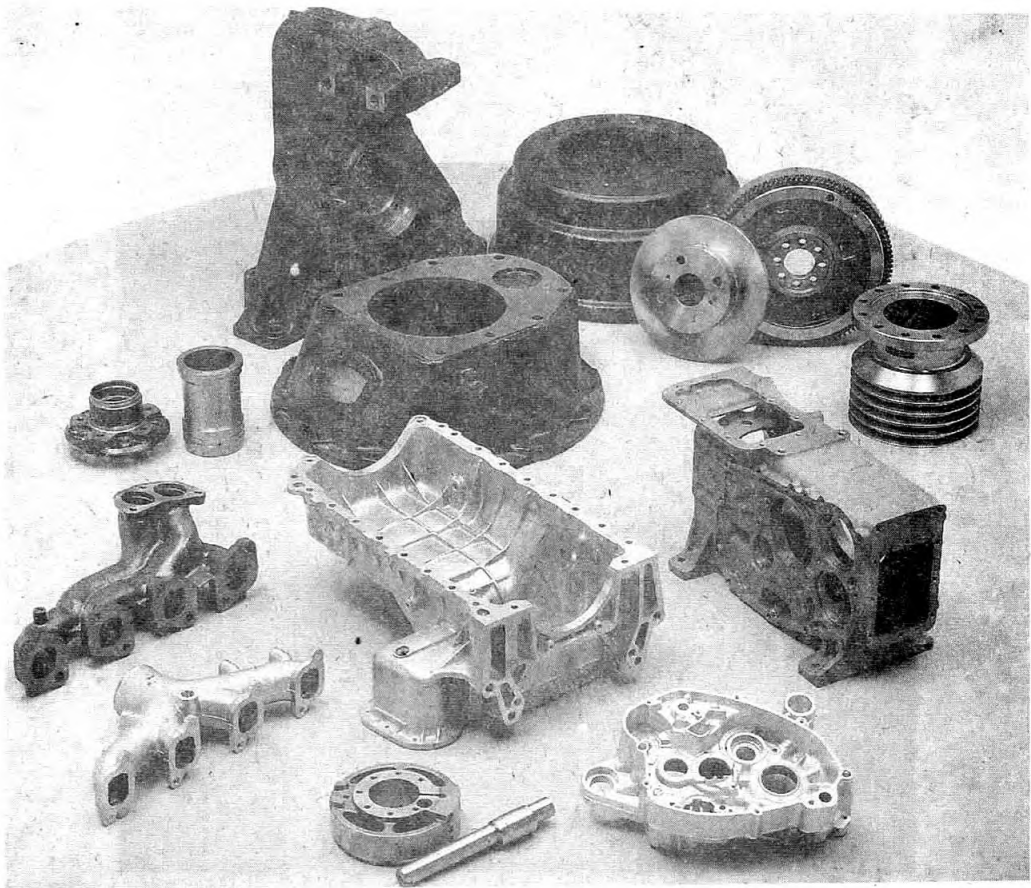
■ Material Handling



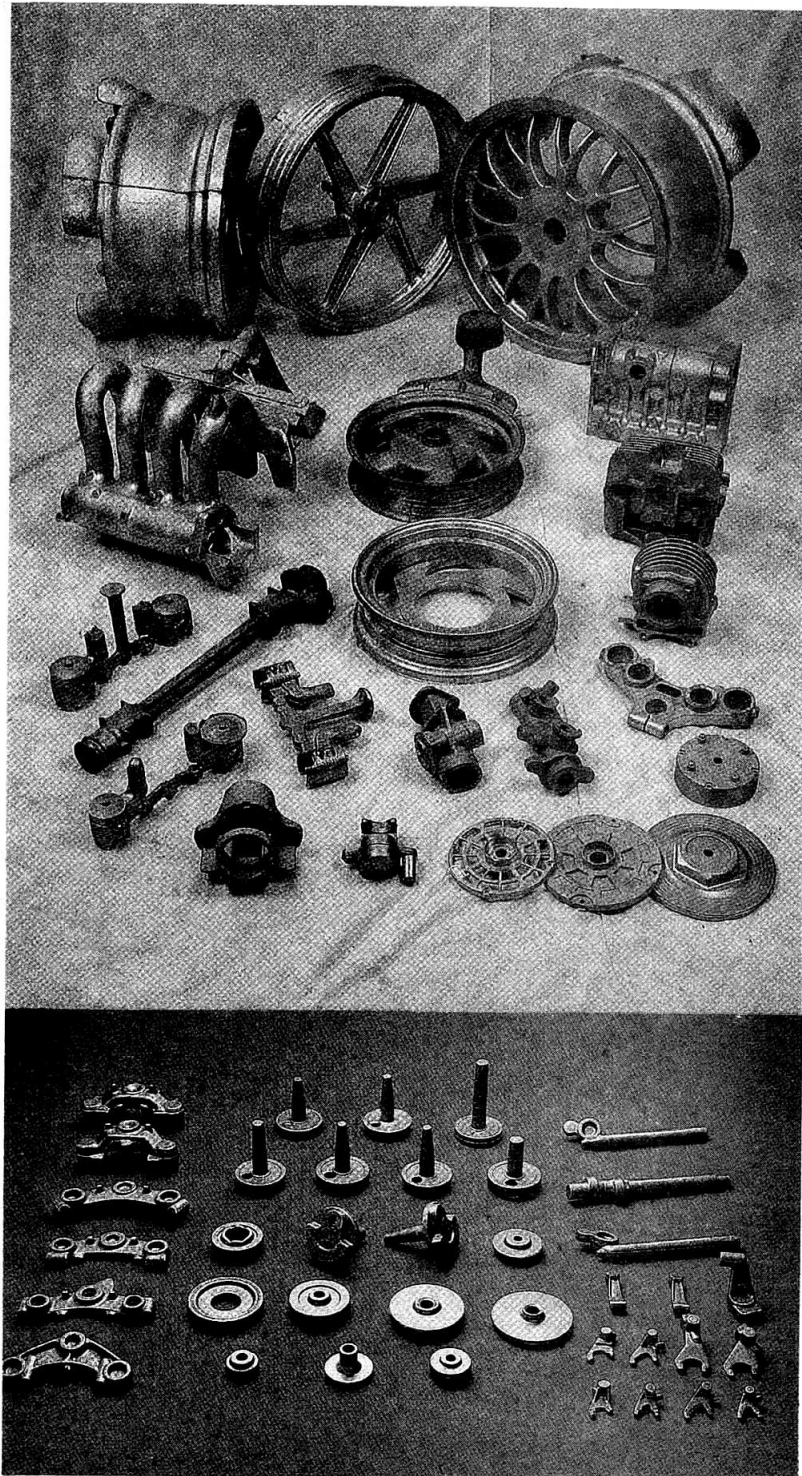
รูปที่ 1.8 การใช้ Robot เข้าช่วยในขบวนการผลิต



