โลหะวิทยาในกระบวนการผลิตและการปรับสภาพทางความร้อนของชิ้นส่วนเครื่องยึดเหนี่ยวราง

โครงการ แนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตและทดสอบชิ้นส่วนเครื่องยึดเหนี่ยวราง

นาย อมรศักดิ์ เร่งสมบูรณ์

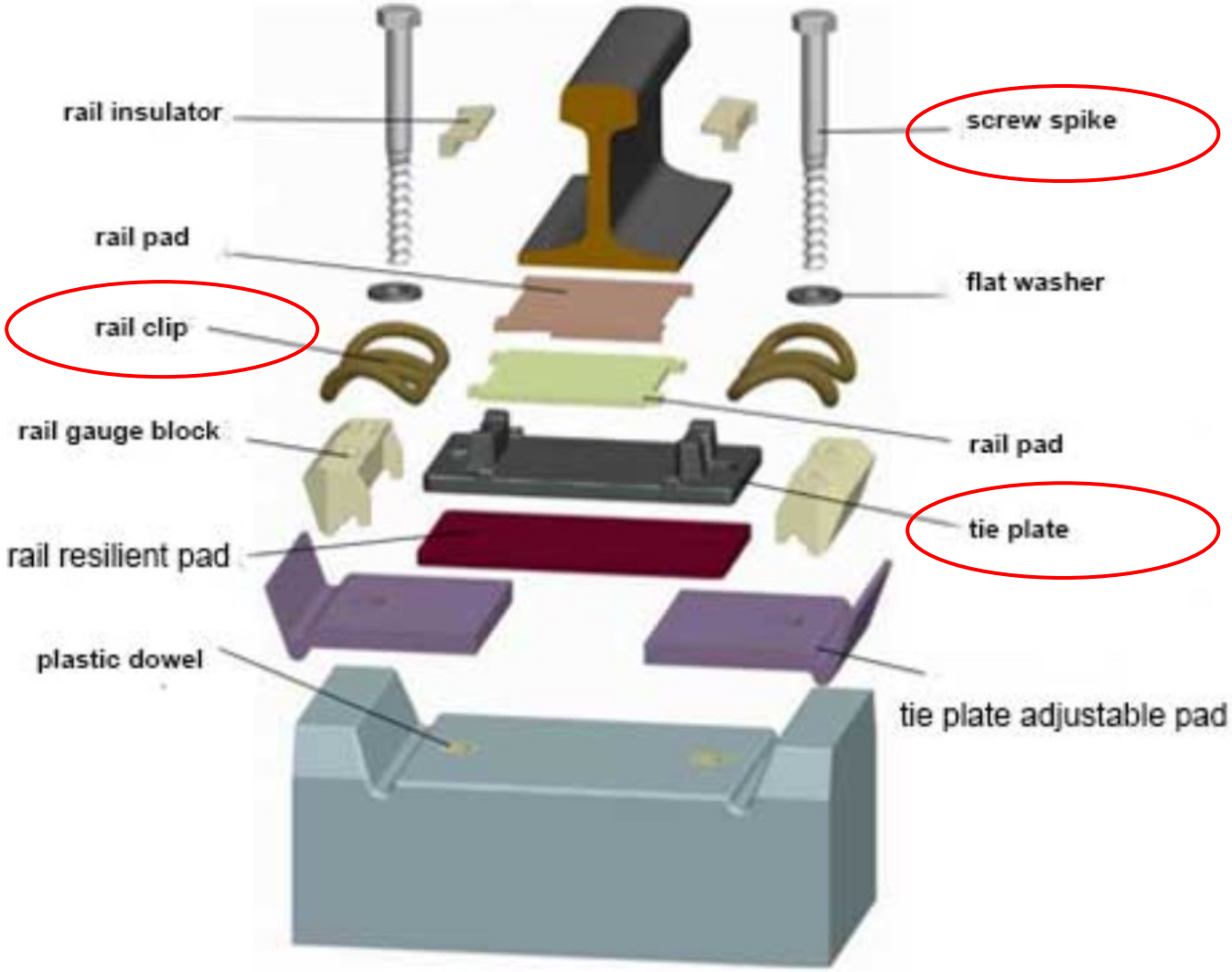
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

กระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องยึดเหนี่ยวราง(ส่วนที่เป็นโลหะ)

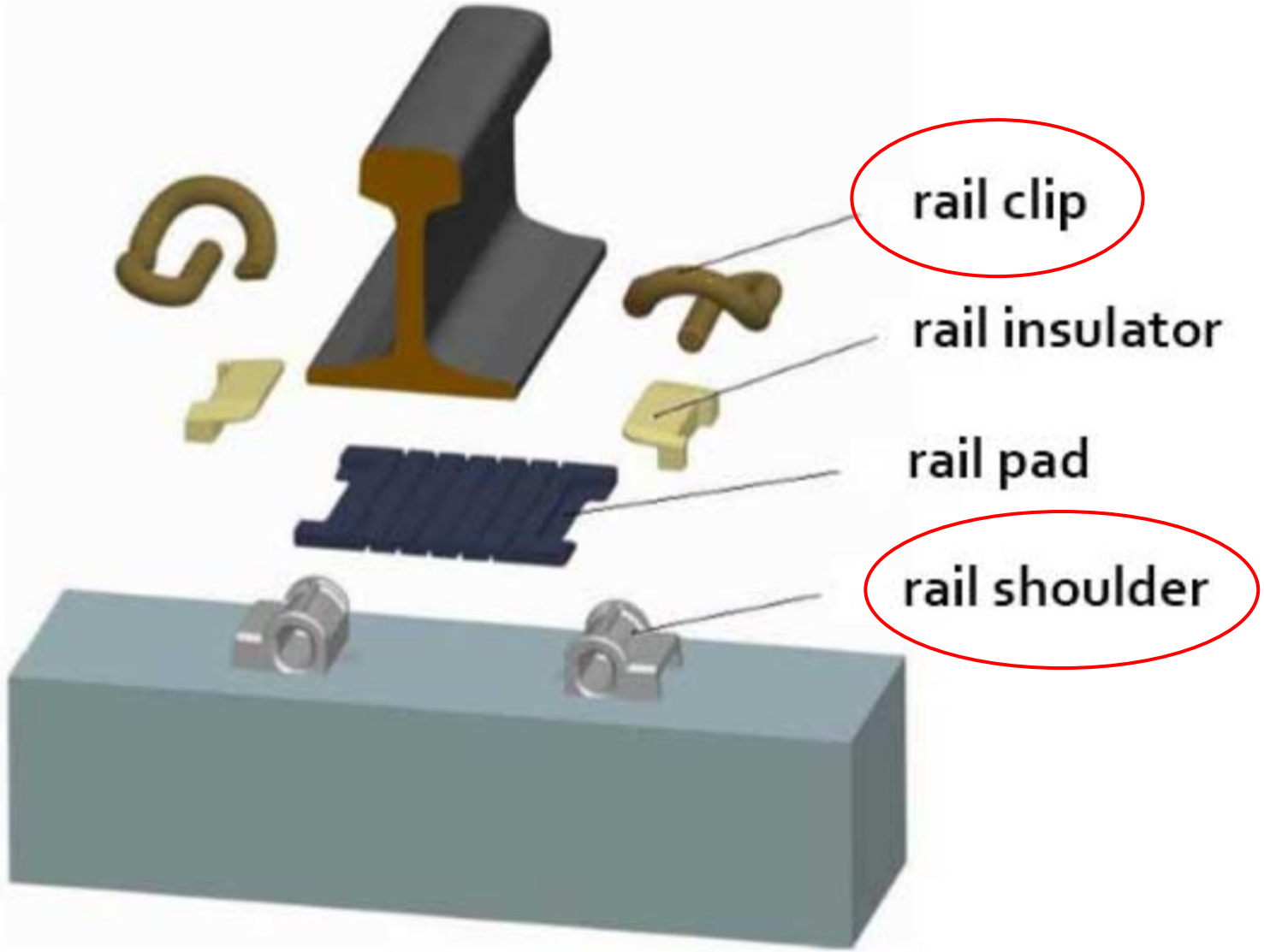
http://www.rail-fastener.com/three-types-of-rail-track.html

ชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ



http://www.railway-fasteners.com/news/wj-8-rail-fastening-system-installation.html

ชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ



AGICO GROUP

http://www.railway-fasteners.com/news/rail-fastening-system-installation.html

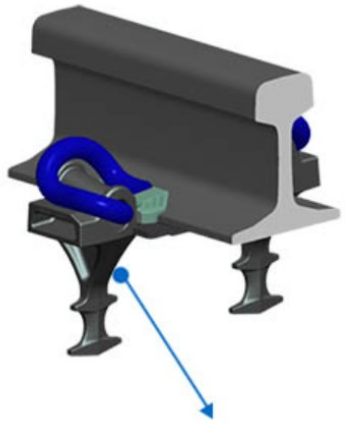
จำแนกชิ้นส่วนตามกระบวนการผลิต

- **การหล่อขึ้นรูป** เช่น Tie plate, Rail shoulder
- **การทุบและรีดขึ้นรูป** เช่น Screw spike, Bolt nut และอาจมีบางรูปแบบของ Tie plate และ Rail shoulder
- **การดัดขึ้นรูปร้อน** (Hot Forming) เช่น Rail clip

ชิ้นส่วนที่ผลิตด้วยกระบวนการหล่อ

Tie plate

Rail shoulder



Materials : FCD450, FCD 500 etc.

http://www.railway-fasteners.com

ชิ้นส่วนที่ผลิตด้วยการทุบและรีดขึ้นรูป

Bolt and Nut

Screw spike

Materials: Low and medium carbon steel, low alloy steel

http://www.railway-fasteners.com

ชิ้นส่วนที่ผลิตด้วยกระบวนการดัดขึ้นรูปร้อน

Materials: 55Si7,60Si7 (JIS: SUP6, SUP7)

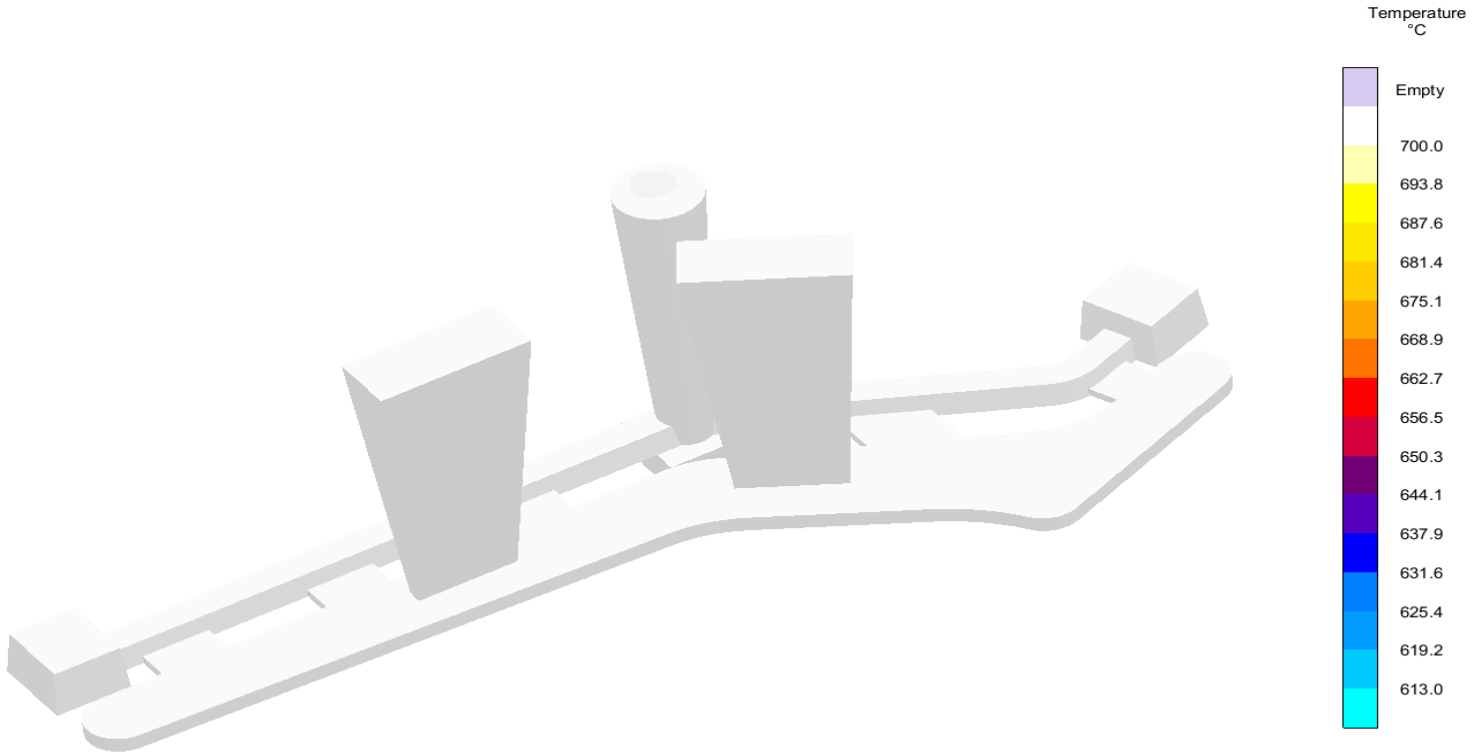
สวทช.สนับสนุนทางเทคนิคการผลิตในส่วนใดได้บ้าง ?

- ข้อมูลทางวัสดุ การเลือกใช้วัสดุ การตรวจสอบ วิเคราะห์โครงสร้างทางโลหะวิทยา
- การควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต เช่น การหล่อโลหะ โลหะวิทยาในกระบวนการขึ้นรูป การปรับสภาพทางความร้อน
- การทดสอบสมบัติของวัสดุ

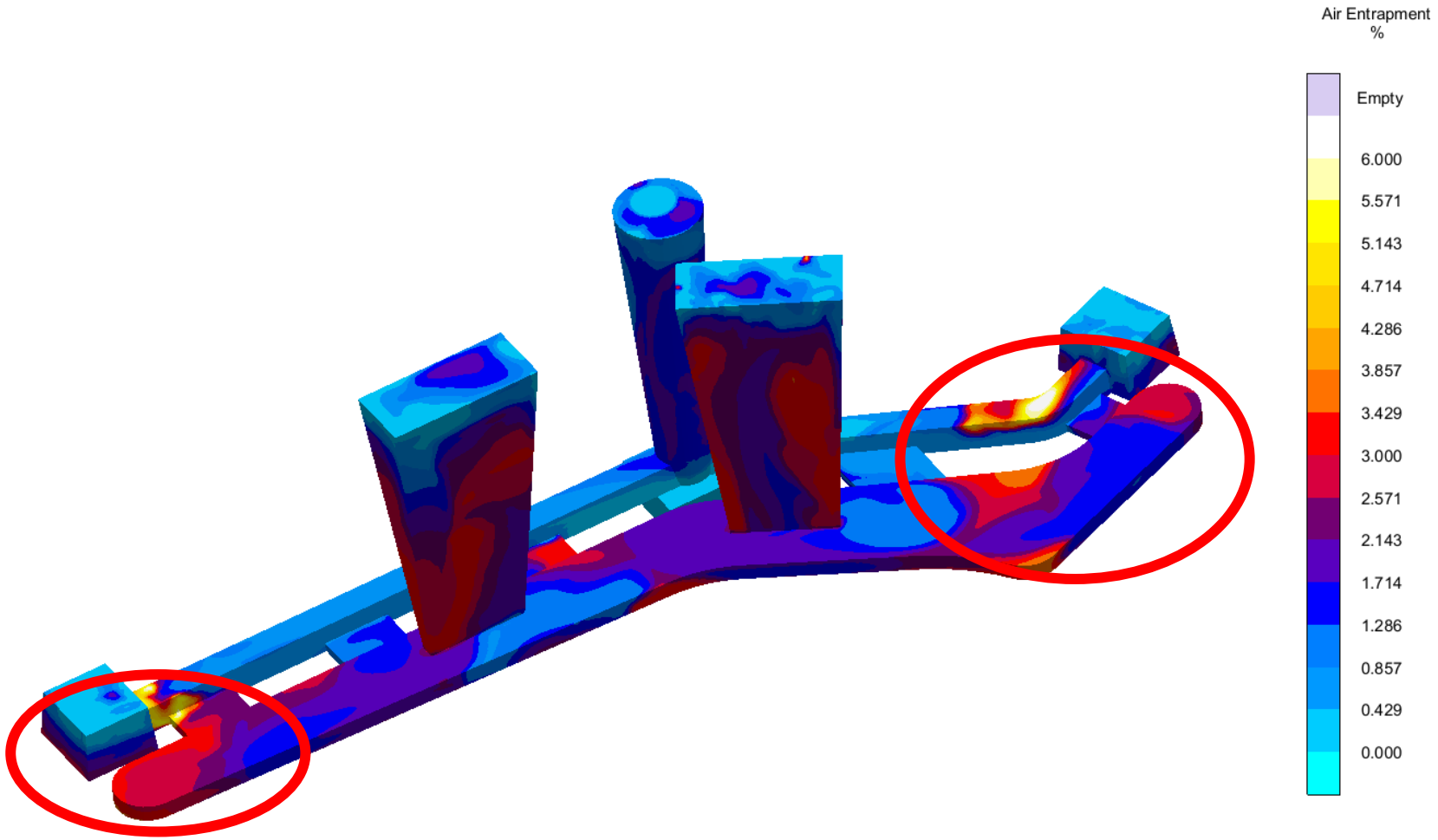
กระบวนการหล่อ

- ออกแบบระบบงานหล่อ ระบบทางวิ่งและระบบการป้อนเติมของน้ำโลหะจากการหดตัว ด้วยโปรแกรมจำลองการหล่อ

