

## ผลของกระบวนการทางความเย็นต่อปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ ในเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11

### Effect of Sub-Zero Treatment on Chromium Carbide in Tool Steel JIS SKD 11

มานุช ริทินโย<sup>1</sup> ชัยวัฒน์ พีรทัตสุวรรณ<sup>2</sup> ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ<sup>2</sup> พงษ์ศักดิ์ รุณกระโทก<sup>1</sup>  
อนุชิต คงฤทธิ์<sup>3</sup> จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

<sup>2</sup>หน่วยวิจัยกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์และการอบชุบความร้อนโลหะ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.เมือง นครราชสีมา 30000

<sup>3</sup>โปรแกรมวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา 30000

E-mail: jittiwat.ni@rmuti.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการทางความเย็นที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด JIS SKD11 โดยใช้กระบวนการทางความเย็นที่แตกต่างกัน 3 เงื่อนไข ได้แก่ อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-80^{\circ}\text{C}$  และ  $-190^{\circ}\text{C}$  ดำเนินการเตรียมชิ้นงานทดสอบและอบชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิ ออสเทนไนท์ในไทซิง  $1,020^{\circ}\text{C}$  เวลาอบแช่ 1 ชั่วโมง อบคลายความเค้นที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เวลาอบแช่ 1 ชั่วโมง กระบวนการทางความเย็นในแต่ละอุณหภูมิใช้เวลาอบแช่ 1 ชั่วโมง และอบคืนตัวที่อุณหภูมิ  $210^{\circ}\text{C}$  เวลาอบแช่ 1 ชั่วโมง ทดสอบสมบัติทางกล ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและปริมาณโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน ผลการทดลองพบว่า กระบวนการทางความเย็นที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-80^{\circ}\text{C}$  และ  $-190^{\circ}\text{C}$  ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ค่าการดูดซับแรงกระแทกลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนโครงสร้างจากออสเทนไนต์ตกค้างเป็นมาร์เทนไซต์ โดยที่อุณหภูมิ  $-190^{\circ}\text{C}$  โครงสร้างของโครเมียมคาร์ไบด์มีขนาดเล็ก กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และมีปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  และ  $-80^{\circ}\text{C}$

**คำสำคัญ:** เหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ออสเทนไนต์ตกค้าง โครงสร้างผลึก อบคืนตัว กระบวนการทางความเย็น

#### ABSTRACT

The research is aimed to effect sub-zero treatments mechanical properties and amount of Chromium carbide in JIS SKD11 by sub-zero treatments with three different conditions that temperature at  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-80^{\circ}\text{C}$  and  $-190^{\circ}\text{C}$ . The specimen has been heated at the temperature of austenitizing  $1,020^{\circ}\text{C}$  and for holding time about 1 hr., stress relieved at temperature  $100^{\circ}\text{C}$  for 1 hour, sub-zero treatments in each temperature use soaking time 1 hour and tempering at temperature soaking time 1 hour. Investigate mechanical properties test microstructure and quantity crystal structure with x-ray

diffractometer. The results from the experiment denoted sub-zero treatments temperature at  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-80^{\circ}\text{C}$  and  $-190^{\circ}\text{C}$  as a result increased the hardness but the impact energy was decreased because the structural changed from retained austenite to martensite. At the temperature  $-80^{\circ}\text{C}$   $-190^{\circ}\text{C}$  showed that structure of chromium carbide is small, dispersed evenly and quantity more than temperature  $-20^{\circ}\text{C}$  and  $-190^{\circ}\text{C}$ .

