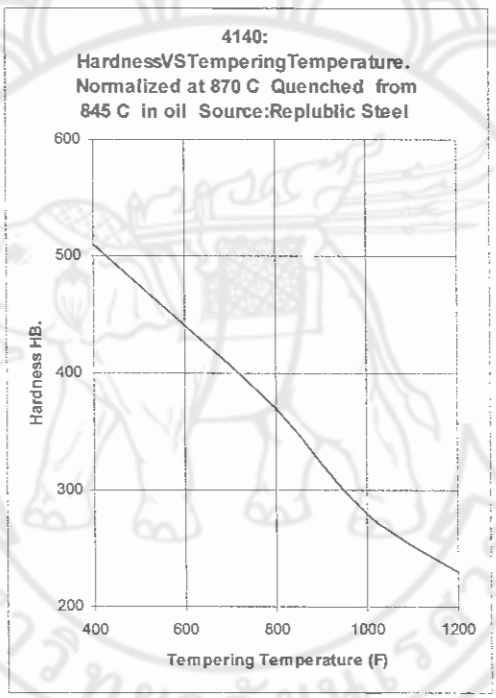
บทที่ 5
วิเคราะห์และสรุปผลโครงงาน

5.1 คุณสมบัติเชิงกล



รูปที่ 5.1 กราฟอ้างอิงจากมาตราฐาน

5.1.1 ความแข็ง

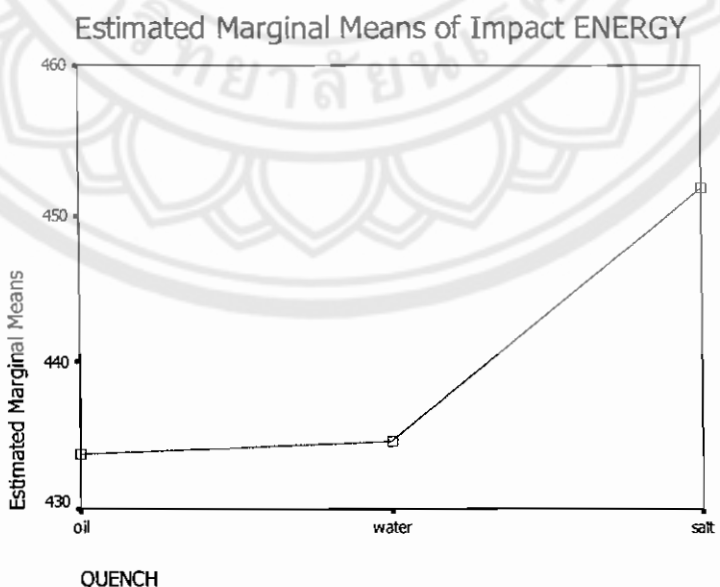
อุณหภูมิในการทำ Temper กับอุณหภูมิในการทำ Austenitizing มีความสัมพันธ์กับความแข็งของเหล็กโดยที่อุณหภูมิทั้งสองนี้จะแปรผกผันกับความแข็งของเหล็กหรือกล่าวคือถ้าอุณหภูมิการทำ Austenitizing และ อุณหภูมิในการทำ Temper สูงความแข็งของเหล็กก็จะลดลงซึ่งเป็นเพราะว่าอุณหภูมิการทำ Austenitizing ที่สูงจะทำให้คาร์บอนมีการสูญเสียไปจากขบวนการ (Decarization) ทำให้ชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าสารชุบไม่มีพอกับความแข็งของเหล็ก ทั้งที่จริงในความเป็นจริง สารชุบที่แตกต่างกัน มีอัตราการเย็นตัวของสารชุบ โดยจะเรียงตามลำดับคือ น้ำแกลือ น้ำ และน้ำมันตามลำดับ แต่ในกรณีนี้สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากชิ้นงานผ่านการ Temper หรือ อบอ่อน