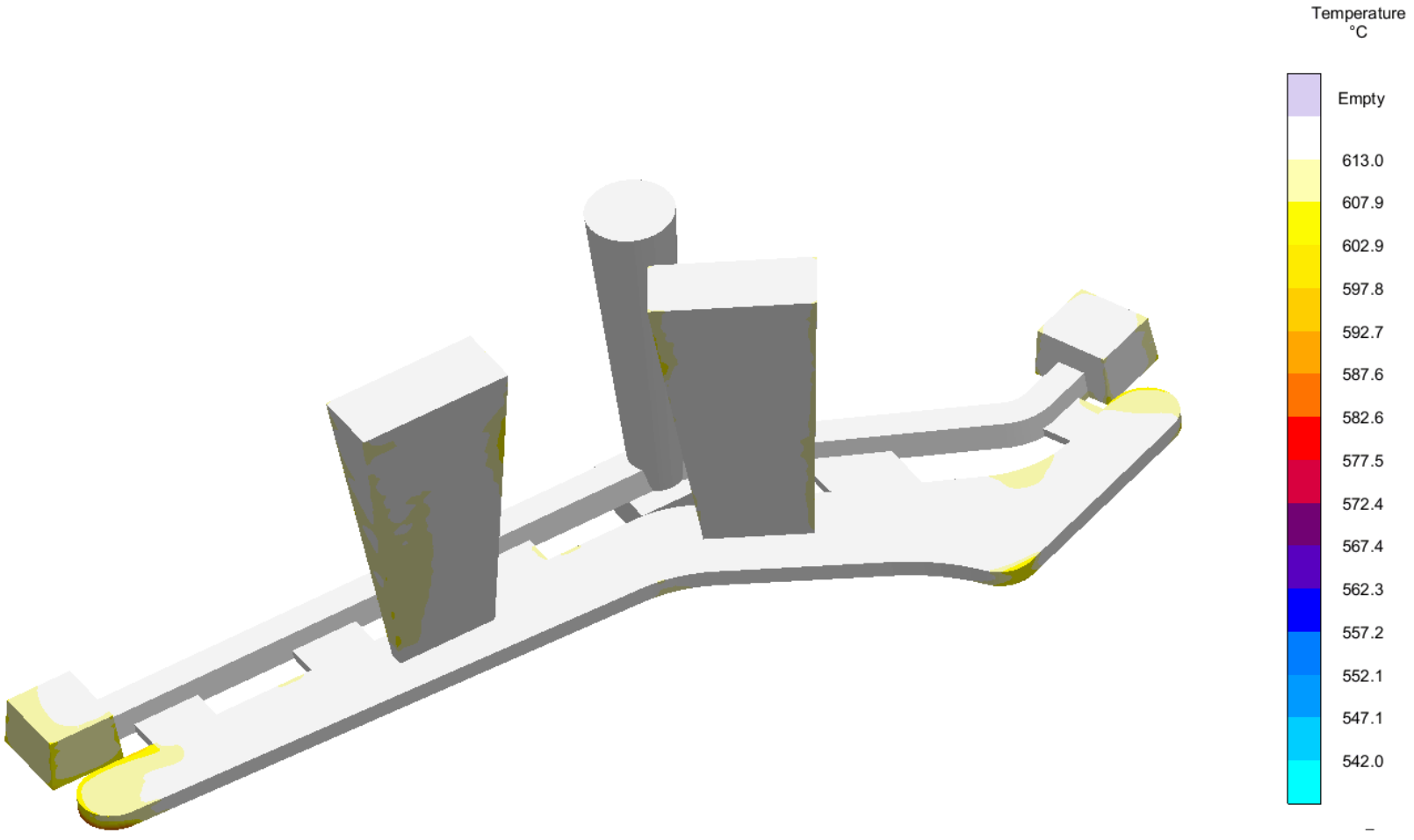
Filling state



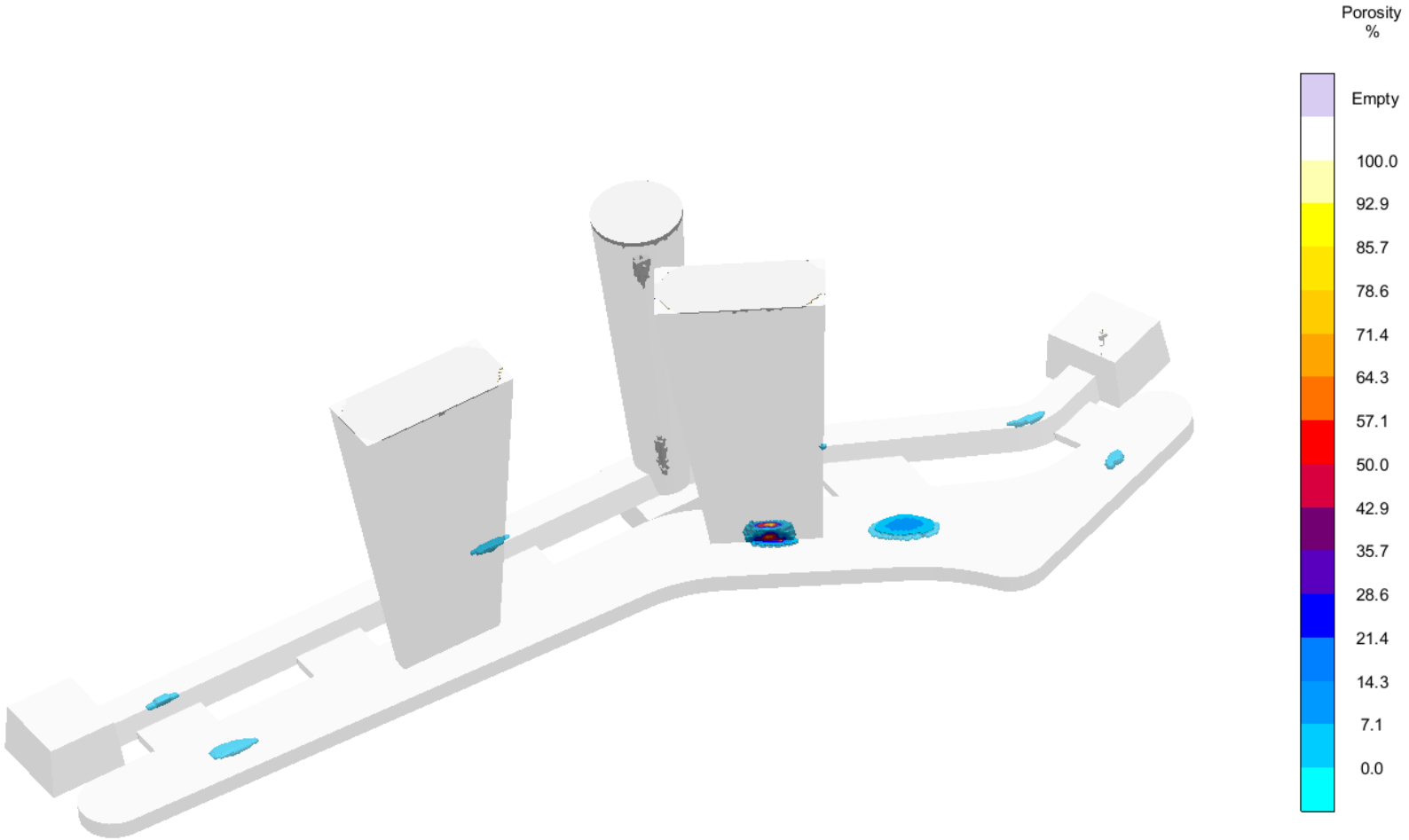
Air entrapment



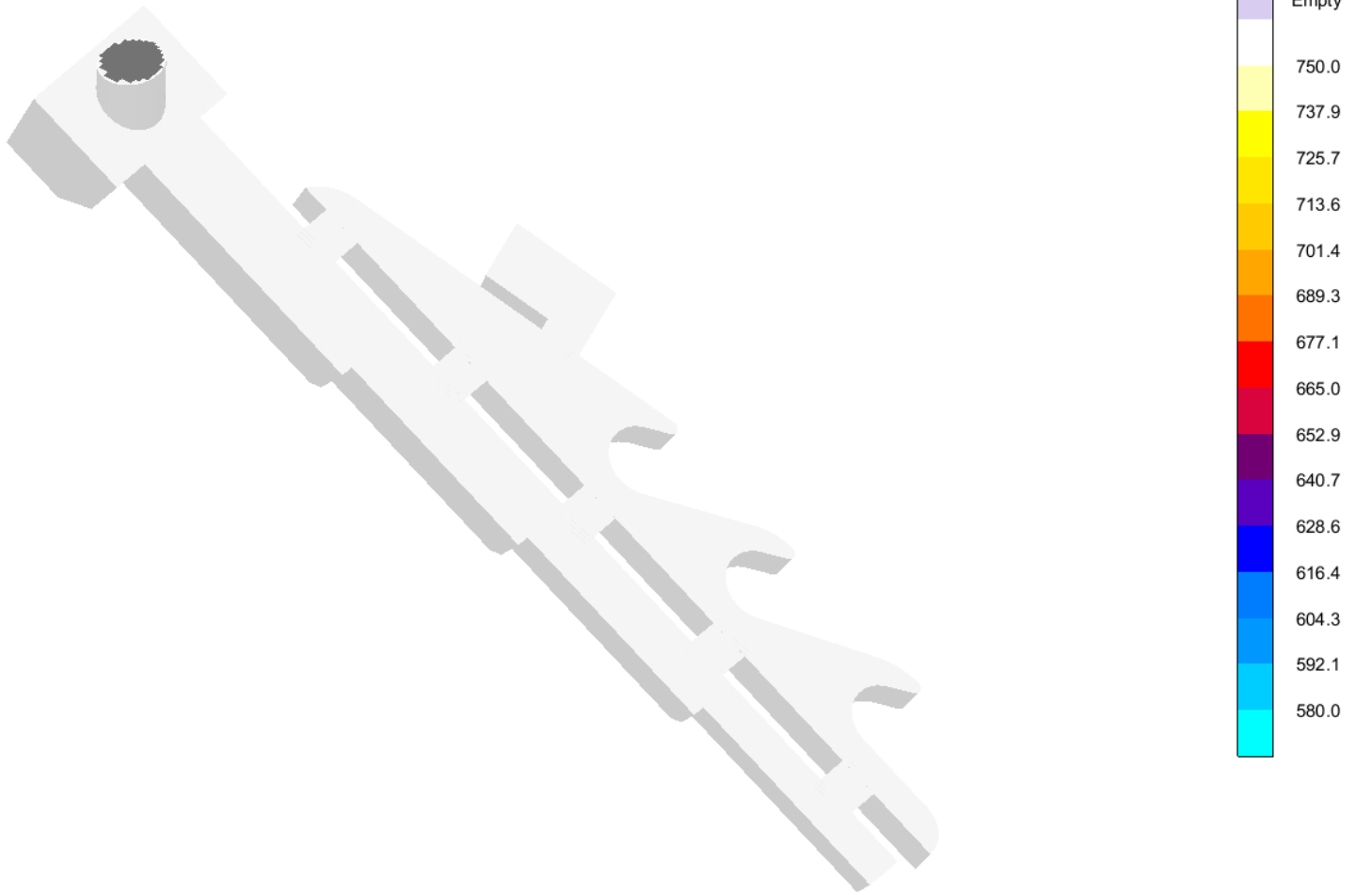
Solidification state



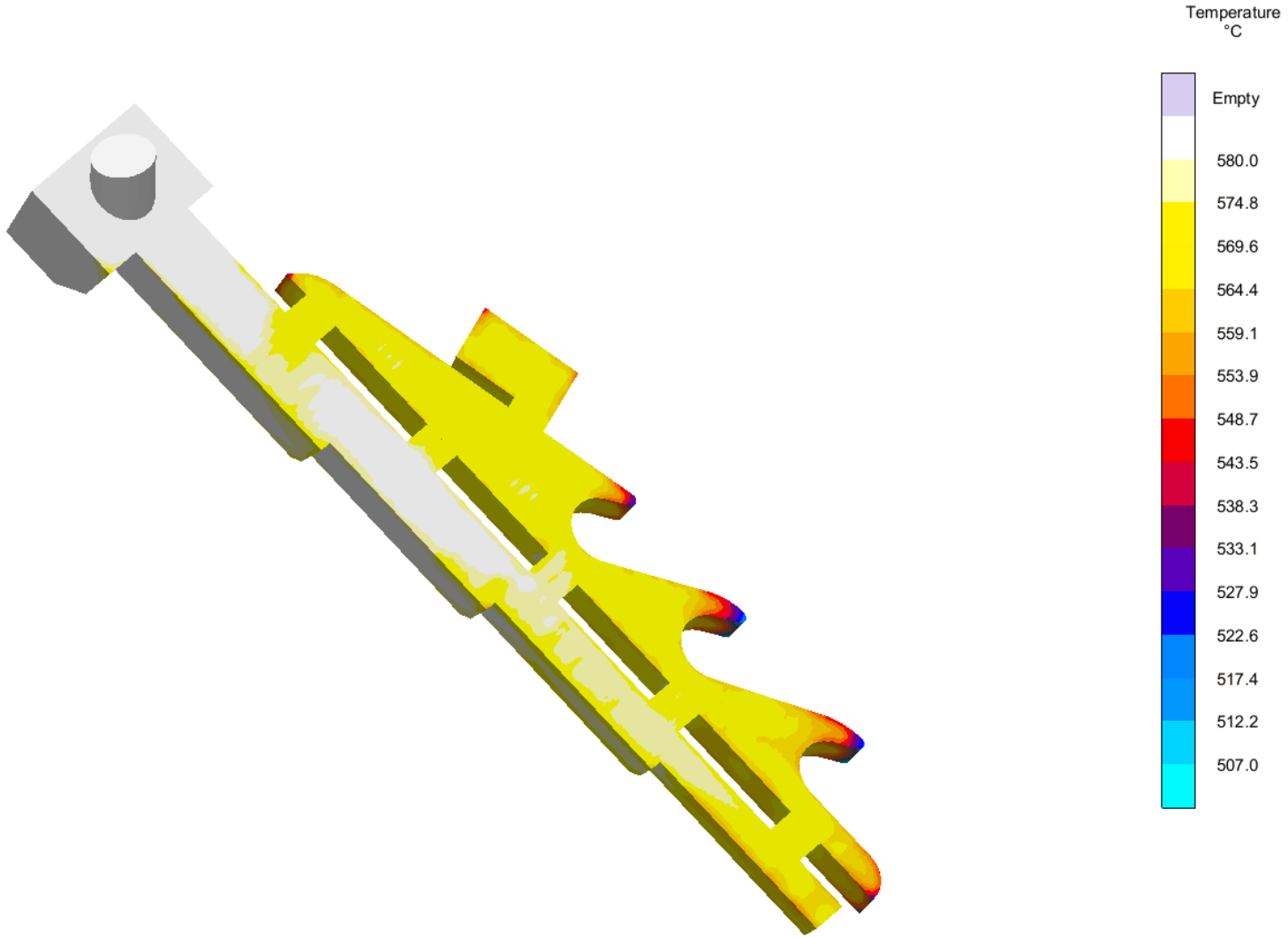
Shrinkage, Porosities



Filling state



Solidification state



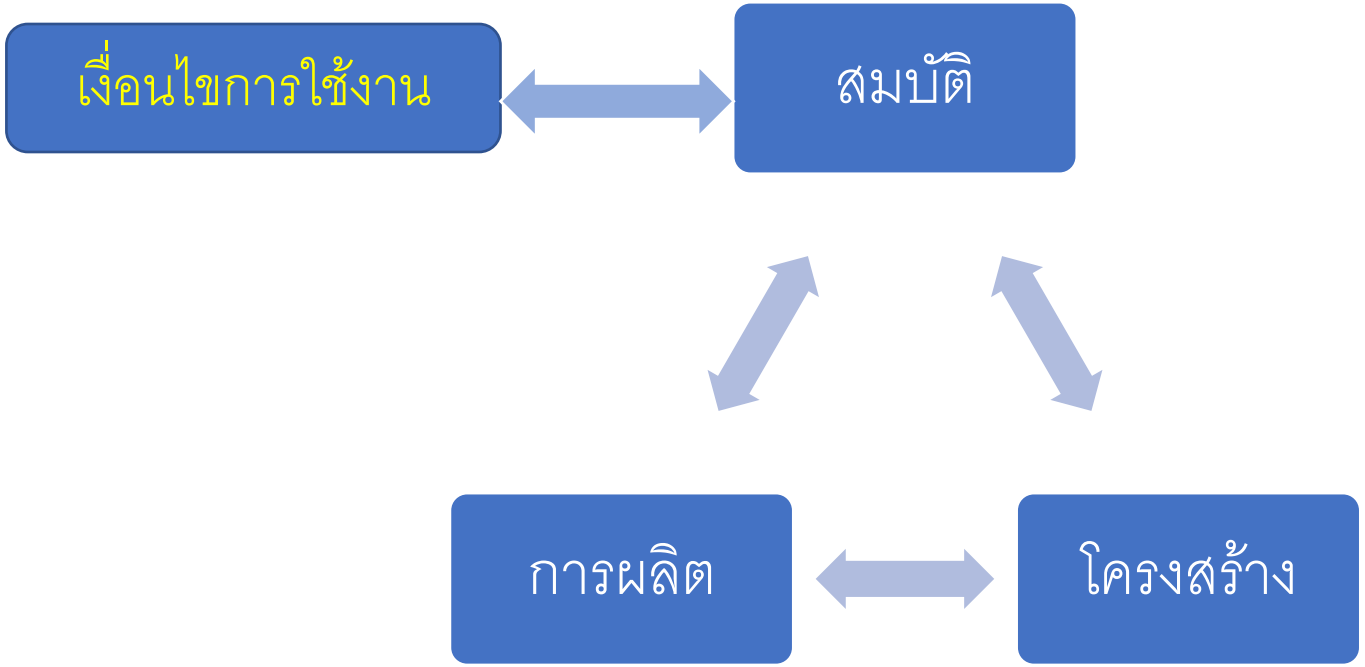
ภาพรวมของเหล็กสปริงสำหรับการผลิต Rail clip

- เกรดของเหล็กสปริงที่นิยมใช้ทั่วไป
  - เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (0.3-0.6%C)
  - SUP6, SUP7 (60Si7 : 0.56-0.64 %C, 1.5-2.0 %Si, 0.7-1.1 %Mn) , SUP12
  - SUP9, SUP 11 (0.52-0.60 %C, 0.15-0.35 %Si, 0.65-0.95 %Mn, 0.65-0.95 %Cr)

- <u>หัวข้อการแลกเปลี่ยนความรู้</u>
- สมบัติทางวัสดุที่ต้องพิจารณาในการผลิตสปริง ?
- โครงสร้างทางโลหะวิทยาส่งผลต่อสมบัติของเหล็กสปริงอย่างไร ?
- กระบวนการผลิตส่งผลต่อโครงสร้างอย่างไร ?