**Keyword:** Tool Steel JIS SKD11 Retained austenite Crystal structure Tempering Sub-zero treatments

## 1. บทนำ

การตัดเฉือนชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ตัดต้องให้ความเค้นต่อชิ้นงานที่มีค่ามากเพียงพอที่ทำให้ชิ้นงานขาดออกจากกัน ซึ่งทำให้เกิดความเค้นกระทำต่อพันธะและตายด้วยเช่นกัน ส่งผลให้พันธะและตายเกิดการ ลึกหรือ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของชิ้นงาน ดังนั้นพันธะและตายจึงเป็นชิ้นส่วนที่มีความจำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติให้มีความต้านทานต่อการสึกหรอ การปรับปรุงสมบัติให้กับพันธะและตายด้วยเทคนิควิศวกรรมการอบชุบทางความร้อน ทำให้โครงสร้างของวัสดุมีความแข็งแรงสูงขึ้น สามารถต้านทานการสึกหรอได้ดีขึ้น จากวรรณกรรมที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับการอบชุบทางความร้อน พบว่าสามารถเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอในเหล็กกล้ามากขึ้น โดย [1] ศึกษาการสึกหรอของพันธะที่ฟันเคลือบชุดพันธะด้วยผงไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) [2] ศึกษาการสึกหรอของคมตัดแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุที่มีปริมาณคาร์บอนแตกต่างกัน ได้แก่ เหล็ก JIS SKD11, SKS3, SKH51 และ S50C อบชุบด้วยวิธี Pack Carburizing [3] ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดที่ทำจากเหล็ก JIS SKD11 และ S50C อบชุบด้วยกรรมวิธีอบชุบด้วยกรรมวิธี Hardening (Air Cooling) และกรรมวิธี Pack Carburizing [4] ศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีการอบชุบภายใต้สภาวะการเผาอ่อนที่มีต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด [5] ศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีการอบชุบที่มีต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดด้วยกรรมวิธีอบชุบด้วยกรรมวิธี Spray และการอบชุบภายใต้สภาวะก๊าซชปกคลุม ในเตาชุบ [6] ศึกษาสาเหตุการเสีรูปของพันธะในกระบวนการ

บ่มขึ้นรูปด้วยทดลองชุบแข็งเหล็ก JIS SKD11 และเหล็ก DC53 โดยใช้อุณหภูมิอบให้เป็นออสเทนไนต์และบรรยากาศการอบต่างๆ กัน และจากวรรณกรรมการศึกษาเกี่ยวกับการอบชุบทางความร้อน พบว่าสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานต่อการสึกหรอในเหล็กกล้ามากขึ้น โดย [7] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติของเหล็ก AISI D2 ภายใต้การอบชุบทางความร้อนและความเย็นโดยการชุบแข็งเหล็กกล้า AISI D2 ที่อุณหภูมิ  $1,020^{\circ}\text{C}$  นำมาผ่านกระบวนการอบชุบความเย็นที่อุณหภูมิ  $-75^{\circ}\text{C}$ ,  $-125^{\circ}\text{C}$ ,  $-196^{\circ}\text{C}$  และอบคืนตัวที่อุณหภูมิ  $210^{\circ}\text{C}$  [8] การบำบัดเย็นยิ่งยวดเป็นวิธีการที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานต่อการสึกหรอโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเหล็กกล้าเครื่องมือด้วยการอบเหล็กกล้าผสมที่อุณหภูมิสูงแล้วเย็นตัวในไนโตรเจนเหลว พบว่าการบำบัดเย็นยิ่งยวดสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานต่อการสึกหรอแบบขัดสี และ [9] การบำบัดเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวหลังการชุบแข็งสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานต่อการสึกหรอแบบขัดสีสำหรับเหล็กหล่อโครเมียมสูง 16%Cr-1%Mo-1%Cu

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการบำบัดเย็นยิ่งยวดเป็นวิธีการที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานต่อการสึกหรอโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเหล็กกล้าเครื่องมือ ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจถึงกลไกการอบชุบทางความร้อน จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและวัดค่าที่เกิดขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิการอบชุบทางความร้อนที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลและปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11

## 2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้าง 40x250x13 mm. ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11

ลำดับ	ธาตุผสม	ส่วนผสมทางเคมี
1	คาร์บอน (C)	1.50%
2	แมงกานีส (Mn)	0.45%
3	โครเมียม (Cr)	12.00%
4	ซิลิกอน (Si)	0.40%
5	นิกเกิล (Ni)	0.50%
6	โมลิบดีนัม (Mo)	1.00%
7	วานาเดียม (V)	0.40%
8	กำมะถัน (S)	0.42%
9	ฟอสฟอรัส (P)	0.03%

### 2.2 การอบชุบทางความเย็น

การปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 โดยชุบในสารชุบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C และอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 210°C จำนวน 1 ครั้ง มีขั้นตอนดังนี้