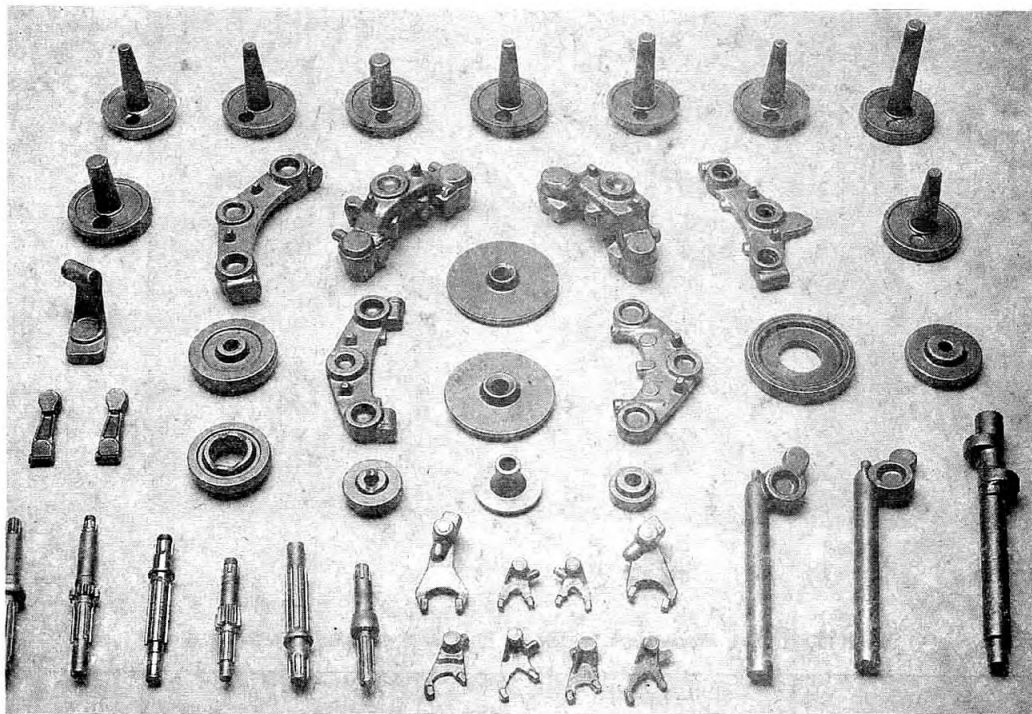
รูปที่ 1.8 (ต่อ)



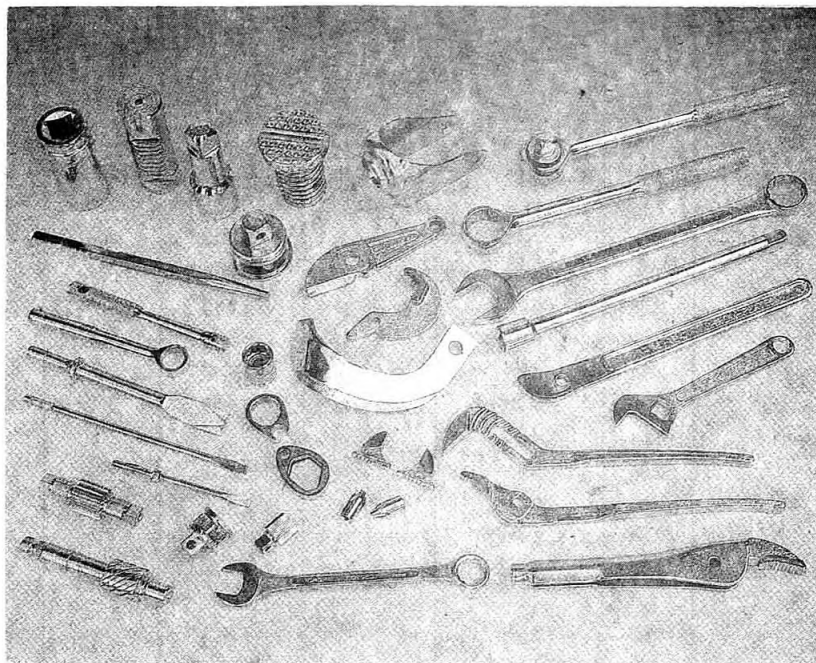
รูปที่ 1.9 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการรวมวิธีการผลิต



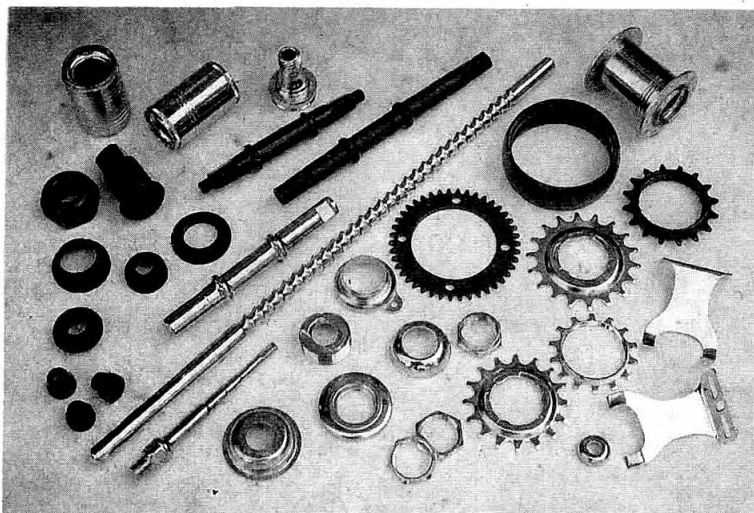
รูปที่ 1.10 เปรียบเทียบ Auto Parts ขนาดต่าง ๆ ที่ได้



รูปที่ 1.11



รูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 (ต่อ)

ตารางที่ 1.1 Properties of Selected Engineering Materials (20 °C)*

Material	Density Mg/m ³ (=g/cm ³)	Thermal Conductivity, $\left\{ \frac{\text{watts}}{\text{mm}^2} \right\} \left/ \left/ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{mm}} \right. \right\}^{\dagger}$	Linear Expansion $^{\circ}\text{C}^{-1}$	Electrical Resistivity, ρ ohm · m §	Average Modulus of Elasticity, E	
					GPa	psi
Metals (Annealed)						
Aluminum (99.9+)	2.7	0.22	22.5×10^{-6}	29×10^{-9}	70	10×10^6
Aluminum alloys	2.7(+)	0.16	22×10^{-6}	$\sim 45 \times 10^{-9}$	70	10×10^6
Brass (70 Cu-30 Zn)	8.5	0.12	20×10^{-6}	62×10^{-9}	110	16×10^6
Bronze (95 Cu-5 Sn)	8.8	0.08	18×10^{-6}	$\sim 130 \times 10^{-9}$	110	16×10^6
Cast iron (gray)	7.15	-	10×10^{-6}		140(±)	$20 \times 10^6 \pm$
Cast iron (white)	7.7	-	9×10^{-6}	660×10^{-9}	205	30×10^6
Copper (99.9+)	8.9	0.40	17×10^{-6}	17×10^{-9}	110	16×10^6
Iron (99.9+)	7.88	0.072	11.7×10^{-6}	98×10^{-9}	205	30×10^6
Lead (99+)	11.34	0.033	29×10^{-6}	206×10^{-9}	14	2×10^6
Magnesium (99+)	1.74	0.16	2.5×10^{-6}	45×10^{-9}	45	6.5×10^6
Monel (70 Ni-30 Cu)	8.8	0.025	15×10^{-6}	482×10^{-9}	180	26×10^6
Silver (sterling)	10.4	0.41	18×10^{-6}	18×10^{-9}	75	1×10^6
Steel (1020)	7.86	0.050	11.7×10^{-6}	169×10^{-9}	205	30×10^6
Steel (1040)	7.85	0.048	11.3×10^{-6}	171×10^{-9}	205	30×10^6
Steel (1080)	7.84	0.046	10.8×10^{-6}	180×10^{-9}	205	30×10^6
Steel (18 Cr-8 Ni stainless)	7.93	0.015	9×10^{-6}	700×10^{-9}	205	30×10^6
Ceramics						
Al ₂ O ₃	3.8	0.029	9×10^{-6}	$>10^{12}$	350	50×10^6
Brick						
building	2.3(±)	0.0006	9×10^{-6}		-	-
fireclay	2.1	0.0008	4.5×10^{-6}	1.4×10^6	-	-
graphite	1.5	-	5×10^{-6}		-	-
paving	2.5	-	4×10^{-6}		-	-
Silica	1.75	0.0008		1.2×10^6	-	-