ความสำคัญของการควบคุมโครงสร้างทางโลหะวิทยา

- โลหะวิทยา คือ ศาสตร์ที่กล่าวถึง***ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของโลหะ***
- เราสามารถ**เปลี่ยนสมบัติ**บางอย่างของวัสดุได้ โดยการ**เปลี่ยนแปลงโครงสร้าง**ด้วยกระบวนการต่างๆ



สมบัติทางกล

- สมบัติทางกลหมายถึง ***ความสามารถในการรับแรง*** หรือภาระ (Load) ลักษณะต่างๆ
- มีวิธีการทดสอบหาค่าสมบัติทางกลอย่างไร ?

    การทดสอบแรงดึง

    การทดสอบความแข็ง

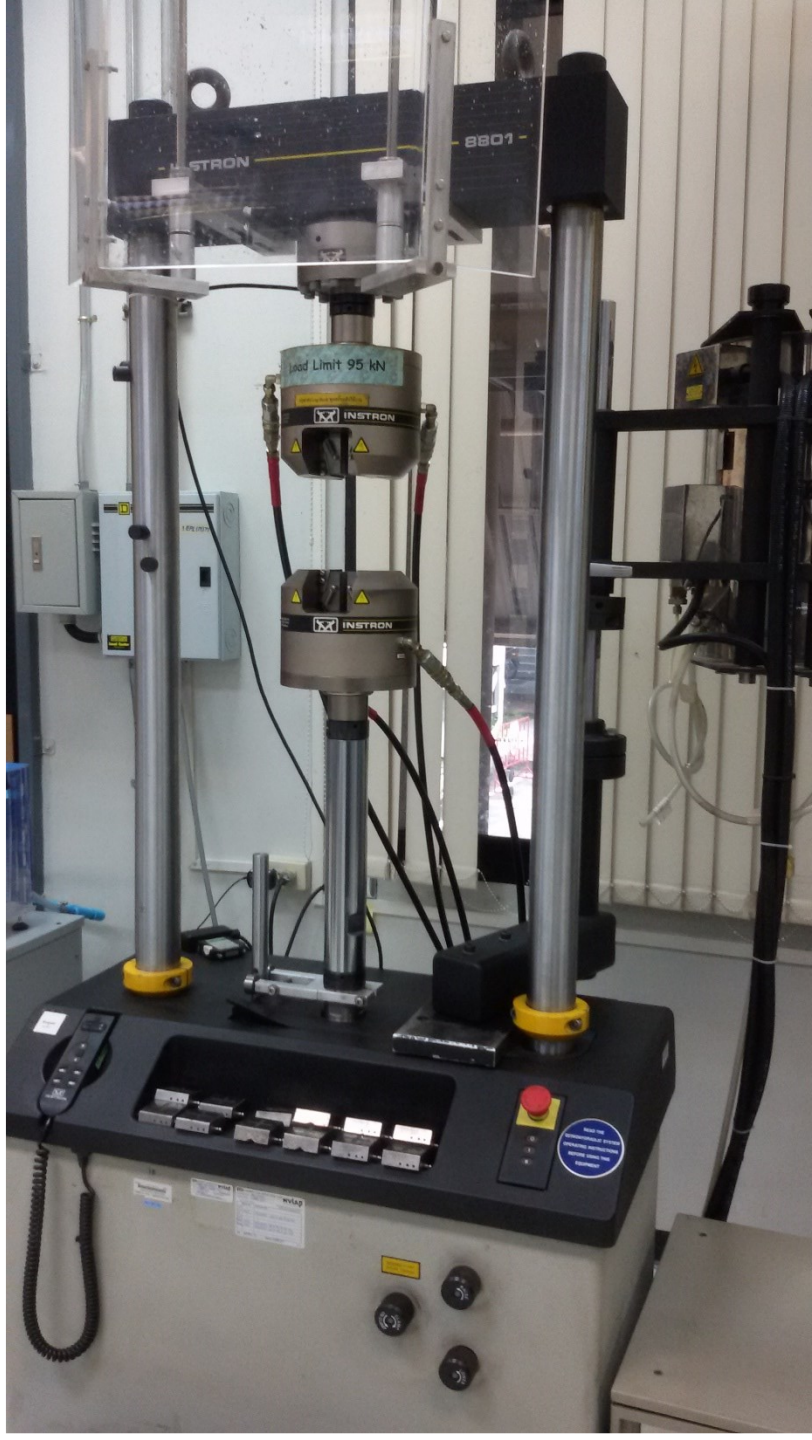
    การทดสอบความเหนียว

    การทดสอบความทนต่อการล้า

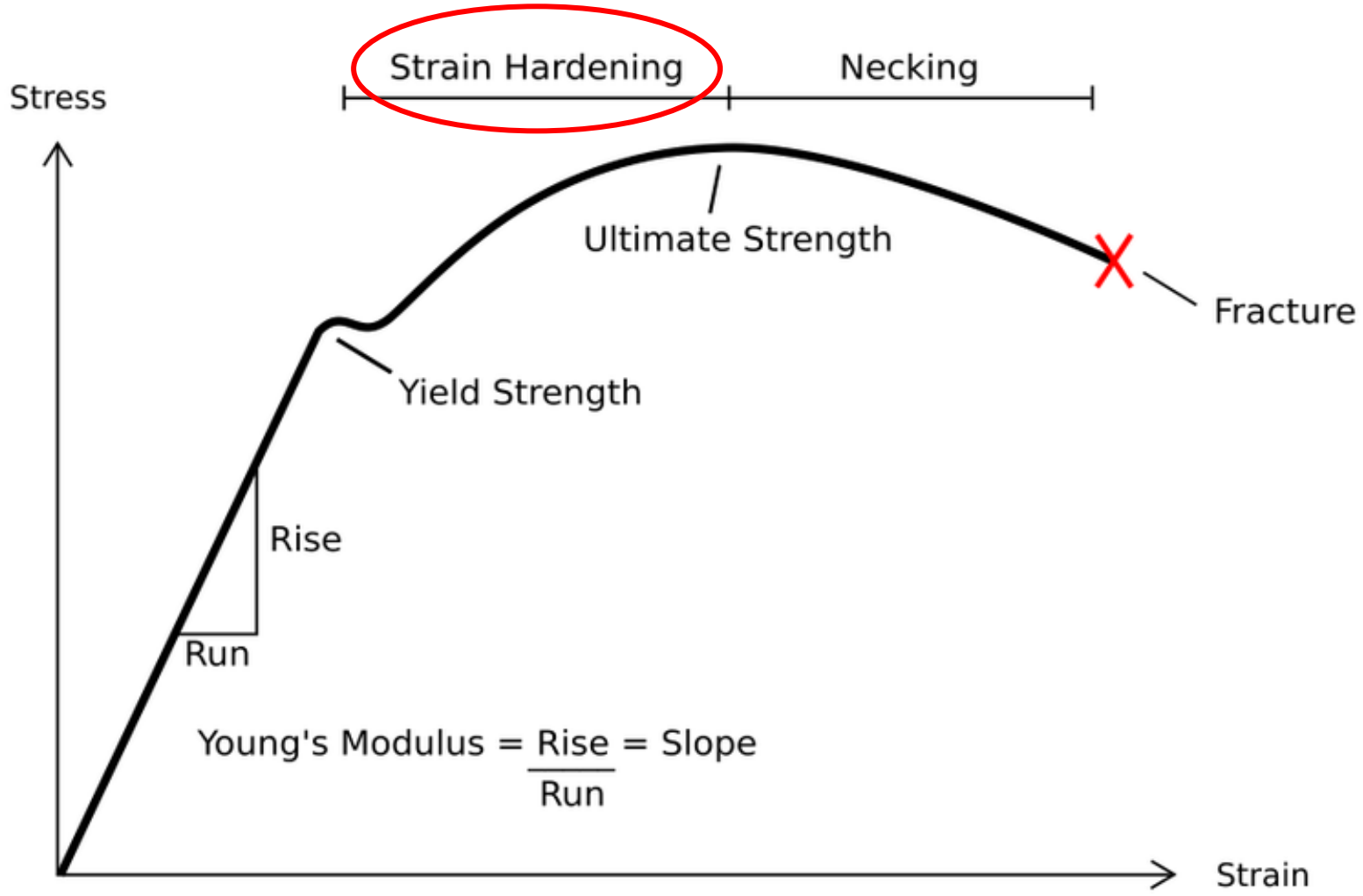
- **สมบัติส่วนใหญ่จะขึ้นกับโครงสร้าง** คือ ชนิด ขนาด รูปร่าง ปริมาณ และการกระจายของเฟสต่างๆ

การทดสอบแรงดึง

- ข้อมูลที่ได้รับ คือ แรง กับ ระยะยืด
- วัสดุเดียวกัน ชิ้นงานใหญ่หรือเล็ก ค่าแรงและระยะยืด ย่อมไม่เท่ากัน
- เพื่อกำจัดตัวแปรด้านขนาดออก
  - จึงนำแรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิม และเรียกว่า ความเค้นทางวิศวกรรม
  - ระยะยืด จับหารด้วย ความยาวเดิม เรียกว่า ความเครียดทางวิศวกรรม

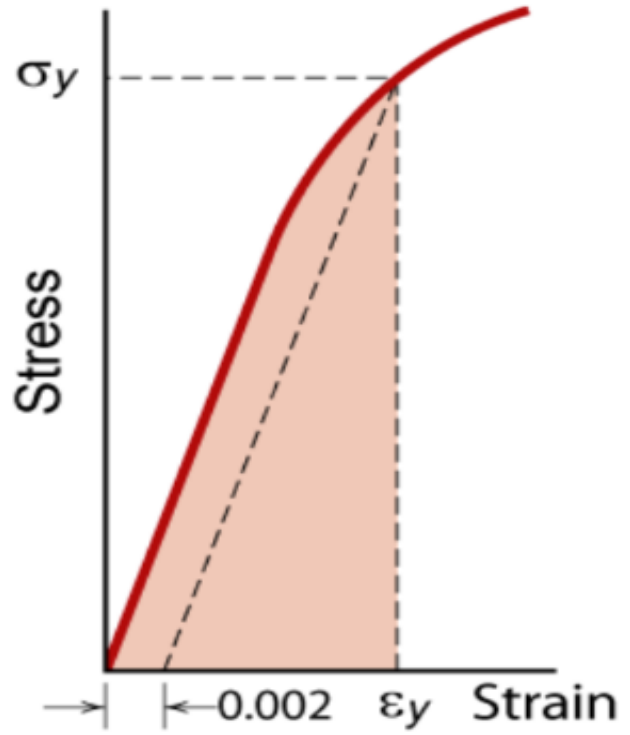


กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง



https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Stress_Strain_Ductile_Material.pdf

สมบัติที่ต้องพิจารณาในการผลิตสปริง



Energy of elasticity shown under the curve of the stress-strain curve.

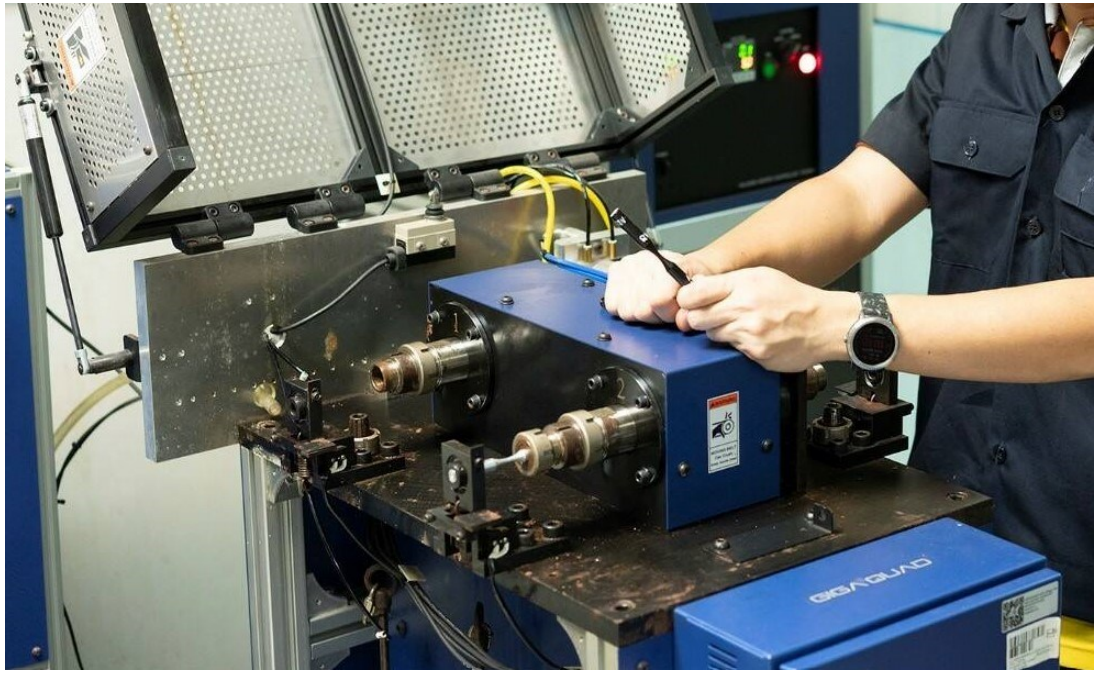
Credit: Callister

Young's Modulus (E): ความแข็งแกร่งของวัสดุ ส่งผลต่อการรับแรงสูงสุดของสปริง

Modulus of Resilience: ความสามารถในการรับพลังงานก่อนการเสียรูปแบบถาวร สะสมแล้วปลดปล่อยพลังงาน

Credit : Figure adapted from Callister

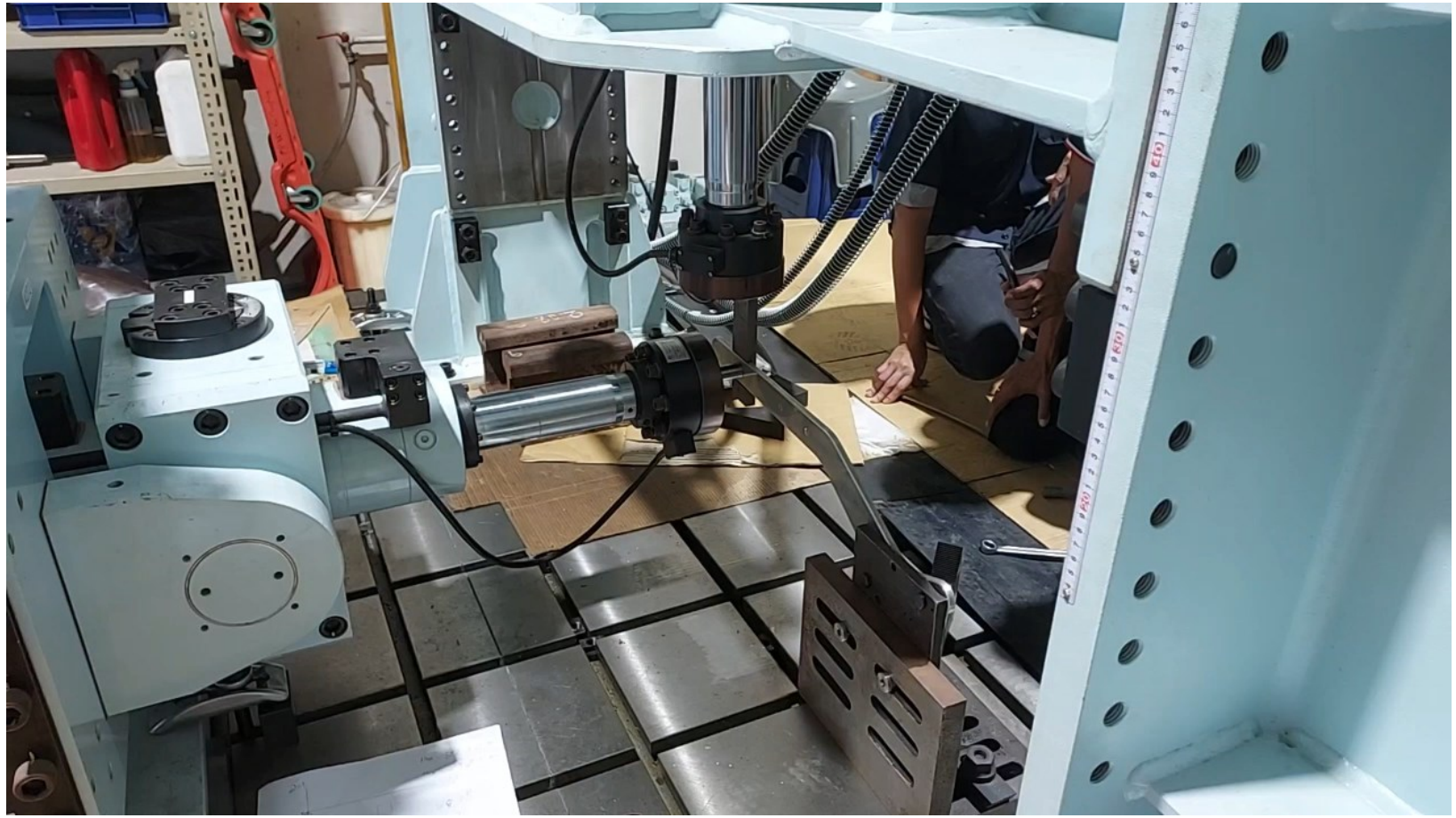
การล้า (Fatigue) หมายถึง การแตกร้าวของวัสดุ เมื่อได้รับแรงซ้ำไปซ้ำมา



