

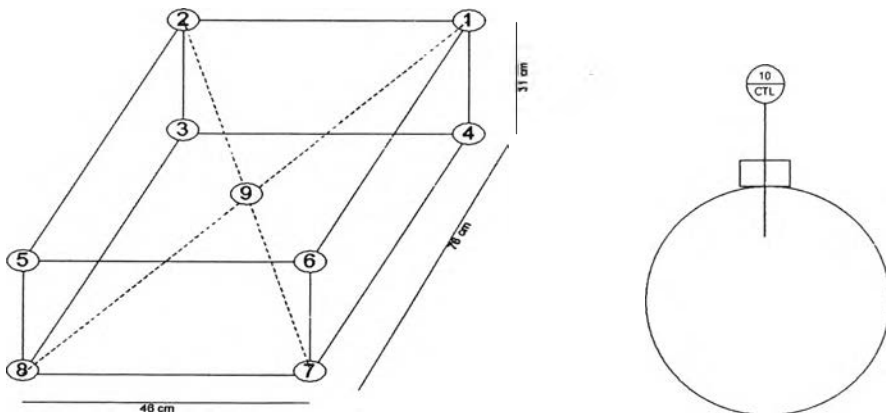
บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทที่ 5 เป็นการรวบรวมผลการทดลองการหาค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาอบชุบความร้อน และผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบิดเบี้ยวของชิ้นงานซึ่งได้แก่ปัจจัยด้านการจัดวางชิ้นงาน การกวนของเหลวที่ใช้ในการชุบ ระยะเวลาการจุ่มชิ้นงาน นอกจากนี้ยังแสดงผลการทดลองหาค่าความแข็งของชิ้นงานที่สภาวะต่างๆ และในส่วนท้ายแสดงผลการทดลองโดยการเพิ่มการอบอ่อนก่อนการทำการอบชุบ

5.1 ผลการวัดค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตา

การตรวจสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเตาอบชุบความร้อนซึ่งได้ทำการตรวจสอบทั้งหมด 10 จุดดังรูปที่ 5.1 โดยตำแหน่งที่ 1 ถึง 9 ดังแสดงในรูปส่วนตำแหน่งที่ 10 จะอยู่ตำแหน่งเดียวกับตัวควบคุม



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะการจัดวางเทอร์โมคัปเปิล

จากผลการวัดค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผาพบว่าที่ตำแหน่งอัตราการเพิ่มอุณหภูมิช้าที่สุดตรงบริเวณกลางเตา คือตำแหน่งของชั้นที่ 3 และ ชั้นที่ 4 ดังรายละเอียดแสดงการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ ของเตาตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการวัดค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาในช่วงให้ความร้อนก่อน (680 °C) กรณีการจัดวางชิ้นงาน 6 ชั้น

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	34.7	34.8	34.6	34.6	34.9	34.8	34.7	34.9	36.4	35.3
3	39.7	38.3	36.1	36.7	38.4	39.6	37.5	37.5	37.3	41.0
5	77.9	64.9	48.6	54.3	65.3	76.2	56.9	55.7	45.2	85.0
7	142.9	112.2	74.9	87.8	114.3	139.4	90.4	87.8	62.8	168.1
9	212.4	169.7	112.7	129.4	174.0	208.4	131.3	128.4	88.5	260.0
11	279.0	233.6	159.5	175.7	239.3	275.3	177.4	174.7	119.6	337.7
13	339.5	299.4	212.2	225.1	304.8	336.1	227.6	225.1	154.1	394.5
15	391.8	360.9	266.6	274.9	364.7	388.7	278.7	276.3	191.0	434.5
17	436.2	414.3	318.9	322.6	416.2	433.4	327.9	325.2	229.6	464.9
19	472.8	457.8	366.2	366.4	458.2	470.3	372.8	369.6	268.5	490.1
21	502.8	492.4	407.4	405.3	492.0	500.6	412.4	408.7	306.1	512.1
23	527.6	520.2	442.6	439.2	519.3	525.7	446.7	442.8	341.4	531.7
25	548.8	543.3	472.8	468.7	542.2	547.0	476.2	472.4	373.8	549.9
27	567.7	563.2	499.0	494.6	562.0	565.9	501.9	498.3	403.3	567.1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29	585.5	581.6	522.5	518.1	580.5	583.8	525.0	521.7	430.2	584.1
31	602.4	599.0	543.8	539.7	597.9	600.7	546.2	543.1	454.9	600.3
33	618.0	615.0	563.6	559.7	614.1	616.4	565.8	562.9	477.6	615.5
35	633.1	630.3	582.6	578.9	629.4	631.5	584.8	582.1	498.8	630.0
37	647.4	644.9	600.9	597.4	644.1	645.8	603.1	600.5	518.7	643.9
39	661.2	658.9	618.4	615.0	658.2	659.7	620.5	618.0	537.6	657.3
41	670.2	668.6	634.3	631.0	667.9	668.9	636.3	633.9	554.3	665.9
43	676.9	675.8	648.1	644.9	675.1	675.7	650.0	647.7	568.6	672.0
45	681.4	680.6	659.9	656.8	680.0	680.3	661.6	659.5	581.0	675.9
47	683.5	683.1	667.8	664.7	682.5	682.5	669.0	667.2	591.5	677.8
49	684.2	684.1	672.9	670.0	683.5	683.3	673.7	672.3	600.0	678.4
51	684.3	684.4	676.4	673.6	683.8	683.5	677.0	675.8	607.4	678.7
53	684.1	684.3	678.6	676.0	683.7	683.3	679.0	678.0	613.8	678.7
55	683.9	684.1	680.1	677.7	683.6	683.2	680.4	679.6	619.7	678.8
57	683.7	684.0	681.3	679.0	683.4	683.0	681.6	680.8	624.8	678.7

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
59	683.3	683.6	682.1	680.0	683.1	682.6	682.3	681.6	629.5	678.7
61	683.0	683.4	682.7	680.6	682.8	682.4	682.8	682.3	633.9	678.7
63	682.8	683.1	683.0	681.0	682.6	682.1	683.1	682.6	637.9	678.7
65	682.6	683.0	683.4	681.4	682.5	681.9	683.4	683.0	641.6	678.9
67	682.3	682.6	683.5	681.5	682.1	681.6	683.5	683.2	644.9	678.8
69	682.0	682.3	683.4	681.5	681.9	681.4	683.4	683.2	648.0	678.7
71	681.7	682.0	683.2	681.5	681.5	681.0	683.3	683.1	650.8	678.7
73	681.3	681.6	683.1	681.4	681.2	680.6	683.2	683.0	653.4	678.6
75	681.0	681.4	683.2	681.5	681.0	680.4	683.4	683.2	655.8	678.6
77	680.8	681.2	683.3	681.7	680.7	680.2	683.5	683.4	658.0	678.6
79	680.7	680.9	683.2	681.6	680.5	680.0	683.4	683.3	660.0	678.7
81	680.4	680.7	682.8	681.4	680.3	679.7	683.0	683.0	661.9	678.7
83	680.3	680.5	682.7	681.3	680.1	679.5	682.9	682.9	663.6	678.8
85	680.2	680.4	682.5	681.2	680.0	679.4	682.8	682.8	665.1	678.8
87	680.1	680.2	682.4	681.0	679.8	679.2	682.6	682.7	666.5	678.7

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
89	679.8	680.1	682.3	681.0	679.6	679.0	682.5	682.6	667.8	678.7
91	679.8	680.0	682.2	681.0	679.5	679.0	682.5	682.6	668.9	678.7
93	679.7	679.9	682.0	680.8	679.4	678.8	682.3	682.4	670.0	678.7
95	679.7	679.8	681.9	680.7	679.3	678.8	682.1	682.3	671.0	678.8
97	679.5	679.5	681.5	680.4	679.0	678.5	681.7	681.9	671.8	678.7
99	679.1	679.3	681.1	680.1	678.8	678.2	681.4	681.6	672.5	678.6
101	679.8	679.8	681.2	680.2	679.3	678.7	681.6	681.7	673.3	679.3

ตารางที่ 5.2 ผลการวัดค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาช่วงให้ความร้อนสูงสุด (840 °C) กรณีการจัดวางชิ้นงาน 6 ชั้น

