

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความเรียบผิวในการกัดเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1045 นี้ ได้ทำการศึกษาหลายขั้นตอนตั้งแต่การจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง จนถึงขั้นการวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ นั้น ก็เพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย โดยข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมนั้นจะเป็นเรื่องของเทคโนโลยีงานกัดทฤษฎีการตัดเฉือนด้วยเครื่องมือตัดรวมถึงองค์ประกอบของการตัดเฉือนและการวัดคุณภาพผิวงานตามมาตรฐาน ISO 1302 การออกแบบการทดลองโดยวิธีแฟกทอเรียลดีไซน์และการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งข้อมูลพื้นฐานต่างๆ เหล่านี้จะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ได้มาจากการค้นคว้าจากวิทยานิพนธ์ในห้องสมุดทั้งภายในและภายนอกสถาบัน ค้นคว้าจากตำราทั้งภายในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการทดลองและค้นคว้าจากวารสารต่าง ๆ และจากอินเทอร์เน็ต

ในการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองทางวิศวกรรม โดยกำหนดตัวแปรในการทดลองได้แก่ตัวแปรต้นประกอบด้วย สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อน (Heat treatment) 3 ระดับคือสภาพปกติ (Normal) ออบอ่อน (Annealing) และอบปกติ (Normalizing) ความเร็วตัด (Cutting Speed) ที่ระดับ 380, 420 และ 460 เมตรต่อนาที อัตราป้อน (Feed Rate) ที่ระดับ 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะป้อนลึกที่ระดับเท่ากันที่ 0.50 มิลลิเมตร ตัวแปรตามคือความเรียบของผิวงาน โดยเปรียบเทียบกับคุณภาพของผิวงานที่ได้จากการเจียรนัย ($R_a = 0.1 - 1.6 \mu m$) ในการกำหนดค่าความเรียบผิวที่ต้องการของการวิจัยครั้งนี้

3.2 วัสดุ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ในการศึกษาวิจัยนี้เพื่อเก็บข้อมูลที่ต้องการ ต้องใช้เครื่องมือในการทดลองหลายชนิดเครื่องมือหลักที่ต้องใช้ในงานทดลองเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำจนเสร็จสิ้นกระบวนการ ได้แก่

3.2.1 เครื่องกัดโลหะที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ CNC FACE MILLING รุ่น Chevalier (CP2060-L) สามารถปรับความปรับ ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,000 – 8,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.1 CNC FACE MILLING รุ่น Chevalier (CP2060-L)

3.2.2 เครื่องวัดความเรียบผิวงาน (Surface Roughness Testing Machine) ยี่ห้อ Marhr รุ่น MarSurf PS1ชนิดพกพา เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ในการหาความเรียบผิวชิ้นงาน โดยการวัดความเรียบผิวเฉลี่ย (Roughness Average, Ra) จะแสดงผลเป็นตัวเลขดิจิทัล มีหน่วยวัดเป็นไมครอน(μm) ที่ความละเอียด 0.01 ไมครอน(μm) โดยก่อนทำการวัดต้องทำการสอบเทียบ เพื่อวัดค่า และปรับแต่งค่าตัวเลขการวัดให้ได้ตามผิวงานอ้างอิงมาตรฐาน



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความเรียบผิวงาน

3.2.3 เครื่องทดสอบหาค่าความแข็ง (Hardness Testing Machine) รุ่น Model AYG C-2 Mitutoyo ใช้สำหรับทดสอบหาค่าความแข็งของชิ้นงานของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ที่ผ่านการอบด้วยความร้อนให้มีสภาพความแข็งในระดับที่แตกต่างกัน ใช้การทดสอบแบบ Hardness Brinell



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบหาค่าความแข็ง

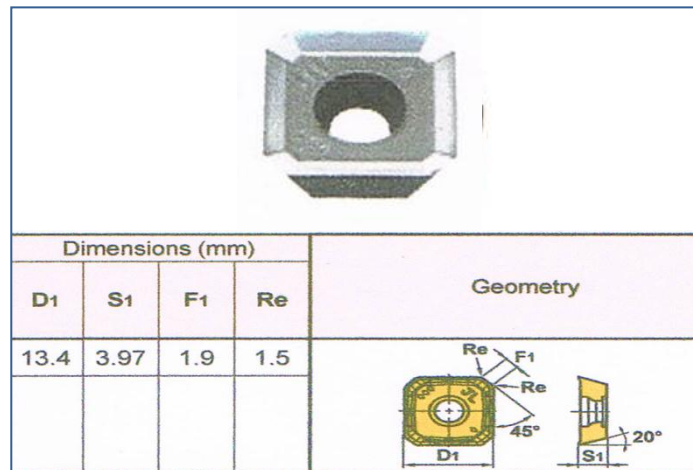
3.2.4 เครื่องทดสอบหาค่าส่วนผสมทางเคมี (Spectrometer) เครื่องทดสอบหาค่าส่วนผสมทางเคมี Model BAIRD 3460 (Thermo Electron Corporation) ใช้สำหรับทดสอบหาค่าส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบหาค่าส่วนผสมทางเคมี

