บทที่ 6

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณชิ้นงานที่บิดเบี้ยว

6.1.1 ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในเตา

จากผลการทดลองพบว่าการจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบในระหว่างการอบชุบแข็งมีปริมาณชิ้นงานที่บิดเบี้ยวเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการจัดวางชิ้นงานแบบปกติจะมีปริมาณชิ้นงานที่บิดเบี้ยวถึง 12 เปอร์เซ็นต์ และจากผลการวัดอุณหภูมิในแต่ละจุดของเตาเผาพบว่าจากการจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบมีความแตกต่างของอุณหภูมิภายในเตาน้อยกว่าการจัดวางชิ้นงานแบบปกติ ดังแสดงผล เพราะจากผลการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิแสดงในรูปที่ 5.2-5.5 ตามตำแหน่งดังการจัดวางเทอร์โมคัปเปิล ดังรูปที่ 5.1 โดยความแตกต่างของอุณหภูมิมีผลโดยตรงกับการบิดเบี้ยวของชิ้นงานเนื่องจาก เหล็กจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากเฟอร์ไรด์ไปเป็นมาร์เทนไซด์ที่อุณหภูมิ 840 $^{\circ}$ C โดยจะทำการอบชุบชิ้นงานไว้ที่อุณหภูมินี้นานถึง 60 นาทีเพื่อให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็กสมบูรณ์ เนื่องจากโครงสร้างของเฟอร์ไรด์และมาร์เทนไซด์มีปริมาตรที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งทำให้โครงสร้างในแต่ละจุดของชิ้นงานมีความแตกต่างกันจึงเป็นผลทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานได้

ตารางที่ 6.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณของเสียในแต่ละการทดลอง

6.1.2 เวลาที่ใช้ในการชุบชิ้นงานลงในน้ำมัน เพื่อลดอุณหภูมิของชิ้นงาน

การจัดวางชิ้นงาน	เวลาที่ใช้ในการชุบ	ปริมาณชิ้นงานต่อชุด	เปอร์เซ็นต์ของเสีย	ปริมาณของเสีย	ผลผลิตต่อชุด
เป็นระเบียบ	3 นาที	15000	3%	450	14550
แบบปกติ	3 นาที	36000	12%	4320	31680
	5 นาที	36000	5%	1800	34200

ภายหลังกระบวนการอบชุบแข็งพบว่ามีโครงสร้างมาร์เทนไซด์และออสเตไนท์ปะปนกันอยู่ โดยที่โครงสร้างทั้งสองมีปริมาตรที่แตกต่างกันจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน ดังนั้นเพื่อลดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานเราจึงต้องการโครงสร้างภายในชิ้นงานมีความแตกต่างกันให้น้อยที่สุด โดยการทำให้เกิดโครงสร้างมาร์เทนไซด์ให้มากที่สุด

การชุบชิ้นงานคือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในจากโครงสร้างออสเตไนท์ไปเป็นมาร์เทนไซด์ โดยมีอัตราการเย็นตัวที่เหมาะสมยิ่งอุณหภูมิของชิ้นงานยิ่งต่ำก็จะยิ่งทำให้เกิดปริมาณของโครงสร้างมาร์เทนไซด์มากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานลดลง (ดังแสดงใน Transfer Diagram ที่อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็กกล้าในรูปที่ 3.4) โดยจากการทดลองนี้คือการนำเหล็กที่ร้อนลง 840 $^{\circ}$ C ในไปน้ำมันที่มีอุณหภูมิ 80 $^{\circ}$ C เพื่อลดอุณหภูมิของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว

เนื่องจากเราไม่สามารถวัดอุณหภูมิของชิ้นงานในขณะชุบได้โดยตรง เราจึงใช้สมการสมดุลพลังงานดังแสดงการคำนวณในบทที่ 4 ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 6.2 โดยเปรียบเทียบการจุ่มนาน 3 นาทีกับ 5 นาที

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของชิ้นงานกับปริมาณโครงสร้างมาร์เทนไซด์

