



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาอิทธิพลของแรงดันก๊าซไนโตรเจนต่อโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุ ใน

กระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติโลหะด้วยความร้อน

Study of Influences of Nitrogen Pressure on Microstructure During

Heat Treatment Process

นาย พัชรพล ลิ้มสุขศิริ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การศึกษาอิทธิพลของแรงดันก๊าซไนโตรเจนต่อโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุ ในกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติโลหะด้วยความร้อน

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นายพัชรพล ถิ่มสุขศิริ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.พัชรพล ตัณฑ์วิรุฬห์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศ นางสาวเอมอมร พรหมบุพผา

บทคัดย่อ

ในโครงการสหกิจฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงที่จะนำไปประกอบเป็นรถยนต์สำหรับแข่งขัน เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์สูงขึ้น ปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงจึงต้องทำงานด้วยแรงดันที่สูงขึ้น ภายหลังจากที่ทีมงานทดสอบได้ทดสอบด้วยการใช้งานที่ระดับแรงดันสูงกว่าปกติ เป็นระยะเวลาหนึ่งพบว่าปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง เสียแรงดันในการอัดฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องยนต์ และเมื่อเกิดปัญหากับแรงดันภายในปั๊มหัวฉีดรถยนต์แรงดันสูง บ่าวาล์วซึ่งเป็นเสมือนกำแพงกันระหว่างบริเวณที่มีแรงดันสูงกับบริเวณที่มีแรงดันต่ำ จึงเป็นชิ้นส่วนแรกที่เริ่มทำการตรวจสอบวิเคราะห์ความเสียหาย ผู้ดำเนินโครงการวิจัยจึงได้รับหน้าที่ในการวิเคราะห์จากความเสียหายของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง ภายหลังจากตรวจพบความเสียหายเกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนบ่าวาล์วจริง หน้าที่ต่อมาของผู้ดำเนินโครงการวิจัยคือการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว เพื่อให้ชิ้นส่วนบ่าวาล์วมีความทนทานมากยิ่งขึ้น และจากการศึกษาอิทธิพลของแรงดันก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว พบว่า ที่ระดับแรงดันสูง เกิดชั้นผสมของคาร์ไบด์ขึ้นที่พื้นผิวของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว ความลึกที่เกิดขึ้นนั้น เพิ่มขึ้นตามระดับแรงดันของไนโตรเจน และจากผลของการทดสอบพบว่าค่าความแข็งที่ทดสอบได้ก็มีผลเป็นไปตามความลึกของชั้นคาร์ไบด์ผสมนี้ ขั้นตอนสุดท้ายคือการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี พบปริมาณของธาตุไนโตรเจน และโครเมียมอยู่ที่บริเวณผิวของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว จึงคาดว่าน่าจะเป็นคาร์ไบด์ผสมของโครเมียมในทราย ผู้ดำเนินโครงการวิจัยจึงได้เสนอแนวทางการศึกษาต่อ เพื่อพัฒนาชิ้นส่วนให้มีความคงทนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title Study of Influences of Nitrogen Pressure on Microstructure
During Heat Treatment Process

Faculty: Engineering Department: Industrial Engineering

Advisor Name Dr. Phacharaphon Tunthawiroon

Mentor Name Ms.Aimamorn Promboopha

ABSTRACT

This cooperative project purposes to develop high pressure fuel pump in race car , to have more efficiently and more endurance. As the purpose, this pump have to test in higher pressure on its lead to leakage of the pressure after the test.This point the researcher have to find the root cause of this leakage of the High Pressure Fuel Pump. So in the first part of this research will be an Failure analysis of High Pressure Fuel pump resulted in Cracked part in valve seat of the pump. So Part two of this research project is to improve fatigues life of this high pressure fuel pump from their Heat treatment process. After the study of Influences from Nitrogen pressure in Heat treatment process found that they form a semi-carbide layer on the surface of valve seat, have the deepest case of semi-carbide layer in High Nitrogen pressure condition. Hardness values from mechanical test also highest at the high pressure condition and last of this research project run the test with Glow Discharge Optical Emission Scan found amount of Nitrogen and Chromium on the surface .Suspect that might be Chromium Nitride that cause the Hardness to increase along with the Pressure level.

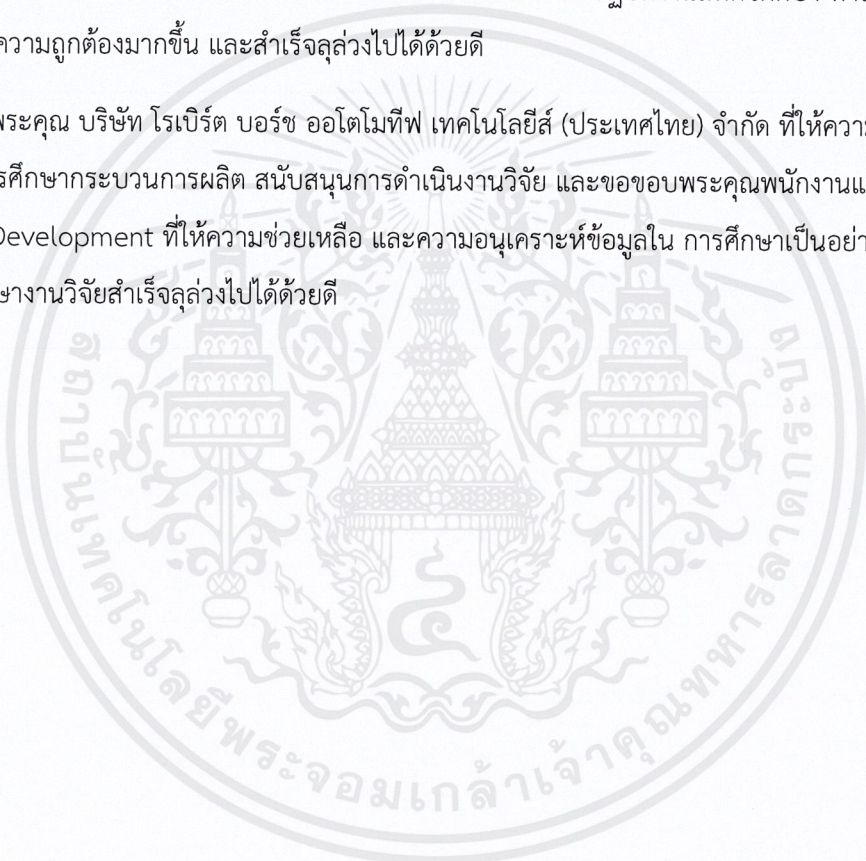
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษา “การศึกษาอิทธิพลของแรงดันก๊าซไนโตรเจนต่อโครงสร้างทางจุลภาคของ วัสดุ ในกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติโลหะด้วยความร้อน” สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ที่กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ คำแนะนำ และตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่อง จนส่งผลให้โครงการฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เพชรพล ตันทวีรุฬห์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาในการให้คำแนะนำ เสนอแนะ และแก้ไขข้อบกพร่องในการทำโครงการสหกิจศึกษาและระหว่างปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ทำให้โครงการฉบับนี้มีความถูกต้องมากขึ้น และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท โรเบิร์ต บอร์ช ออโตโมทีฟ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ใน การศึกษากระบวนการผลิต สนับสนุนการดำเนินงานวิจัย และขอขอบพระคุณพนักงานแผนก Research and Development ที่ให้ความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์ข้อมูลใน การศึกษาเป็นอย่างดี จนกระทั่งการศึกษางานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูปภาพ | ซ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.5 ตารางการดำเนินโครงการวิจัย | 3 |
| บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 ป้อนหัวฉีดเชื้อเพลิง | 4 |
| 2.2 การวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุโลหะ | 5 |
| 2.2.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเสียหาย | 6 |
| 2.2.2 ความเสียหายของวัสดุ | 9 |
| 2.2.3 การล้า (Fatigues) | 10 |
| 2.2.4 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการวิเคราะห์ | 11 |
| 2.2.5 การทดสอบความแข็ง | 15 |
| 2.2.6 การตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุ | 16 |
| 2.3 กระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติโลหะด้วยความร้อน | 17 |
| 2.3.1 แผนภูมิสมดุลงเหล็กกับเหล็กคาร์ไบด์ (Iron-Iron Carbide Diagram) | 18 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--|----|
| 2.3.2 แผนภูมิเวลา อุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลง (Time Temperature Transformation Diagram แผนภูมิ T.T.T. Diagram) | 20 |
| 2.2.3 การอบชุบเหล็กกล้าด้วยความร้อน (Heat treatment) | 21 |
| 2.2.4 อัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะ (Heating Rate and Holding Time) | 24 |

สารบัญ(ต่อ)

| | |
|--|-----------|
| 2.2.5 การอบคืนไฟ (Tempering) | 27 |
| 2.2.6 การอบอ่อนอย่างสมบูรณ์ (Annealing) | 28 |
| 2.2.7 การชุบแข็งพื้นผิว (Surface Hardening) | 29 |
| 2.2.8 การชุบแข็งพื้นผิวด้วยวิธีไนไตรดิง (Nitriding) | 29 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ | 31 |
| 3.1 การวิเคราะห์ความเสียหายของบีมหัวฉีดเชื้อเพลิง | 31 |
| 3.1.1 การตรวจสอบความเสียหายเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายต่ำ (Light Stereo Microscope) | 33 |
| 3.1.2 การตรวจวัดขนาดด้วยเครื่องซีทีสแกน (computed tomography scan) | 34 |
| 3.1.3 วิเคราะห์ความเสียหายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง | 35 |
| 3.2 การศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการขึ้นรูปของชิ้นงานที่เกิดความเสียหาย | 36 |
| 3.2.1 จำแนกระดับแรงดันของไนโตรเจน | 36 |
| 3.2.2 การเตรียมชิ้นงาน | 37 |
| 3.2.3 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว | 38 |
| 3.2.4 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว | 39 |
| 3.2.5 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงาน | 39 |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน | 40 |
| 4.1 ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของบีมหัวฉีดน้ำมัน | 40 |
| 4.1.1 ผลจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายต่ำ | 40 |
| 4.1.2 ผลจากเครื่อง CT Scan | 41 |
| 4.1.3 ผลจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง | 41 |
| 4.2 ผลจากการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว | 42 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----------------|---|-----------|
| 4.2.1 | ผลจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง | 43 |
| 4.2.2 | ผลจากการวัดค่าคุณสมบัติความแข็งของวัสดุ | 45 |
| 4.2.3 | ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นส่วนปาวาล์ว | 46 |
| บทที่ 5 | สรุปและวิจารณ์ผลดำเนินงาน | 48 |
| 5.1 | สรุปและวิจารณ์ผลการดำเนินงาน | 48 |
| 5.1.1 | ผลจากการตรวจสอบความเสียหายของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิง | 48 |
| 5.1.2 | ผลจากการตรวจสอบชิ้นส่วนปาวาล์ว | 48 |
| 5.2 | ข้อเสนอแนะ | 48 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินโครงการวิจัย | 3 |
| ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดและวัสดุของกรดผสมที่ใช้ในการกัดกรด | 15 |
| ตารางที่ 2.2 Heating Times and Holding Time for Hardening Carbon and Structural Steel | 25 |
| ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนผสมของเหล็กไนโตรดิง ตามมาตรฐาน ISO/R 683 /X-1970 | 30 |
| ตารางที่ 3.1 การจำแนกระดับของแรงดันไนโตรเจน | 36 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 แสดงปี่มหัวฉีดเชื้อเพลิงในรถยนต์ | 4 |
| รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุ | 6 |
| รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการแตกหักแบบเหนียวในวัสดุ | 10 |
| รูปที่ 2.4 ภาพแสดงลักษณะผิวแตกของชิ้นงาน จากความล้า | 11 |
| รูปที่ 2.5 แสดงประเภทของการตัดชิ้นงานทดสอบต่างๆ | 12 |
| รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการต่างๆ ของการจับยึดชิ้นงาน | 13 |
| รูปที่ 2.7 แสดงพื้นผิวชิ้นงานหลังจากการกัดกรด | 14 |
| รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของรอยกัดที่ใช้ในการวัดค่าความแข็ง | 16 |
| รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องGlow Discharge Emission Spectroscopy | 17 |
| รูปที่ 2.10 แผนภูมิสมดุลเหล็กกับเหล็กคาร์ไบด์ (Iron-Iron Carbide Diagram) | 18 |
| รูปที่ 2.11 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา อุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (T.T.T. Diagram) | 21 |
| รูปที่ 2.12 แสดงแผนภูมิเฟสไดอะแกรมของอุณหภูมิในการชุบแข็ง | 24 |
| รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพขั้นตอนวิธีการดำเนินโครงการวิจัย | 32 |
| รูปที่ 3.2 แสดงการแบ่งชิ้นส่วนบ่าวาล์วออกเป็น 4 บริเวณ | 33 |
| รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายต่ำ | 34 |
| รูปที่ 3.4 ภาพจำลองภาคตัดขวางของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว | 34 |
| รูปที่ 3.5 แสดงแนวการตัดของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว | 35 |
| รูปที่ 3.6 เครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงาน | 35 |
| รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง | 36 |
| รูปที่ 3.8 แสดงแนวการตัดของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว | 37 |
| รูปที่ 3.9 แสดงภาพของเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงาน | 37 |
| รูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นภาคตัดขวางของชิ้นส่วนบ่าวาล์วที่ผ่านการเผา | 38 |
| รูปที่ 4.1 แสดงการตรวจพบรอยร้าวที่ชิ้นส่วนบ่าวาล์ว | 40 |
| รูปที่ 4.2 ผลการตรวจวัดความสูงด้วยเครื่อง CT Scan | 41 |
| รูปที่ 4.3 ภาพผลการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง | 41 |
| รูปที่ 4.4 การตรวจวัดขนาดของชิ้นส่วนที่เกิดการแตกหัก | 42 |
| รูปที่ 4.5 แสดงภาพโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นส่วนบ่าวาล์วทั้งสามระดับแรงดัน | 43 |

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

| | |
|---|----|
| รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างคาร์ไบด์ที่ตรวจพบ | 44 |
| รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างคาร์ไบด์ปกติ และคาร์ไบด์ผสม | 44 |
| รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความลึกของชั้นคาร์ไบด์ผสมในแต่ละระดับแรงดัน | 45 |
| รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความแข็งของชั้นส่วนบ่าวาล์วทั้งสามระดับแรงดันไนโตรเจน | 46 |
| รูปที่ 4.10 กราฟแสดงปริมาณของธาตุไนโตรเจน ต่อความลึกในชิ้นงานบ่าวาล์ว | 47 |
| รูปที่ 4.11 กราฟแสดงปริมาณของธาตุโครเมียม ต่อความลึกในชิ้นงานบ่าวาล์ว | 47 |



ณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นโครงการวิจัยที่ทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นโดยมีหัวข้อในการทำโครงการวิจัยดังต่อไปนี้

- 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ
- 1.2 วัตถุประสงค์
- 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์
- 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
- 1.5 ตารางดำเนินการ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงเป็นอุปกรณ์สร้างแรงดันน้ำมันเพื่อส่งต่อไปยังเครื่องยนต์ โดยปกติปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงจะทำงานที่แรงดันค่อนข้างสูง ประมาณ 150 Bar ในการสร้างแรงดันน้ำมันนั้น ปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงจะรับแรงทางกลที่ถูกส่งต่อมาจากเพลาลูกเบี้ยว (Cam Shaft) แรงดันน้ำมันจะถูกสร้างขึ้นจากการเคลื่อนที่ไปกลับของชุดลูกสูบ (Piston) เมื่อน้ำมันมีแรงดันที่สูงขึ้นกลไกในการควบคุมการจ่ายหรือระบายน้ำมันแรงดันสูงนี้จำเป็นต้องเป็นชิ้นส่วนที่มีความแข็งแรงสูงตามไปด้วยเนื่องจากชิ้นส่วนในการควบคุมแรงดันน้ำมันในชุดปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาภายใต้แรงดันค่อนข้างสูง ดังนั้นการสึกหรอหรือแตกหักของชิ้นส่วนภายในปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงย่อมเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น บ่าวาล์วที่ใช้ในปั๊มควบคุมน้ำมันแรงดันสูง เป็นชิ้นส่วนที่รับแรงเค้นสูงจากแคมลูกเบี้ยวของเครื่องยนต์ มักจะพบว่าเป็นชิ้นส่วนที่เสียหาย หรือเกิดการรั่วอยู่บ่อยครั้ง ส่งผลต่อเนื่องให้ปั๊มหัวฉีดไม่สามารถจ่ายแรงดันให้แก่ น้ำมันได้ การที่ปั๊มหัวฉีดน้ำมันไม่สามารถจ่ายแรงดันให้แก่ น้ำมัน ส่งผลให้เครื่องยนต์ไม่มีน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการจุดระเบิด เกิดเป็นปัญหาร้ายแรงของเครื่องยนต์เพราะเชื้อเพลิงนั้นเป็นปัจจัยหลักในการทำงานของเครื่องยนต์ซึ่งสามารถพูดได้ว่า การที่บ่าวาล์วของปั๊มหัวฉีดน้ำมันเกิดความเสียหายขึ้นนั้น ไม่เพียงแต่จะลดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ แต่ส่งผลโดยตรงต่อระบบการทำงานหลักของเครื่องยนต์ทำให้ไม่สามารถทำงานได้อย่างที่ควรจะเป็น

ในโครงการวิจัยฉบับนี้จึงได้ศึกษาแนวทางในการเพิ่มอายุการใช้งานของปั๊มหัวฉีดน้ำมัน โดยเพิ่มความคงทนของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาสาเหตุของความเสียหาย ที่เกิดขึ้นในปีมหฉดเชื้อเพลิง
2. เพื่อศึกษาหาแนวทางพัฒนากระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติโลหะของชิ้นส่วนที่เกิดความเสียหาย

1.3 ขอบเขตของปริญญาณิพนธ์

1. วิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับปีมหฉดเชื้อเพลิงที่ผ่านการทดสอบการใช้งานมาแล้ว
2. กระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติโลหะด้วยความร้อนนี้ ทางโรงงานได้กำหนดระดับของแรงดันและได้ทำกระบวนการนี้กับชิ้นงานบ่าวาล้วมาแล้ว ผู้จัดทำโครงการวิจัยไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้อง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นในปีมหฉดเชื้อเพลิงรถยนต์แรงดันสูง
2. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของปีมหฉดเชื้อเพลิง

1.5 ตารางการดำเนินโครงการวิจัย

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ | | | | | | | | | |
|---|------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. |
| 1.ศึกษาเพื่อหาหัวข้อที่สนใจในการทำปริญญานิพนธ์ | ↔ | | | | | | | | | |
| 2.ศึกษาข้อมูล ทฤษฎี และ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง | | | | | | | | | | |
| 2.1 การวิเคราะห์ความเสียหาย | | | | | | | | | | |
| 2.2 กระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติโลหะด้วยความร้อน | | ↔ | ↔ | | | | | | | |
| 2.3 กระบวนการโซลูชันไนไตรดิง | | | | | | | | | | |
| 3. ขั้นตอนการดำเนินโครงการ | | | ↔ | ↔ | | | | | | |
| 4. วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อสรุปผลและเสนอแนวทางพัฒนา | | | | | | | ↔ | ↔ | | |
| 7. จัดทำเล่มปริญญานิพนธ์ | | | | | | | | | ↔ | ↔ |

ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินโครงการวิจัย

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

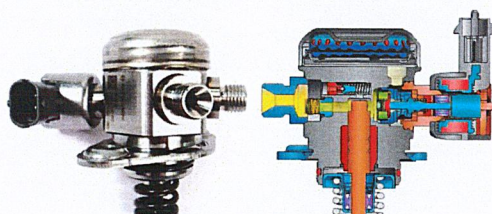
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการดำเนินการทดลองตามที่วางแผนไว้ ตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูล โดยทำการศึกษาหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ปัมพ์หัวฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง (ดูหัวข้อที่ 2.1)
2. การวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุโลหะ (ดูหัวข้อที่ 2.2)
3. กระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติโลหะด้วยความร้อน (ดูหัวข้อที่ 2.3)
4. กระบวนการไนไตรดิง(ดูหัวข้อที่ 2.4)