- ทดสอบชิ้นงานได้พร้อมกัน 4 ตัวอย่าง
- ทดสอบความล้าในสภาวะการกัดกร่อน
- ทดสอบความล้าในสภาวะที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง

เครื่องทดสอบการล้า (Rotating bending fatigue testing machine)

เครื่องทดสอบการล้าแบบหลายแนวแกน

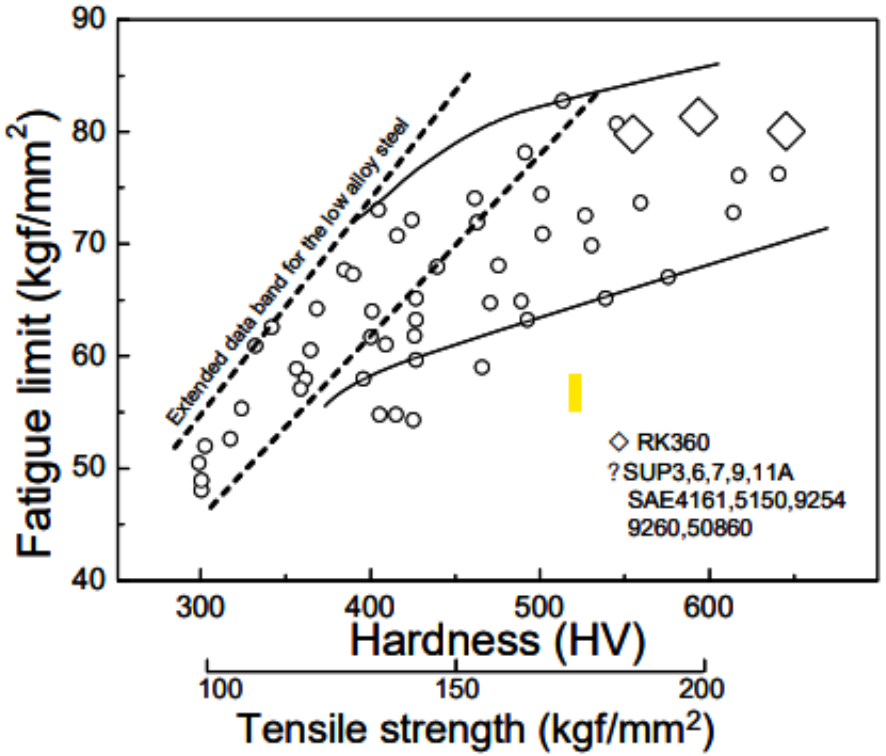


สมบัติที่ต้องพิจารณาในการผลิตสปริง

- High tensile strength : Young's modulus
- Good *sag resistance together with fatigue*
  - Fatigue strength
  - sag resistance

    - Sag คือปรากฏการณ์ที่สปริงเสียรูปทรง หรือความแข็งแกร่งไป เนื่องจากการรับแรงแบบซ้ำๆ

Fatigue



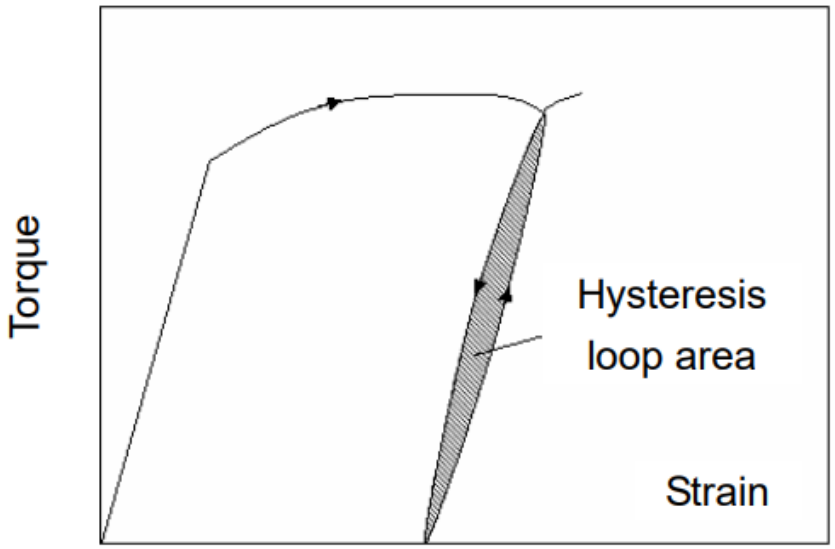
- คือ ความเสียหายจากการรับแรงแบบซ้ำๆหรือแรงไม่คงที่
- ขีดจำกัดความล้าเพิ่มขึ้นตามค่าความแข็งจนถึง 400 Hv จากนั้นจะไม่เพิ่มขึ้นมากนัก

<u>การเพิ่มความทนทานต่อการล้า</u>

- ลดโอกาสเกิดจุดกำเนิดรอยแตก
- ลดอัตราการขยายตัวของรอยแตกด้วยการ เพิ่มค่า Toughness โดยการลดขนาดเกรน ลดปริมาณคาร์บอน หรือการเติม Ni

Credit: Sangwoo Cho Optimization of microstructure and properties of high strength spring steel , Ph.D.Thesis, Jan 2011

Sag resistance



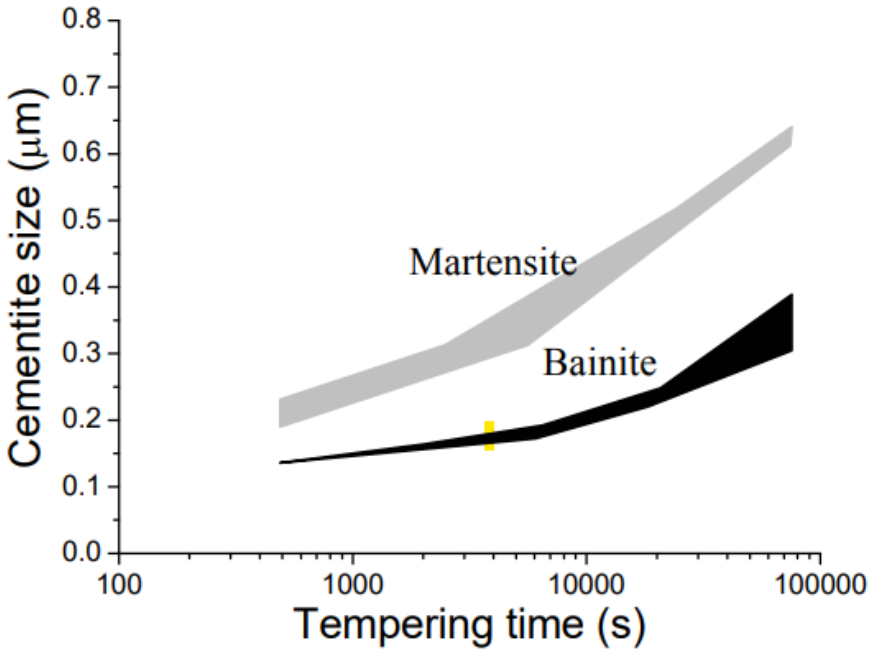
Schematic diagram of bauschinger torsion test.

- คือ ความสามารถในการรักษารูปทรงและความแข็งแกร่งของสปริง เมื่อผ่านการใช้งานซ้ำๆ
- ทดสอบหาค่าด้วยวิธี Bauschinger torsion test โดยพื้นที่ของ hysteresis loop แสดงถึงค่า Sag resistance
  - การเติม 1.5% Si ให้ค่า sag resistance ที่ดี
  - เมื่อขนาดเกรนเล็กลงค่า sag resistance จะเพิ่มขึ้น
  - การเติม V และ Nb ช่วยเพิ่มค่า sag resistance
- ปัจจัยที่มีผลต่อ Bauschinger effect คือ
  - ส่วนผสมทางเคมี
  - ขนาดเกรน
  - ขนาดและการกระจายตัวของคาร์ไบด์

Bauschinger effect เป็นปรากฏการณ์ Strain softening
เมื่อชิ้นงานถูกให้แรงสลับแบบทิศตรงข้ามกับแรงเดิม

Credit: Sangwoo Cho Optimization of microstructure and properties of high strength spring steel , Ph.D.Thesis, Jan 2011

Sag resistance

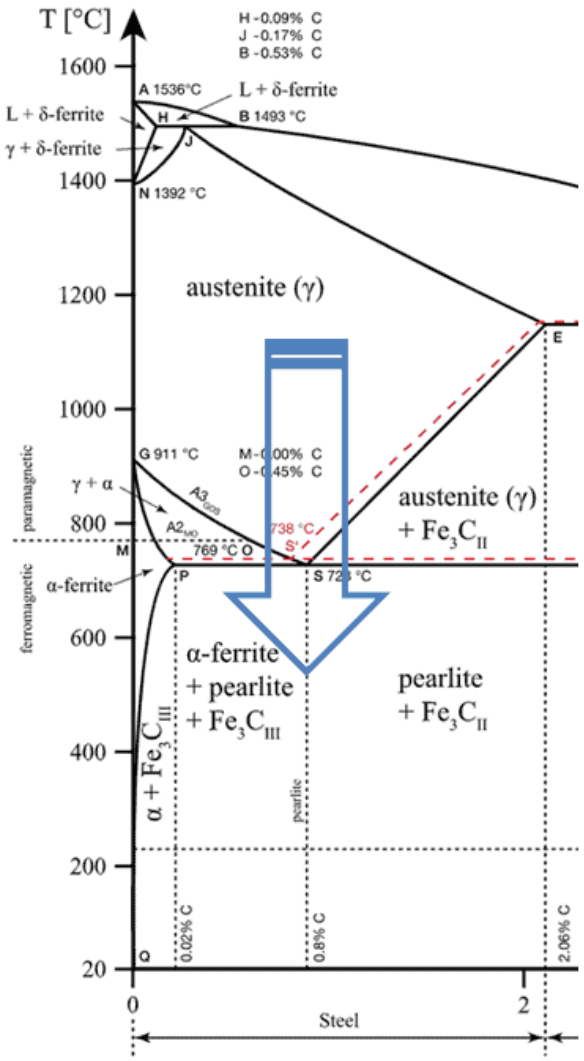


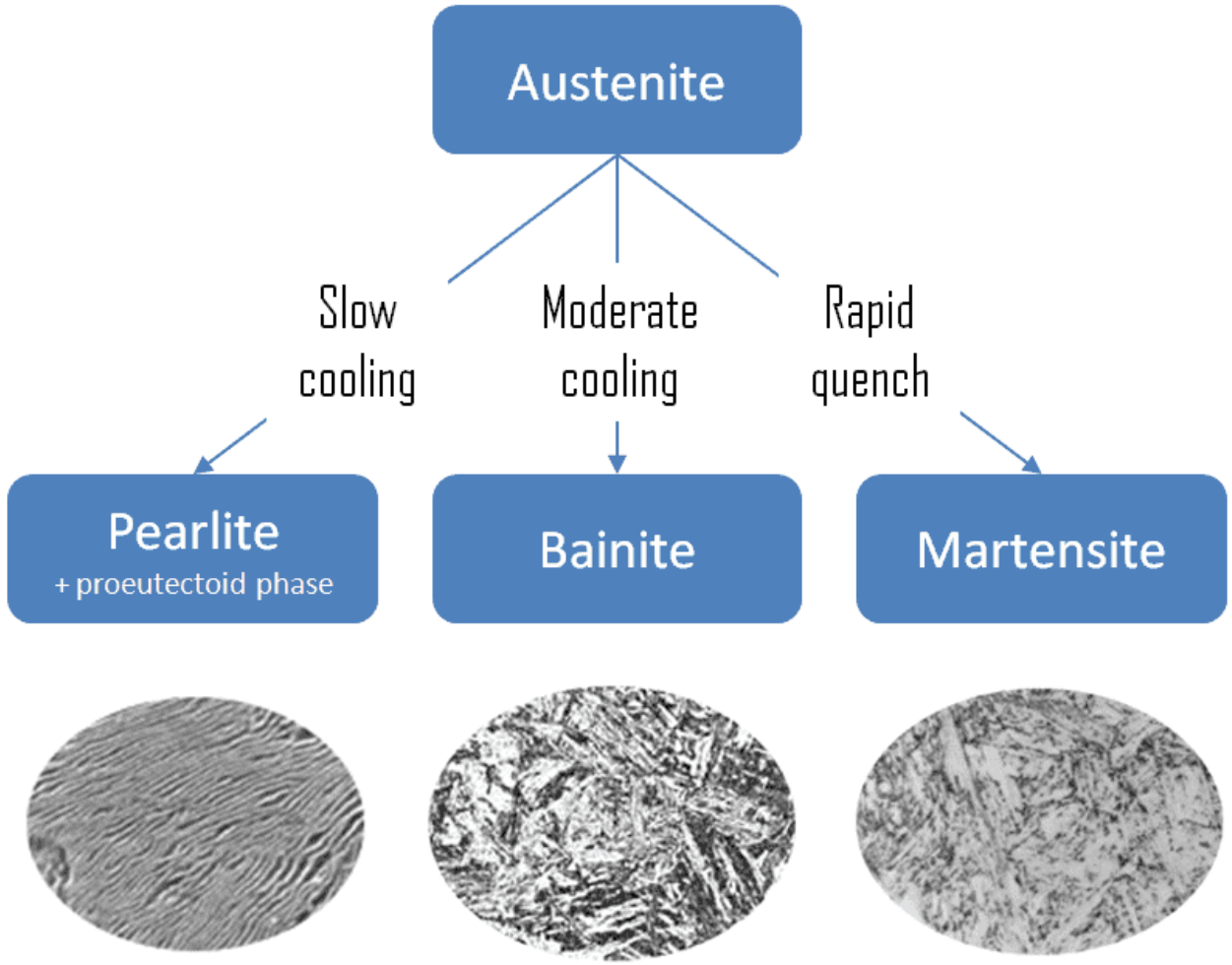
ขนาดของคาร์ไบด์ที่ตกผลึกในโครงสร้างมาร์เทนไซท์และเบนไนท์ระหว่างการปรับสภาพทางความร้อน

- การเพิ่ม Sag resistance
  - เพิ่มความแข็งแรง และลดการเกิด decarburization ที่ผิว
  - เพิ่มการละลายของ Si, Mn ในสารละลายของแข็ง (โครงสร้างพื้น)
- ควบคุมการตกผลึกของคาร์ไบด์ให้มีขนาดเล็กและกระจายตัวสม่ำเสมอในโครงสร้างพื้นด้วยการปรับสภาพทางความร้อน
  - ควบคุมส่วนผสมทางเคมี
  - กำหนดสภาวะการปรับสภาพทางความร้อนให้เหมาะสม เพื่อให้ได้โครงสร้างแบบผสมผสานเพื่อให้เหมาะกับสภาวะการใช้งานรูปแบบต่างๆ (ทั้งโครงสร้างมาร์เทนไซท์และเบนไนท์)

Credit: Sangwoo Cho Optimization of microstructure and properties of high strength spring steel , Ph.D.Thesis, Jan 2011

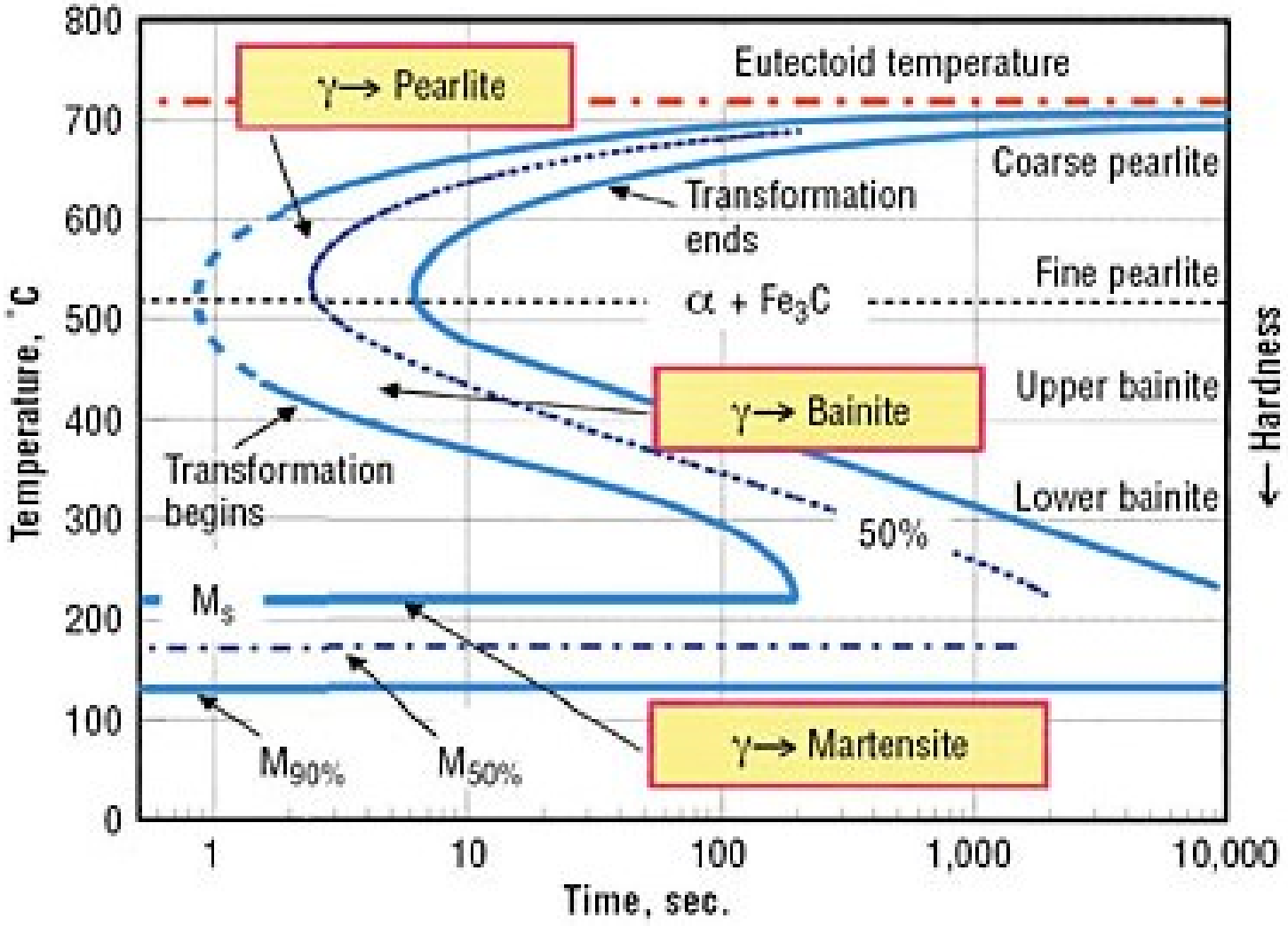
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโลหะวิทยาของเหล็กกล้าคาร์บอน





https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/metals-what-are-metals/heat-treatment-of-metals/quenching-metals/