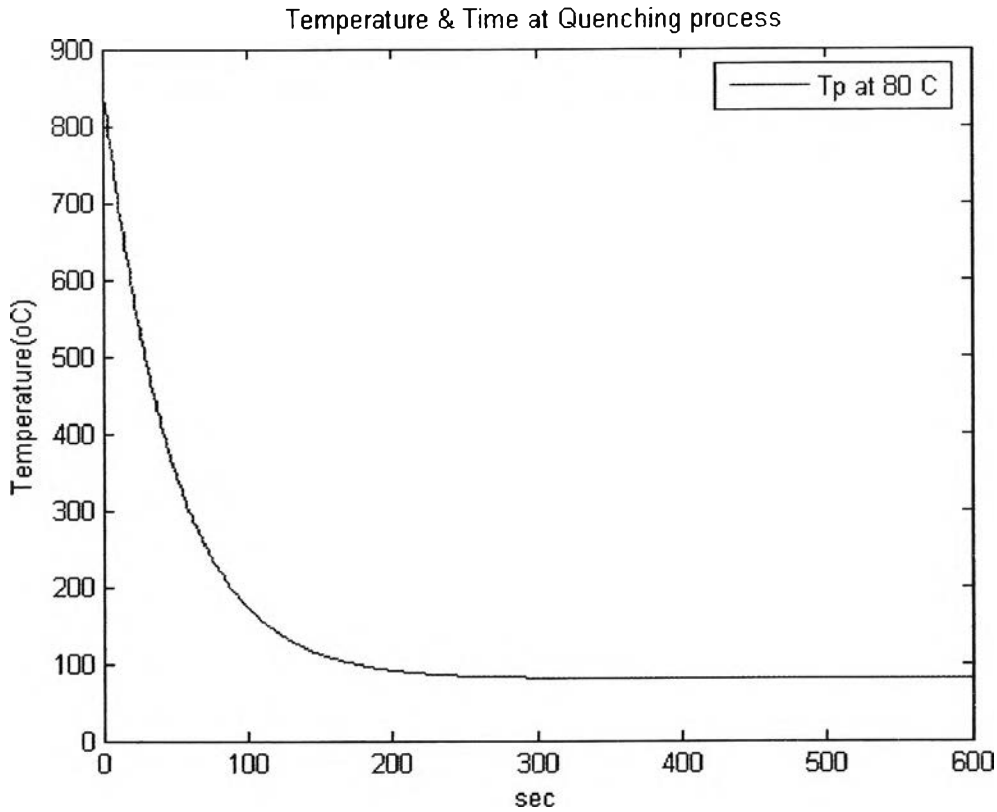
อุณหภูมิของน้ำมัน	เปอร์เซ็นต์มาร์เทนไซด์	เวลาที่ใช้ในการจุ่ม	อุณหภูมิของชิ้นงาน	
			วางแบบปกติ (6 ชั้น)	วางเป็นระเบียบ (5ชั้น)
80 $^{\circ}$C	90%	3 นาที	97.3 $^{\circ}$C	97.3 $^{\circ}$C
	95%	5 นาที	81.4 $^{\circ}$C	81.4 $^{\circ}$C

จากผลการคำนวณพบว่าที่การจุ่มชิ้นงานนาน 5 นาทีอุณหภูมิของชิ้นงานจะลดลงต่ำกว่าในกรณีจุ่มชิ้นงานนาน 3 นาที ดังแสดงผลตามตารางที่ 1 ดังนั้นกรณีจุ่มชิ้นงานนาน 5 นาทีเกิดโครงสร้างของมาร์เทนไซด์ถึง 95% เมื่อเปรียบเทียบกับการจุ่มที่ 3 นาที ซึ่งเกิดโครงสร้างมาร์เทนไซด์ที่ 90 % (โดยการเปรียบเทียบปริมาณของมาร์เทนไซด์จาก Transformation diagram ตามรูปที่ 1) ซึ่งส่งผลต่อปริมาณชิ้นงานที่บิดเบี้ยว ทำให้กรณีการจุ่มชิ้นงานนาน 5 นาทีมีปริมาณชิ้นงานที่บิดเบี้ยวน้อยกว่ากรณีจุ่มชิ้นงานนาน 3 นาที