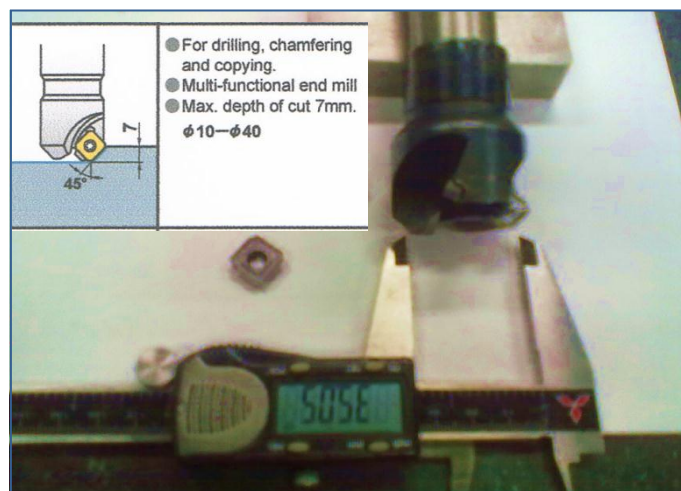
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เม็ดมีดกัดของ Mitsubishi รุ่น SEET13T3A GEN-JL VP15TF



รูปที่ 3.5 มีดกัดที่ใช้ในการทดสอบ

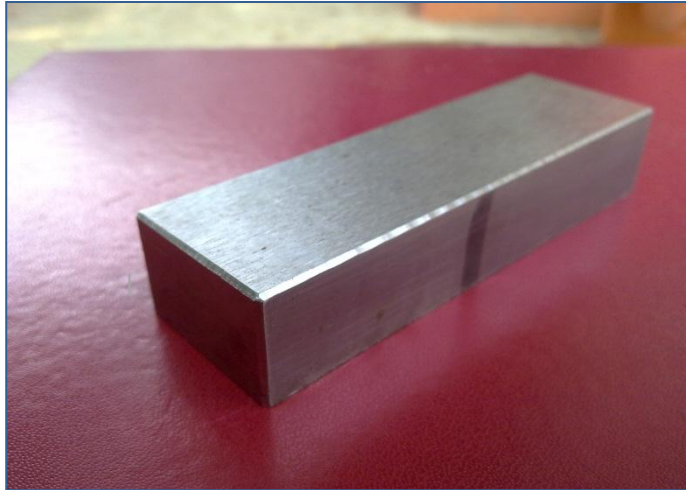
3.3.2 ค้ามมีดกัด ของ Mitsubishi รุ่น ASX400-L034



รูปที่ 3.6 ค้ามมีดกัดที่ใช้ในการทดสอบ

3.4 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ผ่านการกัดปรับขนาดชิ้นงานแล้วให้มีขนาด 30 x 100 x 25 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7 วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

3.5 ขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงาน

3.5.1 การเตรียมชิ้นงานเบื้องต้น นำวัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 มาเตรียมผิวงานให้ได้ขนาด 30 x 100 x 25 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง CNC FACE MILLING รุ่น Chevalier (CP2060-L)

3.5.2 นำชิ้นงานที่เตรียมไว้มาทดสอบส่วนผสมเคมี โดยกำหนดตำแหน่งที่ทำการทดสอบไว้ 3 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งต้องห่างกันอย่างน้อย 15 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.9 โดยผลของส่วนผสมทางเคมีตามมาตรฐานที่ได้ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบส่วนผสมเคมีของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045