2.1 ปัมพ์หัวฉีดเชื้อเพลิง

ปัมพ์หัวฉีดเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงเป็นอุปกรณ์สร้างแรงดันน้ำมันเพื่อส่งต่อไปยังเครื่องยนต์ โดยปกติปัมพ์หัวฉีดเชื้อเพลิงจะทำงานที่แรงดันค่อนข้างสูง ประมาณ 150 Bar ในการสร้างแรงดันน้ำมันนั้น ปัมพ์หัวฉีดเชื้อเพลิงจะรับแรงทางกลที่ถูกส่งต่อมาจากเพลาลูกเบี้ยว(Cam Shaft) แรงดันน้ำมันจะถูกสร้างขึ้นจากการเคลื่อนที่ไปกลับของชุดลูกสูบ (Piston) เมื่อน้ำมันมีแรงดันที่สูงขึ้นกลไกในการควบคุมการจ่ายหรือระบายน้ำมันแรงดันสูงนี้จำเป็นต้องเป็นชิ้นส่วนที่มีความแข็งแรงสูงตามไปด้วยเนื่องจากชิ้นส่วนในการควบคุมแรงดันน้ำมันในชุดปัมพ์หัวฉีดเชื้อเพลิงมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาภายใต้แรงดันค่อนข้างสูง ดังนั้นการสึกหรอหรือแตกหักของชิ้นส่วนภายในปัมพ์หัวฉีดเชื้อเพลิงย่อมเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาการใช้งาน

ปัมพ์หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถสร้างแรงดันได้ 100-250bar ในระบบคอมมอนเรล จะใช้ปัมพ์แรงดันสูงทำหน้าที่สร้างแรงดันน้ำมันสูงอัดน้ำมันเข้าสู่รางร่วม (Common rail) เพื่อรักษาแรงดันในระบบให้ทุกสูบเท่ากัน รोजหะการฉีดที่เหมาะสม ที่คำนวณจากหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Units) โดย ECUจะรับค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆ เช่นเซ็นเซอร์ตำแหน่งขาคันเร่ง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิอากาศ แรงดันเทอร์โบ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ปัมพ์หัวฉีดเชื้อเพลิงในรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุโลหะ

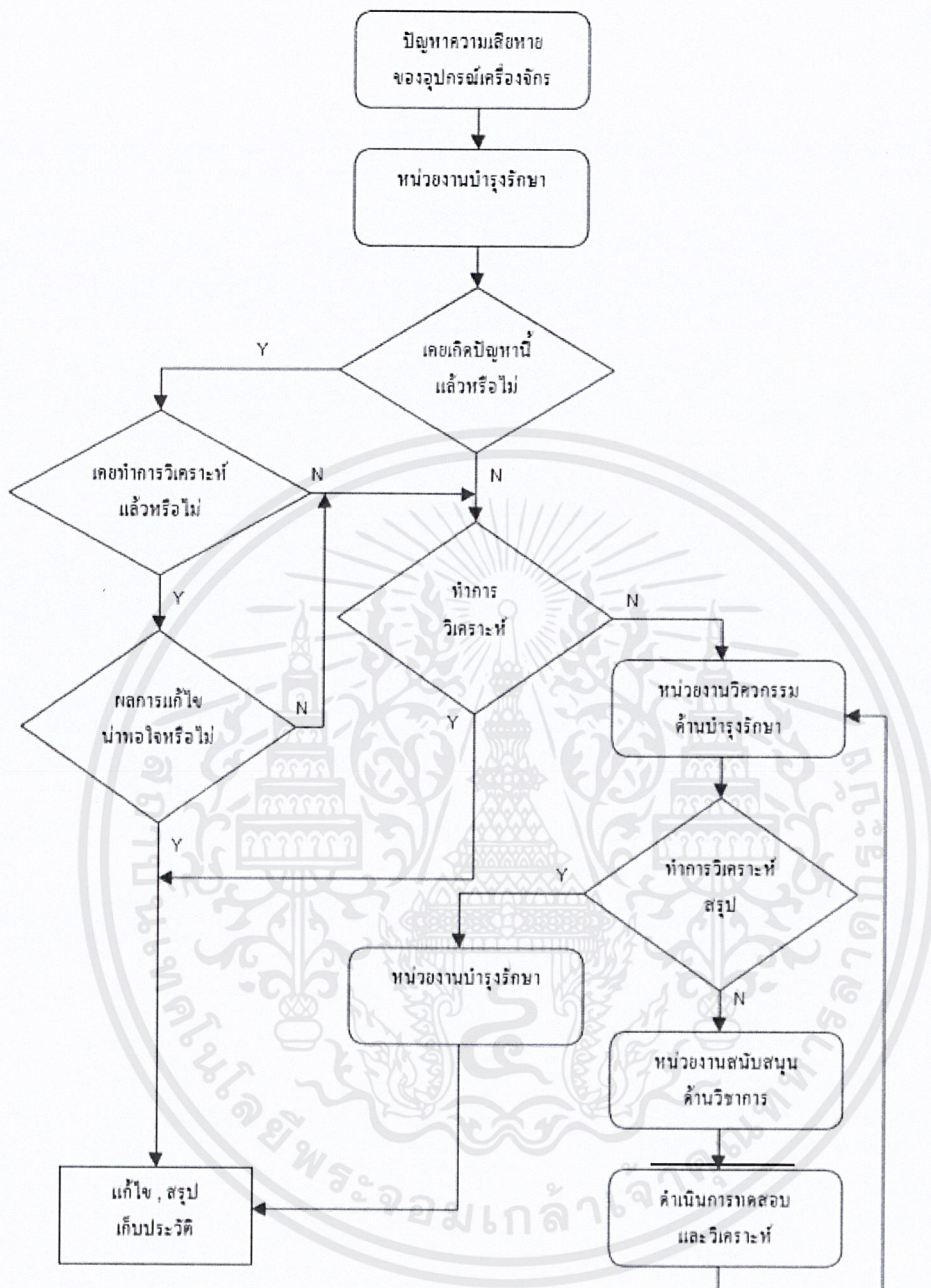
ในการใช้งานอุปกรณ์เครื่องจักรหรือวัสดุโลหะต่างๆเมื่อใช้งานไประยะหนึ่งย่อมจะเกิดปัญหา หรือความเสียหาย (FAILURE) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ปกติที่เกิดขึ้นกับ เครื่องจักรและอุปกรณ์มีผลทำให้การทำงานโดยรวมบกพร่อง และเป็นเหตุต่อเนื่องทำให้ต้องหยุดการทำงานหรือไม่สามารถทำงานต่อไปได้ โดยสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์เครื่องจักร (วัสดุโลหะต่างๆ) ประกอบด้วย

- ความเสียหายจากเกิดจากเหตุการณ์ธรรมชาติ หรือจากนอกเหนือความคิด เช่น ฟ้าผ่า ไฟไหม้
- ความเสียหายจากกระบวนการผลิต อุปกรณ์เครื่องจักร (วัสดุโลหะต่างๆ) นั้นๆ
- ความเสียหายจากการใช้งาน เช่น อายุการใช้งานมาก การใช้งานไม่เหมาะสม
- ความเสียหายจากการขาดการบำรุงรักษา เช่น เมื่อถึงเวลาที่ต้องทำการซ่อมบำรุง แต่ไม่ได้ทำยังเดินเครื่องทำงานต่อไป เป็นผลให้ประสิทธิภาพพลดลงและนำไปสู่การเกิดความเสียหาย

ในการวิเคราะห์ความเสียหายของอุปกรณ์เครื่องมือ(วัสดุโลหะ) ในโรงงานโดยทั่วไปมี หน่วยงานอยู่ 3 หน่วย คือ

- หน่วยงานบำรุงรักษา
- หน่วยงานวิศวกรรมด้านบำรุงรักษา
- หน่วยงานสนับสนุนด้านวิชาการ

หน่วยงานทั้ง 3 หน่วยต้องทำงานร่วมกันจะมีขั้นตอนในการศึกษาถึงสาเหตุ วิเคราะห์ปัญหา รวมทั้งการแก้ไขดัง FLOWCHART ดังนี้



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุ

2.2.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเสียหาย

1. รวบรวมข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับอุปกรณ์เครื่องจักร

1.1 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์เครื่องจักร เช่น

- DRAWING , SPECIFICATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระบวนการทางกล เช่น MACHINING
 - กระบวนการทางความร้อน เช่น การหล่อ
- เพื่อข้อมูลในการนำไปวิเคราะห์และแก้ปัญหา

1.2 ประวัติการใช้งาน

- การทำงานและหน้าที่ว่าเหมาะสมหรือไม่
- สภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด เป็นต้น
- ขนาดและลักษณะแรง
- อายุการใช้งาน

2. การตรวจสอบเบื้องต้นจากชิ้นส่วนที่เสียหาย

- ตรวจสอบด้วยสายตา เพื่อดูลักษณะรอยแตกว่าเป็นอย่างไร มีขนาดและปริมาณ มากน้อยเท่าไร มีการเปลี่ยนแปลงของสีหรือไม่ และสภาพแวดล้อมทั่วไป เช่น การจับตัวของ SLAG รวมทั้งสิ่งผิดปกติอื่นที่พบ
- บันทึกภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น เช่น รอยแตกโดยเก็บรายละเอียดให้มากที่สุด และทุกครั้งที่บันทึกภาพต้องบอกตำแหน่งชิ้นส่วนและกำลังขยาย รวมทั้งบันทึก ภาพของสภาพต่างๆ ไป

3. การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

เป็นการตรวจสอบหาจุดบกพร่องหรือความไม่ต่อเนื่อง ของอุปกรณ์หรือชิ้นงานทั้งบริเวณผิวและภายในชิ้นงาน ทำให้เราทราบถึงลักษณะและขนาดของรอยแตกที่แท้จริง รอยแยกเล็กๆ ที่ไม่เห็นด้วยตาเปล่า รวมทั้งความพองตัวของผิวชิ้นงาน

3.1 การทดสอบโดยไม่ทำลายที่ใช้งานวิเคราะห์

- MAGNETIC PARTICLE INSPECTION
- LIQUID PENETRANT INSPECTION
- ULTRASONIC INSPECTION
- EDDY-CURRENT INSPECTION
- RADIOGRAPHY INSPECTION
- LIQUID PENETRANT INSPECTION

3.2 การเลือกใช้เทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบใหญ่ๆ ดังนี้

- ชนิดและแหล่งกำเนิดของความเสียหาย จุดบกพร่อง หรือความไม่ต่อเนื่อง
- ชนิดและกรรมวิธีการผลิตของวัสดุ หรือชิ้นงาน
- รูปร่างลักษณะของชิ้นงาน และความสะดวกในการปฏิบัติการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระดับความยอมรับได้ของจุดบกพร่องหรือความไม่ต่อเนื่อง
- เครื่องมือตรวจสอบที่หาได้หรือมีอยู่
- ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบ

4. การตรวจสอบทางด้านเชิงกล

เป็นการตรวจสอบที่ต้องมีการทำลายชิ้นตัวอย่างซึ่งข้อมูลที่ได้อาจประกอบด้วย

- ทราบข้อมูลคุณสมบัติเชิงกล
- ทราบว่าชิ้นงานแข็งแรงพอหรือไม่
- ทราบคุณสมบัติที่สภาพอื่นๆ เช่น HIGH TEMP
- หาสภาพที่ไม่เหมาะสมในการใช้งาน

การทดสอบเชิงกลที่ใช้ในงานวิเคราะห์มีดังนี้

- TENSILE TEST
- IMPACT TEST
- COMPRESSIVE TEST
- HARDNESS TEST
- FATIGUE TEST
- CREEP TEST เป็นต้น

5. การตรวจสอบทางด้านโลหะวิทยา

เป็นการตรวจสอบภายในเนื้อของวัสดุ โดยพิจารณาการรอยแตกที่เกิดขึ้นจากบริเวณใด เช่น ตามแนวขอบแกรนหรือผ่าแนวแกรน หรือดูสภาพโครงสร้างของโลหะที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ 2 แบบคือ

- MACROSCOPIC INSPECTION การตรวจสอบโดยอัตราขยายต่ำ
- MICROSCOPIC INSPECTION การตรวจสอบโดยอัตราขยายสูง

6. การตรวจสอบในสภาพที่คล้ายกับการใช้งานจริง

เพื่อศึกษาถึงต้นเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นว่าเกิดขึ้นจากสาเหตุอะไรบ้าง และเพื่อศึกษาหาแนวทางในการแก้ไข

7. การวิเคราะห์ทางด้านเคมีของวัสดุ

เป็นการดูลักษณะประกอบทางเคมีเหมือนกับที่รายงาน หรือรับรองไว้หรือไม่ เพื่อเป็นการยืนยันถึงสาเหตุปัญหาและแนวทางในการแก้ไขได้ดี ยิ่งขึ้น

8. การวิเคราะห์กลไกการเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 8 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การสรุปผล

เป็นการบอกว่าสาเหตุของปัญหาเกิดจากอะไร มีแนวทางในการแก้ไขอย่างไร และวิธีป้องกันการเกิดปัญหาเพื่อให้ปัญหานั้นหมดไป

2.2.2 ความเสียหายของวัสดุ

การแตกหัก (Fracture)

หมายถึง การแตก หัก หรือการขาดออกจากกัน ของวัสดุโดยเริ่มจากการเกิดจุดเริ่มต้นรอยแตก (Crack initiation) ขึ้นในวัสดุเนื่องจากความเค้นจากนั้นรอยแตกที่เกิดขึ้นจะขยายตัวออกไป (Crack propagation) การแตกหักของวัสดุ(ขึ้นกับความสามารถในการแปรรูปถาวร) แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- การแตกแบบเหนียว (Ductile fracture)
- การแตกแบบเปราะ (Brittle fracture)

การแตกหักแบบเหนียว (Ductile fracture)

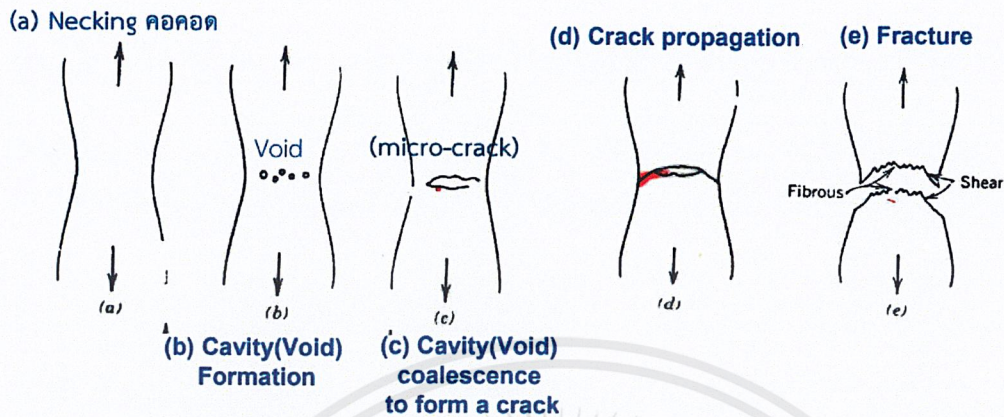
แบ่งออกเป็นหลายกรณีดังนี้

- เกิดการแปรรูปอย่างถาวร (Plastic deformation) รอบรอยแตก
- รอยแตกเสถียร (Stable) คือ รอยแตกจะไม่ขยายตัว เว้นแต่จะได้รับความเค้นเพิ่มขึ้น
- เมื่อทดสอบด้วยแรงดึง (Tensile Test) จะเกิดคอคอดตรงรอยแตกกรวยแยกของโลหะที่แตกแบบเหนียวจะมีลักษณะที่เรียกว่า 'cup and cone'

กลไกการแตกแบบเหนียว มี 4 ขั้นตอน คือ

1. จะเริ่มเกิดรูโพรงขนาดเล็ก (small voids) ขึ้น เช่น ในบริเวณที่คอคอดตัว ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเข้มของความเค้นสูง (รูป a, b)
2. จากนั้นรูเล็กๆ เหล่านั้นที่เกิดจะรวมตัวกัน (void coalescence) เกิดเป็นรอยแตกขนาดเล็ก (micro-crack) (รูป c) หรือจุดเริ่มต้นรอยแตก (crack initiation) ทั้งนี้ในบริเวณจุดบกพร่องภายในวัสดุ เช่น บริเวณช่องว่างขนาดเล็ก(void), อนุภาคของแข็ง (particle), สิ่งเจือปน (inclusions) ก็สามารถเป็นจุดเริ่มต้นรอยแตกได้ (เป็นบริเวณที่มีความเข้มของความเค้นสูง)
3. รอยแตกขนาดเล็กนั้นจะโตขึ้น (crack propagation) ไปตามทิศที่ตั้งฉากกับแรงที่กระทำอยู่ รอยแยกโตจากข้างในมาสู่ผิวชิ้นงานโดยแรงเฉือนที่ทำมุมกับทิศของแรงดึงประมาณ 45 องศา (รูป d)

4. วัสดุเกิดการแตกหัก หรือขาดออกจากกันในที่สุด (รูป e)



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการแตกหักแบบเหนียวในวัสดุ

การแตกแบบเปราะ (Brittle fracture)

ชิ้นงานจะแตกหักโดยมีการแปรรูปถาวรเล็กน้อยหรือไม่มีเลยทำให้มีค่าความเหนียวต่ำ ผิวรอยแตกค่อนข้างตรง และค่อนข้างวาวเมื่อมองด้วยตาเปล่า รอยแตกจะไม่เสถียร หรือสามารถขยายตัวได้โดยไม่ต้องเพิ่มความเค้น โดยรอยแตกจะขยายตัวเร็วในแนวตั้งฉากหรือเกือบตั้งฉากกับแนวแรง พบมากในเซรามิกส์ น้ำแข็ง โพลีเมอร์บางชนิด โลหะบางชนิดที่อุณหภูมิต่ำ โลหะที่แตกแบบเปราะค่อนข้างที่จะอันตราย เพราะสามารถเกิดการแตกหักได้ง่ายในบริเวณที่มีความเค้นสะสมสูงและมีรูพรุนมากๆ

2.2.3 การล้า (FATIGUE)

เมื่อโลหะได้รับแรงที่ต่ำกว่า Yield Strength เป็นรอบติดต่อกันเป็นเวลานานจะเกิดการสะสมความเค้นทำให้ผิวเกิดการเสียดสีและเกิดรอยร้าวเล็กๆที่ผิวนอกของชิ้นงานซึ่งมักจะมองด้วยตาเปล่าไม่เห็นจากนั้นทุกๆรอบของแรงเค้นที่กระทำ (Cycle stresses) จะทำให้รอยร้าวขยายตัวเพิ่มขึ้นไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของแรง การขยายของรอยร้าวจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จนเมื่อชิ้นงานส่วนที่ยังติดกันไม่สามารถรองรับแรงเค้นได้อีกต่อไป ทำให้เกิดการหักขึ้นอย่างรวดเร็ว กระบวนการแตกหักจากความล้า ประกอบด้วย

Crack initiation (formation)

คือการเริ่มต้นของรอยแยกในบริเวณที่มีความเค้นสะสมอยู่สูง

- รอยแตก ตำแหน่งบริเวณผิว ตำแหน่งในเนื้องาน รอยขีดข่วน รอยบาก

- บริเวณที่มี Dislocations, grain boundaries, สารมลทิน

Crack propagation

การขยายตัวเกิดที่ละน้อยของรอยแยกโดยผิวรอยแตกอาจแบ่งออกเป็น 2 สถานะคือ

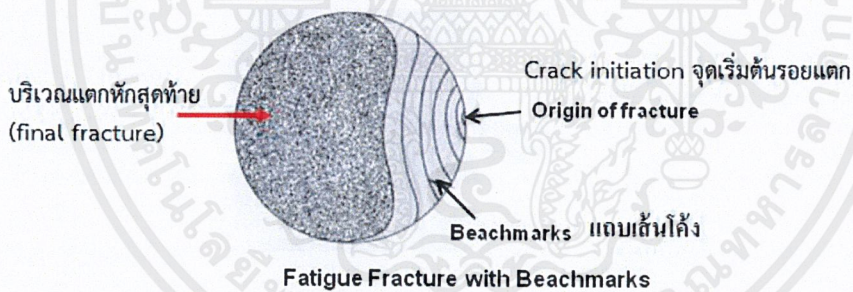
1. รอยร้าวเคลื่อนตัวช้า ระยะสั้นๆ จากผิวทำมุม $\sim 45^\circ$ กับแนวแรง
2. รอยร้าวเคลื่อนตัวเคลื่อนตัวเร็วขึ้นทำมุมตั้งฉากกับแนวแรง