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

Material	Density Mg/m ³ (=g/cm ³)	Thermal Conductivity, $\left\{ \frac{\text{watts}}{\text{mm}^2} \right\} \left/ \left\{ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{mm}} \right\} \right\}$	Linear Expansion $^{\circ}\text{C}^{-1}$	Electrical Resistivity, ρ ohm · m §	Average Modulus of Elasticity, E	
					GPa	psi
Concrete	2.4(±)	0.0010	13×10^{-6}	—	14	2×10^6
Glass						
plate	2.5	0.00075	9×10^{-6}	10^{12}	70	10×10^6
borosilicate	2.4	0.0010	2.7×10^{-6}	$>10^{15}$	70	10×10^6
silica	2.2	0.0012	0.5×10^{-6}	10^{18}	70	10×10^6
vycor	2.2	0.0012	0.6×10^{-6}	—	—	—
wool	0.05	0.00025	—	—	—	—
Graphite (bulk)	1.9	—	5×10^{-6}	10^{-5}	7	1×10^6
MgO	3.6	—	11×10^{-6}	$10^3(1100^{\circ}\text{C})$	205	30×10^6
Quartz (SiO ₂)	2.65	0.012	—	10^{12}	310	45×10^6
SiC	3.17	0.012	4.5×10^{-6}	$0.025(1100^{\circ}\text{C})$	—	—
TiC	4.5	0.030	7×10^{-6}	50×10^{-8}	350	50×10^6
Polymers						
Melamine-formaldehyde	1.5	0.00030	27×10^{-6}	10^{11}	9	1.3×10^6
Phenol-formaldehyde	1.3	0.00016	72×10^{-6}	10^{10}	3.5	0.5×10^6
Urea-formaldehyde	1.5	0.00030	27×10^{-6}	10^{10}	10.3	1.5×10^6
Rubbers (synthetic)	1.5	0.00012	—	—	~ 0.05	600–11,000
Rubber (vulcanized)	1.2	0.00012	81×10^{-6}	10^{12}	3.5	0.5×10^6
Polyethylene (L.D.)	0.92	0.00034	180×10^{-6}	$10^{13}-10^{16}$	0.1–1.25	14,000–50,000
Polyethylene (H.D.)	0.96	0.00052	120×10^{-6}	$10^{12}-10^{16}$	0.35–1.25	50,000–180,000
Polystyrene	1.05	0.00008	63×10^{-6}	10^{16}	2.8	0.4×10^6
Polyvinylidene chloride	1.7	0.00012	190×10^{-6}	10^{11}	0.35	0.05×10^6
Polytetrafluoroethylene	2.2	0.00020	100×10^{-6}	10^{14}	0.35–0.7	50,000–100,000
Polymethyl methacrylate	1.2	0.00020	90×10^{-6}	10^{14}	3.5	0.5×10^6
Nylon	1.15	0.00025	100×10^{-6}	10^{12}	2.8	0.4×10^6

* Data in this table were taken from numerous sources.

† Alternatively, W/mm · K. Multiply by 1.92 to get Btu/(ft² · s)/(°F/in.).‡ Or, K⁻¹, divide by 1.8 to get °F⁻¹.

§ Multiply ohm · m by 39 to get ohm · in.

ตารางที่ 1.2 AISI-SAE Carbon-steel Compositions

AISI-SAE No.	% C	% Mn	AISI-SAE No.	% C	% Mn
1006	0.08 max	0.25–0.40	1050	0.49–0.55	0.60–0.90
1010	0.08–0.13	0.30–0.60	1055	0.50–0.60	0.60–0.90
1015	0.13–0.18	0.30–0.60	1065	0.60–0.70	0.60–0.90
1020	0.18–0.23	0.30–0.60	1070	0.65–0.75	0.60–0.90
1025	0.22–0.28	0.30–0.60	1075	0.70–0.80	0.40–0.70
1030	0.28–0.34	0.60–0.90	1080	0.75–0.88	0.60–0.90
1035	0.32–0.38	0.60–0.90	1085	0.80–0.93	0.70–1.00
1040	0.37–0.44	0.60–0.90	1090	0.85–0.98	0.60–0.90
1045	0.43–0.50	0.60–0.90	1095	0.90–1.03	0.30–0.50

P, 0.040 max; S, 0.05 max

1.2 การจำแนกวัสดุ

ในงานอุตสาหกรรมเราจะจำแนกวัสดุออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ

1. โลหะ (Metallic Materials) ได้แก่

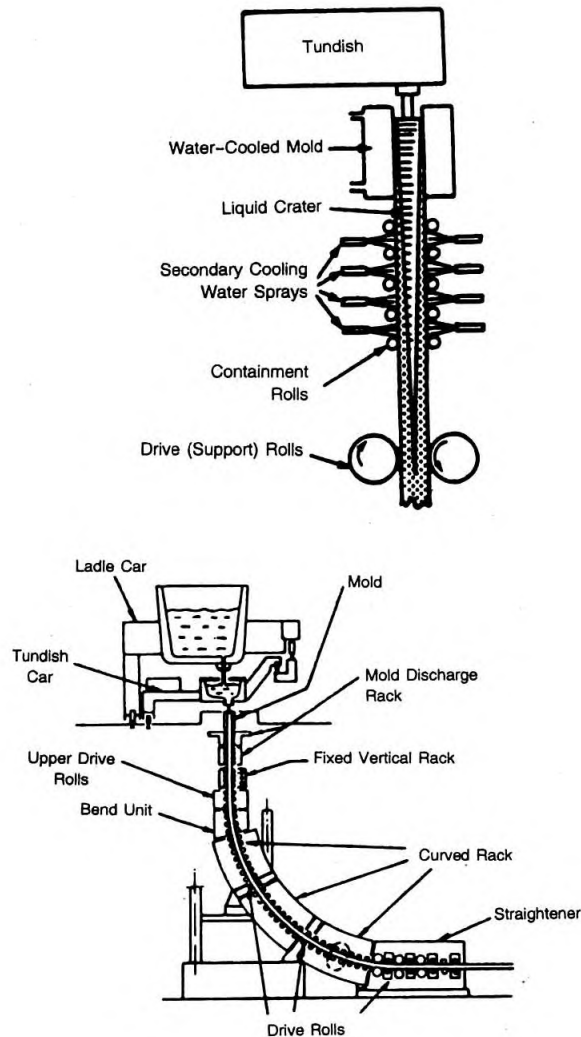
โลหะหนัก จะมีความหนาแน่นมากกว่า 4 g/cm^3 ได้แก่จำพวกเหล็กกล้า เหล็กกล้าผสม เหล็กหล่อ และเหล็กหล่อเหนียว เป็นต้น