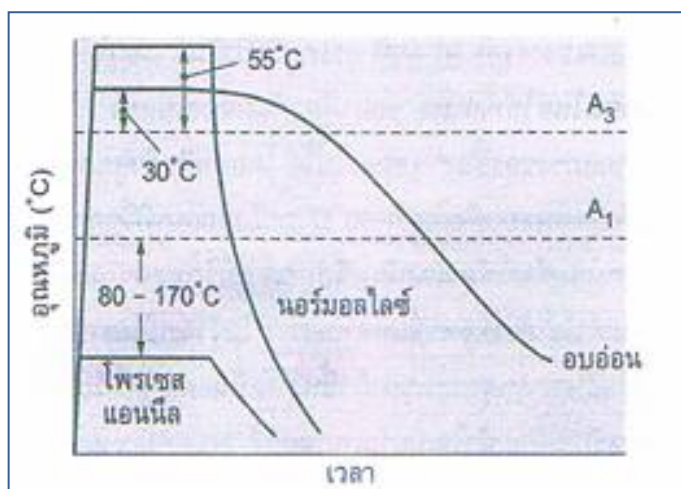
AISI 1045	ส่วนผสมทางเคมี (%)				
	C	Si	Mn	P	S
ค่ามาตรฐาน	0.42-0.50	≥0.040	0.5-0.8	≥0.035	≥0.035



รูปที่ 3.8 เตาอบชิ้นงานชนิดไฟฟ้า ยี่ห้อ Linn Therm

3.5.3 นำชิ้นวัสดุที่ได้ไปทำการอบความร้อน (Heat treatment) ด้วยเตาอบชุบโลหะโดยแบ่งวัสดุที่เตรียมไว้ออกเป็น 3 ชุด

ชิ้นงาน ชุดที่ 1 เป็นชิ้นงานสภาพปกติไม่ผ่านการอบ (Normal) จำนวน 18 ชิ้น เหล็กกล้า AISI 1045 เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง และเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ (Hypoeutectoid steels) จะมีปริมาณแร่ธาตุ ส่วนผสมดังนี้ C 0.500%, Si 0.247%, Mn 0.724%, P 0.010%, S 0.007%, ตามมาตรฐานของสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าของอเมริกา

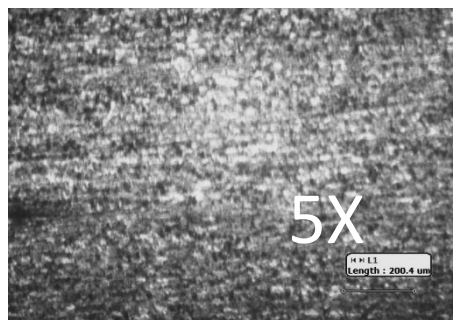


รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการอบอ่อนและการอบนอร์มอลไลซ์

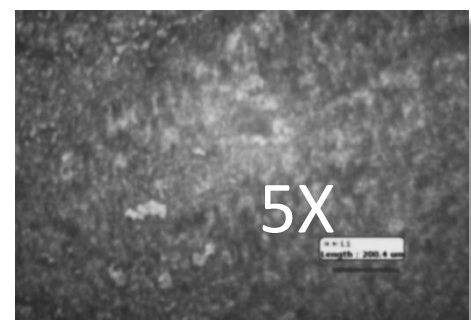
ชิ้นงาน ชุดที่ 2 ออบอ่อน (Annealing) ที่อุณหภูมิ 710-800 องศาเซลเซียส จำนวน 18 ชิ้น มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เหล็กมีความอ่อนตัวสูงเพื่อให้ง่ายต่อการกลึง ใสได้ง่าย เพื่อให้เหล็กมีคุณสมบัติด้านไฟฟ้าและแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ โดยทำการอบเหล็กให้มีอุณหภูมิสูงกว่าเส้น A_{c3} ประมาณ $30^{\circ}\text{--}55^{\circ}\text{C}$ สำหรับเหล็ก Hypoeutectoid ปล่อยให้ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงต่อความหนา 1 นิ้ว แล้วจึงปล่อยให้เย็นตัวอย่างช้า ๆ ภายในเตา โครงสร้างที่ได้จะใกล้เคียงกับแผนภูมิสมดุลคือ เฟอไรต์ (Ferrite, α) และคาร์ไบด์ (Carbide) ทำให้ความแข็งแรงลดลงอย่างมาก

ชิ้นงาน ชุดที่ 3 การอบปกติ (Normalizing) ที่อุณหภูมิ 800-880 องศาเซลเซียส จำนวน 18 ชิ้น มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงความเหนียว และขนาดเกรนของเหล็กให้มีความละเอียดมากขึ้น (Grain refinement) เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่สม่ำเสมอ โดยทำการอบเหล็กจนกระทั่งเหล็กมีโครงสร้างทั้งหมดเป็นออสเทนไนต์ (Austenite, γ) อุณหภูมิสูงกว่าเส้น A_{c3} ประมาณ 55°C ปล่อยให้ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงต่อความหนา 1 นิ้ว จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวภายในอากาศ การอบโดยวิธีนี้จะเพิ่มความแข็งแรงสูงกว่าการอบอ่อนอย่างสมบูรณ์ ดังรูปแผนภูมิการอบเหล็กที่ 3.9