Final fracture

หรือการเกิดการแตกหักทันที เมื่อรอยแตกมีขนาดใหญ่พออาจเป็นการแตกหักแบบเหนียว หรือการแตกหักแบบเปราะแล้วแต่วัสดุ

โดยลักษณะผิวแตกของชิ้นงานจากความล้า จะมีลักษณะพิเศษ คือ

จุดกำเนิด หรือ Crack initiation จะมีผิวลักษณะเรียบ กว่าบริเวณการขยายตัวของรอยแตก จากความล้า บางวัสดุจะเห็นเป็นแถบเส้นโค้ง (beachmarks) ออกไปจากจุดกำเนิด (บางชนิดอาจจะไม่เห็นเส้นนี้ โดยเฉพาะวัสดุเปราะ) และสุดท้ายบริเวณแตกหักสุดท้าย บริเวณนี้จะเกิดการแตกหักอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกินค่าแรงวิกฤติ ดังนั้นลักษณะรอยแตกจะขึ้นกับว่าเป็นวัสดุอะไร ถ้าเป็นวัสดุเปราะก็จะมีผิวเรียบ ถ้าเป็นวัสดุเหนียวก็จะมีผิวแตกแบบเหนียว ดังรูป



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงลักษณะผิวแตกของชิ้นงานจากความล้า

2.2.4 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการวิเคราะห์

การเตรียมชิ้นงานมีความสำคัญยิ่ง โดยมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ทั้งนี้ต้องเลือกวิธีที่เหมาะสมกับวัสดุ และโครงสร้างที่ต้องการวิเคราะห์เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีคุณสมบัติอ่อนนุ่ม ต่อการแปรรูปเย็นซึ่งอาจทำให้เกรนเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ส่วนเหล็กหล่อ (C = 2 ถึง 4.5%) มีความเปราะสูง สำหรับเหล็กกล้าชุบแข็ง การเตรียมชิ้นทดสอบต้องระวังไม่ให้ความร้อนเพราะมีฉะนั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื่องจากความร้อนได้นอกจากนั้นจะต้องคำนึงถึงทิศทางของการขึ้นรูปของชิ้นงานด้วย ซึ่งอาจ เป็นลักษณะแนวยาวหรือแนวขวาง เพราะในแต่ละทิศทางจะมีลักษณะโครงสร้างแตกต่างกัน

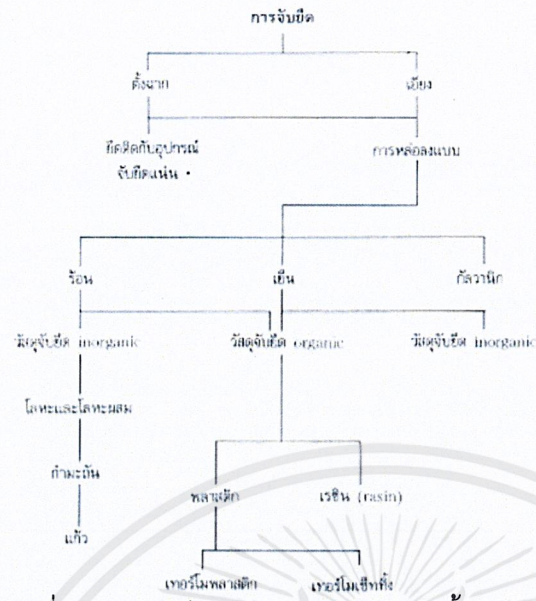
การตัดชิ้นทดสอบ การเลือกและการตัดตัวอย่างชิ้นทดสอบ เพื่อทำการทดสอบเป็นการกระทำขั้นแรกของการเตรียมชิ้นทดสอบ ซึ่งนับว่าสำคัญมากการ เลือกตัวอย่างไม่ถูกต้อง ก็จะทำให้การวิเคราะห์ในขั้นต่อไปไม่มีความหมาย และแก้ไขได้ ยาก ชิ้นทดสอบที่ถูกตัด จะต้องสามารถนำผิวตัดไปทำการขัดแต่งต่อไปได้และจะต้องหลีกเลี่ยงการตัดที่จะทำให้ วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงนี้ได้แก่การร้าวหรือการขยายตัวของรอยร้าว และการแตกหัก นอกจากนี้ยังอาจมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื่องจากความร้อน ซึ่งได้แก่การคืนรูปผลึก (Recrystallisation) การ คืบตัว (Tempering) และการหลอมละลาย โดยปกติสามารถป้องกันได้โดยการหล่อเย็น (ด้วยน้ำ น้ำมัน อากาศเฉื่อย ฯลฯ)



รูปที่ 2.5 แสดงประเภทของการตัดชิ้นงานทดสอบต่างๆ

การจับยึดชิ้นทดสอบ

การจับยึดชิ้นทดสอบมีความจำเป็นในกรณีที่ชิ้นทดสอบ มีขนาดเล็ก อ่อนมาก เปราะ หรือเป็นรูพรุน และเมื่อ ต้องการให้ได้ความคมที่ขอบชิ้นทดสอบ นอกจากนี้ถ้าต้องการจับยึดชิ้นทดสอบหลาย ๆ ชิ้นพร้อม ๆ กัน หรือใน กรณีที่ต้องการทำงานกับเครื่องอัตโนมัติ ส่วนใหญ่จะทำการจับยึดชิ้นทดสอบหลังจากการตัด แต่ในบางครั้งอาจทำการจับยึดก่อนการตัดก็ได้เช่น ชิ้น ทดสอบเล็ก ๆ ซึ่งมีจำนวนมาก ชิ้นทดสอบที่ถูกจับยึดแล้วจะสามารถทำให้การทำงานกับชิ้นทดสอบได้อย่างสะดวก การจับยึดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการต่างๆ ของการจับยึดชิ้นงาน

การขัดละเอียด (Grinding)

หลังจากการตัดชิ้นทดสอบอย่างถูกต้อง และถ้าจำเป็นอาจต้องจับยึดชิ้นทดสอบเพื่อให้สะดวกต่อการเตรียม ต่อไป การขัดละเอียดจะขัดด้วยกระดาษทราย โดยเริ่มจากกระดาษทรายหยาบ และเพิ่มความละเอียดขึ้นเรื่อย ๆ ความหยาบละเอียดของกระดาษทรายจะกำหนดเป็นเบอร์เช่น เบอร์ 150 จะหยาบกว่า เบอร์ 280 หรือเบอร์ 400 จะ หยาบกว่า เบอร์ 1200 ขณะที่เปลี่ยนเบอร์ของกระดาษทรายจากหยาบไปละเอียดจะต้องหมุนชิ้นทดสอบไป 90 องศา เพื่อให้รอยขัดใหม่ที่เกิดขึ้นทับกับรอยขัดเก่า และจะทำให้สามารถรู้ได้ว่า รอยขัดเก่าถูกขัดออกหมดหรือยัง ในขณะที่ ขัดควรจะใช้น้ำช่วย เพื่อไม่ให้เกิดความร้อน แล้วยังทำให้เม็ดทรายที่หลุดและเศษของชิ้นทดสอบสามารถไหลออกไปได้ การขัดละเอียดควรจะขัดไปจนถึง กระดาษทรายเบอร์ 800 ถึง 1000 การขัดกระดาษทรายสามารถขัดด้วยมือโดยวางกระดาษทรายลงบนแผ่นเรียบเช่นแผ่นกระจก โดยใช้มือจับชิ้น ทดสอบขัดไปทางเดียว หรือจะขัดโดยใช้เครื่องขัด เครื่องขัดจะมีลักษณะเป็นจานหมุน กระดาษทรายจะถูกวางไว้บน จานหมุน และมีท่อฉีดน้ำคอยฉีดน้ำอยู่ตลอดเวลา

การขัดมัน (Polishing)

หลังจากขัดละเอียดด้วยกระดาษทรายจนถึงเบอร์ 800 หรือ 1000 แล้วจะเห็นว่าผิวของชิ้นทดสอบมีลักษณะ เป็นเส้นตามแนวของการขัด ซึ่งเมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์จะยิ่งเห็นชัดเจนขึ้น ฉะนั้นในการวิเคราะห์โครงสร้าง ด้วยกล้องจุลทรรศน์จึงยังไม่เพียงพอต้องทำให้ผิวของชิ้นทดสอบ มีความเรียบมากกว่านี้ซึ่งจะทำได้โดยการขัดมัน การขัดมัน โดยจะขัดบนเครื่องขัด และมีผงขัดช่วยในการขัด ผงขัดที่ใช้มีหลายประเภท

ที่นิยมใช้ได้แก่ อลูมิน่า (อลู มิเนียมออกไซด์ Al_2O_3) ผสมน้ำหรือเป็นครีม การขัดควรขัดเปียก นอกจากนั้นยังนิยมใช้ผงเพชรซึ่งมีขนาดระหว่าง 7 ถึง 1 ซึ่งเหมาะสำหรับวัสดุที่มีเนื้อแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) เช่น เหล็กหล่อสีเทา ซึ่ง สามารถตรวจดูรูปร่างของแกรไฟต์ได้ทันทีหลังจากการขัดมันโดย ยังไม่ต้องกัดกรด ผ้าสักหลาดที่ใช้อย่างสามารถ แยกออกเป็นประเภทที่มีขนยาว ซึ่งมีความนิ่มสูงทำให้สามารถขัดผิวได้ความเรียบมันสูง แต่ผลเสียคือ ทำให้บริเวณ ขอบกลายเป็นผิวโค้ง ข้อเสียนี้จะสามารถแก้ไขได้โดยการใช้ผ้าที่มีขนสั้น และมีความนิ่มน้อยกว่า แต่ผิวที่ได้อาจจะ มีรอยขีดหลงเหลืออยู่บ้าง

การกัดกรด (Etching)

หลังจากการขัดมัน ถ้านำชิ้นทดสอบมาดูที่กล้องจุลทรรศน์ก็จะไม่สามารถเห็นเกรนของเหล็กได้จึงจำเป็นต้องทำให้มองเห็นซึ่งทำได้โดยการกัดด้วยกรด เนื่องจากเกรนแต่ละชนิดมีความสามารถทนต่อกรดได้ไม่เท่ากัน หลังจากถูกกรดกัดเกิดเป็นผิวไม่เรียบและเกิดเงาขึ้น บริเวณขอบเกรนจะถูกกัดกัดมากกว่าบริเวณเกรนจึงทำให้ สามารถมองเห็นเกรนได้ แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.7 แสดงพื้นผิวชิ้นงานหลังจากการกัดกรด

ตาราง 2.1 แสดงชนิด และวัสดุของกรดผสมที่ใช้ในการกัดกรดเปิดพื้นผิวชิ้นงาน

| วัสดุ | ชนิดของกรดผสม | วัสดุ | ชนิดของกรดผสม |
|--------------------------|---|--------------------|---|
| เหล็ก-เหล็กกล้าผสม | 1.5 cm ³ กรดไนตริก (Nitric HNO ₃) (f = 1.40 g/cm ³) 100 cm ³ แอลกอฮอล์ | ทองแดง-ทองแดงผสม | 10 g แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulphate (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈) 90 cm ³ น้ำกลั่น |
| | 4 g ผัก Picro acid (C ₆ H ₃ N ₃ O ₇) 100 cm ³ แอลกอฮอล์ | | 50 cm ³ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide NH ₃ + H ₂ O) 20-50 cm ³ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide H ₂ O ₂) 50 cm ³ น้ำกลั่น |
| อลูมิเนียม-อลูมิเนียมผสม | 0.5 cm ³ (Hydrofluoric acid HF) ความเข้มข้น 40x 100 cm ³ น้ำกลั่น | นิกเกิล-นิกเกิลผสม | 10 cm ³ กรดไฮดรอกลอริก (Hydrochloric HCL) 100 cm ³ น้ำกลั่น |
| | 30 cm ³ กรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้น 40x 10 cm ³ กรดไนตริก 30 cm ³ กlycerin (Glycerin C ₃ H ₈ O ₃) | | 65 cm ³ กรดไนตริก 18 cm ³ กรดน้ำส้ม (Acetic acid CH ₃ COOH) 17 cm ³ น้ำกลั่น |

2.2.5 การทดสอบวัดความแข็ง

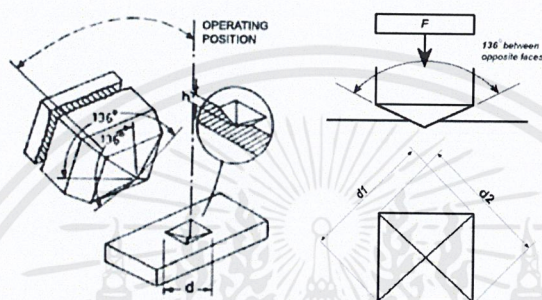
ความแข็ง คือ คุณสมบัติของวัสดุที่สามารถต้านทานหรือทนต่อการเสีรูปร่างพลาสติกโดยปกติ เกิดจากการทำให้เป็นรอยจากการกด อย่างไรก็ตามความแข็งอาจรวมถึง ความต้านทานต่อการตัด การขีด การขีด และการตัดการวัดความแข็ง ความแข็งไม่ใช่คุณสมบัติเนื้อแท้ของวัสดุที่กำหนดได้ด้วยค่าจำกัดความที่แน่นอนบนหน่วยพื้นฐานของมวล ความยาว และเวลา ค่าคุณสมบัติความแข็งคือผลของกระบวนการวัดที่กำหนด

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test)

วิธีทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ ประกอบด้วยการกดวัสดุทดสอบด้วยหัวกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม และมุม 136 องศา ระหว่างผิวหน้าตรงกันข้าม ภายใต้ภาระ 1 – 100 กิโลกรัมแรง เป็นระยะเวลา 10 – 15 วินาที เส้นทแยงมุมที่หลงเหลือบนผิวหน้าของวัสดุภายหลังจากการทำภาระออก จะถูกวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์และคำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นทแยง พื้นที่ผิวเอียงของรอยกดจะถูกคำนวณ ค่าความแข็งคำนวณ จากผลการกระทำต่อพื้นที่สี่เหลี่ยมของรอยกด

$$HV = \frac{1.854P}{d^2}$$

| | | |
|--------|----|---|
| โดยที่ | HV | คือ ค่าความแข็งแบบ Vickers (kgf/mm ²) |
| | P | คือ แรงกด (kgf) |
| | d | คือ ขนาดเส้นทแยงมุม d ₁ และ d ₂ เฉลี่ย(mm.) |



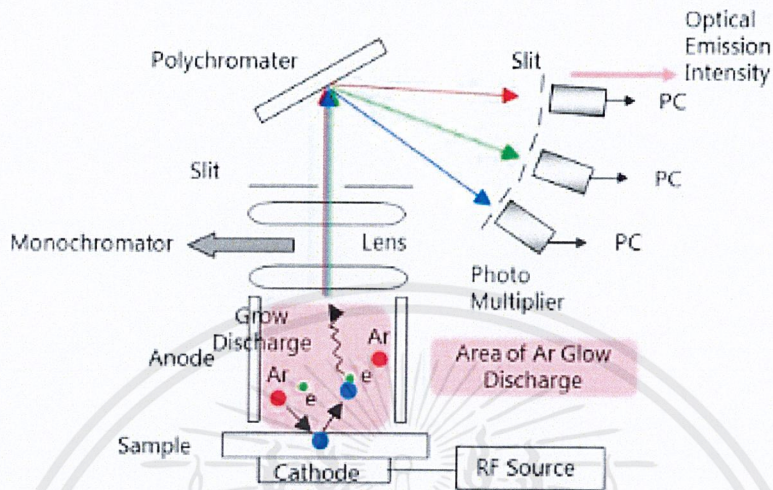
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของรอยกดที่ใช้ในการวัดค่าความแข็ง

เมื่อหาค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมได้ค่าความแข็งวิกเกอร์คำนวณได้จากสูตร แต่จะสะดวกมากขึ้นเมื่อใช้ตาราง ความแข็งวิกเกอร์ควรจรรยาณดังนี้ 800 HV /10 หมายความว่า ความแข็งวิกเกอร์ 800 โดยใช้ภาระ 10 กิโลกรัมแรง การให้ภาระที่แตกต่างกันจะให้ค่าความแข็งที่เท่ากันบนวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งดีกว่าการเปลี่ยนสเกลด้วยวิธีทดสอบความแข็งแบบอื่น ข้อได้เปรียบของการทดสอบความแข็งวิกเกอร์คือการอ่านค่าที่แม่นยำสูง และหัวกดแบบเดียวสามารถใช้ได้กับทุกประเภทของวัสดุและการชุบแข็งผิว แม้ว่าความแม่นยำและการปรับเปลี่ยนได้สะดวกสำหรับการทดสอบวัสดุที่แข็งมากและอ่อนมาก ภายใต้ภาระที่เปลี่ยนแปลงได้ เครื่องทดสอบความแข็งวิกเกอร์มีราคาแพงกว่าเครื่องทดสอบความแข็งบริเนลล์และรีอคเวลล์

2.2.6 การตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุ

โกลวดิซซาร์จออกพิกคอลอิมิสซันสเปกโทรเมตรี (Glow Discharge - Optical Emission Spectrometry, GD-OES) เป็นเทคนิคเพื่อหาลักษณะองค์ประกอบทางเคมีและหาความหนาของการเคลือบ การชุบหรือการสีกร่อนได้อย่างถูกต้องแม่นยำและรวดเร็ว สามารถใช้ในการตรวจสอบธาตุส่วนใหญ่ในตารางธาตุทั้งที่เป็นโลหะและไม่เป็นโลหะ โดยหลักการการทำงานของเครื่องค่อนข้างง่าย ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ ทำให้มีการศึกษาวิจัยเทคนิคนี้กับชนิดตัวอย่างต่างๆ มากมาย ทั้งในการหาลักษณะองค์ประกอบทางเคมี หาพื้นผิว

ความหนา/ลึก ผลการศึกษาวิจัยทำให้ในปัจจุบันโกลวดิสชาร์จออปติคอลอิมิสชันสเปกโทรสโคปี จึงเป็นที่เทคนิคที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงสำหรับการวิเคราะห์พื้นผิว



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องGlow Discharge Emission Spectroscopy

โกลวดิสชาร์จที่ใช้แก๊สความดันต่ำ (Low pressure glow discharge) เป็นผลของปรากฏการณ์การแตกตัว (breakdown phenomenon) ในสถานะที่แก๊สถูกทำให้แตกตัวเป็นไอออนและสามารถนำไฟฟ้าได้ การแตกตัวของแก๊สประกอบด้วยคู่ของไอออนบวกและอิเล็กตรอน (electron positive ion pairs) ที่สามารถเรียกว่า gaseous discharge หรือ conductive gas โดยโกลวดิสชาร์จเซลล์สามารถสร้างอย่างง่ายโดยใช้หลอดแก้วปลายปิดที่มีขั้วไฟฟ้า (electrode) ทั้งสองข้าง เมื่อทำให้สภาพในหลอดแก้วเป็นสุญญากาศ แล้วให้แก๊สเฉื่อย เช่น อาร์กอนที่ความดันต่ำระดับมิลลิทอร์ไปจนถึงความดันบรรยากาศเข้าไป ให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองในระดับ 500-1200 โวลต์ จะทำให้เกิดพลาสมาภายในหลอดแก้ว ทำให้หลอดแก้วมีแสงเปล่งออกมา เป็นที่มาของคำว่า “glow” เมื่ออะตอมถูกขับออกจากตัวอย่างและผ่านกระบวนการขนถ่ายจนเกิดการเปล่งแสงที่เป็นสัญญาณ โดยสัญญาณเหล่านี้จะออกจากแหล่งกำเนิด หรือ โกลวดิสชาร์จเซลล์ผ่านหน้าต่างและถูกแยกโดยเกรตติงเป็นความยาวคลื่นที่แตกต่างกันตามธาตุที่ถูกวิเคราะห์ แสงที่ถูกแยกออกมาสามารถถูกวิเคราะห์ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.8