โลหะเบา จะมีความหนาแน่นน้อยกว่า 4 g/cm^3 ได้แก่จำพวก Cu, Al, Zn และ Sn ฯลฯ

2. อโลหะ (Non-Metallic Materials) ได้แก่

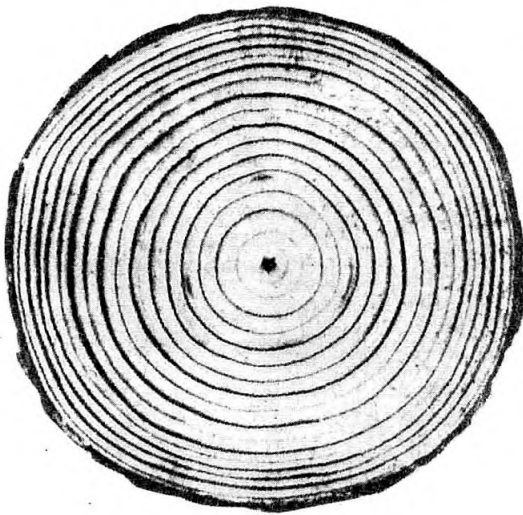
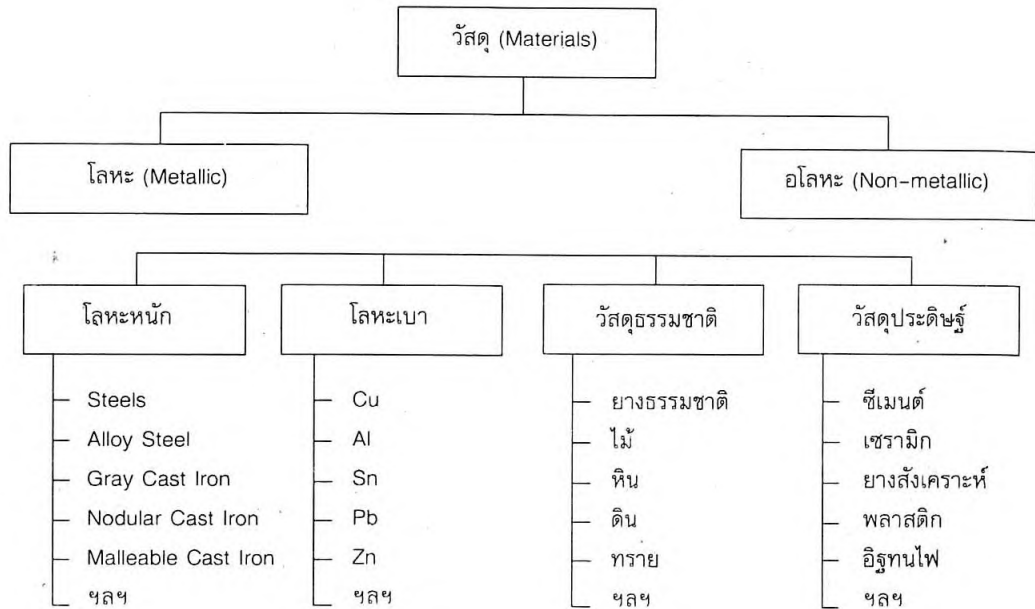
วัสดุตามธรรมชาติ คือ ยางธรรมชาติ ไม้ ดิน หิน ทราช และกรวด ฯลฯ

วัสดุสังเคราะห์ คือ กระเบื้องเคลือบ พลาสติก อิฐ ซีเมนต์ ไฟเบอร์กลาส และเซรามิก ฯลฯ

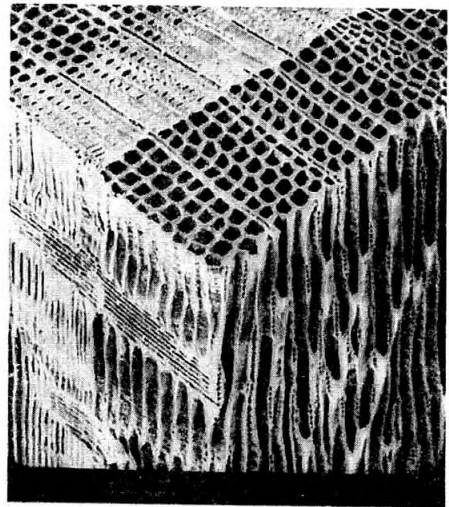


รูปที่ 1.13 แสดงขบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 1.3 แสดงการจำแนกวัสดุ

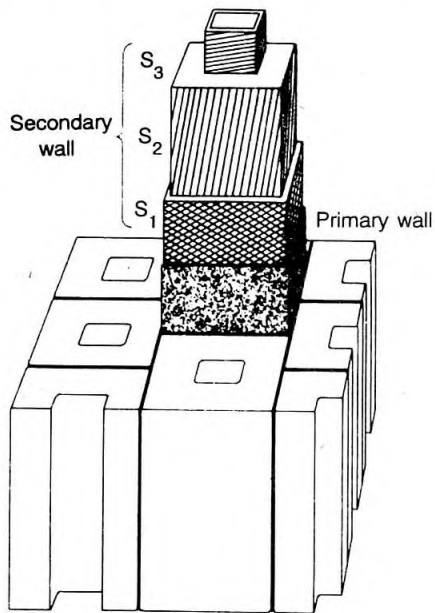


(a)

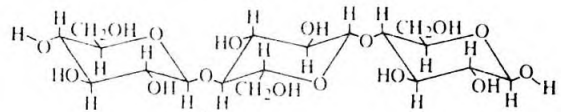


(b)

รูปที่ 1.14 แสดงลักษณะโครงสร้างของไม้

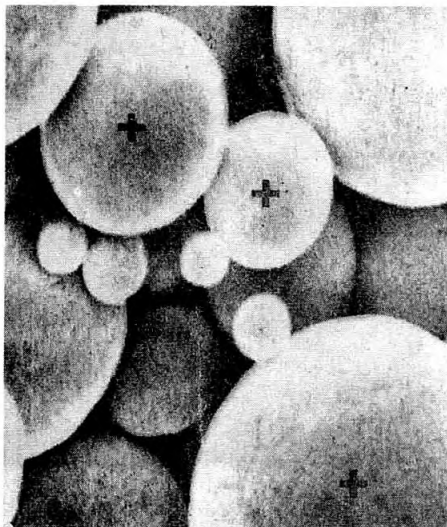


(c)

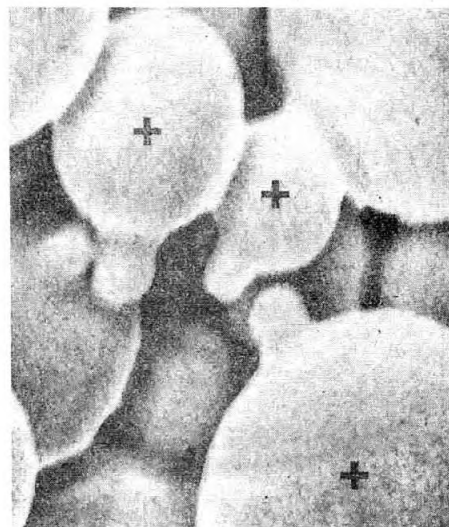


(d)

รูปที่ 1.14 (ต่อ)

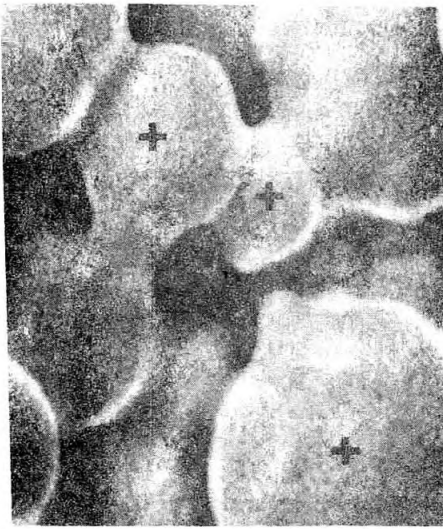


(a)