เหล็กที่ผ่านการอบอ่อนจะมีการจัดเรียงเกรนใหม่ ซึ่งส่งผลให้ขนาดของเกรนเปลี่ยนไปจึงทำให้ความแข็งเปลี่ยนไปเช่นกัน หรืออาจเป็นไปได้ว่าเหล็กที่ผ่านการชุบในน้ำหรือน้ำเกลือ ซึ่งมีอัตราการเย็นตัวสูง เมื่อชุบแล้วทำให้ชิ้นงานแตก ทำให้เกรนมีการผิดรูปไปหรือที่เรียกว่า เกิดการ สลิบ จึงส่งผลต่อความแข็งของเหล็กเช่นกัน ซึ่งก็หมายถึง เหล็กที่ถูกชุบในน้ำไม่จำเป็นจะต้องมีความแข็งมากกว่าเหล็กที่ชุบในน้ำมันเสมอไป เมื่อผ่านกระบวนการ Temper ไปแล้ว

5.1.2 ความทนต่อแรงกระแทก

จากผลการทดลองการวิเคราะห์ทางสถิติ สรุปได้ว่ามีตัวแปรอิสระ 2 ตัวคือ อุณหภูมิในการ Temper กับอุณหภูมิในการทำ Austenitizing มีความสัมพันธ์ความทนต่อแรงกระแทก โดยที่อุณหภูมิในการ Temper กับอุณหภูมิในการทำ Austenitizing จะแปรผันตรงกับความทนต่อแรงกระแทกกล่าวคือถ้าอุณหภูมิในการ Temper กับอุณหภูมิในการทำ Austenitizing สูงความทนต่อแรงกระแทกก็จะสูงไปด้วย แต่อัตราการเย็นตัวของสารชุบ ที่ไม่มีผลกับความทนต่อแรงกระแทก ของเหล็ก ทั้งที่ในความเป็นจริงสารชุบที่แตกต่างกัน มีอัตราการเย็นตัวของสารชุบที่แตกต่างกันโดยจะเรียงเย็นตัวเร็วสุดไปถึงช้าสุดตามลำดับคือ น้ำเกลือ น้ำ และน้ำมันตามลำดับก็จะส่งผลต่อความทนต่อแรงกระแทก กล่าวคืออัตราการเย็นตัวของสารชุบแต่ละชนิดจะแปรผกผันกับความทนต่อแรงกระแทก ถ้าอัตราการเย็นตัวสูงความทนต่อแรงกระแทกก็จะลดลงตามไปด้วย ดังนั้นเหล็กที่ผ่านการชุบในน้ำมันก็ควรที่จะมีค่าความทนทานต่อ

การกระแทกสูงกว่าเหล็กที่ชุบในน้ำและน้ำเกลือตามลำดับแต่การทดลองไม่ได้เป็นทฤษฎี คือเหล็กที่ชุบในน้ำมันกับมีค่าความทนทานต่อการกระแทกต่ำกว่าเหล็กที่ชุบในน้ำละน้ำเกลือ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.2 กราฟเหล็กที่ชุบในน้ำมัน

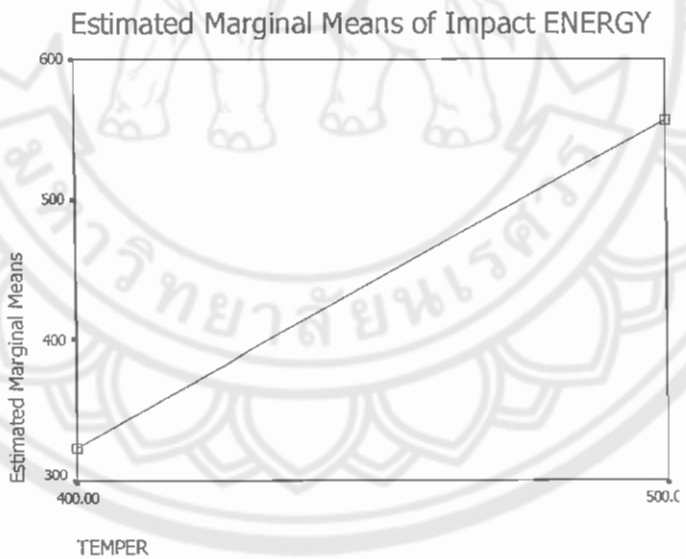
ซึ่งกรณีนี้สามารถอธิบายได้ว่า

1. เนื่องจากชิ้นงานผ่านการ Temper หรือ อบอ่อน เหล็กที่ผ่านการอบอ่อนจะมีการจัดเรียงเกรนใหม่ ทำให้โครงสร้างและสมบัติเชิงกลเปลี่ยนไปซึ่งส่งผลให้ขนาดของเกรนเปลี่ยนไปจึงทำให้ความทนต่อแรงกระแทกเปลี่ยนไปเช่นกัน

