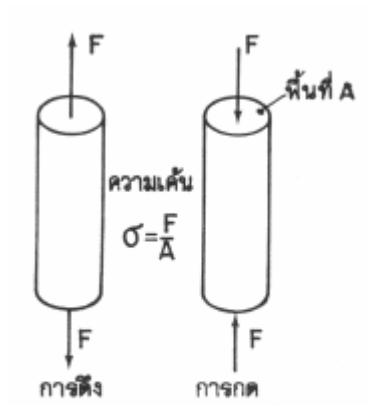


## หน่วยที่ 4 วัสดุและความแข็งแรงของวัสดุ

### คำนิยามพื้นฐานเกี่ยวกับสมบัติของวัสดุ

- 1. การขึ้นรูปเย็น (Cold working)** เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปร่างโลหะหรือขึ้นรูปโลหะที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ (recrystallization temperature) อุณหภูมิที่ทำให้ผลึกเปลี่ยนโครงสร้างภายใน
  - 2. การขึ้นรูปร้อน (hot working)** เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปร่างของโลหะที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่การใช้ อุณหภูมิที่สูงเพื่อลดพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปของโลหะ
  - 3. ความยืดหยุ่น (elasticity)** เป็นความสามารถของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำจะเกิดการยืดตัวแล้วกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เมื่อนำ แรงที่มากกระทำออก หรือสามารถเรียกได้ว่า สภาพการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น
  - 4. ความอ่อน (malleability)** เป็นสมบัติของโลหะที่เปลี่ยนรูปได้มากขณะรีดหรือตีอัดถ้าโลหะมีความอ่อนมากจะทำให้เป็นแผ่น ได้บางมาก
  - 5. ความอ่อนเหนียว (ductility) หรือสภาพยืดดึงได้** เป็นสมบัติของโลหะเมื่อได้รับแรงกระทำจนเปลี่ยนรูปถาวรกล่าวคือ ช่วงใน การเปลี่ยนรูปร่างถาวรนั้นวัสดุสามารถยืดตัวหรือเปลี่ยนรูปได้มากน้อยระดับใดขึ้นอยู่กับความอ่อนเหนียวของวัสดุนั้นๆ ความ อ่อนเหนียวตรงกันข้ามกับความเปราะ ถ้านำวัสดุนั้นมาทดสอบการดึงขึ้นทดสอบยาว 50 mm เมื่อดึงแล้วยืดได้มากกว่า 5% จะจัด ให้เป็นวัสดุเหนียว แต่ถ้ายืดแล้วได้น้อยกว่า 5% จะเป็นวัสดุเปราะ
  - 6. สภาพตัดปาดผิวได้ (machinability)** คือระดับความสามารถของวัสดุในการถูกตัดปาดเอาผิวของวัสดุออกไปได้ด้วยคมของ เครื่องมือตัดเฉือน
  - 7. สภาพชุบแข็งได้ (hardenability)** คือระดับความสามารถที่วัสดุจะรับการชุบแข็งที่ผิวได้มากน้อยระดับใด โดยสังเกตจาก ความลึกของผิวชุบแข็งของวัสดุ ปกติการแข็งที่ผิวจะสูงกว่าเนื้อใน เนื่องจากอัตราเย็นตัวที่ผิวจะสูงกว่าเนื้อใน
  - 8. การชุบผิวแข็ง (surface hardening)** เป็นกรรมวิธีที่ทำให้ผิววัสดุมีความแข็งมากขึ้น โดยที่เนื้อในยังคงอ่อนเหมือนเดิม
  - 9. การชุบ (quenching)** เป็นการลดอุณหภูมิของโลหะที่มีอุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็ว โดยนำโลหะนั้นใส่ลงในตัวกลางที่ใช้ชุบ เช่น น้ำ น้ำมัน หรือ อากาศ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโลหะ
  - 10. การบ่มหรือการบ่มแข็ง (aging หรือ age hardening)** เป็นการเปลี่ยนโครงสร้างของโลหะจากสถานะที่ไม่เสถียร (unstable) อันเนื่องมาจากการชุบหรือการขึ้นรูปเย็นให้เป็นโครงสร้างที่เสถียรการเปลี่ยนโครงสร้างเกิดขึ้นเนื่องจากการแตกตัวของ สารละลายของแข็งอิ่มตัว ทำให้โลหะแข็งขึ้น แข็งแรงขึ้น แต่ความเหนียวลดลง การบ่มจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิปกติ ซึ่ง อาจจะเร่งให้เกิดเร็วขึ้นได้ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นกว่าอุณหภูมิของห้องเล็กน้อย
  - 11. การสูญเสียคาร์บอน (decarbonization)** เป็นการที่เหล็กกล้าสูญเสียคาร์บอนที่ผิวไปในระหว่างการรีดร้อน (hot rolled) การ ตีอัด (forging) และกรรมวิธีทางความร้อน (heat treatment) เนื่องจากสารที่อยู่รอบๆ ทำปฏิกิริยากับคาร์บอน
- แรงกระทำทางกลที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุ** เมื่อมีแรงมากกระทำกับวัสดุ เนื้อวัสดุจะออกแรงต้านเพื่อรองรับแรงที่มากกระทำ หาก แรงที่มากกระทำมากกว่าวัสดุจะเสียรูปทรงหรือเปลี่ยนรูปถาวร(plastic deformation) แตกร้าวและเสียหาย (crack) ได้ แรงทางกล ที่มากกระทำได้แก่ แรงดึง แรงกด แรงเฉือน แรงกระแทก แรงกระทำซ้ำๆกัน หรือกระทำเป็นคาบเวลา

1. แรงดึงและแรงกด ที่กระทำกับวัสดุ จะเกิด



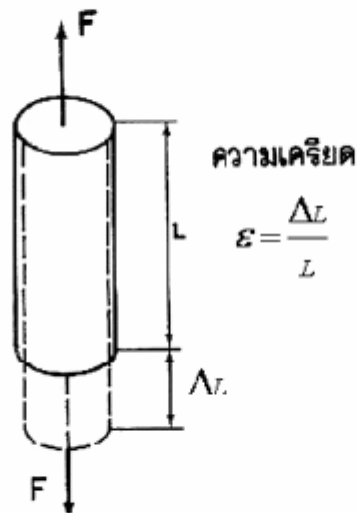
ภาพที่ 4.1 ชนิดของแรงตรง

$$\text{ความเค้น } (\sigma) = \frac{\text{แรงกระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (F)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (A)}}$$

1.1 ความเค้น (stress) คือ แรงต้านภายในเนื้อวัสดุ ถ้ามีแรงภายนอกมากระทำ ความเค้นดึง หรือความเค้นกด ตามลักษณะของแรงภายนอกที่กระทำ หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร

1.3 ความเครียด (strain) คือการเปลี่ยนขนาด ระยะ ของรูปทรงตามแรงภายนอกที่มากระทำ เช่นเดิมวัตถุยาว 10 มิลลิเมตร เราออกแรงดึง ยาว 12 มิลลิเมตร ส่วนที่เพิ่มขึ้น 2 มิลลิเมตร คือความเครียด

$$\text{ความเครียด } (\epsilon) = \frac{\text{ความยาวส่วนที่เปลี่ยนแปลง (ส่วนที่ยืดหรือส่วนที่หดสั้น)}}{\text{ความยาวเดิม}} = \frac{\Delta L}{L}$$

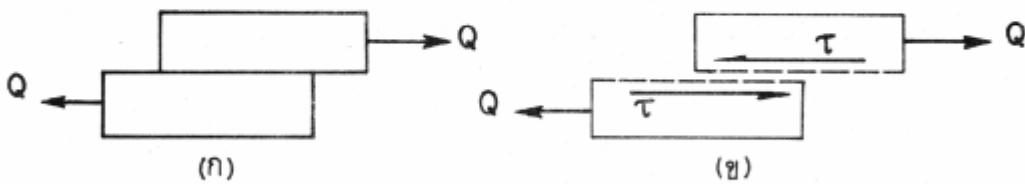


ภาพที่ 4.2 ชนิดของความเครียด

2. แรงเฉือน คือ แรงภายนอกที่กระทำกับวัสดุให้หลุดขาดออกจากกัน เช่น วัสดุ 2 ชิ้นต่อประกบด้วยกาว เราพยายามดึงออกจากกัน (คือ แรงเฉือน) กาวก็จะออกแรงต้านไม่ให้หลุด(แรงต้านเรียกว่า ความเค้นเฉือน) เพื่อรักษาภาวะสมดุล ถ้าวัสดุทนแรงดึงไม่ไหวมีการบิดงอ หรือเปลี่ยนระยะไประยะที่เพิ่มขึ้นคือ ความเครียดเฉือน

