

บทที่ 4 ผลการทดสอบ

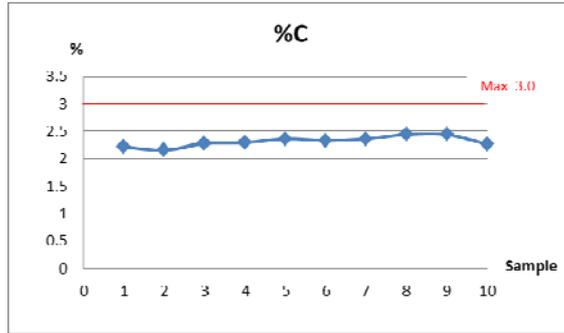
4.1 ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี (Chemical Composition)

เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดงานเสียประเภทวิ่งไม่เต็มแบบในกระบวนการหล่อ ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของน้ำโลหะเตา ที่นำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์รุ่น 400 I จำนวน 10 เตา ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ทางผู้ผลิตได้กำหนดไว้พบว่า ส่วนผสมทางเคมีของน้ำโลหะทั้ง 10 เตา ที่นำมาผลิตนั้น มีส่วนผสมทางเคมีอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2

จากการเก็บข้อมูลพบว่า ส่วนผสมของน้ำโลหะที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีค่าอยู่ในมาตรฐานควบคุมทุกเตา ดังนั้นส่วนผสมทางเคมีของน้ำโลหะไม่น่าจะเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหางานหล่อประเภทวิ่งไม่เต็มแบบที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 4.1 ตารางส่วนผสมทางเคมีของน้ำโลหะเตาที่นำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์รุ่น 400 I จำนวน 10 เตา (Ladle)

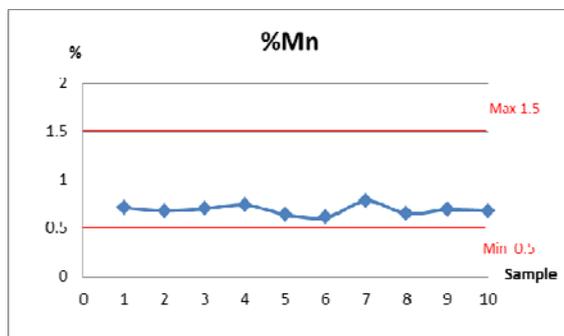
No.	Composition %								
	%C	%Si	%Mn	%Ni	%Cr	%Cu	%S	%Nb	%P
<i>Upper</i>	3	2.8	1.5	17.5	2.5	7.5	0.12		
<i>Lower</i>		1.5	0.5	13.5	1.5	5.5			
Sample 1	2.22	1.95	0.71	14.28	1.58	6.04	0.022	0.004	0.032
Sample 2	2.16	2.02	0.68	14.00	1.58	5.85	0.021	0.004	0.032
Sample 3	2.28	2.04	0.70	14.20	1.55	5.93	0.022	0.004	0.031
Sample 4	2.29	1.88	0.74	14.18	1.57	5.60	0.023	0.004	0.033
Sample 5	2.36	2.15	0.64	14.16	1.60	5.67	0.028	0.005	0.034
Sample 6	2.33	2.11	0.61	14.22	1.50	5.97	0.026	0.004	0.034
Sample 7	2.36	2.12	0.78	14.25	1.62	5.69	0.025	0.004	0.034
Sample 8	2.44	2.04	0.65	14.02	1.57	5.75	0.020	0.004	0.029
Sample 9	2.44	1.97	0.69	14.43	1.62	5.83	0.022	0.004	0.034
Sample 10	2.26	2.14	0.68	14.20	1.56	5.87	0.024	0.004	0.034



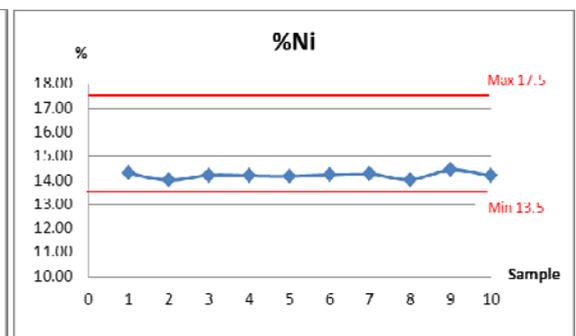
(a) ปริมาณคาร์บอน



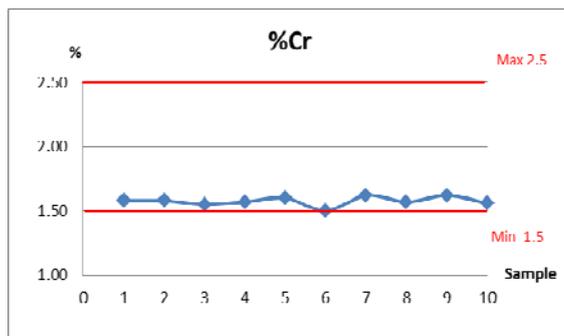
(b) ปริมาณซิลิกอน



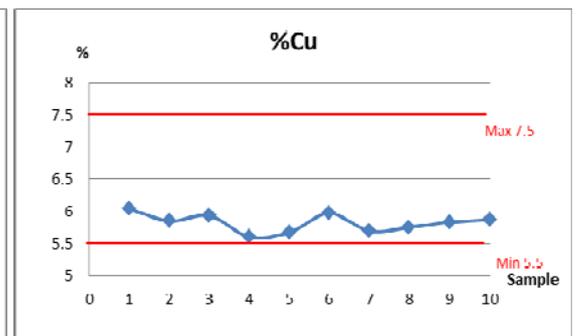
(c) ปริมาณแมงกานีส



(d) ปริมาณนิกเกิล

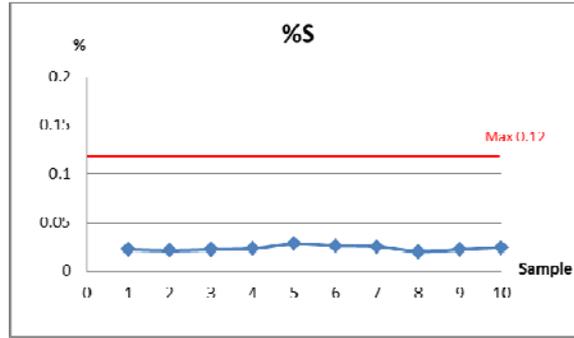


(e) ปริมาณโครเมียม



(f) ปริมาณทองแดง

รูปที่ 4.1 กราฟปริมาณส่วนผสมทางเคมีของธาตุประกอบที่มีอยู่ในน้ำโลหะเปรียบเทียบกับปริมาณควบคุมที่ทางโรงงานกำหนด (a) ปริมาณคาร์บอน (b) ปริมาณซิลิกอน (c) ปริมาณแมงกานีส (d) ปริมาณนิกเกิล (e) ปริมาณโครเมียม (f) ปริมาณทองแดง



(g) ปริมาณซัลเฟอร์

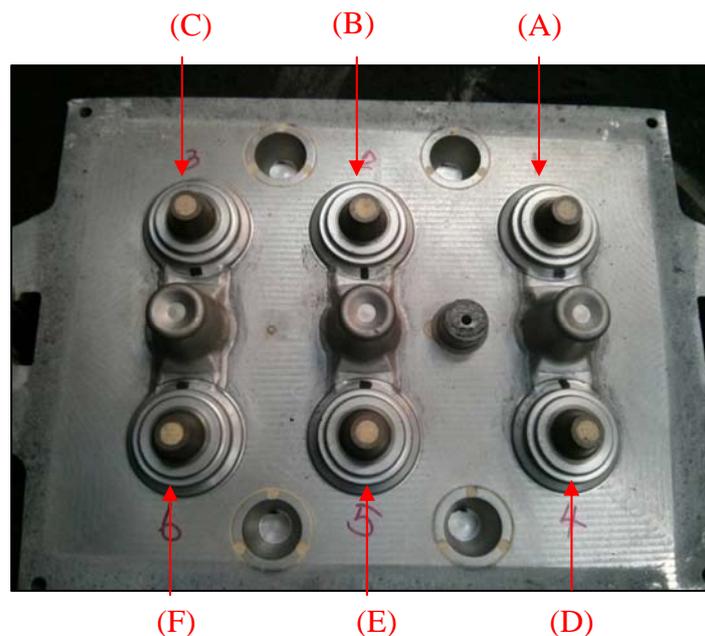
รูปที่ 4.2 กราฟปริมาณส่วนผสมทางเคมีของธาตุประกอบที่มีอยู่ในน้ำโลหะเปรียบเทียบกับปริมาณควบคุมที่ทางโรงงานกำหนด (g) ปริมาณซัลเฟอร์