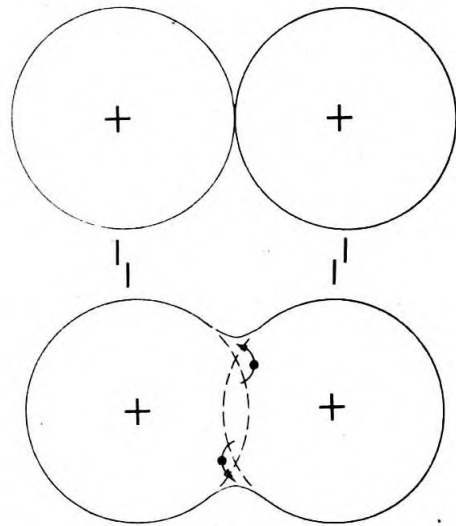


(b)

รูปที่ 1.15 แสดงขบวนการ Sintering ของผงนิกเกิล

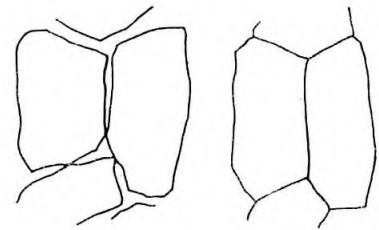
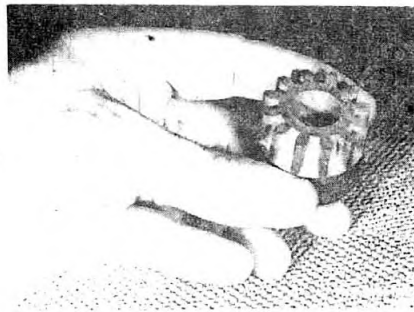


(c)

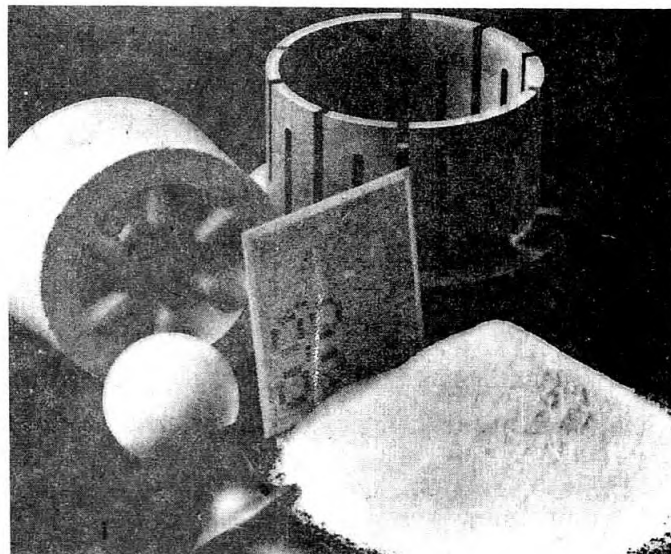


(d)

รูปที่ 1.15 (ต่อ)



รูปที่ 1.16 ใช้ผงโลหะผลิตเฟือง และขบวนการ Solid Sintering

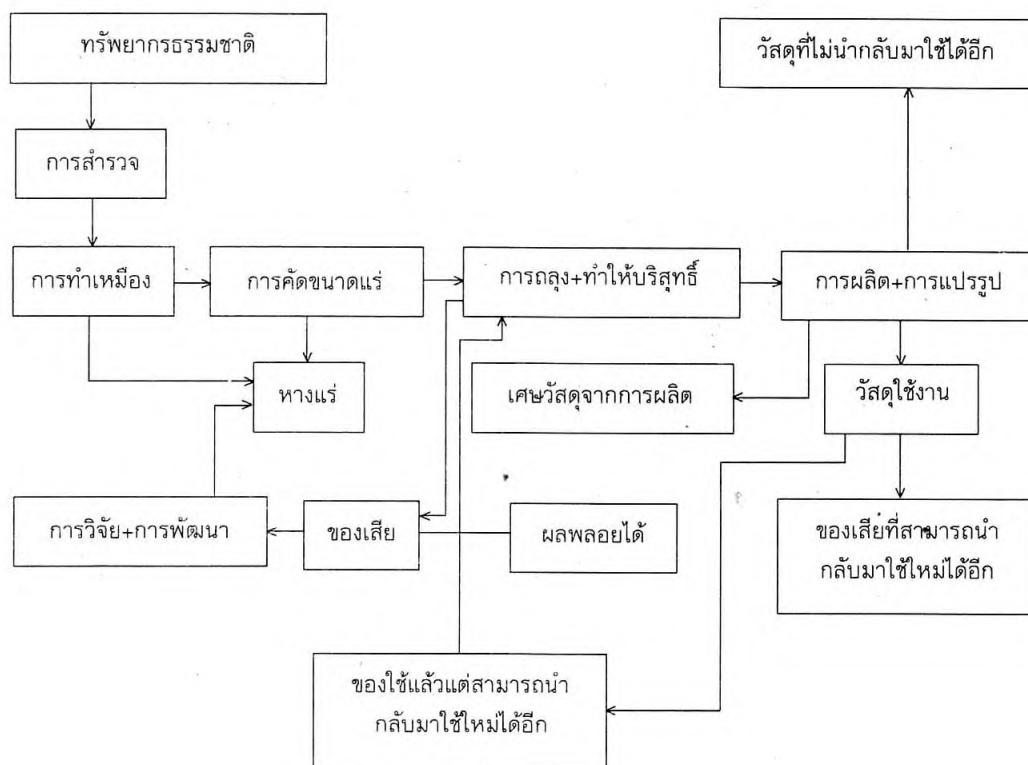


รูปที่ 1.17 การใช้ผงเซรามิกในการผลิต

แหล่งกำเนิดของวัสดุ (Materials) เราสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือ

1. แหล่งจากธรรมชาติ
2. แหล่งหมุนเวียน

ตารางที่ 1.4 แสดงแผนภูมิที่มาของวัสดุ



1.3 การผลิตโลหะ

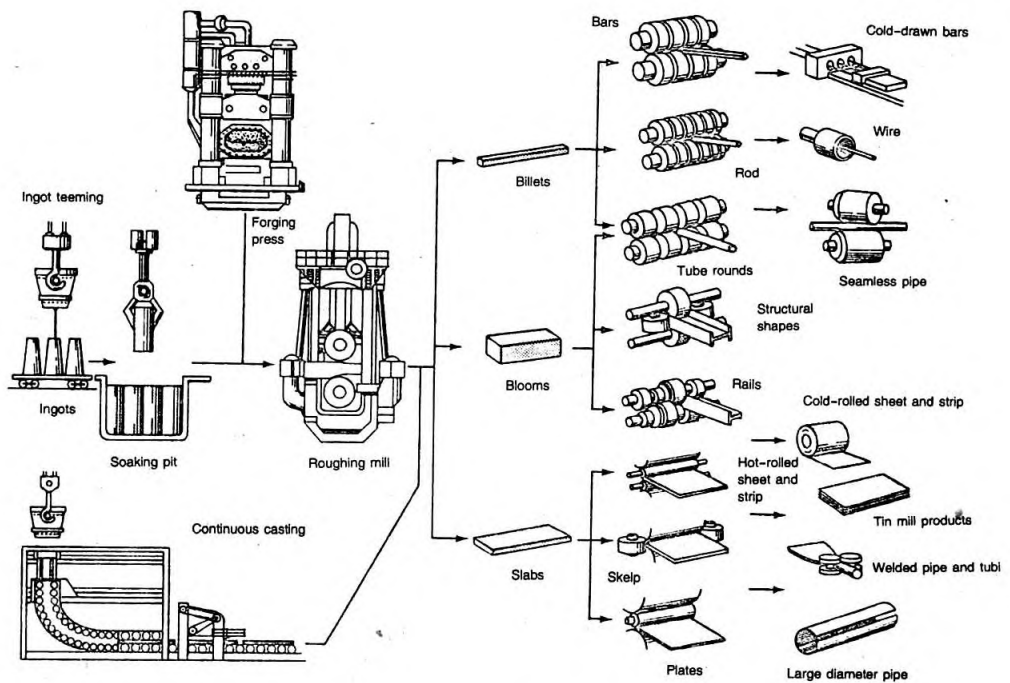
จะดำเนินการได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การผลิตโลหะจากแร่ จะเป็นการผลิตโดยใช้ความร้อน สารเคมี และไฟฟ้า เรียกว่า โลหะปฐมภูมิ (Primary Metals) โลหะที่เราแยกมาจากแร่ในบางครั้งอาจจะยังบริสุทธิ์ไม่พอเพียงแก่ความต้องการใช้งานในสภาพที่แตกต่างกันออกไป จึงจำเป็นต้องนำมาผ่านขบวนการทำให้บริสุทธิ์ คือการทำ Refining โดยใช้กรรมวิธีสุญญากาศ โดยใช้ก๊าซออกซิเจนทำการ Oxidation การทำ Electrolytic Refining และการทำ Electroslog Refining เป็นต้น แล้วไปทำการหล่อ-หลอมให้ออกมาเป็นแท่ง (Ingot) หรือเป็นแผ่น (Slab) เพื่อพร้อมในการนำไปแปรรูปเป็นรูปทรงอื่น ๆ ต่อไป