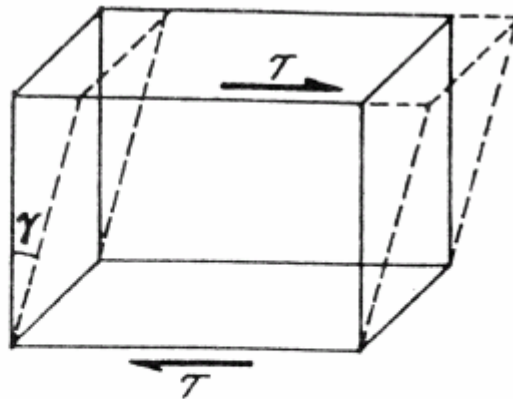
$$\text{ความเค้นเฉือน } (\tau) = \frac{\text{แรงเฉือน } (Q)}{\text{พื้นที่รับแรงเฉือน } (A_s)}$$

พื้นที่รับแรงเฉือน  $A_s$  คือพื้นที่ในส่วนที่ชิ้นส่วนทั้งสองชิ้นสัมผัสกัน  
ความเค้นเฉือนมีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ( $N/mm^2$ )



ภาพที่ 4.3 (ก) แรงเฉือน (ข) ความเค้นเฉือน

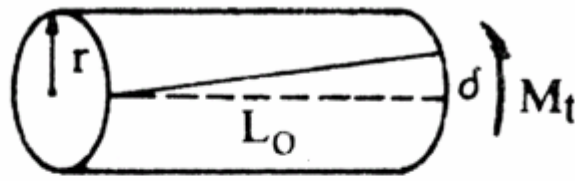
ที่มา: ชานู วัฒนางน ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ 2523 หน้า 11



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนรูปร่าง (ความเครียดเฉือนที่เกิดจากความเค้นเฉือน)

ที่มา: ศิริวัฒน์ ไชยชนะ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ 2543 หน้า 25

ความเค้นเฉือนที่เกิดจากแรงบิด เช่น เพลา เมื่อโดนบิดจะเกิดแรงต้านคือความเค้นเฉือนที่เกิดจากแรงบิด ถ้าระยะมุมหัวท้ายเปลี่ยนไปเสีรูปร่างคือ บิดเบี้ยว เรียกว่าระยะที่บิด คือความเครียดเฉือนที่เกิดจากแรงบิด หน่วยวัดตามวัสดุ นั้น



ภาพที่ 4.5 แรงเฉือนบิดที่เกิดจากแรงบิด

ที่มา: ชาญวุฒิ ดั่งจิตวิทยา วัสดุในงานวิศวกรรม 2541 หน้า 28

โดยที่  $\delta = \Delta L$  คือผลต่างของตำแหน่งที่พิจารณา และ  $M_t$  คือ โมเมนต์บิดที่กระทำกับวัสดุ

3. แรงกระแทก (impact force) คือแรงที่กระทำกับวัสดุในเวลาไม่นานแต่ส่งผลให้วัสดุได้รับความเสียหาย ความสามารถในการรับแรงกระแทกของวัสดุคือค่าความเหนียว (toughness)

4. แรงกระทำเป็นคาบเวลา คือแรงที่กระทำกับวัสดุต่อเนื่อง จะทำให้วัสดุเกิดความเค้นล้าตัว คือความแข็งแรงของวัสดุลดลง ถ้ามีแรงกระทำอย่างต่อเนื่อง นานเข้าก็อาจจะหัก ตัวอย่าง เช่น เราทำการบิดหักหลอดไปมา

- แรงดึง (tensile force) ทำให้เกิดความเค้นดึง (tensile stress) ความเครียดดึง (tensile strain)
- แรงเฉือน (shear force) ทำให้เกิดความเค้นเฉือน (shear stress) ความเครียดเฉือน (shear strain)
- แรงบิด (torsion force) ทำให้เกิดความเค้นเฉือนบิด (torsion shear stress)
- แรงกระแทก (impact force) ทำให้เกิดความเค้นกระแทก (impact stress)
- แรงกระทำเป็นคาบเวลา (fatigue force) ทำให้เกิดความเค้นล้าตัว (fatigue stress)

### ดัชนีที่ใช้เป็นเครื่องชี้วัดความแข็งแรงของวัสดุ

ความหมายและที่มาของสมบัติทางกลที่ใช้เป็นเครื่องมือชี้วัดความแข็งแรงของวัสดุประเภทต่างๆ

1. โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ใช้ในการวัดความต้านทานต่อความเครียดของวัสดุในช่วงที่มีพฤติกรรมยืดหยุ่นและยังใช้ประเมินความสามารถในการกลับคืนสู่ขนาดและรูปทรงเดิมของวัสดุเมื่อนำแรงกระทำออก

2. อัตราส่วนของปัวซองต์ ใช้ในการประเมินความสามารถในการเปลี่ยนรูปได้ในแนวแกนซึ่งวัสดุอยู่ในช่วงยืดหยุ่นพลาสติก

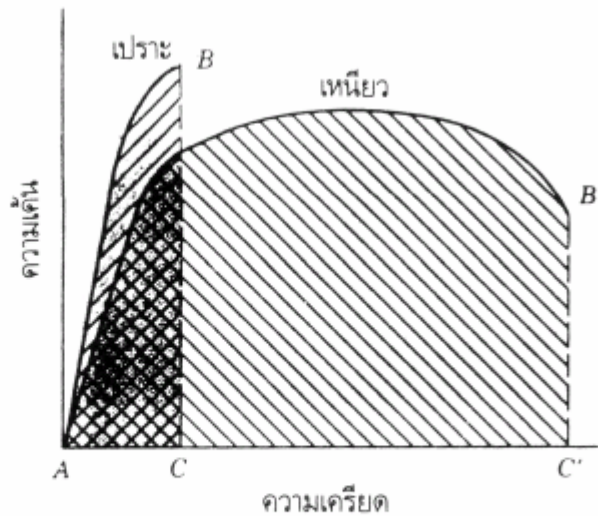
### 3. ความเค้นครากและความต้านแรงดึงสูงสุด

ความเค้นคราก เป็นความเค้นที่ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปถาวร ใช้เป็นดัชนีชี้วัดเพื่อประเมินสภาพจุดเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุ

ความต้านทานแรงดึงสูงสุด ใช้เป็นเครื่องชี้วัดค่าความเค้นที่วัสดุสามารถต้านทานรับไว้ได้ ถ้าค่าความเค้นมากกว่านี้ วัสดุจะเกิดการฉีกขาดเสียหาย

#### 4. ความอ่อนเหนียวและความเหนียวของวัสดุ

ความอ่อนเหนียว เป็นดัชนีที่ใช้ชี้วัดความสามารถในการยืดตัวได้ของวัสดุหลังจากวัสดุเปลี่ยนรูปถาวรแล้ว



ภาพที่ 4.7 กราฟของวัสดุเหนียวและเปราะบนกราฟความเค้นกับความเครียด

ที่มา: ศิริพร ดาวพิเศษ วัสดุวิศวกรรม 2544

ความเหนียวของวัสดุ เป็นเครื่องมือชี้วัดความสามารถของวัสดุที่จะต้านทานต่อแรงกระทำตั้งแต่เริ่มรับแรงจนแตกหักเสียหาย วัสดุที่มีความเหนียวมากจะรับแรงกระแทกได้ดี

5. ความแข็งของวัสดุ เป็นเครื่องมือชี้วัดความสามารถต้านทานต่อแรงกดของวัสดุ

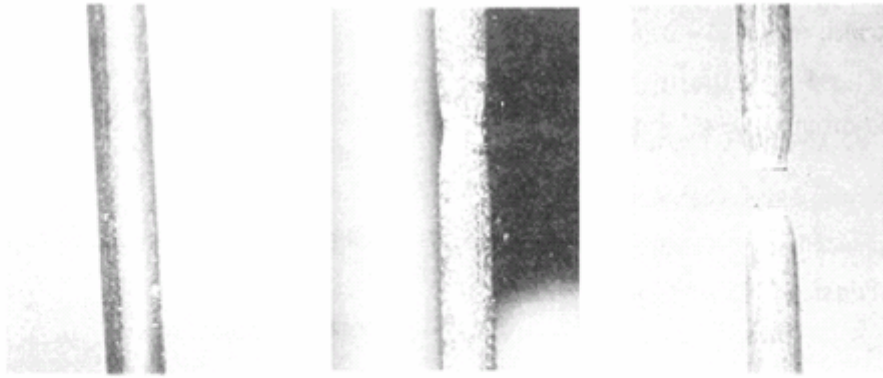
6. การคืบ เป็นดัชนีที่ใช้เป็นเครื่องมือชี้วัดความสามารถต้านทานการเปลี่ยนรูปของวัสดุเมื่อวัสดุนั้นรับความเค้นครากที่อุณหภูมิสูง