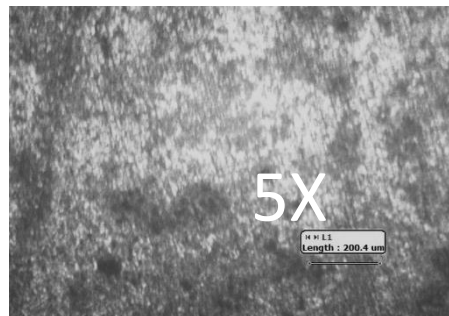
3.5.4 ต่อดูโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานก่อน และหลังการอบด้วยความร้อน



(ก) เม็ดเกรนเรียงตัวสม่ำเสมอ



(ข) เม็ดเกรนขนาดโตที่สุด



(ค) เม็ดเกรนเริ่มโตขึ้นและเรียงตัวไม่สม่ำเสมอ

รูปที่ 3.10 รูป (ก) โครงสร้างจุลภาคเหล็ก AISI 1045 รูป (ข) โครงสร้างจุลภาคเหล็ก AISI 1045 ที่อบ Annealing รูป (ค) โครงสร้างจุลภาคเหล็ก AISI 1045 ที่อบ Normalizing

3.5.5 นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ทั้งหมดมาทดสอบหาค่าความแข็ง โดยกำหนดตำแหน่งและช่วงระยะที่ทำการวัดความแข็งไว้ 3 ตำแหน่ง ห่างกันประมาณ 35 มิลลิเมตร โดยแต่ละตำแหน่งกำหนดระยะให้ห่างจากขอบชิ้นงาน 15 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.10 หลังจากนั้นจึงนำค่าที่ได้ทั้งหมดไปหาค่าเฉลี่ยทั้ง 54 ชิ้น แล้วนำผลการทดสอบความแข็งบันทึกลงตารางที่ 3.6

3.6 ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

การทดลองเบื้องต้น เป็นการศึกษาตัวแปรอิสระบางระดับเพื่อจะได้ทราบความเหมาะสมของการกำหนดตัวแปรอิสระที่ใช้ในการทดลอง เช่นทำให้ทราบถึงผลของตัวแปรและระดับที่นำมาศึกษาว่ามีความเหมาะสม หรือมีความสัมพันธ์กันแบบใดกับตัวแปรหลัก ที่ต้องการศึกษาเพื่อจะได้เลือกระดับของตัวแปรอิสระ ที่จะทำการศึกษาวิจัยได้ถูกต้อง ไม่ทำให้สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น ทั้งยังป้องกันไม่ให้เกิดการชำรุดเสียหายของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองได้อีกด้วย ซึ่งเมื่อทราบถึงแนวทางที่ถูกต้องแล้ว จะได้ทำการทดลองกับตัวแปรที่กำหนดไว้ทีละชุด เพื่อหาข้อสรุปถึงตัวแปรที่มีผลต่อความเรียบของผิวงานกัด

ในการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยได้วางแผนการทดลองไว้ โดยกำหนดให้ชิ้นงานทดลองมีขนาดเท่ากับ 30 x 100 x 25 มิลลิเมตร ระยะป้อนลึกที่เลือกใช้ทดลองในการกัดเท่ากันคือ 0.50 มิลลิเมตร ตัวแปรที่ศึกษาคือสภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อนในระดับที่แตกต่างกัน ความเร็วตัดเลือกใช้ค่าสูงสุดและต่ำสุดคือ 380, และ 460 เมตรต่อนาที อัตราป้อนเลือกใช้ค่าสูงสุดและต่ำสุดคือ 100 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงดังตารางที่ 3.2

$$\text{จากสมการ} \quad V = \frac{\pi dn}{1000}$$

กำหนดให้	V	= ความเร็วตัด	(เมตรต่อนาที)
	d	= เส้นผ่านศูนย์กลางของมีดกัด	(มิลลิเมตร)
	n	= ความเร็วรอบ	(รอบต่อนาที)

ตารางที่ 3.2 แสดงแผนการทดลองเบื้องต้นจำนวน 12 ชั้น

Heat Treatment of steels	ความเร็วตัด (ม./นาที)	อัตราป้อน (มม./นาที)					
		100		140		180	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Normal (สภาพปกติ)	380	A_1				A_3	
	420						
	460	C_1				C_3	
Annealing	380	D_1				D_3	
	420						
	460	F_1				F_3	
Normalising	380	G_1				G_3	
	420						
	460	I_1				I_3	