เนื่องจากความแตกต่างของทางโครงสร้างภายในตัวชิ้นงานน้อยกว่ากรณีจุ่มชิ้นงานนาน 3 นาที ดังแสดงผลตามตารางที่ 6.1 และ 6.2 ควบคู่กัน

จากผลการทดลองพบว่า การจุ่มชิ้นงานลงในของเหลวให้นานขึ้นสามารถลดปริมาณชิ้นงานที่บิดเบี้ยวได้ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการจุ่มชิ้นงานลงในของเหลวเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชิ้นงานจากโครงสร้างออสเตไนท์ไปเป็นมาร์เทนไซด์ โดยโครงสร้างดังกล่าวมีปริมาตรที่แตกต่างกันและโครงสร้างมาร์เทนไซด์จะเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 200 ° C ไปจนถึงที่อุณหภูมิ 29 ° C โดยเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เกิดมาร์เทนไซด์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสิ่งที่เราต้องการในทางทฤษฎี เพราะหากเกิดมาร์เทนไซด์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์จะสามารถคาดการณ์ได้ว่าจะไม่มีความบิดเบี้ยวเนื่องจากความแตกต่างทางด้านปริมาตรของโครงสร้างของชิ้นงาน จากการทดลองเราทำการจุ่มชิ้นงานที่มีความร้อน 840 °C ลงไปในน้ำมันที่อุณหภูมิ 80 ° C และจากสภาพความเป็นจริงเราไม่สามารถวัดอุณหภูมิของชิ้นงานภายหลังการอบชุบได้ทันที เนื่องจากชิ้นงานภายหลังการอบชุบยังคงอยู่ในห้องชุบ ดังนั้นเราจึงใช้หลักการสมดุลพลังงานเพื่อหาอุณหภูมิของชิ้นงานภายหลังการชุบชิ้นงาน ณ. ช่วงเวลาต่างกัน เพื่อให้แน่ใจว่าภายหลังการชุบชิ้นงานอุณหภูมิของชิ้นงานได้ถูกลดอุณหภูมิลงไปจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดมาร์เทนไซด์ จากผลการคำนวณพบว่าเวลาที่ใช้ในการชุบชิ้นงานมีผลต่อการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน โดยเวลาที่ใช้ในการชุบชิ้นงานคือ 3 นาทีจะได้อุณหภูมิของชิ้นงานคือ 97.3 ° C และที่เวลา 5 นาที อุณหภูมิของชิ้นงานคือ 81.4 ° C จากทฤษฎี อุณหภูมิยิ่งลดต่ำลงเข้าใกล้ 29 ° C มากขึ้นก็จะทำให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซด์เข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์มากขึ้น ดังนั้นจากผลการคำนวณจึงสอดคล้องกับการทดลองเพราะเมื่อจุ่มชิ้นงานนานขึ้นทำให้อุณหภูมิของชิ้นงานลดลงเข้าใกล้อุณหภูมิมาร์เทนไซด์ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ทำให้ปริมาณของชิ้นงานที่บิดเบี้ยวลดลง

จากผลการคำนวณโดยใช้สมดุลพลังงานตามสมการที่ 9 ถึง 16 ดังแสดงในบทที่ 4 จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ตามกราฟในรูปที่ 6.1 โดยพบว่าตั้งแต่ 5 นาทีเป็นต้นไปจะพบว่าอุณหภูมิของชิ้นงาน(81.4°C) มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำมัน(80°C) ดังนั้นถึงแม้ว่าเราจะจุ่มชิ้นงานให้นานขึ้นก็จะไม่สามารถทำให้อุณหภูมิของชิ้นงานลดลงไปได้จนถึงอุณหภูมิที่จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของโครงสร้างของมาร์เทนไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งโครงสร้างมาร์เทนไซด์จะเกิดขึ้นใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิของชิ้นงานเท่ากับ 29 °C