7. ความต้านแรงล้า เป็นดัชนีที่ใช้เป็นเครื่องมือชี้วัดความสามารถของวัสดุที่ต้านทานต่อแรงที่กระทำแบบกลับไปกลับมา

#### การแตกหักของวัสดุภายใต้แรงกระทำทางกล

1. ชิ้นงานทรงตันรับแรงดึงและแรงกด มีลักษณะความเสียหายแบ่งตามประเภทของวัสดุได้ดังนี้

- วัสดุเหนียว เมื่อรับแรงดึงและแรงกด ตามแนวแกนของวัสดุ จะขาดออกจากกันแนว 45 องศากับแนวแกน
- วัสดุเปราะ เมื่อมีแรงดึงและแรงกดกระทำ ตามแนวแกนของวัสดุ จะขาดออกจากกันแนว 90 องศากับแนวแกน



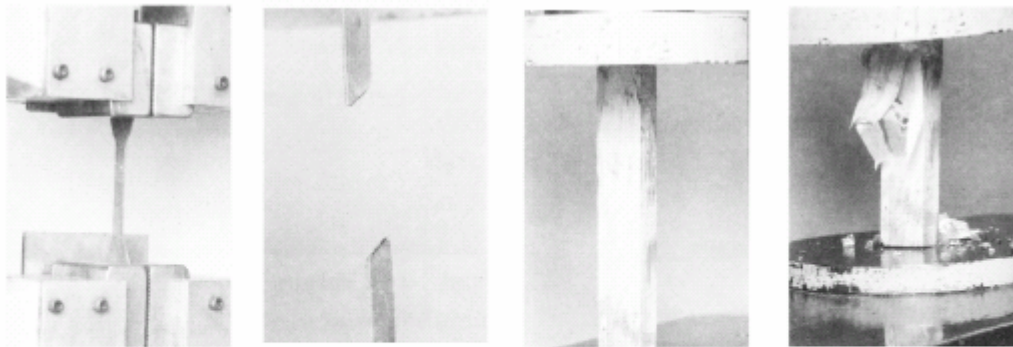
ก.

ข.

ค.

ภาพที่ 4.8 ท่อนเหล็กรับแรงดึงจนขาด

ที่มา: สิริศักดิ์ ปโยธรศิริ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ 2544 หน้า 162



ก.

ข.

ค.

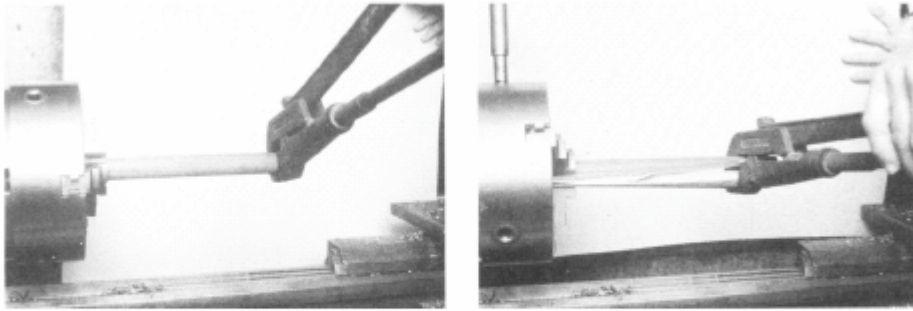
ง.

ภาพที่ 4.9 ก.- ข. แผ่นเหล็กแบน ค.- ง. ท่อนไม้รับแรงกด

ที่มา: สิริศักดิ์ ปโยธรศิริ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ 2544 หน้า 163

## 2. ชิ้นงานทรงตันรับแรงบิด มีลักษณะความเสียหายแบ่งตามประเภทของวัสดุได้ดังนี้

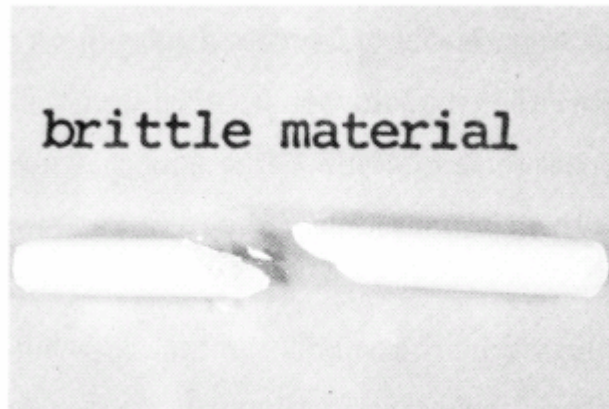
- วัสดุเหนียว เมื่อมีแรงบิดมากจะทำกับวัสดุ จะแตกหักตามแนวความเค้นเฉือนสูงสุดคือตามแนวแกนหรือแนวขวาง



ภาพที่ 4.10 ท่อนไม้รูปทรงกระบอกเมื่อรับแรงบิด

ที่มา: สิริศักดิ์ ปโยธรศิริ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ 2544 หน้า 185

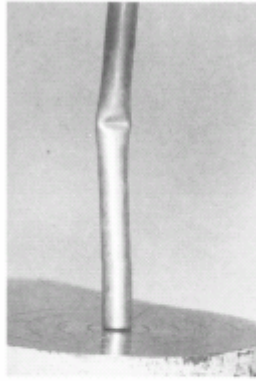
- วัสดุเปราะ จะขาดตามแนวทแยงมุม 45 องศา กับแนวแกนเป็นเกลียว



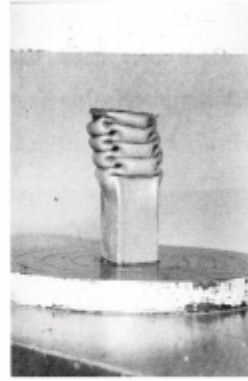
ภาพที่ 4.11 ขอลดคมเมื่อรับแรงบิด

3. ชิ้นงานทรงกระบอกกลวงเมื่อรับแรงบิดจะเกิดการข่นเข้าหากันเนื่องจากแรงกดตามแนว 45 องศา กับแนวแกน

4. ชิ้นงานทรงกระบอกกลวงภายใต้การรับแรงกด เมื่อรับแรงกดจะเกิดการโก่งงอที่ผนังโคนท่อซึ่งไม่ขาด ถ้ากดอัดแรงต่อไปอีกผนังของท่อจะข่นมากขึ้นไปตามลำดับ



ก.



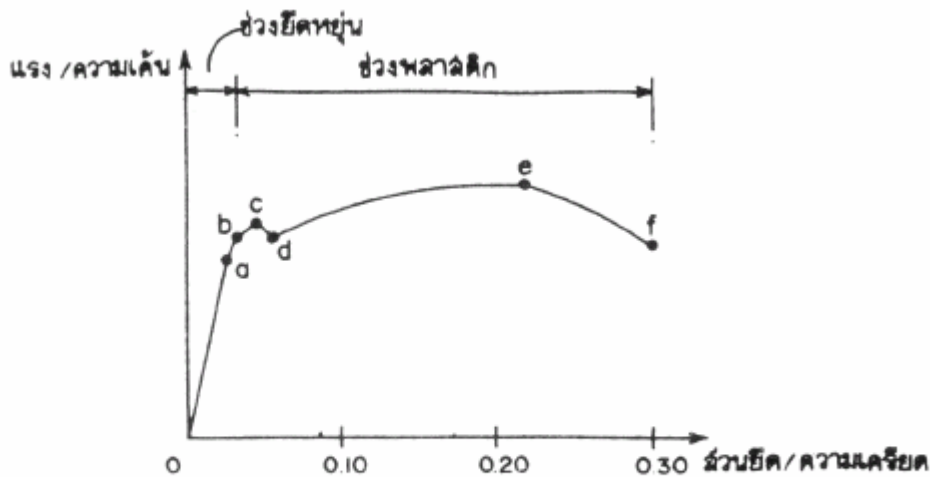
ข.