4.2 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพระบบทางเดินน้ำโลหะ (Gating System)

การตรวจสอบประสิทธิภาพระบบทางเดินน้ำโลหะ ด้วยการเก็บข้อมูลงานเสียที่เกิดจากกระบวนการหล่อชิ้นงานรุ่น 400 I จำนวน 190 ชิ้น โดยจะระบุตำแหน่งการเกิดข้อบกพร่อง (Defect) ทั้งตำแหน่งของการวางชิ้นงานในแบบหล่อ (โมลด์) และตำแหน่งของใบพัด (Vane) บนชิ้นงานนั้นๆ

ภายในแบบหล่อ 1 แบบจะมีชิ้นงานทั้งหมด 6 ชิ้น กำหนดให้เป็น ชิ้นงาน A ชิ้นงาน B ชิ้นงาน C ชิ้นงาน D ชิ้นงาน E และชิ้นงาน F ซึ่งรูปแสดงตำแหน่งการวางชิ้นงานในแบบหล่อนั้น แสดงดังรูปที่

4.3



รูปที่ 4.3 การระบุตำแหน่งต่างๆของชิ้นงานบนแพทเทิลในงานรุ่น 400 I

ในชิ้นงานแต่ละชิ้นจะมีใบพัดทั้งหมด 6 ใบ จะกำหนดให้ใบพัดใบแรกตรงจุดทางเข้าน้ำโลหะ (Ingate) เป็นใบพัดหมายเลข 1 และใบพัดถัดมาเมื่อหมุนตามเข็มนาฬิกาเป็นใบพัดหมายเลข 2 จนถึงหมายเลข 6 ซึ่งตำแหน่งของใบพัดบนชิ้นงานนั้น แสดงดังรูปที่ 4.4

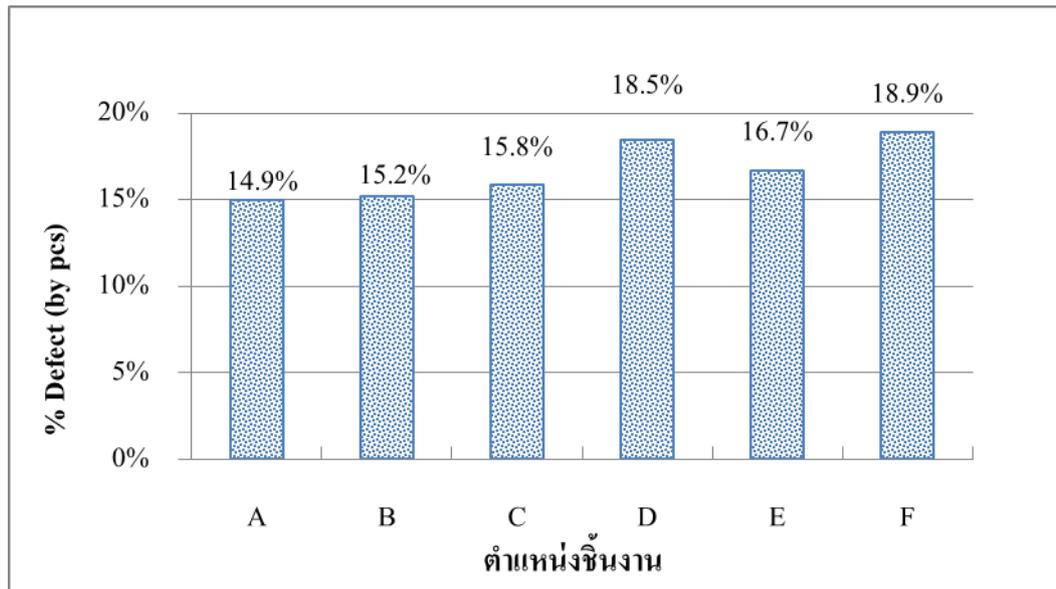


รูปที่ 4.4 แสดงการระบุตำแหน่งหมายเลข 1-6 ของใบพัดในงานรุ่น 400 I

จากผลการเก็บข้อมูลชิ้นงานเสียจากกระบวนการหล่อโลหะสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.2 โดยเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของชิ้นงานในแบบหล่อและปริมาณชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้นพบว่า ชิ้นงาน A ชิ้นงาน B ชิ้นงาน C ชิ้นงาน D และชิ้นงาน F เกิดปัญหา Misrun เหมือนกัน เป็นการเกิดแบบกระจายในทุกชิ้นงาน ไม่ได้เฉพาะเจาะจงเกิดในชิ้นใดชิ้นหนึ่งเป็นพิเศษ โดยชิ้นงาน F จะมีงานเสียมากกว่าชิ้นงาน A แสดงดังกราฟรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการเก็บข้อมูลงานเสียจากกระบวนการหล่อโลหะของชิ้นงานรุ่น 400 I จำนวน 190 ชิ้น

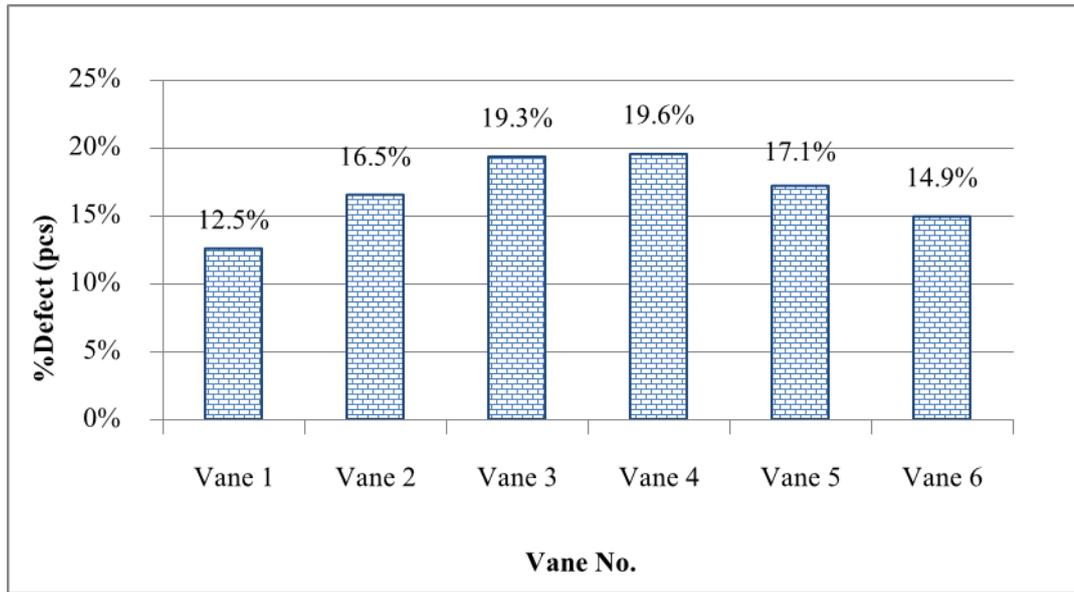
Parts Location	Vane 1	Vane 2	Vane 3	Vane 4	Vane 5	Vane 6	Sum	Part No./Total
1	6	12	14	15	12	9	68	14.9%
2	9	9	11	13	13	14	69	15.2%
3	12	10	15	13	11	11	72	15.8%
4	11	15	16	16	16	10	84	18.5%
5	8	14	15	14	13	12	76	16.7%
6	11	15	17	18	13	12	86	18.9%
Total	57	75	88	89	78	68	455	100%
Percentage	12.5%	16.5%	19.3%	19.6%	17.1%	14.9%	100.0%	