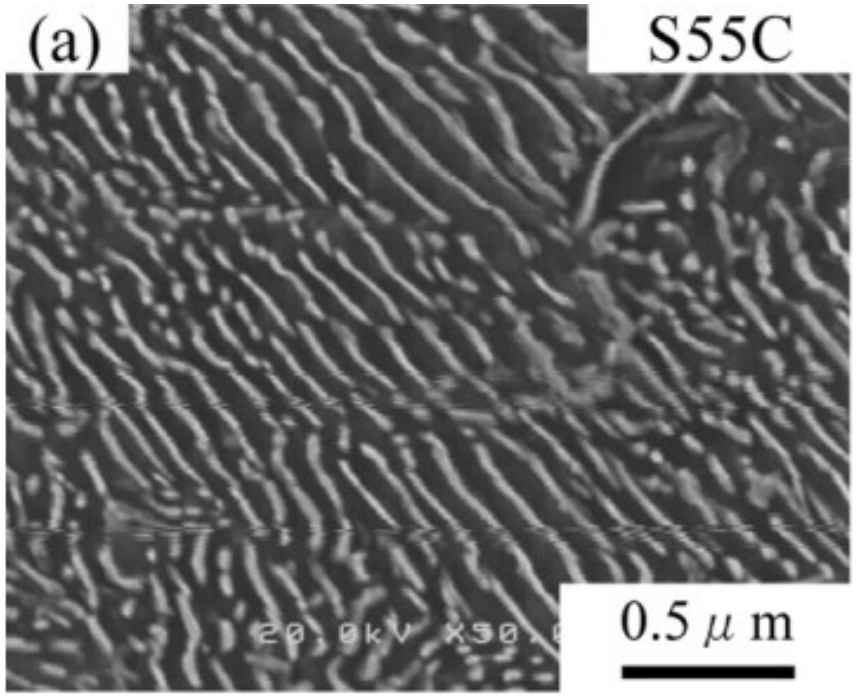
TTT-Diagram



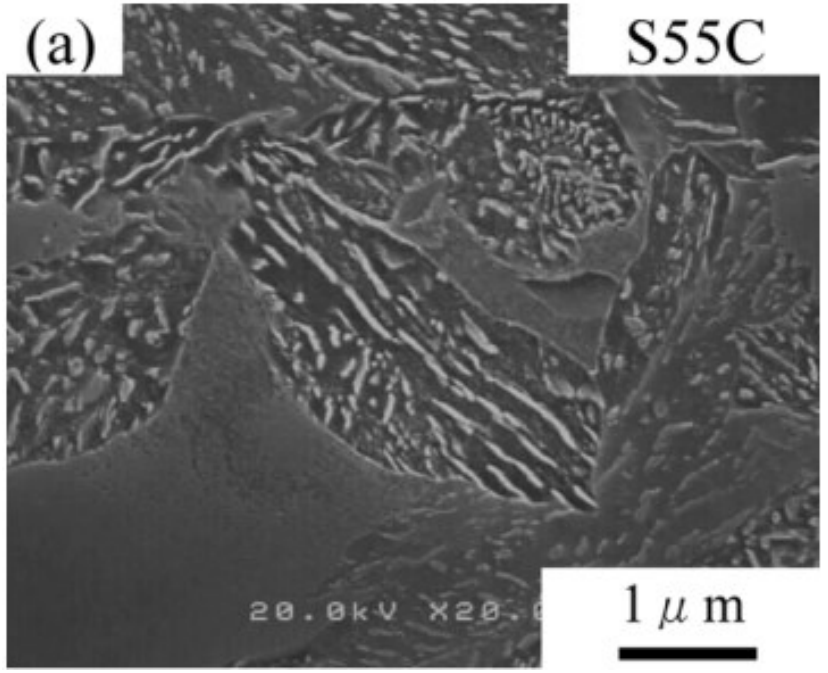
https://www.industrialheating.com/

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง

Pearlite

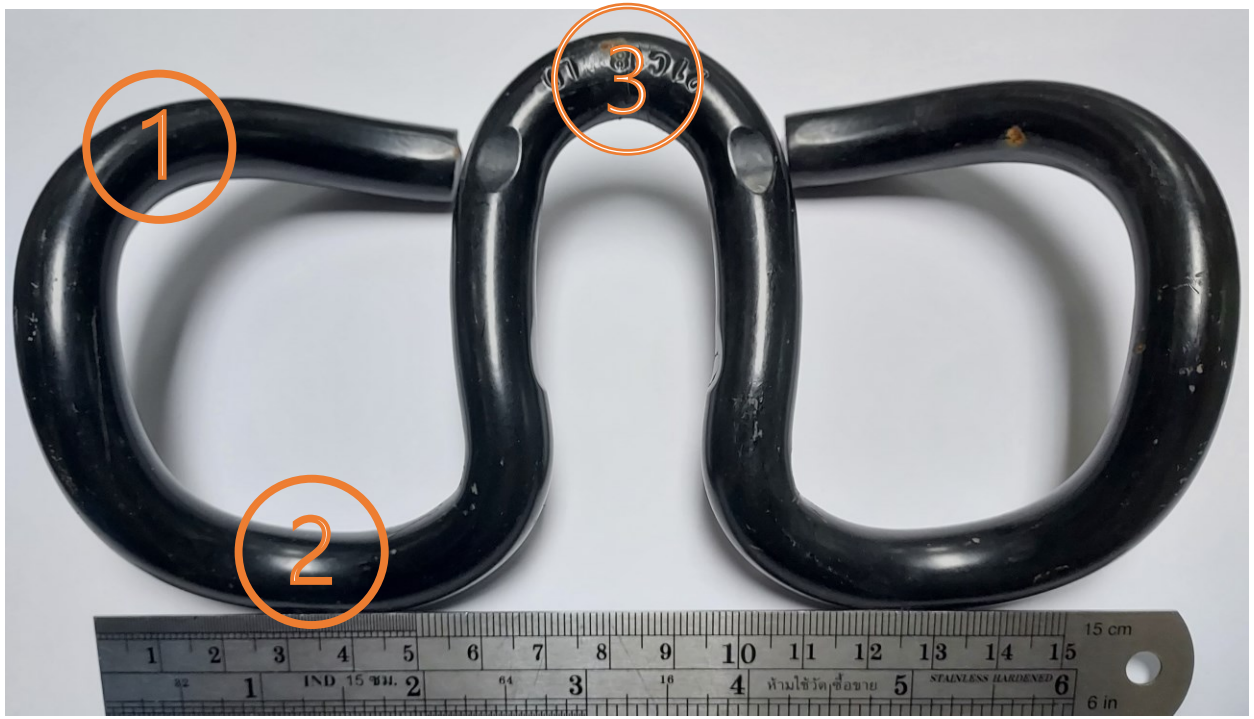


Bainite



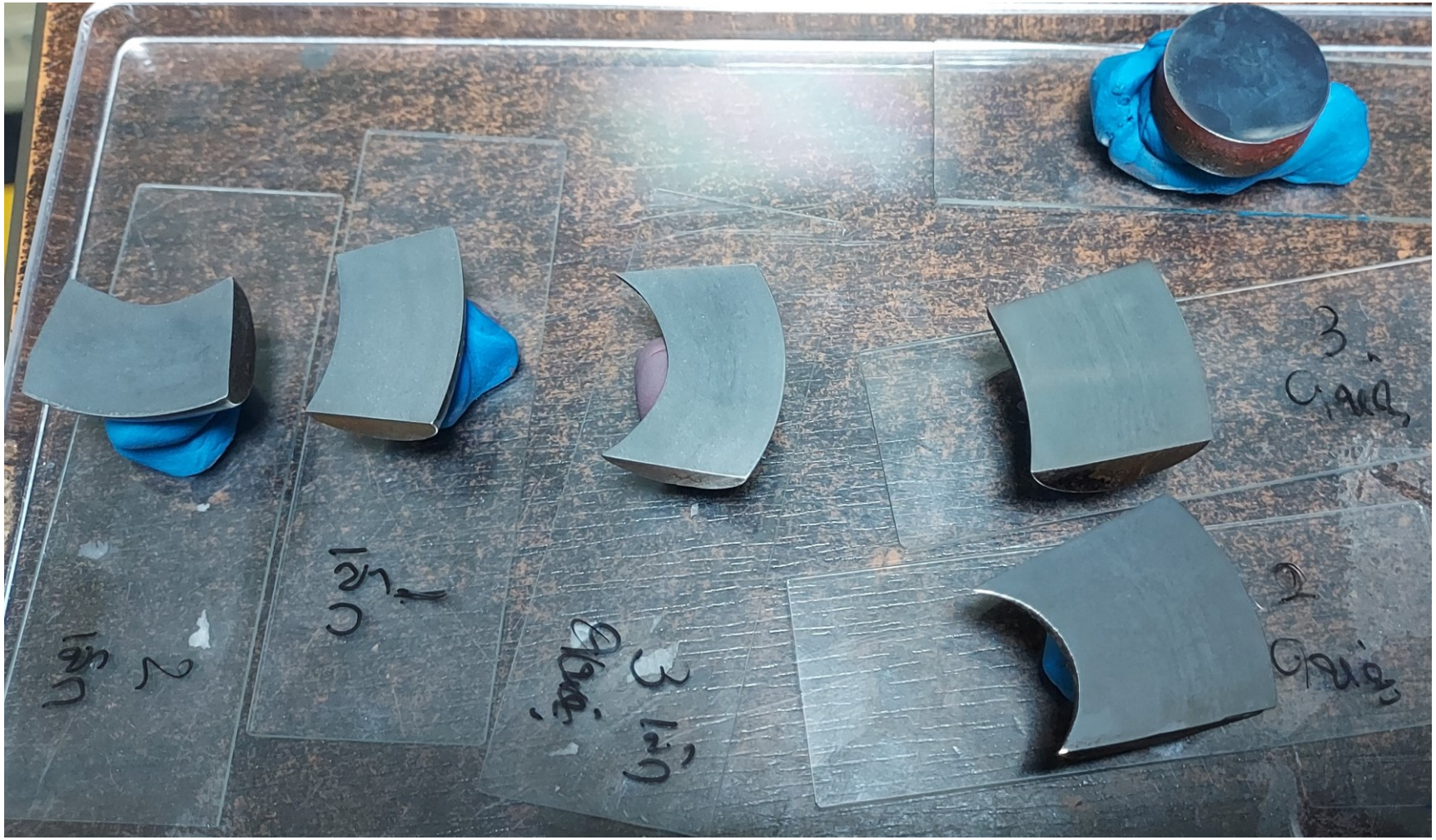
Takeshi SUZUKI Effects of Si and Cr on Bainite Microstructure of Medium Carbon Steels, ISIJ International, Vol. 50 (2010)

Rail clip (S)

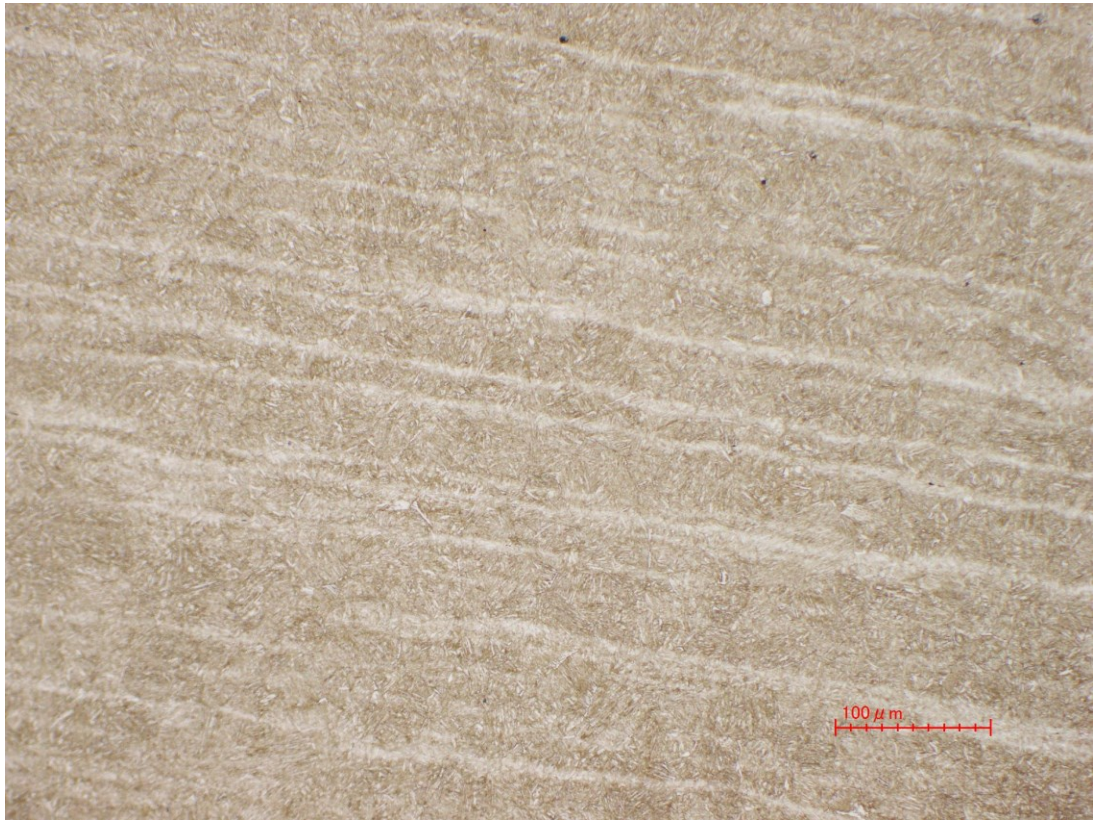


Rail clip (L)