1. อบ austenitizing ที่ 1,020°C เวลา 1 ชั่วโมง เย็นตัวในเตาภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน
2. Snap temper 100°C เวลา 1 ชั่วโมงเย็นตัวในเตาภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน
3. กระบวนการอบชุบทางความเย็นอุณหภูมิ กระบวนการทางความเย็น -20°C, -80°C และ -190°C เวลาที่ใช้แช่ 1 ชั่วโมง

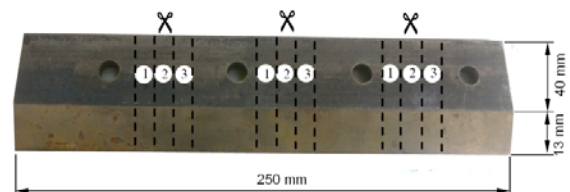
การเตรียมอุณหภูมิ -20°C ± 5°C เตรียมจากน้ำแข็งบดผสมกับเกลือ อุณหภูมิ -80°C ± 5°C เตรียมจากน้ำแข็งแห้ง และอุณหภูมิ -190°C ± 5°C เตรียมจากไนโตรเจนเหลว ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมอุณหภูมิจากไนโตรเจนเหลว

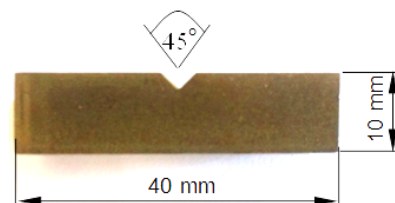
### 2.3 การทดสอบสมบัติทางกล

การเตรียมชิ้นงานทดสอบเพื่อทดสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค กระทำภายหลังจากอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิ 210°C และหลังกระบวนการทางความเย็นที่อุณหภูมิ -20°C, -80°C และ -190°C แต่ละกระบวนการผ่านการอบแช่ที่อุณหภูมิ austenitizing และทดสอบสมบัติทางกล ดังรูปที่ 2



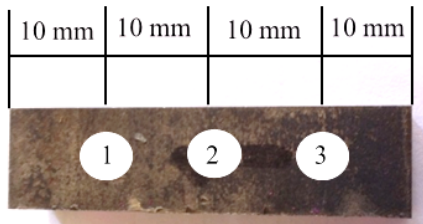
รูปที่ 2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบแรงกระแทกด้วยการตัดบริเวณส่วนกลางและส่วนขอบทั้งสองข้างของชิ้นงานทดสอบจำนวน 3 ชิ้น ด้วยเครื่องไวร์คัท ตามมาตรฐานกำหนดชิ้นงานทดสอบ DIN 50115 ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชิ้นทดสอบแรงกระแทก

การเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบความแข็งด้วยการตัดบริเวณส่วนกลางและส่วนขอบทั้งสองข้างของชิ้นงานทดสอบขนาด 10x40 mm. ด้วยเครื่องไวร์คัท ทดสอบความแข็ง จำนวน 3 ตำแหน่ง ด้วยรีอคเวลสเกลซี (Rock well hardness Scale C: HRC) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง

การเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ด้วยการตัดบริเวณส่วนกลางและส่วนขอบทั้งสองข้างของชิ้นงานทดสอบขนาด 10x40 mm. ด้วยเครื่องไวร์คัท ดังนี้

1. นำชิ้นงานขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ เริ่มขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180, 220, 240, 320, 400, 600, 1,000 และ 1,200 ตามลำดับ
2. นำชิ้นงานขัดมัน (Polishing) บนผ้าสักหลาดด้วย Aluminum oxide ผสมกับน้ำ
3. ล้างชิ้นงานตรวจสอบด้วยแอลกอฮอล์ และกัดกรดด้วยน้ำยา 9a สารเคมี Stock Solution 100 มิลลิลิตร (Hydrochloric acid 10 ml.+ H<sub>2</sub>O 100 มิลลิลิตร) และ Potassium metabisulphite 1 กรัม ล้างด้วยน้ำตามด้วยแอลกอฮอล์ และเป่าด้วยลมร้อน
4. ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์.