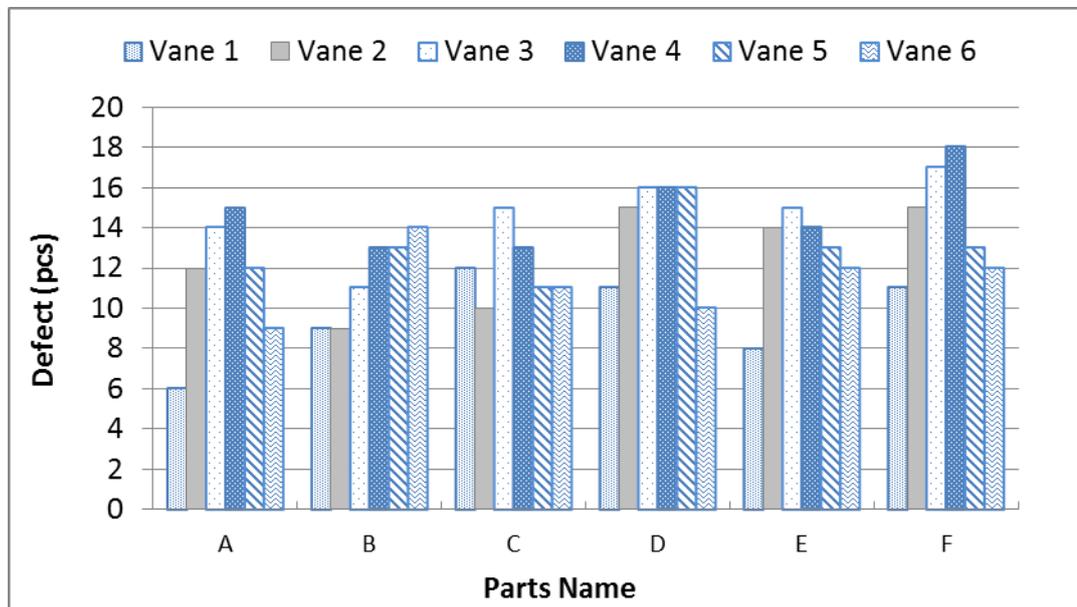
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณงานเสียเป็นเปอร์เซ็นต์และตำแหน่งของชิ้นงานในแบบหล่อของผลิตภัณฑ์รุ่น 400 I

เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งของใบพัด โดยนำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งใบพัดของชิ้นงานและปริมาณงานเสียที่เกิดขึ้นพบว่า ใบพัดหมายเลข 1 ถึง 6 เกิดปัญหา Misrun ในทุกใบพัด ซึ่งเป็นการเกิดแบบกระจายทุกใบพัด โดยใบพัดที่ 1 จะเกิดปัญหาน้อยที่สุดในทางตรงกันข้ามใบพัดที่ 3 และ 4 เกิดปัญหามากที่สุด อาจจะเนื่องจากใบพัดหมายเลข 3 และ 4 อยู่ห่างจากทางเข้าน้ำโลหะ ถ้าอุณหภูมิของน้ำโลหะสูงไม่เพียงพอ น้ำโลหะจะมีโอกาสแข็งตัวก่อนที่จะไหลเต็มแบบ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณชิ้นงานเสียกับตำแหน่งของใบพัดที่พบงานเสียแสดงดังรูปที่ 4.6 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณชิ้นงานเสียกับตำแหน่งของชิ้นงานในแบบหล่อและตำแหน่งของใบพัดที่พบงานเสียแสดงดังรูปที่ 4.7

จากข้อมูลข้างต้นพบว่า ปัญหางานวิ่งไม่เต็มแบบเป็นการเกิดปัญหาแบบสุ่ม (Random) คือเกิดกระจายทั่วทั้งแบบหล่อ (โมลด์) ทุกชิ้นงานในแบบ ดังนั้นปัจจัยของการออกแบบทางเดินน้ำโลหะไม่น่าจะเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหางานเสียประเภทวิ่งไม่เต็มแบบในครั้งนี้



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณชิ้นงานเสียกับตำแหน่งของใบพัดที่พบงานเสีย

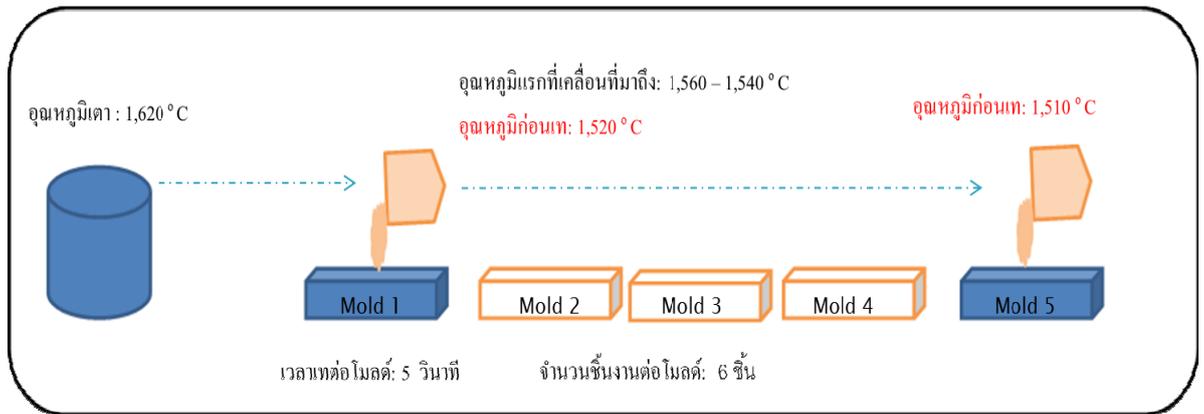


รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณงานเสียกับตำแหน่งของชิ้นงานในแบบหล่อและตำแหน่งของใบพัดในชิ้นงานของผลิตภัณฑ์รุ่น 400 I

4.3 ผลการตรวจสอบอุณหภูมิการเทน้ำโลหะ (Pouring Temperature)

เพื่อวิเคราะห์หาผลของอุณหภูมิเทน้ำโลหะต่อปริมาณชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบสถานะการทำงานในปัจจุบันและปริมาณชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้น โดยใช้อุณหภูมิเทน้ำโลหะลงในแบบตามมาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดไว้คือ 1,520°C

จากการตรวจสอบพบว่า ที่โมลด์แรกอุณหภูมิการเทน้ำโลหะอยู่ที่ 1,520°C ซึ่งขณะที่เทนั้นอุณหภูมิของน้ำโลหะจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อถึงโมลด์สุดท้าย (โมลด์ 5) อุณหภูมิก่อนเทน้ำโลหะจะลดลงประมาณ 10°C เหลือ 1,510°C โดยเฉลี่ย แผนผังแสดงการวัดอุณหภูมิในจุดต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.8 และผลการวัดอุณหภูมิแสดงดังตารางที่ 4.3 จากการสุ่มตรวจสอบเวลาในการเทน้ำโลหะลงแบบหล่อ ผู้ปฏิบัติงานใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 5 วินาทีต่อแบบ



รูปที่ 4.8 แผนผังกระบวนการหล่อโลหะและอุณหภูมิต่างๆที่อุณหภูมิเทน้ำโลหะ 1,520°C

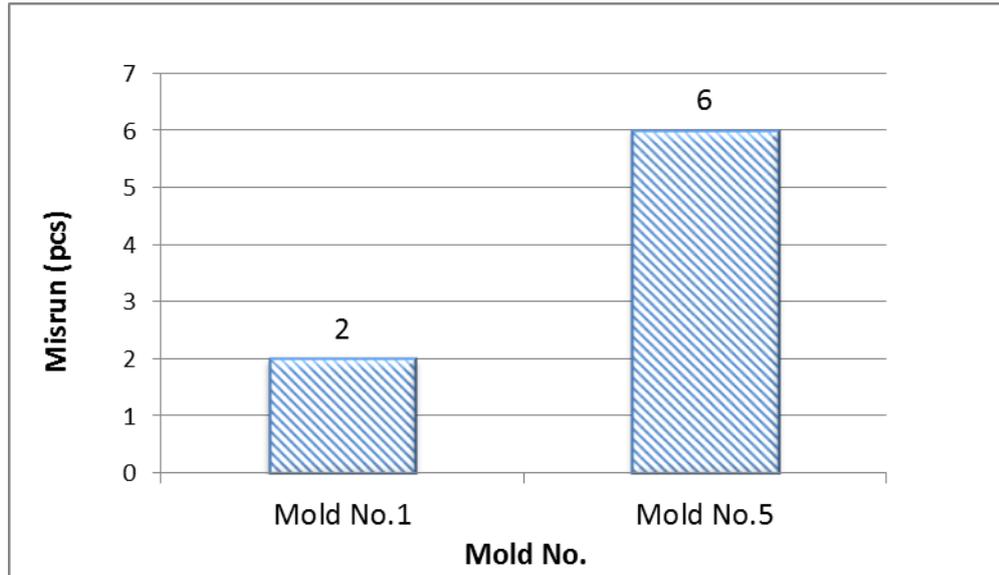
ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิเทน้ำโลหะของโมลด์ที่ 1 และโมลด์ที่ 5 ที่อุณหภูมิเริ่มเท 1,520°C