ภาพที่ 4.12 ก. ท่อเหล็กกลมผนังบางรับแรงกดอัด  
ข. ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมรับแรงกดอัด

**พฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงทางกล** แรงภายนอกที่มากจะทำให้วัสดุมีพฤติกรรม 2 รูปแบบคือ

1. **พฤติกรรมสภาพยืดหยุ่น** เมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำทำให้เกิดความเค้นกระทำกับวัสดุ โดยที่ค่าความเค้นนี้ไม่เกินค่าความเค้นจุดครากตัวของวัสดุ วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่าง แต่เมื่อนำแรงกระทำออกจะทำให้วัสดุยืดตัวหดกลับมาอยู่ในสภาพรูปร่างเดิมก่อนที่จะมีแรงมากกระทำ

2. **พฤติกรรมสภาพพลาสติก** เมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำ ทำให้เกิดความเค้นกระทำกับวัสดุ เมื่อให้แรงต่อไปจนค่าความเค้นเกินค่าความเค้นครากตัวของวัสดุ วัสดุจะเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร โดยเมื่อปล่อยแรงออกจะทำให้วัสดุไม่กลับมาเป็นรูปร่างเหมือนเดิม



ภาพที่ 4.13 กราฟการทดสอบการดึง

ที่มา: ศิริวัฒน์ ไชยชนะ กลศาสตร์ของวัสดุ 2543 หน้า 9

**กฎของฮุก ( Hook's law)** กล่าวคือ ความเค้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด โดยที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา

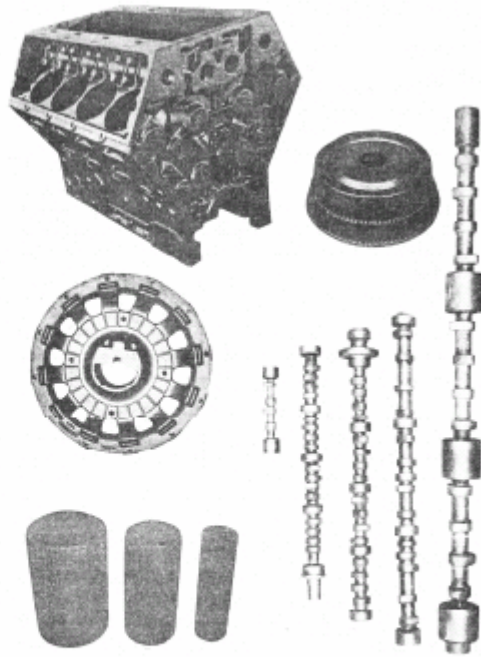
### โลหะในกลุ่มเหล็กในงานอุตสาหกรรม

โลหะในกลุ่มเหล็กจะถูกนำมาใช้มากที่สุดประมาณถึงร้อยละ 94 ของกลุ่มโลหะทั้งหมด ราคาค่อนข้างถูกถ้าเทียบกับโลหะอื่น เหล็กหล่อ เหล็กกล้า เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กเครื่องมือ



**เหล็กหล่อ ( cast iron)** เป็นเหล็กที่นิยมใช้มากที่สุด ราคาถูก ออกแบบซับซ้อนได้ ตามแม่พิมพ์ แบ่งเป็น 4 ชนิดคือ

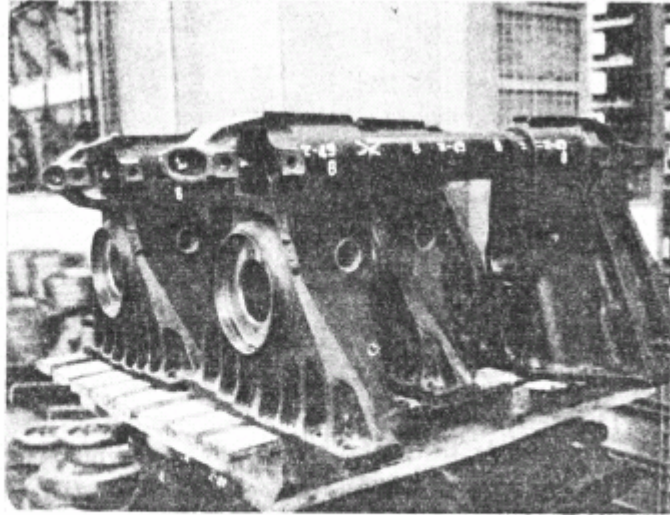
**1. เหล็กหล่อเทา (gray cast iron)** ใช้มากที่สุดในเหล็กหล่อทั้งหมด มีคาร์บอนผสม 2-4% จะรวมตัวเป็นสารประกอบเรียกว่า ซีเมนไตต์ ส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปคาร์บอนบริสุทธิ์เรียกแกรไฟต์ (graphite) เป็นแฉวยาวๆ แทรกในเนื้อเหล็กสีเทา ทำให้สภาพการตัดปาดผิวดีแม้บางครั้ง เหล็กจะมีความแข็งสูง ทนแรงดึงได้สูง ทนการสึกหรอได้ดี หน่วงการสั่นสะเทือนได้ดี ไม่มีการยืดหดตัวหรือเปลี่ยนรูป จะแตกหักก่อน มักนำไปทำฐานของเครื่องจักร โครงสร้างที่ต้องการความต้านแรงกดสูง หรือสั่นสะเทือนมาก เช่นเพลาคือเหวี่ยงของเครื่องยนต์ เพราะเหล็กหล่อเทาด้านทานการล้าได้ดี เลื่อยสูบ ระบายสูบ เพลาลูกเบี้ยว จานเบรก รางแทนไส เฟือง ห้องเฟือง เป็นต้น



ภาพที่ 4.16 ชิ้นส่วนต่างๆ ที่ทำด้วยเหล็กหล่อเทา

ที่มา: ชาญ วุฒิตั้งจิตวิทยา วัสดุในงานวิศวกรรม 2541 หน้า 106

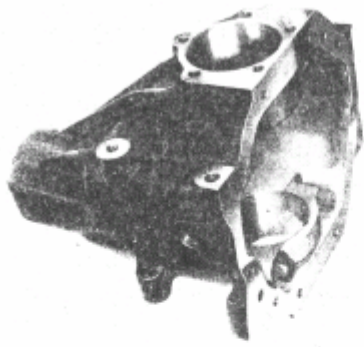
**2. เหล็กหล่อเหนียว** เป็นเหล็กหล่อเทาที่ผสมแมกนีเซียมลงไปในตัวเหล็กหล่อ ทำให้แกรไฟต์แตกผลึกเป็นเม็ดกลมเล็กๆ กระจายทั่วไปในเนื้อเหล็ก แทนที่จะเป็นแบบเกล็ดเหมือนในเหล็กหล่อเทา ลักษณะโครงสร้างที่มีเม็ดแกรไฟต์กลมนี้จะทำให้ความเหนียว ความต้านแรง กะทันหันดีกว่า เหล็กหล่อเทาแต่ ทนการสึกหรอ และนำความร้อนน้อยกว่า เหล็กหล่อเหนียวมีจุดครากเหมือนกับเหล็กกล้า คือสามารถยืดตัวหรือเปลี่ยนรูปได้ก่อนที่จะเกิดการเสียหายพังทลายของวัสดุ นำไปใช้กับชิ้นส่วนที่ได้รับแรงกระแทกและอุณหภูมิสูงกะทันหัน และในงานที่ได้รับแรงดัน เช่น ระบายควาล์ว ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ เครื่องมือกล อุปกรณ์ของเรือ ห้องเฟือง เพลาคือเหวี่ยง เฟืองบานพับประตูลอยน้ำ ตุ๊กตาเพลาท้ายรถบรรทุก



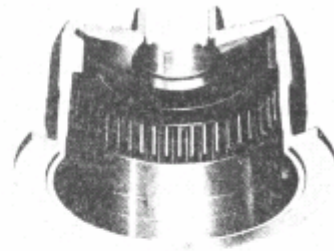
ภาพที่ 4.17 ตุ๊กตาเหล็กทำयरอบรรทุกที่หล่อด้วยเหล็กหล่อเหนียว

ที่มา: ชาญ วุฒิจิตตวิทยา วัสดุในทางวิศวกรรม 2541 หน้า 111

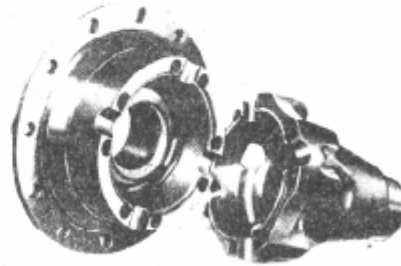
**4. เหล็กหล่อเหนียว** คือเหล็กหล่อขาวที่แข็งเปราะซึ่งถูกเปลี่ยน โครงสร้างให้เป็นเหล็กหล่อที่อ่อนและเหนียว โดยกรรมวิธีการอบในบรรยากาศพิเศษทำให้คาร์ไบด์ที่แข็งแต่เปราะสลายตัวเป็นผลึกคาร์บอนเม็ดกลมกับเฟอร์ไรต์หรือเพอไลต์ ทำให้เหล็กหล่อชนิดนี้มีสมบัติเหมือนเหล็กกล้าตรงที่มีความเหนียวดี คือแสดงจุดคราก เมื่อทำการทดสอบการดึง เหล็กหล่อเหนียว มักจะถูกนำไปใช้มากกว่าเหล็กหล่อคาร์บอนธรรมดา เพราะนอกจากความเหนียวที่เหมือนกันแล้วยังมีสมบัติที่เหนือกว่า ด้านแรงกระแทก การต้านความล้า ด้านการสึกหรอ ความสามารถรับการตัดปาดผิวได้ดี มอดูลัสยืดหยุ่นสูง รวมไปถึงด้วยกัน ราคาต่ำกว่าเหล็กหล่อเหนียวเล็กน้อย ถูกนำไปใช้ในงานหนัก เช่น ชิ้นส่วนของรถยนต์ รถไฟ และรถแทรกเตอร์ เป็นต้น