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	714.4	711.9	700.6	699.8	711.5	713.3	702.9	701.5	686.3	715.4
3	747.9	745.1	726.5	725.2	744.7	746.7	728.8	727.0	705.6	748.4
5	773.0	771.0	750.4	748.6	770.4	771.9	752.3	750.5	724.8	772.3
7	793.5	791.9	771.3	769.2	791.3	792.4	773.0	771.2	742.6	791.7
9	810.4	809.2	789.6	787.5	808.5	809.4	791.2	789.4	758.8	807.6
11	825.1	824.1	805.6	803.3	823.6	824.3	807.3	805.6	773.3	821.8
13	837.5	836.7	820.1	817.7	836.4	836.8	821.9	820.2	786.5	834.1
15	842.1	841.6	830.6	828.8	841.5	841.4	832.6	831.2	795.9	838.3
17	843.0	842.9	836.3	834.7	842.8	842.4	837.7	836.8	802.1	839.2
19	843.0	842.9	839.2	837.7	842.8	842.3	840.2	839.7	806.5	839.3
21	842.5	842.5	840.4	839.1	842.4	841.7	841.1	840.8	809.9	839.2
23	842.1	842.1	841.0	839.7	841.9	841.3	841.6	841.4	812.7	839.0
25	841.7	841.7	841.3	840.0	841.7	841.0	841.9	841.7	815.3	838.9
27	841.5	841.4	841.5	840.2	841.3	840.7	841.9	841.9	817.7	838.9

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29	841.2	841.2	841.4	840.2	841.0	840.4	841.8	841.8	819.9	838.8
31	840.9	840.9	841.3	840.0	840.7	840.0	841.6	841.6	821.9	838.7
33	840.8	840.8	841.3	840.1	840.6	839.9	841.6	841.6	823.8	838.8
35	840.6	840.5	841.2	840.0	840.3	839.6	841.6	841.6	825.5	838.7
37	840.3	840.3	841.2	840.0	840.1	839.4	841.5	841.6	827.0	838.7
39	840.2	840.1	841.2	840.0	839.9	839.2	841.5	841.6	828.4	838.6
41	840.1	840.0	841.2	840.1	839.8	839.0	841.6	841.7	829.7	838.7
43	840.0	839.9	841.3	840.3	839.7	839.0	841.6	841.8	830.9	838.7
45	839.9	839.8	841.3	840.3	839.6	838.8	841.7	841.8	832.0	838.7
47	839.7	839.6	841.2	840.2	839.5	838.7	841.7	841.8	833.0	838.7
49	839.6	839.5	841.3	840.3	839.3	838.5	841.6	841.8	833.8	838.6
51	839.5	839.4	841.3	840.3	839.2	838.5	841.7	841.8	834.7	838.7
53	839.5	839.4	841.3	840.3	839.1	838.4	841.7	841.8	835.3	838.7
55	839.3	839.2	841.2	840.3	839.0	838.3	841.5	841.8	836.0	838.7
57	839.3	839.2	841.1	840.3	839.0	838.2	841.5	841.7	836.6	838.7

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
59	839.2	839.1	841.0	840.2	838.8	838.1	841.3	841.6	837.1	838.7
61	839.2	839.1	840.9	840.0	838.8	838.0	841.2	841.4	837.5	838.7
63	839.1	838.9	840.6	839.9	838.6	837.9	841.0	841.2	837.9	838.6
65	839.0	838.8	840.6	839.8	838.5	837.8	840.9	841.2	838.1	838.6
67	839.0	838.8	840.5	839.7	838.5	837.7	840.8	841.1	838.4	838.6
69	839.0	838.8	840.5	839.7	838.5	837.7	840.7	841.0	838.7	838.7
71	839.0	838.8	840.2	839.4	838.4	837.7	840.4	840.7	838.9	838.6

ตารางที่ 5.3 ผลการวัดค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาในช่วงให้ความร้อนก่อน (680 °C) กรณีการจัดวางชิ้นงาน 5 ชั้น

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	34.7	34.8	34.6	34.6	34.9	34.8	34.7	34.9	36.4	35.3
3	77.9	64.9	48.6	54.3	65.3	76.2	56.9	55.7	45.2	41.0
5	142.9	112.2	74.9	87.8	114.3	139.4	90.4	87.8	62.8	85.0
7	212.4	169.7	112.7	129.4	174.0	208.4	131.3	128.4	88.5	168.1
9	279.0	233.6	159.5	175.7	239.3	275.3	177.4	174.7	119.6	260.0
11	339.5	299.4	212.2	225.1	304.8	336.1	227.6	225.1	154.1	337.7
13	391.8	360.9	266.6	274.9	364.7	388.7	278.7	276.3	191.0	394.5
15	436.2	414.3	318.9	322.6	416.2	433.4	327.9	325.2	235.8	434.5
17	472.8	457.8	366.2	366.4	458.2	470.3	372.8	369.6	268.5	464.9
19	502.8	492.4	407.4	405.3	492	500.6	412.4	408.7	306.1	490.1
21	527.6	520.2	442.6	439.2	519.3	525.7	446.7	442.8	341.4	512.1
23	548.8	543.3	472.8	468.7	542.2	547.0	476.2	472.4	373.8	531.7
25	567.7	563.2	499.0	494.6	562.0	565.9	501.9	498.3	403.3	549.9
27	585.5	581.6	522.5	518.1	580.5	583.8	525.0	521.7	430.2	567.1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29	602.4	599.0	543.8	539.7	597.9	600.7	546.2	543.1	454.9	584.1
31	618.0	615.0	563.6	559.7	614.1	616.4	565.8	562.9	477.6	600.3
33	633.1	630.3	582.6	578.9	629.4	631.5	584.8	582.1	498.8	615.5
35	647.4	644.9	600.9	597.4	644.1	645.8	603.1	600.5	518.7	630.0
37	661.2	658.9	618.4	615.0	658.2	659.7	620.5	618.0	537.6	649.2
39	670.2	668.6	634.3	631.0	667.9	668.9	636.3	633.9	554.3	656.8
41	676.9	675.8	648.1	644.9	667.8	675.7	650.0	647.7	565.3	667.4
43	683.5	683.1	667.8	664.7	672.9	682.5	669.0	667.2	583.4	669.0
45	684.2	684.1	672.9	670.0	676.4	683.3	673.7	672.3	595.1	673.7
47	684.3	684.4	676.4	673.6	677.7	683.5	677.0	675.8	601.4	677.8
49	684.1	684.3	677.7	676.0	677.7	683.3	679.0	678.0	610.6	678.4
51	684.1	684.3	677.7	676.0	678.6	683.3	679.0	678.0	617.1	678.7
53	683.9	684.1	678.6	677.7	678.6	683.2	680.4	679.6	624.5	678.7
55	683.9	684.1	678.6	677.7	678.6	683.2	680.4	679.6	634.6	678.8
57	683.7	684.0	678.6	679.0	678.6	683.0	681.6	680.8	643.1	678.7

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
59	683.3	683.6	678.6	679.0	678.6	682.6	682.3	681.6	654.7	678.7
61	683.0	683.4	678.6	679.0	678.6	682.4	682.8	682.1	659.9	678.7
63	682.8	683.1	678.6	679.0	678.6	682.1	683.1	681.9	662.4	678.7
65	682.6	683.0	678.6	679.0	678.6	681.9	683.4	681.6	665.8	678.9
67	682.3	682.6	678.6	679.0	678.6	681.6	683.5	681.4	668.2	678.8
69	682.0	682.3	678.6	679.0	678.6	681.4	683.4	681.0	678.0	678.7
71	681.7	682.0	678.6	679.0	678.6	681.0	683.3	680.6	679.6	678.7
73	681.3	681.6	678.6	679.0	678.6	680.6	683.2	680.4	679.6	678.6
75	681.0	681.4	678.6	679.0	678.6	680.4	683.4	680.2	679.9	678.6
77	680.8	681.2	678.6	679.0	678.6	680.2	683.5	680.0	679.9	678.6
79	680.7	680.9	678.6	679.0	678.6	680.0	683.4	679.7	679.9	678.7
81	680.4	680.7	678.6	679.0	678.6	679.7	683.0	679.5	679.9	678.7
83	680.3	680.5	678.6	679.0	678.6	679.5	682.9	679.4	679.9	678.8
85	680.2	680.4	678.6	679.0	678.6	679.4	682.8	679.2	679.9	678.8
87	680.1	680.2	678.6	679.0	678.6	679.2	682.6	679.0	679.9	679.5