2. หรืออาจเป็นไปได้ว่าเหล็กที่ผ่านการชุบในน้ำหรือน้ำเกลือ ซึ่งมีอัตราการเย็นตัวสูง เมื่อชุบแล้วทำให้ชิ้นงานแตก หรือมีรอยราวอยู่ภายใน ทำให้เกรนมีการผิดรูปไปหรือที่เรียกว่า เกิดการ สลิบ จึงส่งผลต่อความทนต่อแรงกระแทกของเหล็กเช่นกัน และยังมีปัจจัยอื่นที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ควบคุมไม่ได้ เช่น อัตราการเย็นตัวในอากาศเมื่อนำเหล็กเอาจากเตา การควบคุมอุณหภูมิขณะเปิดเตา และ เครื่องทดสอบแรงกระแทกที่ใช้มีขนาดเล็กเกินไป ซึ่งทำให้เกิดค่า Error สูงขึ้นไปด้วย

ส่วนกรณีเหล็กที่ผ่านการ Temper ที่อุณหภูมิ 600 ไม่มีค่าความทนต่อแรงกระแทกนั้นเพราะว่าตอนทำการทดสอบไม่สามารถตีชิ้นงานให้แตกจึงไม่ทราบว่าเหล็กดูดสับแรงกระแทกได้มากน้อยเพียงทำให้อ่านค่าไม่ได้ กรณีนี้สามารถอธิบายได้ว่า

1. เหล็กที่ถูก Temper ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงขึ้นหรือเหนียวขึ้นดังรูปที่ 5.2 ซึ่งถือว่าเป็นไปตามทฤษฎี



รูปที่ 5.3 กราฟความทนต่อแรงกระแทกสูง

2. เครื่องทดสอบแรงกระแทกที่ใช้ทำการทดลองไม่สามารถตีเหล็กให้แตกได้เนื่องจากไม่มีลูกตุ้มเหล็กที่มีน้ำหนักพอที่จะทำการทดลองได้

5.1.3 ความทนต่อแรงดึง

จากการทดสอบทางสถิติสรุปได้ว่า อุณหภูมิในการ Temper กับอุณหภูมิในการทำ Austenitizing มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามคือความทนต่อแรงดึงจะแปรผกผันกับ อุณหภูมิในการ Temper กับ อุณหภูมิในการทำ Austenitizing กล่าวคือถ้าอุณหภูมิในการ Temper กับอุณหภูมิในการทำ Austenitizing สูงความทนต่อแรงดึงก็จะลดลงแต่สารชุบไม่มีผลกับความทนต่อแรงดึงของเหล็ก ทั้งที่จริงในความเป็นจริง สารชุบที่แตกต่างกัน มีอัตราการเย็นตัวของสารชุบที่แตกต่างกันโดยจะเรียงเย็นตัวเร็วสุดไปถึงช้าสุดตามลำดับคือ น้ำเกลือ น้ำ และน้ำมันตามลำดับก็จะส่งผลต่อความทนต่อแรงดึงกล่าวคืออัตราการเย็นตัวของสารชุบแต่ละชนิดจะแปรผันตรงกับความทนต่อแรงดึง แต่การทดลองไม่ได้เป็นทฤษฎี ซึ่งกรณีนี้สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากชิ้นงานผ่านการ Temper หรือ อบอ่อน เหล็กที่ผ่านการอบอ่อนจะมีการจัดเรียงเกรนใหม่ ทำให้โครงสร้างและสมบัติเชิงกลเปลี่ยนไปซึ่งส่งผลให้ขนาดของเกรนเปลี่ยนไปจึงทำให้ความทนต่อแรงดึงเปลี่ยนไปเช่นกัน หรืออาจเป็นไปได้ว่าเหล็กที่ผ่านการชุบในน้ำหรือน้ำเกลือ ซึ่งมีอัตราการเย็นตัวสูง เมื่อชุบแล้วทำให้ชิ้นงานแตก หรือมีรอยราวอยู่ภายใน ทำให้เกรนมีการผิดรูปไปหรือที่เรียกว่า เกิดการ สลิบ จึงส่งผลต่อความทนต่อแรงดึงของเหล็กเช่นกัน และยังมีปัจจัยอื่นที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ควบคุมได้ เช่น อุณหภูมิอบชุบ และ สารชุบ และปัจจัยควบคุมไม่ได้ เช่น อัตราการเย็นตัวในอากาศตอนนำเหล็กออกจากเตา และ เตาไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ขณะเปิดเตาทำให้อุณหภูมิลดลงซึ่งทำให้เกิดค่า Error สูงขึ้นไปด้วย

5.1.4 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว

จากการทดสอบทางสถิติสรุปได้ว่า อุณหภูมิในการ Temper มีความสัมพันธ์กับดัวแปรตามคือเปอร์เซ็นต์การยืดตัวโดยจะแปรผันตรงคือถ้าอุณหภูมิในการ Temper กับอัตราการเย็นตัวของสารชุบสูงก็จะทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงไปด้วยและจะแปรผกผันกับอัตราการเย็นตัวของสารชุบคือถ้าอัตราการเย็นตัวของสารชุบสูงเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก็จะต่ำลงแต่ตัวแปรอิสระอีกตัวคืออุณหภูมิในการทำ Austenitizing มีไม่มีผลกับความแข็งของเหล็ก แต่ถ้าในความเป็นจริงอุณหภูมิในการทำ Austenitizing มีผลกับเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก ซึ้งถ้าอุณหภูมิในการทำ Austenitizing สูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็กก็จะสูงขึ้นไปด้วยแต่ผลการทดลองเราไม่ไดเป็นเช่นนั้นซึ่งกรณีนี้สามารถอธิบายได้ว่า

1. เนื่องจากชิ้นงานผ่านการ Temper หรือ อบอ่อน เหล็กที่ผ่านการอบอ่อนจะมีการจัดเรียงเกรนใหม่ ทำให้โครงสร้างและสมบัติเชิงกลเปลี่ยนไปซึ่งส่งผลให้ขนาดของเกรนเปลี่ยนไปจึงทำให้ความทนต่อแรงดึงเปลี่ยนไปเช่นกัน

2. หรืออาจเป็นไปได้ว่าเหล็กที่ผ่านการชุบในน้ำหรือน้ำเกลือ ซึ่งมีอัตราการเย็นตัวสูง เมื่อชุบแล้วทำให้ชิ้นงานแตก หรือมีรอยราวอยู่ภายใน ทำให้เกรนมีการผิดรูปไปหรือที่เรียกว่า เกิดการ สลิบ จึงส่งผลต่อความทนต่อแรงดึงของเหล็กเช่นกัน

3. อาจยังมีปัจจัยอื่นที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ควบคุมไม่ได้ เช่น อัตราการเย็นตัวในอากาศตอนนำเหล็กออกจากเตา และ ความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ของเตาไม่สามารทำได้เวลาเปิดเตาทำให้อุณหภูมิลดลง ซึ่งทำให้เกิดค่า Error สูงขึ้น หรืออาจเป็นที่อุปกรณ์ในการทดลองเพราะเนื่องจากเหล็กที่ผ่านการชุบมามีความแข็งมากถึงแม้ Temper มาแล้วก็ยังแข็งอยู่จึงเป็นสาเหตุให้ตัวจับของเครื่องทดสอบแรงดึงไม่สามารถจับเหล็กได้อยู่ทำให้เกิดการเลื่อนรุดเมื่อเหล็กถูกดึงไป ทำให้เหล็กเสียรูปหรือเหล็กยืดออกมาแล้วไปแล้วเมื่อกลับมาดึงใหม่ให้ขาดทำให้ได้ข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง

5.1.5 Modulus of Elasticity

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ สรุปได้ว่า อุณหภูมิในการ Temper กับอุณหภูมิในการทำ Austenitizing และ สารชุบ มีความสัมพันธ์กับค่า Modulus of ElAasticity และค่า Modulus of Elasticity นี้จะมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งและคาวมทนต่อแรงดึงของเหล็กในทิศทางเดียวกันซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า

1. ค่า Modulus of Elasticity จะแปรผกผันกับอุณหภูมิในการทำ Austenitizing ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี กล่าวคือถ้าอุณหภูมิในการทำ Austenitizing สูงขึ้นค่า Modulus of Elasticity ก็จะลดลงหรือการเสียรูปของเหล็กก็จะลดลง

2. ค่า Modulus of Elasticity จะแปรผกผันกับอุณหภูมิในการทำ Temper ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี กล่าวคือถ้าอุณหภูมิในการทำ Temper สูงขึ้นค่า Modulus of Elasticity ก็จะลดลงหรือการเสียรูปของเหล็กก็จะลดลง

3. ค่า Modulus of Elasticity จะแปรผันตรงกับสารชุบหรือตัวกลางที่ใช้ในการชุบเหล็ก ได้แก่ น้ำ น้ำมัน ละน้ำเกลือ ที่มีอัตราการเย็นตัวต่างกัน มีผลต่อค่า Modulus of Elasticity ของเหล็ก กล่าวคือถ้าอัตราการเย็นตัวมีค่ามากก็จะให้ค่า Modulus of Elasticity สูงหรือการเสียรูปของเหล็กก็จะลดลง และแปรผันตรงกับอัตราการเย็นตัว ดังนั้นเหล็กที่ชุบใน น้ำเกลือก็จะมีค่า Modulus of Elasticity สูง กว่าเหล็กที่ชุบใน น้ำ และน้ำมันตามลำดับ

5.2 โครงสร้างจุลภาค

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคนั้นจะพบว่าอุณหภูมิในการทำ Austenitizing อุณหภูมิในการทำ Temper และอัตราการเย็นตัวของสารชุบจะส่งผลทางต่อโครงสร้างจุลภาคกล่าวคือ

1. อุณหภูมิในการทำ Austenitizing จะมีผลต่อโครงสร้างจุลภาคในลักษณะแปรผันตรงกับขนาดเกรน คือถ้าอุณหภูมิในการทำ Austenitizing สูงก็จะทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วยคือจะมีลักษณะที่เกรนหยาบ (Grain Growth) คาร์บอนมีการสูญเสียไปจากกระบวนการ (Decarization) ซึ่งในการนำไปใช้งานถือว่าเป็นสิ่งที่ไม่ดีนัก

2. อุณหภูมิในการทำ Temper จะมีผลต่อโครงสร้างจุลภาคในลักษณะแปรผันตรงกับขนาดเกรนเช่นเดียวกับอุณหภูมิในการทำ Austenitizing คือถ้าอุณหภูมิในการทำ Temper สูงก็จะทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเกิดขึ้นจากคาร์ไบด์จะรวมตัวกับเฟอร์ไรท์มีการเปลี่ยนรูปเป็นซีเมนต์ไตร์ และเมื่ออุณหภูมิในการทำ Temper สูงขึ้นซีเมนต์ไตร์จะมีขนาดโตขึ้นทำให้ความแข็งลดลงแต่แรงกระแทกจะสูงขึ้น

3. อัตราการเย็นตัวของสารชุบจะมีผลต่อโครงสร้างจุลภาคในลักษณะแปรผกผันกับขนาดเกรนคือถ้าอัตราการเย็นตัวของสารชุบสูงขนาดเกรนจะมีขนาดเล็ก แต่ก็ไม่เป็นตามนี้เสมอไปเนื่องจากตัวแปรสำคัญที่มาจากการ Temper

5.3 วิเคราะห์ และสรุปผลจากการรวบรวมโครงงานวิจัย

ชิ้นงานที่ชุบด้วยน้ำ และน้ำเกลือบางชิ้นจะมีรอยร้าวหลังชุบทั้งนี้เป็นเพราะน้ำ และน้ำเกลือมีอัตราการเย็นตัวสูง ส่วนชิ้นงานที่ชุบในน้ำมันไม่พบว่ามีรอยร้าวบนชิ้นงาน จึงสรุปได้ว่าสารชุบที่ดีที่สุด สำหรับเหล็ก AISI 4140

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชุบ Austenitzing มีความสำคัญ คือ การใช้อุณหภูมิในการอบเผาสำหรับเหล็กแต่ละชนิดนั้นมีอุณหภูมิจำกัด ถ้าใช้อุณหภูมิและเวลามาก ผลเสียหายจะเกิดขึ้นกับเหล็กที่เผานั้น คือ การเกิดเกรนหยาบ (Grain Growth) หรือเกิดการไหม้คือ คาร์บอนถูกดูดซึม (Decarization) เมื่อเกิดสิ่งนี้ขึ้น จากนั้นจะเสียผลกล่าวคือ งานไม่แข็งสม่ำเสมอมีบางจุดอ่อนและผิวเป็นสะเก็ดซึ่งจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการทำ Austenitizing ที่ดีที่สุดน่าจะเป็นที่ 850 องศาเซลเซียส และสามารถป้องกันได้โดยควบคุมอุณหภูมิอย่างถูกต้องเวลาในการเผาแช่ที่อุณหภูมิสูงๆอย่างถูกต้องตรวจตราและซ่อมแซมเครื่องวัดต่างๆ อยู่เสมอการป้องกันการไหม้และการสูญเสียคาร์บอน

ส่วนคุณลักษณะเชิงกลหลังจากอบชุบชิ้นงานที่อบด้วยอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะมีขนาดเกรนเล็ก และรูปแบบของเข็มมาร์เทนไซค์ยังมีอยู่บ้างบางส่วน บางส่วนจะมีลักษณะกลมมน ชิ้นงานที่อบด้วย 500 องศาเซลเซียส รูปแบบของเข็มมาร์เทนไซค์จะหมดไป ขนาดเกรนจะโตกว่าเดิมเล็กน้อย และอบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเกรนจะมีลักษณะหยาบขึ้น และกลมมน

จากเหตุผลที่ผ่านมาทำให้ทราบว่า อุณหภูมิออสเทนไนท์ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลเพียงเล็กน้อย แต่อุณหภูมิการอบคืนไฟ และสารที่ใช้ชุบจะมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลมาก สรุปว่าโครงงานเป็นไปตามทฤษฎี

5.4 ปัญหาข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข

1. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแรงดึง และแรงกระแทก มีขนาดเล็กจึงต้องลดขนาดชิ้นงาน จึงทำให้เกิดปัญหาในการแก้ไขชิ้นงานใหม่

2. กล้องจุลทรรศน์ไม่สามารถบ่งบอกขนาดที่แท้จริงของเกรนได้ เพราะกล้องไม่มีสเกลวัด แต่สามารถนำรูปมาเปรียบเทียบได้ว่าเกรนของแต่ละอุณหภูมิมีขนาดใหญ่เล็กต่างกันอย่างไร

3. ชิ้นงานทดสอบต้องใช้เวลาในการแก้ไขให้เหมาะสมกับเครื่องที่ใช้ทดลอง

4. การค้นหาข้อมูลของเหล็ก AISI 4140 ค่อนข้างลำบากในการอ้างอิงข้อมูล

5. ควรมีแหล่งค้นคว้าข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเพิ่มมากขึ้น

6. ต้องใช้เวลาในการศึกษาการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

7. แนวทางที่ช่วยให้การทดสอบวัสดุที่มีคุณสมบัติที่สูงกว่าเหล็ก AISI 4140 คือ ควรเลือกขนาดชิ้นงานมาตราฐานในการทดสอบให้มีขนาดเล็กลง