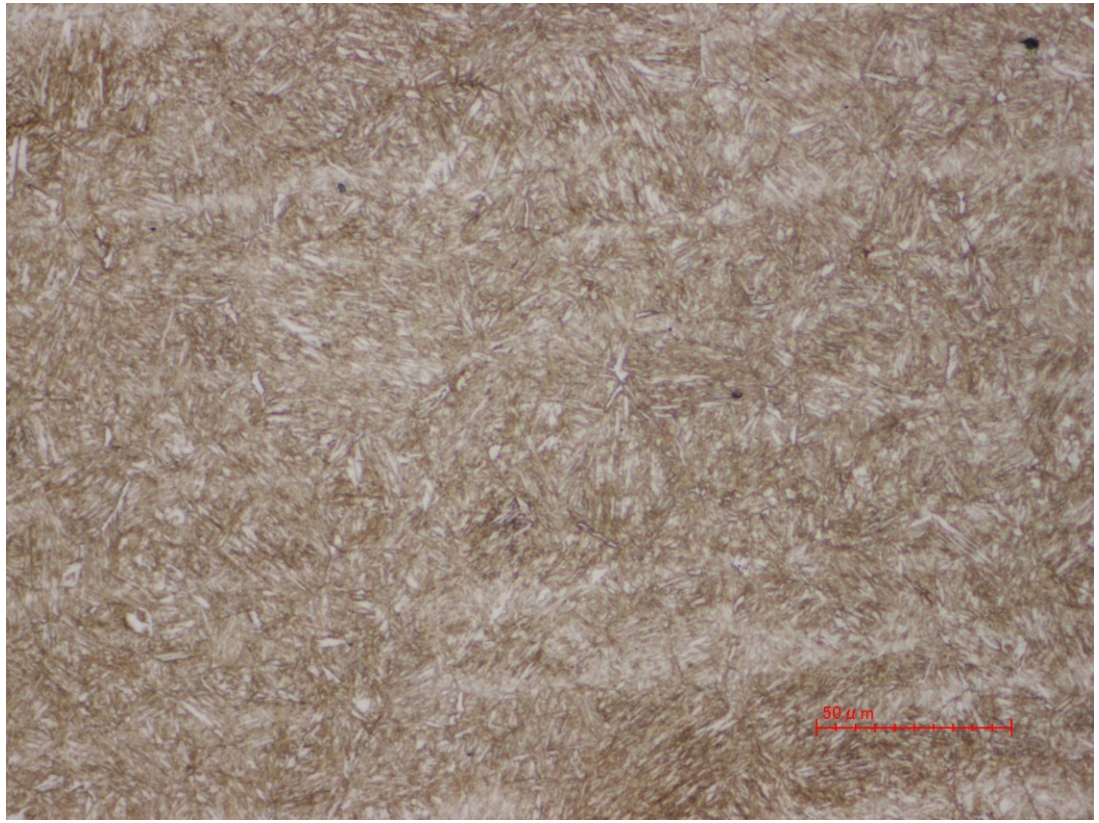
ชิ้นงานที่ใช้ศึกษาโครงสร้างจุลภาค



ชิ้นงาน S กลางชิ้นงาน

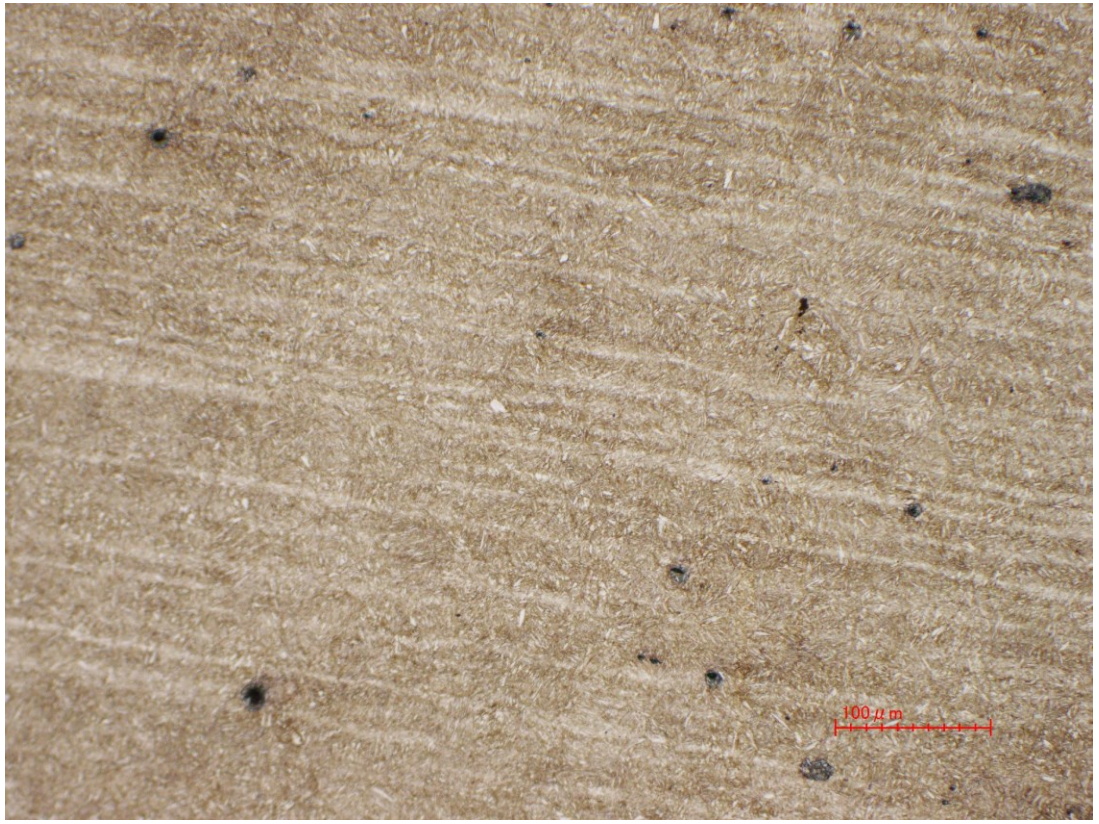


200X

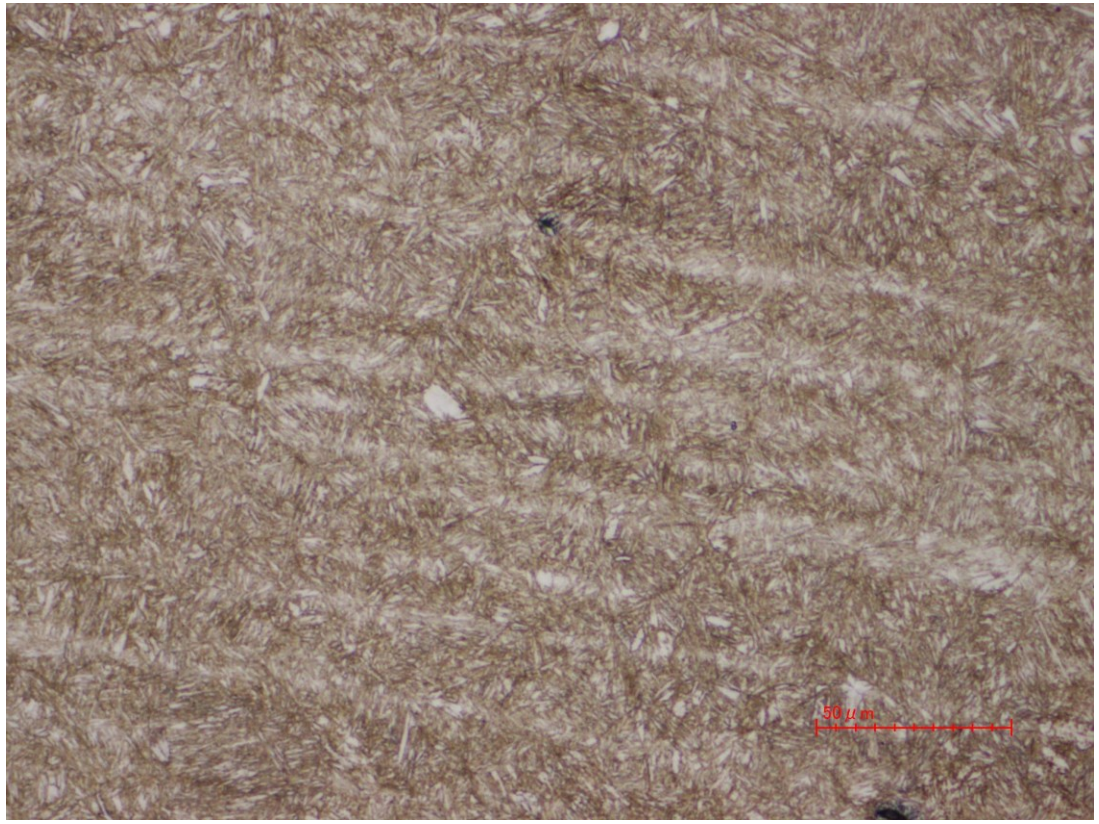


500X

ชิ้นงาน S โค้งด้านนอก

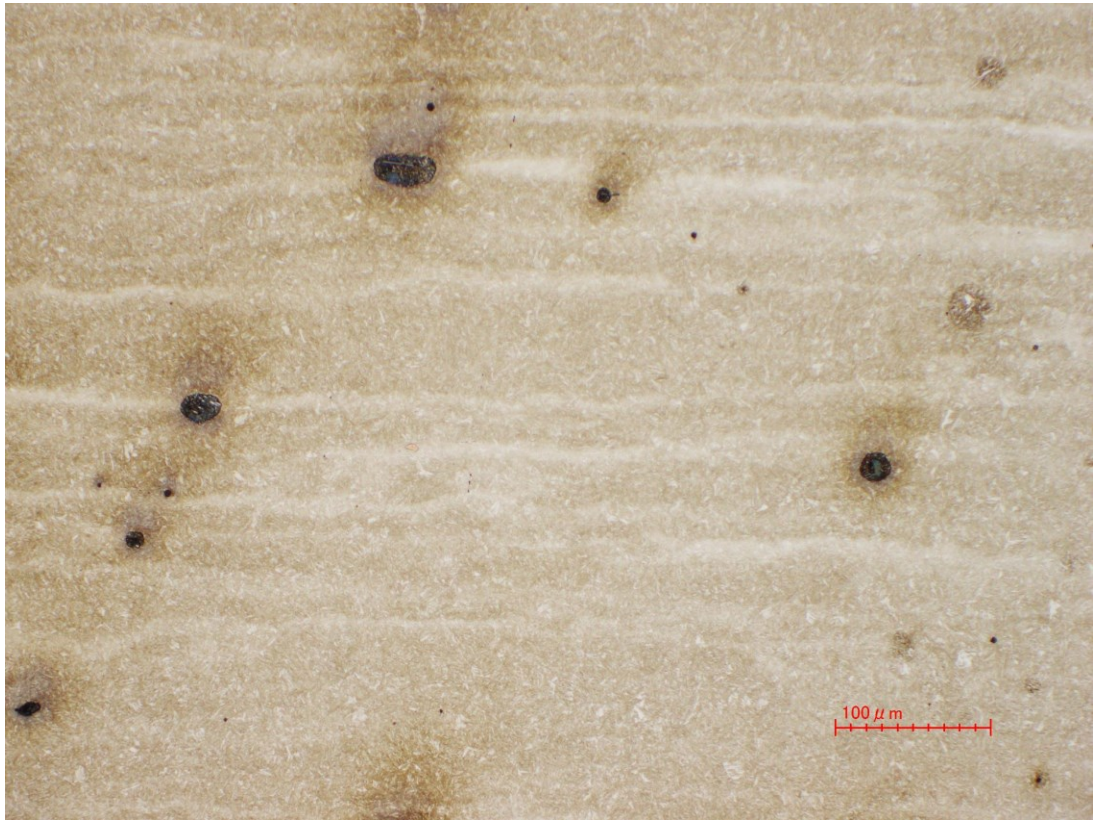


200X

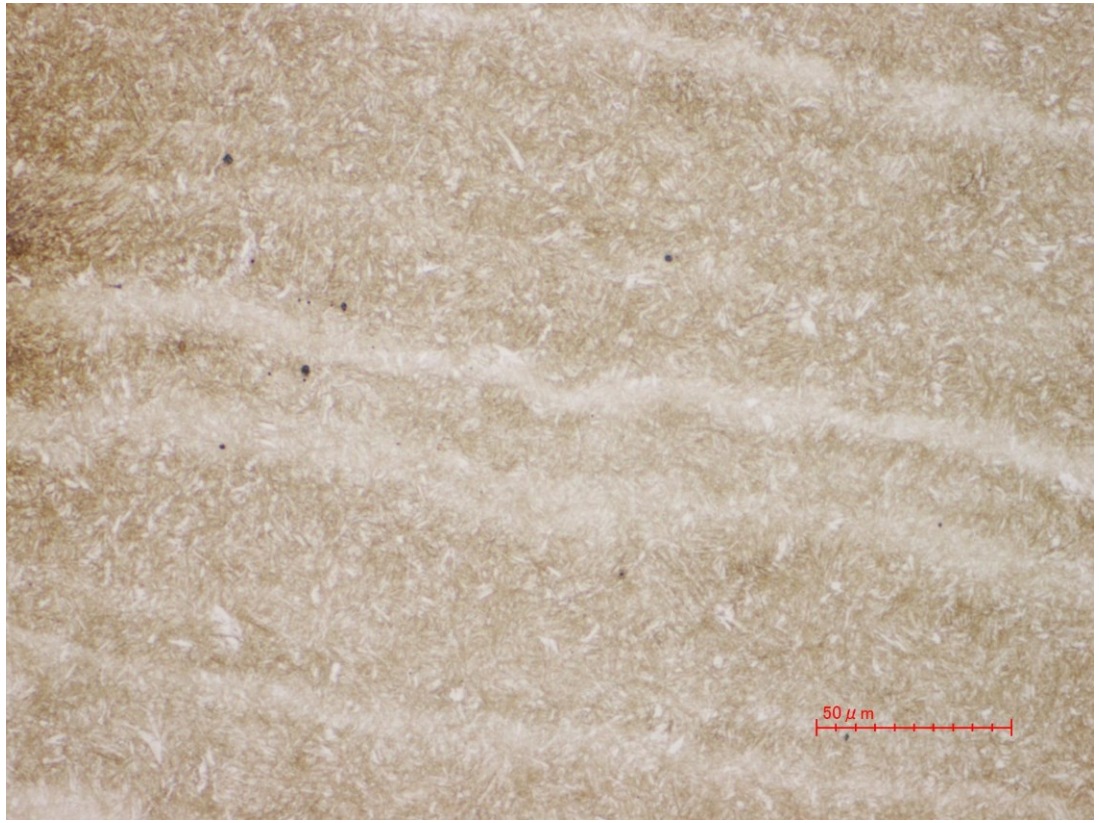


500X

ชิ้นงาน L กลางชิ้นงาน

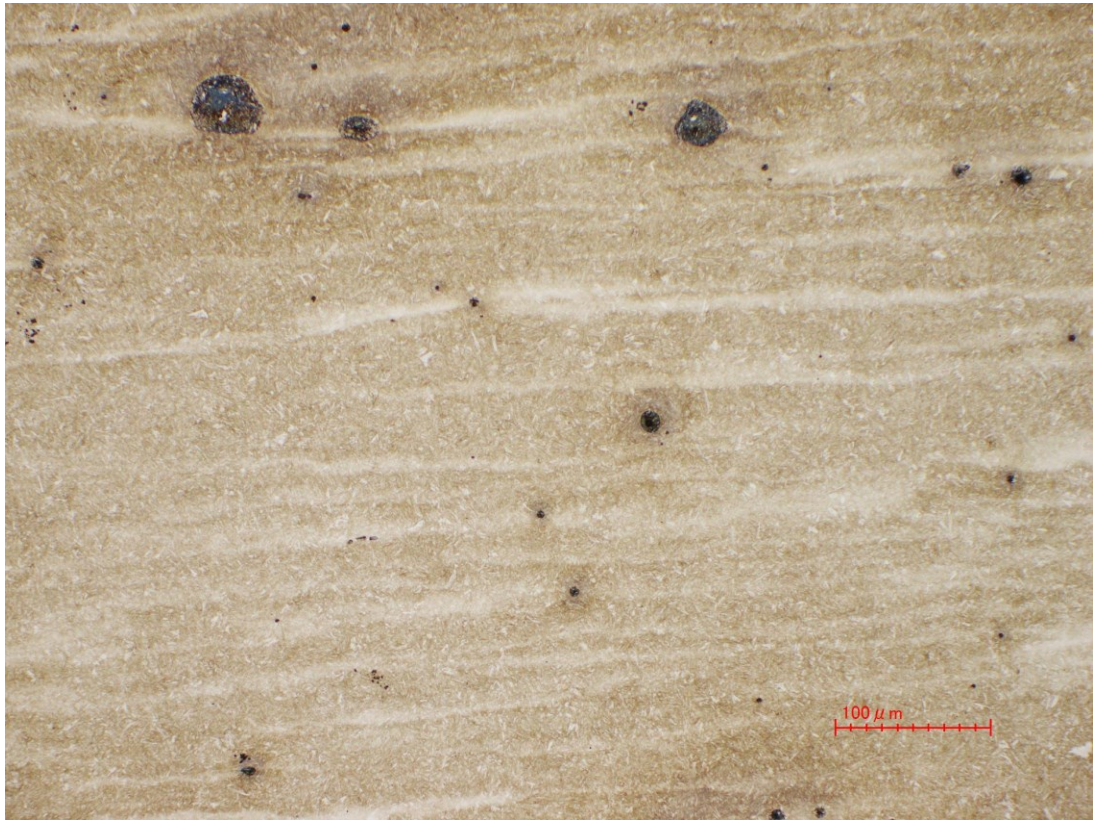


200X

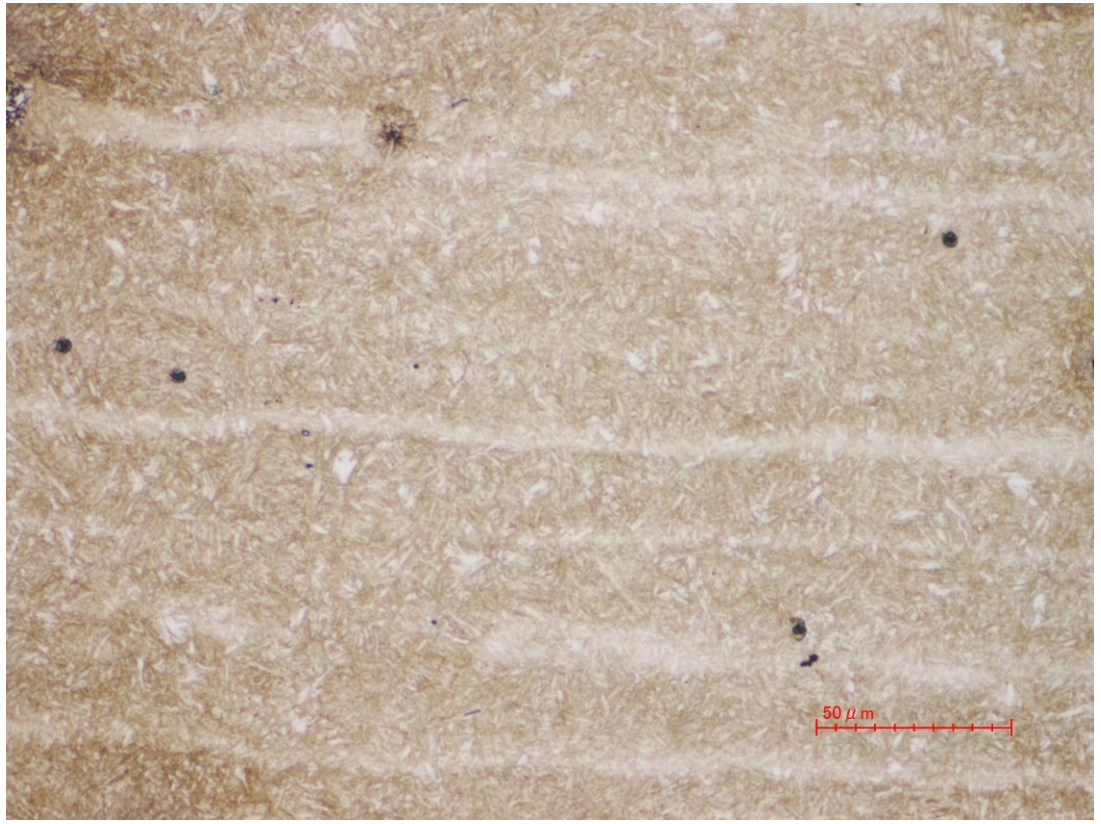


500X

ชิ้นงาน L โค้งด้านนอก

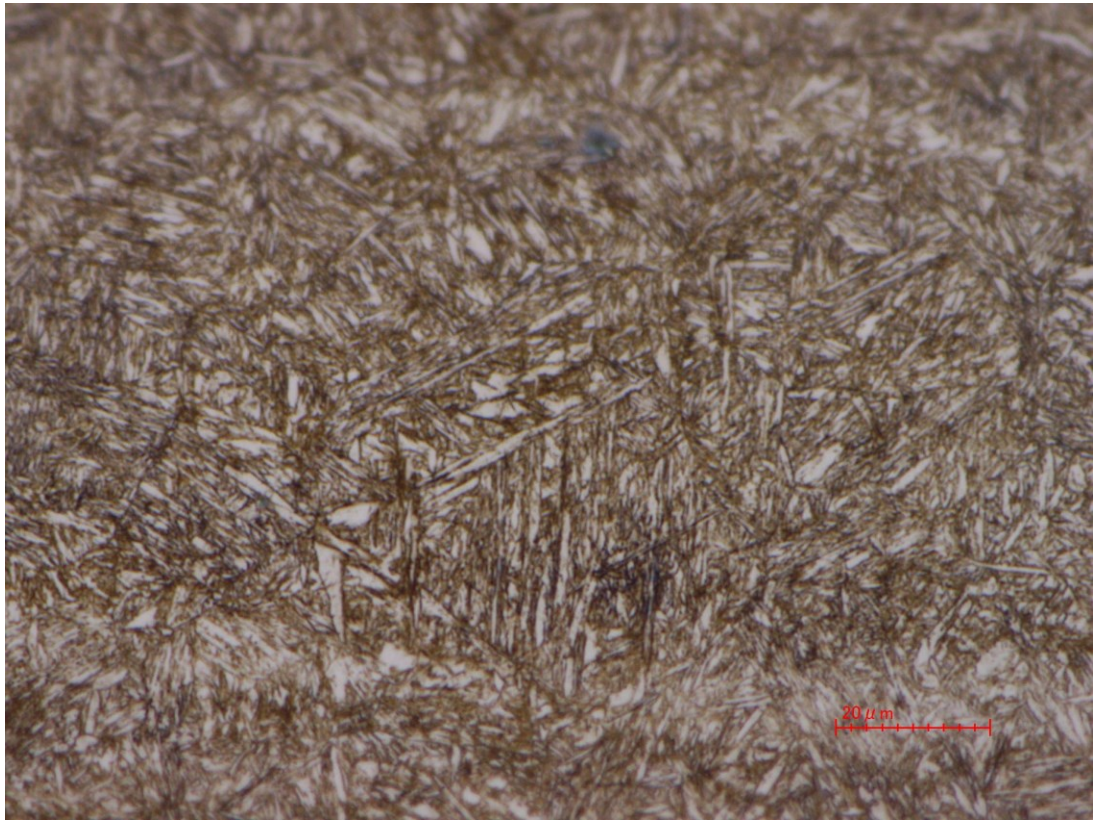


200X

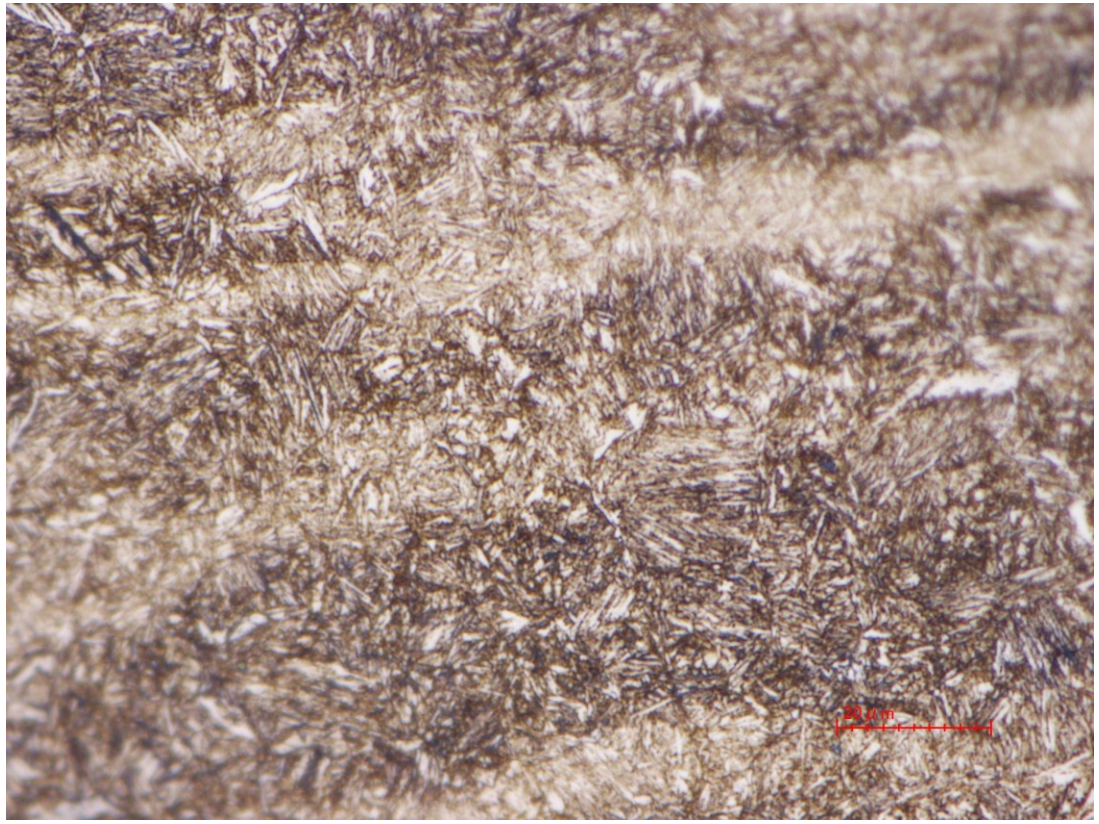


500X

โค้งด้านนอกของชิ้นงาน S และ L