Mold	Pouring Temperature (°C)			Average
	No. 1	No. 2	No. 3	
Mold 1	1,520	1,520	1,521	1,520
Mold 5	1,510	1,509	1,510	1,510

จากการเปรียบเทียบชิ้นงานเสีย ที่เกิดขึ้น ใน โมลด์ที่ 1 และ โมลด์ที่ 5 พบว่า ปริมาณชิ้นงานเสียโมลด์ที่ 1 มีปริมาณต่ำกว่า โมลด์ที่ 5 โดยมีงานเสียอยู่ 5.6% และ 16.7% ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณชิ้นงานเสียทั้งหมดสำหรับการเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิ 1,520°C เท่ากับ 22.2% ข้อมูลชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้นของโมลด์ที่ 1 และ โมลด์ที่ 5 นั้นแสดงดังตารางที่ 4.4 สามารถเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูป 4.9

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลงานเสียจากกระบวนการหล่อที่อุณหภูมิเตาโลหะเริ่มต้น 1,520°C ของโมลด์ที่ 1 และโมลด์ที่ 5 อย่างละ 3 เบ้า

Mold	Part No.	Vane 1	Vane 2	Vane 3	Vane 4	Vane 5	Vane 6	Summary (pcs)
Mold 1.1	A		1	1				1
	B							0
	C							0
	D							0
	E							0
	F							0
Mold 1.2	A							0
	B							0
	C							0
	D							0
	E							0
	F							0
Mold 1.3	A							0
	B							0
	C							0
	D				1			1
	E							0
	F							0
Total Defect Mold 1								2
								(pcs)
								(% of total production)
								5.6%
Mold 5.1	A			1				1
	B							0
	C							0
	D							0
	E							0
	F					1		1
Mold 5.2	A							0
	B							0
	C					1		1
	D							0
	E				1			1
	F						1	1
Mold 5.3	A							0
	B							0
	C							0
	D	1		1	1	1		1
	E							0
	F							0
Total Defect Mold 5								6
								(pcs)
								(% of total production)
								16.7%
Grand Total Defect (Mold 1 + 5)								8
								(pcs)
								(% of total production)
								22.2%



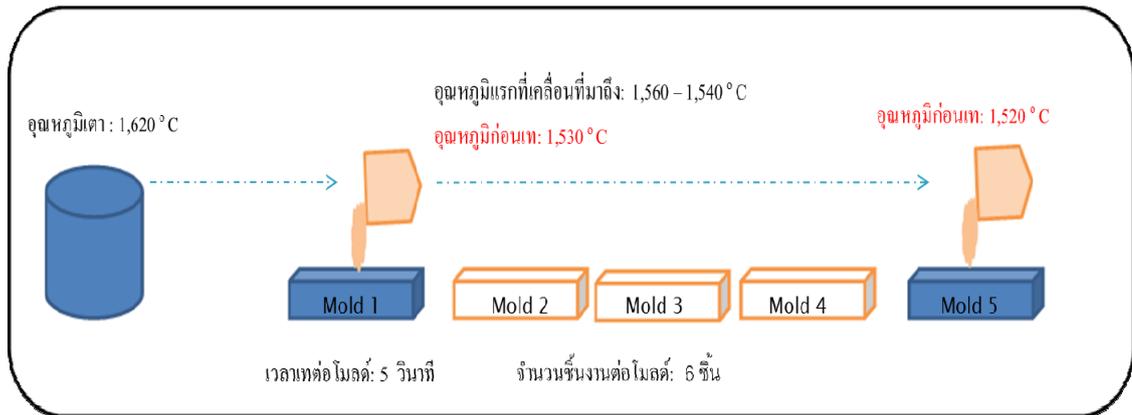
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณชิ้นงานเสียกับลำดับของโมลด์ในการเทน้ำโลหะ

จากข้อมูลข้างต้นพบว่า อุณหภูมิการเทน้ำโลหะมีผลต่อปริมาณชิ้นงานเสียประเภทวิ่งไม่เต็มแบบ ในกระบวนการหล่อโลหะ โดยอุณหภูมิเทน้ำโลหะที่สูงกว่าจะมีปริมาณชิ้นงานเสียน้อยกว่าเทที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งอุณหภูมิก่อนเทในโมลด์ที่ 5 จะลดลงจากอุณหภูมิในโมลด์ที่ 1 ประมาณ 10°C

4.4 ผลการทดลอง

จากการตรวจสอบผลของอุณหภูมิการเทน้ำโลหะกับปริมาณงานเสียที่เกิดขึ้น พบว่า อุณหภูมิการเทน้ำโลหะมีผลต่อปริมาณงานเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งที่อุณหภูมิเทน้ำโลหะสูงกว่าจะมีปริมาณงานเสียน้อยกว่า

โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้นการเทน้ำโลหะที่กำหนดไว้ $1,520^{\circ}\text{C}$ นั้นอุณหภูมิก่อนเทน้ำโลหะที่โมลด์สุดท้ายจะลดลงประมาณ 10°C เหลือเพียง $1,510^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทดลองเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นเทน้ำโลหะขึ้น 10°C ไปเป็น $1,530^{\circ}\text{C}$ เพื่อให้อุณหภูมิเทน้ำโลหะที่โมลด์สุดท้ายเหลือประมาณ $1,520^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในแผนผังกระบวนการหล่อโลหะและอุณหภูมิต่างๆในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แผนผังกระบวนการหล่อโลหะและการวัดอุณหภูมิต่างๆที่อุณหภูมิเทน้ำโลหะ 1,530°C

ซึ่งผลการวัดอุณหภูมิพบว่า เมื่ออุณหภูมิเริ่มเทโมลด์ที่ 1 เท่ากับ 1,530°C อุณหภูมิก่อนเทน้ำโลหะในโมลด์ที่ 5 จะลดลงประมาณ 9-12°C เหลืออุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 1,520°C และผลการวัดอุณหภูมิเทโมลด์ที่ 1 และ โมลด์ที่ 5 นั้น แสดงดังตารางที่ 4.5 และจากการสุ่มตรวจสอบเวลาในการเทน้ำโลหะลงแบบหล่อ ผู้ปฏิบัติงานใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 5 วินาทีต่อแบบ (โมลด์)

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิเทน้ำโลหะของโมลด์ที่ 1 และ โมลด์ที่ 5 ที่อุณหภูมิเริ่มเท 1,530°C

Mold	Pouring Temperature (°C)			Average
	No. 1	No. 2	No. 3	
Mold 1	1,530	1,531	1,530	1,530
Mold 5	1,521	1,522	1,518	1,520

ผลการติดตามปริมาณชิ้นงานเสียจากกระบวนการหล่อโลหะหลังจากเพิ่มอุณหภูมิการเทน้ำโลหะเป็น 1,530°C พบว่า ปริมาณชิ้นงานเสียที่โมลด์ที่ 1 มีปริมาณต่ำกว่าโมลด์ที่ 5 เช่นเดียวกัน โดยมีปริมาณชิ้นงานเสียในโมลด์ที่ 1 และ โมลด์ที่ 5 อยู่ 5.6% และ 11.1% ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณชิ้นงานเสียจากกระบวนการหล่อโลหะที่อุณหภูมิเท 1,530°C ทั้งหมดเท่ากับ 8.3% โดยข้อมูลชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้นในโมลด์ที่ 1 และ โมลด์ที่ 5 แสดงดังตารางที่ 4.6 และเมื่อนำชิ้นงานหล่อส่งไปกลึงที่แผนกกลึงพบว่าไม่มีงานเสียที่เกิดจากกระบวนการหล่อโลหะเกิดขึ้นเลย ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7