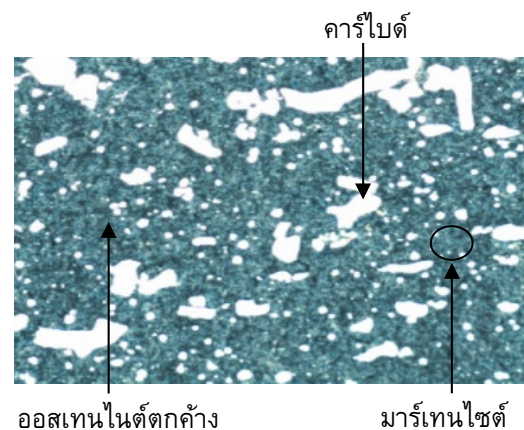
การเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับการตรวจสอบปริมาณโครงสร้างผลึก ด้วยการตัดบริเวณส่วนกลางและส่วนขอบทั้งสองข้างของชิ้นงานทดสอบขนาด 10x40 mm. ด้วยเครื่องไวร์คัท และตรวจสอบปริมาณโครงสร้างผลึกด้วย เครื่อง X-ray diffractometer ซึ่งใช้ทองแดงเป็นเป้าในการเกิดรังสี

### 3. ผลการศึกษา

จากการทดสอบผลของกระบวนการทางความเย็นที่ส่งผลต่อปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 การวิเคราะห์ผล การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อใช้ศึกษาชนิด ลักษณะ และการกระจายตัวของโครงสร้างของเฟสต่างๆ ภายในชิ้นงาน การทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ การทดสอบความแข็งและการทดสอบการดูดซับแรงกระแทก เพื่อใช้อธิบายความแข็งแรงของชิ้นงาน รวมทั้งบอกถึงการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของออสเทนไนต์ตกค้างและมาร์เทนไซต์ รวมถึงใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffract meter: XRD) ในการวิเคราะห์ปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ รายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

3.1 โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ก่อนการอบชุบทางความเย็น

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ก่อนการอบชุบทางความเย็น พบว่ามีโครงสร้างของโครเมียมคาร์ไบด์ขนาดใหญ่ รูปร่างเหลี่ยมคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า กระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอบนโครงสร้างของมาร์เทนไซต์ และพบโครงสร้างของออสเทนไนต์ตกค้างที่มีสีเหลืองอ่อน ขนาดเล็ก กระจายตัวอยู่ระหว่างโครงสร้างของมาร์เทนไซต์ตลอดทั้งชิ้นงาน ดังรูปที่ 5

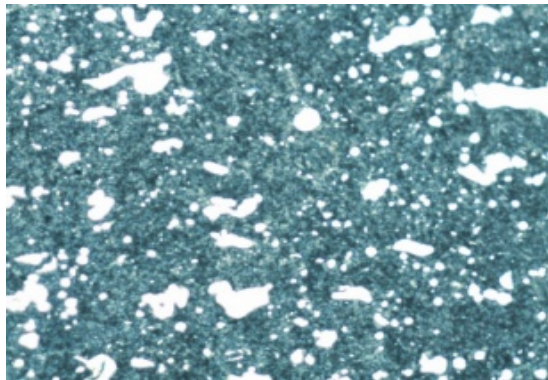


รูปที่ 5 โครงสร้างเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ก่อนการอบชุบทางความเย็นกำลังขยาย 50 เท่า

ผลการทดสอบสมบัติทางกล พบว่าค่าความแข็งแรงเท่ากับ 57.40 HRC ค่าดูดซับแรงกระแทกเท่ากับ 12 J และมีปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เท่ากับ 48.43

### 3.2 โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นที่อุณหภูมิ -20°C

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ที่ผ่านกระบวนการทางความเย็นที่อุณหภูมิ -20°C พบว่าภายหลังการอบชุบทางความเย็นจะเกิดอนุภาคของโครเมียมคาร์ไบด์ขนาดเล็กเพิ่มขึ้นจากเดิมก่อนการอบชุบทางความเย็น และมีการกระจายตัวอยู่ในโครงสร้างพื้นของมาร์เทนไซต์นอกจากนั้นยังพบโครงสร้างของออสเทนไนต์ตกค้างที่มีสีเหลืองอ่อนขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ระหว่างโครงสร้างของมาร์เทนไซต์ตลอดทั้งชิ้นงาน จากการตรวจสอบปริมาณโครงสร้างผลึก พบว่ามีปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์เท่ากับ 64.91% ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานก่อนการอบชุบทางความเย็น ดังรูปที่ 6