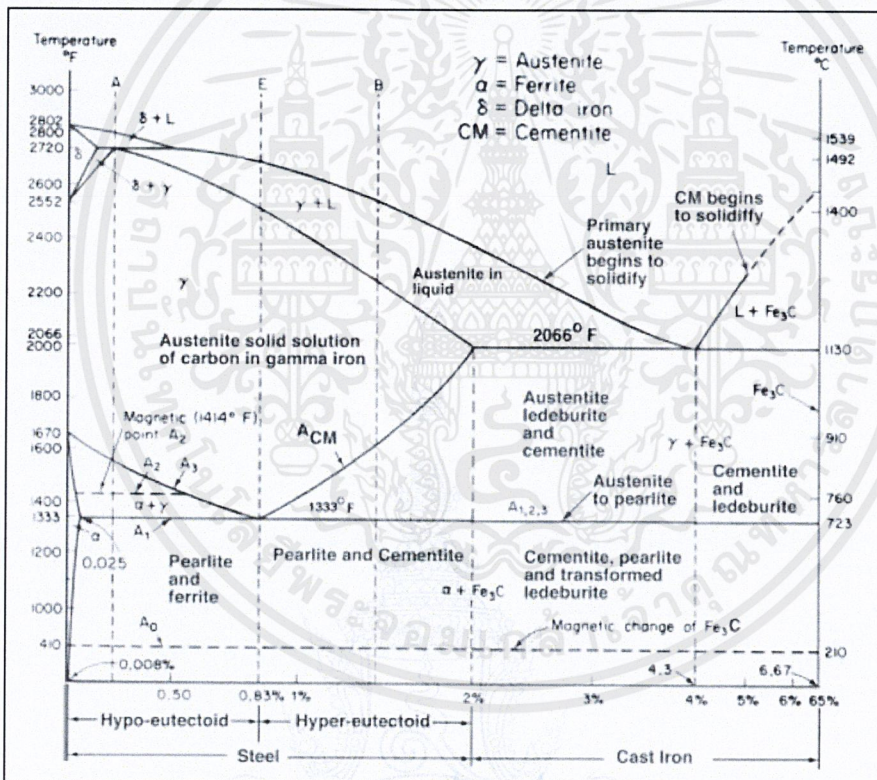
2.3 กระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติโลหะด้วยความร้อน

กรรมวิธีทางความร้อนเป็นวิธีการหนึ่งที่ยิยมใช้ในการปรับปรุงพัฒนาและควบคุมโครงสร้างของโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กและโลหะนอกกลุ่มเหล็ก ทั้งนี้ ก็เพราะว่ากรรมวิธีทางความร้อนมีวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก และโลหะที่ผ่านกรรมวิธีนี้จะไม่เสียรูปกรรมวิธีทางความร้อนเป็นการนำโลหะที่ต้องการปรับปรุงพัฒนาโครงสร้างไปอบให้ร้อนในระดับความร้อนต่างๆ กันหลังจากนั้นก็นำโลหะที่อบจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วไป

ทำให้เกิดความเย็นตัวด้วยตัวกลางที่ให้อัตราการเย็นตัวแตกต่างกันตามความต้องการ จุดประสงค์ของกรรมวิธีทางความร้อนนั้นถ้าพิจารณาจะเห็นได้ว่ามี 2 ประเภทด้วยกันกล่าวคือต้องการทำให้โลหะมีความแข็งเพิ่มขึ้น และต้องการทำให้โลหะอ่อนตัวลงจุดประสงค์ทั้ง 2 จะบรรลุผลได้นั้นจำเป็นต้องศึกษาสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีทางความร้อนสิ่งนั้นได้แก่ แผนภูมิสมดุลของเหล็กคาร์ไบด์ตลอดจนแผนภูมิการเย็นตัวของโลหะได้แก่ แผนภูมิเวลาอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลง

2.3.1 แผนภูมิสมดุลเหล็กกับเหล็กคาร์ไบด์ (Iron-Iron Carbide Diagram)

การทำกรรมวิธีทางความร้อนนั้นเราจำเป็นต้องศึกษาแผนภูมิสมดุลของเหล็กคาร์ไบด์โดยจะต้องศึกษาโครงสร้างจุลภาคต่างๆที่มีอยู่ในแผนภูมิสมดุล ซึ่งโครงสร้างต่างๆ นั้นมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.10 แผนภูมิสมดุลเหล็กกับเหล็กคาร์ไบด์ (Iron-Iron Carbide Diagram)

1) เหล็กเดลตา(Delta Iron)จากภาพที่ 2.9 พบโครงสร้างของเหล็กเดลตา เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส - 1539 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณคาร์บอนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.50 โดยจะอยู่ร่วมกับเหล็กหลอมเหลวส่วนเหล็กเดลตาที่มีคาร์บอนผสมอยู่ร้อยละ 0.18 นั้นจะอยู่ร่วมกับโครงสร้างออสเทนไนท์และสุดท้ายเป็นเหล็กเดลตาที่มีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ร้อยละ 0.10ใน

พื้นที่นี้จะมีเหล็กเดลตาอยู่เพียงโครงสร้างเดียวเท่านั้น เหล็กเดลตานั้นจะมีระบบผลึกเป็นแบบ BCC และมีสมบัติความเป็นแม่เหล็กนอกจากนั้นเมื่อปล่อยให้อุณหภูมิต่ำลงเหล็กเดลตาที่มีระบบผลึกแบบ BCC นั้นก็จะเปลี่ยนเป็นโครงสร้างออสเตนไนท์ที่มีระบบผลึกเป็นแบบ FCC

2) ออสเตนไนท์ (Austenite) หรือเหล็กแกมมา โครงสร้างเกิดขึ้นจากการละลายของคาร์บอนในเหล็กแกมมาโดยที่ปริมาณคาร์บอนจะเพิ่มสูงสุดประมาณร้อยละ 2 ที่อุณหภูมิ 1130 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติอ่อน เหนียว และไม่เป็นแม่เหล็ก (Non-Magnetic) เหมาะกับงานรีด (Rolling) งานอัด (Extrude) และงานตีขึ้นรูป (Forging)

3) เฟอร์ไรท์ (Ferrite) หรือเหล็กแอลฟา โครงสร้างเฟอร์ไรท์นี้ จะมีระบบผลึกแบบ BCC (Body Centered Cubic) โครงสร้างจะประกอบด้วยเหล็กที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ คือจะมีคาร์บอนผสมอยู่ไม่เกินร้อยละ 0.025 ดังนั้นโครงสร้างนี้ จึงไม่แข็งแรง อ่อน เหนียวและตีขึ้นรูปได้โดยง่ายแต่ถ้ามีโลหะชนิดอื่นๆ ผสมอยู่ เช่น โครเมียม และวาเนเดียม เป็นต้น โลหะผสมดังกล่าวจะสามารถละลายเข้าไปในเฟอร์ไรท์ได้ ฉะนั้นในการพิจารณาโครงสร้างของเฟอร์ไรท์ของเหล็กชนิดนี้ จะพบว่ามีโครเมียมและวาเนเดียมรวมอยู่

4) ซีเมนต์ไต์ (Cementite) หรือเหล็กคาร์ไบด์ (Fe_3C) มีโครงสร้างที่แข็งและเปราะรับแรงดึงได้น้อยแต่สามารถรับความเค้นแรงอัดได้สูง โครงสร้างซีเมนต์ไต์นี้ ไม่ปรากฏเป็นโครงสร้างเดี่ยวแต่จะแทรกตัวอยู่กับโครงสร้างอื่นๆ เช่น ซีเมนต์ไต์กับเฟอร์ไรท์ ซีเมนต์ไต์กับเฟิร์ลไลท์ และซีเมนต์ไต์กับเลเดอไรต์ เป็นต้น โครงสร้างซีเมนต์ไต์นี้ จะมีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 6.67 และมีระบบผลึกเป็นแบบ Orthorhombic จากภาพที่ 2.9 จะเห็นซีเมนต์ไต์ตาข่ายสีขาวตามขอบเกรนและในโครงสร้างของเฟิร์ลไลท์

5) เฟิร์ลไลท์ (Pearlite) โครงสร้างเฟิร์ลไลท์นี้ มีความหมายว่าไข่มุกทั้งนี้ ก็เพราะว่าเฟิร์ลไลท์เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงจะพบว่าโครงสร้างเป็นผิวมันคล้ายผิวของไข่มุกสำหรับโครงสร้างเฟิร์ลไลท์จะมีความแข็งมากกว่าโครงสร้างออสเตนไนท์ และเกิดขึ้นสมบูรณ์ที่สุดที่จุดยูเทคตอยด์ (Eutectoid) ในช่วงอุณหภูมิ 723 องศาเซลเซียส ที่ส่วนผสมของคาร์บอนร้อยละ 0.83 โครงสร้างเฟิร์ลไลท์นี้ เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยเฟอร์ไรท์กับซีเมนต์ไต์เรียงกันเป็นแถวสลับกันอย่างมีระเบียบ

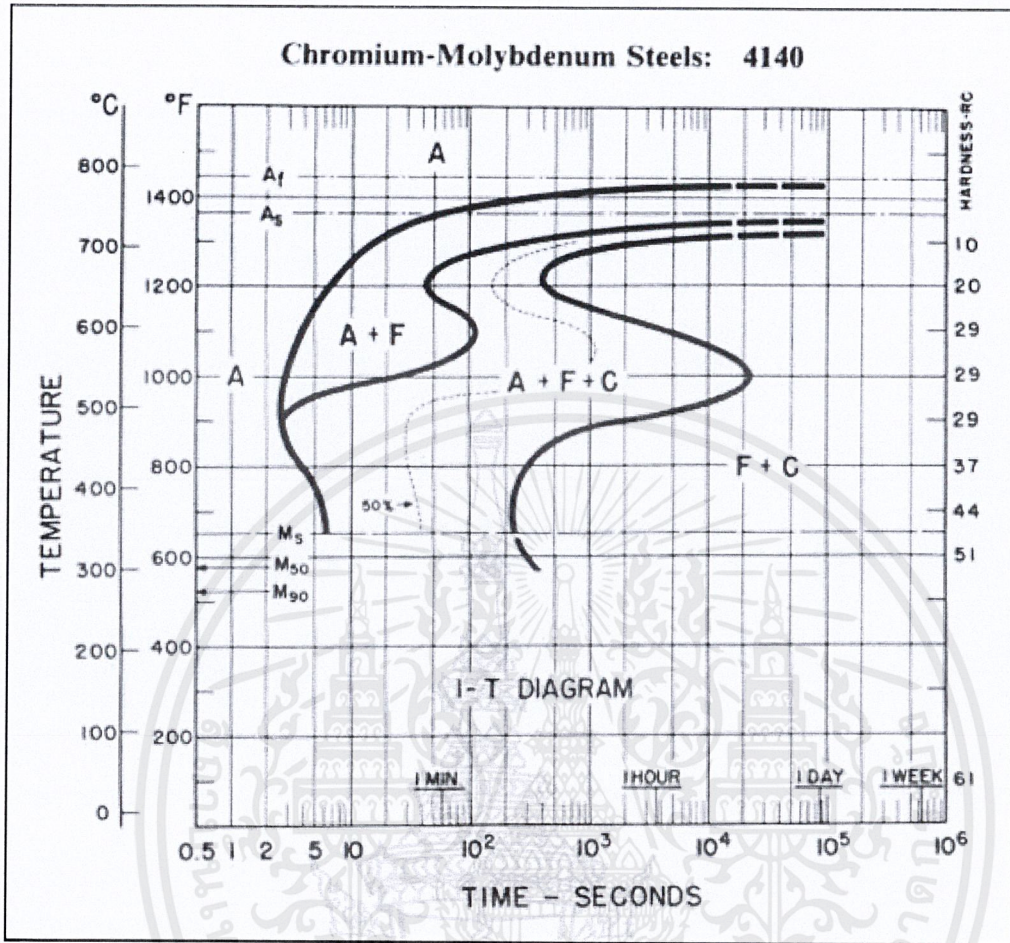
6) มาร์เทนไซต์ (Martensite) โครงสร้างมาร์เทนไซต์นี้ จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อทำการเผาเหล็กจนโครงสร้างเปลี่ยนไปเป็นออสเตนไนท์ทั้งหมดซึ่งในขณะเดียวกันอะตอมของคาร์บอนจะแทรกตัวอยู่กับหน่วยเซลล์ของเหล็ก จากนั้นทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยชุบลงในตัวกลางใดๆ ซึ่งความเร็วในการชุบเพื่อให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์นั้นจะต้องเร็วกว่าการชุบเพื่อให้เกิดโครงสร้างอื่นๆ ทั้งนี้ ก็เพราะตำแหน่งที่เกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์นั้นจะอยู่ที่ส่วนล่างสุดของแผนภูมิ T.T.T.

Diagram นอกจากนั้นตำแหน่งของโครงสร้างมาร์เทนไซต์ยังอยู่ชิดกับเส้นอุณหภูมิของแผนภูมิอีกด้วย ดังนั้นการทำให้เกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์จะต้องทำให้เกิดอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็วจึงส่งผลให้เกิดการบิดตัวของระนาบในหน่วยเซลล์อันเนื่องมาจากมีอะตอมของคาร์บอนตกค้างในระนาบของหน่วยเซลล์นั้น การหดตัวกลับคืนสภาพของหน่วยเซลล์ที่มีคาร์บอนตกค้างอยู่จึงไม่สามารถทำได้ ส่วนระนาบหน่วยเซลล์อื่นๆ ที่ไม่มีคาร์บอนตกค้างอยู่ก็สามารถหดตัวกลับเข้าที่เดิมได้จากเหตุผลดังกล่าวความบิดเบี้ยวในแนวระนาบจึงเกิดขึ้นและด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้โครงสร้างมาร์เทนไซต์มีความแข็งแรงสูงมากโดย มีความแข็งแรงสูงถึง 69 HRC

2.3.2 แผนภูมิเวลา อุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลง (Time Temperature Transformation Diagram แผนภูมิ T.T.T. Diagram)

แผนภูมินี้ บางครั้งเรียกว่าแผนภูมิ T.T.T. Diagram เป็นแผนภูมิที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็กในขณะที่เหล็กนั้นถูกทำให้เย็นตัวภายในเวลาที่กำหนดไว้ จากแผนภูมิสมมูลเหล็กกับคาร์ไบด์จะพบว่าเส้น A1 นั้นเป็นเส้นเริ่มการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เช่นเหล็กไฮโปยูเทคตอยด์เมื่อถูกอบที่อุณหภูมิเหนือเส้น A1 เล็กน้อย เฟอไรต์จะเปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์สำหรับเฟอร์ไรต์นั้นจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นออสเทนไนต์ก็เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเหนือเส้น A3

แต่สำหรับเหล็กไฮเปอร์ยูเทคตอยด์เมื่อถูกอบที่อุณหภูมิเหนือเส้น A1 เล็กน้อย เฟอไรต์จะเปลี่ยนไปเป็นออสเทนไนต์ ถ้าอบให้อุณหภูมิสูงขึ้นไปอีกจนอุณหภูมิเกินกว่าเส้น ACM ซีเมนต์ไต์ที่เหลืออยู่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นออสเทนไนต์เช่นเดียวกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ้าจะปรับปรุงโครงสร้างของเหล็กก็ต้องอบเหล็กนั้นๆ ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นออสเทนไนต์เสียก่อน และหลังจากนั้นจึงทำให้ออสเทนไนต์เปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้างอื่นๆ ตามที่เราต้องการซึ่งโครงสร้างดังกล่าวนี้จะพบอยู่ในแผนภูมิ T.T.T. Diagram ดังภาพที่ 2.10



รูปที่ 2.11 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา อุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (T.T.T. Diagram)

2.3.3 การอบชุบเหล็กกล้าด้วยความร้อน

การอบชุบเหล็กกล้าในที่นี่มิได้หมายถึงการชุบเหล็กให้แข็งเพียงอย่างเดียวแต่หมายถึงการใช้ความร้อนกระทำต่อเหล็กเพื่อเปลี่ยนสมบัติของเหล็กและโครงสร้างภายในของเหล็ก การอบชุบเหล็กที่สำคัญและใช้กันมากมีดังนี้

การชุบแข็ง (Hardening)

คือการชุบเพื่อให้เหล็กมีความแข็งขึ้น ขั้นแรกจะต้องเผาเหล็กจากอุณหภูมิบรรยากาศให้ร้อนประมาณ 800 องศาเซลเซียส - 900 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับชนิดของเหล็ก) ภายในเตาไฟฟ้าหรือเตาอบชุบอื่นๆ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้เมื่อเหล็กร้อนจนถึงอุณหภูมินี้ โครงสร้างของเหล็กจะเปลี่ยนไปเป็นออสเทนไนท์ทั่วๆ ไปมักจะเผาให้อุณหภูมิของเหล็กร้อนเลยเส้น A3 ไปประมาณ 50

องศาเซลเซียส -75 องศาเซลเซียส แต่จะไม่เผาเหล็กให้อุณหภูมิสูงเกินพิกัดนี้เพราะจะทำให้เกรนของเหล็กขยายตัวขึ้นซึ่งจะทำให้คุณภาพของเหล็กหลังจากการชุบเสียไปในทางปฏิบัติถ้าเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนต่ำกว่า 0.8% จะเผาให้อุณหภูมิสูงกว่าเส้น A3 ประมาณ 50 องศาเซลเซียส - 75 องศาเซลเซียส ถ้าเหล็กมีคาร์บอนสูงกว่า 0.8% จะเผาเพียงแค่อุณหภูมิเหนือเส้น A1 ประมาณ 50 องศาเซลเซียส - 75 องศาเซลเซียส เท่านั้นเหตุผลก็คือเพื่อต้องการรักษาซีเมนต์ไคต์ไว้ไม่ให้เปลี่ยนไปเป็นออสเตนไนท์เพราะซีเมนต์ไคต์มีความแข็งแรงสูงอยู่แล้ว เมื่อเผาเหล็กจนกลายเป็นออสเตนไนท์แล้วจะต้องทิ้งไว้ที่อุณหภูมินี้ระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงต่อความหนา 25 มิลลิเมตรเพื่อให้เหล็กร้อนทั่วถึงกันตลอดทั้งแท่งจากนั้นจึงจะนำเอาเหล็กออกจากเตาทำให้เย็นโดยรวดเร็วด้วยการจุ่มลงในน้ำ (Water Quench) หรือในน้ำมัน (Oil Quench) ในขณะที่ทำให้เหล็กเย็นโดยรวดเร็วนี้ ออสเตนไนท์จะเปลี่ยนกลับไปเป็นเฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลท์ไม่ทันแต่จะให้โครงสร้างใหม่ที่มีความแข็งแรงสูงเรียกว่ามาร์เทนไซต์ถ้าจะพิจารณาโดยละเอียดแล้วมาร์เทนไซต์ก็คือเหล็กเฟอร์ไรท์นั่นเองแต่เป็นเหล็กเฟอร์ไรท์ที่มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าสภาพสมดุลตาม Equilibrium Diagram ที่เป็นเช่นนี้ เพราะอะตอมของคาร์บอนไม่มีเวลาพอที่จะเคลื่อนไหวยมารวมกันให้ซีเมนต์ไคต์ตั้งนั้นความแข็งแรงของเหล็กที่ผ่านการชุบจึงขึ้นอยู่กับสองสิ่ง คือ

- 1) ปริมาณธาตุคาร์บอนในเหล็กกล่าวคือถ้าในเหล็กมีธาตุคาร์บอนมากโอกาสที่เหล็กจะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ก็ยิ่งง่ายและให้ปริมาณของมาร์เทนไซต์มาก
- 2) อัตราความเร็วในการชุบกล่าวคือถ้าทำให้เหล็กเย็นเร็วๆ โอกาสที่ออสเตนไนท์จะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ก็มีมากในทางตรงกันข้ามถ้าปล่อยให้เหล็กเย็นช้าๆ ออสเตนไนท์จะเปลี่ยนเป็นเฟอร์ไรท์กับซีเมนต์ไคต์หมดไม่เกิดมาร์เทนไซต์เหล็กก็ไม่แข็ง