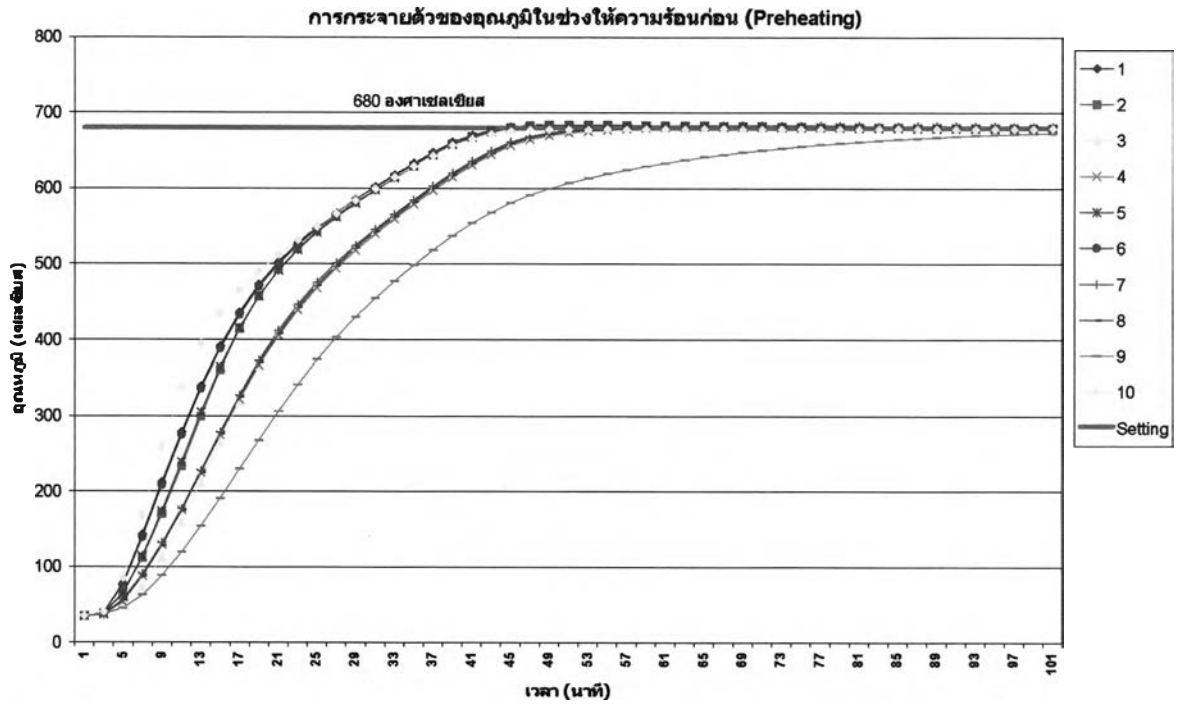
เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
89	679.8	680.1	678.6	679.0	678.6	679.0	682.5	679.0	679.9	679.7
91	679.8	680.0	678.6	679.0	678.6	679.0	682.5	678.8	679.9	679.8
93	679.7	679.9	678.6	679.0	678.6	678.8	682.3	678.8	679.9	679.7
95	679.7	679.8	678.6	679.0	678.6	678.8	682.1	678.5	679.9	679.8
97	679.5	679.5	678.6	679.0	678.6	678.5	681.7	678.2	679.9	679.6
99	679.1	679.3	678.6	679.0	678.6	678.2	681.4	678.7	679.9	679.8
101	679.8	679.8	678.6	679.0	678.6	678.7	681.6	681.7	679.9	679.3

ตารางที่ 5.4 ผลการวัดค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาช่วงให้ความร้อนสูงสุด (840 °C) กรณีการจัดวางชิ้นงาน 5 ชั้น

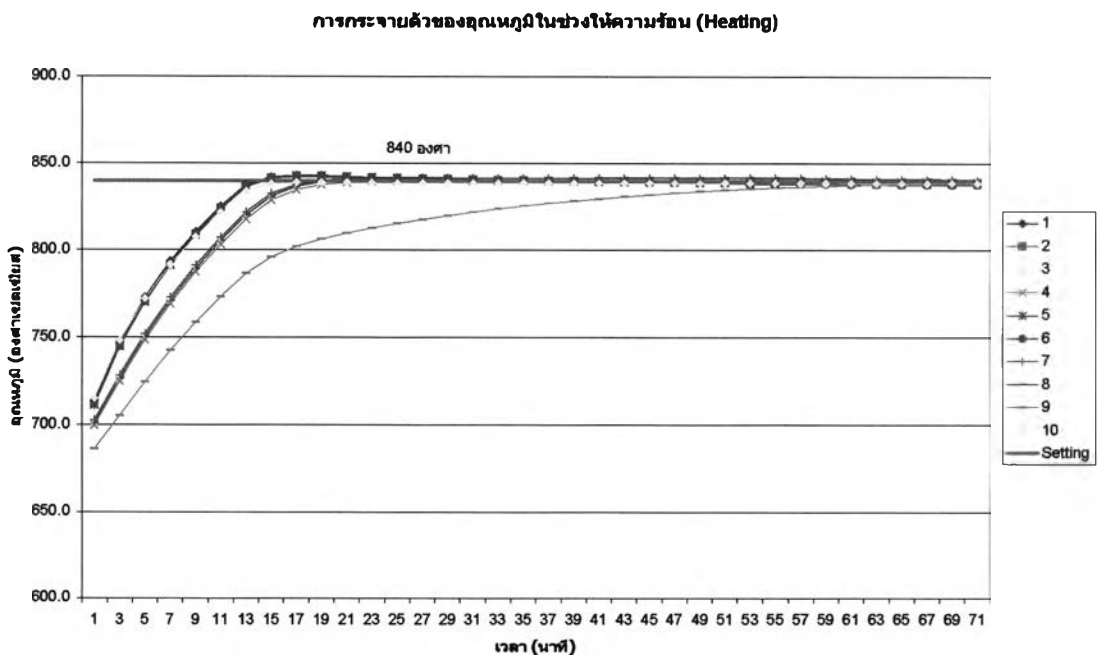
เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	714.4	711.9	700.6	699.8	711.5	713.3	702.9	701.5	686.3	715.4
3	747.9	745.1	726.5	725.2	744.7	746.7	728.8	727.0	705.6	748.4
5	773.0	771.0	750.4	748.6	770.4	771.9	752.3	750.5	724.8	772.3
7	793.5	791.9	771.3	769.2	791.3	792.4	773.0	771.2	742.6	791.7
9	810.4	809.2	789.6	787.5	808.5	809.4	791.2	789.4	758.8	807.6
11	825.1	824.1	805.6	803.3	823.6	824.3	807.3	805.6	773.3	821.8
13	837.5	836.7	820.1	817.7	836.4	836.8	821.9	820.2	786.5	834.1
15	842.1	841.6	830.6	828.8	841.5	841.4	832.6	831.2	795.9	838.3
17	843.0	842.9	836.3	834.7	842.8	842.4	837.7	836.8	802.1	839.2
19	843.0	842.9	839.2	837.7	842.8	842.3	840.2	839.7	806.5	839.3
21	842.5	842.5	840.4	839.1	842.4	841.7	841.1	840.8	809.9	839.2
23	842.1	842.1	841.0	839.7	841.9	841.3	841.6	841.4	812.7	839.0
25	841.7	841.7	841.3	840.0	841.7	841.0	841.9	841.7	815.3	838.9
27	841.5	841.4	841.5	840.2	841.3	840.7	841.9	841.9	817.7	838.9

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29	840.3	840.3	841.2	840.0	840.1	839.4	841.5	841.6	838.9	838.7
31	840.2	840.1	841.2	840.0	839.9	839.2	841.5	841.6	839.1	838.6
33	840.1	840.0	841.2	840.1	839.8	839.0	841.6	841.7	839.5	838.7
35	840.0	839.9	841.3	840.3	839.7	839.0	841.6	841.8	839.9	838.7
37	839.9	839.8	841.3	840.3	839.6	838.8	841.7	841.8	839.6	838.7
39	839.7	839.6	841.2	840.2	839.5	838.7	841.7	841.8	839.4	838.7
41	839.6	839.5	841.3	840.3	839.3	838.5	841.6	841.8	839.2	838.6
43	840.0	839.9	841.3	840.3	839.7	839.0	841.6	841.8	839.0	838.7
45	839.9	839.8	841.3	840.3	839.6	838.8	841.7	841.8	839.0	838.7
47	839.7	839.6	841.2	840.2	839.5	838.7	841.7	841.8	839.0	838.7
49	839.6	839.5	841.2	840.3	839.3	838.5	841.6	841.8	838.8	838.7
51	839.7	839.4	841.3	840.3	839.2	838.5	841.7	841.8	839.4	838.6
53	839.5	839.5	841.3	840.0	839.1	838.4	841.7	841.8	839.0	838.7
55	839.7	839.4	841.2	840.3	839.0	838.3	841.5	841.8	839.0	838.7
57	839.5	839.4	841.1	840.3	839.0	838.5	841.5	841.7	839.0	838.7