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในขั้นตอนการชุบแข็ง

จากการคำนวณโดยเปรียบเทียบกรณีการจุ่มชิ้นงานที่จัดวางอย่างเป็นระเบียบกับการจัดวางแบบปกติพบว่า อุณหภูมิของชิ้นงานภายหลังการชุบไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในขั้นตอนการชุบชิ้นงานลงในน้ำมันการจัดวางชิ้นงานในระหว่างการชุบไม่มีผลต่อการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน เพราะจากสมการการถ่ายเทความร้อนอัตราส่วน ในสมการที่ 10 อัตราส่วนระหว่าง พื้นที่และปริมาตร ในการจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบกับการจัดวางแบบปกติพบว่ามีค่าเท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้การจัดวางชิ้นงานทั้งสองแบบ อุณหภูมิของชิ้นงานภายหลังการชุบไม่มีความแตกต่างกัน

6.2 ตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานที่มีผลต่อความบิดเบี้ยวของชิ้นงาน

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.1-6.3 พบว่า ในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงานมีปริมาณชิ้นงานที่บิดเบี้ยวไม่เท่ากัน โดยที่กรณีการจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบมีความแตกต่างของการบิดเบี้ยวของชิ้นงานน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตามทั้งกรณีการจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบ และการจัดวางชิ้นงานแบบปกติพบว่า ณ. ตำแหน่งชั้นที่ 4 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ตรงกลางเตาพบว่ามีปริมาณชิ้นงานที่บิดเบี้ยวมากกว่าตำแหน่งอื่น เพราะอุณหภูมิของชิ้นงานไปถึงอุณหภูมิที่ต้องการช้ากว่าตำแหน่งอื่นๆ จึงเป็นผลทำให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็กกล้าจากเฟอร์ไรต์ไปเป็นออสเตไนท์ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ชิ้นงานมีปริมาตรของโครงสร้างที่แตกต่างกันซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในขั้นตอนถัดไปคือขั้นตอนการชุบ เป็นผลทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานมากกว่าชั้นอื่นๆ

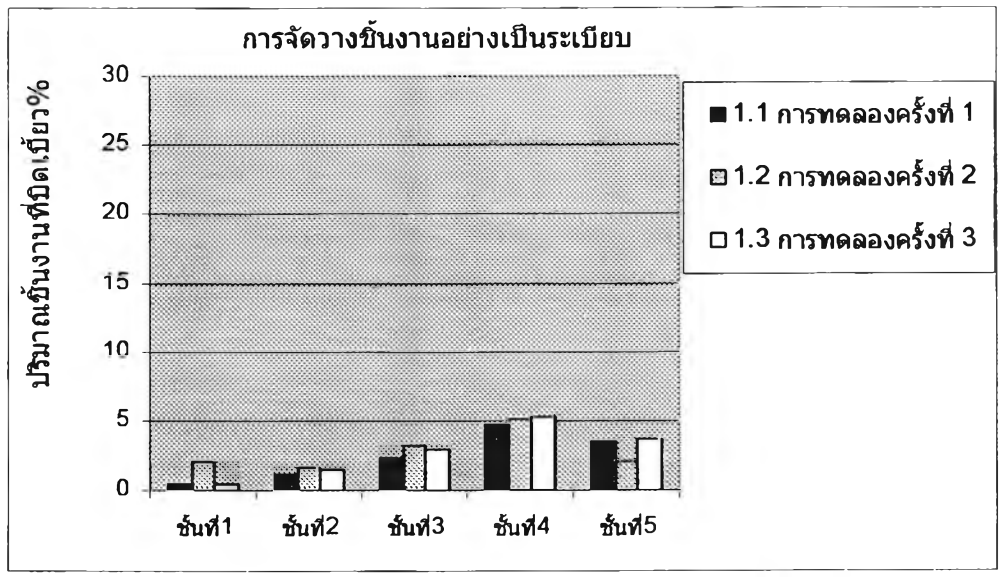
สาเหตุหลักที่ทำให้ชั้นที่ 4 ซึ่งอยู่มีตำแหน่งตรงกลางเตาไปถึงอุณหภูมิที่ต้องการช้ากว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากชิ้นงานที่จัดวางในแต่ละชั้นประพฤติตัวเสมือนเป็นตัวต้านทานความร้อนทำให้การถ่ายเทความร้อนที่ตำแหน่งถัดไปจากที่สัมผัสกับสุญญากาศโดยตรงในที่นี้คือชั้นที่ 1 (บนสุด) และชั้นที่ 6 (ล่างสุด) ไปยังตรงกลางเตาไม่สามารถได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีโดยตรง

ตารางที่ 6.3 ผลการคำนวณเปรียบเทียบอุณหภูมิในแต่ละชั้นโดยการถ่ายเทความร้อน

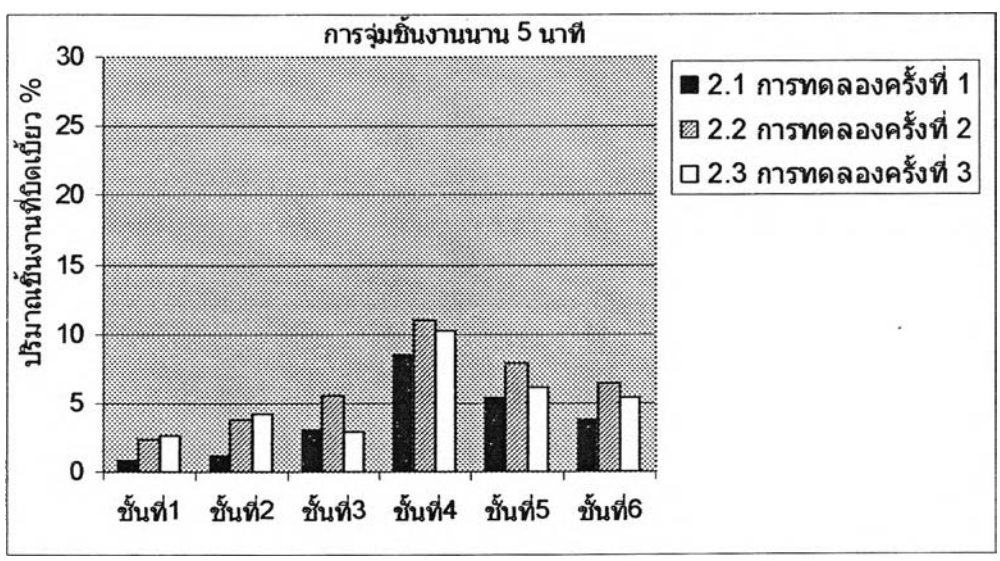
ชั้นที่	อุณหภูมิ
1	840.0
2	836.4
3	832.8
4	832.8
5	836.4
6	840.0

จากผลการคำนวณโดยเปรียบเทียบกับกรณีการจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบ (5 ชั้น) โดยคำนวณจากที่ ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 6 จะได้รับจากการแผ่รังสีและถ่ายเทความร้อนไปยังชั้นถัดไปโดยการนำ

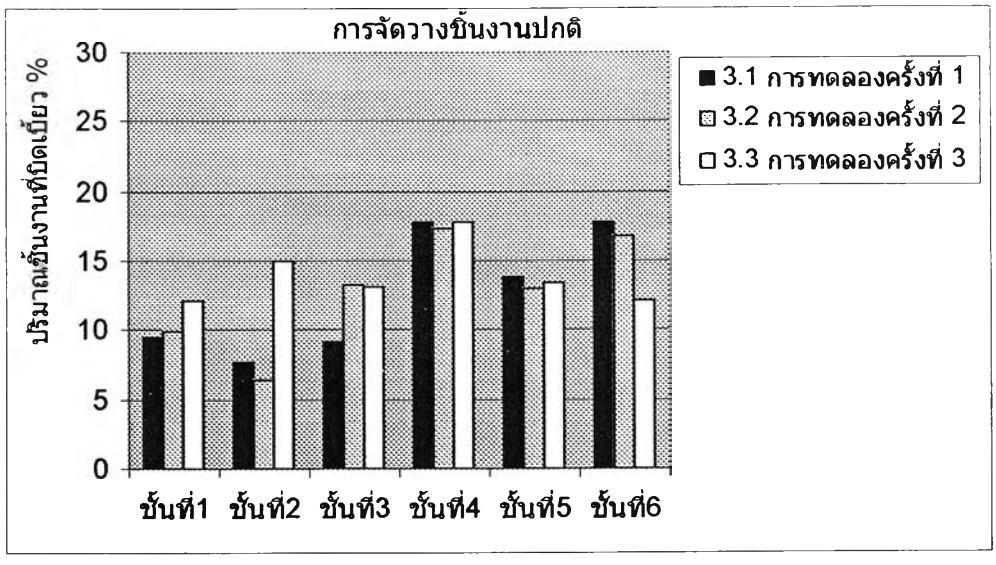
ความร้อนซึ่งกรณีนี้ความร้อนส่งถ่ายไปยังถัดชั้นไปจะลดลงเรื่อยๆ ตามลำดับ ดังแสดงผลการคำนวณในตารางที่ 6.3