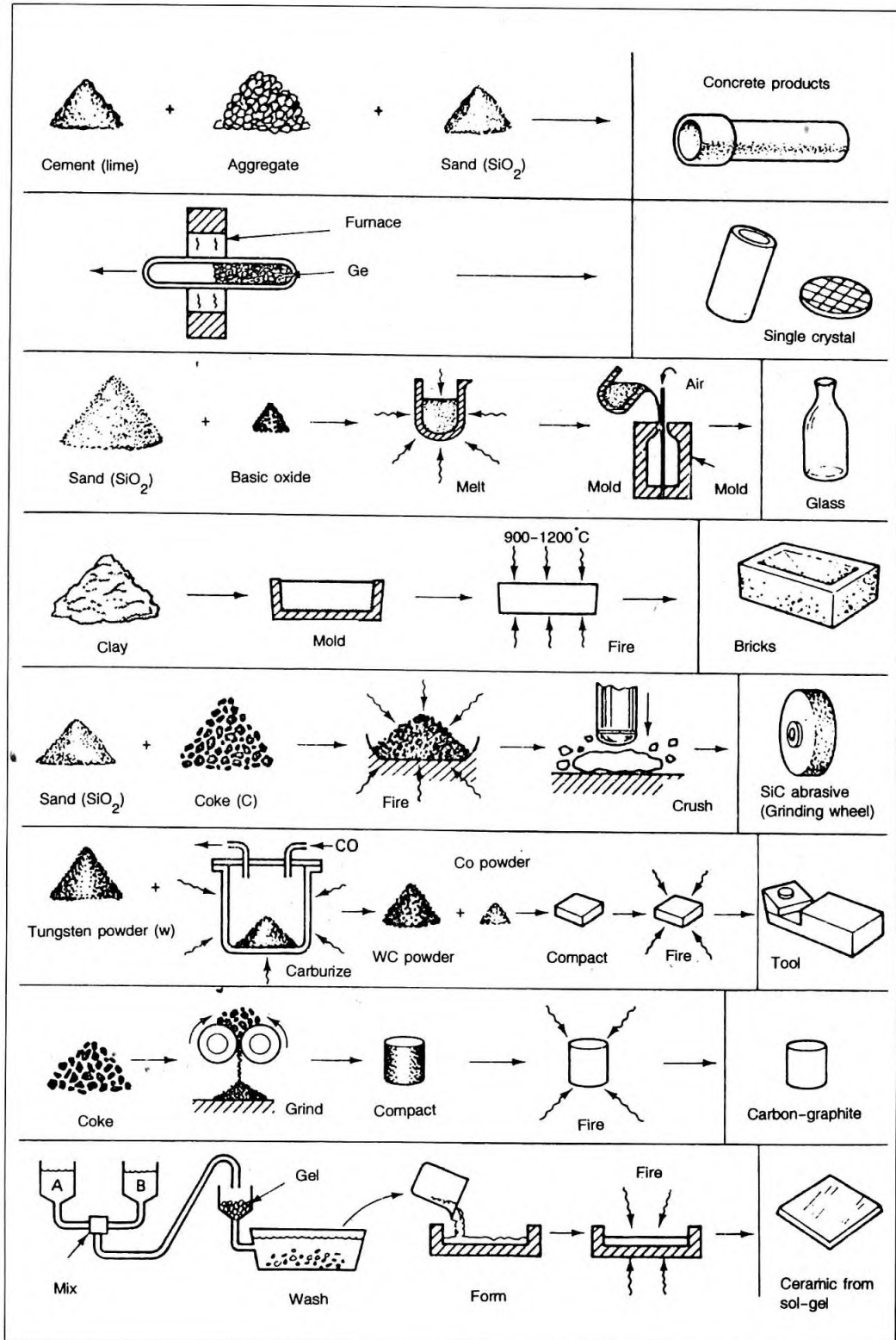
2. การแปรรูป โลหะที่ผ่านการผลิตออกมาเป็นแท่ง จะเป็นวัตถุดิบเพื่อนำไปผ่านขบวนการแปรรูปต่อไป ดังนี้

1. งานหล่อโลหะผลิตภัณฑ์
2. งานขึ้นรูปโลหะ

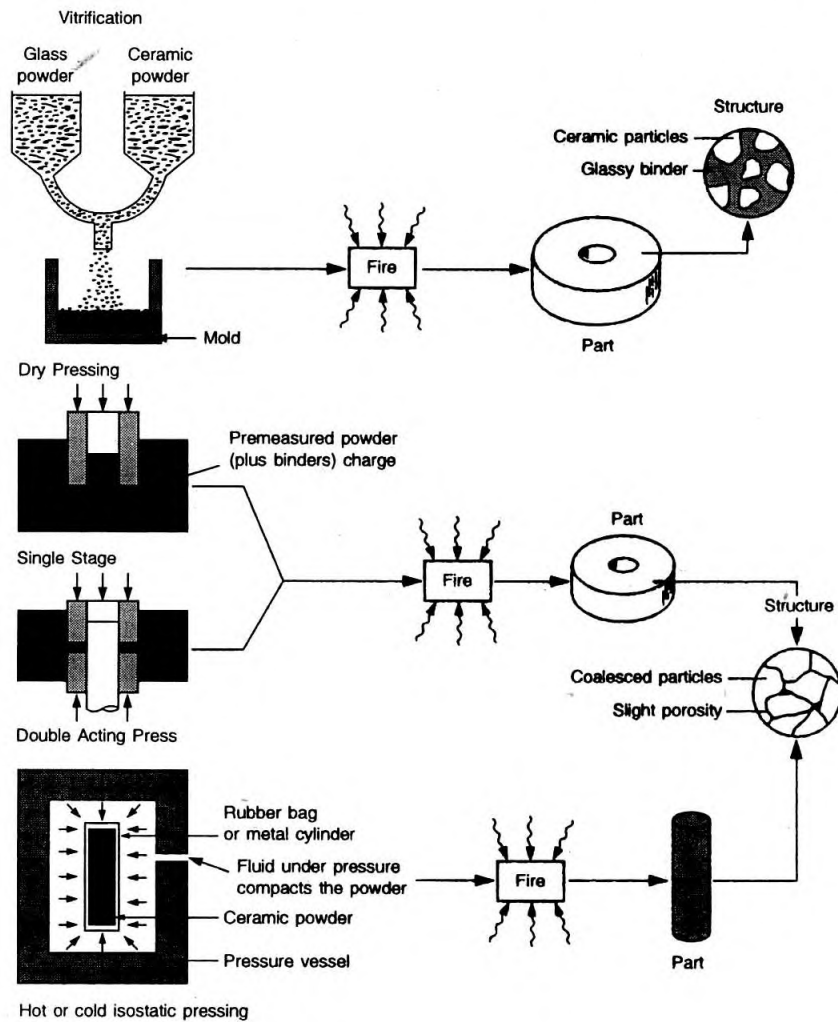
3. งานทางด้านเครื่องมือกล
4. งานอบชุบโลหะ
5. งานตบแต่งผิวสำเร็จ