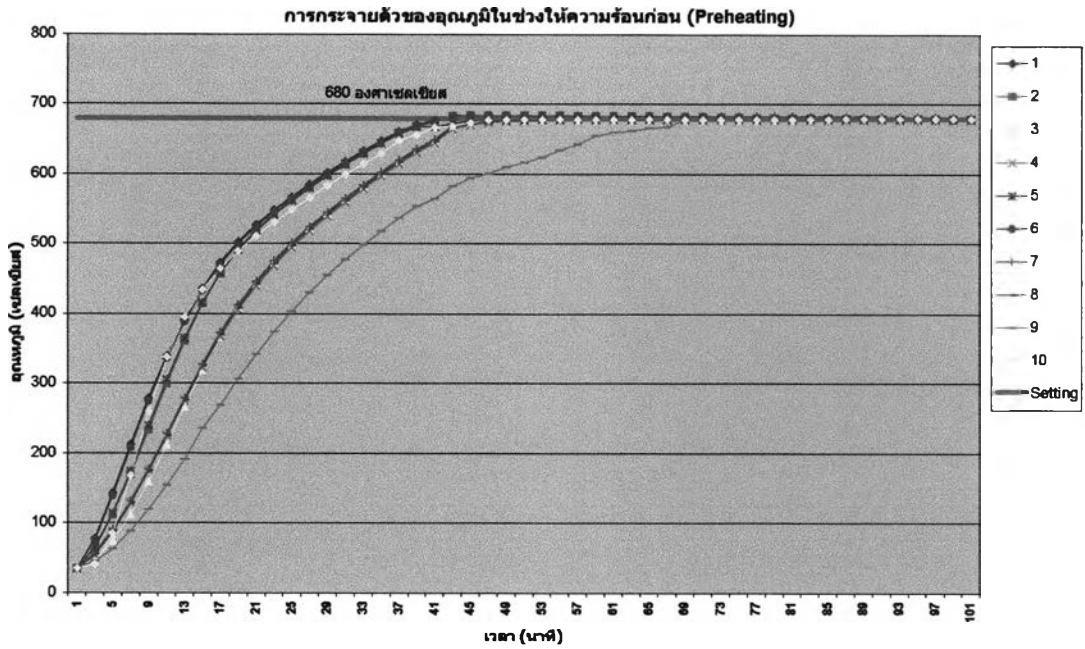
เวลา (นาที)	อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิล (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
59	839.3	839.6	841.0	840.2	838.8	839.0	841.3	841.6	838.8	838.7
61	839.3	839.1	840.9	840.0	838.8	838.8	841.2	841.4	839.4	838.7
63	839.1	838.9	841.3	839.9	838.6	838.7	841.0	841.2	839.2	838.6
65	840.1	838.8	841.2	839.8	838.5	838.5	840.9	841.2	839.0	838.7
67	840.1	838.8	841.1	839.7	838.5	837.7	840.8	841.1	838.4	838.7
69	839.6	838.8	841.0	839.7	838.5	837.7	840.7	841.0	838.7	838.7
71	839.0	839.8	840.6	839.4	838.4	837.7	840.9	840.7	839.2	838.6



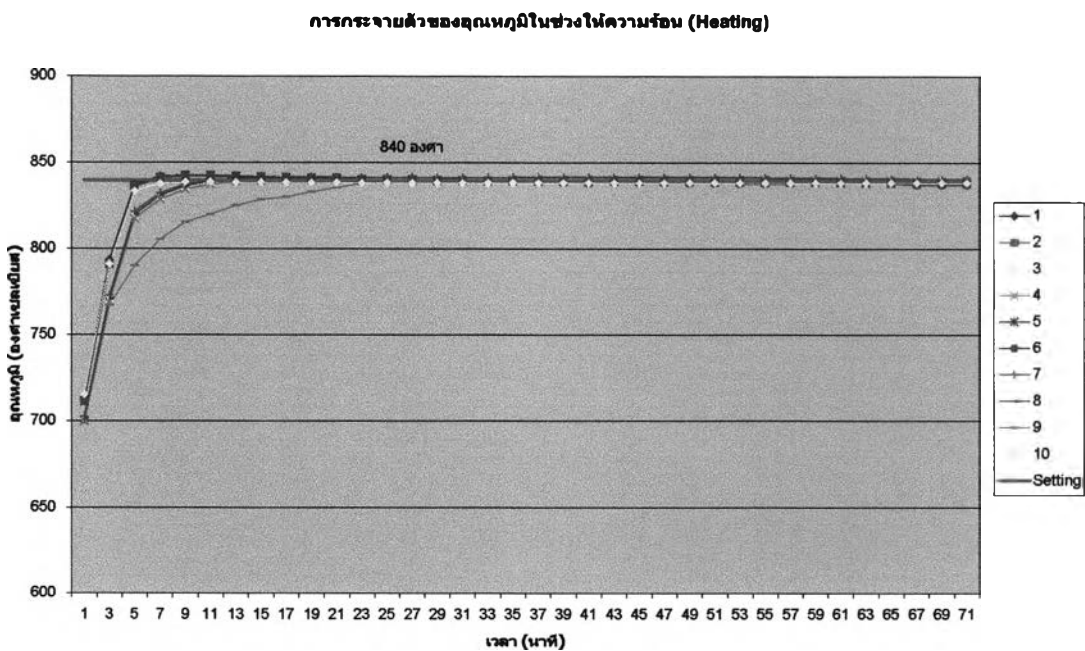
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 680 °C กรณีการจัดวางชิ้นงานปกติ 6 ชั้น



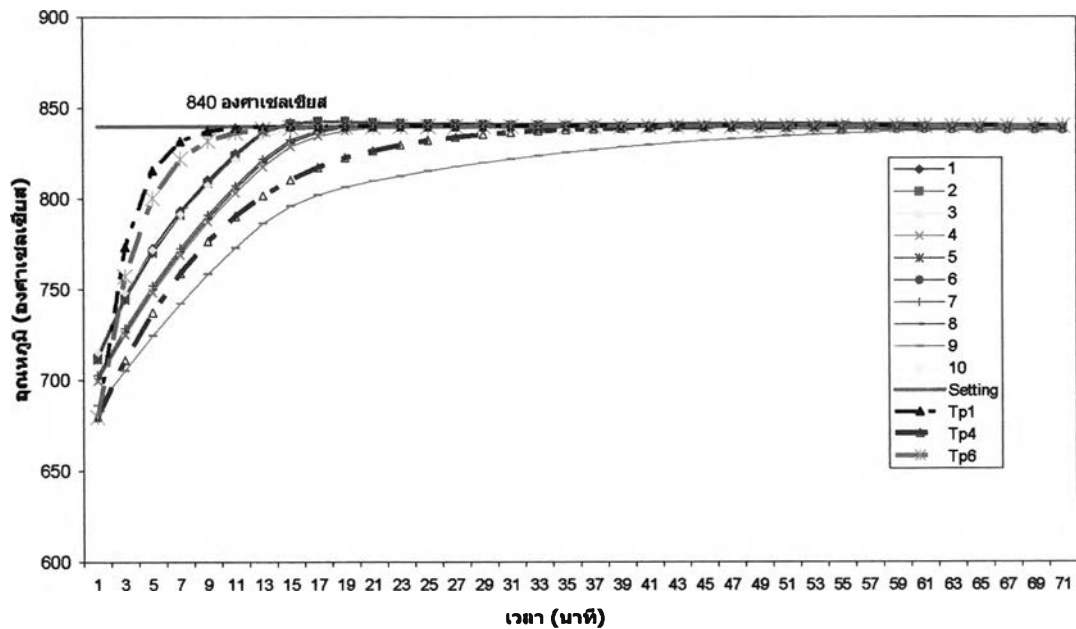
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 840 °C กรณีการจัดวางแบบปกติ 6 ชั้น