รูปที่ 6.2 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณชิ้นงานที่บิดเบี้ยวของการจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบ



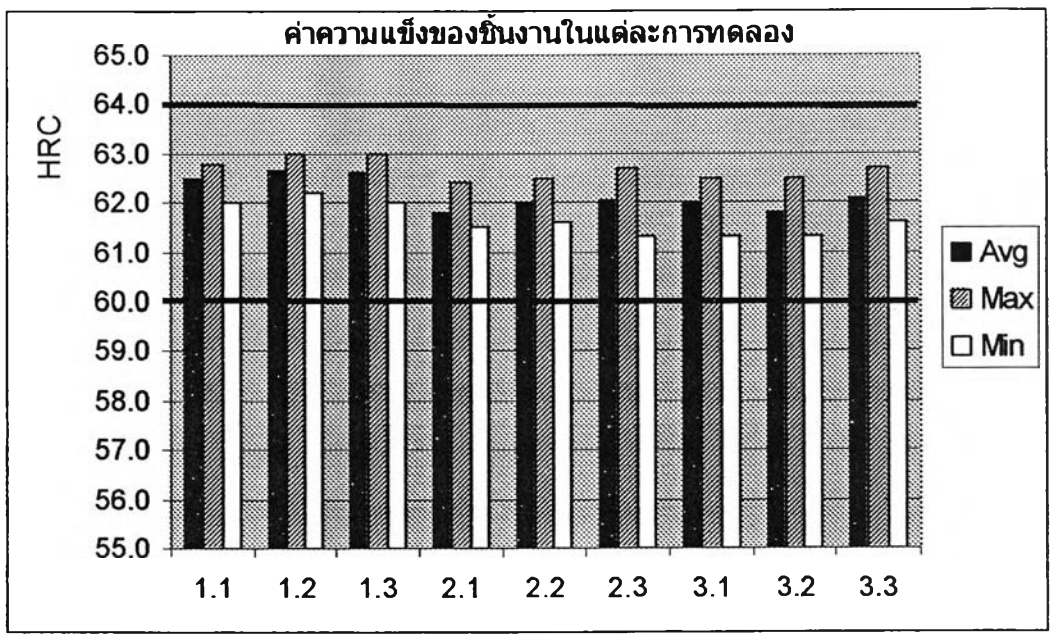
รูปที่ 6.3 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณชิ้นงานที่บิดเบี้ยวของการจุ่มชิ้นงานนาน 5 นาที



รูปที่ 6.4 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณชิ้นงานที่บิดเบี้ยวของการจัดวางชิ้นงานแบบปกติ

6.3 ค่าความแข็งของชิ้นงาน

จากผลการทดลองพบว่าการจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบในระหว่างการอบชิ้นงาน และการเพิ่มเวลาในการจุ่มชิ้นให้นานขึ้นจาก 3 นาทีเป็น 5 นาที ไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานค่าความแข็งทั้งหมดอยู่ในค่าตามมาตรฐานที่กำหนด (60-64 HRC)



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงการเปรียบค่าความแข็งของชิ้นงานที่สภาวะการทดลองต่างๆ

<u>หมายเหตุ</u>

การทดลองที่ 1.1 – 1.3 คือ การจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบในขณะทำการอบชุบ

การทดลองที่ 2.1 – 2.3 คือ การจุ่มชิ้นงานในของเหลวให้นานขึ้น

การทดลองที่ 3.1 – 3.3 คือ การจัดวางชิ้นงานปกติ