ก. กระปุกเกียร์แบบไฮปอยต์ทำจากเหล็กหล่อ  
อบเหนียวชนิดแมสซิฟคาร์ท



ข. เกียร์ภายในทำจากเหล็กหล่ออบเหนียว  
ชนิดเพอร์ลิติกที่อบชุบแข็งเฉพาะผิว



ค. กระปุกเฟืองท้ายของรถแทรกเตอร์  
ทำจากเหล็กหล่ออบเหนียวชนิดเพอร์ลิติก

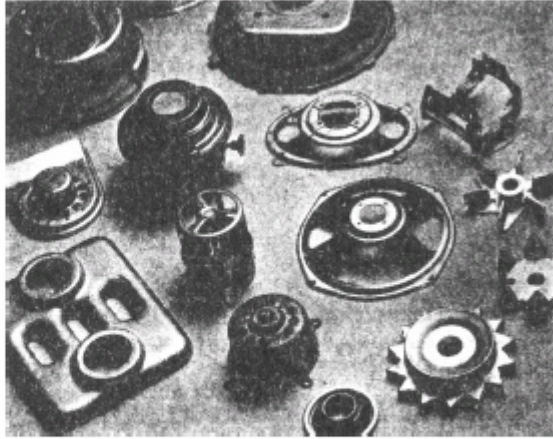
ภาพที่ 4.18 ชิ้นงานที่หล่อจากเหล็กหล่ออบเหนียว

ที่มา: ชาญ วุฒิตั้งจิตวิทยา วัสดุในงานวิศวกรรม 2541 หน้า 116

**เหล็กกล้า** เป็นวัสดุที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับทำชิ้นส่วนเครื่องกล เนื่องจากมีสมบัติที่ดี ความต้านทานสูง ความแข็งดึงสูง ทนทาน และแปรรูปค่อนข้างง่าย เหล็กกล้าเกิดจากการผสมกันของเหล็กกับคาร์บอนและธาตุอื่นๆ แบ่งเป็น 6 ชนิดคือ

### 1. เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา แบ่งเป็น 3 กลุ่ม

**1.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (low carbon steel)** มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.05-0.30% นำไปอัดขึ้นรูปชิ้นส่วนต่างๆ ได้ง่ายใช้งานทางด้านผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและงานโครงสร้าง เช่น ทำท่อโครงสร้าง ถัง รถไฟ ตัวถังรถยนต์ สลักเกลียว แป้นเกลียว แผ่นเหล็กชุบสังกะสี ถ้ามีกำมะถันผสมอยู่มากเรียกเหล็กกล้าสูงเสรี นิยมใช้ในเครื่องทำเกลียวอัตโนมัติ ในอุตสาหกรรมส่วนมากใช้เหล็กกล้าชนิดนี้ทั้งแบบรีดร้อน และรีดเย็น เหล็กกล้าที่ผ่านการรีดเย็นจะมีความต้านทานแรงดี ตัดปาดผิวได้ดี และมีขนาดแน่นอน



ภาพที่ 4.19 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

ที่มา: ชาญ วุฒิตั้งจิตวิทยา วัสดุในงานวิศวกรรม 2541 หน้า 120

**1.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (medium carbon steel)** มีคาร์บอนผสมอยู่ 0.30 ถึง 0.50% สามารถนำมาชุบหรือเทมเปอร์ได้ โดยกรรมวิธีทางความร้อนแบบทั่วไป ดังนั้นจึงมักใช้งานที่ต้องการความต้านแรงสูง และทนต่อการสึกหรอ ผลิตภัณฑ์จากเหล็กกล้าผสมคาร์บอนปานกลางคือ เพลา แกน เพลาข้อเหวี่ยง ก้านสูบ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการความต้านแรงสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

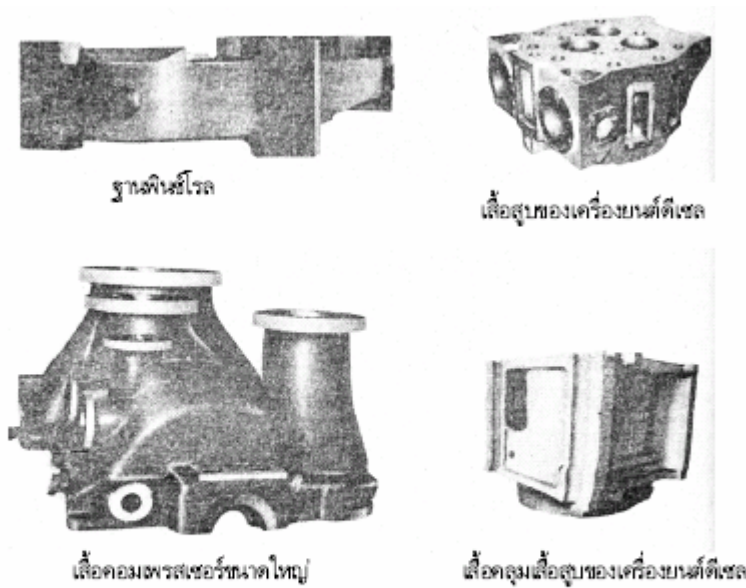
**1.3 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (high carbon steel)** มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.50% ขึ้นไป มีความแข็งและความต้านแรงสูงทนต่อการสึกหรอได้ดี ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (แอนนีน) เพื่อให้แข็งตามต้องการ ทำเครื่องมือชนิดต่างๆ เช่น ดอกสว่าน อุปกรณ์ตัดเกลียวใน ดอกคว้านรู แบบพิมพ์ และมักทำอุปกรณ์ที่ต้องการความคม เช่น มีด สกัด กรรไกร ลวดสปริง ลวดสลิง แต่ความแข็งและความต้านแรงจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นำไปชุบอาจจะบิดเบี้ยวหรือแตกร้าวได้

**2. เหล็กกล้าผสมต่ำ ความต้านแรงสูง** มีคุณสมบัติเพิ่มขึ้นโดยการเติมธาตุต่างๆเข้าไป ถูกนำไปใช้ในลักษณะที่ผลิตโดยตรงเป็นส่วนมาก ธาตุที่เติมลงในเหล็กกล้ามักจะเป็นโลหะเช่น โครเมียม นิกเกิล วานาเดียม โมลิบดีนัม ทังสแตน และโคบอลต์ ธาตุที่ผสมลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆของเหล็กกล้า

- 1) ความแข็งแรง (strength)
- 2) ความสามารถชุบแข็ง ได้ลึก (hardenability)
- 3) ความสามารถตัดปาดผิว (machinability)
- 4) การทนการกัดกร่อน (corrosion resistance)
- 5) การทนการสึกกร่อน (wear resistance)
- 6) การเพิ่มเสถียรภาพของสมบัติต่างๆ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

**3. เหล็กกล้าโครงสร้างผสมต่ำ** ใช้มากในงานทางด้านการขนส่งและการก่อสร้าง เหล็กกล้าชนิดนี้ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน สมบัติต่างๆ จึงขึ้นอยู่กับ การผสมโลหะผสมลงไปอย่างเหมาะสมกับปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่

4. เหล็กกล้าหล่อ เป็นวัสดุที่ใช้มากในอุตสาหกรรมทั่วไป โดยเฉพาะอุตสาหกรรมหนัก น้ำหนักของเหล็กกล้าหล่อให้มีรูปทรงที่ซับซ้อนได้ง่ายตามต้องการ ใช้ทำ เสื้อคอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่ เสื้อสูบเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น



ภาพที่ 4.20 ชิ้นส่วนที่หล่อจากเหล็กกล้าหล่อ

ที่มา: ชาญ วุฒิตั้งจิตวิทยา วัสดุในงานวิศวกรรม 2541 หน้า 120

**เหล็กกล้าไร้สนิม** มีความคงทนต่อการตกสะเก็ด มีความต้านแรงที่อุณหภูมิสูงดี แต่มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณโครเมียมที่ผสมอยู่ โดยทั่วไปเหล็กกล้าไร้สนิมมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ขึ้นรูปได้ดี มีความเหนียวที่อุณหภูมิสูงและต่ำ หาได้ง่ายราคาไม่แพง

1. เหล็กกล้าไร้สนิมที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูป (wrought products) หมายถึง ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการแปรรูปทางกล เช่น การรีด การตี การดึง ได้แก่ เหล็กแผ่น เหล็กแท่งกลม เหล็กแท่งเหลี่ยม เหล็กท่อนมีรูปทรง (shapes) ลวดเหล็ก มี 4 ชนิดคือ

1. เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสตินิติก มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีมาก มีสภาพแข็งขึ้นหลังจากผ่านการขึ้นรูปเย็น สามารถทำการตีอัดขึ้นรูปและทำการเชื่อมได้ ทำการตัดปาดผิวได้ยาก แต่สามารถแปรรูปทางกลได้ง่าย เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสตินิติก นำไปใช้มากในงานอุตสาหกรรมทางด้านอาหาร อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ เครื่องใช้ในครัว

2. เหล็กกล้าไร้สนิมแบบเฟอร์ริติก มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม แบบ มาร์เทนซิติกแต่น้อยกว่าแบบออสตินิติก มีสภาพไม่แข็งขึ้นมากนักหลังจากผ่านการขึ้นรูปเย็น ไม่สามารถปรับปรุงด้วยกรรมวิธีทางความร้อนและทางกลได้ สมบัติทางด้านตัดปาดผิวไม่ดีนัก เหล็กเหล่านี้นำไปใช้ทำท่อ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอุปกรณ์เกี่ยวกับการกลั่นน้ำมัน และอุปกรณ์เคมี

3. เหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาร์เทนซิติก มีความสามารถรับแรงกระแทกได้ดี ทนต่อการสึกหรอได้สูงมีความต้านทานต่อการคืบและการแตกหักเสียหายที่อุณหภูมิสูง การนำไปใช้งานของเหล็กกล้ามาร์เทนซิติก คือ ใช้ทำวาล์ว มีดตัด มีดโกน ชิ้นงานที่รับความเค้นสูง ได้แก่ เพลา ชิ้นส่วนที่ทนต่อการสึกหรอ ลูกปืนในแบริ่ง บุชชิง

4. เหล็กกล้าไร้สนิมแบบพรีซิพิตชันฮาร์ดเคนนิง สามารถแปรรูปทางกลได้ดี เมื่อได้รับความร้อน มีความเหนียวสูงขึ้น หลังจากนั้นก็ทำกรรมวิธีทางความร้อน เพื่อให้เหล็กมีความแข็ง แต่มีความเหนียวดังได้กล่าวมาแล้ว นำไปใช้งานที่ต้องรับภาระตัดได้ดีทนต่อการสึกหรอ

**เหล็กเครื่องมือ** ผลิตจากเหล็กกล้าโลหะผสมสูง (high alloy steels) ที่สะอาดและหลอมด้วยเตาไฟฟ้าที่ควบคุมเนื้อโลหะให้มีส่วนผสมถูกต้องสม่ำเสมอ ทั่วๆกัน เพื่อให้เหล็กเครื่องมือมีสมบัติเท่ากันทุกๆส่วน โลหะที่ผสมในเหล็กเครื่องมือ ได้แก่ โมลิบดีนัม ทังสแตน โครเมียม วานาเดียม และแมงกานีส เหล็กเครื่องมือมีสมบัติเด่น ดังนี้

- มีความแข็งและความต้านแรงสูง ขณะอยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูง
- สามารถรับแรงกระแทก และแรงกระตุกแบบกะทันหันได้เป็นอย่างดี
- ทนทานต่อการสึกหรอ การขูดขีด ได้เป็นอย่างดี ขณะใช้งานอย่างต่อเนื่องเหล็กเครื่องมือสามารถนำไปทำเป็นเครื่องมือตัดเฉือน แม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ แม่พิมพ์ตัด ดอกสว่าน มีดกลึง มีดไส

ชนิดของเหล็กเครื่องมือ

1. เหล็กเครื่องมือชนิดชุบแข็งด้วยน้ำ (hardening with water tool steels) มีคาร์บอนผสมเป็นธาตุหลักทำให้แข็งกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา มี 2 ชนิด ชุบแข็งที่ผิว และ ชุบแข็งได้ลึก สามารถชุบแข็งได้ต่ำ ราคาถูก กรรมวิธีการชุบแข็งไม่ยุ่งยาก เช่นทำตะไบ

2. เหล็กเครื่องมือชนิดทนแรงกระแทกกะทันหัน (shock impact resistant tool steels) เป็นเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรงและเหนียวแต่ไม่ทนการสึกหรอเหมือนเหล็กเครื่องมืออื่นๆ เหมาะสำหรับใช้งานที่รับแรงกะทันหันหรือรับและคายแรงสลับกัน เช่น ค้อนลม(jack hammer) อุปกรณ์ลม สิว ไบมีด

3. เหล็กเครื่องมือสำหรับงานขึ้นรูปเย็น (cold work tool steels) แบ่งเป็นชนิดชุบแข็งด้วยน้ำมัน ชุบแข็งด้วยลม และชนิดงานขึ้นรูปเย็น ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการบิดงอจากการชุบแข็งด้วยน้ำความแข็งจะได้ใกล้เคียงกัน ใช้ทำ แม่พิมพ์ขึ้นรูปเหล็ก แม่พิมพ์ตัดเฉือน

4. เหล็กเครื่องมือสำหรับการขึ้นรูปร้อน (hot work tool steels) สามารถรักษาความแข็งให้คงเดิมอยู่ได้แม้จะอยู่ในที่อุณหภูมิสูง นำไปใช้ทำดีดขึ้นรูปร้อน แม่พิมพ์งานร้อน

5. เหล็กเครื่องมือความเร็วสูง (high speed tool steels) เป็นเหล็กกล้าทำอุปกรณ์การตัด ไส กลึง เจาะรู เช่น มีดไส มีดกลึง ดอกสว่าน เพราะสามารถคงความแข็งอยู่ได้แม้อุณหภูมิใช้งานจะสูงขึ้นจนร้อนแดง เรียกว่า red-hardness ทนแรงกระทำที่สูงมากแต่ทนแรงกระแทกได้ไม่ดี

## โลหะนอกกลุ่มเหล็กและโลหะในงานอุตสาหกรรม

**อะลูมิเนียม (aluminium)** โลหะที่มีน้ำหนักเบา นำมาใช้มากเป็นที่สองรองจากเหล็ก มีคุณสมบัติที่ดี ดังนี้

1. มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีความแข็งแรงของวัสดุต่อหน่วยน้ำหนักสูง
2. มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่ายโดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก
3. จุดหลอมเหลวต่ำ หล่อหลอมง่าย
4. มีความสามารถในการนำไฟฟ้าไม่สูงนัก

5. มีค่าการนำความร้อนสูง
6. ไม่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์
7. ผิวหน้าอลูมิเนียมบริสุทธิ์มีดัชนีการสะท้อนกลับของแสงสูงมาก
8. ทนทานต่อการเกิดสนิมและการผุกร่อน
9. ซื้อง่ายในท้องตลาดและราคาไม่แพงนัก

**แมกนีเซียม (magnesium)** จัดเป็นโลหะเบาที่สุดที่ใช้ในงานวิศวกรรม (ลิเทียมเป็นโลหะที่เบาที่สุดในโลก) มีความแข็งแรงสูงมาก ตัดปาดผิวดี โลหะผสมแมกนีเซียม มี 3 ชนิดดังนี้

1. โลหะผสมระหว่างแมกนีเซียมกับแมงกานีส แมงกานีสที่ผสมลงไปแมกนีเซียม เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความทนทานต่อการผุกร่อน และความแข็งแรงของวัสดุให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น
2. โลหะผสมระหว่างแมกนีเซียมกับอลูมิเนียม โลหะผสมแมกนีเซียมชนิดนี้มี อลูมิเนียมเป็นธาตุผสมหลักและมีแมงกานีสและสังกะสีเป็นธาตุผสมรอง มีความแข็งแรงสูง สามารถนำไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อเพิ่มสมบัติด้านต่างๆ ได้ และยังใช้งานได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 170 องศาเซลเซียส
3. โลหะผสมระหว่างแมกนีเซียมกับสังกะสี สังกะสีช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโลหะแมกนีเซียมให้มีค่าสูงขึ้น พร้อมทั้งสามารถนำไปบ่มแข็งได้เพื่อเพิ่มความแข็งแรง มีความต้านทานกัดกร่อนสูงขึ้น

**ทองแดง (copper)** มนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์ของทองแดง ทำเครื่องมือใช้สอยและอาวุธต่างๆ ตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ ที่เรียกว่ายุคสำริด (bronze age) มีสมบัติเด่นในด้าน

1. มีความแข็งแรงในช่วงที่พอใช้งานได้ ทั้งยังสามารถปรับปรุงสมบัติทางกลได้
2. ความเหนียวของทองแดงสูงมาก สามารถขึ้นรูปโดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก
3. เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีมาก และเป็นตัวนำความร้อนที่ดีมาก
4. ตัดปาดผิวได้ง่าย เมื่อผสมธาตุบางตัวเข้าไป
5. ต้านทานความล้าได้ดีพอควร
6. ไม่เป็นสารแม่เหล็ก
7. ทนทานต่อการกัดกร่อน โดยเฉพาะเมื่อใช้กับกรดและน้ำทะเล
8. ทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดีพอควร

**ทองแดงผสม** แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ ทองเหลือง และบรอนซ์

**ทองเหลือง** เป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี สังกะสีในทองเหลืองมีสมบัติการต้านทานแรงดึงและความเหนียวสูงขึ้น ความแข็งแรงจะสูงกว่าทองแดงมาก สมบัติจะดีขึ้นเรื่อยๆ แต่ถ้าสังกะสีเกิน 40% ความเหนียวจะลดลง

**บรอนซ์ (bronze)** ความหมายเดิมหมายถึงโลหะผสมระหว่างดีบุกกับทองแดง ความหมายใหม่หมายถึงโลหะผสมระหว่างทองแดงกับธาตุอื่นๆ ไม่เกิน 12% มี บรอนซ์ดีบุก บรอนซ์อะลูมิเนียม บรอนซ์ซิลิกอน

**โลหะผสมทองแดงกับนิกเกิล** มีนิกเกิลผสมอยู่ ประมาณ 4-30% ทำปลอกกระสุนปืน ทำเหรียญกษาปณ์ เช่นเหรียญบาท เหรียญห้า บาท

ทองแดงที่ใช้น้ำทะเลเช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและกังหันเรือเดินสมุทรและวาล์ว

**นิกเกิล สังกะสี และตะกั่ว** โลหะผสมระหว่างนิกเกิลและทองแดงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เกษษกรรม การต่อเรือ ไฟฟ้า การซักรีดผ้า ทอผ้า การทำกระดาษ

**สังกะสี สมบัติของสังกะสีหล่อ**

- หล่อหลอมง่าย - มีความแข็งแรงสูงมาก - สามารถควบคุมผลิตภัณฑ์ได้ใกล้เคียงกัน - ตัดปาดผิวได้ง่าย - ทนทานต่อการผุกร่อนภายใต้บรรยากาศทั่วไป - ราคาไม่แพง

**ธาตุที่นำไปผสมตะกั่ว มี**

- พลวง เมื่อผสมในเนื้อตะกั่ว ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้สูงขึ้น ใช้ทำตะกั่วแผ่นสำหรับทำปลอกหุ้มรอยเชื่อมต่อของสายส่งไฟฟ้าและสายโทรศัพท์
- แคลเซียม ผสมลงไปในตะกั่วเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความต้านทานต่อการเกิดการคืบ(การเปลี่ยนรูปอย่างถาวรขึ้นอย่างช้าๆ) นิยมใช้ทำท่อระบายน้ำที่ทนต่อการกัดกร่อน

**พลาสติกและวัสดุคอมโพสิต**

**สมบัติพิเศษที่เด่น**

คุณสมบัติทางกายภาพ มีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่นได้

คุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นฉนวนไฟฟ้า

คุณสมบัติทางเคมี ทนกรด ด่าง และสารเคมีอื่นๆ ได้

ปัจจุบันมีพลาสติกประมาณ 40 ตระกูลใหญ่ๆ

**พลาสติกแบ่งเป็น 2 ประเภท**

**1.เทอร์โมเซตติง (thermosettings) หรือ เทอร์โมเซต (thermosets)** เป็นพลาสติกที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างกรรมวิธีการผลิต การขึ้นรูป และการหล่อด้วยพลาสติกเหลว (casting) ด้วยการผสมสารเคมีทำให้โครงสร้างเปลี่ยนไป เป็นโมเลกุลที่สร้างเครือข่ายยาวไม่สามารถเปลี่ยนรูปได้อีก เหมือนไข่เมื่อนำไปทำให้สุกแล้วจะทำให้เหลวเหมือนเดิมอีกไม่ได้

**2. เทอร์โมพลาสติก (thermoplastics)** เป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกหลังจากนำไปหล่อเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว เปรียบเหมือนน้ำแข็ง เมื่อถูกความร้อนก็จะกลายเป็นน้ำ

**เทอร์โมเซตติง**

**อีพอกซี** – สมบัติ รับแรงดึงและแรงอัดได้ดีมาก และรับแรงกระแทกได้ดีพอสมควร สามารถติดแนบได้ดีกับวัสดุอื่น เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ทนความร้อนสูง ทนกรด ด่าง และการละลายได้ดี

- การใช้ประโยชน์ ในรูปของเหลวใช้ทำกาวติดวัตถุ และวัสดุเคลือบผิวต่างๆ นำไปหล่อทำแม่พิมพ์ชนิดทดลองแม่พิมพ์ นำไปทำไฟเบอร์กลาสชนิดดี ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องบิน เฮลิคอปเตอร์ รถยนต์

**โพลีเอสเตอร์** – สมบัติ รับแรงดึง แรงอัด และบิดงอได้ดี ผิวหน้ามีความแข็งพอสมควร ถูกแดดจะซีด ทนสภาพอากาศภายนอกได้ดี มีความสามารถหดตัวได้เล็กน้อยแต่มากกว่าอีพอกซี เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ทนกรดด่างชนิดอ่อนได้

- การใช้ประโยชน์ นิยมใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสมากที่สุด เช่น เรือ รถยนต์ ชิ้นส่วนในเครื่องบิน ถังบรรจุของเหลว ถังบรรจุของ ท่อของเหลว เฟอร์นิเจอร์ ซิลิโคน



**ซิลิโคน** - สมบัติ รับแรงดึงและแรงบิดได้ปานกลาง ทึบแสง เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี แต่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี ทนกรดต่างได้ทุกชนิด

- **การใช้ประโยชน์** ซิลิโคนถูกนำไปใช้ทำยางแม่แบบชนิดทนความร้อน ยางขอบบานปิดเปิดในยานอวกาศ ซิลิโคนในรูปของแข็งใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้านอกจากนั้นซิลิโคนยังใช้ทำเป็นน้ำยาถอดชิ้นงานออกจากแบบในอุตสาหกรรมหลายประเภท พร้อมกันนี้ได้นำไปใช้ในกลุ่มศัลยกรรมตกแต่งทางการแพทย์

### เทอร์โมพลาสติก

#### โพลีเอทิลีน (polyethylene)

- สมบัติ รับแรงกดและแรงดึงได้น้อย มีความสามารถยึดตัวได้สูง ฉีกขาดได้ยากเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีมาก ทนความร้อนได้น้อย แต่ทนความเย็นได้มาก

- **การใช้ประโยชน์** ถุงบรรจุภัณฑ์ บรรจุอาหารและเสื้อผ้า ดอกไม้พลาสติก ภาชนะในครัวเรือน ถาดน้ำแข็งใส่ตู้เย็น ภาชนะบรรจุของเหลว สายเคเบิล แผ่นกันความชื้นในอาคาร

#### โพลีโพรพิลีน (polypropylene)

- สมบัติ โดยทั่วไปคล้ายกับโพลีเอทิลีนแต่มีคุณภาพดีกว่า ทนทานและแข็งแรงกว่าโพลีเอทิลีน ทนความร้อนได้ดีกว่ามีความสามารถใช้งานได้ดีในอุณหภูมิสูง คล้ายกับโพลีเอทิลีน แต่คุณภาพดีกว่า ทดสอบอย่างง่ายคือใช้เล็บขูดดู หากเป็นโพลีเอทิลีนจะขูดออก หากเป็นโพลีโพรพิลีนจะขูดออกยากกว่าเนื่องจากมีผิวแข็งกว่า

- **การใช้ประโยชน์** ใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้มากมาย เช่น ถุงบรรจุอาหารร้อน พลาสติกหุ้มของบุหรี เชือกปอพลาสติก แถบพลาสติกมัดของ รั้วบิ้น สายไฟฟ้า สายเคเบิล ก่องแบตเตอรี่ ถังดักน้ำ ฝาปิด โถส้วม หมวกกันน็อก กระเป๋าใส่ของภาชนะ และเครื่องใช้ในบ้าน

#### โพลีสไตรีน (polystyrene)

- สมบัติ มีน้ำหนักเบาที่สุดในพลาสติก มีความสามารถหดตัวได้น้อยมาก โพลีสไตรีนมีความคงรูปได้ดีแต่ประจทนความร้อนได้พอสมควร ทนกรดและด่างชนิดอ่อนได้

- **การใช้ประโยชน์** ใช้ทำกล่องบรรจุอาหารชนิดใส กล่องบรรจุของใช้อื่นๆ เช่น แปรงสีฟัน ถังบรรจุเครื่องดื่ม ไม้บรรทัดราคาถูก วิทยุ ไฟท้ายรถ

## การทดสอบเพื่อหาสมบัติทางกลของวัสดุ

### ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการทดสอบวัสดุ

วัสดุที่นำมาใช้งานวิศวกรรมต้องมีสมบัติที่ใช้งานในลักษณะต่างกันเพื่อให้ใช้งานได้อย่างปลอดภัย ต้องทดสอบเพื่อการประเมินสมบัติด้านต่างๆ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

การทดสอบแบบทำลาย (destructivetesting; DT) เป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติทางกล ดังเช่นการทดสอบหาค่าดัชนีที่บ่งชี้ถึงความแข็งแรงของวัสดุ เช่น

- การทดสอบการดึง เพื่อหาค่าความเค้นคราก ความต้านการดึง
- การทดสอบความแข็ง เพื่อหาความสามารถของวัสดุที่ต้านทานการเปลี่ยนรูป

- การทดสอบแรงกระแทก เพื่อหาค่าความเหนียวและความสามารถในการรับแรงกระแทกของวัสดุ
- การทดสอบความล้าทำเพื่อเป้าประสงค์ในการในการหาค่าความสามารถที่วัสดุจะรับแรงแบบคาบเวลาหรือแรงกระทำแบบซ้ำๆ กันตลอดเวลา
- การทดสอบการคืบตัวที่อุณหภูมิสูง เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ยังมีแรงด้านทานภายในขณะที่รับแรงที่ไม่มากไปกว่าความเค้นคราก ที่อุณหภูมิสูงในระยะเวลาที่ไม่จำกัด

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (nondestructive testing; DNT) เป็นการตรวจสอบเพื่อหาสิ่งบกพร่องในวัสดุ เช่น รอยร้าว หรือความไม่สมบูรณ์ของรูปร่างชิ้นงาน ที่เกิดขึ้นบริเวณผิว ใต้ผิวเล็กน้อย และในเนื้อวัสดุเช่น

- การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็กเป็นการตรวจสอบหาสิ่งบกพร่องที่ผิวและใต้ผิวชิ้นงานเล็กน้อย
- การตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพรังสีสามารถแสดงภาพของสิ่งบกพร่องออกมาบนฟิล์มถ่ายภาพและสามารถตรวจสอบสิ่งบกพร่องในเนื้อวัสดุได้
- การตรวจสอบด้วยอัลตราโซนิกสามารถตรวจสอบสิ่งบกพร่องในเนื้อวัสดุได้เช่นเดียวกับภาพถ่ายรังสี
- การตรวจสอบด้วยสายตา เป็นการตรวจสอบที่สะดวก โดยใช้ความสามารถพื้นฐานตรวจสอบได้ด้วยตัวเองและไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษและความชำนาญการของผู้ตรวจสอบ

**การทดสอบแบบทำลาย** ที่สำคัญและใช้กันมากในอุตสาหกรรม มี 6 วิธีคือ

**1. การทดสอบการดึง (tensile testing)** เป็นการทดสอบวัสดุที่สำคัญที่สุด เพราะในการออกแบบส่วนใหญ่จะใช้ค่าซึ่งได้จากการทดสอบนี้ไปใช้ในการคำนวณ เพื่อกำหนดขนาดรูปร่างของชิ้นงาน วัสดุประสงค์ เพื่อหาค่าความต้านแรงดึงสูงสุด ความเค้นคราก และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ โดยทั่วไปจะดึงชิ้นทดสอบจนขาดออกจากกัน ในขณะเดียวกันก็จะบันทึกแรงที่ใช้ในการดึงและระยะยืดของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องบันทึก

**2. การทดสอบความแข็ง (hardness test)** ค่าความแข็งเป็นสมบัติทางกลที่สำคัญค่าหนึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุ เนื่องจากการกดหรืออัด มีการทดสอบดังนี้

**2.1 การทดสอบความแข็งของบริเนลล์ (brinell hardness test)** ชาวสวีเดนใช้ลูกบอลเหล็กกด แล้ววัดเส้นผ่าศูนย์กลางรอยกด

**2.2 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์** ใช้ตัวกดทำด้วยเพชรเจียรระไน วัดเส้นทแยงมุม ของรอยกด

**2.3 การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์** ลูกเวลชาวเยอรมัน วัดความลึกของหัวกดซึ่งทำด้วยเพชรทรงกรวย

**2.4 การทดสอบความแข็งด้วยก้อนโพลีดี** ใช้ก้อนมีถ้ำ 100g ตีแกนสลักที่มีลูกบอลกับวัสดุทดสอบ

**2.5 การทดสอบความแข็งโดยการกระดอนแบบชอร์** ใช้ตุ้มน้ำหนัก 0.2 N ตกจากความสูง 112 mm กระแทกกับผิวชิ้นทดสอบ วัดความกระดอนตุ้มน้ำหนักถ้ำวัสดุทดสอบมีความแข็งสูงตุ้มน้ำหนักก็กระดอนสูง

**3.การทดสอบแรงกระแทก (impact testing)** เป็นการใช้แรงกระทำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วกระแทกชิ้นทดสอบให้แตกหักในเวลาอันสั้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกแรงกระแทกใช้หลักการค้อนเหวี่ยง และชิ้นทดสอบต้องมีร่องบากนิยมใช้แบบชาร์ปี

**4.การทดสอบการล้า** หาค่าความต้านล้าของวัสดุ หมายถึงความเค้นสูงสุดแบบเปลี่ยนแปลงที่กระทำต่อชิ้นงานเป็นจำนวนครั้งไม่สิ้นสุด โดยชิ้นงานไม่เสียหาย ถ้าความเค้นที่กระทำต่อชิ้นงานมีค่าสูงกว่าความเค้นล้าของวัสดุ ก็จะทำให้ชิ้นงานแตกหักแบบล้าได้ อาจจะภายในไม่กี่นาที หรือได้รับแรงเป็นระยะเวลาเป็นปี

5.การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุที่อุณหภูมิสูง เพื่อหาค่าความเค้นครากที่อุณหภูมิสูง

6. การทดสอบการคืบ การคืบ (creep) คือการที่วัสดุได้รับความเค้นนำไปสู่การยืดตัว

ค่าความต้านการคืบ(creep strength) ที่อุณหภูมิหนึ่ง คือค่าความเค้นสูงสุดเมื่อเริ่มต้นมีความคืบและเวลาผ่านไปจนหยุดความคืบ แต่ถ้าความเค้นสูงกว่ค่านี้จะนำไปสู่การแตกหัก

**การทดสอบแบบไม่ทำลาย ( nondestructive-testing) หรือ NDT ที่สำคัญใช้มากมี 5 วิธี**

1. การตรวจสอบด้วยสายตา (visual inspection) เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก แต่ผู้ตรวจสอบต้องมีความรู้ในด้านทฤษฎีและปฏิบัติเกี่ยวกับการผลิต ลักษณะที่ผิดปกติ ต่างๆ

2. การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (penetrant testing; PT) เพื่อหาความบกพร่องในเนื้อวัสดุ โดยสารแทรกซึมสามารถซึมเข้าไปในช่องว่างแคบๆ ที่เป็นรอยร้าวขนาดเล็กได้ ใช้ได้ผลดีกับชิ้นงานที่เป็นโลหะ

3. การตรวจสอบโดยอนุภาคแม่เหล็ก (magnetic particle testing; MT ) ใช้กับวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก ได้แก่ เหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ สิ่งบกพร่องที่อยู่บนผิววัสดุ ผงแม่เหล็กจะจัดเรียงตัวตามรอยร้าว สิ่งบกพร่องอยู่ใต้ผิวเล็กน้อย ผงแม่เหล็กจะจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ

4. การตรวจสอบวัสดุด้วยอัลตราโซนิก (ultrasonic testing; UT)นำไปใช้ในการทดสอบเหล็ก โครงสร้างประเภท I-Beam ขณะอยู่ในสายการผลิต รางรถไฟ ท่อส่งความร้อน เหล็กแผ่น

5. การตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพรังสี (radiographic testing; RT) อาศัยหลักการของรังสีที่ผ่านเข้าไปสู่วัสดุที่ทึบแสงแล้วทะลุอีกด้านหนึ่ง ปริมาณที่ทะลุผ่านออกมาของรังสี จะบ่งชี้ให้ทราบถึงสิ่งบกพร่องและปริมาณของเนื้อวัสดุ สาเหตุเพราะรังสีถูกดูดซึมเอาไว้ ถ้าเนื้อวัสดุที่มีสิ่งบกพร่อง หรือปริมาณของเนื้อวัสดุน้อย จะมีปริมาณของรังสีที่ทะลุผ่านออกมามากและจะไปปรากฏบนแผ่นฟิล์มในปริมาณที่มาก แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าไม่มีสิ่งบกพร่องหรือเนื้อวัสดุมากปริมาณรังสีที่ตกกระทบแผ่นฟิล์มน้อย เพราะถูกเนื้อวัสดุดูดซับเอาไว้