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 680 °C กรณีการจัดวางอย่างเป็นระเบียบ 5 ชั้น



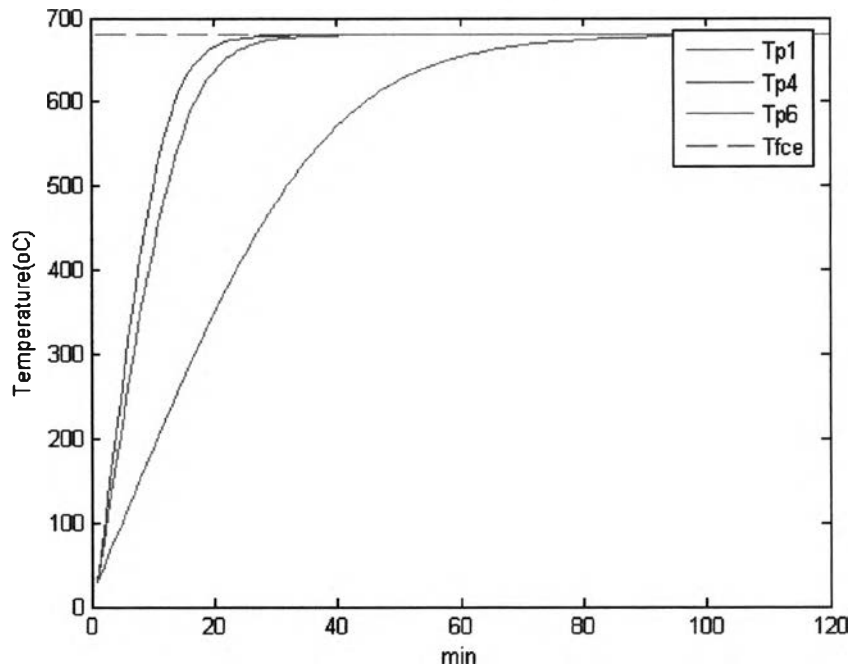
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 840 °C กรณีการจัดวางอย่างเป็นระเบียบ 5 ชั้น



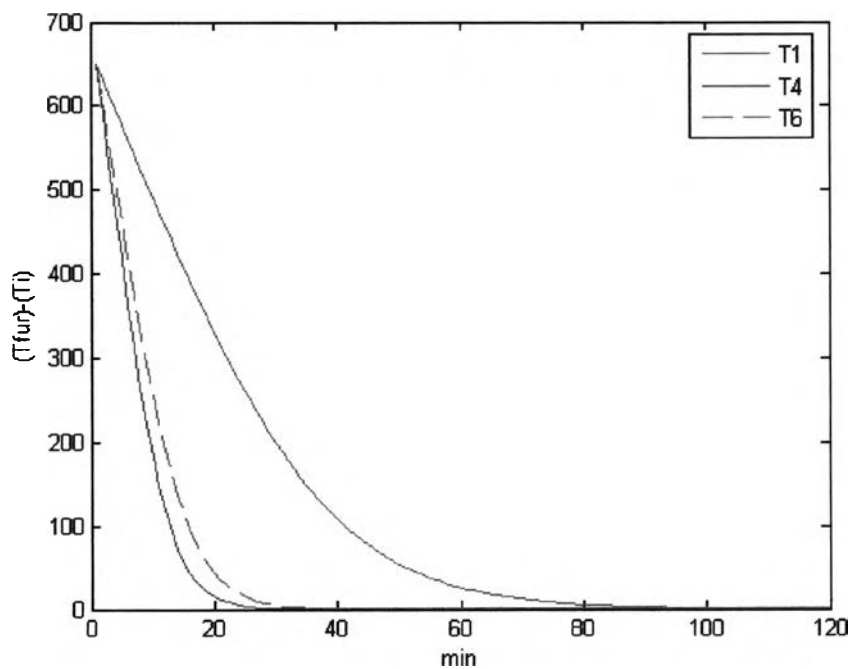
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในเตาขณะให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่ได้จากการวัดและคำนวณ

- ตำแหน่งที่ 1,2,5 และ 6 คือตำแหน่งที่อยู่ด้านบนคือชั้นที่ 1 โดยกรณีนี้นำมาเปรียบเทียบได้กับการคำนวณคือ Tp1
- ตำแหน่งที่ 9 คือตำแหน่งที่อยู่ตรงกลางเตา คือตำแหน่งของชั้นที่ 3 และ 4 โดยกรณีนี้นำมาเปรียบเทียบได้กับการคำนวณคือ Tp4
- ตำแหน่งที่ 3,4,7 และ 8 คือตำแหน่งที่อยู่ด้านล่างของเตาคือชั้นที่ 6 โดยกรณีนี้นำมาเปรียบเทียบได้กับการคำนวณคือ Tp6

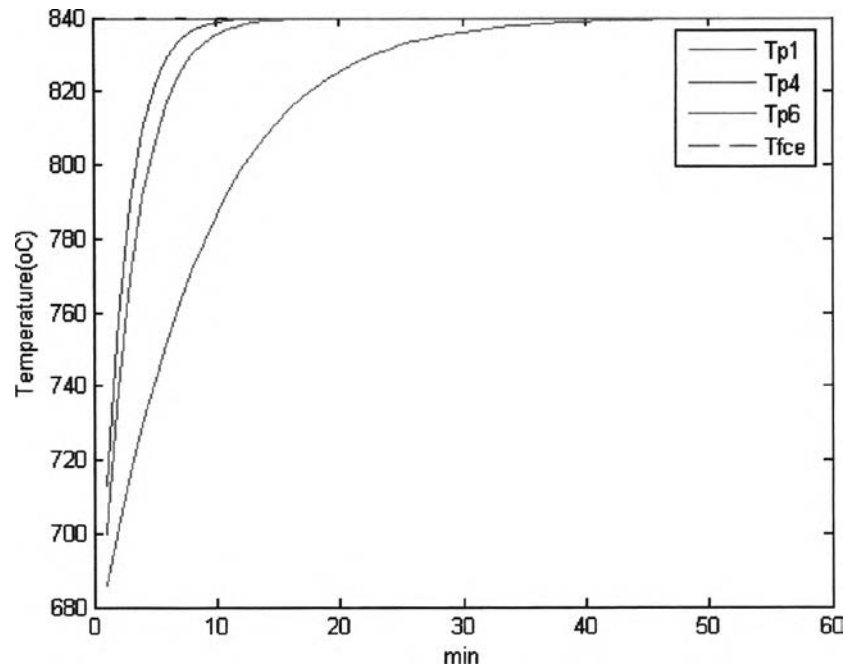
5.2 ผลการคำนวณอุณหภูมิของชิ้นงานในระหว่างขั้นตอนการอบชิ้นงาน



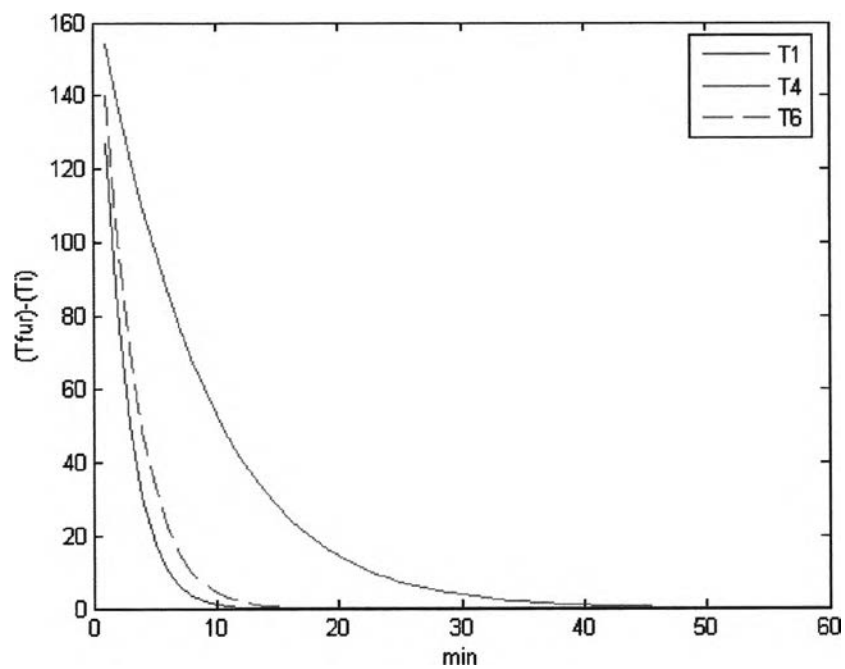
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 680 °C กรณีการจัดวางชิ้นงานปกติ 6 ชั้น