3.7 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

ในการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ ให้ตรงกับวัตถุประสงค์และสมมุติฐาน จึงได้กำหนดแผนการทดลองดังตารางที่ 3.3 ดังนี้

ตารางที่ 3.3 แผนการทดลองกำหนดให้เงื่อนไขละ 2 Replicates

Heat Treatment of steels	ความเร็วตัด (ม./นาที)	อัตราป้อน (มม./นาที)					
		100		140		180	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Normal (สภาพปกติ)	380	A_1	A_{11}	A_2	A_{22}	A_3	A_{33}
	420	B_1	B_{11}	B_2	B_{22}	B_3	B_{33}
	460	C_1	C_{11}	C_2	C_{22}	C_3	C_{33}
Annealing	380	D_1	D_{11}	D_2	D_{22}	D_3	D_{33}
	420	E_1	E_{11}	E_2	E_{22}	E_3	E_{33}
	460	F_1	F_{11}	F_2	F_{22}	F_3	F_{33}

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) แผนการทดลองกำหนดให้เงื่อนไขละ 2 Replicates

Heat Treatment of steels	ความเร็วตัด (ม./นาที)	อัตราป้อน (มม./นาที)					
		100		140		180	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Normalizing	380	G_1	G_{11}	G_2	G_{22}	G_3	G_{33}
	420	H_1	H_{11}	H_2	H_{22}	H_3	H_{33}
	460	I_1	I_{11}	I_2	I_{22}	I_3	I_{33}

A1, A2 และ A3 หมายถึง การกัดเหล็ก AISI 1045 สภาพปกติ(Normal) ที่ระดับความลึก 0.50 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วตัด 380 เมตรต่อนาทีและใช้อัตราป้อน 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที ตามโดยใช้สารหล่อเย็น (A11, A22 และ A33 คือ การทดลองครั้งที่ 2)

B1, B2 และ B3 หมายถึง การกัดเหล็ก AISI 1045 สภาพปกติ(Normal) ที่ระดับความลึก 0.50 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วตัด 420 เมตรต่อนาทีและใช้อัตราป้อน 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้สารหล่อเย็น (B11, B22 และ B33 คือ การทดลองครั้งที่ 2)

C1, C2 และ C3 หมายถึง การกัดเหล็ก AISI 1045 สภาพปกติ(Normal) ที่ระดับความลึก 0.50 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วตัด 460 เมตรต่อนาทีและใช้อัตราป้อน 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้สารหล่อเย็น (C11, C22 และ C33 คือ การทดลองครั้งที่ 2)

D1, D2 และ D3 หมายถึง การกัดเหล็กที่ผ่านขั้นตอน Annealing ที่ระดับความลึก 0.50 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วตัด 380 เมตรต่อนาทีและใช้อัตราป้อน 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้สารหล่อเย็น (D11, D22 และ D33 คือ การทดลองครั้งที่ 2)

E1, E2 และ E3 หมายถึง การกัดเหล็กที่ผ่านขั้นตอน Annealing ที่ระดับความลึก 0.50 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วตัด 420 เมตรต่อนาทีและใช้อัตราป้อน 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้สารหล่อเย็น (E11, E22 และ E33 คือ การทดลองครั้งที่ 2)

F1, F2 และ F3 หมายถึง การกัดเหล็กที่ผ่านขั้นตอน Annealing ที่ระดับความลึก 0.50 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วตัด 460 เมตรต่อนาทีและใช้อัตราป้อน 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้สารหล่อเย็น (F11, F22 และ F33 คือ การทดลองครั้งที่ 2)

G1, G2 และ G3 หมายถึง การกัดเหล็กที่ผ่านขั้นตอน Normalizing ที่ระดับความลึก 0.50 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วตัด 380 เมตรต่อนาทีและใช้อัตราป้อน 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาทีโดยใช้สารหล่อเย็น (G11, G22 และ G33 คือ การทดลองครั้งที่ 2)

H1, H2 และ H3 หมายถึง การกัดเหล็กที่ผ่านขั้นตอน Normalizing ที่ระดับความลึก 0.50 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วตัด 420 เมตรต่อนาทีและใช้อัตราป้อน 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาทีโดยใช้สารหล่อเย็น (H11, H22 และ H33 คือ การทดลองครั้งที่ 2)

I1, I2 และ I3 หมายถึง การกัดเหล็กที่ผ่านขั้นตอน Normalizing ที่ระดับความลึก 0.50 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วตัด 460 เมตรต่อนาทีและใช้อัตราป้อน 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาทีโดยใช้สารหล่อเย็น (I11, I22 และ I33 คือ การทดลองครั้งที่ 2)

3.8 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

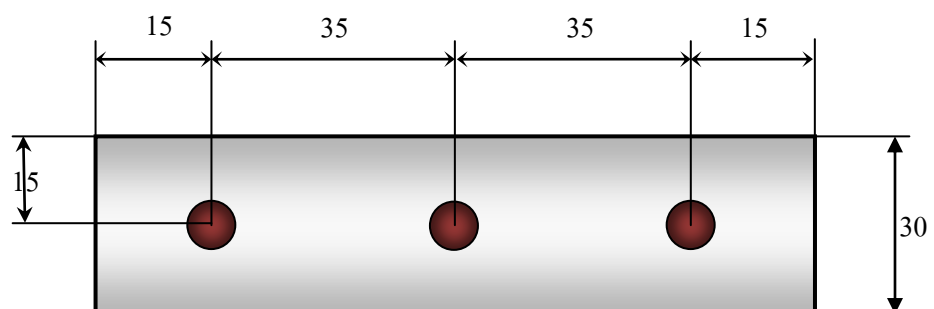
การเตรียมชิ้นงานทำการเตรียมเครื่องจักรและอุปกรณ์ ตั้งแต่การเขียนโปรแกรม ติดตั้งมีดกัดและอุปกรณ์ในการกัด เชื้ออุปกรณ์ในการกัดเพื่อให้ได้ช่วงความยาวในการกัด 30 x 100 x 25 มม. จำนวน 54 ชิ้น และทำการกัดชิ้นงานทดลองโดยใช้สารหล่อเย็น ในการกัด ลำดับการทดลองด้วยวิธีการสุ่มเลือกชิ้นงานแล้วบันทึกลำดับการทดลองลงในตารางที่ 3.4 ทดลอง ภายใต้เงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้

ตารางที่ 3.4 การสุ่มเลือกชิ้นงานสำหรับการทดลอง

Heat Treatment of steels	ความเร็วตัด	อัตราป้อน					
		100		140		180	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Normal (สภาพปกติ)	380	1	16	33	7	5	43
	420	46	20	50	44	6	22
	460	25	48	13	26	17	14
Annealing	380	19	24	32	54	23	42
	420	15	9	21	27	39	8
	460	31	34	52	2	35	51
Normalizing	380	37	3	29	45	41	12
	420	4	36	40	10	38	47
	460	49	18	11	30	53	28

3.9 ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.9.1 นำชิ้นงานที่เตรียมไว้มาทำการทดสอบส่วนผสมเคมี โดยกำหนดตำแหน่งที่ทำการทดสอบไว้ 3 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งต้องห่างกันอย่างน้อย 15 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.10 โดยผลของส่วนผสมเคมีที่ได้ ดังตารางที่ 3.5

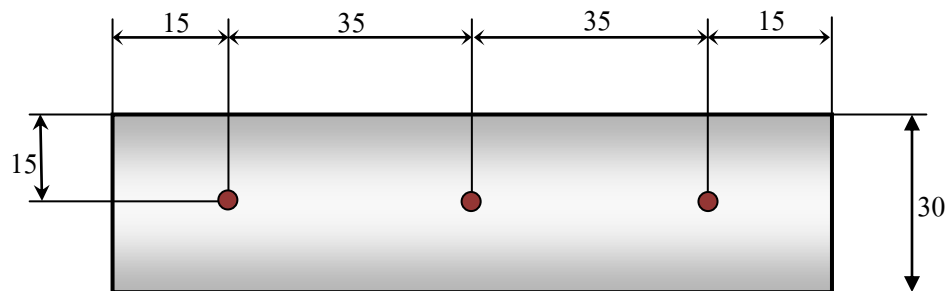


รูปที่ 3.11 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบส่วนผสมเคมี

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบส่วนผสมเคมีของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045

AISI 1045	ส่วนผสมทางเคมี (%)				
	C	Si	Mn	P	S
ค่ามาตรฐาน	0.42-0.50	≥ 0.040	0.5-0.8	≥ 0.035	≥ 0.035
ชิ้นงานทดลอง	0.500	0.247	0.724	0.010	0.007