องค์ประกอบที่สำคัญในการชุบแข็ง

- 1) ปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเพราะการที่ออสเตนไนท์เปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ ในลักษณะการชุบแข็งธรรมดาด้วยน้ำเหล็กควรจะมีคาร์บอนมากกว่า 0.3% ส่วนธาตุที่ผสมในเหล็กอื่นๆ เช่น นิกเกิล โครเมียม และโมลิบดีนัมจะเพียงทำหน้าที่ช่วยให้การชุบแข็งได้ผลดีขึ้นเท่านั้น ความแข็งแรงของมาร์เทนไซต์จะขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอนดังตัวอย่างเช่น เหล็กคาร์บอน 0.35% สามารถชุบแข็งได้ความแข็งแรงประมาณ 50 HRC ตรงกันข้ามเหล็ก 0.02%C 10%Cr ได้ความแข็งแรงภายหลังการชุบแข็งเพียง 35 HRC
- 2) อุณหภูมิก่อนการชุบคืออุณหภูมิที่เหล็กจะต้องเปลี่ยนเป็นออสเตนไนท์ก่อนการชุบน้ำหรือน้ำมัน อุณหภูมิของเหล็กไม่สูงพอจนโครงสร้างเปลี่ยนเป็นออสเตนไนท์หมดเราจะชุบน้ำหรือน้ำเกลือ น้ำต่าง ความแข็งที่ได้จะไม่สูงเท่าที่ควรเพราะมาร์เทนไซต์ที่ได้จะต้องมาจากออสเตนไนท์

เท่านั้นและเป็นการเปลี่ยนโครงสร้างโดยปราศจากการกำเนิดนิวเคลียสไม่เหมือนอย่างเช่นเฟอร์ไรท์หรือซีเมนต์ไวด์

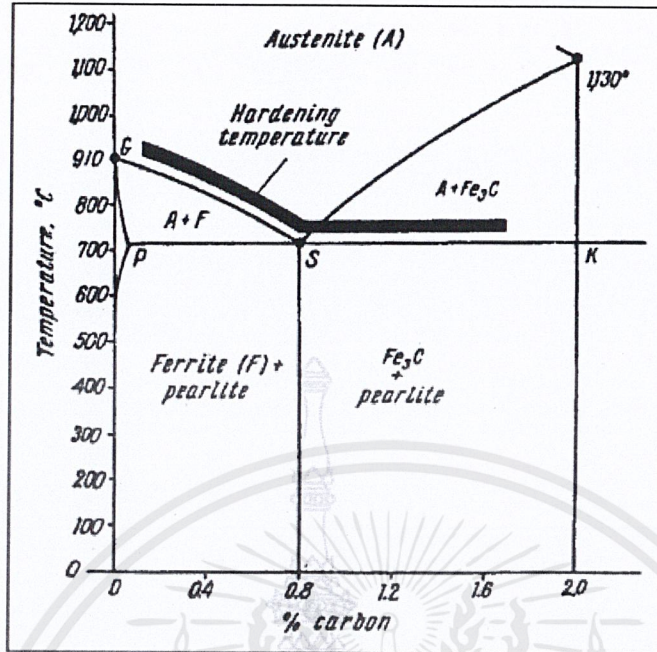
3) อัตราการเย็นตัวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ออสเตนไนท์จะเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์หรือเบนไนท์จะต้องเป็นอัตราการเย็นตัวที่สูงพอซึ่งจะปรากฏค่าว่าอัตราการเย็นตัววิกฤต (Critical Cooling Rate) หมายถึงอัตราการเย็นตัวที่ออสเตนไนท์เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์หรือเบนไนท์แต่จะได้เฟิร์ลไรท์หรือซอร์ไบแทน

อุณหภูมิสำหรับการชุบแข็ง (Hardening Temperature)

ในที่นี้จะขอแยกกล่าวถึงอุณหภูมิสำหรับการชุบแข็งเหล็กออกเป็น 2กรณี คือ

1) เหล็กไฮโปยูเทคตอยด์จะใช้อุณหภูมิสูงเหนือเส้น A330 องศาเซลเซียส - 50 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมินี้ จะได้โครงสร้างเป็นออสเตนไนท์ทั้งหมด ถ้าพิจารณาในกรณีนี้ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ และอยู่ในช่วง A1- A3 จะปรากฏมีเฟอร์ไรท์เหลืออยู่บางส่วนถ้าทำการชุบที่อุณหภูมินี้ ออสเตนไนท์จะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์แต่เฟอร์ไรท์จะไม่มี การเปลี่ยนแปลงคงสภาพอยู่อย่างเดิมเหล็กภายหลังการชุบจะไม่ได้ความแข็งสูงเท่าที่ควร และบริเวณโครงสร้างที่เป็นเฟอร์ไรท์จะเป็นบริเวณที่อ่อนขาดคุณสมบัติต้านทานต่อการเสียดสีในกรณีถ้าเผาที่อุณหภูมิเหนือเส้น A3 ไปมาก (Overheating) จะได้โครงสร้างออสเตนไนท์ที่มีเกรนโตภายหลังการชุบน้ำจะได้ออสเตนไนท์ที่หยาบซึ่งจะทนแรงกระแทกได้น้อยลงอีกประการหนึ่งชิ้นงานในขณะที่ชุบน้ำจะเกิดการบิดงอหรือแตกร้าวได้ง่าย

2) เหล็กไฮเปอร์ยูเทคตอยด์จะใช้อุณหภูมิสูงเหนือเส้น A1 ประมาณ 3 องศาเซลเซียส - 50 องศาเซลเซียส เท่านั้นจะเห็นว่าในช่วงของอุณหภูมินี้ จะปรากฏโครงสร้างของโปยูเทคตอยด์ซีเมนต์ไวด์เหลืออยู่บางส่วนเท่านั้นที่สลายตัวไปเป็นออสเตนไนท์และซีเมนต์ไวด์ที่เหลืออยู่จะกระจุกกระจายทั่วไปในโครงสร้างของออสเตนไนท์เมื่อทำการชุบน้ำจะได้โครงสร้างของมาร์เทนไซต์โดยมีโปยูเทคตอยด์ซีเมนต์ไวด์แทรกอยู่ ซึ่งจะปรากฏเป็นผลดีในส่วนที่เหล็กจะมีความแข็งสูงและทนการเสียดสี ในขณะที่ใช้งานดีทั้งนี้เพราะโปยูเทคตอยด์ซีเมนต์ไวด์มีความแข็งประมาณ 700-800 HB ซึ่งแข็งกว่ามาร์เทนไซต์ (650-700 HB) ประเด็นที่สำคัญคือจะต้องเลือกอุณหภูมิที่จะไม่เกิดโปยูเทคตอยด์ซีเมนต์ไวด์ในลักษณะต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ตามขอบเกรน



รูปที่ 2.12 แสดงแผนภูมิเฟสไดอะแกรมของอุณหภูมิในการชุบแข็ง

ในกรณีที่เราอุณหภูมิเหนือเส้น A_{cm} จะไม่เกิดผลดีนอกจากต้องใช้พลังงานมากขึ้น ออสเตนไนท์จะขยายตัวให้เกรนโตเร็วมากจะทำให้ผลที่ได้ภายหลังการชุบไม่ดี เพราะจะได้มาร์เทนไซต์เกรนหยาบทนแรงกระแทกได้ไม่ดี และยังอาจจะเกิดการบิดงอและแตกร้าวได้โดยง่าย

2.3.4 อัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะ (Heating Rate and Holding Time)

การกำหนดอัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายประการเช่น ส่วนผสมของเหล็ก โครงสร้างเดิม ความเครียดเหลือค้าง รูปร่างและขนาดของชิ้นงานที่จะทำการชุบแข็ง ปกติเหล็กเมื่อบรรจุเข้าเตาเผาความร้อนที่เหล็กได้รับที่ผิวกับใจกลางจะไม่เท่ากันในตอนแรก เพราะว่าความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเหล็กเข้ามาถึงใจกลางย่อมต้องใช้เวลารอบการเผาในอัตราสูงความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวกับใจกลางจะมีค่ามาก การบิดงอมีมากซึ่งจะทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายโดยทั่วไปเราแบ่งอัตราการเผาไว้ 3 อัตราขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเตาอัตราการเผาช้าเป็นวิธีที่เริ่มต้นโดยบรรจุเหล็กเข้าเตาพร้อมๆ กับการให้ความร้อนแก่เตาเผาพร้อมๆ กันอุณหภูมิทั้งของเตาและชิ้นงานจะร้อนขึ้นในอัตราใกล้เคียงกันในลักษณะเช่นนี้ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวกับใจกลางของแท่งเหล็กมีน้อย การเผาในลักษณะเช่นนี้ เหมาะสำหรับเหล็กที่มี

คาร์บอนสูงมีความเครียดเหลือค้างมาจากการขึ้นรูป รูปร่างซับซ้อนและมีพื้นที่หนาและบางต่างกันมากอัตราการเผาสูงวิธีนี้ จะเผาเตาให้มีอุณหภูมิเท่าที่ต้องการจากนั้นจึงบรรจุเหล็กเข้าเตาภายหลังหรือในกรณีที่เราที่กำลังใช้งานอยู่เมื่อนำเอาเหล็กออกไปชุบหมดแล้วก็เริ่มบรรจุเหล็กชุดต่อไปใหม่ ลักษณะเช่นนี้อัตราการเผาจะสูงอุณหภูมิระหว่างผิวกับใจกลางจะแตกต่างกันมากในตอนเริ่มต้นแต่จะไปเท่ากันในระยะเวลาที่สั้นกว่าวิธีแรกการเผาในอัตราสูงเหมาะสำหรับงานชิ้นเล็กๆ รูปร่างไม่ซับซ้อนและเป็นเหล็กคาร์บอนปานกลางจะใช้วิธี

เอาเหล็กบรรจุไว้ในหีบปิดคลุมมิดชิดบรรจุเข้าเตาจะช่วยลดอัตราการเผาไหม้ได้อีกเพราะความร้อนจะผ่านหีบเข้าไปถึงใจกลางแท่งเหล็กจะช้าลงอัตราการเผาไหม้ที่สูงมากเป็นวิธีที่ไม่นิยมใช้เพราะอัตราการเผาไหม้สูงอุณหภูมิระหว่างผิวกับใจกลางแท่งเหล็กจะแตกต่างกันมากในตอนเริ่มต้นโดยวิธีการเผาให้อุณหภูมิในเตาสูงเกินกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ เมื่อบรรจุเหล็กเข้าเตาอุณหภูมิของเตาจะลดลงมาจนเท่ากับที่ต้องการพร้อมๆ กับอุณหภูมิของชิ้นงานร้อนขึ้น เวลาที่ใช้จะสั้นกว่าทั้งสองวิธีแต่อุณหภูมิระหว่างใจกลางกับผิวเหล็กจะแตกต่างกันมากอาจจะทำให้เกิดการบิดงอหรือชิ้นงานแตกร้าวได้ง่ายวิธีนี้เหมาะสำหรับงานขนาดเล็กและรูปร่างง่ายๆ จำเป็นจะต้องบรรจุในหีบเหมือนวิธีที่สองเพื่อช่วยลดอัตราการเผาไหม้ช้าลง

สำหรับช่วงเวลาที่จะทิ้งไว้ที่อุณหภูมิที่ต้องการ (Holding Time) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ออสเทนไนท์ที่สม่ำเสมอและให้อุณหภูมิทั้งบริเวณผิวและใจกลางแท่งเท่ากันไม่มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัวขึ้นอยู่กับหลักในการปฏิบัติถ้าเป็นเหล็กคาร์บอนหรือ อเหล็กกล้าผสมต่ำ (Low Alloys) ซึ่งคาร์ไบด์สลายตัวได้ง่ายจะใช้เวลาประมาณ 5- 15 นาที ก็พอทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานด้วยแต่ถ้าเป็นเหล็กกล้าผสมปานกลางหรือสูงซึ่งคาร์ไบด์มีเสถียรภาพจะต้องใช้เวลาให้นานพอที่คาร์ไบด์จะสลายตัวหมด ซึ่งเวลาที่ใช้ควรเพิ่มขึ้นประมาณ 25 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ใช้เกณฑ์ปกติดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตาราง ที่ 2.2 Heating Times and Holding Time (at Working Temperatures) for Hardening Carbon and Structural Steel

| Thickness or diameter of part. mm | Box furnaces (gas or oil-fired) | | Salt baths | |
|---|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | heating. min | holding. min | heating. min | holding. min |
| 25 | 20 | 5 | 7 | 3 |
| 50 | 40 | 10 | 17 | 8 |
| 75 | 60 | 15 | 24 | 12 |
| 100 | 80 | 20 | 33 | 17 |
| 125 | 100 | 25 | 40 | 20 |
| 150 | 120 | 30 | 50 | 25 |
| 200 | 160 | 40 | 65 | 35 |

ของเหลวสำหรับการชุบแข็ง

ของเหลวที่ใช้สำหรับการชุบแข็งที่ดีโดยหลักเกณฑ์ทั่วไปจะต้องให้อัตราการเย็นตัวที่สูงกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤติ ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ออสเทนไนท์แตกตัวไปเป็นเฟิร์ลไลต์ หรือโครงสร้างอื่นที่ไม่ใช่มาร์เทนไซต์และที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือควรจะให้อัตราการเย็นตัวที่ช้าลงในช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงจากออสเทนไนท์ไปเป็นมาร์เทนไซต์ซึ่งจะเป็นช่วงอุณหภูมิ

ระหว่าง 200 องศาเซลเซียส - 400 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเครียดภายในกับชั้นหลักมากนักมีฉะนั้นจะทำให้เกิดการบิดงอหรือแตกร้าวจนขึ้นได้

1) ของเหลวสำหรับการชุบแข็งที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ น้ำ น้ำเกลือ น้ำต่าง น้ำมัน เกลือละลายหรืออากาศในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะน้ำและน้ำมัน

ก. น้ำให้อัตราการเย็นตัวค่อนข้างต่ำในตอนต้นแต่จะทำให้ค่าอัตราการเย็นตัวสูงมาในช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส - 200 องศาเซลเซียส นี้จะเป็นลักษณะที่ไม่ดีเพราะเป็นช่วงอุณหภูมิที่ออสเตนไนท์เปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์และจะมีการขยายตัวเล็กน้อยทำให้เกิดความเครียดได้มากอันจะเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานเกิดการบิดงอ และแตกร้าวดังข้างต้นยังเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนสูงการชุบแข็งโดยการชุบน้ำจะทำไม่ได้ดังเหตุผลที่กล่าวมา

ข. น้ำมันจัดเป็นของเหลวที่ให้คุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนต่ำให้อัตราการเย็นตัวสูงสุดประมาณ 200 องศาเซลเซียส ต่อวินาทีซึ่งไม่สูงพอสำหรับการชุบเพื่อให้ได้มาร์เทนไซต์สำหรับเหล็กคาร์บอนหรือเหล็กผสมต่ำยังเป็นงานชิ้นโตโอกาสได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์จะเป็นไปได้ยากน้ำมันจึงเหมาะสำหรับการชุบแข็งเหล็กที่มีส่วนผสมสูงออสเตนไนท์มีเสถียรภาพสูงและอัตราการเย็นตัววิกฤติช้ากว่าเกณฑ์ปกติน้ำมันมีข้อดีอยู่ตรงที่ให้อัตราการเย็นตัวสม่ำเสมอไม่ทำให้เกิดความเครียดมากนักการที่จะเพิ่มสมบัติการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำมันสามารถทำได้โดยการเผาให้ร้อนประมาณ 50 องศาเซลเซียส - 80 องศาเซลเซียส น้ำมันจะใสทำให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้นน้ำมันที่ใช้สำหรับการชุบแข็งจะต้องเป็นน้ำมันที่ได้จากปิโตรเลียม (Mineral Oil) และมีจุดติดไฟประมาณ 160 องศาเซลเซียส - 170 องศาเซลเซียส

2) การถ่ายเทความร้อนที่ของเหลวชนิดมีจุดเดือดกลายเป็นไอสามารถแยกออกเป็น 3 ลักษณะที่ต่างกันเมื่อสัมผัสกับแท่งเหล็กร้อน

ก. ชั้นแรกเมื่อจุ่มแท่งเหล็กลงไปของเหลวจะสัมผัสกับแท่งเหล็กที่ร้อนจัดของเหลวรอบๆ จะรับความร้อนสูงจนกลายเป็นไอหุ้มแท่งเหล็กไว้ในลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ การถ่ายเทความร้อนในช่วงนี้จะช้า เพราะความร้อนต้องผ่านฟิล์มบางๆ ซึ่งมีสภาพเป็นตัวนำความร้อนต่ำแต่จะเป็นอยู่ในระยะสั้นๆ เมื่อไอของของเหลวรวมตัวกันมากก็จะลอยขึ้นหรืออาจจะแตกออก

ข. ชั้นที่สองเมื่อฟิล์มบางๆ ของไอที่หุ้มแท่งเหล็กแตกออกของเหลวที่อยู่รอบนอกจะเข้าสัมผัสกับแท่งเหล็กในช่วงนี้ของเหลวรอบๆ ซึ่งได้รับความร้อนอยู่แล้วในชั้นแรก เมื่อเข้าสัมผัสก็จะรับความร้อนจำนวนมากจะเกิดการเดือดและกลายเป็นไอแต่ไม่มีโอกาสหุ้มแท่งเหล็กเหมือนในครั้งแรก ทั้งนี้เพราะของเหลวอยู่ในสภาพเกิดการเดือดและกลายเป็นไอทำให้มีลักษณะเหมือนกับการกวานของเหลวมีโอกาสสัมผัสกับแท่งเหล็กอยู่ตลอดเวลา และถ่ายเทความร้อนได้ปริมาณมากยิ่งการเป็นไอ

เกิดขึ้นได้มากความร้อนจากแท่งเหล็กยิ่งถูกถ่ายเทออกมาได้มากเพราะของเหลวต่างๆ ไม่มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงในชั้นนี้อัตราการเย็นตัวจะสูงมาก

ค. ชั้นที่สามเป็นชั้นที่มีอัตราการเย็นตัวช้าลงเมื่อความร้อนจากแท่งเหล็กน้อยลงอุณหภูมิของของเหลวเริ่มต่ำลงกว่าจุดเดือดความร้อนจะถูกถ่ายเทออกไปโดยการพาตัวของเหลวเพียงอย่างเดียว จึงทำให้อัตราการเย็นตัวลดต่ำลงจนถึงจุดที่อุณหภูมิเท่ากันทั้งแท่งเหล็กและของเหลว

2.2.5 การอบคืนไฟ (Tempering)

เหล็กภายหลังจากการชุบแข็งจะมีโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยมาร์เทนไซต์และออสเทนไนต์เหลือค้าง (Residual Austenite) ถ้าเป็นเหล็กคาร์บอนสูงจะมีโปรยูเทคตอยด์ซีเมนไตต์ (Proeutectoid Cementite) กระจุกกระจายอยู่ทั่วไปนอกจากนี้ เหล็กที่ผ่านการชุบแข็งจะเกิดความเครียดภายในอันเนื่องมาจากอัตราการเย็นตัวที่เร็วจากอุณหภูมิสูง สมบัติของเหล็กตามลักษณะที่กล่าวจะมีความแข็งสูงแต่จะขาดสมบัติด้านความเหนียวไม่ทนต่อแรงกระแทกและความเครียดภายในที่เกิดขึ้นจะมีส่วนทำให้ชิ้นงานบิดงอหรืออาจเกิดการแตกร้าวในขณะที่ใช้งานได้ดังนั้นเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งก่อนนำไปใช้งานควรจะต้องนำมาทำการอบคืนไฟเพื่อคลายความเครียดภายในให้หมดไปหรือเหลืออยู่น้อยที่สุดและในขณะเดียวกันจะทำให้มาร์เทนไซต์แตกตัวให้โครงสร้างกึ่งสมดุล (Tempered Martensite) ซึ่งจะมีผลอย่างกว้างขวางต่อสมบัติของเหล็กดังเช่น ความแข็งจะลดลงแต่ความเหนียวจะกลับสูงขึ้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิของการอบคืนไฟและเวลาที่ใช้การอบคืนไฟเป็นวิธีการเผาเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น A1 ภายหลังเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานานพอสมควรแล้วจะปล่อยให้เย็นช้าๆ ภายในเตาการเปลี่ยนแปลงของมาร์เทนไซต์และออสเทนไนต์เหลือค้างไปสู่โครงสร้างกึ่งสมดุลจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิต่างๆ กันดังนี้ อุณหภูมิช่วงแรก (80 องศาเซลเซียส - 200 องศาเซลเซียส) โครงสร้างมาร์เทนไซต์จะแตกตัวให้โครงสร้างเฟอร์ไรต์ชนิดที่ใกล้จะเป็นระบบลูกบาศก์ (Pseudo Cubic) ซึ่งมีคาร์บอนละลายอยู่ 0.25% การคาร์ไบด์ชนิดเอฟซีลอน มีสูตร Fe_2C หรือ Fe_2C_4 และมีคาร์บอนประมาณ 8.2% ทั้งคาร์ไบด์และเฟอร์ไรต์ (0.25% C) จะตกผลึกชนิดละเอียดและกระจุกกระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้างสามารถศึกษาได้โดยกล้องขยายอิเล็กตรอนเท่านั้น การอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมินี้ ความแข็งจะลดลงเล็กน้อยแต่ความเครียดภายในจะถูกทำลายไปเกือบหมด