รูปที่ 1.18 การ Refined Steel



รูปที่ 1.19 ขบวนการทางเซรามิก



รูปที่ 1.20 แสดงรูปร่างเซรามิกที่ได้

1.4 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) เป็นคุณสมบัติของวัสดุเมื่อไม่เกิดหรือไม่ มีแรงจากภายนอก (External Force) เข้ามากระทำ จำแนกออกเป็น

มวลและน้ำหนัก

มวล เป็นเนื้อของวัสดุที่มีค่าคงที่เสมอ ณ จุดใด ๆ ก็ตามมีหน่วยเป็น g, kg

น้ำหนัก เป็นแรงที่โลกดึงดูดเมื่อวัตถุนั้น ๆ อยู่บนโลก เป็นปริมาณของวิกเตอร์ มีหน่วยเป็นนิวตัน เพา์ตันและไบน์

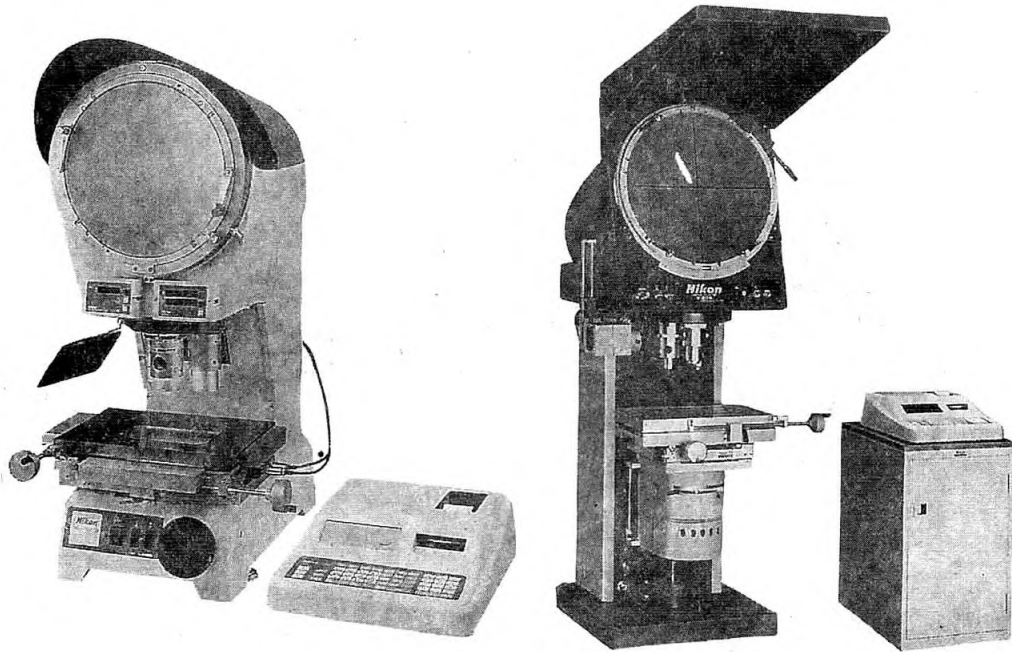
กฎของนิวตัน คือ

$$W = MG$$

W = น้ำหนัก

M = มวล

G = แรงโน้มถ่วงของโลก (มีค่าเท่ากับ 9.81 เมตร/วินาที² ในระบบเอสไอ หรือเท่ากับ 981 เซนติเมตร/วินาที² ในระบบเมตริก และเท่ากับ 32.2 ฟุต/วินาที² ในระบบของอังกฤษ)



รูปที่ 1.21 ตัวอย่างเครื่องมือวัดขนาดชิ้นงาน (Measuring Instrument)

- เป็นเครื่องวัดขนาดชิ้นส่วนทางอุตสาหกรรม ที่มีความละเอียดสูงระดับไมครอน
- เหมาะสำหรับการวัดชิ้นส่วนอุตสาหกรรมทั่วไปที่มีขนาดเล็ก เช่น ส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ แม่พิมพ์ อะไหล่เครื่องจักรกล ฟันเฟือง ชิ้นส่วนพลาสติก และโลหะต่าง ๆ ฯลฯ
- สามารถบรรจุเลนส์วัตถุได้ 3 อันพร้อมกันเพื่อเพิ่มความสะดวกเมื่อต้องการเปลี่ยนกำลังขยายในการวัดชิ้นงาน
- สามารถใช้ขนาดของชิ้นงานได้บนจอดิจิทัลทั้งในระบบสากล (มิลลิเมตร) และระบบอังกฤษ (Inch) โดยมีความละเอียดสูงถึง 0.5 μm (0.02 Inch) และสามารถต่อกับมอเตอร์ได้ (RS-232C)
- สามารถต่อเชื่อมกับอุปกรณ์เพิ่มเติม (Data Processor) เพื่อช่วยในการวัด คำนวณค่าต่าง ๆ สามารถตั้งโปรแกรมการวัดได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน รวมทั้งเก็บข้อมูลลงในแผ่นดิสเกตต์
- สามารถติดตั้ง (Sensor) ได้ เพื่อกำหนดจุดเป็นแบบอัตโนมัติให้มีความแม่นยำและสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น

ตารางที่ 1.5

Model	V-10A	V-12B	V-18E	V-20A	V-24B	R-14A
แบบ	Vertical					Horizontal Type
ขนาดจอ (mm.)	250	300	400	500	600	350
ระบบส่องสว่าง (Illuminator)	Halogen 12V-50W	Halogen 24V-150W				
เลนส์วัตถุ (Objective Lens)	5X, 10X 20X, 25X 50X, 100X	5X, 10X 20X, 25X 50X, 100X 200X, 500X	5X, 10X 20X, 25X 50X, 100X	5X, 10X 20X, 25X 100X	5X, 10X 20X, 50X 100X, 200X	10X, 20X 50X, 100X
แท่นรองชิ้นงาน	A4B (50 x 50 mm.) O3L (100 x 50 mm.)	A4B O3L 4 x 4 6 x 4 8 x 6	9VA (225 x 75 mm.) A4B O3L 4 x 4 6 x 4 (BS Adapter)	9VA 6 x 4 (BS Adapter)	9V (225 x 100 mm.)	8HL (200 x 50 mm.)

ความหนาแน่น เป็นมวลของวัสดุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัสดุนั้น ๆ ซึ่งเขียนเป็นสูตร คือ

$$D = \frac{M}{V}$$

โดย D = ความหนาแน่น

M = มวล

V = ปริมาตร

จะมีหน่วยเป็น g/cm^3 ในระบบของเมตริก ส่วนในระบบอังกฤษจะมีหน่วยเป็น lb/ft^3 และในระบบเอสไอมีหน่วยเป็น kg/m^3

Specific Gravity (S.G.) หมายถึง อัตราส่วนของน้ำหนักของวัสดุกับน้ำหนักของสารมาตรฐานที่มีปริมาตรเท่ากัน ดังสูตร

$$\text{S.G.} = \frac{\text{น.น.ของวัสดุ}}{\text{น.น.ของสารมาตรฐาน}}$$

ในสารมาตรฐานนิยมใช้กันมากคือ น้ำที่อุณหภูมิ 4°C ซึ่งมีความหนาแน่น 62.5 lb/ft^3 ดังสูตร

ตารางที่ 1.6 น้ำหนักเหล็กกลมโดยประมาณ

มม.	กก./1 เมตร	มม.	กก./1 เมตร	มม.	กก./1 เมตร
10	0.616	150	138.7	450	1247.9
12	0.887	155	148.0	475	1390.4
15	1.387	160	157.8	500	1540.6
16	1.578	165	167.8	525	1698.5
18	.997	170	178.1	550	1864.1
20	2.465	175	188.7	575	2037.4
22	2.983	180	199.7	600	2218.4
25	3.851	185	210.9	625	2407.1
28	4.831	190	222.5	650	2603.6
30	5.546	195	234.3	675	2807.7
32	6.310	200	246.5	700	3019.5
35	7.549	210	271.8	725	3239.0
38	8.898	220	298.3	750	3466.3
40	9.86	225	312.0	775	3701.2
42	10.87	230	326.0	800	3943.8
45	12.48	240	354.9	825	4194.2
50	15.41	250	385.	850	4452.2
55	18.64	260	416.6	875	4718.0
60	22.18	270	449.2	900	4991.4
65	26.04	275	466.0	950	5561.4
70	30.20	280	483.1	1000	6162.3
75	34.66	290	518.2	1050	6793.9
80	39.44	300	554.6	1100	7456.3
85	44.52	310	592.2	1150	8149.6
90	49.91	320	631.0	1200	8873.6
95	55.61	325	650.9		
100	61.62	330	671.1		
105	67.94	340	712.4		
110	74.56	350	754.9		
115	81.50	360	798.6		
120	88.74	370	843.6		
125	96.29	375	866.6		
130	104.1	380	889.8		
135	112.3	390	937.3		
140	120.8	400	968.0		
145	129.6	425	1113.1		

น้ำหนักเหล็กสี่เหลี่ยมและแบนโดยประมาณ

ใช้สูตร กว้าง x ยาว x หนา x 0.007854 x $\frac{1}{1,000}$

ตัวอย่าง 200 x 400 x 25 x 0.007854 x $\frac{1}{1,000}$
 1 เมตรหนัก = 15.7 กก.

หมายเหตุ ความกว้าง ความยาว ความหนา หน่วยต้องคำนวณเป็นมิลลิเมตร

$$S.G. = \frac{\text{น.น.ของวัสดุ}}{\text{น.น.ของน้ำ}}$$

และ

$$S.G. = \frac{\text{ความหนาแน่นของวัสดุ}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำ}}$$

หมายเหตุ ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1 g/cm³ ในระบบเมตริก

อุณหภูมิ เป็นปริมาณซึ่งเป็นคุณสมบัติทาง Thermodynamic ที่อยู่ในภาวะสมดุล มีการวัดหน่วยเป็น °C (เซลเซียส) และ °F (ฟาเรนไฮต์) โดยใช้สูตรในการแปรผัน ดังนี้

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C} + 32)$$

การวัดอุณหภูมิโดยการสังเกตสีของโลหะ ในการวัดอุณหภูมิโดยการสังเกตดูจากสี (Color) ของโลหะนั้นถือว่าเป็นวิธีการในการประมาณค่าของอุณหภูมิอย่างพอเหมาะ ๆ จากการสังเกตสีของโลหะนั้น ๆ ดังตาราง

ตารางที่ 1.7 แสดงสีของโลหะ

สี (Color)	°F	°C
Faint Red	950	510
Dark Red	1,150	615
Dark Cherry	1,175	630
Cherry Red	1,300	697
Bright Cherry	1,475	793
Dark Orange	1,650	890
Orange	1,750	945
Yellow	1,800	972

ตารางที่ 1.8

Element	Symbol	Melting point, °C	Density,* g/cm ³	Atomic radius, nm	Crystal structure† (20 °C)	Lattice constants 20 °C, mm	
						a	c
Germanium	Ge	937	5.32	0.139	Diamond cubic	0.56576	
Gold	Au	1063	19.3	0.144	FCC	0.40788	
Helium	He	-270	...	...	HCP		
Hydrogen	H	-259	...	0.046	Hexagonal		
Indium	In	157	7.31	0.162	FC tetragonal	0.075979	0.49467
Iodine		114	4.94	0.136	Orthorhombic		
Iridium	Ir	2454	22.4	0.135	FCC	0.38389	
Iron	Fe	1536	7.87	0.124	BCC‡	0.28664	
Lead	Pb	327	11.34	0.175	FCC	0.49502	
Lithium	Li	180	0.53	0.157	BCC	0.35092	
Magnesium	Mg	650	1.74	0.160	HCP	0.32094	0.52105
Manganese	Mn	1245	7.43	0.118	Cubic‡	0.89139	
Mercury	Hg	-38.4	14.19	0.155	Rhombohedral		
Molybdenum	Mo	2610	10.2	0.140	BCC	0.31468	
Neon	Ne	-248.7	1.45	0.160	FCC		
Nickel	Ni	1453	8.9	0.125	FCC	0.35236	
Niobium	Nb	2415	8.6	0.147	BCC	0.33007	
Nitrogen	N	-240	1.03	0.071	Hexagonal‡		
Osmium	Os	2700	22.57	0.135	HCP	0.27353	0.43191
Oxygen	O	-218	1.43	0.060	Cubic‡		
Palladium	Pd	1552	12.0	0.137	FCC	0.38907	
Phosphorus (White)	P	44.2	1.83	0.110	Cubic‡		
Platinum	Pt	1769	21.4	0.139	FCC	0.39239	
Potassium	K	63.9	0.86	0.238	BCC	0.5344	
Rhenium	Re	3180	21.0	0.138	HCP	0.27609	0.44583
Rhodium	Rh	1966	12.4	0.134	FCC	0.38044	
Ruthenium	Ru	2500	12.2	0.125	HCP	0.27038	0.42816
Scandium	Sc	1539	2.99	0.160	FCC	0.4541	
Silicon	Si	1410	2.34	0.117	Diamond cubic	0.54282	
Silver	Ag	961	10.5	0.144	FCC	0.40856	
Sodium	Na	97.8	0.97	0.192	BCC	0.42906	
Strontium	Sr	76.8	2.60	0.215	FCC‡	0.6087	
Sulfur (yellow)	S	119	2.07	0.104	Orthorhombic		
Tantalum	Ta	2996	16.6	0.143	BCC	0.33026	
Tin	Sn	232	7.30	0.158	Tetragonal‡	0.58311	0.31817
Titanium	Ti	1668	4.51	0.147	HCP‡	0.29504	0.46833
Tungsten	W	3410	19.3	0.141	BCC	0.31648	
Uranium	U	1132	19.0	0.138	Orthorhombic‡†	0.2858	0.4955
Vanadium	V	1900	6.1	0.136	BCC	0.3039	
Zinc	Zn	419.5	7.13	0.137	HCP	0.26649	0.49470
Zirconium	Zr	1852	6.49	0.160	HCP‡	0.32312	0.51477

* Density of solid at 20 °C.

† b = 0.5877 nm.

‡ Other crystal structures exist at other temperatures.