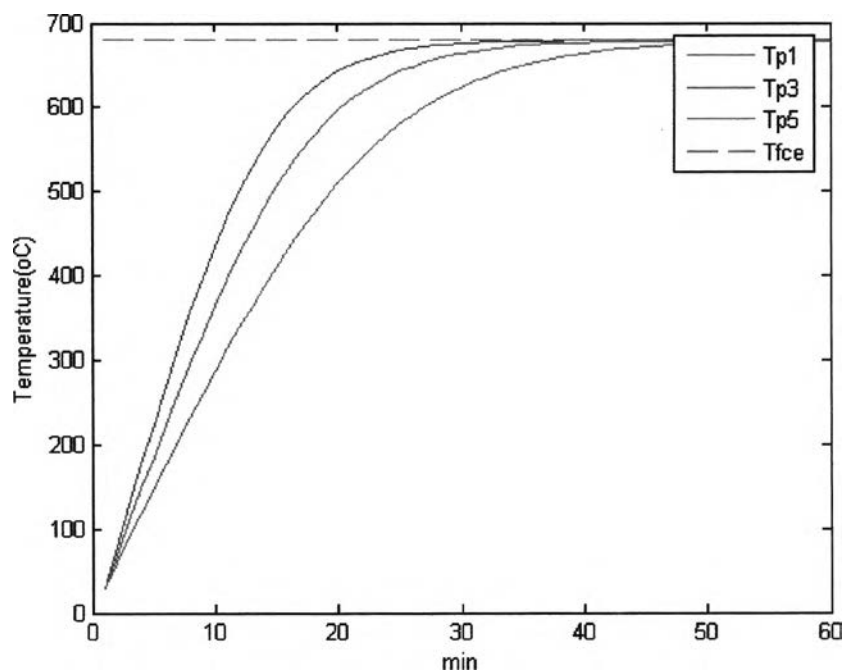
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างอุณหภูมิของเตากับอุณหภูมิของชิ้นงานกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 680 °C กรณีการจัดวางแบบปกติ 6 ชั้น



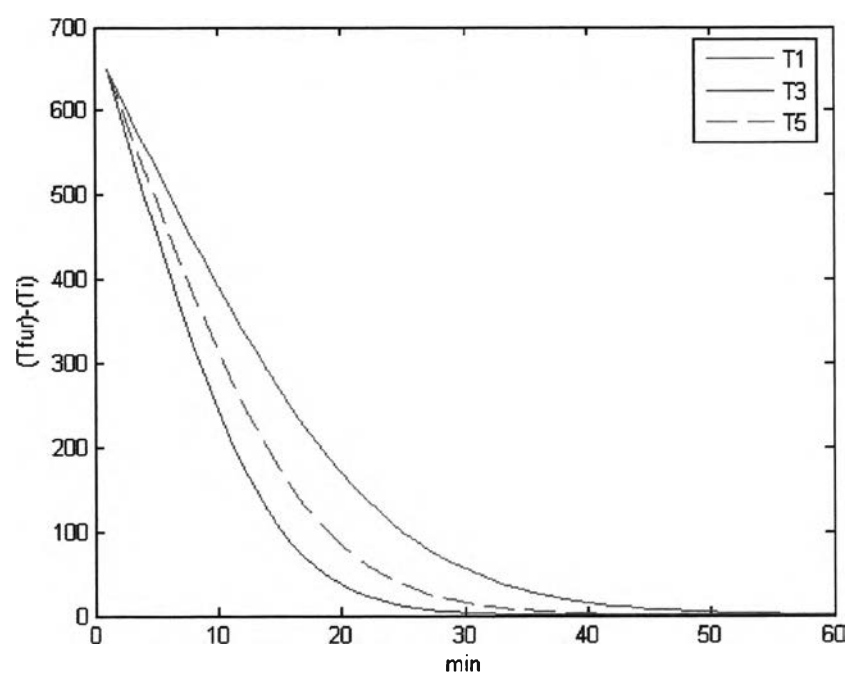
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 840 °C กรณีการจัดวางแบบปกติ 6 ชั้น



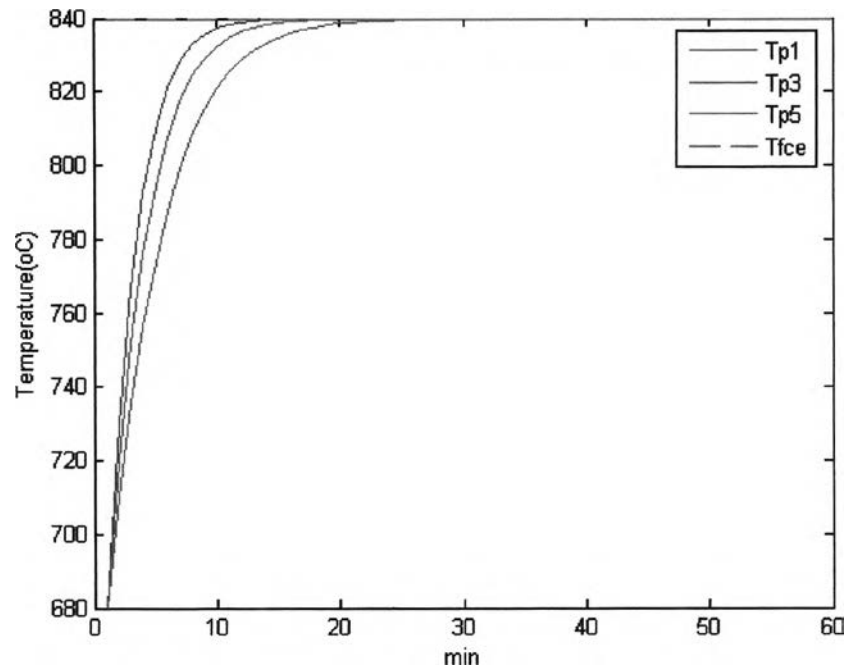
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างอุณหภูมิเตากับอุณหภูมิชิ้นงานกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 840 °C กรณีการจัดวางแบบปกติ 6 ชั้น



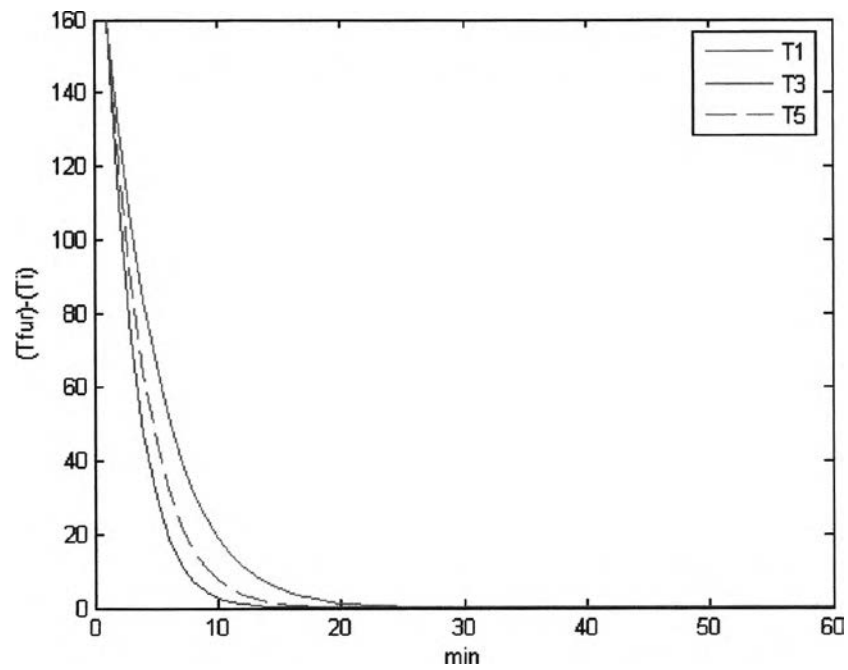
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 680 °C กรณีการจัดวางอย่างเป็นระเบียบ 5 ชั้น



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างอุณหภูมิของเตากับอุณหภูมิของชิ้นงานกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 680 °C กรณีการจัดวางอย่างเป็นระเบียบ 5 ชั้น

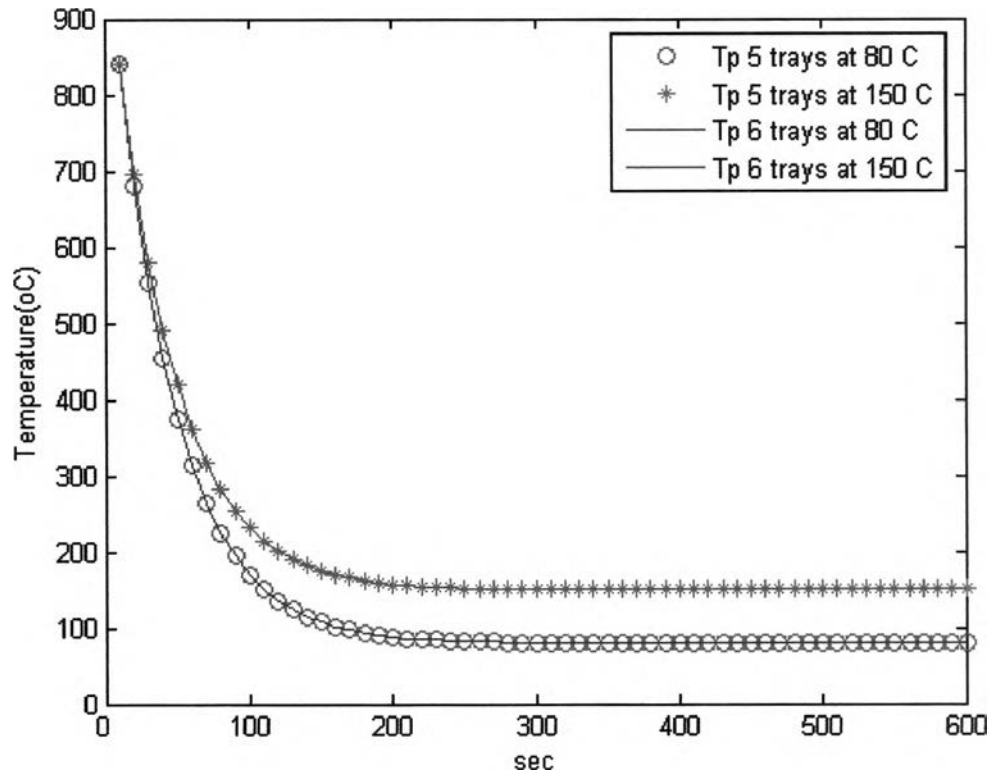


รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 840 °C กรณีการจัดวางอย่างเป็นระเบียบ 5 ชั้น



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างอุณหภูมิของเตากับอุณหภูมิของชิ้นงานกับเวลาในช่วงการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 840 °C กรณีการจัดวางอย่างเป็นระเบียบ 5 ชั้น

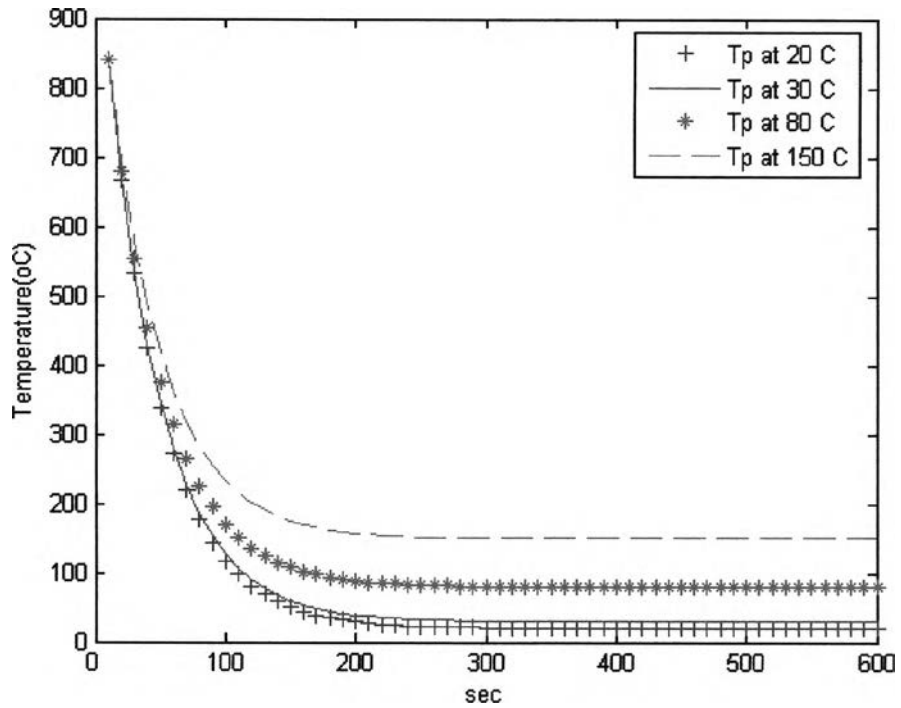
5.3 ผลการคำนวณหาค่าอุณหภูมิของชิ้นงานหลังการชุบชิ้นงานลงในน้ำมัน



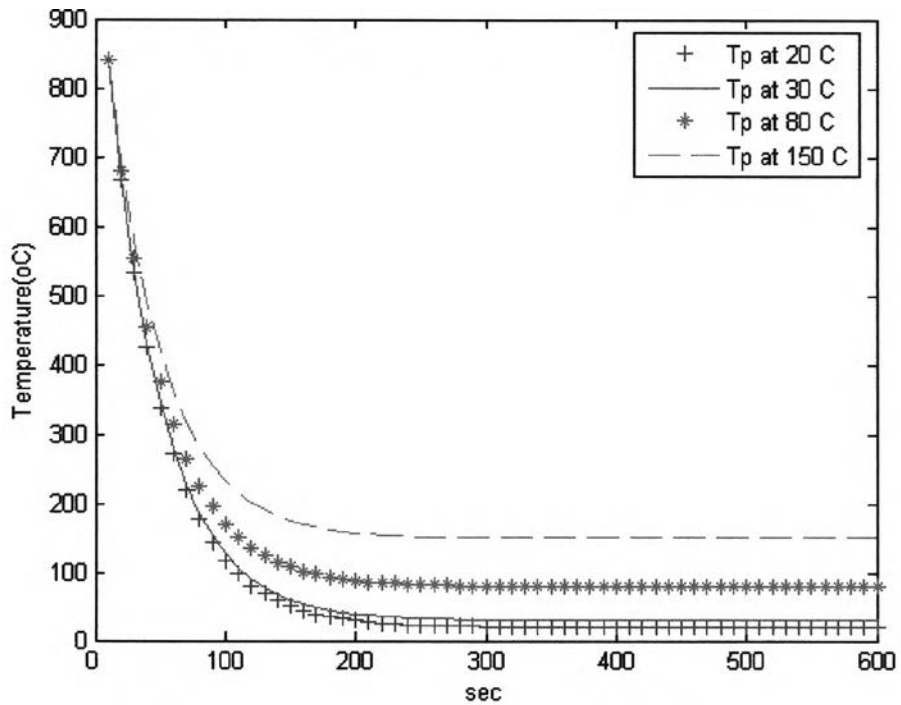
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลาในระหว่างขั้นตอนการชุบชิ้นงาน โดยเปรียบเทียบที่การจัดวางอย่างเป็นระเบียบ(5 ชั้น) กับการจัดวางแบบปกติ(6 ชั้น) และที่อุณหภูมิ 80 กับ 150 °C

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิของชิ้นงานที่เวลาต่างกันและที่อุณหภูมิของน้ำมันต่างกัน

อุณหภูมิของน้ำมัน	เวลาที่ใช้ในการจุ่ม	อุณหภูมิของชิ้นงาน	
		วางแบบปกติ (6 ชั้น)	วางเป็นระเบียบ (5ชั้น)
80 °C	3 นาที	97.3 °C	97.3 °C
	5 นาที	81.4 °C	81.4 °C
150°C	3 นาที	165.7 °C	165.7 °C
	5 นาที	151.2 °C	151.2 °C



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลาในระหว่างขั้นตอนการชุบชิ้นงานที่อุณหภูมิต่างๆ ในกรณีการจัดวางอย่างเป็นระเบียบ (5 ชั้น)



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงอุณหภูมิกับเวลาในระหว่างขั้นตอนการชุบชิ้นงานที่อุณหภูมิต่างๆ ในกรณีการจัดวางอย่างเป็นระเบียบ (5 ชั้น)

5.4 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์การบิดเบี้ยวของชิ้นงาน

ตารางที่ 5.6 เปอร์เซนต์ของชิ้นงานที่บิดเบี้ยวในแต่ละการทดลอง

ปัจจัยที่ศึกษา	ชั้นที่1	ชั้นที่2	ชั้นที่3	ชั้นที่4	ชั้นที่5	ชั้นที่ 6
1. การจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบในขณะทำการอบชุบ						
1.1 การจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบ ครั้งที่ 1	0.4	1.1	2.3	4.9	3.5	
1.2 การจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบ ครั้งที่ 2	2.1	1.6	3.2	5.1	2.1	
1.3 การจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบ ครั้งที่ 3	0.5	1.4	3	5.2	3.7	
2. การจุ่มชิ้นงานในของเหลวให้หนานขึ้น เป็น 5 นาที						
2.1 การจุ่มชิ้นงานในของเหลวให้หนานขึ้น เป็น 5 นาที ครั้งที่ 1	0.9	1.2	3.1	8.5	5.4	3.8
2.2 การจุ่มชิ้นงานในของเหลวให้หนานขึ้น เป็น 5 นาที ครั้งที่ 2	2.4	3.8	5.5	11	7.9	6.4
2.3 การจุ่มชิ้นงานในของเหลวให้หนานขึ้น เป็น 5 นาที ครั้งที่ 3	2.7	4.3	2.9	10.3	6.1	5.4
3. การจัดวางชิ้นงานปกติ						
3.1 การจัดวางชิ้นงานปกติ ครั้งที่ 1	9.5	7.7	9.2	17.8	13.8	17.8
3.2 การจัดวางชิ้นงานปกติ ครั้งที่ 2	10.0	6.4	13.3	17.3	13.0	16.7
3.3 การจัดวางชิ้นงานปกติ ครั้งที่ 3	12.1	15	13.1	17.8	13.4	12.1

หมายเหตุ 1.กรณีศึกษาที่ 1 การจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบจะสามารถจัดวางชิ้นงานได้เพียง 5 ชั้นเท่านั้นเนื่องจากถูกจำกัดด้วยพื้นที่และปริมาตรของเตาเผา

2.ชั้นที่1 หมายถึงชั้นบนสุด

5.5 ค่าความแข็ง (หน่วยการวัด HRC) ของชิ้นงานในแต่ละการทดลอง

5.5.1 การจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบในขณะทำการอบชุบ

ตารางที่ 5.7 ค่าความแข็งของชิ้นงานกรณีการจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบในขณะทำการอบชุบ สำหรับการทดลองครั้งที่ 1

ชั้นที่	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6
1	62.0	62.3	62.7	62.8	62.5	62.2
2	62.3	62.5	62.4	62.6	62.5	62.5
3	62.3	62.6	62.4	62.7	62.7	62.6
4	62.3	62.6	62.6	62.7	62.4	62.6
5	62.0	62.3	62.1	62.7	62.8	62.7
ค่าเฉลี่ย	62.2	62.5	62.4	62.7	62.6	62.5

ตารางที่ 5.8 ค่าความแข็งของชิ้นงานกรณีการจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบในขณะทำการอบชุบ สำหรับการทดลองครั้งที่ 2

ชั้นที่	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6
1	63.0	62.6	62.6	62.6	62.9	62.6
2	62.6	62.6	62.6	62.4	62.2	62.6
3	62.7	62.6	62.8	62.4	62.9	62.8
4	62.7	62.6	62.8	62.8	62.9	62.7
5	62.2	62.9	62.6	62.8	62.6	62.3
ค่าเฉลี่ย	62.6	62.7	62.7	62.6	62.7	62.6

ตารางที่ 5.9 ค่าความแข็งของชิ้นงานกรณีการจัดวางชิ้นงานอย่างเป็นระเบียบในขณะทำการอบชุบ สำหรับการทดลองครั้งที่ 3

ชั้นที่	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6
1	63.0	62.6	62.5	62.8	63.0	62.0
2	62.7	62.7	62.8	62.8	62.5	62.3
3	62.7	62.7	62.9	62.5	62.1	62.5
4	62.7	62.8	62.9	62.1	62.6	62.7
5	62.7	62.9	63.0	62.1	62.8	62.9
ค่าเฉลี่ย	62.8	62.7	62.8	62.5	62.6	62.5

5.5.2 การปรับให้มีการจุ่มชิ้นงานในของเหลวให้นานขึ้น

ตารางที่ 5.10 ค่าความแข็งของชิ้นงานกรณีปรับให้มีการจุ่มชิ้นงานในของเหลวให้นานขึ้นสำหรับการทดลองครั้งที่ 1

ชั้นที่	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6
1	61.8	61.6	61.9	61.8	61.8	62.0
2	61.7	61.8	61.8	61.7	61.5	62.1
3	61.9	61.8	61.8	61.8	61.8	62.2
4	61.8	62.0	61.6	62.0	62.0	62.3
5	61.5	62.1	61.8	62.0	61.9	62.4
ค่าเฉลี่ย	61.7	61.9	61.8	61.9	61.8	62.2

ตารางที่ 5.11 ค่าความแข็งของชิ้นงานกรณีปรับให้มีการจุ่มชิ้นงานในของเหลวให้นานขึ้นสำหรับการทดลองครั้งที่ 2

ชั้นที่	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6
1	61.9	62.4	62.3	61.6	62.0	62.3
2	62.3	62.3	61.9	61.9	62.2	62.5

ชั้นที่	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6
3	61.8	61.8	62.1	61.8	61.6	62.1
4	62.0	61.7	61.9	61.7	61.6	61.9
5	62.0	62.1	62.1	61.8	61.9	62.4
ค่าเฉลี่ย	62.0	62.1	62.1	61.8	61.9	62.2

ตารางที่ 5.12 ค่าความแข็งของชิ้นงานกรณีปรับให้มีการจุ่มชิ้นงานในของเหลวให้นานขึ้นสำหรับการทดลองครั้งที่ 3

ชั้นที่	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6
1	61.8	61.9	62.3	62.2	61.9	62.6
2	62.0	61.6	62.5	61.9	61.6	62.5
3	62.2	61.6	62.1	61.3	62.3	62.1
4	62.2	62.0	62.6	61.7	62.2	62.7
5	62.4	61.3	62.2	62.3	62.0	62.0
ค่าเฉลี่ย	62.1	61.7	62.3	61.9	62.0	62.4

5.5.3 การจัดวางชิ้นงานปกติ

ตารางที่ 5.13 ค่าความแข็งของชิ้นงานกรณีการจัดวางชิ้นงานปกติสำหรับการทดลองครั้งที่ 1

ชั้นที่	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6
1	62.2	62.1	62.3	61.9	62.0	61.9
2	61.7	62.0	62.1	61.3	61.6	62.2
3	61.7	62.0	62.2	62.2	62.1	62.3
4	62.3	62.1	62.0	61.9	62.4	62.2
5	62.1	62.5	61.3	61.7	61.6	62.0
ค่าเฉลี่ย	62.0	62.1	62.0	61.8	61.9	62.1

ตารางที่ 5.14 ค่าความแข็งของชิ้นงานกรณีการจัดวางชิ้นงานปกติสำหรับการทดลองครั้งที่ 2

ชั้นที่	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6
1	62.5	61.6	62.0	61.7	61.8	62.2
2	61.6	61.6	61.9	61.8	61.7	62.0
3	62.1	61.6	61.6	61.3	61.4	62.0
4	61.9	62.5	61.6	61.3	61.6	61.7
5	62.1	62.1	61.8	62.0	61.7	61.6
ค่าเฉลี่ย	62.0	61.9	61.8	61.6	61.6	61.9

ตารางที่ 5.15 ค่าความแข็งของชิ้นงานกรณีการจัดวางชิ้นงานปกติสำหรับการทดลองครั้งที่ 3

ชั้นที่	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6
1	62.1	62.2	61.9	62.0	62.3	62.5
2	62.2	62.5	62.0	62.1	62.1	62.2
3	62.0	61.9	61.7	61.6	62.0	61.8
4	61.9	62.7	62.0	61.8	62.1	62.1
5	62.7	62.1	61.8	62.2	62.1	62.2
ค่าเฉลี่ย	62.2	62.3	61.9	61.9	62.1	62.2