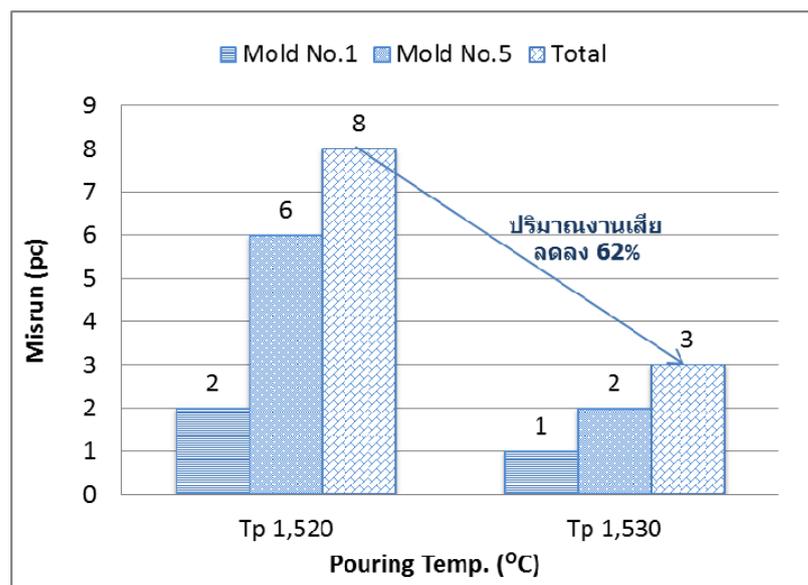
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลชิ้นงานเสียจากกระบวนการหล่อโลหะที่อุณหภูมิเทน้ำโลหะเริ่มต้น 1,530°C ของ
โมลด์ที่ 1 และ โมลด์ที่ 5 อย่างละ 3 เบ้า

Mold	Part No.	Vane 1	Vane 2	Vane 3	Vane 4	Vane 5	Vane 6	Summary (pcs)
Mold 1.1	1							1
	2			1				0
	3							0
	4							0
	5							0
	6							0
Mold 1.2	1							0
	2							0
	3							0
	4							0
	5							0
	6							0
Mold 1.3	1							0
	2							0
	3							0
	4							0
	5							0
	6							0
Total Defect Mold 1								1
								(pcs)
								(% of total production)
								2.8%
Mold 5.1	1							0
	2							0
	3							0
	4				1			1
	5							0
	6							0
Mold 5.2	1							0
	2							0
	3							0
	4						1	1
	5							0
	6							0
Mold 5.3	1							0
	2							0
	3							0
	4							0
	5							0
	6							0
Total Defect Mold 5								2
								(pcs)
								(% of total production)
								5.6%
Grand Total Defect (Mold 1 + 5)								3
								(pcs)
								(% of total production)
								8.3%

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลของชิ้นงานเสียที่อุณหภูมิเริ่มเท 1,530°C หลังผ่านกระบวนการกลึง

Result	Problem	Piece			%
		Foundry	CNC	Summary	
OK	Good Product	33	32	32	
Casting NG	Vane misrun	3	0	3	8.3%
	Sand Crack	0	0	0	0.0%
	Porosity	0	0	0	0.0%
	Slag	0	0	0	0.0%
	Other	0	0	0	0.0%
	Total	3	0	3	8.3%
CNC NG	Setup scrap	0	0	0	0.0%
	Oversize/Undersize	0	0	0	0.0%
	Damage	0	1	1	2.8%
	Total	0	1	1	2.8%
Total NG		3	1	4	11.1%
Total Production		36	33	36	100%

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ที่อุณหภูมิเทน้ำโลหะ 1,530°C สามารถลดชิ้นงานเสียประเภทวงไม่เต็มแบบลงได้ 62% จาก 8 ชิ้นเหลือเพียง 3 ชิ้น เมื่อเทียบกับอุณหภูมิเทน้ำโลหะที่ 1,520°C แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทน้ำโลหะ 1,520°C และ 1,530°C กับปริมาณชิ้นงานเสียจากกระบวนการหล่อที่เกิดขึ้น

4.5 ผลการตรวจสอบค่าความแข็งและโครงสร้างจุลภาค

ผู้วิจัยได้ทดลองแก้ปัญหางานเสียประเภทวิ่งไม่เต็มแบบในกระบวนการหล่อโลหะ ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิเทน้ำโลหะจาก $1,520^{\circ}\text{C}$ ไปเป็น $1,530^{\circ}\text{C}$ ซึ่งพบว่าสามารถลดปัญหาชิ้นงานเสียได้และไม่ส่งผลเสียต่อกระบวนการผลิตในขั้นตอนถัดไป นอกจากนี้แล้วผู้วิจัยได้มีการตรวจสอบสมบัติอื่น ๆ ของชิ้นงานด้วยเพื่อให้มั่นใจว่าได้ค่าตรงตามมาตรฐานที่กำหนดดังนี้

4.5.1 ตรวจสอบค่าความแข็ง (Hardness Test)

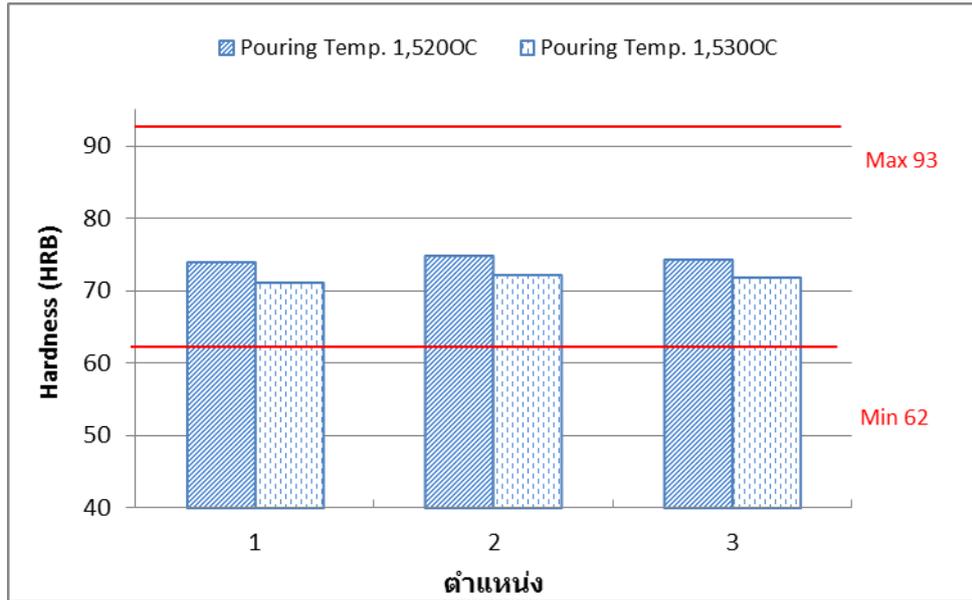
เมื่อนำชิ้นงานที่ได้จากการหล่อด้วยอุณหภูมิเทน้ำโลหะที่แตกต่างกัน ($1,520^{\circ}\text{C}$ และ $1,530^{\circ}\text{C}$) มาตรวจสอบค่าความแข็ง 3 จุดดังรูปที่ 4.12 ด้วยเครื่องวัดความแข็ง (Hardness Test) ยี่ห้อ Mitutoyo HR-300 ด้วยแรง 100 kgf ผลการวัดความแข็งแสดงดังตารางที่ 4.8 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.8 มาวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้พบว่า ชิ้นงานทั้งสองอุณหภูมิเทน้ำโลหะมีค่าความแข็งตามมาตรฐานที่กำหนด ดังแสดงรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 บริเวณแกนชิ้นงานที่ใช้วัดความแข็ง

ตารางที่ 4.8 ค่าความแข็งที่วัดได้ของผลิตภัณฑ์ที่เทหล่อด้วยอุณหภูมิ $1,520^{\circ}\text{C}$ และ $1,530^{\circ}\text{C}$

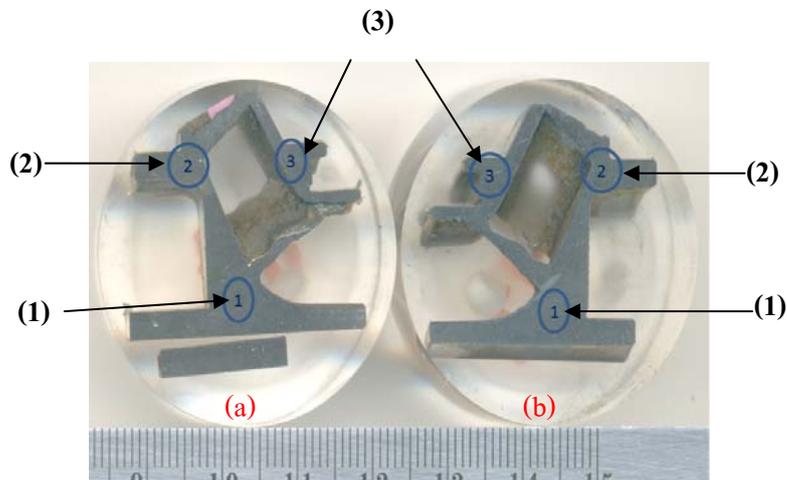
No.	Hardness (HRB)	
	Pouring Temp. $1,520^{\circ}\text{C}$	Pouring Temp. $1,530^{\circ}\text{C}$
Spec	62 - 93	62 - 93
1	73.9	71.2
2	74.8	72.2
3	74.3	71.9
Average	74.3	71.8



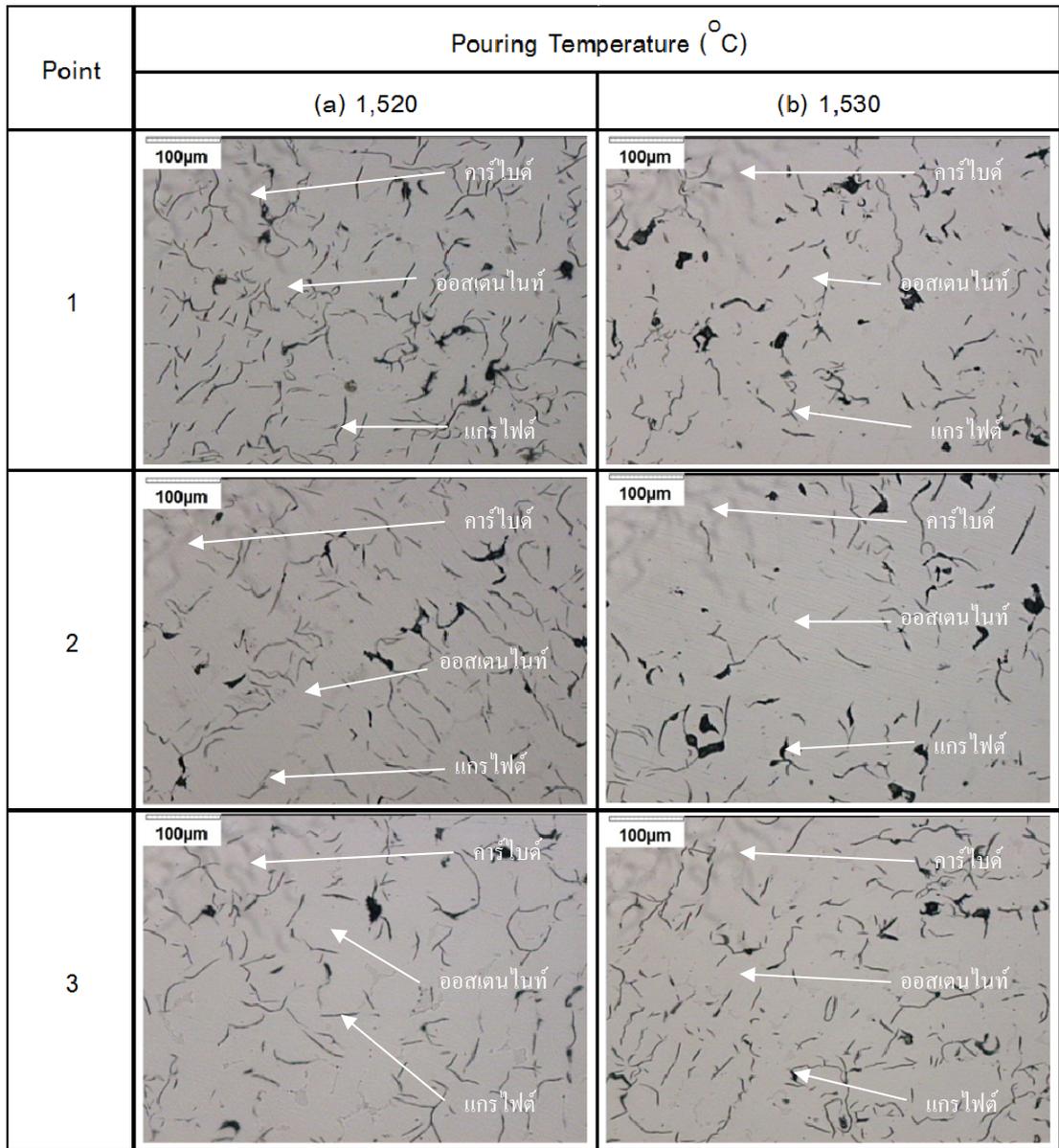
รูปที่ 4.13 ค่าความแข็งที่อุณหภูมิเทน้ำโลหะ 1,520 °C และ 1,530 °C

4.5.2 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

พิจารณาที่โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีอุณหภูมิเทน้ำโลหะที่ 1,520 °C และ 1,530 °C โดยจะทำการตรวจสอบ 3 ตำแหน่งบนชิ้นงาน ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) รุ่น Olympus GX51 ซึ่งตำแหน่งบนชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่าโครงสร้างจุลภาคของทั้งสองตัวอย่างมีลักษณะใกล้เคียงกัน เป็นโครงสร้างที่มีแกรไฟต์แผ่น (Flake graphite) บนพื้นของออสเตนไนต์ (Austenite) โดยพบปริมาณคาร์ไบด์ปนอยู่ด้วยเช่นกัน บริเวณที่บางกว่าจะมีปริมาณคาร์ไบด์มากกว่าชิ้นงานหนาเนื่องมาจากอัตราการเย็นตัวสูง ซึ่งตรงกับลักษณะโครงสร้างของเหล็กหล่อ Ni-resist type 1 ตามทฤษฎี ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของเหล็กแสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 ตำแหน่ง 3 จุดบนชิ้นงานที่ใช้ตรวจสอบโครงสร้าง



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบโครงสร้างทางจุลภาคก่อนกัดกรดของเหล็กหล่อที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ด้วยกล้อง Optical Microscope กำลังขยาย 100 เท่า (a) 1,520°C (b) 1,530°C

4.6 ผลการยืนยันผลการทดลองและหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม

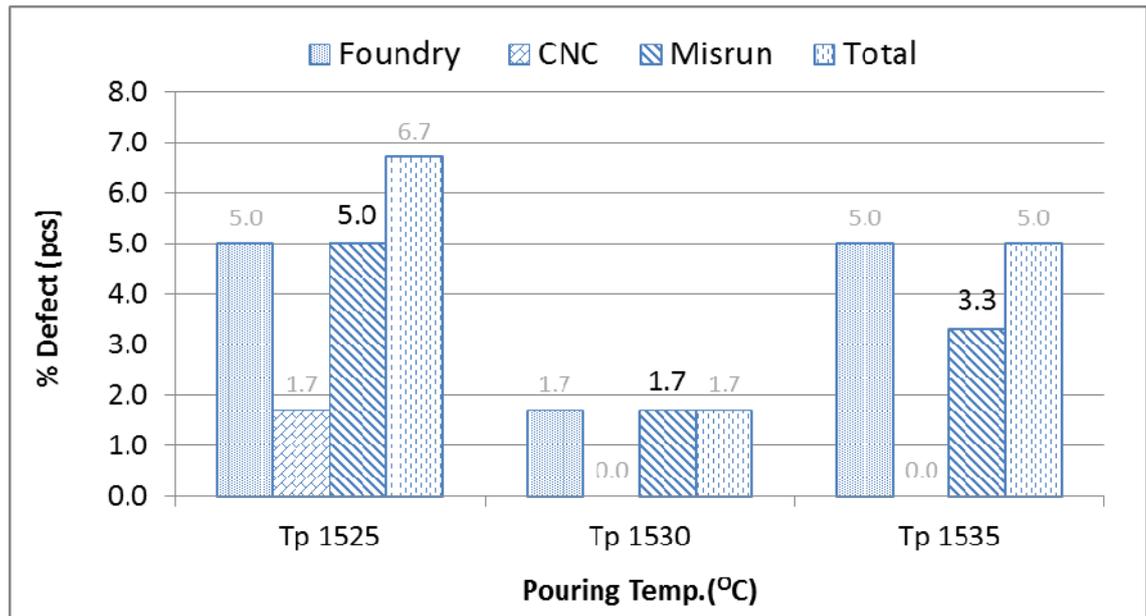
จากการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าอุณหภูมิการเทน้ำโลหะที่ 1,530°C สามารถลดปัญหาทางานเสียประเภท วังไม่เต็มแบบได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการทำงานถัดมาและไม่ส่งผลต่อสมบัติต่างๆของเหล็ก ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองและหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับฝ่ายผลิต ผู้วิจัยจึงทำการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการเทน้ำโลหะเป็น 1,525°C 1,530°C และ 1,535°C อย่างละ

2 เบ้า (Ladle) หรือ 10 โมลต์ จากนั้นบันทึกผลชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการหล่อโลหะและกระบวนการกลึง แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหล่อและชิ้นงานหลังกระบวนการกลึง โดยการทดลองปรับอุณหภูมิการเทน้ำโลหะเป็น 1,525°C, 1,530°C และ 1,535°C

Result	Pouring Temp. (°C) Problem	1,525°C		1,530°C		1,535°C	
		Piece	%	Piece	%	Piece	%
OK	Good Product	56	93.3%	59	98.3%	57	95.0%
Foundry NG	Vane misrun	3	5.0%	1	1.7%	2	3.3%
	Sand Crack	0	0.0%	0	0.0%	1	1.7%
	Porosity	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	Slag	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	Other	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	Total	3	5.0%	1	1.7%	3	5.0%
CNC NG	Setup scrap	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	Oversize/Undersize	1	1.7%	0	0.0%	0	0.0%
	Damage	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	Total	1	1.7%	0	0.0%	0	0.0%
Total NG		4	6.7%	1	1.7%	3	5.0%
Total Production		60	100.0%	60	100.0%	60	100.0%

จากตารางที่ 4.9 พบว่า ที่อุณหภูมิการเทน้ำโลหะทั้ง 3 ค่า อุณหภูมิเท 1,530°C มีปริมาณชิ้นงานเสียประเภทวังไม่เต็มแบบ เกิดขึ้นน้อยที่สุด มีค่า 1.7% ในขณะที่อุณหภูมิเท 1,525°C และ 1,535°C มีปริมาณงานเสียคิดเป็น 5.0% และ 3.3% ตามลำดับ เมื่อนำผลที่ได้จากตารางมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทน้ำโลหะและปริมาณงานเสียในกระบวนการหล่อและกลึงจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทน้ำโลหะ 1,525°C 1,530°C และ 1,535°C กับปริมาณชิ้นงานเสียจากกระบวนการหล่อและกึ่งที่เกิดขึ้น

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิเทน้ำโลหะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 1,530°C โดยพบชิ้นงานเสียจากกระบวนการหล่อเพียง 1.7% ถือว่าบรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่กำหนดไว้ และเนื่องจากทั้งสามอุณหภูมิที่ทดลอง สามารถลดปริมาณชิ้นงานเสียประเภทวิ่งไม่เต็มแบบได้ และเพื่อความสะดวกสำหรับฝ่ายผลิตในกระบวนการผลิตจริง สามารถตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิเทน้ำโลหะเป็น $1,530 \pm 5^\circ\text{C}$

4.7 ผลการทดลองใช้ในกระบวนการผลิตจริง

จากผลการทดลองเพิ่มอุณหภูมิการเทน้ำโลหะใน lot เล็ก พบว่าสามารถช่วยลดปัญหางานเสียประเภทวิ่งไม่เต็มแบบในกระบวนการหล่อชิ้นส่วนปั๊มได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณงานเสียอื่นๆ รวมทั้งค่าความแข็งและโครงสร้างยังคงได้ค่าตามมาตรฐานที่กำหนด

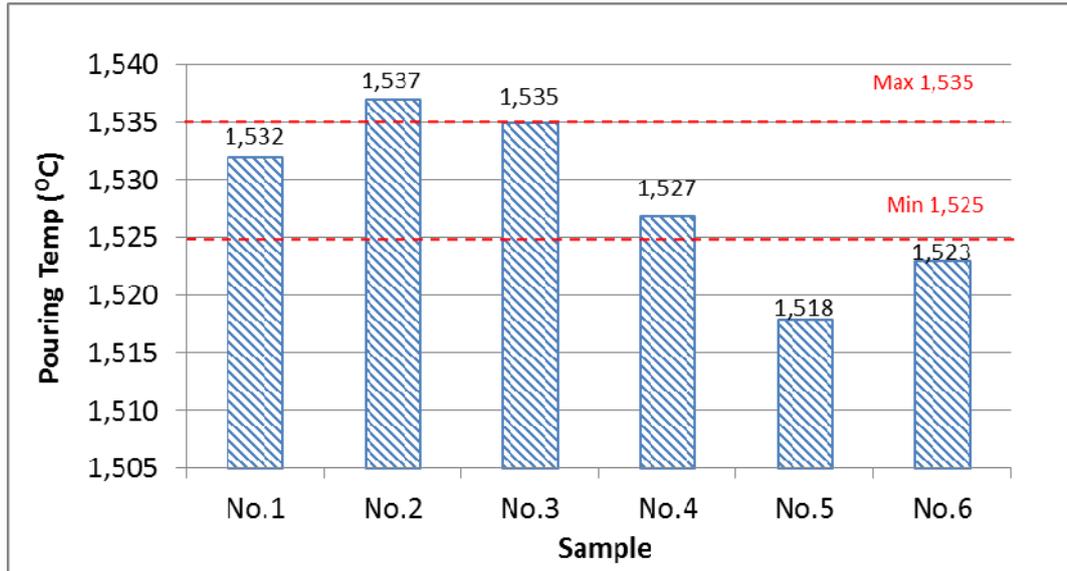
ผู้วิจัยจึงได้ขยายผลไปสู่กระบวนการผลิตจริงโดยเพิ่มอุณหภูมิการเทน้ำโลหะไปเป็น $1,530 \pm 5^\circ\text{C}$ และติดตามผลพบว่า ชิ้นงานเสียจากกระบวนการหล่อโลหะมีค่า 8.8% ซึ่งเป็นปัญหาประเภทวิ่งไม่เต็มแบบจำนวน 6.9% ของจำนวนการผลิตทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.10 ซึ่งปริมาณงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตต่อเนื่องไม่ลดลงตามผลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 4.10 ตารางบันทึกผลหลังการเพิ่มอุณหภูมิเทน้ำโลหะเป็น $1,530\pm 5^{\circ}\text{C}$ ในกระบวนการผลิต

<i>Result</i>	<i>Problem</i>	<i>Piece</i>	<i>%</i>
OK	Good Product	2719	91.0%
Foundry NG	Vane misrun	207	6.9%
	Sand Crack	31	1.0%
	Porosity	6	0.2%
	Dent	4	0.1%
	Other	14	0.5%
	Total	262	8.8%
	CNC NG	Setup scrap	0
Oversize/Undersize		2	0.1%
Damage		2	0.1%
Other		3	0.1%
Total		7	0.2%
Total NG		269	9.0%
Total Production		2988	100.0%

4.7.1 วิเคราะห์หาสาเหตุความแตกต่างระหว่างผลการทดลองและทำงานจริง

เนื่องจากผลการปฏิบัติงานจริงไม่สอดคล้องกับผลการทดลอง ผู้วิจัยจึงเข้าไปสังเกตการณ์ในสายการผลิตซึ่งพบว่า ผู้ปฏิบัติงานไม่ได้ให้ความสำคัญกับอุณหภูมิที่กำหนดไว้ให้อย่างจริงจัง ยังมีการเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดให้ เช่น เทน้ำโลหะที่อุณหภูมิ $1,518^{\circ}\text{C}$ หรือ $1,537^{\circ}\text{C}$ ในขณะที่อุณหภูมิเทใหม่ที่กำหนดให้คือ $1,530\pm 5^{\circ}\text{C}$ กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ใช้ในการเทน้ำโลหะแสดงดังรูปที่ 4.17