อุณหภูมิช่วงที่สอง (200 องศาเซลเซียส - 280 องศาเซลเซียส) โครงสร้างออสเทนไนต์ที่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ได้ทันในขณะที่ชุบแข็ง (Retained Austenite) จะแตกตัวให้โครงสร้างเฟอร์ไรต์ (0.025% C) และ ซีเมนไตต์ (Fe_3C) ที่มีความละเอียดและกระจุกกระจายโครงสร้างที่ปรากฏจะคล้ายคลึงกับเบนไนต์ ความแข็งจะลดลงมากแต่ความเหนียวจะเพิ่มขึ้น อุณหภูมิช่วงที่สาม (300 องศาเซลเซียส - 500 องศาเซลเซียส) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเฟอร์ไรต์ (Pseudo Cubic) จะแตกตัวให้เฟอร์ไรต์ (Cubic) ที่มีคาร์บอน 0.025% และซีเมนไตต์ส่วนเอฟซีลอนคาร์ไบด์จะเปลี่ยนเป็นซีเมนไตต์ (Fe_3C) โครงสร้างที่จะได้จะยังอยู่ในลักษณะละเอียดและกระจุกกระจายมีลักษณะคล้ายซอร์ไบท์ อุณหภูมิช่วงที่สี่ (สูงกว่า 500 องศา

เซลเซียส) ขึ้นไปจนถึง A1) โครงสร้างที่เกิดขึ้นจะปรับตัวเข้ากับสภาพสมดุลและมีการขยายตัวเองเพอร์ไรท์ และซีเมนต์ไคต์ไคต์ขึ้นความแข็งจะลดลงมากโดยความเหนียวจะเพิ่มขึ้นในลักษณะคล้ายคลึงกับเหล็กที่ผ่านการทำสเฟอไรไรต์ไดซ์ซิง(Incomplete Annealing)จากการทดลองอบคืนไฟเหล็ก Eutectoid (0.8%C) ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ปรากฏได้ความแข็งลดลงจากความแข็งภายหลังการชุบแข็ง (64 HRC) อบอุ่นไฟอุณหภูมิช่วงแรก 1 ชั่วโมงได้ความแข็ง 60 – 64 HRC ช่วงที่สองได้ความแข็ง 40 – 60 HRC ช่วงที่สามความแข็ง 20 – 40 HRC และช่วงที่สี่เหลือความแข็ง 5 – 10 HRC ในทางปฏิบัติแบ่งช่วงอุณหภูมิสำหรับการอบคืนไฟออกเป็น 3 ช่วงคือ การอบคืนไฟที่อุณหภูมิต่ำ (150 องศาเซลเซียส - 250 องศาเซลเซียส) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความเครียดภายในและปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านความเหนียวโดยพยายามรักษาระดับความแข็งไว้ในระดับใกล้เคียงกับความแข็งที่ได้ภายหลังการชุบแข็งเวลาที่ที่ใช้ประมาณ 1- 2 ชั่วโมงโครงสร้างของเหล็กจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยการอบคืนไฟที่อุณหภูมิปานกลาง (350 องศาเซลเซียส - 450 องศาเซลเซียส) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เหล็กมีความเหนียวสูงและมีคุณสมบัติทางด้านยืดหยุ่นสูงส่วนใหญ่ใช้สำหรับเหล็กทำหมอบสปริงโครงสร้างของเหล็กจะใกล้เคียงกับเบนไนท์หรือทรูสไคต์การอบคืนไฟที่อุณหภูมิสูง (500 องศาเซลเซียส – 650 องศาเซลเซียส) จะกระทำเมื่อต้องการทำลายความเครียดภายในให้หมดไปและเพื่อให้เหล็กมีคุณสมบัติทางด้านความเหนียวสูงโดยมีความแข็งอยู่ในเกณฑ์สูงด้วยโครงสร้างของเหล็กจะมีลักษณะเป็นเฟิร์ลไลท์ละเอียดใกล้เคียงกับโครงสร้างซอร์ไบท์

2.2.6 การอบอ่อนอย่างสมบูรณ์ (Full Annealing)

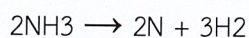
มีจุดประสงค์เพื่อให้เหล็กมีความอ่อนตัวสูงทำให้สามารถตัดด้วยเครื่องมือตัดได้ง่ายอีกทั้งยังทำให้สมบัติความเป็นแม่เหล็กสม่ำเสมออีกด้วย วิธีการอบอ่อนอย่างสมบูรณ์นี้ถ้าเป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของคาร์บอนต่ำคือเป็นประเภทเหล็กไฮโปยูเทคตอยด์จะอบที่อุณหภูมิสูงเหนือเส้น A3 ประมาณ 30 องศาเซลเซียส – 50 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นเหล็กประเภทที่มีคาร์บอนผสมอยู่มากคือเหล็กไฮเปอร์ยูเทคตอยด์ ก็จะอบที่เหนือเส้น A1 เมื่ออบเหล็กถึงอุณหภูมิดังกล่าวแล้วเหล็กจะเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นออสเตนไนท์และเนื่องจากการอบอ่อนชนิดนี้ มีจุดประสงค์ที่ต้องการให้ชิ้นงานอ่อนตัวลงทั้งชิ้น ดังนั้นจึงต้องทำให้เหล็กทั้งชิ้นเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นออสเตนไนท์ก่อนเวลาในการอบจึงขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงาน คือจะใช้เวลาในการอบประมาณ 30 - 60 นาทีต่อความหนาของชิ้นงาน 25 มิลลิเมตรและเมื่ออบชิ้นงานได้ตามต้องการแล้ว จึงปล่อยให้ชิ้นงานเย็นลงอย่างช้าๆด้วยอัตราการเย็นตัวดังกล่าวจึงมักจะปล่อยให้ชิ้นงานนั้นเย็นตัวภายในเตาอบซึ่งเรียกว่า Furnace Cooled โครงสร้างที่ได้หลังจากการอบอ่อนคือ เฟิร์ลไลท์และเพอร์ไรท์ถ้าเป็นเหล็กไฮโปยูเทคตอยด์ แต่จะเป็นเฟิร์ลไลท์และซีเมนต์ไคต์ไคต์ถ้าเป็นเหล็กไฮเปอร์ยูเทคตอยด์ หรือถ้าเป็นเหล็กยูเทคตอยด์ภายหลังการอบก็จะได้เฟิร์ลไลท์แต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

2.2.7 การชุบแข็งพื้นผิว (Surface Hardening)

การชุบแข็งพื้นผิวเป็นการชุบแข็งเพื่อให้ได้ความแข็งเฉพาะตามบริเวณผิวเท่านั้น ส่วนเนื้อเหล็กภายในผิวจนถึงแกนกลางยังคงเป็นเนื้อเหล็กเดิม ซึ่งมีความเหนียวสูงความมุงหมาย ก็เพื่อต้องการให้เหล็กทนต่อการสึกหรอในขณะที่ใช้งาน ทนต่อแรงบิดหรือแรงกระแทกอย่างรุนแรงได้ดีโดยไม่มีการแตกหัก นับเป็นกรรมวิธีการชุบแข็งที่ดีกว่าการชุบแข็งแบบปกติ เพราะการชุบแข็งแบบปกตินั้น แม้จะได้ความแข็งที่ผิวสูง แต่จะสูญเสียความเหนียวของเหล็ก การทำการอบคืนไฟ (Tempering) จะช่วยเพิ่มความเหนียวได้บ้าง แม้จะต้องสูญเสียความแข็งลงไปบ้าง ยกเว้นเหล็กที่มีส่วนผสมสูงบางชนิด ที่หลังจากผ่านกระบวนการแล้วยังมีความแข็งและความเหนียวที่สูงอยู่ แต่เหล็กที่มีส่วนผสมสูงมักมีราคาแพง ดังนั้นจะเห็นว่าการชุบแข็งพื้นผิว จึงนับว่าเป็นกรรมวิธีชุบแข็งที่น่าสนใจมากในด้านงบประมาณ และได้ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีคุณภาพ พร้อมทั้งความแข็งที่ผิวและความเหนียว ตัวอย่างชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่นิยมทำการชุบแข็งที่ผิว ได้แก่ เพลาข้อเหวี่ยง เพลา ราวลีน เฟืองเกียร์ และอื่น ๆ

2.2.8 การชุบแข็งพื้นผิวด้วยวิธีไนไตรดิง (Nitriding)

การชุบแข็งพื้นผิวโดยวิธี ไนไตรดิง (Nitriding) เป็นการเพิ่มอะตอมของไนโตรเจนในลักษณะที่ทำให้อิ่มตัว (Saturating) ตามบริเวณผิวของแท่งเหล็ก มีลักษณะคล้ายกับการทำ อาจกล่าวได้ว่าการทำ Nitriding เป็นการเพิ่มธาตุ ไนโตรเจนให้กับเหล็กในสภาพ Ferrite เพราะจะกระทำที่ อุณหภูมิต่ำ ประมาณ 500 องศาเซลเซียสถึง 600 องศาเซลเซียสซึ่งอุณหภูมิช่วงนี้เหล็กยังคงสภาพเป็น Ferrite และอุณหภูมิช่วงนี้เป็นช่วงที่เหล็ก Ferrite จะยอมให้อะตอมของไนโตรเจนละลายได้สูงที่สุดประมาณ 0.1% และที่อุณหภูมินี้ จะเกิดปฏิกิริยา Eutectoid ของโครงสร้างออสเทนไนท์ (2.35%N) แยกตัวให้ Ferrite (0.1%N) กับไนไตรด์ ของเหล็ก (Fe₄N หรือ γ') ที่มีไนโตรเจน 5.5 – 5.9% การทำไนไตรดิง จะใช้ก๊าซไนโตรเจนซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อยที่อยู่ในสภาพสมดุล (N₂) ดังนั้นจะต้องใช้ก๊าซไนโตรเจนในสภาพอะตอมหรือสภาพแรกเกิด จึงจะสามารถแพร่ซึมเข้าสู่ผิวเหล็ก และรวมกับอะตอมของเหล็กให้เหล็กไนไตรด์ (Fe₄N และ Fe₂N) ก๊าซที่จะให้ไนโตรเจนในสภาพอะตอมได้ก็คือก๊าซแอมโมเนีย (NH₃) เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิ 500 - 600 องศาเซลเซียส จะแยกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซไนโตรเจน ดังปฏิกิริยา



ในการทำไนโตรดิ่ง ไม่มีข้อจำกัดชนิดของเหล็กที่จะนำมาใช้ในการทำ สิ่งที่สำคัญก็คือ ต้องหาทางทำให้เนื้อเหล็กภายในมีความแข็งแรง และความเหนียวสูงเท่านั้น แม้แต่เหล็กที่มี คาร์บอนสูงก็สามารถทำ ไนโตรดิ่งได้ ถ้าสามารถทำการชุบให้เหล็กมีความเหนียวก่อนการทำไนโตรดิ่งได้ สำหรับความแข็งที่ผิวนั้นสามารถเพิ่มให้สูงได้มากขึ้น ถ้าสามารถเลือกเหล็กที่มีธาตุบางธาตุที่สามารถรวมตัวกับไนโตรเจน และให้ไนโตรดิ่งที่มีความแข็งสูง เช่น อลูมิเนียม โครเมียม และโมลิบดีนัม เป็นต้น ดังนั้นเหล็กที่เหมาะสมสำหรับการทำไนโตรดิ่งเพื่อให้ความแข็งสูง ควรธาตุเหล่านี้ผสมด้วย ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนผสมของเหล็กไนโตรดิ่ง ตามมาตรฐาน ISO/R 683 /X-1970

| C% | Si% | Mn% | P% Max | S% Max | Al% | Cr% | Mo% | V% |
|-------|-------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 0.28- | 0.15- | 0.4-0.7 | 0.03 | 0.035 | - | 2.3 - 3.3 | 0.3 - 0.5 | - |
| 0.35 | 0.40 | 0.4-0.7 | 0.03 | 0.035 | - | 3.0 - 3.5 | 0.8 - 1.1 | 0.15- |
| 0.35- | 0.15- | 0.5-0.8 | 0.03 | 0.035 | 0.8-1.2 | 1.0 - 1.3 | 0.15- | 0.25 |
| 0.42 | 0.40 | 0.5-0.8 | 0.03 | 0.035 | 0.8 - 1.2 | 1.5 - 1.8 | 0.25 | - |
| 0.30- | 0.20- | | | | | | 0.25-0.4 | - |
| 0.37 | 0.50 | | | | | | | |
| 0.38- | 0.20- | | | | | | | |
| 0.45 | 0.50 | | | | | | | |

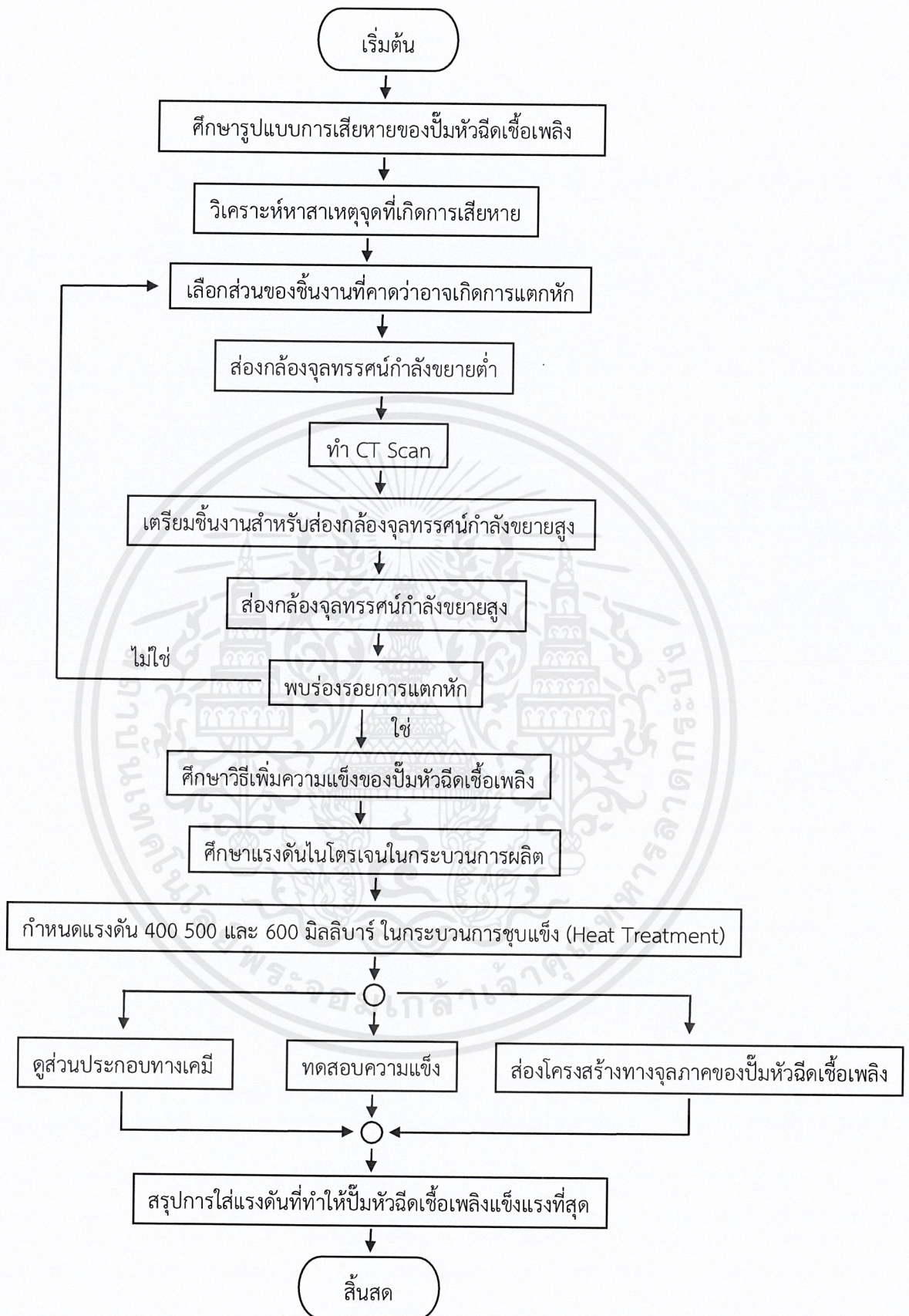
บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

การดำเนินโครงการวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ ช่วงที่หนึ่ง การวิเคราะห์ความเสียหายของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ผ่านการทดสอบมาแล้ว เพื่อศึกษาถึงสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น หลังจากทราบสาเหตุที่เกิดขึ้นแล้วจึงดำเนินการในช่วงที่สอง คือการวิเคราะห์ผลของการปรับปรุงคุณสมบัติโลหะด้วยกระบวนการทางความร้อนเพื่อป้องกันสาเหตุเหล่านั้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ความเสียหายของปั๊มหัวฉีดน้ำมัน
2. การศึกษาเพื่อพัฒนาชิ้นส่วนที่เกิดความเสียหาย

เนื่องจากเกิดปัญหาแรงดันที่นำไปใช้ในการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิง ดังนั้นสามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานโครงการวิจัยได้ดังรูปที่ 3.1 คือ ในตอนต้นโครงการวิจัยผู้เขียนได้ทำการศึกษารูปแบบของการเกิดความเสียหายของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงว่าอาจเกิดได้จากสาเหตุใด จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของจุดที่เกิดการเสียหายแล้วเลือกส่วนของชิ้นงานที่คาดว่าจะเกิดการแตกหักมาทำการตรวจสอบโดยใช้การส่องกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำเพื่อค้นหาร่องรอยของความเสียหายที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นทำการตรวจสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานโดยใช้เครื่อง CT Scan เพื่อยืนยันว่าชิ้นส่วนนั้นเกิดการแตกหักจริงหรือไม่ และใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงสำหรับหาสาเหตุของการแตกหัก หากความเสียหายนั้นไม่ได้ทำให้เกิดการลดลงของแรงดันจึงจำเป็นต้องเลือกส่วนของชิ้นงานใหม่ที่คาดว่าจะอาจเป็นสาเหตุของปัญหา แต่หากยืนยันได้ว่าความเสียหายนั้นทำให้เกิดการลดลงของแรงดัน ดังนั้นในขั้นตอนถัดไปจึงเป็นการศึกษาวิธีเพิ่มความแข็งแรงของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิง โดยศึกษาถึงระดับแรงดันไนโตรเจนในกระบวนการชุบแข็งที่ระดับแรงดัน 400 500 และ 600 มิลลิบาร์ ว่าแต่ละระดับแรงดันมีโครงสร้างจุลภาค ส่วนประกอบทางเคมี และค่าความแข็งที่ระดับแรงดันใด ทำให้ปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงเกิดความแข็งแรงมากที่สุด และนำมาสรุปผล



รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพขั้นตอนวิธีการดำเนินโครงการวิจัย