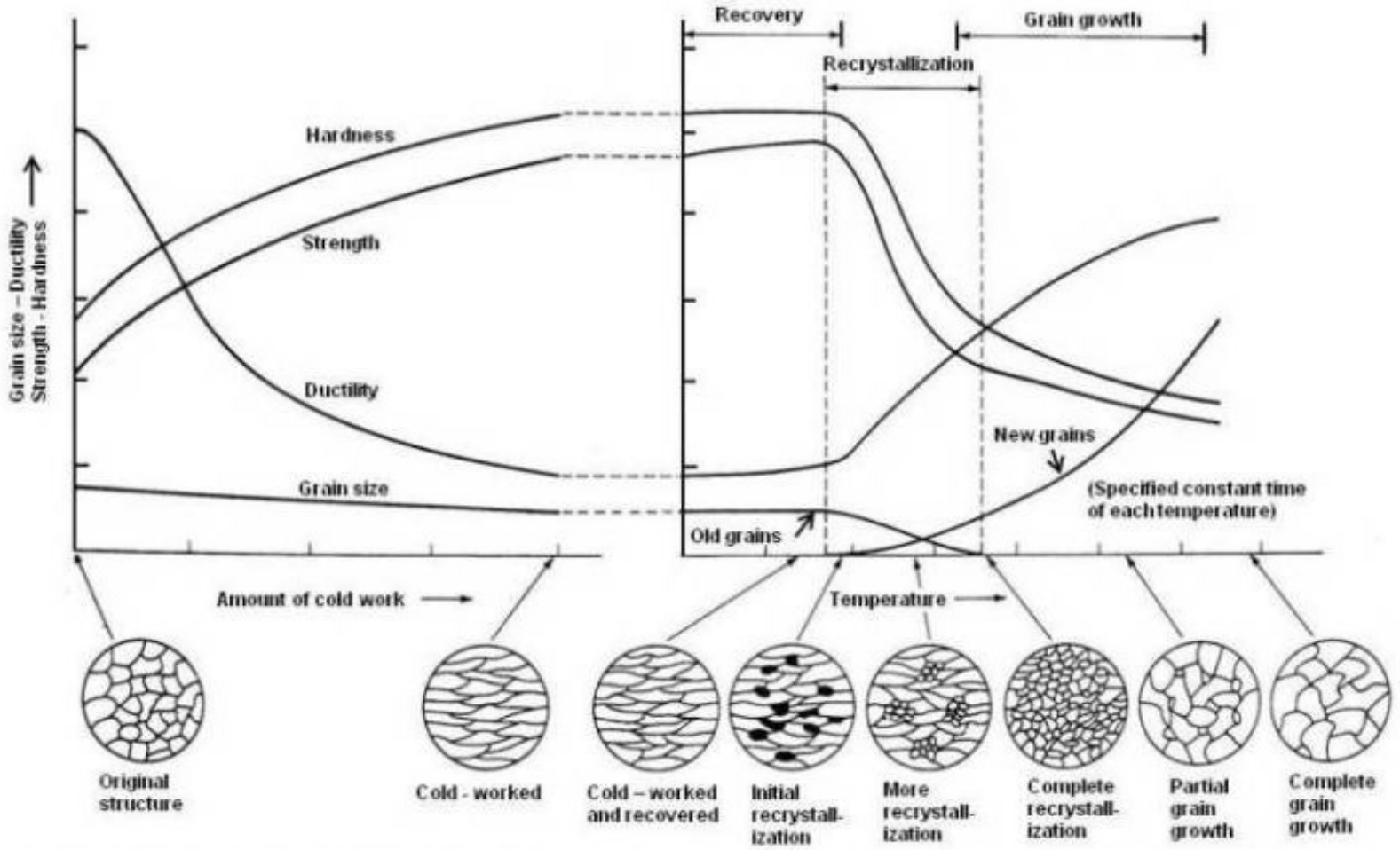


S 1000X



L 1000X

การเปลี่ยนโครงสร้างและสมบัติทางกล



Schematic Representation of the Cold-worked and Anneal Cycle showing the effects on Properties and Microstructure

https://www.heatreaters-engineers.com/Annealing1.html

การผลิต Rail clip

Raw material

Shearing

Heating

Forming

Hardening

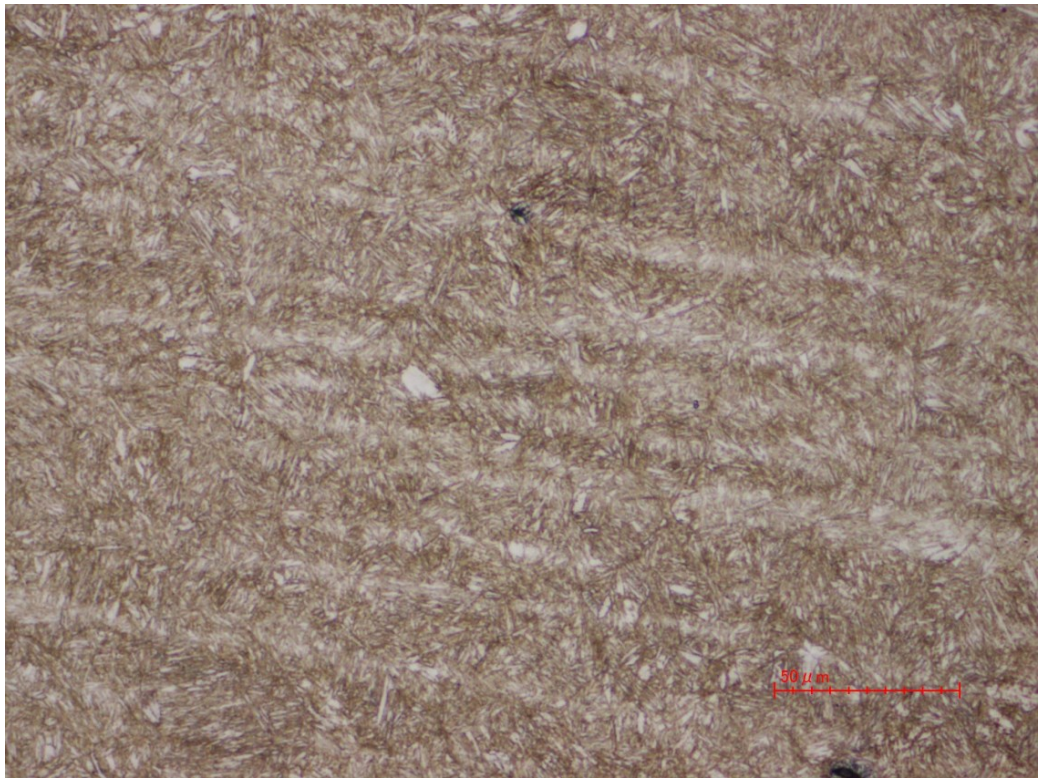
Tempering

http://www.railway-fasteners.com

โครงสร้างภายหลังการขึ้นรูปในสภาวะที่ต่างกัน

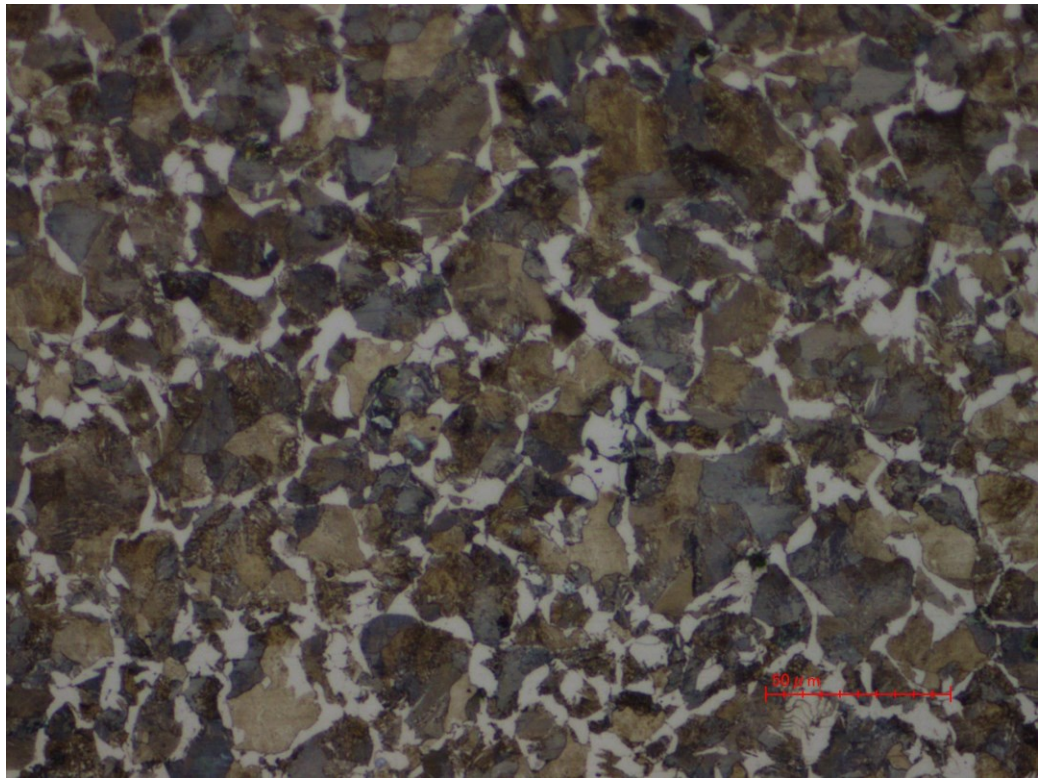
ชิ้นงานผ่านการปรับสภาพทางความร้อนหลังการขึ้นรูป

500x



ชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

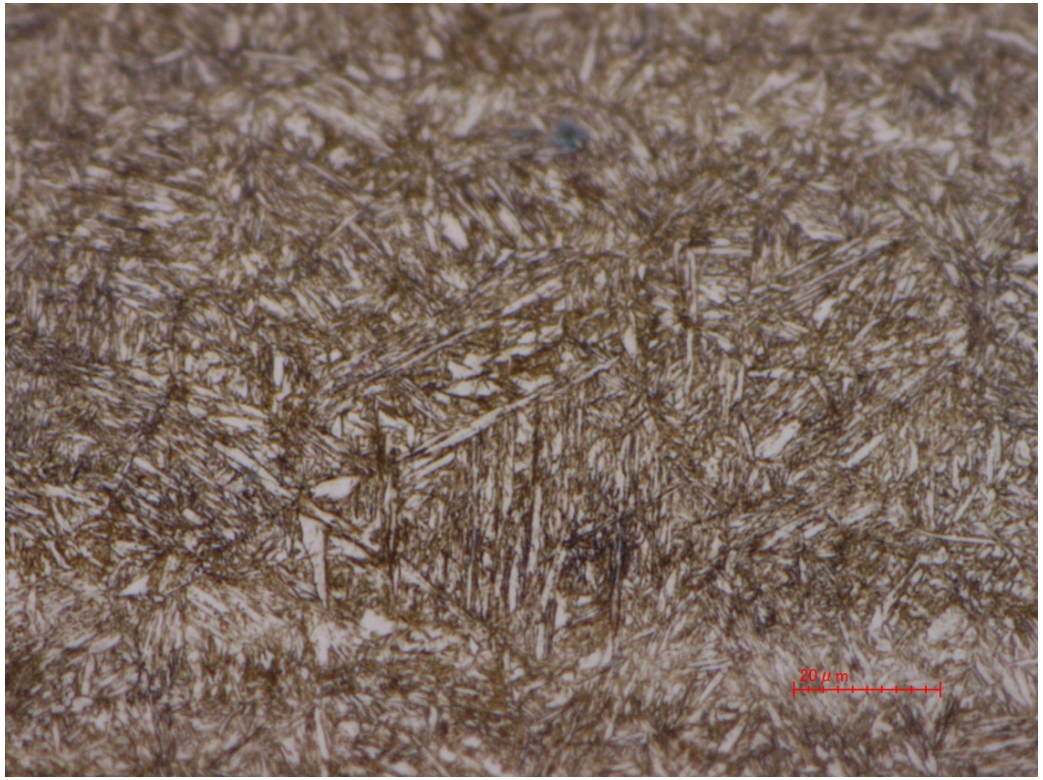
500x



โครงสร้างภายหลังการขึ้นรูปในสภาวะที่ต่างกัน

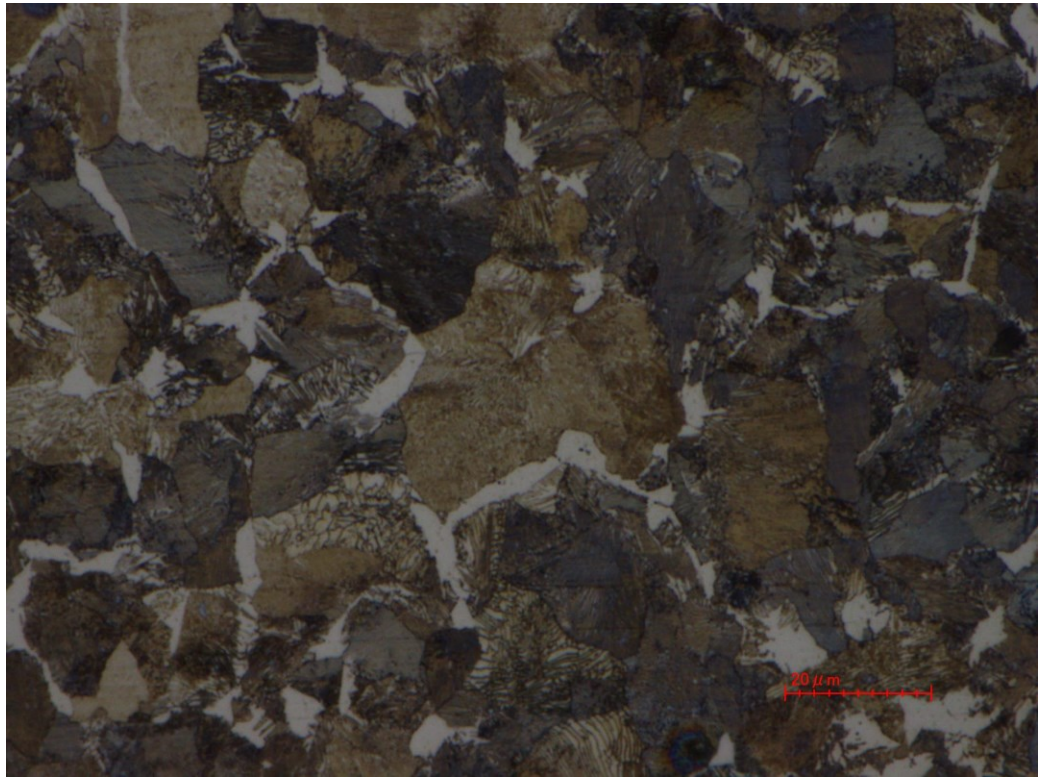
ชิ้นงานผ่านการปรับสภาพทางความร้อนหลังการขึ้นรูป

1000x



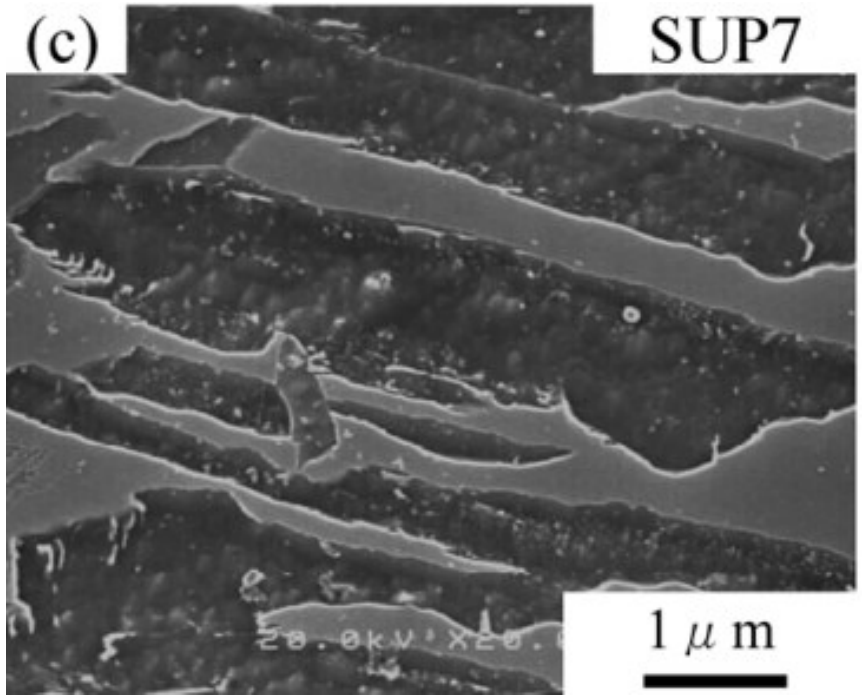
ชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

1000x

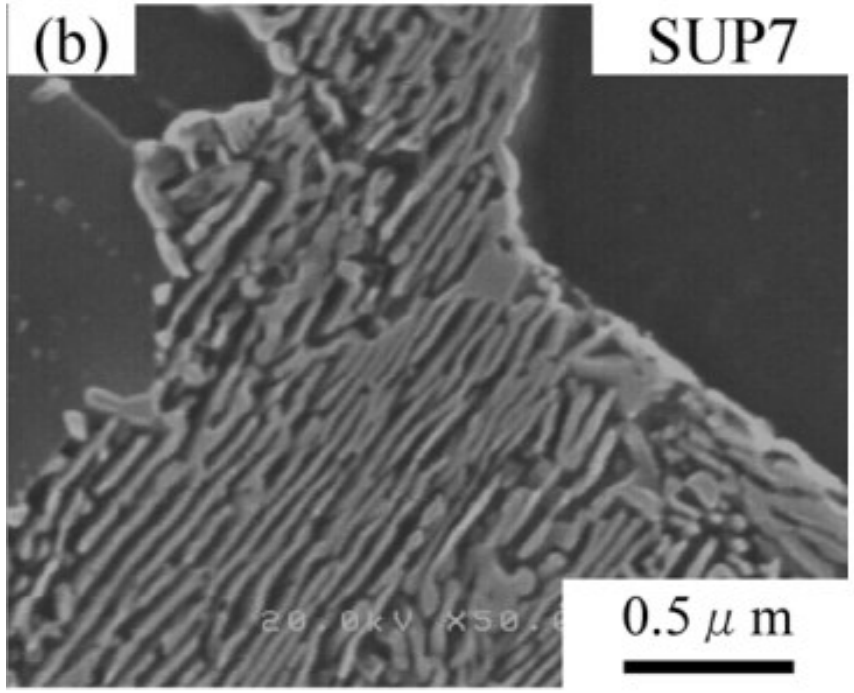


โครงสร้างจุลภาคของเหล็กสปริง SUP7

Bainite



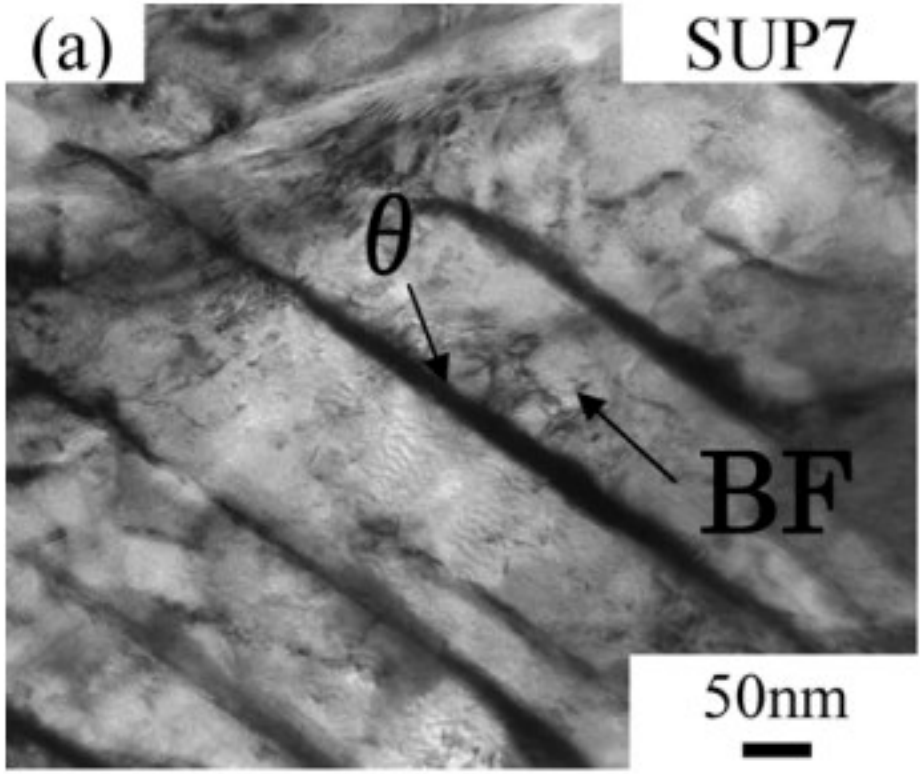
Pearlite



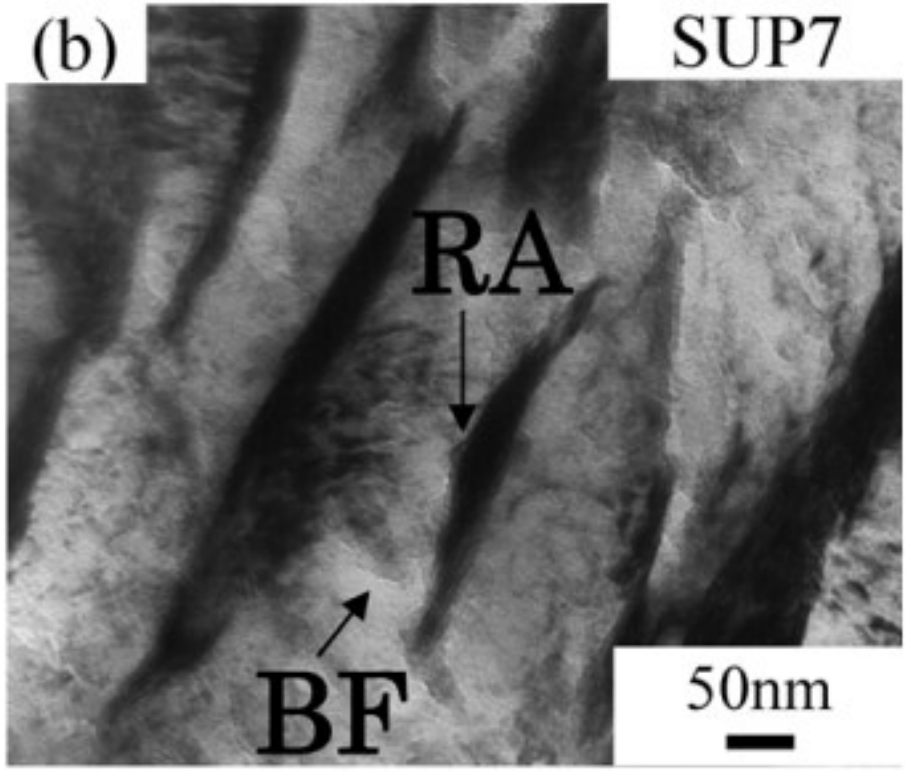
Takeshi SUZUKI Effects of Si and Cr on Bainite Microstructure of Medium Carbon Steels, ISIJ International, Vol. 50 (2010)

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กสปริง SUP7

Bainitic ferrite และคาร์ไบด์



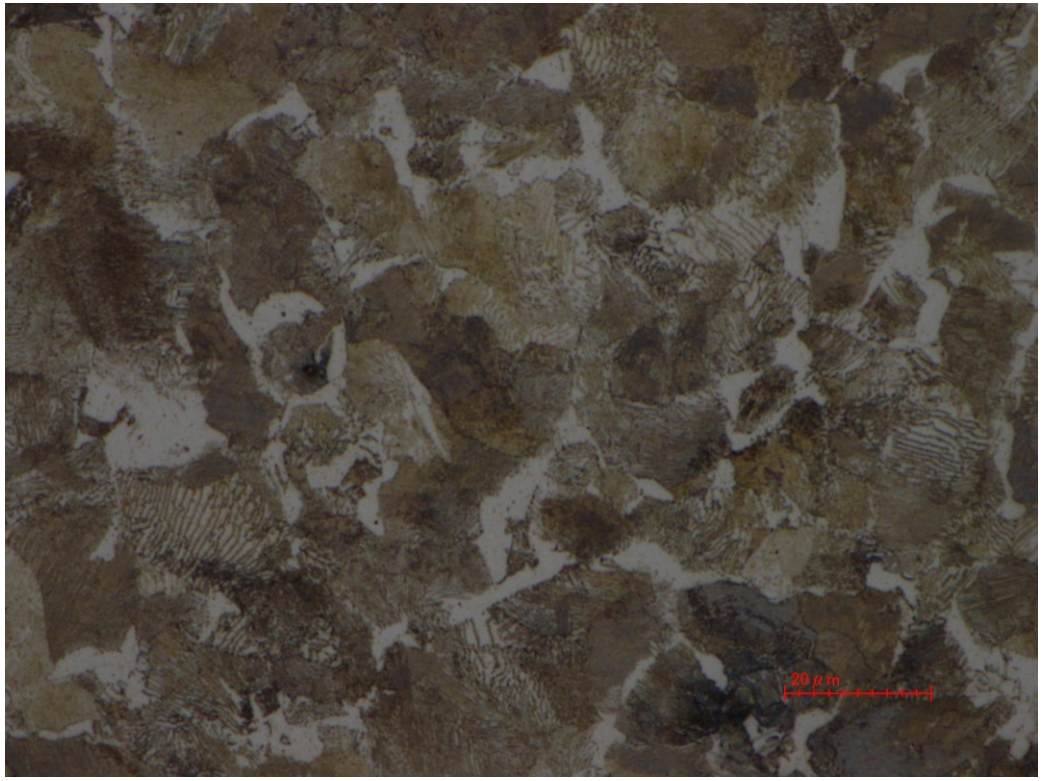
ออสเทนไนท์ตกค้าง



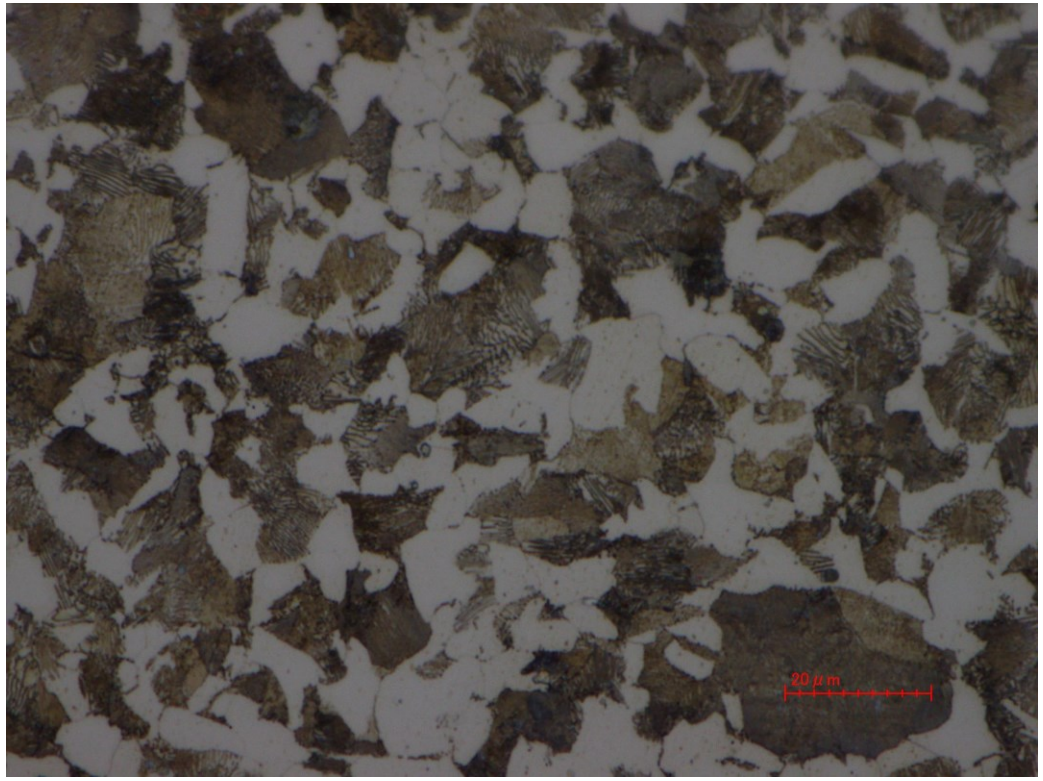
Takeshi SUZUKI Effects of Si and Cr on Bainite Microstructure of Medium Carbon Steels, ISIJ International, Vol. 50 (2010)

Decarburised จากการปรับสภาพทางความร้อน

1000x กลางชิ้นงาน



1000x ขอบชิ้นงาน



สรุปการควบคุมคุณภาพการผลิตชิ้นส่วนเครื่องยึดเหนี่ยวราง

- กำหนดเงื่อนไขการใช้งานให้ชัดเจน
- กำหนดสมบัติทางกลให้เหมาะสม
- กำหนดโครงสร้างทางโลหะวิทยาเพื่อให้ได้มาซึ่งสมบัติตามต้องการ
- กำหนดและควบคุมพารามิเตอร์การผลิตให้ชัดเจนเพื่อให้ได้มาซึ่งโครงสร้างทางโลหะวิทยาตามต้องการ