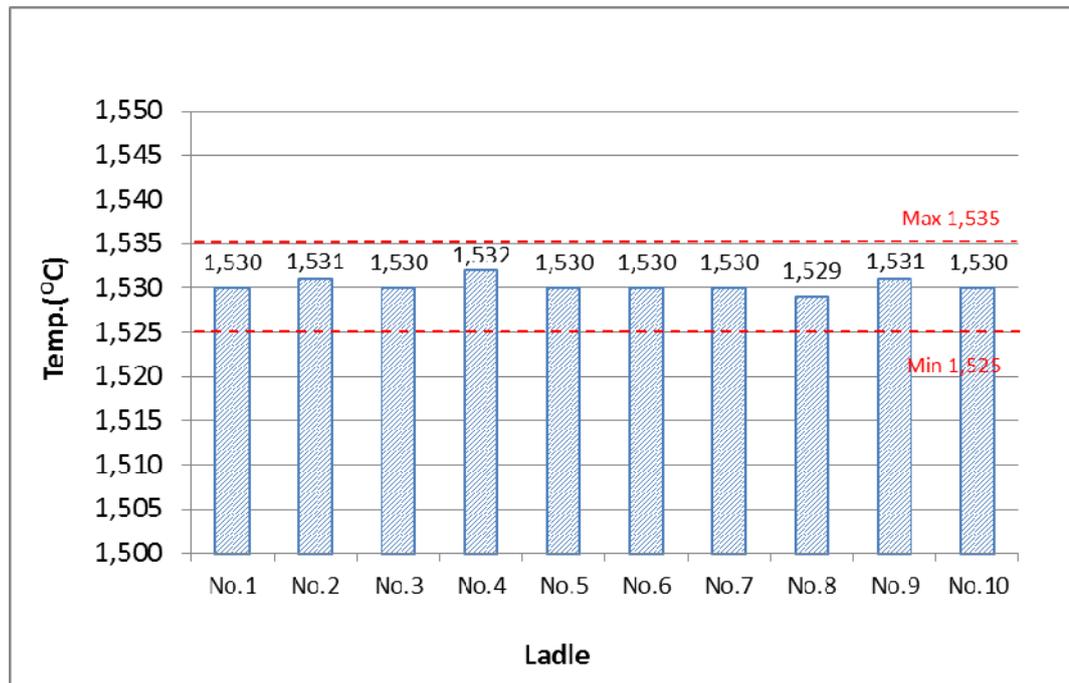
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทน้ำโลหะที่ผู้ปฏิบัติงานใช้จริงเทียบกับมาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดไว้

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ผู้ปฏิบัติงานยังไม่ให้ความสำคัญกับอุณหภูมิเทน้ำโลหะ อาจจะเนื่องมาจากยังไม่ตระหนักถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นอย่างจริงจัง โดยเฉพาะเวลาใกล้พักผู้ปฏิบัติงานจะปฏิบัติงานด้วยความเร่งรีบโดยไม่คำนึงถึง มาตรฐานที่กำหนดไว้และชิ้นงานเสียที่จะเกิดขึ้น

4.7.2 ทดลองใช้ในกระบวนการผลิตอีกครั้ง

เนื่องจากผลการผลิตในกระบวนการผลิตต่อเนื่องไม่เป็นไปตามผลการทดลองและยังพบว่า ผู้ปฏิบัติงานมีส่วนความสำคัญอย่างมากในการเกิดปริมาณชิ้นงานเสีย ผู้วิจัยจึงได้ปรึกษากับทางวิศวกรที่รับผิดชอบ ซึ่งมีความเห็นตรงกันว่า ต้องทำการอบรมให้ความรู้แก่ผู้ปฏิบัติงานให้เข้าใจถึงความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติตามมาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดไว้ หลังจากนั้นจะทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง โดยในช่วง 10 เบ้าแรก ผู้วิจัยจะร่วมสังเกตการณ์ด้วย

จากผลการเก็บข้อมูลพบว่า ช่วงที่ผู้วิจัยเข้าไปร่วมสังเกตการณ์ในกระบวนการผลิต ผู้ปฏิบัติงานควบคุมอุณหภูมิการเทน้ำโลหะได้ตามมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 4.18



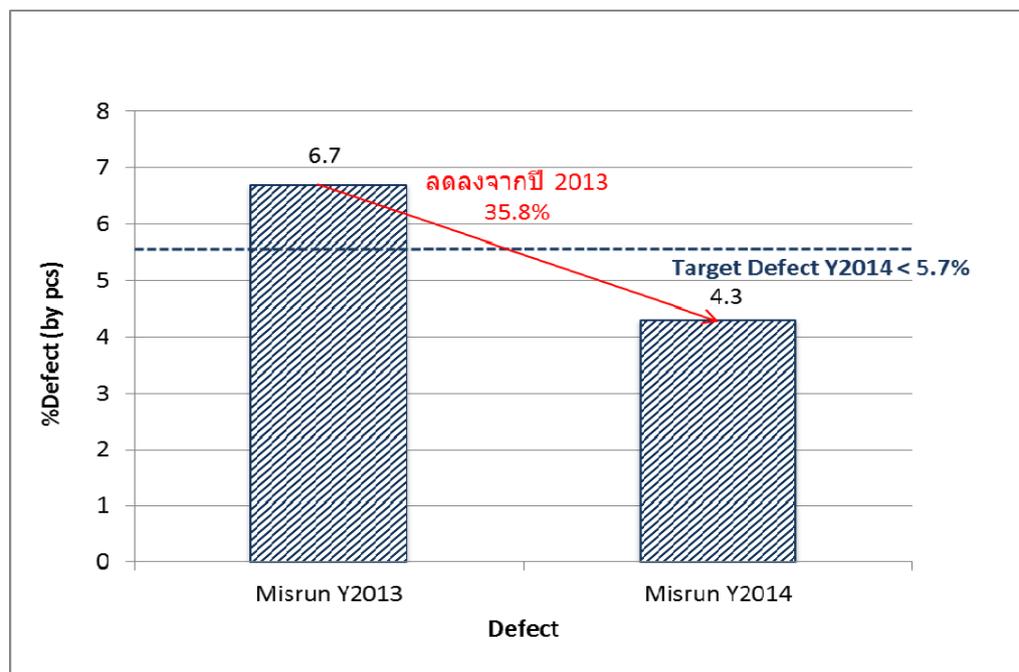
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเทน้ำโลหะกับค่ามาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนด

เมื่อพิจารณาที่ปริมาณชิ้นงานเสียจากกระบวนการหล่อโลหะ พบว่าเมื่อผู้วิจัยสังเกตการณ์ในกระบวนการผลิตด้วยนั้น มีปริมาณชิ้นงานเสียเพียง 2.7% ในขณะที่ไม่ได้สังเกตการณ์มีงานเสียถึง 4.5% ซึ่งค่าเฉลี่ยชิ้นงานเสียเท่ากับ 4.3% ของชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมด (2,656 ชิ้น) โดยปริมาณชิ้นงานเสียแสดงดังตารางที่ 4.11 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ จะเห็นว่าปริมาณชิ้นงานเสียประเภทวังไม่เต็มแบบที่พบ ลดลงจากค่าเฉลี่ยปี 2013 ซึ่งมีค่า 6.7% เหลือเพียง 4.3% คิดเป็นลดลง 35.8% ดังแสดงในรูปที่ 4.19

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิเทน้ำโลหะจาก 1,520°C ไปเป็น 1,530°C สามารถช่วยลดปริมาณการเกิดชิ้นงานเสียประเภทวังไม่เต็มแบบได้ เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

ตารางที่ 4.11 ตารางบันทึกผลเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเทน้ำโลหะเป็น $1,530\pm 5^{\circ}\text{C}$ ในกระบวนการผลิตจริงภายหลังจากอบรมให้ความรู้แก่พนักงาน

Result	Problem	Observe		Normal P/D		Summary	
		Piece	%	Piece	%	Piece	%
OK	Good Product	285	95.0%	2214	94.0%	2499	94.1%
Foundry NG	Vane misrun	8	2.7%	106	4.5%	114	4.3%
	Sand Crack	3	1.0%	19	0.8%	22	0.8%
	Porosity	1	0.3%	5	0.2%	6	0.2%
	Dent	0	0.0%	2	0.1%	2	0.1%
	Other	0	0.0%	2	0.1%	2	0.1%
	Total		12	4.0%	134	5.7%	146
CNC NG	Setup scrap	1	0.3%	0	0.0%	1	0.0%
	Oversize/Undersize	1	0.3%	1	0.0%	2	0.1%
	Damage	0	0.0%	3	0.1%	3	0.1%
	Other	1	0.3%	4	0.2%	5	0.2%
	Total		3	1.0%	8	0.3%	11
Total NG		15	5.0%	142	6.0%	157	5.9%
Total Production		300	100.0%	2356	100.0%	2656	100.0%



รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณชิ้นงานเสียที่ได้หลังจากเพิ่มอุณหภูมิการเทน้ำโลหะกับค่าอ้างอิงปี 2013