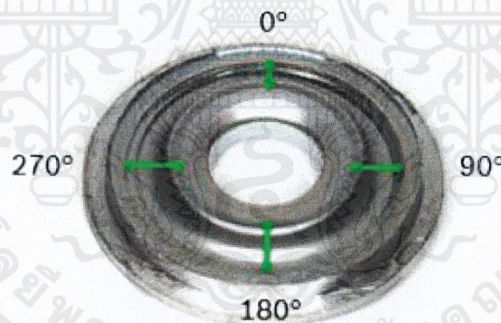
3.1 การวิเคราะห์ความเสียหายของบีมหัวฉีดเชื้อเพลิง

ภายหลังจากการทดสอบบีมหัวฉีดเชื้อเพลิงพบว่าบีมหัวฉีดเชื้อเพลิงนี้ไม่สามารถสร้างแรงดันเพื่อฉีดเชื้อเพลิงได้ เพื่อหาแก่นของสาเหตุที่ทำให้บีมหัวฉีดเชื้อเพลิงเกิดความเสียหายนี้ขึ้นจึงทำการตรวจสอบชิ้นส่วนบ่าวาล์วซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นสาเหตุหลัก เนื่องด้วยบ่าวาล์วมีหน้าที่กั้นระหว่างแรงดันสูงแต่แรงดันต่ำออกจากกัน การวิเคราะห์ความเสียหายของบีมหัวฉีดเชื้อเพลิงนี้สามารถแบ่งออกเป็น

1. การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายต่ำ
2. การตรวจวัดขนาดด้วยเครื่อง CT-SCAN
3. การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง

วิธีการจำแนกบริเวณของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว เบื้องต้นได้แบ่งบริเวณของชิ้นส่วนบ่าวาล์วออกเป็น 4 บริเวณ แสดงในภาพที่ 3.2

- บริเวณด้านบน หรือ 0 องศา
- บริเวณด้านขวา หรือ 90 องศา
- บริเวณด้านล่าง หรือ 180 องศา
- บริเวณด้านซ้าย หรือ 270 องศา



รูปที่ 3.2 แสดงการแบ่งชิ้นส่วนบ่าวาล์วออกเป็น 4 บริเวณ คือ 0 องศา 90 องศา 180 องศา และ 270 องศา

3.1.1 การตรวจสอบความเสียหายเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายต่ำ (Light Stereo Microscope)

เป็นกล้องที่ประกอบด้วยเลนส์ที่ทำให้เกิดภาพแบบ 3 มิติใช้ศึกษาวัตถุที่มีขนาดใหญ่แต่ตาเปล่าไม่สามารถแยกรายละเอียดได้จึงต้องใช้กล้องชนิดนี้ช่วยขยายกล้องชนิดนี้มีข้อแตกต่างจากกล้องทั่วไปคือ ภาพ

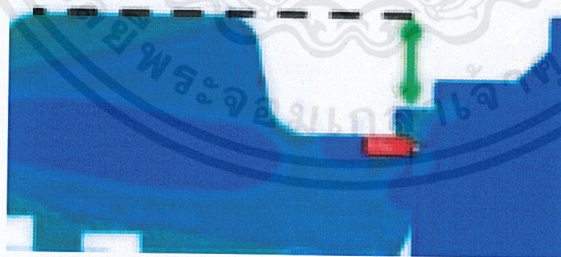
ที่เห็นเป็นภาพเสมือนมีความชัดลึกและเป็นภาพสามมิติ เลนส์ใกล้วัตถุมีกำลังขยายต่ำคือน้อยกว่า 1 เท่า และใช้ศึกษาได้ทั้งวัตถุโปร่งแสงและวัตถุทึบแสง แสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายต่ำ

3.1.2 การตรวจวัดขนาดด้วยเครื่องซีทีสแกน (computed tomography scan)

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องซีทีสแกนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดขนาดของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว เป็นอีกหนึ่งหลักฐานในการยืนยันเบื้องต้นว่า ชิ้นส่วนบ่าวาล์วเกิดความเสียหายขึ้นจริง การตรวจวัดขนาดนี้จะทำโดยการวัดความสูงตั้งแต่ระนาบบนสุดของบ่าวาล์ว จนถึงขอบด้านล่างที่ทำการประกบกับเสื้อของบ่าวาล์วดังแสดงในภาพจำลองวิธีการวัดความสูงของชิ้นส่วนบ่าวาล์วแสดงในรูปที่ 3.3 หากความสูงในแต่ละด้านของชิ้นส่วนไม่เท่ากัน เป็นเครื่องยืนยันให้เห็นว่าชิ้นส่วนบ่าวาล์วเกิดการเสียหายขึ้นจริงแสดงภาพตัดขวางของ การวัดในรูปที่ 3.4

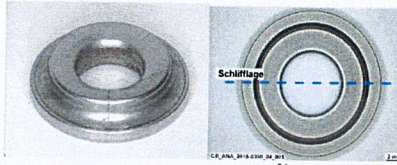


รูปที่ 3.4 ภาพจำลองภาคตัดขวางของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว

3.1.3 วิเคราะห์ความเสียหายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

- 1) ทำการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบ นำชิ้นส่วนบ่าวาล์วสู่กระบวนการตัดขวาง ด้วยเครื่องตัดตามแนวตัดตั้งในรูปที่ 3.5



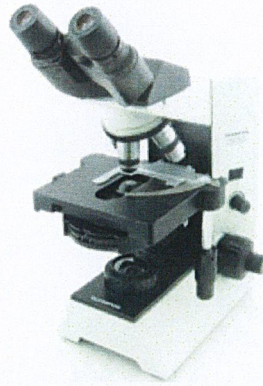
รูปที่ 3.5 แสดงแนวการตัดของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว

- 2) ขัดผิวหน้าตัดของชิ้นทดสอบให้เรียบด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 120,320,400,600,800,1000 โดยใช้เครื่องขัดโลหะดังแสดงในภาพที่ 3.6 จนผิวเรียบไม่เป็นรอยขีดข่วนแล้วนำมาขัดด้วยผ้าสักหลาดร่วมกับผงขัดอลูมินา ขนาด 1 ไมครอน และ 0.2 ไมครอนจนผิวมันเงาเป็นกระจก แล้วทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น



รูปที่ 3.6 เครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงาน

- 3) นำชิ้นงานมาตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงหรือ Optical Microscope ดังแสดงในภาพที่ 3.7 เพื่อให้ทราบว่าการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าผสมด้วยความร้อนมีโครงสร้างของเหล็กตามที่ต้องการแล้วทำการเก็บข้อมูลโดยการถ่ายรูป



รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงกำลังขยายสูง

3.2 การศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการขึ้นรูปของชิ้นงานที่เกิดความเสียหาย

ภายหลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนที่ 3.1 ทำให้ทราบว่าชิ้นส่วนบ่าวาล์วเกิดการสึกหรอขึ้นผู้ดำเนินงานวิจัย จึงได้ศึกษาอิทธิพลของแรงดันไนโตรเจน ในกระบวนการไนโตรดิง เพื่อเพิ่มความแข็งและความทนทานของ ชิ้นส่วนโดยขั้นตอนต่อไปนี้

3.2.1 จำแนกระดับแรงดันของไนโตรเจน

ในโครงการวิจัยนี้ ได้ทำการแบ่งระดับของแรงดันไนโตรเจน ที่ใช้ในกระบวนการไนโตรดิง ออกเป็นสามระดับ คือ แรงดันต่ำ แรงดันกลาง และแรงดันสูง เพื่อศึกษาอิทธิพลของแรงดันที่เพิ่มขึ้น ต่อโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงาน แสดงในตารางที่ 3.1

| ชิ้นงานที่ | ระดับแรงดันดันก๊าซไนโตรเจน |
|------------|----------------------------|
| 1 | 400 มิลลิบาร์ |
| 2 | 500 มิลลิบาร์ |
| 3 | 600 มิลลิบาร์ |

ตารางที่ 3.1 การจำแนกระดับของแรงดันไนโตรเจน

3.2.2 การเตรียมชิ้นงาน

ทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค ตามขั้นตอนของกระบวนการทางโลหะวิทยามีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

- 1) ทำการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบ นำชิ้นส่วนบ่าวาล์วสู่กระบวนการตัดขวาง ด้วยเครื่องตัดแสดงในภาพที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงแนวการตัดของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว

- 2) ขัดผิวหน้าตัดของชิ้นทดสอบ

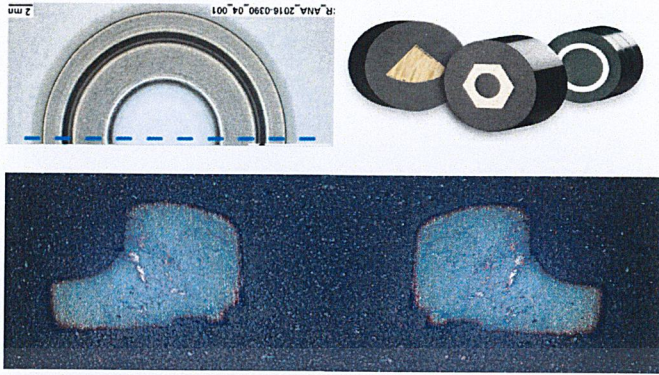
ให้เรียบด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 120,320,400,600,800,1000 โดยใช้เครื่องขัดโลหะดังแสดงในภาพที่ 3.9 จนผิวเรียบไม่เป็นรอยขีดข่วนแล้วนำมาขัดด้วยผ้าสักหลาดร่วมกับผงขัดอลูมินา ขนาด 1 ไมครอน และ 0.2 ไมครอนจนผิวมันเงาเป็นกระจก แล้วทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น



รูปที่ 3.9 แสดงภาพของเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงาน

3.) เมทซ์ชิ้นงาน

โดยใช้เครื่องเมทซ์ร้อนหลังจากการเมทซ์ชิ้นงาน จะได้ภาคตัดขวางของชิ้นส่วนบ่าวาล์วดังแสดงในภาพที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นภาคตัดขวางของชิ้นส่วนบ่าวาล์วที่ผ่านการเผาท์

4.) การกัดกรดเพื่อดูโครงสร้างทางจุลภาค

ทำความสะอาดผิวหน้าด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปกัดด้วยกรด V2A 10% ในภาชนะรองรับ

หลังจากนั้นนำมาล้างผิวด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งและล้างด้วยแอลกอฮอล์ 100% จากนั้นเซ็ดให้แห้ง

3.2.3 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเตรียมชิ้นงานทางโลหะวิทยาแล้วผู้จัดทำโครงการงานวิจัยได้ทำการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นส่วนบ่าวาล์วด้วย กล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง เช่นเดียวกับการตรวจสอบในขั้นตอนวิเคราะห์ความเสียหายของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง

3.2.4 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว

ในโครงการวิจัยนี้ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว

การวัดความแข็งของวัสดุแบบวิกเคอร์ (Vickers Hardness Test)

นำชิ้นส่วนบ่าวาล์วทดสอบทั้ง 3 ชิ้น ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติโลหะด้วยความร้อนมาทำการวัดค่าความแข็งเพื่อให้ทราบว่าชิ้นทดสอบการผ่านกระบวนการทางความร้อนมีความแข็งแตกต่างกันเท่าไรซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ทำการตัดแบ่งครึ่งชิ้นงานที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ระดับแรงดันไนโตรเจน
- 2) ทำการขัดผิวหน้าตัดของชิ้นทดสอบให้เรียบด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 220, 320, 400 และ 600 ตามลำดับแล้วขัดผิวด้วยเครื่องขัดผิวโลหะ จนผิวเรียบไม่เป็นรอยจึงนำมาทดสอบความแข็งโดยชิ้นงาน 1 ชิ้นจะทำการสุ่มกด 2 ตำแหน่งคือที่บริเวณพื้นผิวและบริเวณแกนกลาง จากนั้นทำการบันทึกค่า

3.2.5 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงาน

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีเพื่อตรวจสอบปริมาณไนโตรเจน ที่แพร่เข้าสู่ชิ้นส่วนบ่าวาล์วโดยการตรวจสอบนี้จะสามารถแสดงให้เห็นถึงปริมาณธาตุต่างๆในชิ้นส่วนบ่าวาล์วด้วย ในแต่ละระดับความลึกของชิ้นงาน เริ่มวัดจากผิวนอกของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว ปริมาณธาตุต่างๆที่ได้จากการตรวจสอบจะเป็นแนวโน้มในการระบุชนิดของอัลลอยด์ที่ความลึกต่างๆ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ในโครงการวิจัยฉบับนี้ ผู้จัดทำโครงการวิจัยได้ทำการรวบรวมผลจากการดำเนินการทดลองไว้โดยแบ่งออกเป็นสองหัวข้อ ดังนี้

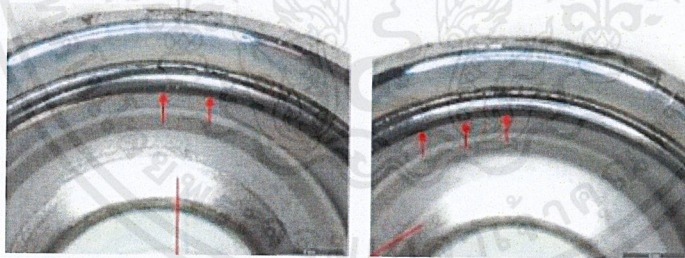
1. ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิง
2. ผลจากการศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการขึ้นรูปของชิ้นงานที่เกิดความเสียหาย

4.1 ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของปั๊มหัวฉีดน้ำมัน

จากการตรวจสอบปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงเพื่อวิเคราะห์ความเสียหาย เบื้องต้นได้การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายต่ำพบชิ้นปั๊วาล์ว เกิดความเสียหาย โดยพบรอยแยกระหว่างชิ้นงานที่บริเวณ 0 องศาหรือด้านบน แสดงในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 4.1

4.1.1 ผลจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายต่ำ

จากการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงพบรอยแยกในชิ้นส่วนปั๊วาล์ว ดังแสดงในภาพที่ 4.1

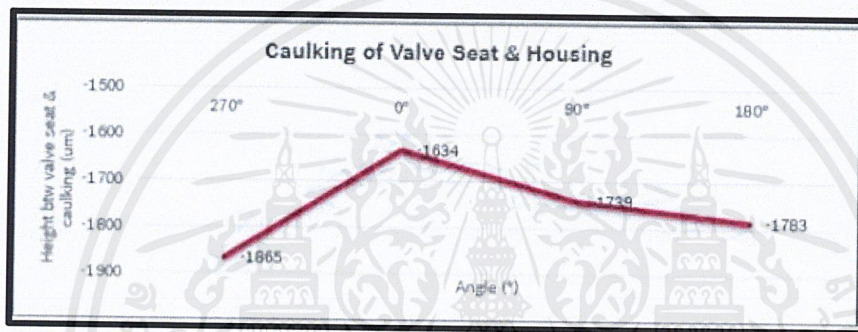


รูปที่ 4.1 แสดงการตรวจพบรอยแยกในชิ้นส่วนปั๊วาล์ว

4.1.2 ผลจากเครื่อง CT SCAN (Computer Tomography Scan)

จากการตรวจวัดด้วยเครื่องซีทีสแกนตรวจพบว่าที่บริเวณด้านบนหรือ 0 องศา พบความสูงจากระนาบมากกว่าบริเวณ 90 องศา 180 องศา และ 270 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยพบว่า

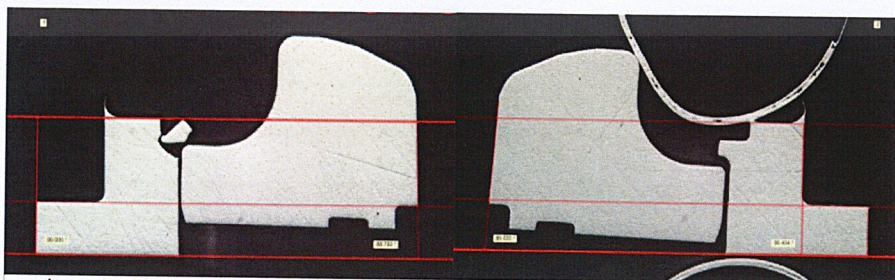
- ที่ด้านบนของชิ้นส่วน หรือที่ 0 องศา ชิ้นส่วนบ่าวาล์วมีความสูง -1634 ไมครอน
- ที่ด้านบนของชิ้นส่วน หรือที่ 90 องศา ชิ้นส่วนบ่าวาล์วมีความสูง -1739 ไมครอน
- ที่ด้านบนของชิ้นส่วน หรือที่ 180 องศา ชิ้นส่วนบ่าวาล์วมีความสูง -1763 ไมครอน
- ที่ด้านบนของชิ้นส่วน หรือที่ 270 องศา ชิ้นส่วนบ่าวาล์วมีความสูง -1865 ไมครอน



รูปที่ 4.2 ผลการตรวจวัดความสูงจากระนาบที่ได้จากเครื่องซีทีสแกนพบว่าที่บริเวณ 0 องศา มีความสูงมากกว่าบริเวณอื่นๆ

4.1.3 ผลจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง

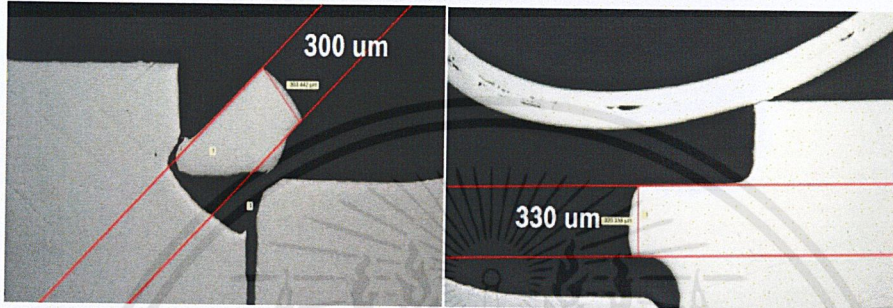
ภายหลังจากการขัดหยาบและขัดผิวมันได้ผลภาพตัดขวางจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง แสดงในรูปที่ 4.5 ตรวจพบการแตกหักในบริเวณด้านบนหรือที่ 0 องศาของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว จึงทำการตรวจวัดความหนาของชิ้นส่วนที่เกิดการแตกหักพบว่าด้านที่มีการแตกหักมีความบางกว่าบริเวณตรงกันข้ามที่ไม่เกิดการแตกหัก แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ภาพผลการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูงแสดงให้เห็นถึงภาพตัดขวางของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว

จากการตรวจสอบการแตกหักพบว่า

- พบการแตกหักของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว ที่บริเวณด้านบน หรือ 0 องศา ตรวจวัดความหนาได้ 300 ไมครอน
- ไม่พบการแตกหักของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว ที่บริเวณด้านล่าง หรือ 180 องศา ตรวจวัดความหนาได้ 330 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การตรวจวัดขนาดของชิ้นส่วนที่เกิดการแตกหัก พบว่ามีขนาดบางกว่าด้านที่ไม่แตกหักถึง 30 ไมครอน

สาเหตุที่ทำให้ความหนาของชิ้นส่วนบ่าวาล์วสองด้านไม่เท่ากัน

อาจเกิดขึ้นจาก

1. เกิดจากข้อผิดพลาดของผู้ผลิตจากกระบวนการผลิต
2. เกิดจากการสึกหรอระหว่างชิ้นงานสองชิ้น จนทำให้ชิ้นที่แข็งน้อยกว่าเกิดการเสียพื้นผิว

เนื่องด้วยสาเหตุแรก ผู้ดำเนินโครงการวิจัยไม่สามารถแก้ไขได้จึงดำเนินการในส่วนที่ 2 คือการศึกษาเพื่อเสริมความแข็งแรงให้แก่ชิ้นส่วนบ่าวาล์ว

4.2 ผลจากการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว

จากหัวข้อที่ 4.1 ทำให้ทราบว่า ชิ้นส่วนของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงที่เกิดความเสียหายคือชิ้นส่วนบ่าวาล์วมีการสึกหรอระหว่างกัน จึงได้มีการ ศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นส่วนบ่าวาล์วด้วยกระบวนการทางความร้อน โดยจะทำการศึกษาถึงอิทธิพลของแรงดันไนโตรเจน ที่ใช้ในกระบวนการ ในขั้นตอนนี้ ผู้จัดทำโรงงานวิจัยได้รับชิ้นส่วนบ่าวาล์วที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนดังกล่าวมาแล้ว จึงเริ่มการศึกษาความแตกต่างทางโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานทั้งสามระดับแรงดันไนโตรเจน โดยศึกษาทั้งหมด 3 หัวข้อ ดังนี้