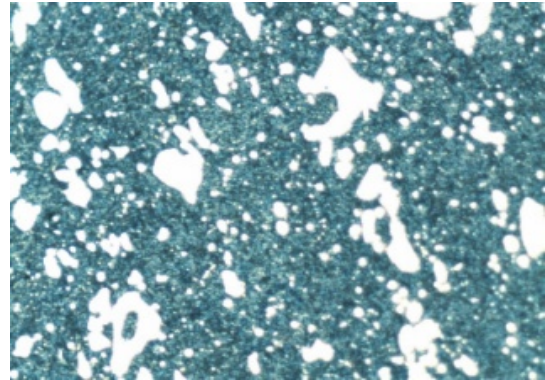
รูปที่ 6 โครงสร้างเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นอุณหภูมิ -20°C

ผลการทดสอบสมบัติทางกลของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นอุณหภูมิ -20°C พบว่าค่าความแข็งแรงเท่ากับ 58.03 HRC และค่าดูดซับแรงกระแทกเท่ากับ 10 J ซึ่งความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานก่อนการอบ

ชุบทางความเย็น ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นมีอิทธิพลจากการเพิ่มขึ้นของโครเมียมคาร์ไบด์และการลดลงของออสเทนไนต์ตกค้าง แต่ค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดซับแรงกระแทกมีค่าลดลง

### 3.3 โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ที่ผ่านกระบวนการทางความเย็นที่อุณหภูมิ -80°C

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ที่ผ่านกระบวนการทางความเย็นที่อุณหภูมิ -80°C พบว่า ภายหลังจากกระบวนการทางความเย็นที่จะมีอนุภาคโครเมียมคาร์ไบด์เกิดเพิ่มมากขึ้นโดยอนุภาคคาร์ไบด์ที่เพิ่มขึ้นจะมีขนาดเล็กและรูปร่างกลมกระจายตัวอย่างสม่ำเสมออยู่ในโครงสร้างพื้นของมาร์เทนไซต์ตลอดทั้งชิ้นงาน และพบโครงสร้างของออสเทนไนต์ตกค้างที่มีสีเหลืองอ่อนขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ระหว่างโครงสร้างของมาร์เทนไซต์ ตลอดทั้งชิ้นงาน ซึ่งจากการตรวจสอบปริมาณโครงสร้างผลึก พบว่ามีโครเมียมคาร์ไบด์ปริมาณ 65.17% ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นที่อุณหภูมิ -20°C ดังรูปที่ 7



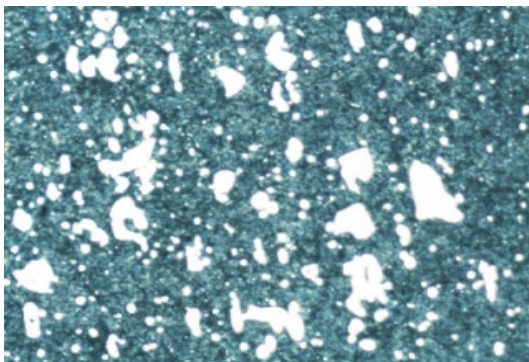
รูปที่ 7 โครงสร้างเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD 11 ที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นอุณหภูมิ -80°C

ผลการทดสอบสมบัติทางกลของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นอุณหภูมิ -80°C พบว่าค่าความแข็งแรงเท่ากับ 58.43 HRC และค่าดูดซับแรงกระแทกเท่ากับ 8.6 J ซึ่งความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ผ่าน

กระบวนการอบชุบทางความเย็นที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  ซึ่งทำให้การเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งมีอิทธิพลจากการเพิ่มขึ้นของโครเมียมคาร์ไบด์และการลดลงของออสเทนไนต์ตกค้าง

### 3.4 โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นที่อุณหภูมิ $-190^{\circ}\text{C}$

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD 11 ที่ผ่านกระบวนการทางความเย็นที่อุณหภูมิ  $-190^{\circ}\text{C}$  พบว่าที่อุณหภูมิดังกล่าวมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอนุภาคโครเมียมคาร์ไบด์มากที่สุดเมื่อเทียบกับการอบชุบทางความเย็นที่  $-20^{\circ}\text{C}$  และ  $-80^{\circ}\text{C}$  โดยอนุภาคคาร์ไบด์ที่เพิ่มขึ้นจะมีขนาดเล็ก และมีรูปร่างกลมกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในโครงสร้างพื้นของมาร์เทนไซต์ตลอดทั้งชิ้นงาน และพบโครงสร้างของออสเทนไนต์ตกค้างที่มีสีเหลืองอ่อน ขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ระหว่างโครงสร้างของมาร์เทนไซต์ ตลอดทั้งชิ้นงาน ซึ่งจากการตรวจสอบปริมาณโครงสร้างผลึก พบว่ามีปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์เท่ากับ 68.88% ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นที่อุณหภูมิ  $-80^{\circ}\text{C}$  ดังรูปที่ 8

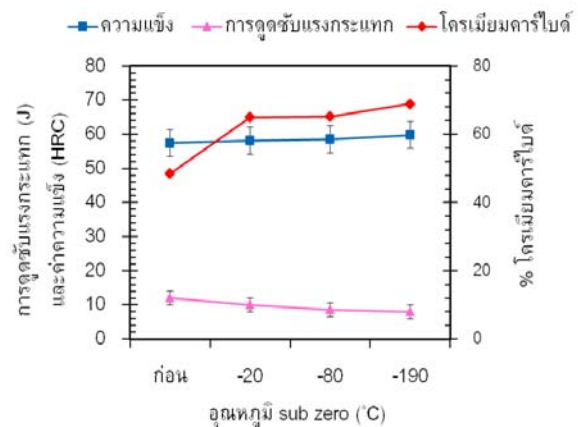


รูปที่ 8 โครงสร้างเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นอุณหภูมิ  $-190^{\circ}\text{C}$

ผลการทดสอบสมบัติทางกลของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นอุณหภูมิ  $-190^{\circ}\text{C}$  พบว่าค่าความแข็งเท่ากับ

59.8 HRC และค่าดูดซับแรงกระแทกเท่ากับ 8 J ซึ่งความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นที่อุณหภูมิ  $-80^{\circ}\text{C}$  โดยที่การเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งเป็นอิทธิพลจากการเพิ่มขึ้นของโครเมียมคาร์ไบด์และการลดลงของออสเทนไนต์ตกค้าง

จากผลการทดสอบผลของกระบวนการทางความเย็นที่ส่งผลต่อปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 พบว่าอุณหภูมิจากการอบชุบทางความเย็น  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-80^{\circ}\text{C}$  และ  $-190^{\circ}\text{C}$  ส่งผลให้ค่าความความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากอิทธิพลการเพิ่มขึ้นของอนุภาคโครเมียมคาร์ไบด์และการลดลงของออสเทนไนต์ตกค้าง ซึ่งค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการดูดซับแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 สมบัติทางกลและปริมาณโครงสร้างผลึกของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ที่ผ่านกระบวนการอบชุบทางความเย็นอุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-80^{\circ}\text{C}$  และ  $-190^{\circ}\text{C}$

แต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิต่ำลง ประกอบกับโครงสร้างที่ผ่านกระบวนการทางความเย็นที่อุณหภูมิ  $-190^{\circ}\text{C}$  พบว่ามีปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์สูง มีรูปร่างค่อนข้างกลมขนาดเล็ก และมีการกระจายตัวในโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นว่ากระบวนการทางความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ อาจส่งผลต่อโครงสร้างและสมบัติทางกล

#### 4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นการศึกษาเงื่อนไขของการอบชุบที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-80^{\circ}\text{C}$  และ  $-190^{\circ}\text{C}$  ที่ส่งผลต่อปริมาณโครงสร้างผลึก ความแข็ง และการดูดซับแรงกระแทกสามารถคำนวณสมการถดถอย (regression) เพื่อศึกษาอิทธิพลและความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\% \text{crystallinity} = 63.9 - (0.0246 \times \text{hardening temp})$$

และ  $R\text{-Sq}=91.4\%$   $R\text{-Sq}(\text{adj}) = 82.9\%$  (1)

$$\text{Hardness (HRC)} = 57.7 - (0.0107 \times \text{hardening temp})$$

และ  $R\text{-Sq} = 98.1\%$   $R\text{-Sq}(\text{adj}) = 96.2\%$  (2)

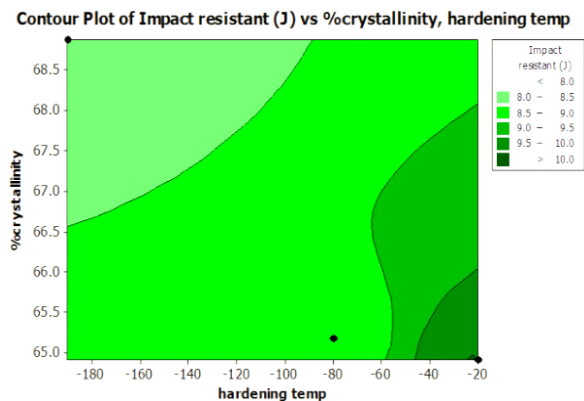
$$\text{Impact resistant (J)} = 9.93 + (0.0110 \times \text{hardening temp})$$

และ  $R\text{-Sq} = 85.2\%$   $R\text{-Sq}(\text{adj}) = 70.4\%$  (3)

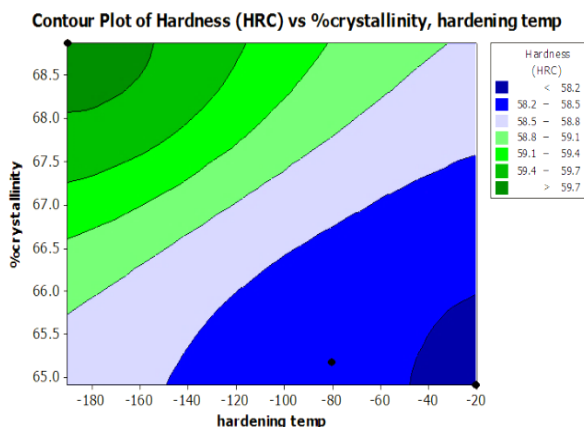
จากการคำนวณสมการถดถอยของข้อมูลที่ได้จากการทดลองดังสมการที่ 1 ถึง 3 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R\text{-Sq}$ ) ของสมการทั้งสามมีค่าสูงกว่า 85% แสดงถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการอบชุบที่ส่งผลต่อสมบัติของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 โดยสมการที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการอบชุบมีอิทธิพลในเชิงลบ (negative effect) ต่อปริมาณความเป็นผลึกและค่าความแข็งหมายความว่า หากใช้อุณหภูมิที่ติดลบมากขึ้นในการอบชุบจะส่งผลให้ปริมาณความเป็นผลึกของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 สูงขึ้นและทำให้ความแข็งเพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่สมการที่ 3 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการอบชุบมีอิทธิพลในเชิงบวก (positive effect) ต่อการดูดซับแรงกระแทกของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 หมายความว่า หากใช้อุณหภูมิที่ติดลบมากขึ้นในการอบชุบจะส่งผลให้การดูดซับแรงกระแทกของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ลดต่ำลง

จากรูปที่ 10 และรูปที่ 11 กราฟโครงร่าง (contour plot) จากโปรแกรม Minitab แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการอบชุบและปริมาณความเป็นผลึกที่ส่งผลต่อค่าความแข็งและการดูดซับ

แรงกระแทกของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD 11 ซึ่งแสดงผลสัมพันธ์กับสมการถดถอยในส่วนของอิทธิพลของอุณหภูมิจากการอบชุบที่ส่งผลต่อสมบัติทางกล โดยจุดค่าที่แสดงอยู่ในรูปคือค่าที่ได้จากการทดสอบของแต่ละตัวแบบทดลอง และเมื่อวิเคราะห์ผลที่ได้พบว่าอุณหภูมิการอบชุบทางความเย็นที่เหมาะสมสำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 คืออุณหภูมิ  $-80^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปริมาณผลึก 65.17% มีค่าความแข็ง 58.43 HRC และมีค่าการดูดซับแรงกระแทก 8.6 J



รูปที่ 10 กราฟโครงร่างของสมบัติด้านความแข็ง



รูปที่ 11 กราฟโครงร่างของสมบัติด้านการดูดซับแรงกระแทก

#### 5. สรุป

ผลของการอบชุบทางความเย็นของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 ทำให้เกิดการตกตะกอนของอนุภาคคาร์ไบด์ขนาดเล็กเมื่อลดอุณหภูมิการอบชุบ

ทางความเย็นลง ส่งผลทำให้ความแข็งของเหล็กกล้า เครื่องมือ JIS SKD11 เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณและความหนาแน่นของคาร์ไบด์รวมถึงการกระจายตัวของคาร์ไบด์ในเนื้อเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 รวมทั้งยังส่งผลให้ความสามารถการรับแรงกระแทกลดลง ซึ่งมีผลจากการลดลงของปริมาณของออสเทนไนต์ตกค้างและมีการเพิ่มขึ้นของโครเมียมคาร์ไบด์ ซึ่งโครเมียมคาร์ไบด์ที่มีอยู่ในเนื้อเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่น่าไปสู่การแตกหักภายในของโครงสร้างจุลภาคซึ่งส่งผลให้ความสามารถการรับแรงกระแทกลดลง ดังนั้นเมื่อพิจารณาอุณหภูมิการอบชุบทางความเย็นที่เหมาะสมสำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 คืออุณหภูมิ  $-80^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปริมาณผลึก 65.17% มีค่าความแข็ง 58.43 HRC และมีค่าการดูดซับแรงกระแทก 8.6 J

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณคณะกรรมการประเมินผลงานวิจัย บุคลากรของสถาบันวิจัยและฝึกอบรมทุกท่าน ไว้ ณ โอกาสนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชานนท์ บุณนัท, มาโนช ริทินโย, จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร. 2556. “การสึกหรอของผิวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่มีผลต่อชุดคมตัดแม่พิมพ์ตัดขาด”. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2556, 16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา ชลบุรี, (2556).
- [2] พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, วารุณี เปรมานนท์ รัชนี ไพศาล และ ชาญยุทธ มะกา. “อิทธิพลของชนิดเหล็กเครื่องมือที่มีต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด”. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 28 (2) : 169-182, 2548.
- [3] มาโนช ริทินโย. “การเปรียบเทียบพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดที่ได้จากการอบชุบด้วยกรรมวิธีสเปิร์”. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปีที่ 13. (3) : 42-56, 2553.

- [4] มาโนช ริทินโย, ชานนท์ บุณนัท, กัมปนาท ถ่ายสูงเนิน และ จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร. “อิทธิพลของกรรมวิธีการอบชุบภายใต้สภาวะการเผาอุณหภูมิต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ปั๊มตัด”. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรม อุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2556, 16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา ชลบุรี, (2556).
- [5] มาโนช ริทินโย และ จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร. “อิทธิพลของกรรมวิธีการอบชุบที่มีต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ปั๊มตัด”. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2558, 6-7 สิงหาคม 2558. กรุงเทพมหานคร: 527-532, (2558)
- [6] สิทธิพร โรจนนันต์ สุรศิษฐ์ โรจนนันต์ และสุทัศน์ ทิพย์ปรักมาศ. “กรณีศึกษาสาเหตุการเสีรูปของฟันซี่ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูป. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2550)
- [7] D. Das, K.K. Ray and A.K. Dutta. “Influence of temperature of sub-zero treatments on the wear behaviour of die steel”. Wear., vol. 267, pp. 1361-1370, 2009
- [8] S.G. Simranpreet, S. Jagdev, S. Rupinder. and S. Harpreet, “Metallurgical principles of cryogenically treated tool steels-a review on the current state of science”, Int J AdvManuf Technol., vol. 54, pp. 59-82, 2011
- [9] J. Wang, J. Xiong, H. Fan, H. Yanga, H. Liub, and B. Shenb, “ Effects of high temperature and cryogenic treatment on the microstructure and abrasion resistance of a high chromium cast iron” . Journal of Materials Processing Technology., vol. 209, pp. 3236-3240, 2009