3.9.2 นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ทั้งหมดมาทดสอบหาค่าความแข็ง โดยกำหนดตำแหน่งและช่วงระยะที่ทำการวัดความแข็งไว้ 3 ตำแหน่ง คือ ห่างจากปลายงาน 15 มิลลิเมตร และตรงกลาง โดยแต่ละตำแหน่งกำหนดระยะให้ห่างจากขอบชิ้นงาน 15 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.11 หลังจากนั้นจึงนำค่าที่ได้ทั้งหมดไปหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนทั้ง 54 ชิ้น จึงได้ผลการทดสอบความแข็งดังตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบหาค่าความแข็ง

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงานทดลอง

สภาพชิ้นงานปกติ (Normal)				หน่วย : HB
จำนวน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าแปรปรวน
18	197. 13	212. 57	204. 85	14.7

สภาพชิ้นงานอบอ่อน (Annealing)				หน่วย : HB
จำนวน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าแปรปรวน
18	121. 10	130.40	125. 75	6.34

ตารางที่ 3.6 (ต่อ) ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงานทดลอง

หน่วย : HB

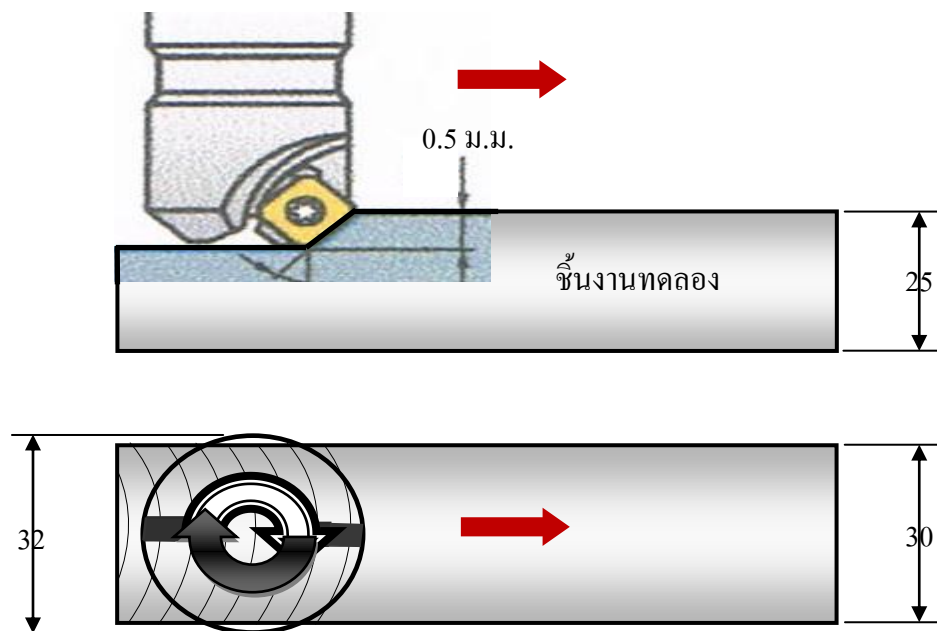
สภาพชิ้นงานปกติ (Normal)

จำนวน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าแปรปรวน
18	146.80	156.97	151.885	8.02

3.9.3 ขั้นตอนการกัดในการกัดงานทดลองจะทำการสุ่มเลือกชิ้นงานจากตารางที่ 3.4 มาทำการกัดภายใต้เงื่อนไขที่ได้ออกแบบการทดลองไว้จนครบ 54 ชิ้น

3.9.4 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลองมีลำดับขั้นตอนดังนี้

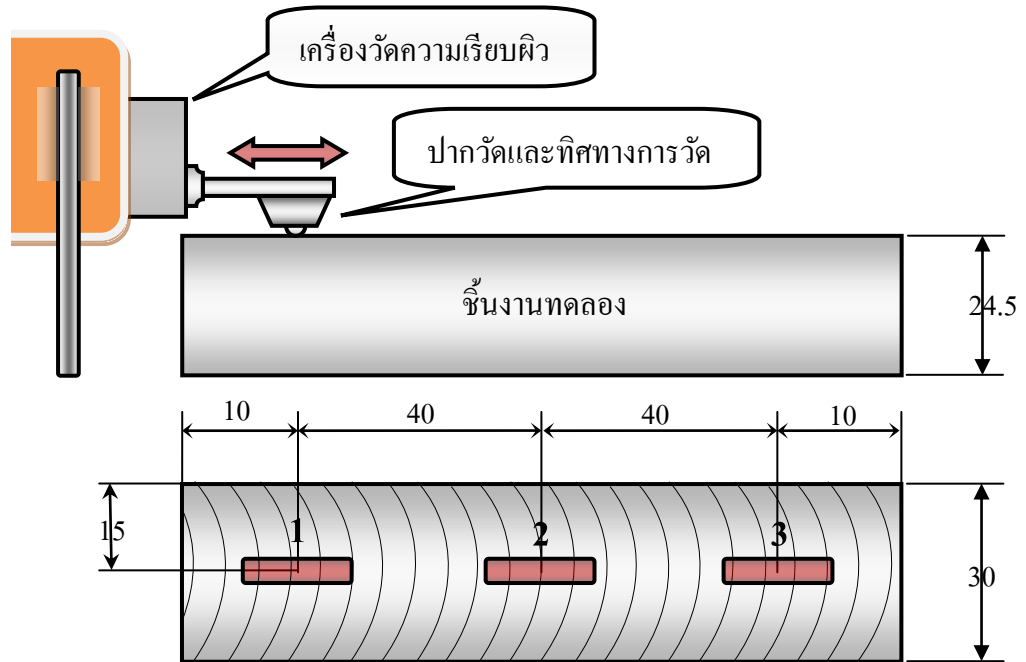
1. นำชิ้นงานทดลองมาจัดที่ละ 1 ชิ้น ตามตารางที่ 3.4 โดยวิธีการสุ่ม เมื่อสุ่มได้ตัวใดก็ปรับค่าเครื่องกัด ตามระดับตัวแปรภายใต้เงื่อนไขตามที่กำหนดจนครบ 54 ชิ้น



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งและทิศทางการกัดปาดผิวชิ้นงาน

2. ทำการกัดปาดผิวตามตัวแปรตามที่กำหนด ตามลำดับในตารางที่ 3.4
3. เปลี่ยนมีดกัดใหม่สำหรับงานต่อไป
4. ถอดชิ้นงานออกจากเครื่องกัด ดำเนินการตามข้อ 1) ถึงข้อ 4) จนครบทุกชิ้น

5. นำชิ้นงานทดลองไปวัดค่าความเรียบผิว (Ra) ชิ้นงานแต่ละชิ้นจะถูกวัด 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งแรกห่างจากปลายประมาณ 10 มิลลิเมตร ตำแหน่งที่ 2 อยู่ตรงกลางชิ้นงาน และตำแหน่งสุดท้ายอยู่ห่างจากขอบประมาณ 10 มิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ยความเรียบผิว



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งและทิศทางที่ทำการวัดความเรียบงานกัด

6. นำผลที่ได้จากการทดลองนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.10 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ข้อมูลมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองโดยสถิติดังนี้

3.10.1 การหาค่าเฉลี่ย [20]

จากสูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{N}$$

$$\begin{array}{lll}
 \text{เมื่อ} & \bar{X} & = \text{ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด} \\
 & \sum_{i=1}^n X & = \text{ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด} \\
 & N & = \text{จำนวนของข้อมูลทั้งหมด}
 \end{array}$$

3.10.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [20]

เป็นการวัดการกระจายข้อมูล ที่เบี่ยงเบนออกจากค่าเฉลี่ยของข้อมูล

$$\text{จากสูตร} \quad S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

$$\begin{array}{lll}
 \text{เมื่อ} & S.D. & = \text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \\
 & X & = \text{ข้อมูลแต่ละจำนวน} \\
 & \bar{X} & = \text{ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด} \\
 & N & = \text{จำนวนของข้อมูลทั้งหมด}
 \end{array}$$

3.10.3 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) [21]

3.10.4 เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ (Multiple Linear Regression Technique) [23]

เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นตรงพหุคูณ เป็นการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระมีมากกว่า 1 ตัว ว่ามีความสัมพันธ์กันเพียงใด และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตัวหนึ่งจะทำให้ตัวแปรอีกตัวหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นเท่าไร ซึ่งเทคนิคการถดถอยเชิงเส้นตรงประกอบด้วย ตัวแปรที่ต้องการทราบค่าหรือต้องการจะประมาณค่าขึ้นมาเรียกว่า “ตัวแปรตาม (Dependent Variable)” ใช้สัญลักษณ์แทนด้วยอักษร Y ส่วนตัวแปรที่สมมติว่า มีผลหรือมีอิทธิพลต่อตัวแปรที่ต้องการประมาณค่าเรียกว่า “ตัวแปรอิสระ” (Independent Variable) ใช้สัญลักษณ์แทนด้วยอักษร X โดยมีตัวแบบการถดถอย เชิงเส้นตรงพหุคูณ ดังนี้

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

เมื่อ	$\hat{y}$	=	ค่าพยากรณ์
	a	=	จุดตัดแกน Y
	b	=	ค่าความชันหรือสัมประสิทธิ์ความถดถอย
	x	=	ตัวแปรอิสระ