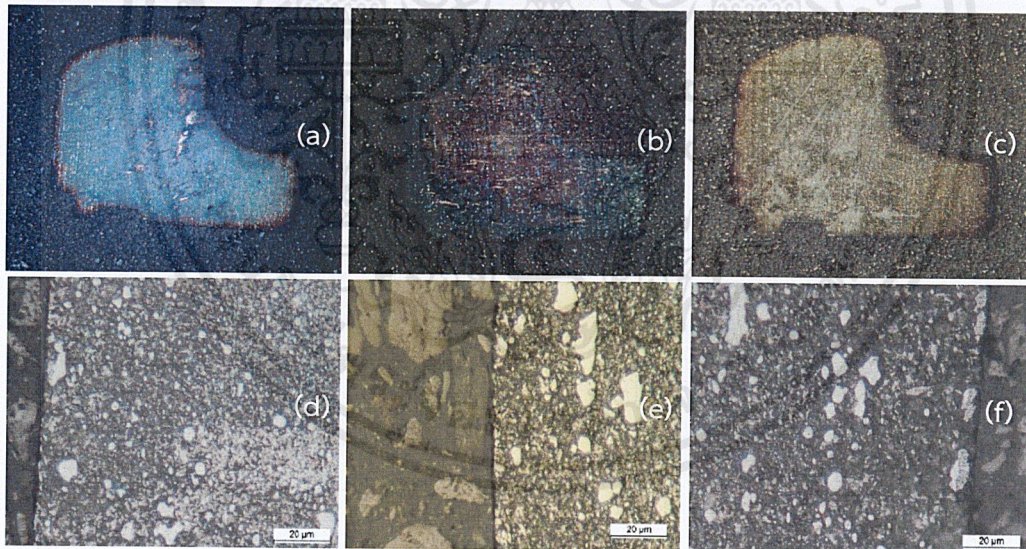
1. ผลจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง
2. ผลจากการวัดค่าคุณสมบัติความแข็งของวัสดุ
3. ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี

4.2.1 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง

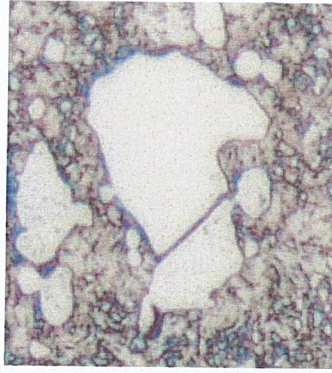
หลังจากผ่านกระบวนการเตรียมชิ้นงานด้วยกระบวนการทางโลหะวิทยาแล้วผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกำลังขยายสูง มีดังนี้

1. ชิ้นส่วนบ่าวาล์วที่ผ่านการทำกระบวนการไนโตรดิง ใช้แรงดันไนโตรเจน 400 มิลลิบาร์
2. ชิ้นส่วนบ่าวาล์วที่ผ่านการทำกระบวนการไนโตรดิง ใช้แรงดันไนโตรเจน 500 มิลลิบาร์
3. ชิ้นส่วนบ่าวาล์วที่ผ่านการทำกระบวนการไนโตรดิง ใช้แรงดันไนโตรเจน 600 มิลลิบาร์

โดยหลังจากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ของบ่าวาล์วที่ผ่านการไนโตรดิงด้วยแรงดันไนโตรเจน 400 500 และ 600 มิลลิบาร์แสดงในรูปที่ 4.5 พบคาร์ไบด์เกิดขึ้นทั่วทั้งชิ้นงาน แสดงรูปของคาร์ไบด์ในรูปที่ 4.6 แต่พบชั้นของคาร์ไบด์ผสม ที่บริเวณขอบของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว โดยความลึกของชั้นคาร์ไบด์นี้เพิ่มขึ้นตามระดับแรงดันไนโตรเจนที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

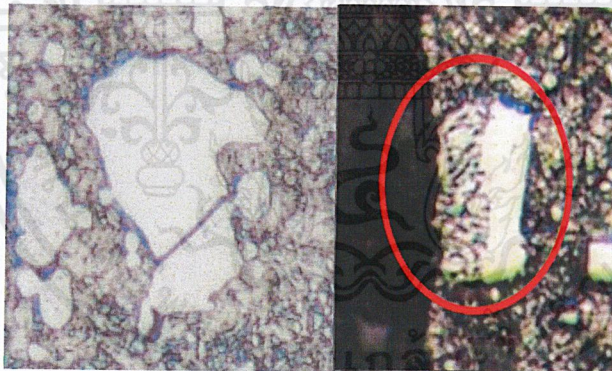


รูปที่ 4.5 (a-c)แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทางจุลภาคของบ่าวาล์วหลังไนโตรดิงที่แรงดัน 400 500 และ 600 มิลลิบาร์ ตามลำดับ (d-f)ภาพกำลังขยายสูงโครงสร้างที่ระดับแรงดันไนโตรเจน 400 500 และ 600 มิลลิบาร์ที่ตรวจพบชั้นคาร์ไบด์ผสมเกิดขึ้น



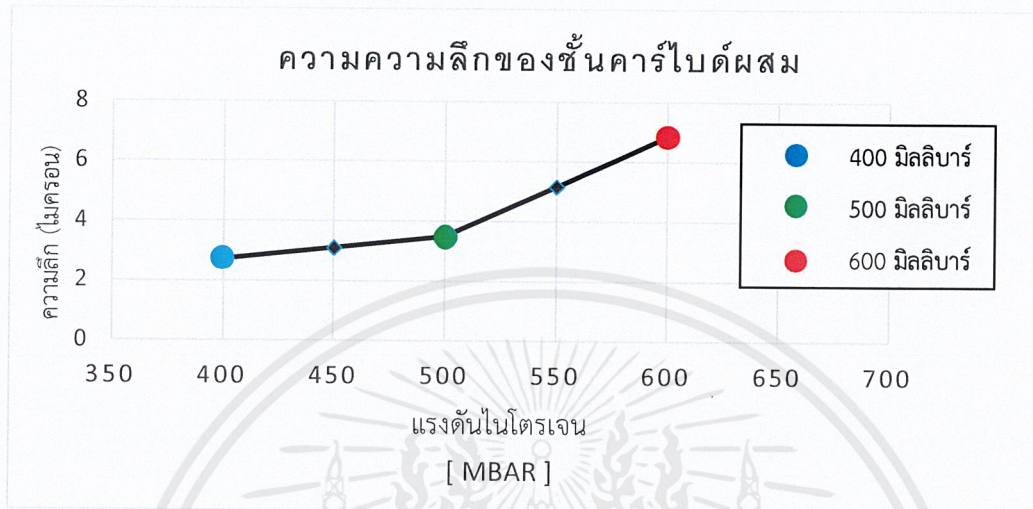
รูปที่ 4.6 โครงสร้างคาร์ไบด์ที่ตรวจพบ

และจากภาพกำลังขยายสูงนอกจากตรวจพบโครงสร้างของคาร์ไบด์แล้ว ที่บริเวณผิวของชิ้นงาน ยังตรวจพบการก่อตัวของของคาร์ไบด์ผสมขึ้น โดยภายหลังจากการตรวจวัดความลึกพบว่า ความลึกของชั้นนี้เพิ่มขึ้นตามระดับของแรงดันไนโตรเจนที่ใช้ในกระบวนการไนโตรดิง โดยพบความลึกของชั้นคาร์ไบด์ผสมนี้น้อยที่สุดที่ระดับแรงดัน 400 มิลลิบาร์ มีความลึกของคาร์ไบด์ผสมมากขึ้นที่ระดับแรงดัน 500 มิลลิบาร์ และพบคาร์ไบด์ผสมนี้ลึกที่สุดที่ระดับแรงดัน 600 มิลลิบาร์ แสดงการเปรียบเทียบระหว่างคาร์ไบด์ปกติ และคาร์ไบด์ผสมในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างคาร์ไบด์ปกติ และคาร์ไบด์ผสม ที่พบบริเวณผิวของชิ้นงาน

โดยความลึกของการเกิดชั้นคาร์ไบด์ผสมนี้ หลังจากทำการวัดทั้งสามระดับของแรงดันไนโตรเจนพบว่ามีความลึกเพิ่มขึ้นตามแรงดันของไนโตรเจนดังที่แสดงในรูปที่ 4.8



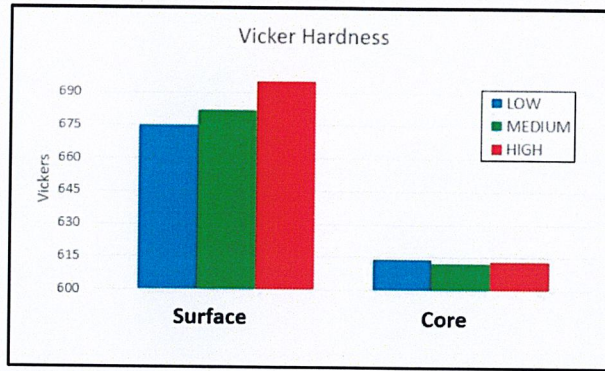
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความลึกของชั้นคาร์ไบด์ผสมในแต่ละระดับแรงดัน

4.2.2 ผลจากการวัดค่าคุณสมบัติความแข็งของวัสดุ

หลังจากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นส่วนบ่าวาล์วทั้งสามระดับแรงดันไนโตรเจน พบการก่อตัวของชั้นคาร์ไบด์ผสมที่บริเวณพื้นผิว ดังนั้น การทดสอบค่าความแข็งของชั้นคาร์ไบด์ผสมเหล่านี้จะสามารถบอกได้ว่า ชั้นคาร์ไบด์ผสมเหล่านี้ ส่งผลอย่างไรต่อความทนทานต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนบ่าวาล์วโดยทำการทดสอบกวดค่าความแข็งที่บริเวณพื้นผิว และบริเวณแกนกลางของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว แสดงในรูปที่ 4.9

โดยที่ค่าความแข็งที่บริเวณผิวนอกของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว เป็นดังนี้

- ที่ระดับแรงดัน 600 มิลลิบาร์ ที่ผิวนอกมีค่าความแข็ง 691 HV ที่แกนกลาง 615 HV
- ที่ระดับแรงดัน 500 มิลลิบาร์ ที่ผิวนอกมีค่าความแข็ง 678 HV ที่แกนกลาง 615 HV
- ที่ระดับแรงดัน 400 มิลลิบาร์ ที่ผิวนอกมีค่าความแข็ง 675 HV ที่แกนกลาง 614 HV



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความแข็งของชิ้นส่วนบ่าวาล์วทั้งสามระดับแรงดันไนโตรเจน

4.2.3 ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นส่วนบ่าวาล์ว

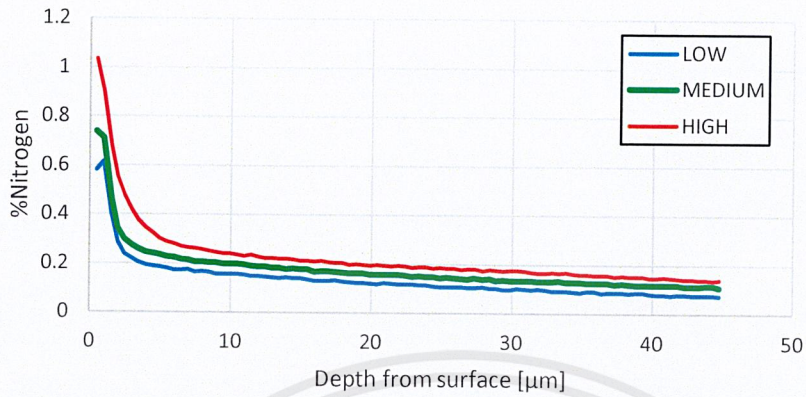
ผลลัพธ์ของการวัดองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นส่วนบ่าวาล์วทั้งสามระดับแรงดันไนโตรเจน ด้วยเครื่อง GD-OES (Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy) พบปริมาณของธาตุไนโตรเจนมากที่สุดในชิ้นส่วนบ่าวาล์วที่ใช้แรงดันสูง หรือ 600 มิลลิบาร์ และปริมาณธาตุไนโตรเจนน้อยที่สุดที่ระดับแรงดันไนโตรเจน 400 มิลลิบาร์ดังแสดงในรูปที่ 4.10

ปริมาณธาตุไนโตรเจน

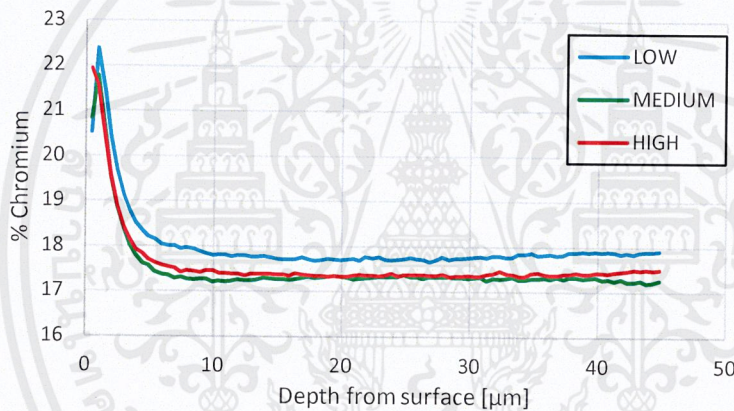
- ธาตุไนโตรเจนจากการตรวจวัด ที่บริเวณพื้นผิว ของ ระดับไนโตรเจนที่ 600 มิลลิบาร์ มีปริมาณ 1.033 %w ที่ความลึก 0.5 ไมครอน จากพื้นผิว
- ธาตุไนโตรเจนจากการตรวจวัด ที่บริเวณพื้นผิว ของ ระดับไนโตรเจนที่ 500 มิลลิบาร์ มีปริมาณ 0.73 %w ที่ความลึก 0.5 ไมครอน จากพื้นผิว
- ธาตุไนโตรเจนจากการตรวจวัด ที่บริเวณพื้นผิว ของ ระดับไนโตรเจนที่ 400 มิลลิบาร์ มีปริมาณ 0.58 %w ที่ความลึก 0.5 ไมครอน จากพื้นผิว แสดงในรูปที่ 4.10

ปริมาณธาตุโครเมียม

- ธาตุโครเมียมจากการตรวจวัด ที่บริเวณพื้นผิว ของ ระดับไนโตรเจนที่ 600 มิลลิบาร์ มีปริมาณ 20.52%w ที่ความลึก 0.5 ไมครอน จากพื้นผิว
- ธาตุโครเมียมจากการตรวจวัด ที่บริเวณพื้นผิว ของ ระดับไนโตรเจนที่ 500 มิลลิบาร์ มีปริมาณ 20.82%w ที่ความลึก 0.5 ไมครอน จากพื้นผิว
- ธาตุโครเมียมจากการตรวจวัด ที่บริเวณพื้นผิว ของ ระดับไนโตรเจนที่ 400 มิลลิบาร์ มีปริมาณ 21.93%w ที่ความลึก 0.5 ไมครอน จากพื้นผิว แสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงปริมาณของธาตุไนโตรเจน ต่อความลึกในชิ้นงานบ่าวาล์ว



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงปริมาณของธาตุโครเมียม ต่อความลึกในชิ้นงานบ่าวาล์ว

จากการทดสอบวัดปริมาณธาตุด้วยเครื่อง Glow Discharge Optical Spectroscopy

พบว่า

- ปริมาณของธาตุไนโตรเจน มีปริมาณมากที่สุดในระดับแรงดันไนโตรเจน 600 มิลลิบาร์
- พบปริมาณของธาตุโครเมียม ที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นส่วนบ่าวาล์วจึงคาดว่าน่าจะเป็นโครงสร้างของโครเมียมไนไตรด์

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลดำเนินงาน

5.1 สรุปผลและวิจารณ์ผลดำเนินงาน

ในโครงการวิจัยฉบับนี้ ผู้จัดทำได้แบ่งผลการดำเนินงานเป็นสองส่วนคือ

1. ผลการตรวจสอบความเสียหายของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิง
2. ผลจากการตรวจสอบชิ้นส่วนปั๊วาล์ว

5.1.1 ผลจากการตรวจสอบความเสียหายของปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิง

- พบการแตกหักขึ้นที่ชิ้นส่วนปั๊วาล์ว
- โดยชิ้นส่วนปั๊วาล์วด้านที่เกิดการแตกหักมีความหนาน้อยกว่าด้านที่ไม่เกิดการแตกหัก 30 ไมครอน จึงสรุปว่าเกิดจากการสึกหรอจากการเสียดสีกันของชิ้นส่วน

5.1.2 ผลจากการตรวจสอบชิ้นส่วนปั๊วาล์ว

- พบการเกิดชั้นคาร์ไบด์ผสม มีความลึกมากที่สุดที่แรงดันไนโตรเจน 600 มิลลิบาร์
- ค่าความแข็งที่ผิวชิ้นปั๊วาล์วมีค่ามากขึ้นตามระดับของแรงดันไนโตรเจน แต่เท่ากันทั้งหมดทุกระดับแรงดันไนโตรเจนที่แกนกลาง
- จากผลของปริมาณธาตุไนโตรเจนและโครเมียม จึงคาดว่าคาร์ไบด์ผสมที่เกิดขึ้นเป็นโครงสร้างของโครเมียมไนไตรด์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อช่วยในการยืนยันผลที่เกิดขึ้นและประสิทธิภาพของกระบวนการชุบแข็งด้วยการทำไนโตรดิ่งนี้ หัวข้อที่ต้องทำการทดสอบเพิ่มเติม คือ

1. Energy dispersive Spectrometry

เพื่อทำการวิเคราะห์ชนิดของโลหะผสม และระบุค่าความแข็งรวม และจะสามารถอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นต่อในโครงสร้างของโลหะได้อีกด้วย

2. FATIGUES TEST

เพื่อเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพของการทำไนโตรดิ่ง โดยหากประสิทธิภาพสูงขึ้น ชิ้นส่วนปั๊วาล์วย่อมมีความคงทนต่อการล้าสูงขึ้น ส่งผลให้ปั๊มหัวฉีดมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นเช่นเดียวกัน

บรรณานุกรม

ASM International Handbook Heat treating, ASM handbook, Vol. 4 ASM International, 1991

Courtney T.H., Failure of materials, Mechanical Behavior of Materials, International Ed. McGraw-Hill, Singapore, 1990

สมนึก วัฒนศรียกูล, การทดสอบวัสดุ, กรุงเทพฯ: กรีนเวิลด์ มีเดีย, 2549

นายอรรถพล ไชยรา การศึกษาอิทธิพลการปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กกล้าผสมต่ำด้วยความร้อนต่อขีดจำกัดความทนทานของวัสดุ วิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อ.กิตติมา ศิลปะ และ ผศ.ดร.สุขอังคณา ลี กรรมวิธีการทางความร้อนของเหล็กกล้า ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สยาม แก้วคำไสย์ การเตรียมตัวอย่างสำหรับการตรวจสอบทางโลหะวิทยา ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

สุภาพร ทองมั่ง การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี โดยเครื่องโกลด์ดิสซาร์จ ออฟทิกคอลอิมิสชันสเปกโตรเมตรี (online)

http://www.thaiauto.or.th/2012/th/news/news-detail.asp?news_id=3494

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย พัทธพล ลิ้มสุขศิริ
วัน เดือน ปีเกิด 12 สิงหาคม พุทธศักราช 2540
ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 97/57 หมู่บ้านเพอร์เฟคเพลสสุวรรณภูมิ ถนน.อ่อนนุช-ลาดกระบัง ซอย.ลาดกระบัง 20/3 ตำบลราชาเทวะ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
เบอร์โทรศัพท์ 088-953-7961
E-mail lim.pacharapol@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พุทธศักราช 2547 เข้าศึกษาระดับประถม-มัธยมปลายที่โรงเรียนเซนต์ดอมินิก
พุทธศักราช 2559 เข้าศึกษาระดับอุดมศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ
ภาควิชาอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง