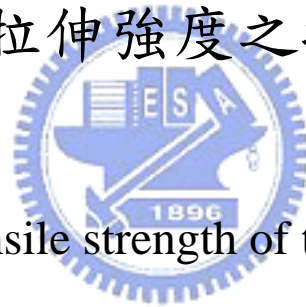


國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩士論文

塑膠射出成型拉伸試片退火處理後
拉伸強度之探討



A study on the tensile strength of the plastic injection test
pieces after annealing

研究生：黃于修

指導教授：徐瑞坤 教授

中華民國九十八年一月

塑膠射出成型拉伸試片退火處理後拉伸強度之探討

A study on the tensile strength of the plastic injection test
pieces after annealing

研究生：黃于修

Student : Yu-Hsiu Huang

指導教授：徐瑞坤 教授

Advisor : Ray-Quen Hsu



A Thesis

Submitted to Degree Program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master

in

Automation and Precision Engineering

January 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年一月

塑膠射出成型拉伸試片退火處理後拉伸強度之探討

學生：黃于修

指導教授：徐瑞坤 教授

國立交通大學 工學院精密與自動化工學程 碩士班

摘 要

本研究以聚碳酸酯（PC）、聚甲醛樹脂（POM）、聚苯乙烯（PS）、丙烯樹脂（PP）為材料，探討射出成型塑膠拉伸試片於退火後之拉伸強度的改變，並比較不同退火時間對結晶性塑膠與非結晶性塑膠之拉伸強度的影響。

高分子塑膠在射出成型製品上，常會有殘留應力與內應力的產生，成型時的噴流現象、剪切作用與冷卻後收縮不均等原因亦會造成塑膠分子鏈結構與結晶性的差異。根據以往文獻指出，退火處理可改善塑膠殘留應力與改變結晶度，本實驗將塑膠於射出成型後，利用退火處理之方式，使得殘留應力變小，分子結晶度變好，而強化機械性質。

由於不同的退火時間所改善殘留應力與結晶度之程度不同，因此其機械性質亦不同。

本實驗將不同退火時間之試片，以拉伸試驗法求得退火處理前後試片

之拉伸強度。實驗結果發現材料的拉伸強度會隨著退火處理時間增加而增加，而拉伸強度增加的比率卻會隨著時間增加而減少。另外比較非結晶與結晶性塑膠，可以發現結晶性塑膠退火處理後拉伸強度增加的效果比非結晶性塑膠效果好。並且在射出成型塑膠製品上，其退火處理一小時的拉伸強度增加的效果最為顯著。

關鍵詞：退火處理、射出成型、拉伸強度、半結晶性塑膠、非結晶性塑膠、殘留應力




A study on the tensile strength of the plastic injection test pieces after annealing

student : Yu-Hsiu Huang

Advisors : Prof. Ray-Quen Hsu

Department of Automation and Precision Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT



This purpose research is to find out tensile strength of the plastic injection test pieces after annealing. The test pieces are made of PC, POM, PS, and PP materials. The relation of the crystalline micro-structure of the plastics with tensile strength was also studied.

Plastics often present internal and residual stress in injection molding. Besides, fountain flow effect and shearing of the molten plastics in the mold change the micro-structure. This experiment is emphasized on the effect of annealing of the injected plastic test pieces.

This study also makes comparison of the tensile strength among semi-crystalline, amorphous, engineering, and general plastic after annealing.

In the analysis of four different plastics, it was found that the tensile strength grows with the annealing time. The test was further concluded that semi-crystalline plastics are generally have higher strength than the amorphous.

After 1-houred annealing, the plastic injection test piece reached the highest strength.

Keywords : annealing , injection molding , tensile strength, semi-crystalline plastic, amorphous plastic, residual stress



致 謝

在這求學的過程中，由衷的感謝指導教授 徐瑞坤教授在學業上及生活上的指導與照顧，並感謝實驗室裡的學長學弟們在研究過程中不斷的指導與協助。同時感謝口試委員洪景華教授、陳仁浩教授提供的指正與指導，使我受益良多，在此表達最誠摯的敬意與謝意。

雖然求學之路難行，但有幸能遇見如此多的貴人，心中實在有無限的感激。在這當中，除了學長及學弟們的幫忙外，塑膠射出廠的溫先生、郭先生以及高雄應用科大的郭益嘉學弟大力的幫忙，還有公司全體同事在工作上的體諒與分擔，才使得最後的求學過程得以完成。於此，對於所有週遭關心及愛護我的朋友致上最誠摯的敬意。

最後謹將本文獻給我最親愛的祖父以及我的家人，由於他們在背後大力的支持及鼓勵，才能使我得以順利完成學業。在此希望他們永遠健康、快樂。

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
致 謝.....	v
目 錄.....	vi
表目錄.....	x
圖目錄.....	xiii
第一章 序論.....	1
1-1 研究背景.....	1
1-2 研究動機與目的.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2-1 影響塑膠製品機械性質的因素.....	3
2-1-1 殘留應力.....	3
2-1-2 高分子之結晶結構.....	3
2-2 射出成型製品殘留應力之成因.....	4
2-3 退火處理方式降低塑膠殘留應力.....	5
2-4 結晶性與機械性質的相關文獻.....	6
2-5 退火處理溫度對材料結晶度與機械性質之影響.....	7

2-6	分析比較退火處理前後試片機械、物理性質之變化	8
第三章	塑膠射出成型方法	22
3-1	射出成型簡介	22
3-2	射出成型機規格	22
3-3	傳統射出成型步驟	22
3-4	成形條件之各階段重點	24
第四章	實驗材料與設備	28
4-1	實驗試片	28
4-1-1	試片尺寸	28
4-1-2	實驗材料	28
4-1-3	材料性質	28
4-2	實驗設備	32
4-2-1	模具	32
4-2-2	射出成型機	33
4-2-3	模溫控制機	33
4-2-4	烘料機	34
4-2-5	加熱爐	34
4-2-6	拉伸試驗機	34



第五章 實驗規劃與流程.....	49
5-1 實驗規劃.....	49
5-2 實驗前測試.....	49
5-2-1 試片退火處理溫度試驗.....	49
5-2-2 試片升溫階段試驗.....	49
5-2-3 試片降溫試驗.....	50
5-3 試驗方法.....	51
5-3-1 拉伸試驗.....	51
5-3-2 翹曲尺寸量測.....	51
5-3-3 退火處理實驗步驟.....	52
第六章 實驗結果分析與討論.....	62
6-1 實驗數據分析概述.....	62
6-2 PC 材料.....	62
6-3 POM 材料.....	64
6-4 PS 材料.....	65
6-5 PP 材料.....	66
6-6 PC 材料試片結果分析.....	67
6-7 POM 材料試片結果分析.....	69

6-8 PS 材料試片結果分析	70
6-9 PP 材料試片結果分析	71
6-10 結晶性塑膠與結晶性塑膠之分析比較.....	73
第七章 結論與未來展望.....	120
7-1 結論.....	120
7-2 未來展望.....	121
參考文獻.....	122



表目錄

表 4-1	聚碳酸酯樹脂(PC)材料物性表	36
表 4-2	聚甲醛樹脂(POM)材料物性表	37
表 4-3	聚苯乙烯(PS)材料物性表.....	38
表 4-4	丙烯樹脂(PP)材料物性表.....	39
表 4-5	射出機詳細規格表	40
表 4-6	加熱爐冷溫度與時間關係表.....	41
表 5-1	PC 材料不同退火處理溫度時之翹曲量	53
表 5-2	POM 材料不同退火處理溫度時之翹曲量	53
表 5-3	PS 材料不同退火處理溫度時之翹曲量	53
表 5-4	PP 材料不同退火處理溫度時之翹曲量	54
表 5-5	PC 試片升溫結果	54
表 5-6	POM 試片升溫結果	54
表 5-7	PS 試片升溫結果	54
表 5-8	PP 試片升溫結果	55
表 5-9	退火處理實驗組數.....	55
表 6-1	PC 1mm 退火處理前後拉伸強度表.....	75
表 6-2	PC 1 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	75

表 6-3	PC 2 mm 退火處理前後拉伸強度表.....	76
表 6-4	PC 2 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	76
表 6-5	PC 3 mm 退火處理前後拉伸強度表.....	77
表 6-6	PC 3 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	77
表 6-7	PC 4 mm 退火處理前後拉伸強度表.....	78
表 6-8	PC 4 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	78
表 6-9	POM 1 mm 退火處理前後拉伸強度表.....	79
表 6-10	POM 1 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比.....	79
表 6-11	POM 2 mm 退火處理前後拉伸強度表.....	80
表 6-12	POM 2 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比.....	80
表 6-13	POM 3 mm 退火處理前後拉伸強度表.....	81
表 6-14	POM 3 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比.....	81
表 6-15	POM 4 mm 退火處理前後拉伸強度表.....	82
表 6-16	POM 4 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比.....	82
表 6-17	PS 1 mm 退火處理前後拉伸強度表	83
表 6-18	PS 1 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	83
表 6-19	PS 2 mm 退火處理前後拉伸強度表	84
表 6-20	PS 2 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	84

表 6-21	PS 3 mm 退火處理前後拉伸強度表	85
表 6-22	PS 3 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	85
表 6-23	PS 4 mm 退火處理前後拉伸強度表	86
表 6-24	PS 4 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	86
表 6-25	PP 1 mm 退火處理前後拉伸強度表	87
表 6-26	PP 1 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	87
表 6-27	PP 2 mm 退火處理前後拉伸強度表	88
表 6-28	PP 2 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	88
表 6-29	PP 3 mm 退火處理前後拉伸強度表	89
表 6-30	PP 3 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	89
表 6-31	PP 4 mm 退火處理前後拉伸強度表	90
表 6-32	PP 4 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比	90
表 6-33	POM 與 PC 退火處理後拉伸強度增加效果之比值	91
表 6-34	PP 與 PS 退火處理後拉伸強度增加效果之比值	91

圖目錄

圖 2-1	半結晶高分子示意圖.....	10
圖 2-2	Polyamide 6 之單晶形態.....	10
圖 2-3	聚乙烯伸展鏈晶體.....	11
圖 2-4	混和型球晶的偏光顯微鏡照片.....	11
圖 2-5	結晶性塑膠材料的球晶結構.....	12
圖 2-6	塑膠結晶分子鏈示意圖.....	13
圖 2-7	熔融物的球晶之片晶構造模型.....	13
圖 2-8	噴泉模流示意圖.....	14
圖 2-9	光彈測量塑膠之殘留應力.....	14
圖 2-10	PC 與 PS 試片等效應力降低百分比與退火處理時間關係圖.....	15
圖 2-11	PC 試片兩階段等效應力降低百分比.....	15
圖 2-12	PS 試片兩階段等效應力降低百分比.....	16
圖 2-13	結晶性高分子在塑膠射出成型之分子結構示意圖.....	16
圖 2-14	結晶受到延伸而鬆解示意圖.....	17
圖 2-15	非結晶高分子鍊示意圖.....	17
圖 2-16	高分子鍊的機軸式運動.....	18
圖 2-17	退火處理之 PP 材質試片.....	18

圖 2-18	熱重分析儀以 10°C/min 之加熱速率試片分析圖	19
圖 2-19	退火處理前後對拉伸試驗試片負荷與位移關係圖	19
圖 2-20	雙邊缺口拉伸試驗圖 (1)未退火處理 (2)以 80°C 退火處理	20
圖 2-21	有無退火處理之試片於 10°C/min 加熱之過程	20
圖 2-22	有無退火處理拉力試驗之破斷面(a)未退火處理(b)退火處理	21
圖 3-1	射出成型製程步驟	26
圖 3-2	射出機之射出單元	27
圖 3-3	螺桿之三段區域示意圖	27
圖 4-1	實驗試片圖面	42
圖 4-2	常用塑膠原料分類圖	43
圖 4-3	模具設計圖面	44
圖 4-4	模具與 3D 設計圖面	44
圖 4-5	TOYO 射出成型機	45
圖 4-6	信易牌模溫控制機	45
圖 4-7	信易牌烘料機	46
圖 4-8	加熱爐	46
圖 4-9	MTS 材料試驗機	47
圖 4-10	2.5D 影像量測儀	48

圖 5-1	實驗流程圖.....	56
圖 5-2	翹曲量定義圖.....	57
圖 5-3	試片退火處理固定方式.....	57
圖 5-4	實驗 PC 升溫曲線圖.....	58
圖 5-5	實驗 POM 升溫曲線圖.....	58
圖 5-6	實驗 PS 升溫曲線圖.....	59
圖 5-7	實驗 PP 升溫曲線圖.....	59
圖 5-8	PC 試片未加熱拉伸試驗曲線圖.....	60
圖 5-9	PC 試片加熱三小時爐冷至室溫拉伸試驗曲線圖.....	60
圖 5-10	PC 試片加熱三小時爐冷三小時後拉伸試驗曲線圖.....	61
圖 5-11	PC 試片加熱三小時直接取出拉伸試驗曲線圖.....	61
圖 6-1	PC 1 mm 未退火處理.....	92
圖 6-2	PC 1 mm 退火處理 63min.....	92
圖 6-3	PC 1 mm 退火處理 123min.....	93
圖 6-4	PC 1 mm 退火處理 183min.....	93
圖 6-5	PC 1 mm 退火處理 243min.....	94
圖 6-6	PC 1 mm 退火處理 303min.....	94
圖 6-7	PC 1 mm 退火處理 1440min.....	95

圖 6-8	PC 1 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	95
圖 6-9	PC 1 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	96
圖 6-10	PC 2 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	96
圖 6-11	PC 2 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	97
圖 6-12	PC 3 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	97
圖 6-13	PC 3 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	98
圖 6-14	PC 4 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	98
圖 6-15	PC 4 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	99
圖 6-16	POM 1 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	99
圖 6-17	POM 1 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	100
圖 6-18	POM 2 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	100
圖 6-19	POM 2 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	101
圖 6-20	POM 3 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	101
圖 6-21	POM 3 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	102
圖 6-22	POM 4 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	102
圖 6-23	POM 4 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	103
圖 6-24	PS 1 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	103
圖 6-25	PS 1 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	104

圖 6-26	PS 2 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	104
圖 6-27	PS 2 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	105
圖 6-28	PS 3 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	105
圖 6-29	PS 3 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	106
圖 6-30	PS 4 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	106
圖 6-31	PS 4 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	107
圖 6-32	PP 1 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	107
圖 6-33	PP 1 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	108
圖 6-34	PP 2 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	108
圖 6-35	PP 2 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	109
圖 6-36	PP 3 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	109
圖 6-37	PP 3 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	110
圖 6-38	PP 4 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖	110
圖 6-39	PP 4 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖	111
圖 6-40	PC 試片拉伸強度百分比與退火處理時間關係圖	111
圖 6-41	PC 試片三階段拉伸強度增加百分比比較圖	112
圖 6-42	POM 試片拉伸強度百分比與退火處理時間關係圖	112
圖 6-43	POM 試片三階段拉伸強度增加百分比比較圖	113

圖 6-44	PS 試片拉伸強度百分比與退火處理時間關係圖	113
圖 6-45	PS 試片三階段拉伸強度增加百分比比較圖	114
圖 6-46	PP 試片拉伸強度百分比與退火處理時間關係圖	114
圖 6-47	PP 試片三階段拉伸強度增加百分比比較圖	115
圖 6-48	POM 與 PC 1mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖	115
圖 6-49	POM 與 PC 2mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖	116
圖 6-50	POM 與 PC 3mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖	116
圖 6-51	POM 與 PC 4mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖	117
圖 6-52	PP 與 PS 1mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖	117
圖 6-53	PP 與 PS 2mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖	118
圖 6-54	PP 與 PS 3mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖	118
圖 6-55	PP 與 PS 4mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖	119

第一章 序論

1-1 研究背景

隨著科技的發展，科學家一直朝向研發出重量輕、強度高的材料及快速的生產技術，來符合結構設計與經濟效益雙方面的要求。在這些條件要求下，塑膠材料具有質量輕、價格便宜、顏色多變、容易成型、耐腐蝕、不生銹等特性，成了最容易選擇的材料。從二十世紀開始，塑膠的應用可說是逐漸遍佈生活上的每一個地方，從早期許多的金屬產品，如臉盆、檯燈、汽車保險桿、運送貨物的包裝箱、各種的生活用品等，如今很多都成了塑膠製品。在目前科技產品的用途上，塑膠製品的運用也佔了相當重要的地位，不論是光學、通訊產業、電腦產品或半導體製程，都看得到塑膠製品的應用。然而塑膠製品的機械性質上，因在本身結構的限制，於產品的運用上仍比不上金屬材質。

1-2 研究動機與目的

在許多塑膠製品的製作中，射出成型具有尺寸精密度高、穩定性良好、表面精度高、加工週期短、低成本及對於複雜形狀可一次成型等優點，但塑膠在射出成型的製造中，經由融溶、射出、冷卻到成型之間溫度差的關係，以及塑膠分子或纖維排列方向與成型品之形狀差異，造至塑膠製品殘留應力的形成與塑膠分子結構的改變，而直接與間接影響成型品之強度。此研究將利用退火處理製程對於射出成型塑膠機械性質的改變來做探討，並透過結晶性與非結晶性、工程塑膠與一般塑膠來做探討，進而瞭解退火處理製程對於射出成型塑膠在機械性質的影響。



第二章 文獻回顧

2-1 影響塑膠製品機械性質的因素

2-1-1 殘留應力

塑料殘留應力主要形成的原因為成品不均勻收縮[1]，就材料力學的觀點而言，當塑膠製品發生破裂或破壞時，即表示該塑膠件在破壞區域上，其所承受之應力數值負荷超過了該材料之材料強度。由此可知，殘留應力的存在，將影響塑膠製品在抵抗破壞負荷的程度。

2-1-2 高分子之結晶結構

一般高分子材料的結構可分為非結晶性（amorphous）與結晶性（crystalline）兩種[2]。非結晶性的構造其分子鏈呈現雜亂無順序的排列，分子鏈互相糾纏在一起，主要的重點在其糾纏的程度與堆積鬆散的程度，此兩者對不定形的物性影響深遠。由於高分子的分子長鏈太長了所以不易形成百分之百的結晶體，因此所謂的結晶性高分子通常是指半結晶（semi-crystalline）的高分子材料，半結晶性材料主要是由結晶部分與不定形部分結合而形成，如圖2-1。

高分子材料的結晶形狀有單晶（single crystal）如圖2-2、伸直鏈晶體（extended chain crystal）如圖2-3、球晶（spherulite）如圖2-4、樹枝狀（dendrite）及定向重晶之生長（exptaxial growth）等多種不同的形狀[5]。高分子晶體的形狀最主要由結晶溫度及結晶時間決定。

高分子材料裡最普遍的結晶形態為球晶[7]。高分子球晶的生長過程一般按照下列順序發生：（1）具有相似構造的高分子鍊段聚集在一起，形成一個穩定的原始核；（2）隨著更多的高分子鍊段排列到核的晶格中，結晶核逐漸發展成一個片晶；（3）片晶不斷的生長，同時誘導形成新的晶核，並逐漸生長分叉，原始的晶核逐漸發展成一束片晶；（4）這一束片晶進一步生長分叉出更多的片晶，最終形成一個球晶，如圖2-5。

球晶通常是高分子材料在熔融態降溫而形成。球晶顆粒之間的界線可為直線，亦可為曲線，由結晶機制決定。顆粒與顆粒之間有伸直鏈的晶束串連在一起，如圖2-6。球晶內許多的片晶，延著直徑方向幅射出去，片晶之間則夾著不定形區域。一條長鏈可以在某一片晶折疊幾次之後，再穿過不定形區域，然後再進入另一片晶作折疊。因此一條長鏈可以一部份成為不定形的一部份，而其它部份則形成不同片晶的一部份，如圖2-7。

高分子材料的機械及物理性質主要是由該聚合物的結晶程度所影響。當一個聚合物的結晶程度越高時，該聚合物的硬度越硬、剛性越大，延性越低、密度越大、彈性及韌性越差，熱與熔解的抵抗力越佳。

2-2 射出成型製品殘留應力之成因

射出成型產品中存在的殘餘應力主要由兩個原因所導致[9]，一為充填階段之由流動噴泉模流所引發之分子排向，如圖2-8。二為冷卻階段不均匀收縮所產生之熱殘餘應力。流動殘餘應力主要受到在塑膠充填流動的過程

中高剪切率所導致，而熱殘餘應力則由高溫的塑膠材料冷卻到玻璃轉移溫度後的不均勻的體積收縮與密度變化所生成。

分子排向與流動殘餘應力在充填階段與保壓階段是屬於高分子黏彈性的行為。在溫度高於玻璃轉移溫度之下，塑料處於液態的階段，高分子鏈將依據流動方向產生相應的配向。而射出成型過程中高冷卻率下的快速固化將使得這些應力與分子排向無法被完全的鬆弛及釋放。

不平衡結晶作用也會造成殘留應力的產生，在結晶性材料之不平衡結晶作用下，因為結晶區域會比非結晶區域排列的較為整齊，因此體積收縮較多，使塑膠製品產生不均勻收縮時的拉伸與壓縮應力，以及模穴壓力對不同位置分子鏈之不同影響，例如不同形狀尤其是形狀較為複雜的模穴，塑料熔膠流動時的速度差與壓力不同都可能使剪切應力無法釋放形成殘留應力。

2-3 退火處理方式降低塑膠殘留應力

2008年韋仁旌提出[1]，利用PC與PS透明材質試片經過退火處理後，使其降低塑膠製品射出成型時產生的殘留應力，再以光彈法加以觀測，如圖2-4，並計算退火處理前後試片之等效應力值，得知退火處理可明顯的改善塑膠製品之殘留應力，並得到結論：

- (1) 非結晶性塑膠材料在退火處理時，殘留應力降低效果隨著厚度增加而增加，而半結晶性塑膠退火處理時殘留應力降低效果較不穩定，如圖

2-10。

- (2) 非結晶性塑膠經過退火處理後等效應力降低效果比半結晶性塑膠較好，如圖 2-11、圖 2-12。
- (3) 塑膠材料以退火處理方式降低殘留應力，具有降低之極限，達到此極限後再予以退火處理並無法再次降低殘留應力。
- (4) 塑膠材料在退火處理時，殘留應力降低之原因主要因為高分子鍊移動、排列，因溫度梯度造成之熱應力並不是影響因素。
- (5) 塑膠材料厚度 1mm、1.5mm、2mm、2.5mm 之試片，在經過退火處理 300 分鐘後等效應力的降低，佔退火處理 1440 分鐘後等效應力降低之 90%、80%、87%、86%。



2-4 結晶性與機械性質的相關文獻

退火處理會造成半結晶高分子的結晶大小及球晶結構的改變[3]。對高分子而言，結晶度會影響高分子的機械性質，因為他影響到分子間鏈結的範圍。此外，結晶度的增加會造成強度變大、密度增加、材料變脆。塑膠材料置於定時退火處理，以及提高退火處理溫度會導致：(1) 抗拉模數的提高；(2) 降服強度的提高；(3) 延性降低。

在聚合物材料學[10]中提出：(1) 高分子對抗拉伸強度的影響主要是分子鍊間的滑動；(2) 結晶化能使分子鍊失去流動性，可抵抗變形並產生高剛性模數；(3) 溫度依賴性，溫度完全為原子與分子的移動能。溫度增加時，

聚合物分子內的原子振動越為激烈，因而增加彼此間的空隙，鬆解的頻率更大，可迅速解脫所受的應力。

在《高分子化學原理》[13]中提出：(1)結晶結構的本性、結晶度、晶體的大小、晶球的數目以及分子的排列方式，都會影響聚合體之機械性質；(2)聚合物的抗拉強度或熔融黏度，隨著分子量的增加而增大；(3)如圖2-13，為結晶性高分子在塑膠射出成型之分子結構。

在《高分子設計》[14]中提出：(1) 結晶性佳之高分子具有較高之彈性係數；(2) 規則填充的結晶結構其力學強度大於亂排之非結晶結構；(3) 在結晶度高的高分子之結晶，如圖2-14所示，層片和層片之間由無法結晶化之連結分子連結，當層片因延伸而鬆解，此時連結分子會發生結晶化，此種結晶化對於結晶性高分子之強度有很大的幫助。

在《基礎高分子科學》[15]中提出：(1) 非晶形高分子是由一群不規則交錯的鍊堆積而成，如圖2-15；(2) 當系統內有足夠的熱能時，其高分子的振動可以藉協同的鍊轉動，使鍊一部份移動到適當的位置，整個高分子將因這一連串的跳躍而改變其位置，如圖2-16，且系統內加入之能量會使高分子因熱膨脹而產生更多供給運動單元移動的空間。

2-5 退火處理溫度對材料結晶度與機械性質之影響

2005年Qing-guo Li, 等人[16]提出，將PP材質試片，如圖2-17，經過0.5至1.5小時加熱至80°C到140°C等不同退火程序，之後靜置24小時。再以

Differential Scanning Calorimetry (熱重分析儀)，以 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 之加熱速率從 50°C 加熱至 210°C 進行量測。並同時以double edge notched tension (雙邊缺口拉伸) 試驗進行機械性質試驗。

結論：

- (1) 當退火溫度越高，結晶度也越好。在低溫 (80°C) 時，增加退火的時間，也會改善結晶度，如圖 2-18。
- (2) 從 double edge notched tension 試驗中發現，當退火溫度越高，破斷的位移量變少，如圖 2-19，表示退火改變結晶結構，並且使材料變脆，如圖 2-20。
- (3) 對於結晶性塑膠材料而言，退火處理直接影響結晶度，因此可以從結晶度觀察退火處理效果。



2-6 分析比較退火處理前後試片機械、物理性質之變化

2007年Bing Na, Ruihua Lv提出[17]，將厚度 0.5mm 之PP材質試片，先放置於 200°C 環境中5分鐘後，加以急速冷卻。再放置於 160°C 環境中1.5小時，與未處理試片加以比較。並使用Differential scanning calorimetry (熱重分析儀)，在氮氣環境中以 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 之加熱速率進行量測，並以雙邊缺口試片進行拉伸測試。得知：

- (1) 如圖2-21所示，退火處理與未退火處理之試片，其熔融溫度分別為 154°C 與 160°C ，其退火處理後的試片熔融溫度上升了 6°C ，並且經計算後得

知退火處理後結晶度有增加之趨勢。

- (2) 雙邊缺口試片進行拉伸測試，如圖2-22，記錄顯示退火處理後之試片，斷面較為平整，原因是退火過程中，結晶度提高因此材料排列整齊之區域增加而使材料偏向於脆性，而未退火處理之試片則因為材料結晶度較低大部分高分子鏈糾結而呈現延性破斷。



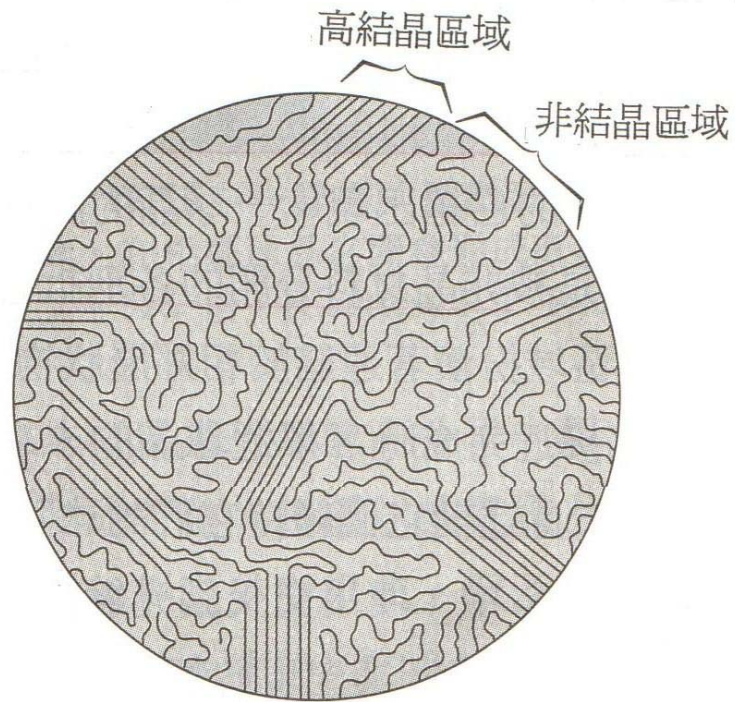


圖2-1 半結晶高分子示意圖[3]

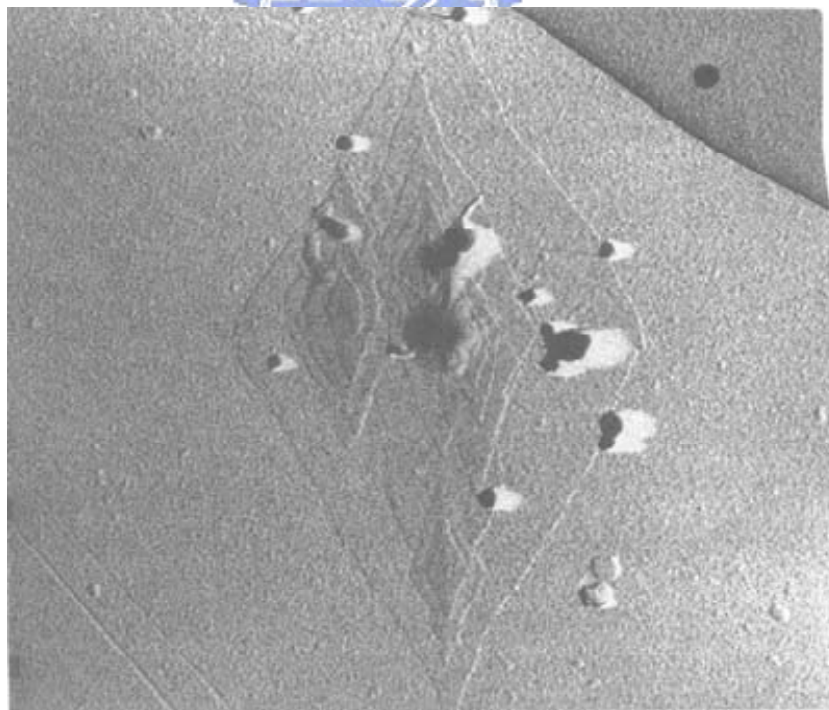


圖2-2 Polyamide 6 之單晶形態[4]

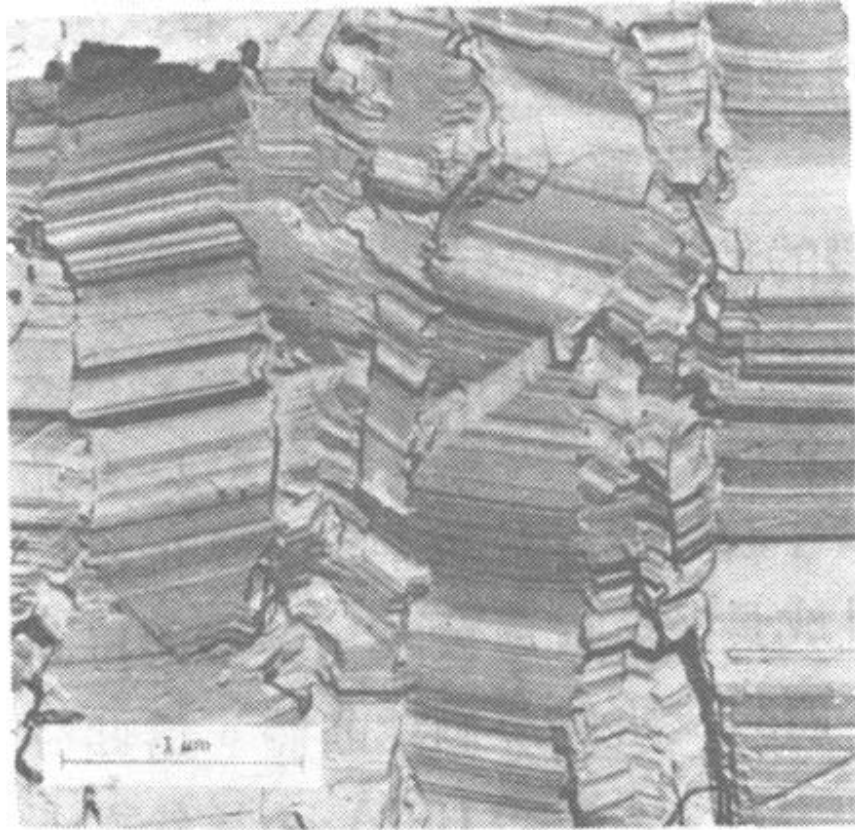


圖2-3 聚乙烯伸展鏈晶體[5]

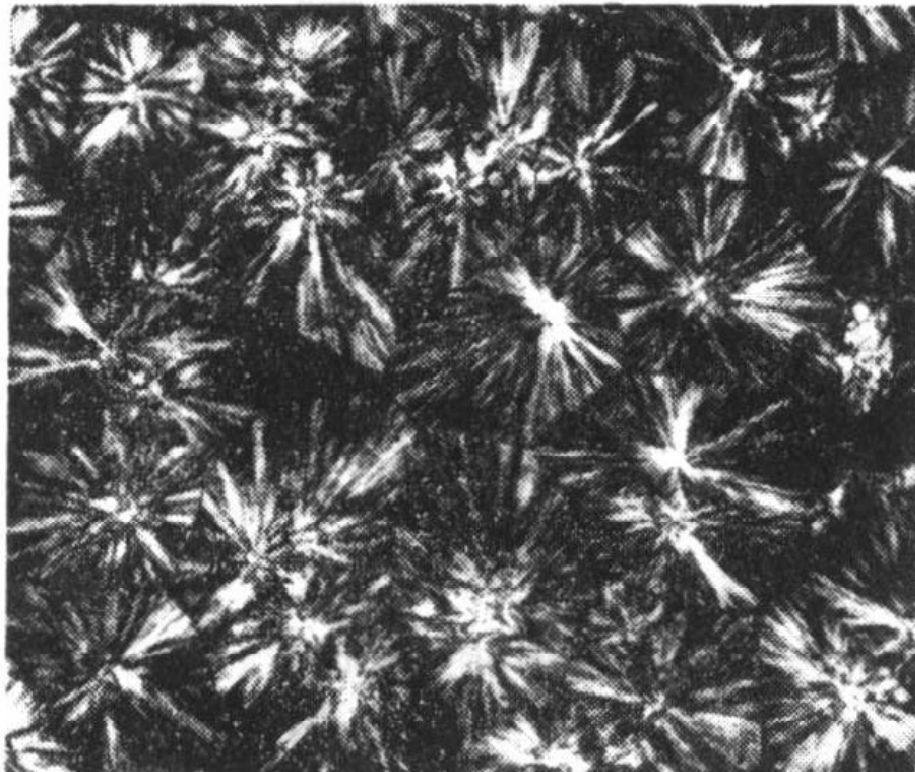


圖2-4 混和型球晶的偏光顯微鏡照片[6]

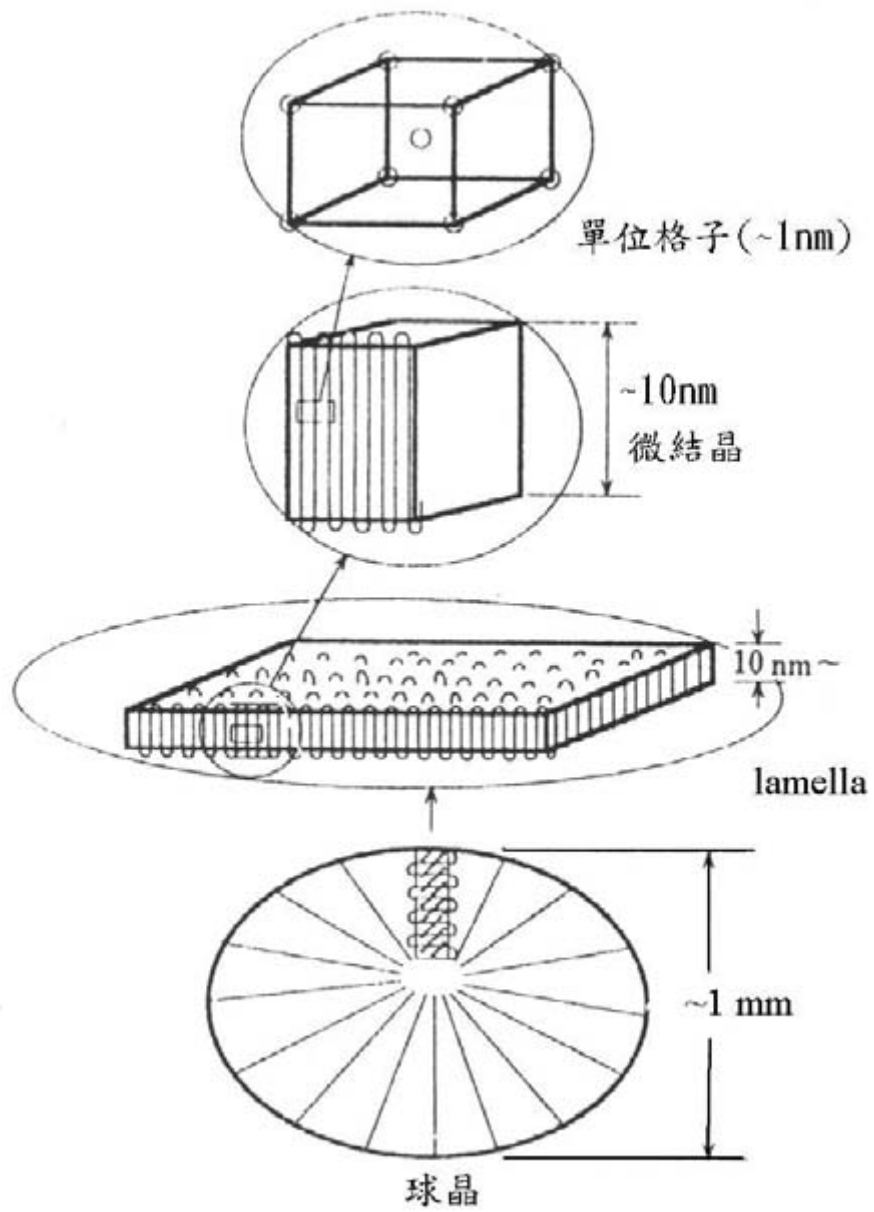


圖2-5 結晶性塑膠材料的球晶結構[8]

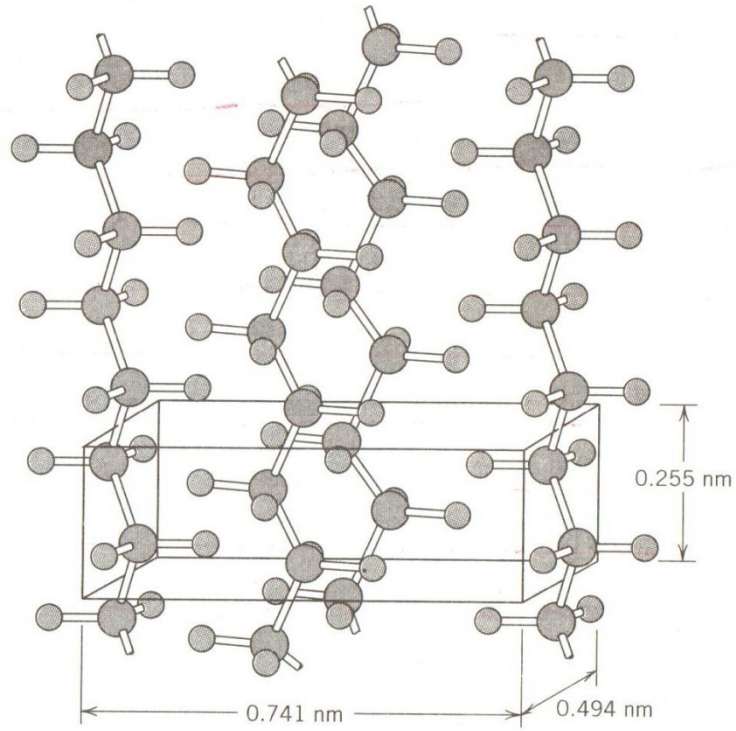


圖2-6 塑膠結晶分子鏈示意圖[3]

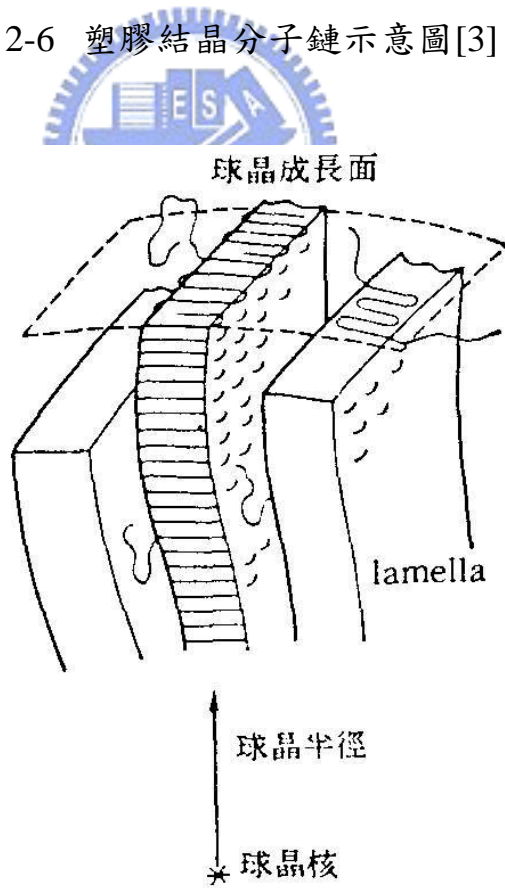


圖2-7 熔融物的球晶之片晶構造模型[6]

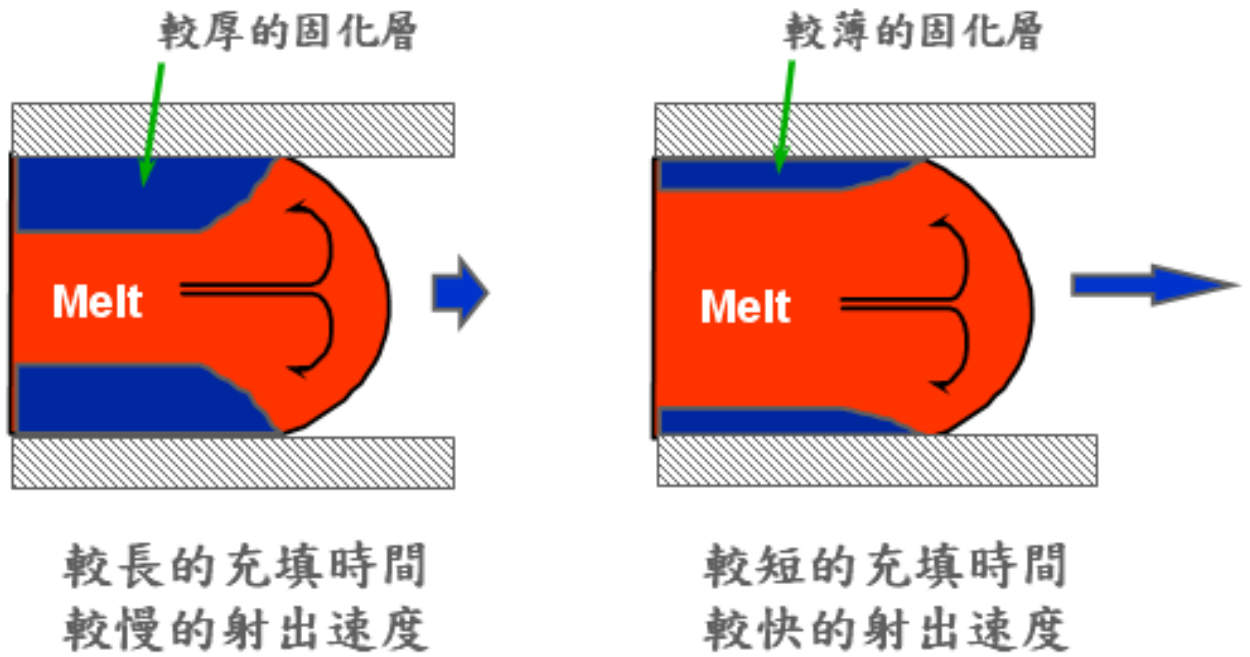
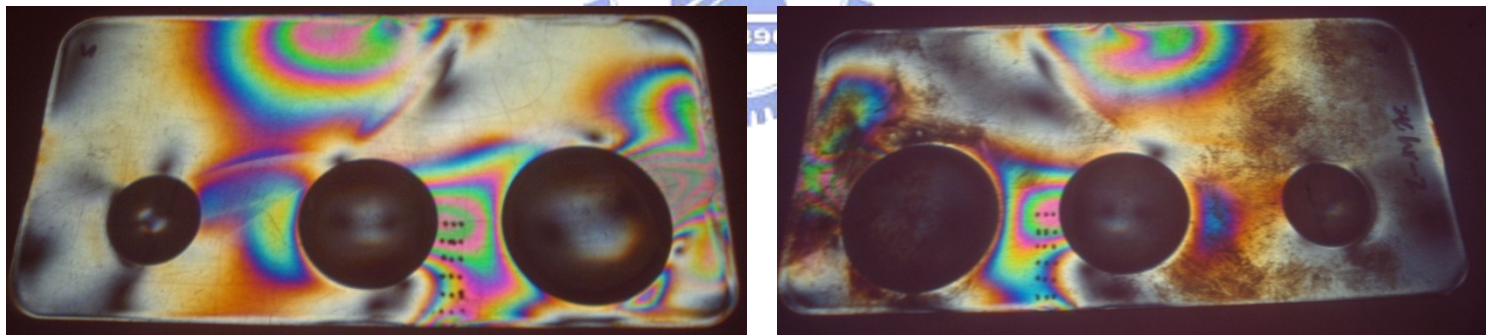


圖2-8 噴泉模流示意圖[1]



(a) 退火處理前殘留應力分

(b) 退火處理後殘留應力分

圖2-9 光彈測量塑膠之殘留應力[1]

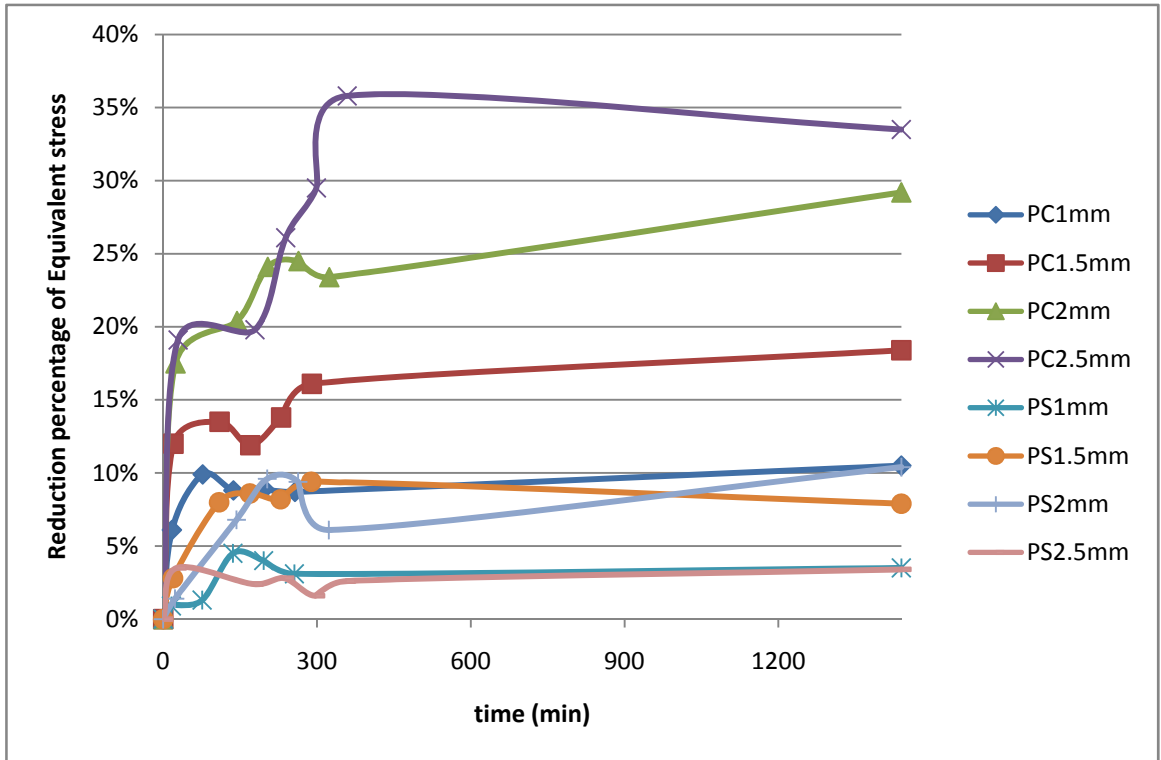


圖2-10 PC 與 PS 試片等效應力降低百分比與退火處理時間關係圖[1]

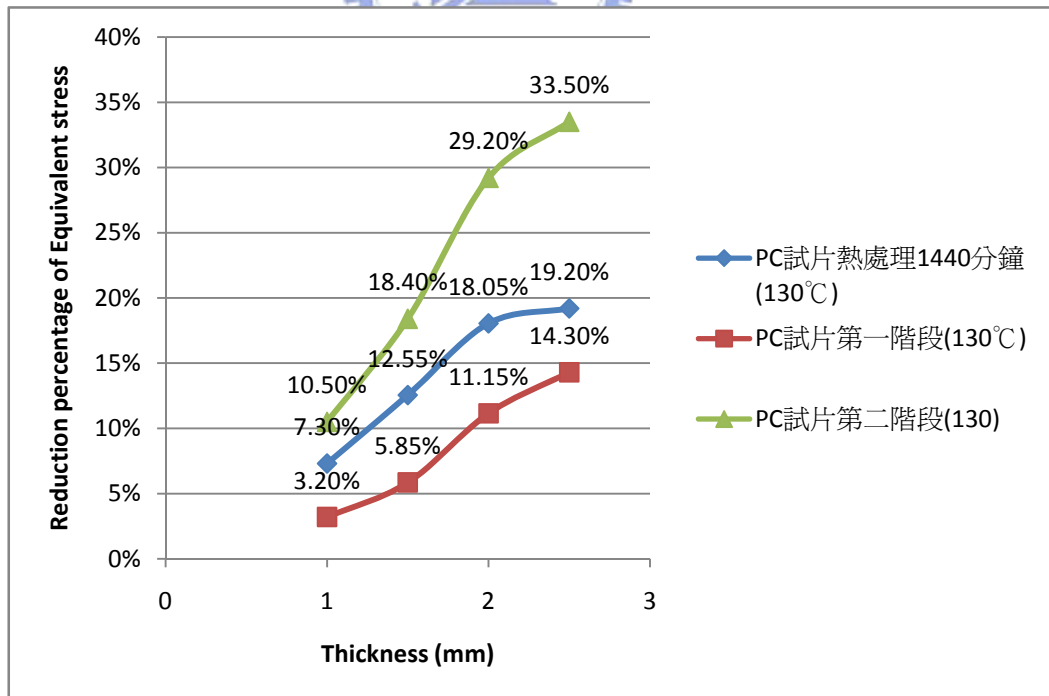


圖2-11 PC 試片兩階段等效應力降低百分比[1]

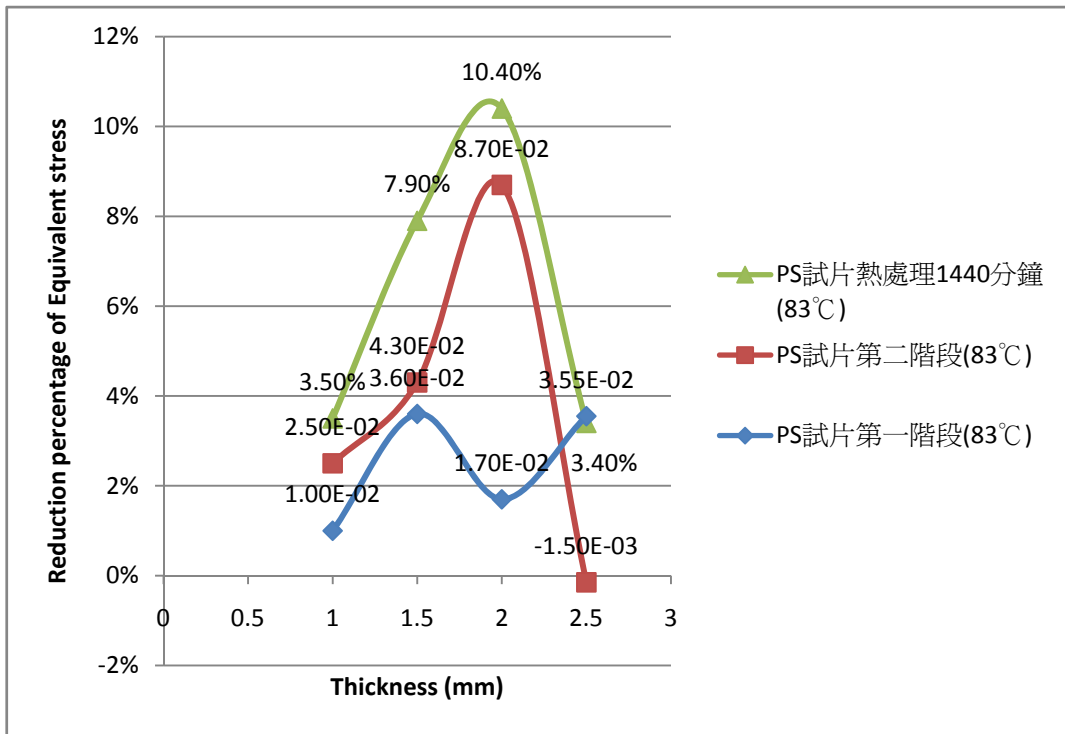


圖2-12 PS 試片兩階段等效應力降低百分比[1]

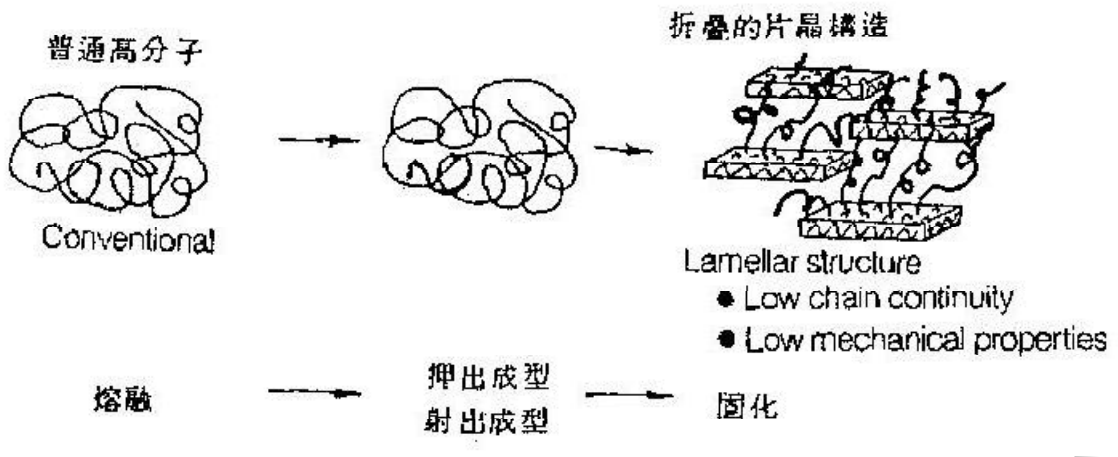


圖2-13 結晶性高分子在塑膠射出成型之分子結構示意圖[13]

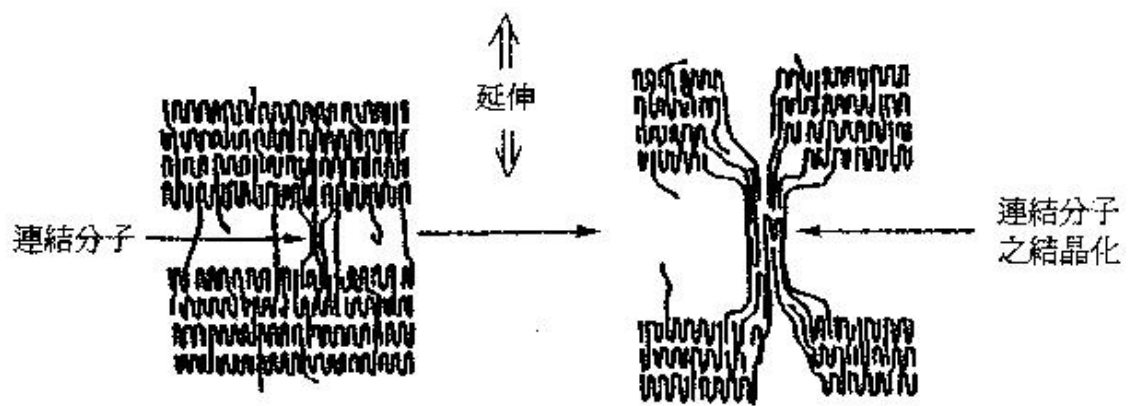


圖2-14 結晶受到延伸而鬆解示意圖[14]

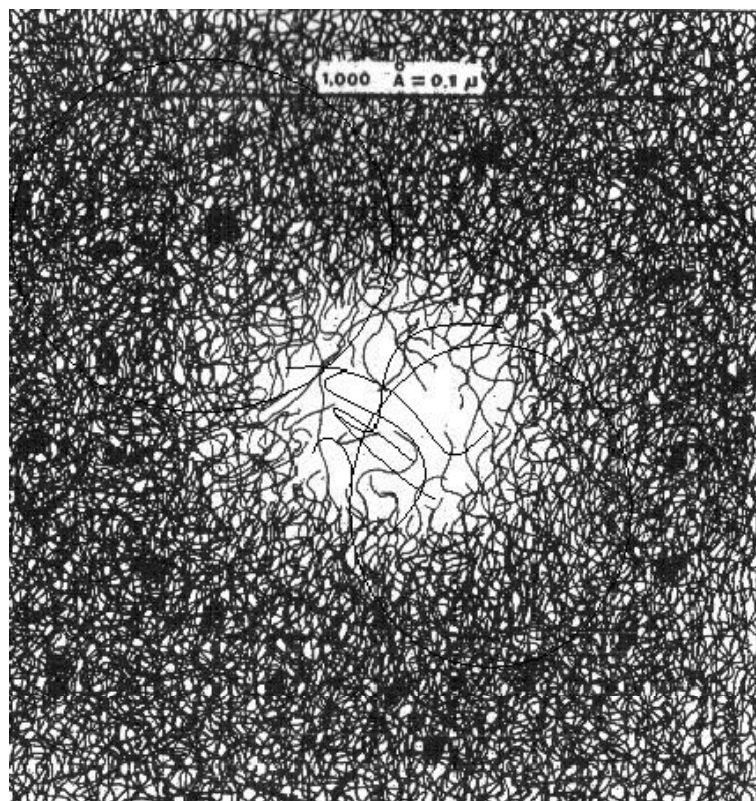


圖2-15 非結晶高分子鍊示意圖[15]

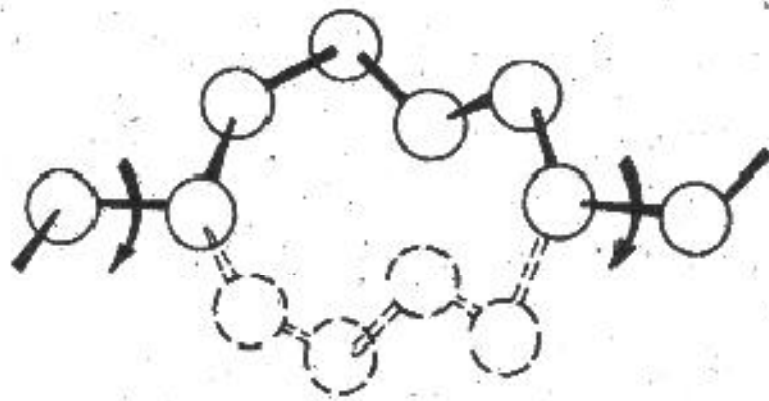


圖2-16 高分子鍊的機軸式運動[15]

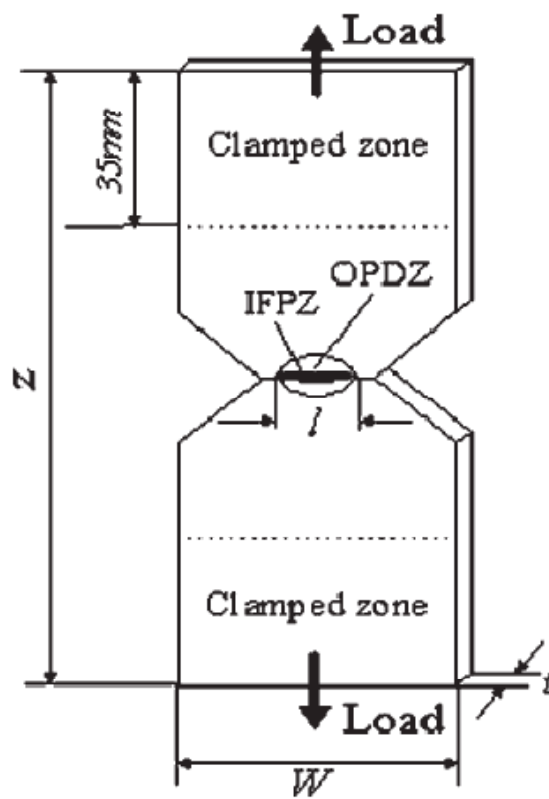


圖2-17 退火處理之 PP 材質試片[16]

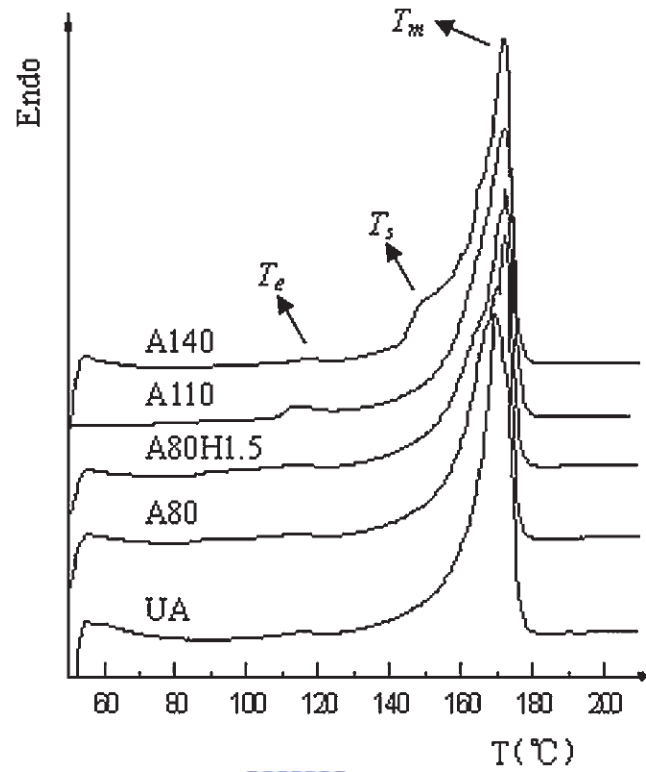


圖2-18 熱重分析儀以 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 之加熱速率試片分析圖[16]

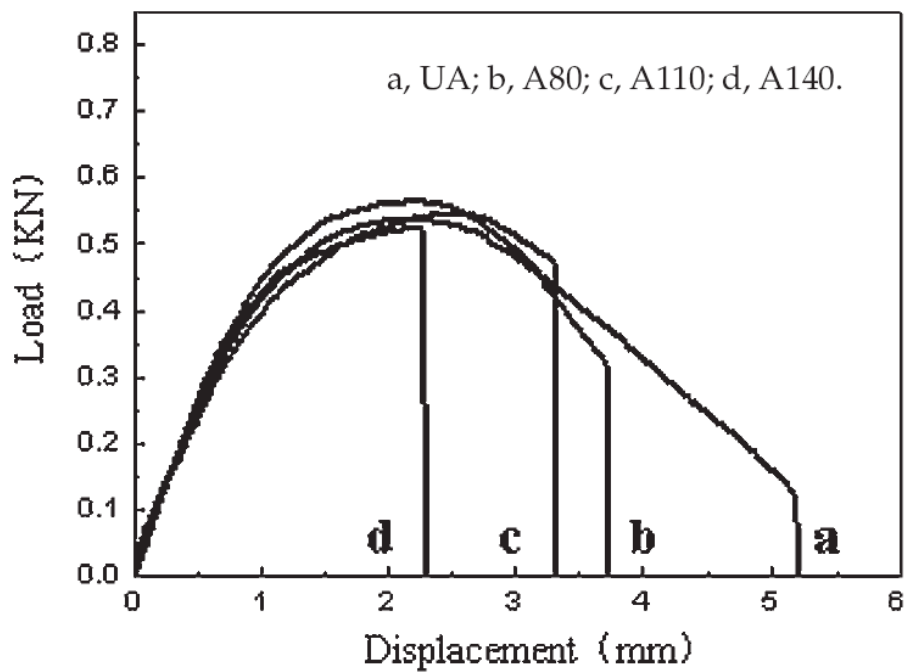


圖2-19 退火處理前後對拉伸試驗試片負荷與位移關係圖[16]

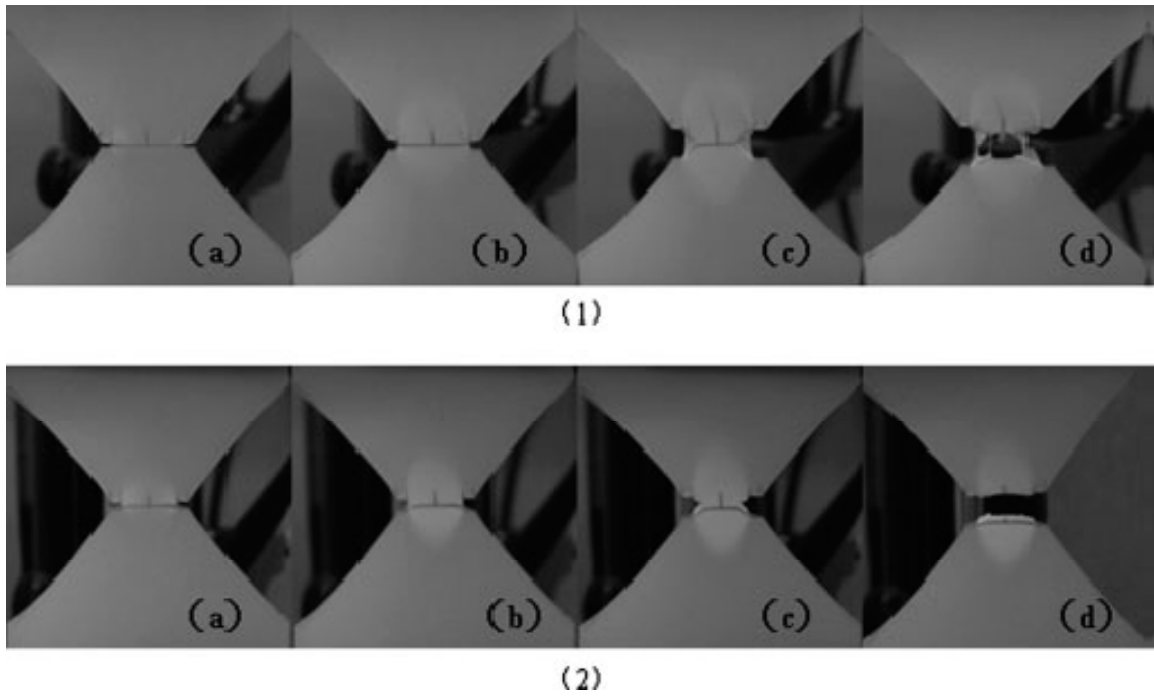


圖2-20 雙邊缺口拉伸試驗圖 (1)未退火處理 (2)以 80°C 退火處理[16]

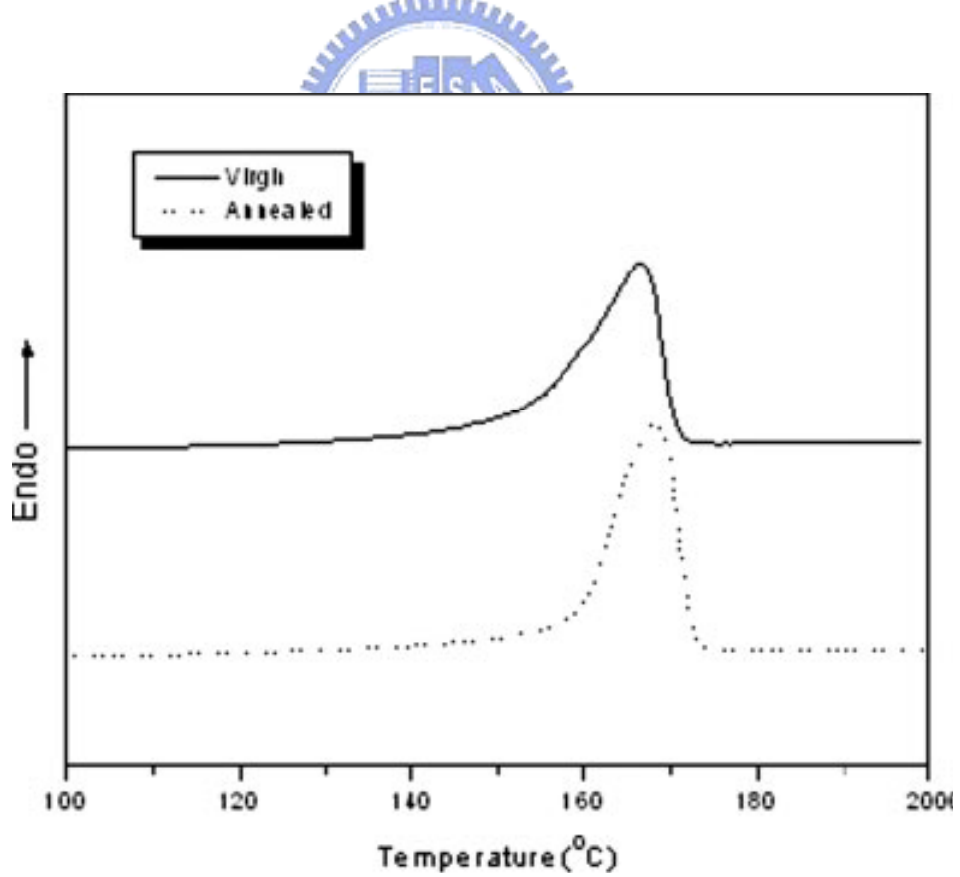


圖2-21 有無退火處理之試片於 10°C/min 加熱之過程[17]

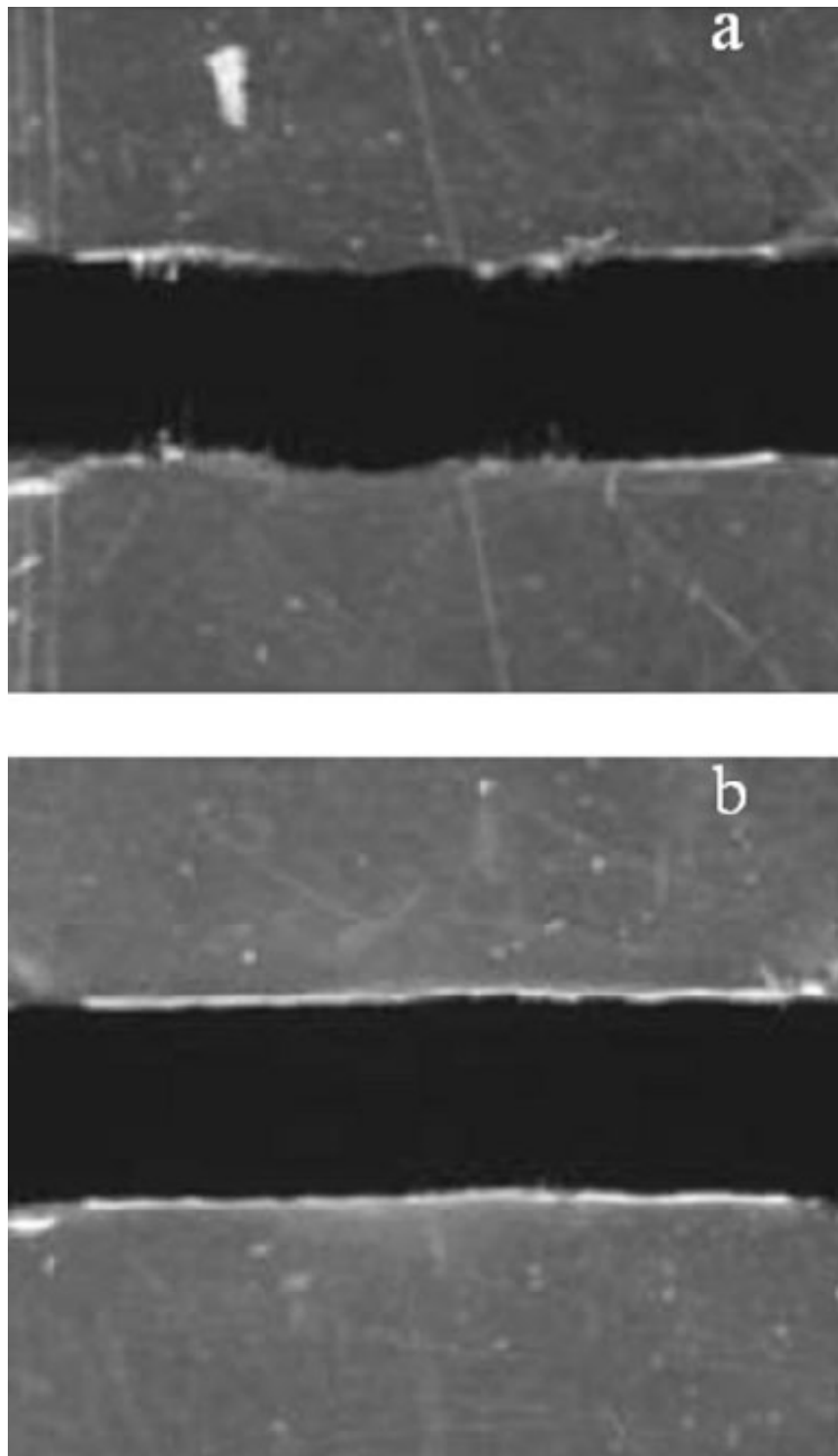



圖2-22 有無退火處理拉力試驗之破斷面(a)未退火處理(b)退火處理[17]

第三章 塑膠射出成型方法

3-1 射出成型簡介[1]

射出成型製程是一種週期性的循環製程，主要分為四個階段，包括充填（Filling stage）、保壓（Packing stage）、冷卻（Cooling stage）以及頂出（Eject stage）。射出成型製程基本上是一種非穩態週期程序，所謂非穩態是指整個射出成型過程是隨著時間變化，而非一成不變，週期性則是指射出成型是一個週而復始的過程。一個典型的射出成型程序步驟如圖3-1所示。

3-2 射出成型機規格[1]



一般而言，射出成型機規格指定以鎖模噸數（Clamping tonnage）及射料量（shot size）兩者為主。其他的參數，還包括了射出速率（injection rate），射出壓力（injection pressure），螺桿規格（screw design），最大模厚（mold thickness），以及柱間距（the distance between tie bars）。

3-3 傳統射出成型步驟[11]

傳統射出成型最基本的步驟就是充填、保壓、冷卻、螺桿鬆退及頂出固化塑料等步驟。射出成型機的構造中，一般是使用往復式螺桿，以進行射出機之進料、熔膠及充填過程，其中螺桿之旋轉乃利用油壓作動來完成。

圖3-2所示為射出機之射出單元，當塑料從進料筒以一般重力的方式落入料管，旋轉螺桿將塑料推向料管之加熱區。由於螺桿旋轉是以高速進行，在將塑料推向加熱區的同時，其螺牙對塑料所施予的剪切作用會產生極大的剪切熱，促使塑料提前熔化，以確保塑料在獲得加熱區之熱源後，能夠達到完全熔融的狀態。圖3-3所示為單螺桿之三段區域示意圖，當熔融的塑料從進料區被推向計量區時，由塑料對螺桿螺牙所施與的反作用力，將迫使螺桿向後退至原先設定位置，螺桿轉動才會停止。此時料管前端已儲存足夠的射膠量，等待接著而來的充填製程。

保壓是由於塑膠熔融狀態時之密度較塑膠冷凝為固態時之密度為小，而冷凝後體積則相對縮小，保壓製程即是為了改善這種情形而設計，當模穴充填完畢後，再以較高的壓力將模穴外的熔膠再次擠入模穴，並持續一段時間後，使模穴內塑膠熔膠密度提高，以彌補冷卻後所收縮的體積。

冷卻的目的是將熔膠所含的熱量移除，使塑料從黏稠的熔膠凝結成為固體狀態，以利成品於脫模時被頂出。模具中冷卻系統效率是影響冷卻時間的主要因素，依不同模穴的幾何形狀、位置及大小等，必須設計不同冷卻系統。冷卻劑的不同、冷卻管路相對位置、冷卻管路的大小及冷卻溫度設計等因素都影響到冷卻時間長短及冷卻系統之效益。

料管內之塑料經高溫融化又經壓縮，當螺桿停止轉動後，塑料會膨脹從射嘴流出，為使膨脹熔膠不從射嘴流出，故需在射膠動作結束時，將射

膠螺桿後退少許，以增加料管前端之空間，使塑料有多餘的空間膨脹而不至於從噴嘴流出。最後打開模穴，將成品、澆道系統及廢料頂出。

3-4 成形條件之各階段重點[1] [9] [11] [12]

在射出成型過程中一般熔膠溫度範圍：150 -350 °C。模具溫度範圍：40 -120 °C。因為熔膠帶來的熱量使模具溫度升高，而射出機噴嘴與模具澆口接觸亦使模具溫度上升。當充填完成後，還必須有冷卻系統降低模具溫度，使塑膠熔膠冷卻固化。

一般而言，射出成型各階段重點如下：

1. 塑化過程要完全熔化且溫度要一致
2. 充滿模穴時，模穴內各處溫度要一致，並且模穴內各處之固化層厚度盡量小且應一致，才能有效傳遞保壓階段之壓力
3. 充填過程波前速度要穩定，使表層分子拉伸程度一致，及剪切應力一致。
4. 保壓時模穴各處壓力一致，才能有一致的收縮
5. 冷卻過程中，模穴各處壓力應一致，各處之溫度也應有一致之降低速率，才能有一致之密度。
6. 不要超越塑料本質之性質，如溫度、剪切率、剪切應力，以免破壞塑料分子。

模溫控制之所以重要，因為模溫高低與冷卻速率將大為影響塑膠製品

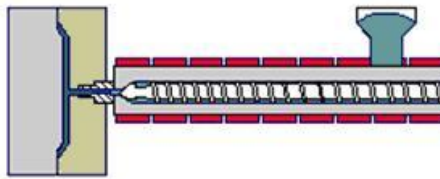
之外觀尺寸精度與殘留應力發生，其影響包括以下三點：

1. 對成形性及成形效率而言，模溫高則流動性佳。模溫低則能夠縮短固化時間，提高效率。
2. 對成形品物性而言，模溫高則塑膠材料之結晶度高，表面性質較佳。模溫低則材料迅速固化，容易不均勻冷卻造成殘留應力。
3. 對防止成品變形而言，冷卻不足容易發生收縮下陷。冷卻不均則容易收縮不平均，引起翹曲、扭曲。

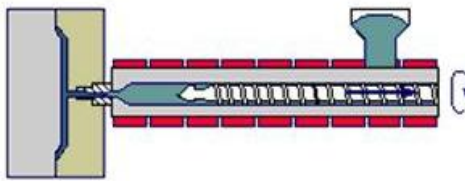




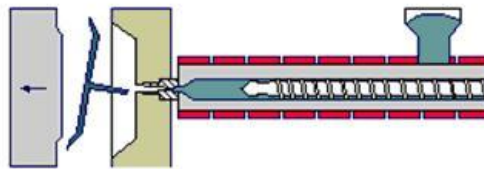
(1) Filling stage



(2) Packing stage



(3) Cooling stage



(4) Eject stage

圖3-1 射出成型製程步驟[1]

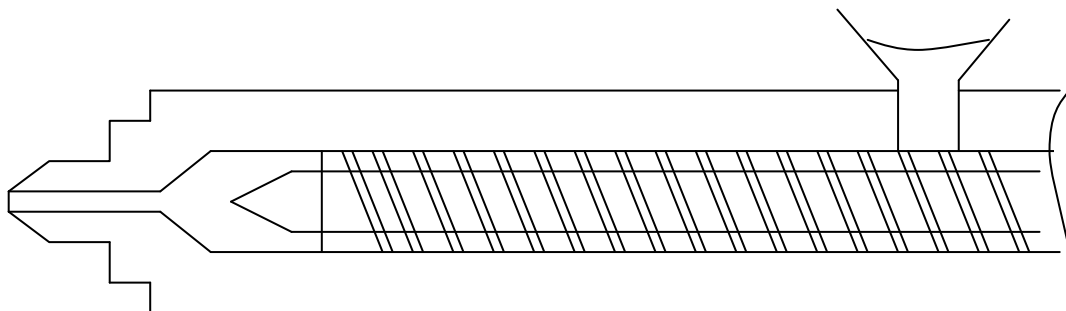


圖3-2 射出機之射出單元[11]

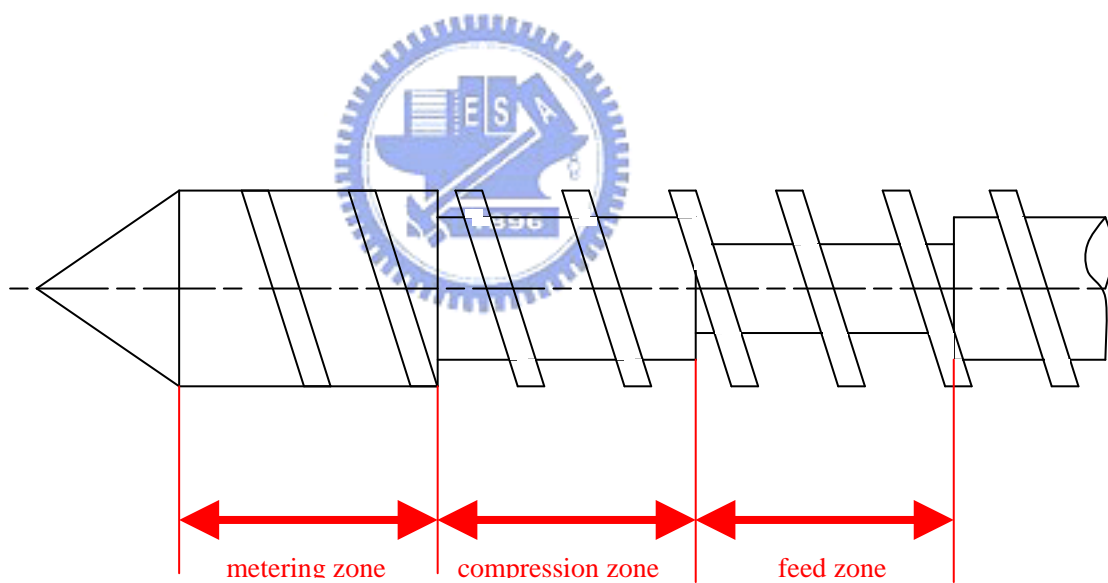


圖3-3 螺桿之三段區域示意圖[11]

第四章 實驗材料與設備

4-1 實驗試片

4-1-1 試片尺寸

本實驗試片之尺寸根據ASTM D638[19]，為長150mm×寬20mm×厚度（1.0mm、2.0mm、3.0mm、4.0mm），如圖4-1，共計四種不同厚度試片。

4-1-2 實驗材料

實驗材料為聚碳酸酯(PC)、聚甲醛(POM)、聚苯乙烯(PS)、丙烯樹脂(PP)，材料物性如表4-1至表4-4所示。

4-1-3 材料性質

工程塑膠定義為被用做工業零件或外殼材料的工業用塑膠，其強度、耐衝擊性、耐熱性、硬度及抗老化性均優的塑膠。日本業界的定義為「可以做為構造用及機械零件用之高性能塑膠，耐熱性在100°C以上，主要運用在工業上」。其性能包括：

1. 熱性質：玻璃轉移溫度(Tg)及熔點(Tm)高，可長期使用在溫度高、溫度範圍大的環境，熱膨脹係數小。
2. 機械性質：高強度、高機械模數、潛變性低、耐磨損、耐疲勞性。
3. 其他：耐化學藥品性、優良的抗電性、耐燃性、耐候性、尺寸安定性佳。

常用塑膠原料分類如圖 4-2 所示。

(1) PC 材料性質

PC屬於聚酯類(polyester)，碳酸酯組合(carbonate ester group)是由芳香族組合連結而成[20]。這結構可令物料有高熔膠黏度及良好的抗高溫能力。PC強硬、堅韌、透明，在不同的溫度範圍下，性質仍保不變；燃燒較慢(防火級為VI，甚至可以是V0)，有一定的絕緣性質，但不適用於有電弧的地方。加工不能滲入水份，否則塑料降質，不能抵抗缺口、化學品及UV光。遇到拉力時塑料容易破裂，不然可以抵抗蠕變。PC的抗衝擊力良好，尤其是於低溫下；可抵受高達135°C。有防火級及增強玻璃級，在某些情況下亦會應用PC與其他聚合物調配而成的塑料。例如，因為PC不能抵受汽油、低溫及水解，故在汽車工業上的用途有限。改良橡膠級的PC/PBT調配料在 -50°C下仍保持剛韌，能抵受高熱、燃油及風化，並可接受油漆及超聲波焊接。減少份子量的PC有較低黏度，加工溫度較低，故循環更快。將PC與POP接合，可改良防火性質。通常PC會與ABS接合，因為調配物料堅硬、透光、熱變形溫度高、容易著色及模塑。

主要用於電子、電子工程、醫學及打磨工程等用途，製品包括注射器、封蓋、眼鏡、頭盔、相機、風筒、卷髮器、熨斗手柄等。在醫學上，PC已代替不鏽鋼的用途，因為對血液無反應，而且容易消毒(利用氣體或伽瑪射線)。另外，又可製造鐳射唱碟，因為PC 符合尺寸穩定、表面平滑，低內部應力及定向性的要求。PC適合製造汽車緩衝器、前端及車翼。

(2) POM 材料性質

聚甲醛(或聚縮醛) polyformaldehyde 學名為聚氧亞甲基，是一種熱塑性結晶聚合物[20]。英文縮寫為POM。結構式為 $[-CH_2-O-]_n$ ，1942年以前，甲醛聚合得到的多半是聚合度不高、容易受熱解聚的聚氧亞甲基二醇 $HO(-CH_2-O)_nH$ ，其中 $n=8\sim 100$ 的為多聚甲醛；超過100的為聚甲醛，1955年前後，美國杜邦公司由甲醛聚合得到甲醛均聚物，即均聚甲醛，商品名為Delrin。美國塞拉尼斯公司由三聚甲醛出發，製得與少量二氧五環或環氧乙烷的共聚物，即共聚甲醛，商品名為 Celcon。

聚甲醛很容易結晶，結晶度70%；通過高溫退火，可增加結晶度。均聚甲醛的熔融溫度為 $181^{\circ}C$ ，密度為 1.425 g/cm^3 。共聚甲醛的熔點為 $170^{\circ}C$ 左右。均聚甲醛的玻璃化溫度為 $-60^{\circ}C$ 。酚類化合物是聚甲醛的最佳溶劑。從熔融指數的研究得知，均聚甲醛的分子量分布較窄。除強酸、氧化劑和苯酚外，共聚甲醛對其他化學試劑很穩定，而均聚甲醛還對濃氨水不穩定。經穩定處理的聚甲醛可加熱到 $230^{\circ}C$ 仍無顯著分解。聚甲醛可用熱壓、射出、押出、吹塑等方法成型，加工溫度為 $170\sim 200^{\circ}C$ ；也可用機床加工，還可焊接。製品質輕，堅硬，有剛性和彈性，尺寸穩定，摩擦係數小，吸水率低，絕緣性能良好，又耐有機溶劑；可在廣泛的溫度範圍($-50\sim 105^{\circ}C$)和濕度範圍內使用；在各種溶劑和化學試劑作用下，以及大負荷和長時間循環應力下保持性能不變。

聚甲醛可作為工程塑料，代替銅等有色金屬，用於汽車工業、機械工業中的配件如齒輪、泵、自潤滑軸承、葉輪、擠出螺桿、閘杆、螺母等，以及絕緣器件；還可製成儲槽、管道和農藥噴霧器等。

(3) PS 材料性質

聚苯乙烯 (polystyrene)，簡稱PS，苯乙烯的均聚物[20]。苯乙烯還能與眾多的單體生成共聚物。共聚物通常以其單體名稱間加“-”相連命名，例如丙烯-苯乙烯樹脂(AS)。苯乙烯的均聚物和共聚物通稱苯乙烯樹脂，都是熱塑性樹脂。由於聚苯乙烯的原料易得，性能好，成本低，所以發展較快。其產量在塑料中居第三位。

聚苯乙烯的數均分子量通常為5~30萬。非晶態聚苯乙烯的密度為1.04~1.065 g/mm³，玻璃化溫度為80~90℃；結晶聚合物的密度為1.11~1.12g/mm³，熔融溫度為240℃。電阻率為1020~1022歐·厘米，導熱係數0℃時為0.105瓦/(米·開)，100℃時為0.128瓦/(米·開)。由此可見，聚苯乙烯具有優良的絕熱、絕緣性能。此外，它還具有卓越的透明性。其最大的缺點是低溫易脆裂，長期使用溫度為0~70℃，但可用橡膠改性，以提高其衝擊強度，稱為高抗衝聚苯乙烯HIPS。

聚苯乙烯主要用作包裝材料，還常用作建築材料、汽車附件、無線電和電視機殼體、傢具、管材、儀表、以及玩具等。

(4) PP 材料性質

聚丙烯(polypropylene)為丙烯的聚合物[20]。英文縮寫為PP。聚丙烯原料豐富，綜合性能優良，容易加工成型，生產成本較低，所以用途廣泛。其缺點是低溫韌性較差，脆折溫度高(8°C左右)，且易老化。近年來通過共聚和共混等方法製得改性產品，其耐低溫性、耐衝擊性和耐老化性等有所提高，因此，用途日益擴大。自20世紀50年代納,G發現等規聚丙烯以來，其工業生產發展非常迅速。1981年聚丙烯的世界年產量已達400餘萬噸。

主要化學和物理性質聚丙烯的重均分子量約為3~7105，質輕，密度約0.91 g/mm³，熔融溫度約為174 °C，強度高，硬度大，耐磨並耐化學腐蝕，耐熱性好，可在120 °C使用，其性能不受環境濕度的影響。其製品的耐彎曲疲勞性優異，能經受幾十萬次彎折而不損壞。加工性能好，加工成型時收縮率低。



聚丙烯用途廣泛，可用於製作容器、包裝袋、薄膜等包裝運輸材料，大量用於汽車、建築、化工、醫療、農業和家庭用品等方面，它的成纖性良好，可經熔融紡絲製成纖維或不織布，其強度與尼龍相仿，用於製作地毯、濾布、工作服、運動服、衣料、蚊帳等，特別是它比水輕，有浮力，不吸濕，適用於製作水上用品，如纜繩、漁網等。

4-2 實驗設備

4-2-1 模具

模具採一模四穴之方式開發，所使用的材料為AISI-P20低碳模具用鋼(含碳量在0.28%-0.40% 之間)，模具採用兩片模板上下對開方式，其主澆道、澆道、澆口與模穴位於同一側。於上下模間並具有對稱之冷卻水管道設計，以使試片在成型過程中獲得適當溫度調節。其試片的製作方式為融膠流動方向與拉伸方向平行，且每單一試片的排列方向一致，以使模穴內之各試片的成型過程一致。試片在模具內的配置如圖4-3至圖4-4所示。

4-2-2 射出成型機

實驗所使用之射出成型機為TOYO公司所生產射出機，如圖4-5。其射出元件之螺桿直徑為45mm，最大射出率約115cm²/sec，鎖模單元為曲肘式鎖模機構，最大鎖模力可達150噸。控制面板可針對四階段不同速度、壓力控制，並依不同的射出條件給予設定。射出機詳細規格如表4-5。

4-2-3 模溫控制機

實驗所用的模溫機為信易牌系列模溫自動控溫機，如圖4-6，利用熱交換原理，機內之加熱器及冷卻器可精確調節熱煤的溫度，並經由模具內水路或油路快速循環於模具內部，將模具在成型的時間內保持穩定的溫度以確保成型品質提高生產效率，傳熱媒體為熱煤油，電熱功率為5.4kW，幫浦馬力為0.5 HP，幫浦壓力為2.5 kg/cm²，最大流量為65 l/min，使用溫度範圍

在60°C~150°C。

4-2-4 烘料機

實驗所用為信易牌烘料機，如圖4-7。在實驗前先將塑膠原料烘乾，以避免塑膠粒因受潮而影響材料特性。

4-2-5 加熱爐

本實驗使用之加熱爐，如圖4-8，能夠設定加熱溫度與加熱時間，並自動調整加熱速率以達到目標溫度與時間。以Thermal Couple量測爐內溫度與加熱爐顯示溫度比較，誤差約在1°C內。其缺點為加熱速度越快其誤差也就越大，以30分鐘從35°C加熱至130°C的情況下，30分鐘之後加熱爐sensor顯示溫度誤差大約為+7°C，需要約15分鐘以穩定溫度。因此若需要準確之溫度控制，本加熱爐以持溫時的溫度控制較為精確。加熱爐冷溫度與時間關係如表4-6。

4-2-6 拉伸試驗機

拉伸試驗使用電腦控制之MTS型號810之閉迴路液壓伺服控制10噸材料試驗機，如圖4-12。試驗中並利用自動化測試軟體與自動資料擷取系統，以電腦連續記錄試驗過程材料之拉伸負荷與相對位移量資料。試片拉斷後，

經由負荷與位移輸出數據，計算材料相關性質如應力與應變值、0.1% 偏位
降伏強度、抗拉強度、伸長量及楊氏模數等。



表4-1 聚碳酸酯樹脂(PC)材料物性表[21]

特性	數值	單位
流動係數	10	g/10min
密度	1.20	g/cm ³
引張強度	630	Kg/cm ²
延伸率 (降伏點)	6	%
彎曲模數	24000	Kg/cm ²
缺口衝擊強度	14.3	Kg-cm/cm
洛式硬度	77	M-Scale
玻璃轉移溫度	136	°C
軟化點	153	°C
成型收縮率	0.5-0.7	%
燃燒率	V-2	Class

表4-2 聚甲醛樹脂(POM)材料物性表[22]

特性	數值	單位
流動係數	2.5	g/10min
密度	1.42	g/cm ³
引張強度	700	Kg/cm ²
延伸率 (降伏點)	5	%
彎曲模數	26000	Kg/cm ²
缺口衝擊強度	14	Kg-cm/cm
洛式硬度	192	M-Scale
玻璃轉移溫度	160	°C
軟化點	178	°C
成型收縮率	2.0-2.2	%
燃燒率	HB	Class

表4-3 聚苯乙烯(PS)材料物性表[23]

特性	數值	單位
流動係數	5.0	g/10min
密度	1.05	g/cm ³
引張強度	320	Kg/cm ²
延伸率 (降伏點)	40	%
彎曲模數	21000	Kg/cm ²
缺口衝擊強度	10	Kg-cm/cm
洛式硬度	54	L-Scale
玻璃轉移溫度	86	°C
軟化點	102	°C
成型收縮率	1.2	%
燃燒率	HB	Class

表4-4 丙烯樹脂(PP)材料物性表[24]

特性	數值	單位
流動係數	22	g/10min
密度	0.9	g/cm ³
引張強度	345	Kg/cm ²
延伸率 (降伏點)	15	%
彎曲模數	12000	Kg/cm ²
缺口衝擊強度	5	Kg-cm/cm
洛式硬度	85	R-Scale
玻璃轉移溫度	90	°C
軟化點	145	°C
成型收縮率	1.4	%
燃燒率	HB	Class

表4-5 射出機詳細規格表

射膠系統 (Injection Unit)		
射膠量	10(293)	oz(g)
螺桿直徑	45	mm
射膠壓力	1700	kg/cm ²
射出率	115	cc/sec
螺桿行程	205	mm
螺桿轉速	10-150	RPM
鎖模系統 (Clamping Unit)		
鎖模力	150	Ton
開模行程	370	mm
容模量 (薄—厚)	200-450	mm
大柱內距	460×460	mm
油壓頂針	45×100	mm
動力系統 (Power Unit)		
油泵馬力	18.75(25)	kW(HP)
電熱容量	11	kW
系統壓力	145	kg/cm ²
油箱容量	400	liter
其它系統 (General Unit)		
循環系統	1.7	sec
機械尺寸	5.2×1.6×2.2	LWH-m
機械重量	5.6	ton

表4-6 加熱爐冷溫度與時間關係表

時間 溫度	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr	5 hr
150°C	141.4°C	131.4°C	122.3°C	114.2°C	106.9°C
126°C	117.4°C	107.4°C	98.3°C	90.2°C	82.9°C
80°C	71.4°C	61.4°C	52.3°C	44.2°C	36.9°C
76°C	67.4°C	57.4°C	48.3°C	40.2°C	32.9°C



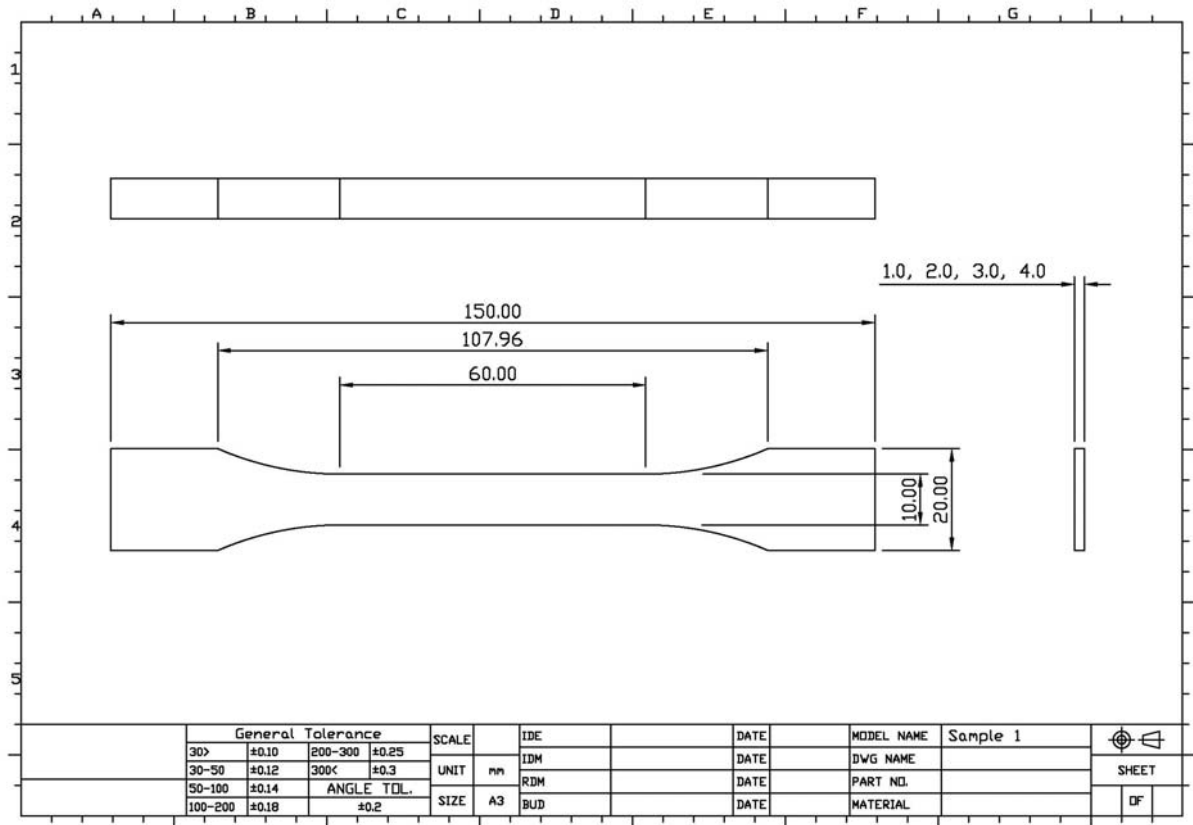


圖4-1 實驗試片圖面



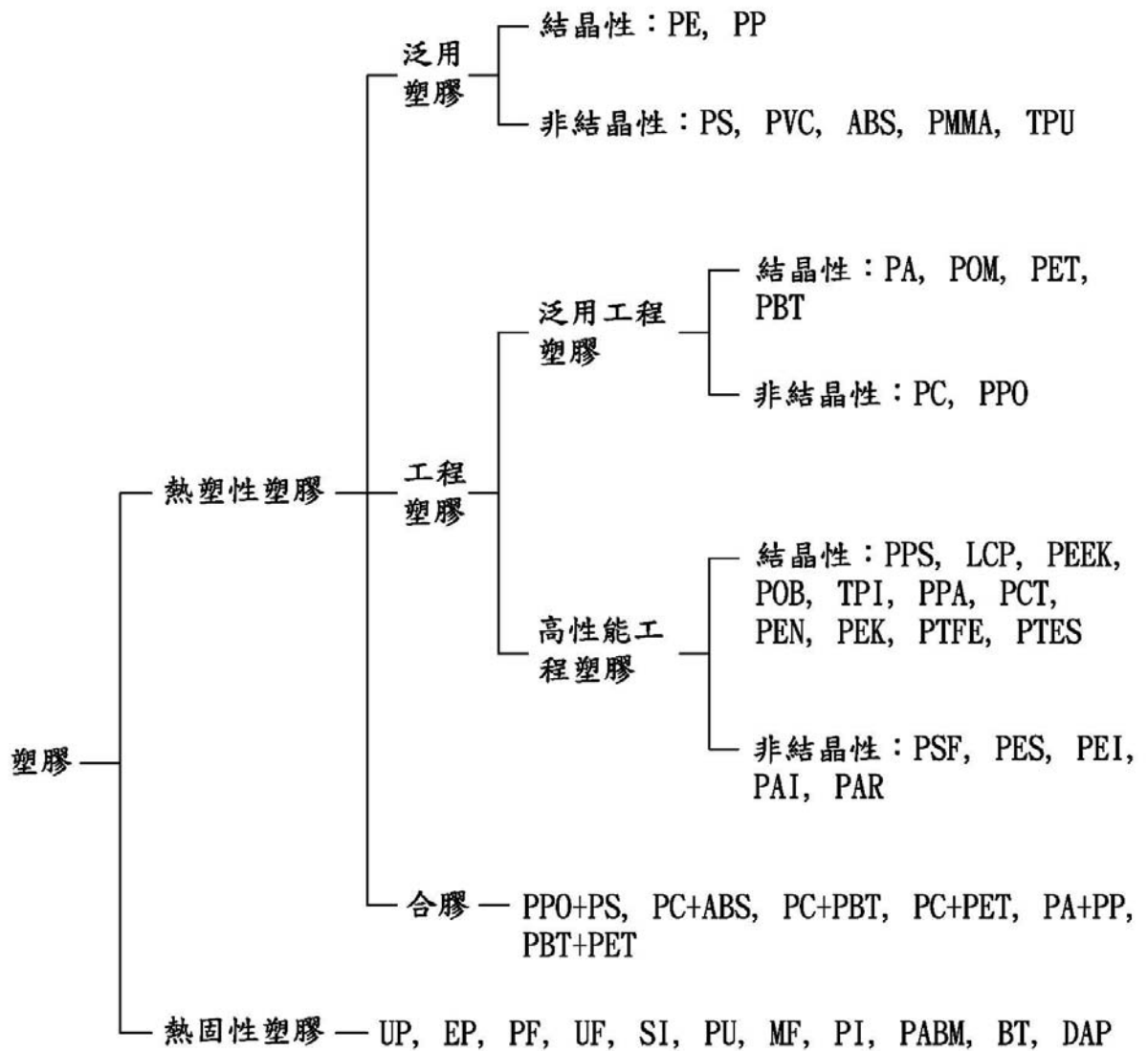


圖4-2 常用塑膠原料分類圖



圖4-5 TOYO 射出成型機



圖4-6 信易牌模溫控制機



圖4-7 信易牌烘料機



圖4-8 加熱爐



圖4-9 MTS 材料試驗機



圖4-10 2.5D 影像量測儀

第五章 實驗規劃與流程

5-1 實驗規劃

圖5-1為實驗流程圖。

5-2 實驗前測試

於完整實驗前，先進行試片之測試實驗，以作為實驗之參考依據。

5-2-1 試片退火處理溫度試驗

對於退火處理溫度一般以熱變形溫度以下為實際測試，測試一定範圍內數種退火處理溫度之效果，選擇不會使試片尺寸變形之最高溫度，作為往後退火處理之溫度，實驗使用2mm厚度之試片。翹曲量定義如圖5-2。

- (1) PC材料選定溫度為 121°C、126°C、131°C，退火處理一小時後之翹曲量如表5-1。選定退火處理溫度為126°C。
- (2) POM材料選定溫度為 145°C、150°C、155°C，退火處理一小時後之翹曲量如表5-2。選定退火處理溫度為150°C。
- (3) PS材料選定溫度為71°C、76°C、81°C，退火處理一小時後之翹曲量如表5-3。選定退火處理溫度為76°C。
- (4) PP材料選定溫度為75°C、80°C、85°C，退火處理一小時後之翹曲量如表5-4。選定退火處理溫度為80°C。

5-2-2 試片升溫階段試驗

- (1) 加熱方式：

將各材料為放入加熱爐中，固定方式以塑膠材質兩邊接觸支撐在爐中。

如圖5-3。

(2) 試驗結果：

由於加熱爐持溫時之溫度誤差約 1°C ，因此模擬時考慮溫度在 0.5°C 範圍內即視為達到熱平衡。試片升溫階段中，使用Thermal Couple量測各厚度試片於加熱爐中試片表面溫度變化，以得到實際熱平衡溫度所需之時間。

PC材料各厚度試驗實驗升溫曲線如圖5-4，達到熱平衡溫度與所需之時間如表5-5。

POM材料各厚度試驗實驗升溫曲線如圖5-5，達到熱平衡溫度與所需之時間如表5-6。



PS材料各厚度試驗實驗升溫曲線如圖5-6，達到熱平衡溫度與所需之時間如表5-7。

PP材料各厚度試驗實驗升溫曲線如圖5-7，達到熱平衡溫度與所需之時間如表5-8。

5-2-3 試片降溫試驗

比較PC材料2mm厚度之試片以 126°C 加熱三小時後，編號1為未退火處理之試片，編號2為爐冷至室溫之試片，編號3為爐冷三小時後取出之試片，編號4為退火處理時間結束後直接取出之試片，其比較其差異。

(1) 試片1以 126°C 未加熱之試片，抗拉強度為120.38 kgf，如圖5-8所示。

- (2) 試片2以126°C加熱三小時後爐冷至室溫時，抗拉強度為142.12 kgf，如圖5-9所示。
- (3) 試片3以126°C加熱三小時後爐冷三小時後取出，抗拉強度為141.35 kgf，如圖5-10所示。
- (4) 試片4以126°C加熱三小時後直接取出，抗拉強度為139.5 kgf，如圖5-11所示。

考量實驗時間，並且爐冷三小時與爐冷至室溫之差異不大，因此往後實驗時將選擇到達加熱時間後爐冷三小時之後取出試片。

5-3 試驗方法

5-3-1 拉伸試驗



拉伸試驗是依據ASTM D 638 [10]之標準試驗規範於室溫環境下，以單軸向拉伸方式進行，拉伸試驗採電腦行程控制，其拉伸速度為10mm/min。試驗是利用自動化測試軟體與自動資料擷取系統，並以電腦連續記錄試驗過程材料之拉伸負荷與相對位移量資料。試片拉斷後，經由負荷與位移輸出數據，計算材料相關性質如應力與應變值、降伏強度、極限強度、伸長量及楊氏模數等，實驗設備如圖4-12。

5-3-2 翹曲尺寸量測

利用非接觸式2.5D影像量測儀，如圖4-13，量測各試片退火處理前、後

試片翹曲度尺寸的差異。

5-3-3 退火處理實驗步驟

- (1) 將未進行退火處理之試片，進行翹曲度量測，接著以拉伸材料試驗機實驗，量測出試片之降伏強度、極限強度、應力應變值、伸長量與楊氏模數。
- (2) 進行不同厚度試片與不同時間之退火處理，實驗時間組數如表5-9。
- (3) 將退火處理後之試片進行翹曲度量測，取之翹曲度較小之溫度，接著以拉伸材料試驗機實驗，量測出試片之降伏強度、極限強度、應力應變值、伸長量與楊氏模數。
- (4) 分析各厚度與不同退火處理時間之試片，比較各試片之間各量測的降伏強度、極限強度、應力應變值與楊氏模數的變化，並分析各厚度試片分別與退火處理時間之關係，比較一般塑膠、工程塑膠、結晶與非結晶於退火處理效果之關係。

表5-1 PC 材料不同退火處理溫度時之翹曲量

溫度	翹曲量 (mm)	翹曲量 (mm)	翹曲量 (mm)	平均值 (mm)
未退火處理	0.05	0.05	0.04	0.05
121°C	0.06	0.07	0.07	0.07
126°C	0.07	0.08	0.07	0.07
131°C	0.12	0.11	0.12	0.012

表5-2 POM 材料不同退火處理溫度時之翹曲量

溫度	翹曲量 (mm)	翹曲量 (mm)	翹曲量 (mm)	平均值 (mm)
未退火處理	0.10	0.09	0.10	0.10
145°C	0.11	0.12	0.12	0.12
150°C	0.13	0.12	0.13	0.13
155°C	0.19	0.19	0.20	0.19

表5-3 PS 材料不同退火處理溫度時之翹曲量

溫度	翹曲量 (mm)	翹曲量 (mm)	翹曲量 (mm)	平均值 (mm)
未退火處理	0.07	0.07	0.08	0.07
71°C	0.07	0.08	0.08	0.08
76°C	0.08	0.08	0.09	0.08
81°C	0.12	0.12	0.14	0.13

表5-4 PP 材料不同退火處理溫度時之翹曲量

溫度	翹曲量 (mm)	翹曲量 (mm)	翹曲量 (mm)	平均值 (mm)
未退火處理	0.09	0.10	0.11	0.10
75°C	0.10	0.12	0.12	0.12
80°C	0.13	0.13	0.14	0.13
85°C	0.18	0.19	0.19	0.19

表5-5 PC 試片升溫結果

厚度(mm)	中心溫度達到 126°C 之時間(min)
1	3
2	6
3	9
4	13

表5-6 POM 試片升溫結果

厚度(mm)	中心溫度達到 150°C 之時間(min)
1	5
2	9
3	14
4	20

表5-7 PS 試片升溫結果

厚度(mm)	中心溫度達到 76°C 之時間(min)
1	4
2	7
3	10
4	13

表5-8 PP 試片升溫結果

厚度(mm)	中心溫度達到 80°C之時間(min)
1	4
2	6
3	8
4	10

表5-9 退火處理實驗組數

試片	退火處理時間 (min)					
	63	123	183	243	303	1440
PC 1mm	63	123	183	243	303	1440
PC 2mm	66	126	186	246	306	1440
PC 3mm	69	129	189	249	309	1440
PC 4mm	73	133	193	253	313	1440
POM 1mm	65	125	185	245	305	1440
POM 2mm	69	129	189	249	309	1440
POM 3mm	74	134	194	254	314	1440
POM 4mm	80	140	200	260	320	1440
PS 1mm	64	124	184	244	304	1440
PS 2mm	67	127	187	247	307	1440
PS 3mm	70	130	190	250	310	1440
PS 4mm	73	133	193	253	313	1440
PP 1mm	64	124	184	244	304	1440
PP 2mm	66	126	186	246	306	1440
PP 3mm	68	128	188	248	308	1440
PP 4mm	70	130	190	250	310	1440



圖5-1 實驗流程圖

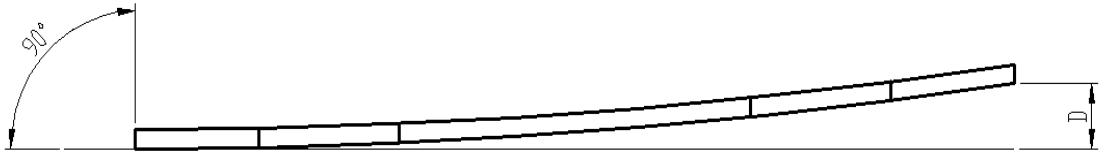


圖5-2 翹曲量定義 (D)



圖5-3 試片退火處理固定方式

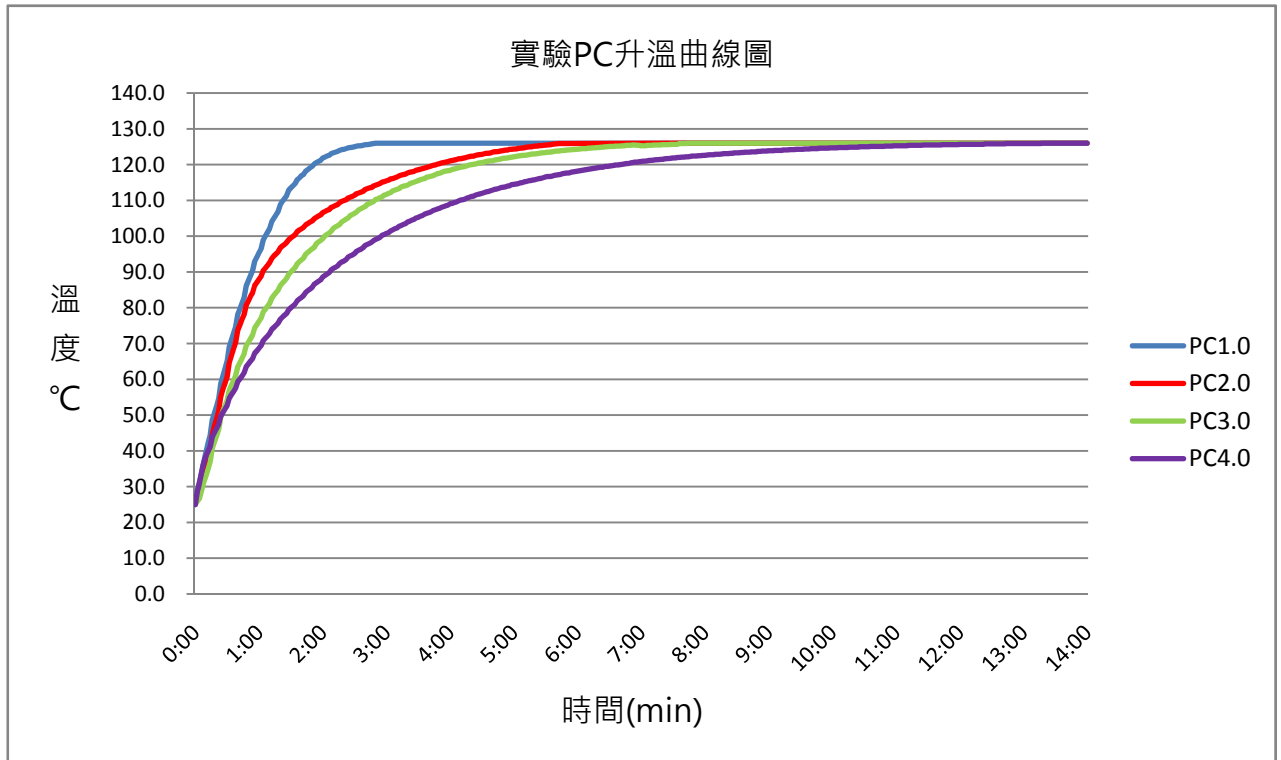


圖5-4 實驗 PC 升溫曲線圖

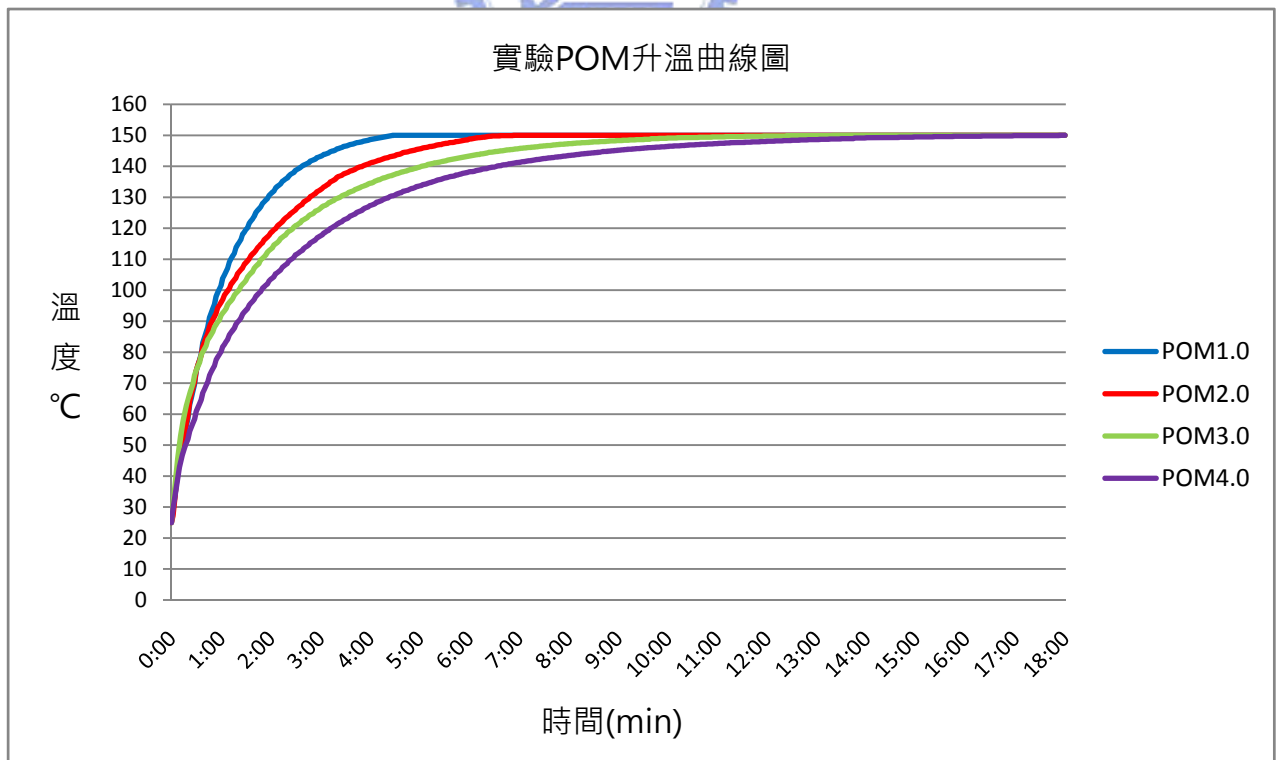


圖5-5 實驗 POM 升溫曲線圖

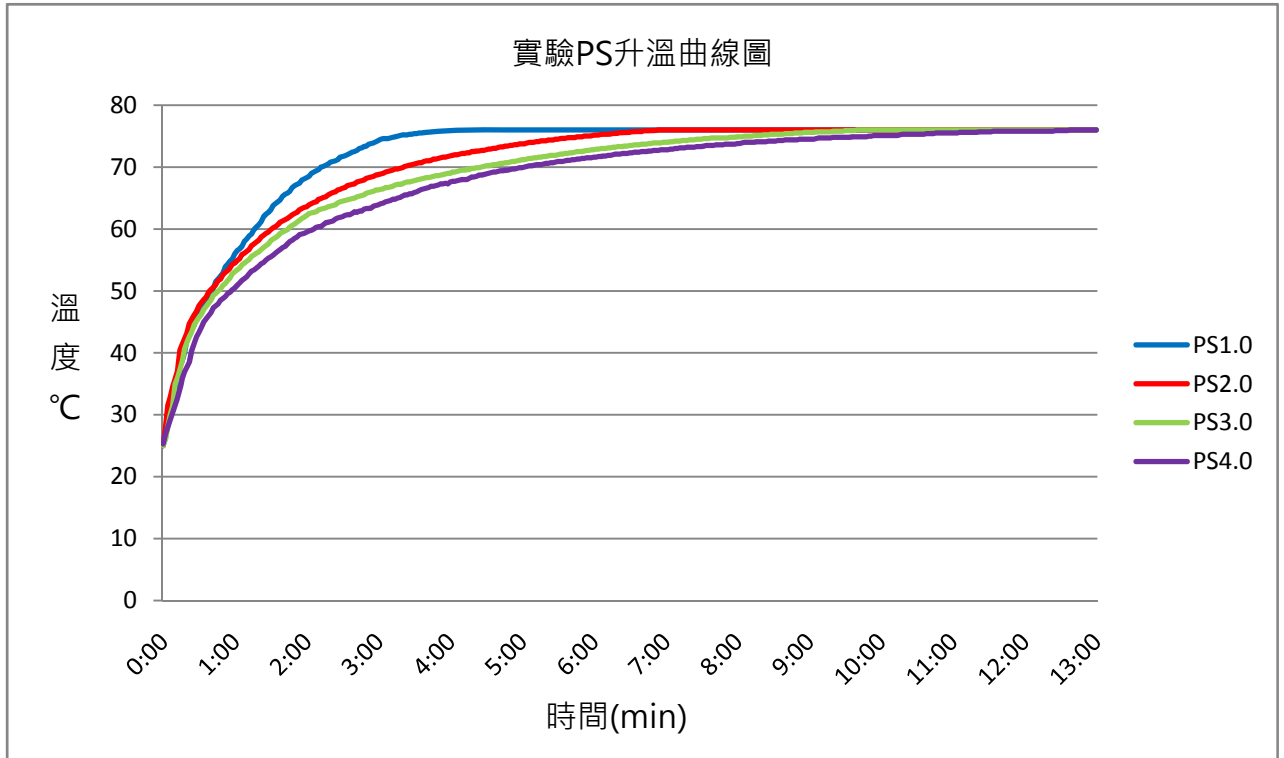


圖5-6 實驗 PS 升溫曲線圖

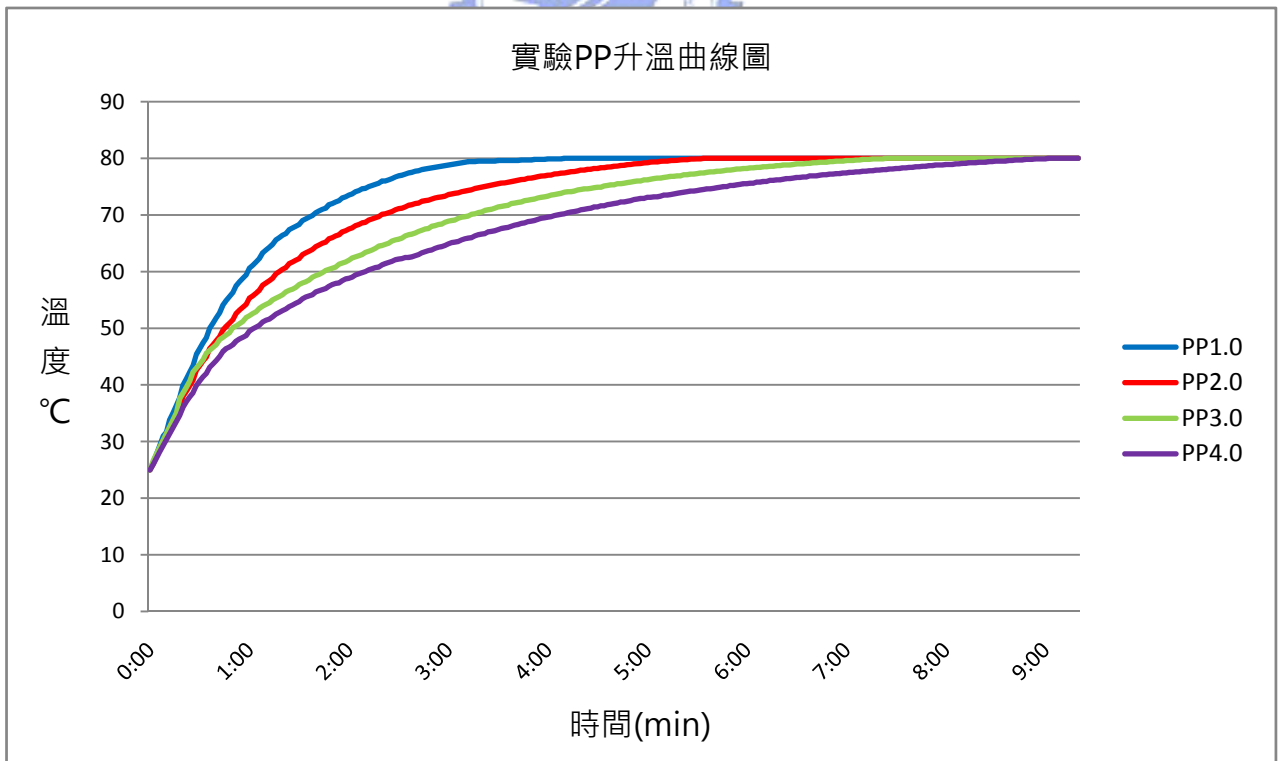


圖5-7 實驗 PP 升溫曲線圖

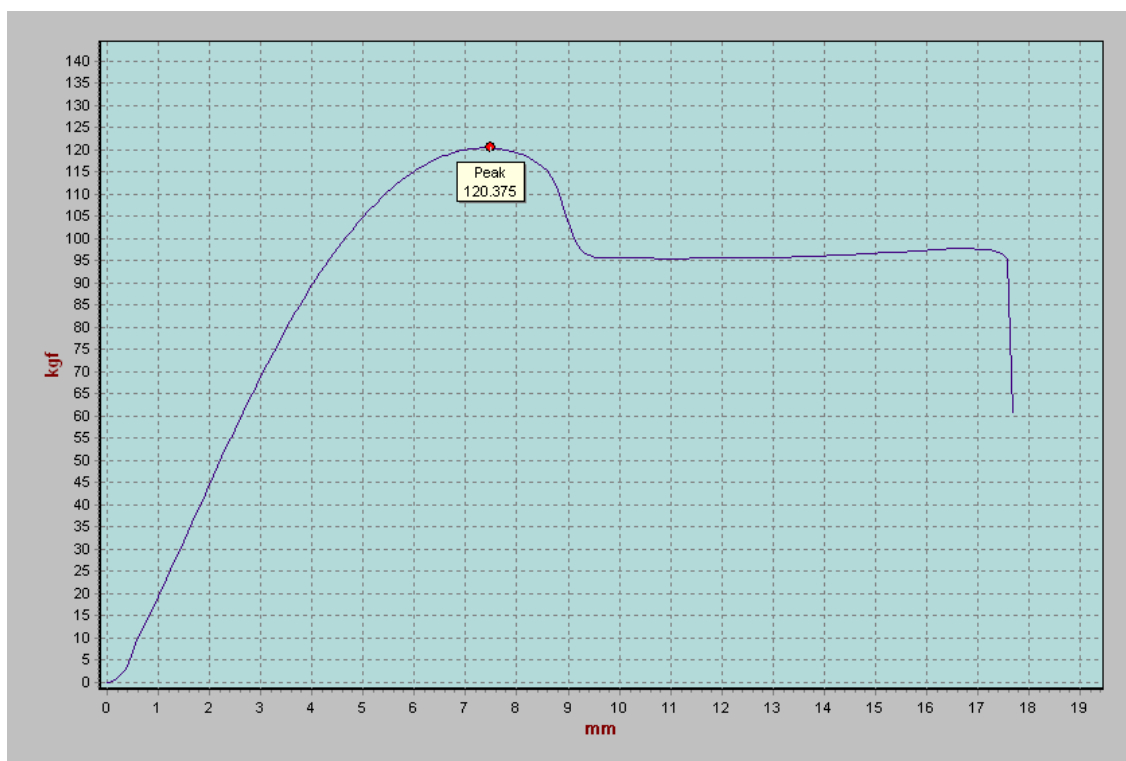


圖5-8 PC 試片未加熱拉伸試驗曲線圖

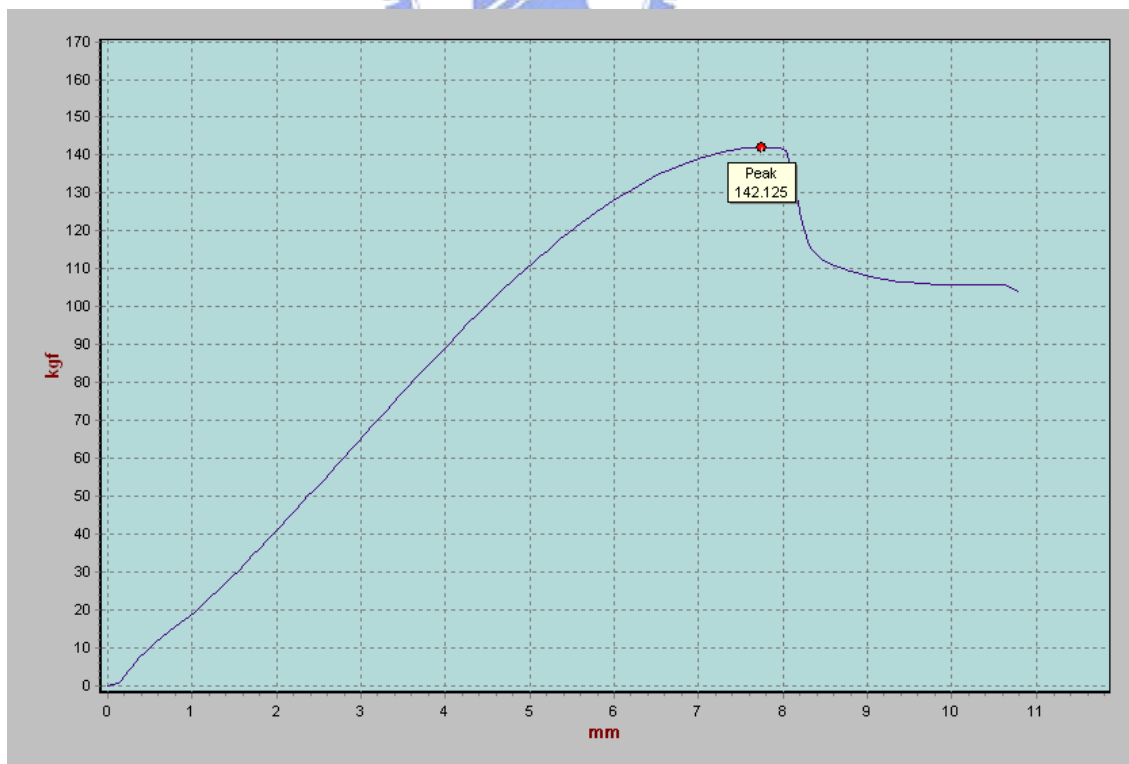


圖5-9 PC 試片加熱三小時爐冷至室溫拉伸試驗曲線圖

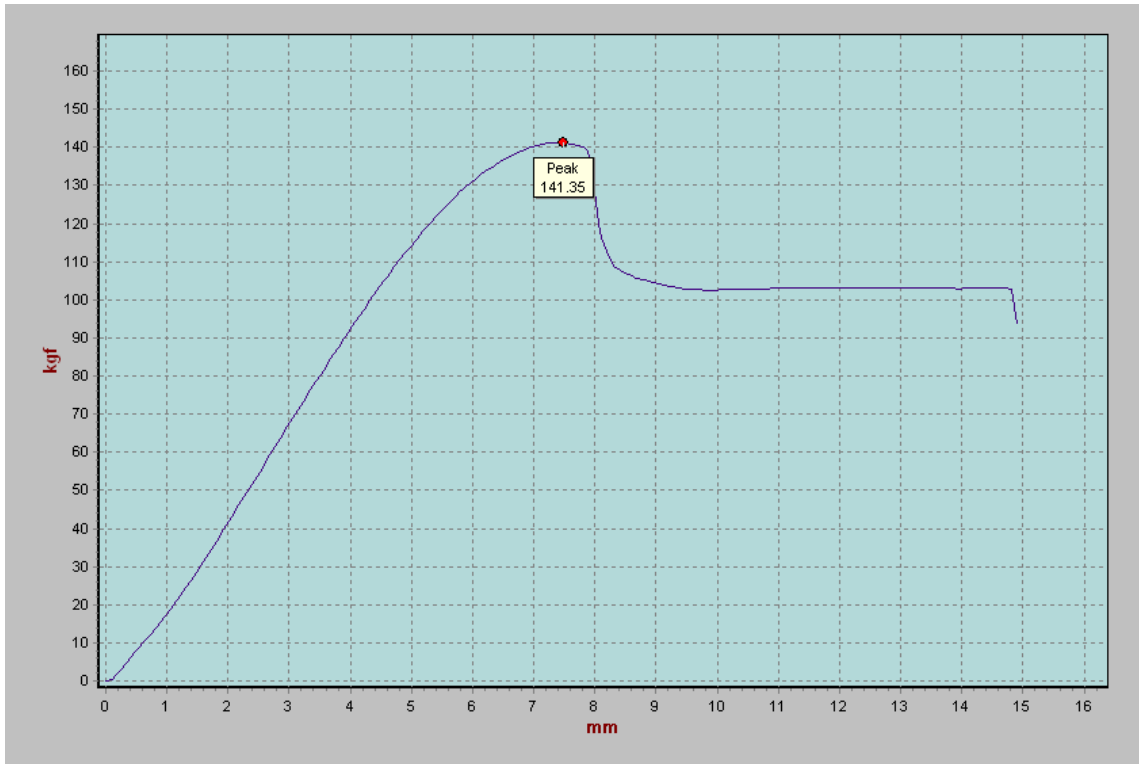


圖5-10 PC 試片加熱三小時爐冷三小時後拉伸試驗曲線圖

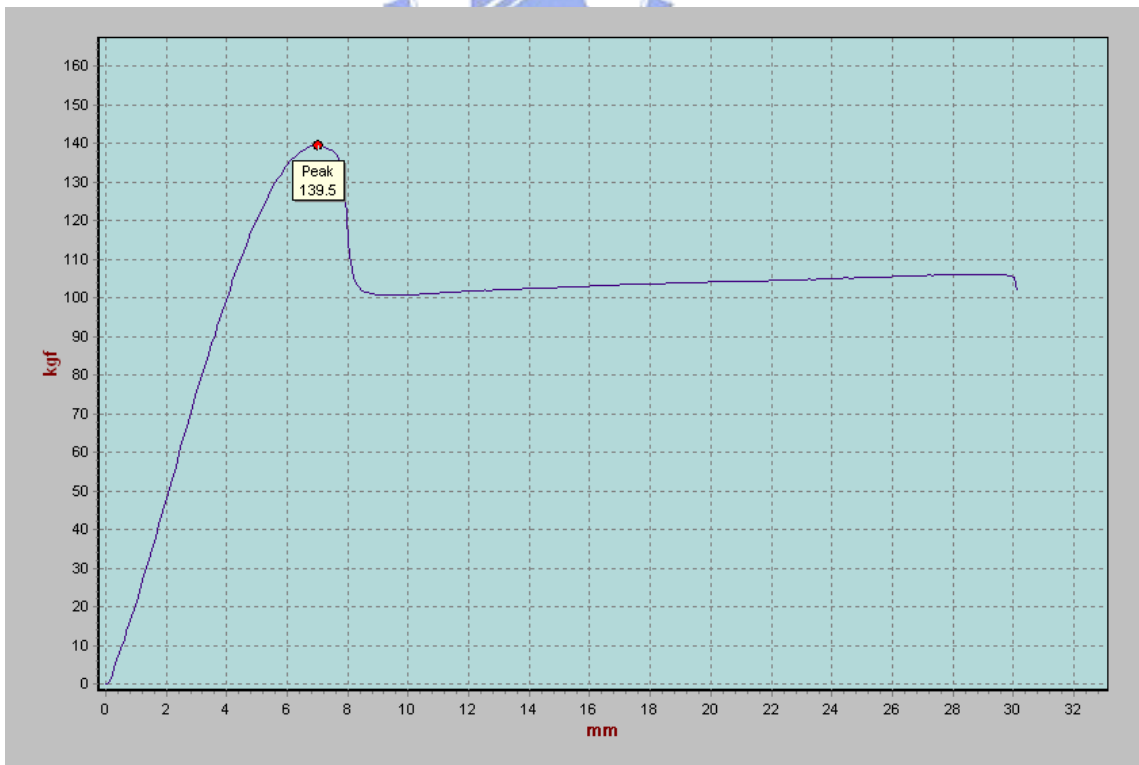


圖5-11 PC 試片加熱三小時直接取出拉伸試驗曲線圖

第六章 實驗結果分析與討論

6-1 實驗數據分析概述

分別分析PC、POM、PS、PP材料之四種不同厚度試片於不同退火處理時間後，其量測退火處理前後之機械性質關係，在四種材料的所有實驗數據中，比較同一種材料之不同退火處理之數據，可發現退火處理前與各不同退火處理時間後之拉伸強度之變化，因此可以得到不同退火處理時間後，試片變化的百分比。並藉此分析結晶性塑膠、非結晶性塑膠、工程塑膠、一般塑膠在退火處理後，拉伸強度變化的關係。

6-2 PC 材料

PC材料厚度1 mm



試片PC 1 mm在未退火處理前之抗拉強度拉伸試驗曲線如圖6-1。再將試片退火處理至時間63、123、183、243、303、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其拉伸試驗曲線如圖6-2至圖6-7，其試片之最大拉伸強度如表6-1。

以退火處理時間為橫軸，拉伸強度為縱軸，可以得到試片於不同退火處理時間，拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-8。並整理出不同退火處理時間後與未經過退火處理之拉伸強度變化百分比，如表6-2，繪出拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-9。

PC材料厚度2 mm

由於不同厚度試片皆使用相同之分析方法，因此之後直接說明數據分

析圖表：

試片PC 2 mm在未退火處理與退火處理66、126、186、246、306、1440分鐘後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-3，並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-10所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-4，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-11所示。

PC材料厚度3 mm

試片PC 3 mm在未退火處理與退火處理69、129、189、249、309、1440分鐘後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-5，並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-12所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-6，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-13所示。

PC材料厚度4 mm

試片PC 4 mm在未退火處理與退火處理73、133、193、253、313、1440分鐘後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-7，並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-14所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-8，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-15所示。

6-3 POM 材料

POM材料厚度1 mm

試片POM 1 mm在未退火處理與退火處理65、125、185、245、305、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-9。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-16所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-10，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-17所示。

POM材料厚度2 mm

試片POM 2 mm在未退火處理與退火處理69、129、189、249、309、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-11。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-18所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-12，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-19所示。

POM材料厚度3 mm

試片POM 3 mm在未退火處理與退火處理74、134、194、254、314、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-13。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-20所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-14，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-21所示。

POM材料厚度4 mm

試片POM 4 mm在未退火處理與退火處理80、140、200、260、320、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-15。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-22所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-16，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-23所示。

6-4 PS 材料

PS材料厚度1 mm

試片PS 1 mm在未退火處理與退火處理64、124、184、244、304、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-17。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-24所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-18，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-25所示。

PS材料厚度2 mm

試片PS 2 mm在未退火處理與退火處理67、127、187、247、307、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-19。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-26所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-20，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-27所示。

PS材料厚度3 mm

試片PS 3 mm在未退火處理與退火處理70、130、190、250、310、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-21。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-28所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-22，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-29所示。

PS材料厚度4 mm

試片PS 4 mm在未退火處理與退火處理73、133、193、253、313、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-23。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-30所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-24，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-31所示。

6-5 PP 材料

PP材料厚度1 mm

試片PP 1 mm在未退火處理與退火處理64、124、184、244、304、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-25。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-32所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-26，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-33所示。

PP材料厚度2 mm

試片PP 2 mm在未退火處理與退火處理66、126、186、246、306、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-27。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-34所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-28，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-35所示。

PP材料厚度3 mm

試片PP 3 mm在未退火處理與退火處理68、128、188、248、308、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-29。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-36所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-30，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-37所示。

PP材料厚度4 mm

試片PP 4 mm在未退火處理與退火處理70、130、190、250、310、1440分鐘到達後爐冷三小時取出，其試片之最大拉伸強度值，如表6-31。並繪製拉伸強度與退火處理時間之關係，如圖6-38所示

整理退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，如表6-32，並繪製拉伸強度百分比與退火處理時間之關係，如圖6-39所示。

6-6 PC 材料試片結果分析

整理PC不同厚度試片在各退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，可以得知，退火處理後拉伸強度變化的程度隨著試片厚度的增加而較好，也隨著退火處理時間的增加而較好，如圖6-40所示。

由圖6-40可以得知，對於PC材料而言，拉伸強度變化的百分比均隨著退火處理時間的增加而增加，為了瞭解退火處理時間對於PC試片拉伸強度增加的效率，將退火處理時間分為第一階段（未退火處理到60分鐘）、第二階段（60分鐘到300分鐘）、第三階段（300分鐘到1440分鐘），可得知各厚度試片在第一階段拉伸強度增加之效率占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為69%、厚度2 mm試片為68%、厚度3 mm試片為69%、厚度4 mm試片為67%，第二階段占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為21%、厚度2 mm試片為27%、厚度3 mm試片為26%、厚度4 mm試片為25%，第三階段占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為9%、厚度2 mm試片為5%、厚度3 mm試片為6%、厚度4 mm試片為8%，如圖6-41。可以得知試片退火處理60分鐘之拉伸強度增加效率比退火處理60分鐘至300分鐘區間之拉伸強度增加效率較佳，並且退火處理60分鐘至300分鐘區間之拉伸強度增加效率比退火處理300分鐘至1440分鐘區間之拉伸強度增加效率較佳。也可得知在塑膠材料PC試片中，退火處理在第一階段包含熱應力、殘留應力的消除、高分子鍊移動排列之影響下比第二階段無熱應力只有殘留應力的消

除、高分子鍊移動排列之影響下，拉伸強度增加效率較佳，並且在第二階段也比第三階段中只有高分子鍊移動排列之影響下，拉伸強度增加效率較佳。因此得知塑膠材料PC在退火處理後等效拉伸強度增加之效率隨著時間越久而越差。

6-7 POM 材料試片結果分析

整理POM不同厚度試片在各退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，可以得知，退火處理後拉伸強度變化的程度隨著試片厚度的增加而較好，也隨著退火處理時間的增加而較好，如圖6-42所示。

由圖6-42可以得知，對於POM材料而言，拉伸強度變化的百分比均隨著退火處理時間的增加而增加，為了瞭解退火處理時間對於POM試片拉伸強度增加的效率，將退火處理時間分為第一階段（未退火處理到60分鐘）、第二階段（60分鐘到300分鐘）、第三階段（300分鐘到1440分鐘），可得知各厚度試片在第一階段拉伸強度增加之效率占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為60%、厚度2 mm試片為62%、厚度3 mm試片為62%、厚度4 mm試片為61%，第二階段占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為31%、厚度2 mm試片為28%、厚度3 mm試片為35%、厚度4 mm試片為32%，第三階段占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為9%、厚度2 mm試片為10%、厚度3 mm試片為3%、厚度4 mm試片為6%，如圖6-43。可以得知

試片退火處理60分鐘之拉伸強度增加效率比退火處理60分鐘至300分鐘區間之拉伸強度增加效率較佳，並且退火處理60分鐘至300分鐘區間之拉伸強度增加效率比退火處理300分鐘至1440分鐘區間之拉伸強度增加效率較佳。也可得知在塑膠材料POM試片中，退火處理在第一階段包含熱應力、殘留應力的消除、高分子鍊移動排列之影響下比第二階段無熱應力只有殘留應力的消除、高分子鍊移動排列之影響下，拉伸強度增加效率較佳，並且在第二階段也比第三階段中只有高分子鍊移動排列之影響下，拉伸強度增加效率較佳。因此得知塑膠材料POM在退火處理後等效拉伸強度增加之效率隨著時間越久而越差。

6-8 PS 材料試片結果分析

整理PS不同厚度試片在各退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，可以得知，退火處理後拉伸強度變化的程度隨著試片厚度的增加而較好，也隨著退火處理時間的增加而較好，如圖6-44所示。

由圖6-44可以得知，對於PS材料而言，拉伸強度變化的百分比均隨著退火處理時間的增加而增加，為了瞭解退火處理時間對於PS試片拉伸強度增加的效率，將退火處理時間分為第一階段（未退火處理到60分鐘）、第二階段（60分鐘到300分鐘）、第三階段（300分鐘到1440分鐘），可得知各厚度試片在第一階段拉伸強度增加之效率占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為48%、厚度2 mm試片為50%、厚度

3 mm試片為49%、厚度4 mm試片為51%，第二階段占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為42%、厚度2 mm試片為46%、厚度3 mm試片為43%、厚度4 mm試片為46%，第三階段占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為11%、厚度2 mm試片為5%、厚度3 mm試片為8%、厚度4 mm試片為3%，如圖6-45。可以得知試片退火處理60分鐘之拉伸強度增加效率比退火處理60分鐘至300分鐘區間之拉伸強度增加效率較佳，並且退火處理60分鐘至300分鐘區間之拉伸強度增加效率比退火處理300分鐘至1440分鐘區間之拉伸強度增加效率較佳。也可得知在塑膠材料PS試片中，退火處理在第一階段包含熱應力、殘留應力的消除、高分子鍊移動排列之影響下比第二階段無熱應力只有殘留應力的消除、高分子鍊移動排列之影響下，拉伸強度增加效率較佳，並且在第二階段也比第三階段中只有高分子鍊移動排列之影響下，拉伸強度增加效率較佳。因此得知塑膠材料PS在退火處理後等效拉伸強度增加之效率隨著時間越久而越差。

6-9 PP 材料試片結果分析

整理PP不同厚度試片在各退火處理時間後拉伸強度變化之百分比，可以得知，退火處理後拉伸強度變化的程度隨著試片厚度的增加而較好，也隨著退火處理時間的增加而較好，如圖6-46所示。

由圖6-46可以得知，對於PP材料而言，拉伸強度變化的百分比均隨著


退火處理時間的增加而增加，為了瞭解退火處理時間對於PP試片拉伸強度增加的效率，將退火處理時間分為第一階段（未退火處理到60分鐘）、第二階段（60分鐘到300分鐘）、第三階段（300分鐘到1440分鐘），可得知各厚度試片在第一階段拉伸強度增加之效率占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為61%、厚度2 mm試片為68%、厚度3 mm試片為66%、厚度4 mm試片為71%，第二階段占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為26%、厚度2 mm試片為26%、厚度3 mm試片為23%、厚度4 mm試片為21%，第三階段占退火處理1440分鐘拉伸強度增加效率之百分比為，厚度1 mm試片為14%、厚度2 mm試片為6%、厚度3 mm試片為11%、厚度4 mm試片為8%，如圖6-47。可以得知試片退火處理60分鐘之拉伸強度增加效率比退火處理60分鐘至300分鐘區間之拉伸強度增加效率較佳，並且退火處理60分鐘至300分鐘區間之拉伸強度增加效率比退火處理300分鐘至1440分鐘區間之拉伸強度增加效率較佳。也可得知在塑膠材料PS試片中，退火處理在第一階段包含熱應力、殘留應力的消除、高分子鍊移動排列之影響下比第二階段無熱應力只有殘留應力的消除、高分子鍊移動排列之影響下，拉伸強度增加效率較佳，並且在第二階段也比第三階段中只有高分子鍊移動排列之影響下，拉伸強度增加效率較佳。因此得知塑膠材料PS在退火處理後等效拉伸強度增加之效率隨著時間越久而越差。

6-10 結晶性塑膠與結晶性塑膠之分析比較

POM與PC之分析比較

參考圖6-48至圖6-51，比較POM材料與PC材料於相同時間之退火處理時，POM材料拉伸強度增加的效果較佳，比較POM材料與PC材料退火處理後拉伸強度增加效果之比值，可得知材料厚度1 mm試片經過退火處理60分鐘後，POM材料為PC材料之1.11倍，經過退火處理120分鐘後為1.11倍，經過退火處理180分鐘後為1.23倍，經過退火處理240分鐘後為1.24倍，經過退火處理300分鐘後為1.28倍，經過退火處理1440分鐘後為1.28倍，其餘比值可參考表6-33。

PP與PS之分析比較



參考圖6-52至圖6-55，比較PP材料與PS材料於相同時間之退火處理時，PP材料拉伸強度增加的效果較佳，比較PP材料與PS材料退火處理後拉伸強度增加效果之比值，可得知材料厚度1 mm試片經過退火處理60分鐘後，PP材料為PS材料之4.52倍，經過退火處理120分鐘後為3.70倍，經過退火處理180分鐘後為3.35倍，經過退火處理240分鐘後為3.37倍，經過退火處理300分鐘後為3.44倍，經過退火處理1440分鐘後為3.55倍，其餘比值可參考表6-34。

比較結果

因POM與PP皆為結晶性塑膠，PC與PS為非結晶性塑膠，因此推論原因

為結晶性塑膠於退火處理時，塑膠分子排列位移效果比非結晶性塑膠效果較好，因此在非結晶性塑膠（如：PC、PS）與結晶性塑膠（如：POM、PP），在經過退火處理後拉伸強度增加之效果上，結晶性材料比非結晶塑膠較佳。



表6-1 PC 1mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	66.88
63	71.11
123	71.57
183	71.81
243	72.06
303	72.40
1440	72.97

表6-2 PC 1 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
63	6.32
123	7.01
183	7.37
243	7.74
303	8.25
1440	9.10

表6-3 PC 2 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	63.52
66	68.26
126	68.77
186	69.30
246	69.46
306	70.16
1440	70.54

表6-4 PC 2 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
66	7.46
126	8.27
186	9.11
246	9.35
306	10.46
1440	11.05

表6-5 PC 3 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	62.42
69	68.01
129	68.57
189	69.07
249	69.41
309	70.11
1440	70.57

表6-6 PC 3 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
69	8.95
129	9.86
189	10.65
249	11.20
309	12.33
1440	13.06

表6-7 PC 4 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	58.79
73	64.83
133	65.42
193	65.60
253	66.36
313	67.08
1440	67.84

表6-8 PC 4 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
73	10.26
133	11.26
193	11.58
253	12.86
313	14.10
1440	15.39

表6-9 POM 1 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	56.40
65	60.34
125	60.78
185	61.52
245	61.79
305	62.35
1440	62.97

表6-10 POM 1 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
65	6.99
125	7.77
185	9.07
245	9.56
305	10.55
1440	11.65

表6-11 POM 2 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	52.11
69	56.42
129	56.90
189	57.35
249	57.98
309	58.32
1440	59.02

表6-12 POM 2 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
69	8.28
129	9.20
189	10.07
249	11.27
309	11.93
1440	13.26

表6-13 POM 3 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	50.70
74	55.49
134	56.48
194	57.19
254	57.54
314	58.23
1440	58.46

表6-14 POM 3 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
74	9.46
134	11.41
194	12.81
254	13.50
314	14.86
1440	15.31

表6-15 POM 4 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	48.52
80	53.84
140	54.90
200	56.02
260	56.55
320	56.65
1440	57.20

表6-16 POM 4 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
80	10.95
140	13.13
200	15.46
260	16.54
320	16.75
1440	17.88

表6-17 PS 1 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	31.60
64	32.34
124	32.53
184	32.67
244	32.92
304	32.99
1440	33.16

表6-18 PS 1 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
64	2.36
124	2.95
184	3.38
244	4.19
304	4.41
1440	4.93

表6-19 PS 2 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	26.83
67	27.57
127	27.74
187	28.01
247	28.09
307	28.26
1440	28.33

表6-20 PS 2 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
67	2.78
127	3.40
187	4.42
247	4.70
307	5.34
1440	5.59

表6-21 PS 3 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	23.25
70	23.95
130	24.24
190	24.48
250	24.54
310	24.58
1440	24.68

表6-22 PS 3 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
70	3.02
130	4.26
190	5.27
250	5.55
310	5.69
1440	6.16

表6-23 PS 4 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	22.07
73	22.79
133	23.14
193	23.36
253	23.41
313	23.46
1440	23.49

表6-24 PS 4 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
73	3.29
133	4.88
193	5.84
253	6.06
313	6.29
1440	6.45

表6-25 PP 1 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	35.91
64	39.74
124	39.83
184	39.98
244	40.98
304	41.35
1440	42.21

表6-26 PP 1 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
64	10.65
124	10.92
184	11.33
244	14.11
304	15.15
1440	17.53

表6-27 PP 2 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	28.48
66	32.33
126	32.47
186	32.66
246	33.14
306	33.79
1440	34.12

表6-28 PP 2 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
66	13.51
126	13.99
186	14.68
246	16.35
306	18.64
1440	19.79

表6-29 PP 3 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	26.38
68	30.42
128	30.83
188	31.05
248	31.70
308	31.87
1440	32.55

表6-30 PP 3 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
68	15.32
128	16.85
188	17.68
248	20.15
308	20.81
1440	23.37

表6-31 PP 4 mm 退火處理前後拉伸強度表

退火處理時間(min)	最大抗拉強度(MPa)
未退火處理	24.66
70	29.16
130	29.44
190	29.65
250	30.20
310	30.51
1440	31.01

表6-32 PP 4 mm 退火處理前後拉伸強度變化百分比

退火處理時間(min)	抗拉強度變化(%)
未退火處理	0.00
70	18.27
130	19.41
190	20.26
250	22.47
310	23.74
1440	25.78

表6-33 POM 與 PC 退火處理後拉伸強度增加效果之比值

退火處理時間(min)	1mm	2mm	3mm	4mm
60	1.11	1.11	1.06	1.07
120	1.11	1.11	1.16	1.17
180	1.23	1.11	1.20	1.34
240	1.24	1.20	1.21	1.29
300	1.28	1.14	1.21	1.19
1440	1.28	1.20	1.17	1.16

表6-34 PP 與 PS 退火處理後拉伸強度增加效果之比值

退火處理時間(min)	1mm	2mm	3mm	4mm
60	4.52	4.86	5.07	5.56
120	3.70	4.12	3.96	3.98
180	3.35	3.32	3.35	3.47
240	3.37	3.48	3.63	3.70
300	3.44	3.49	3.66	3.78
1440	3.55	3.54	3.80	3.99

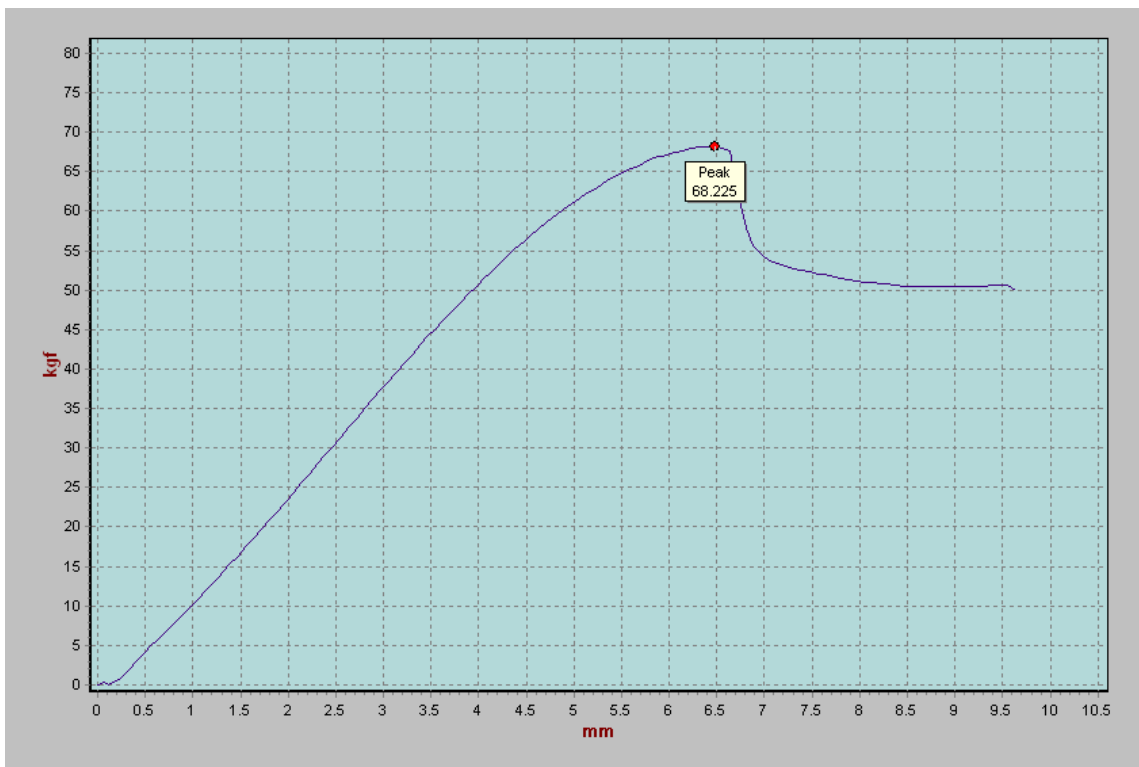


圖6-1 PC 1 mm 未退火處理

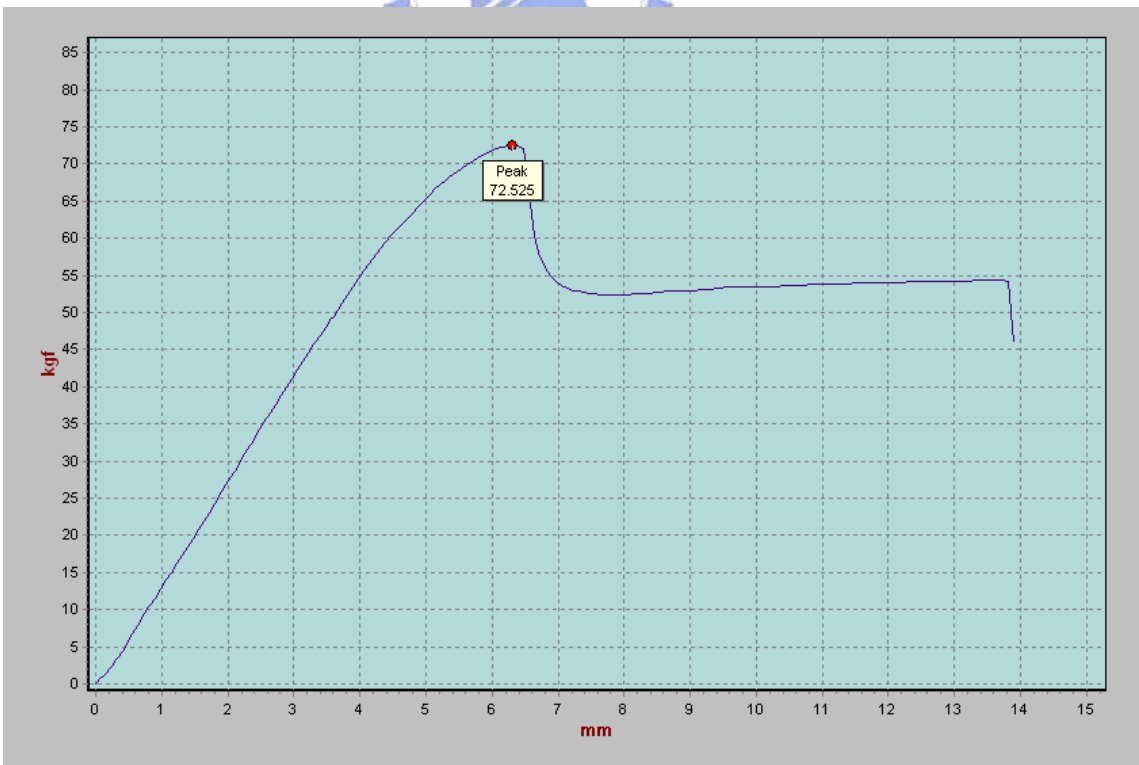


圖6-2 PC 1 mm 退火處理 63min

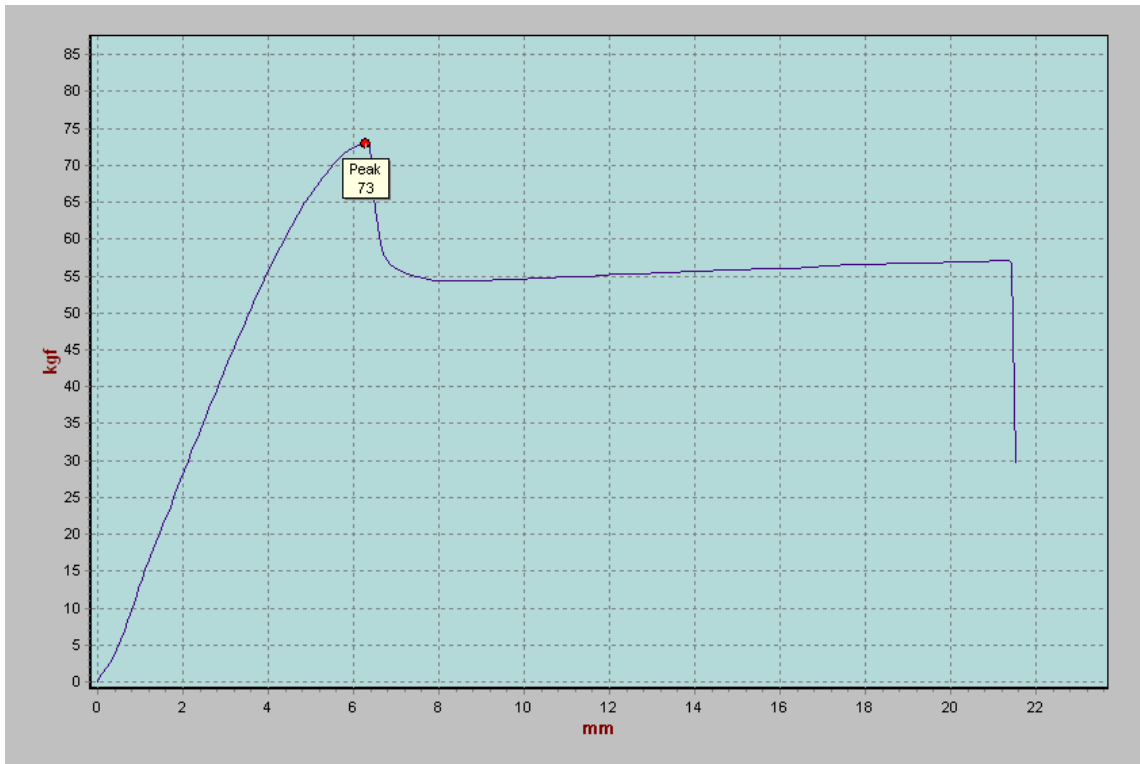


圖6-3 PC 1 mm 退火處理 123min

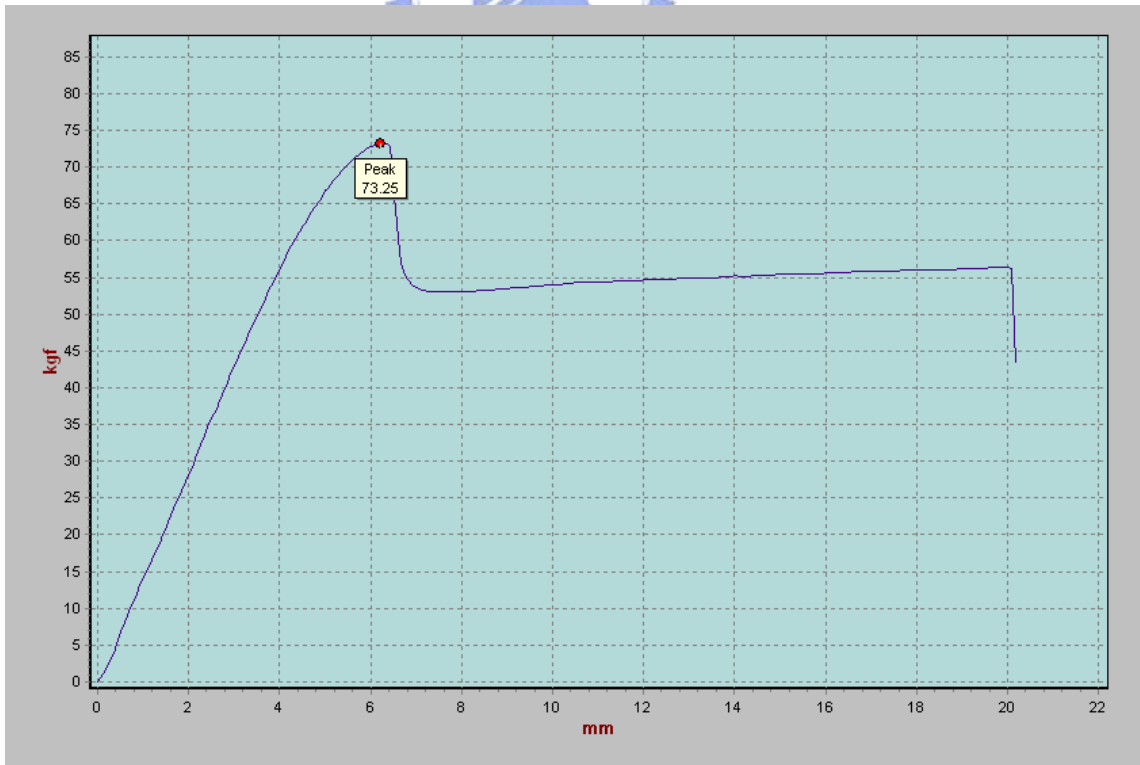


圖6-4 PC 1 mm 退火處理 183min

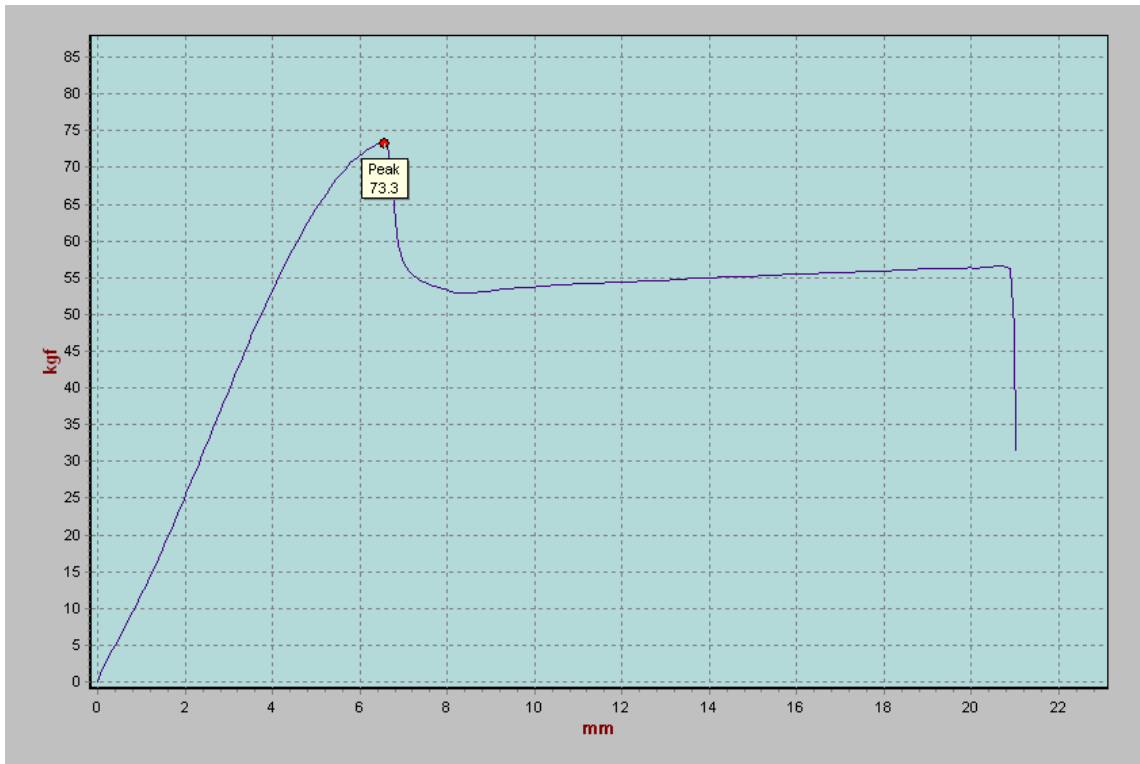


圖6-5 PC 1 mm 退火處理 243min

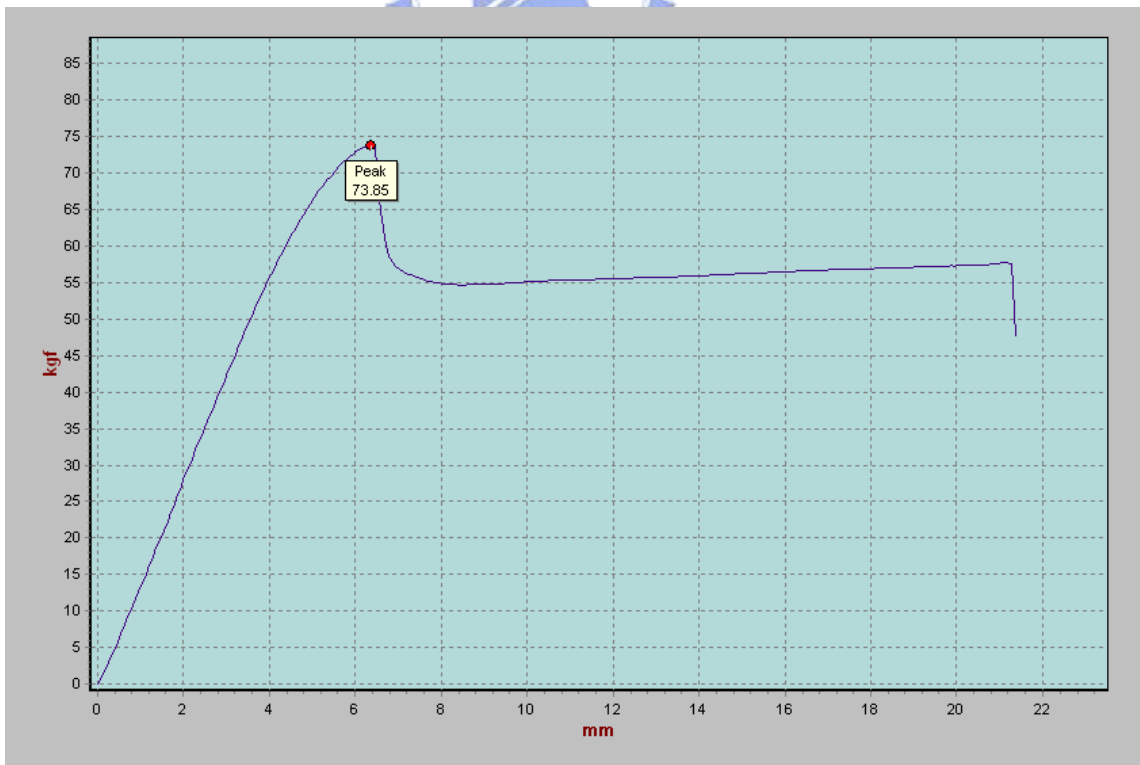


圖6-6 PC 1 mm 退火處理 303min

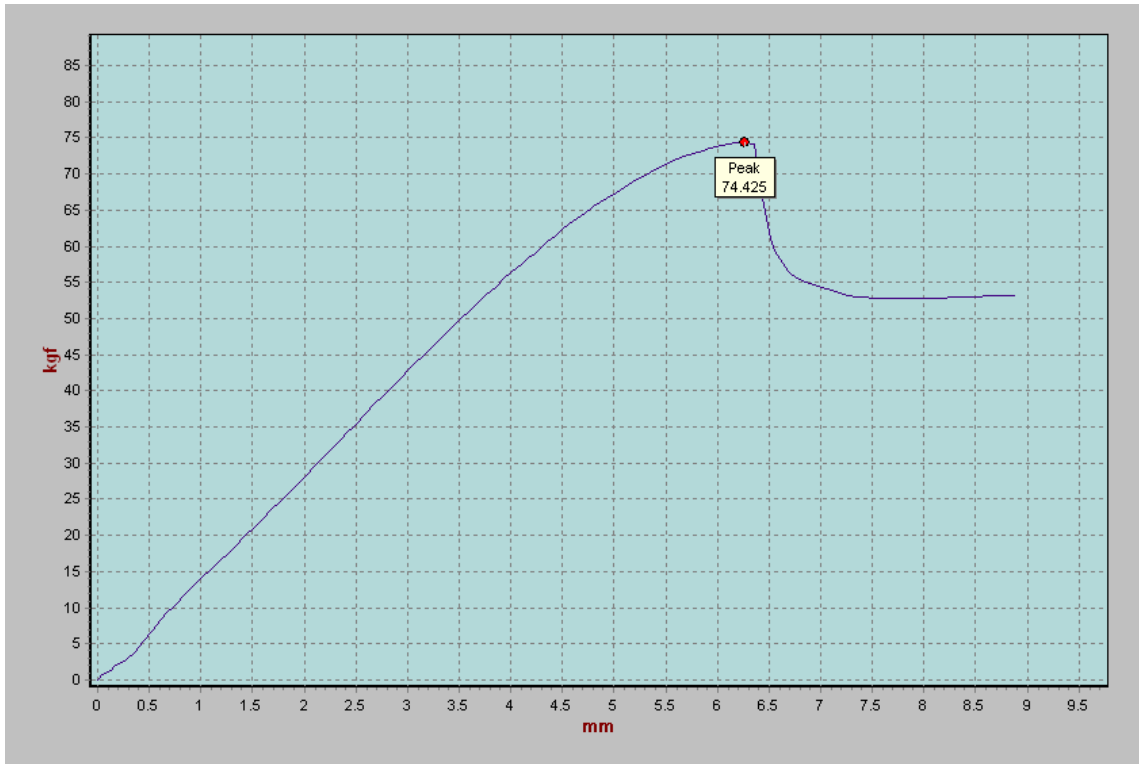


圖6-7 PC 1 mm 退火處理 1440min

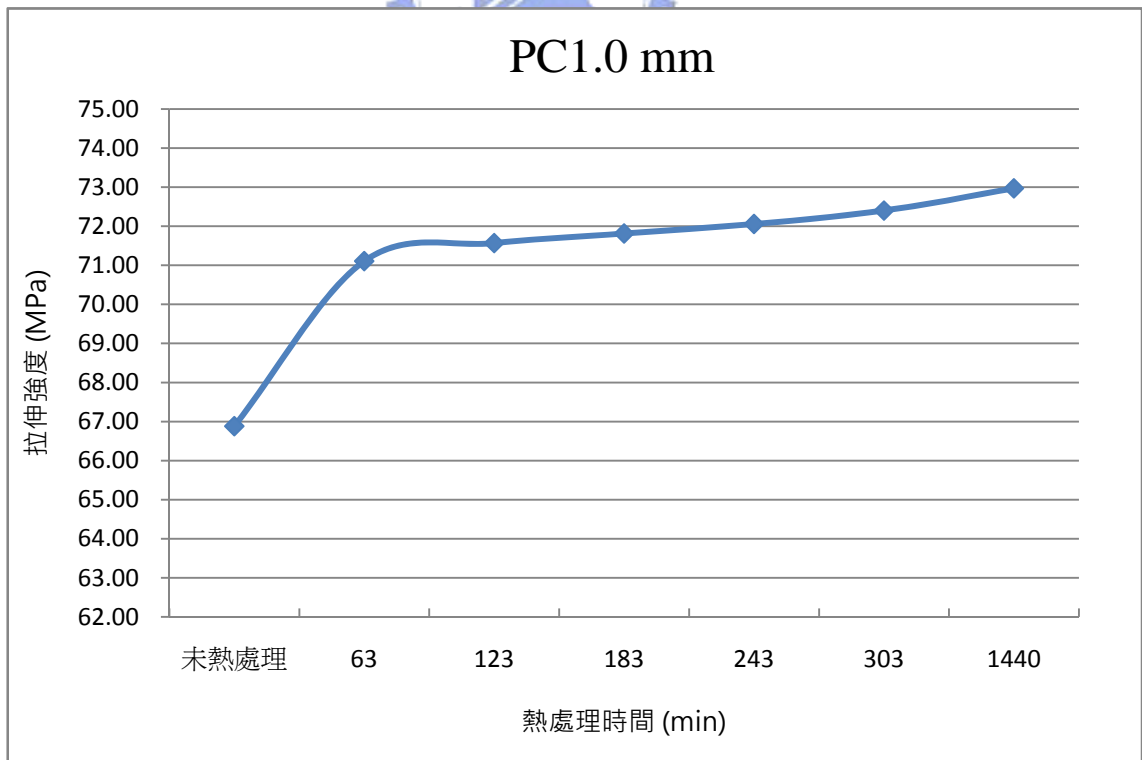


圖6-8 PC 1 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

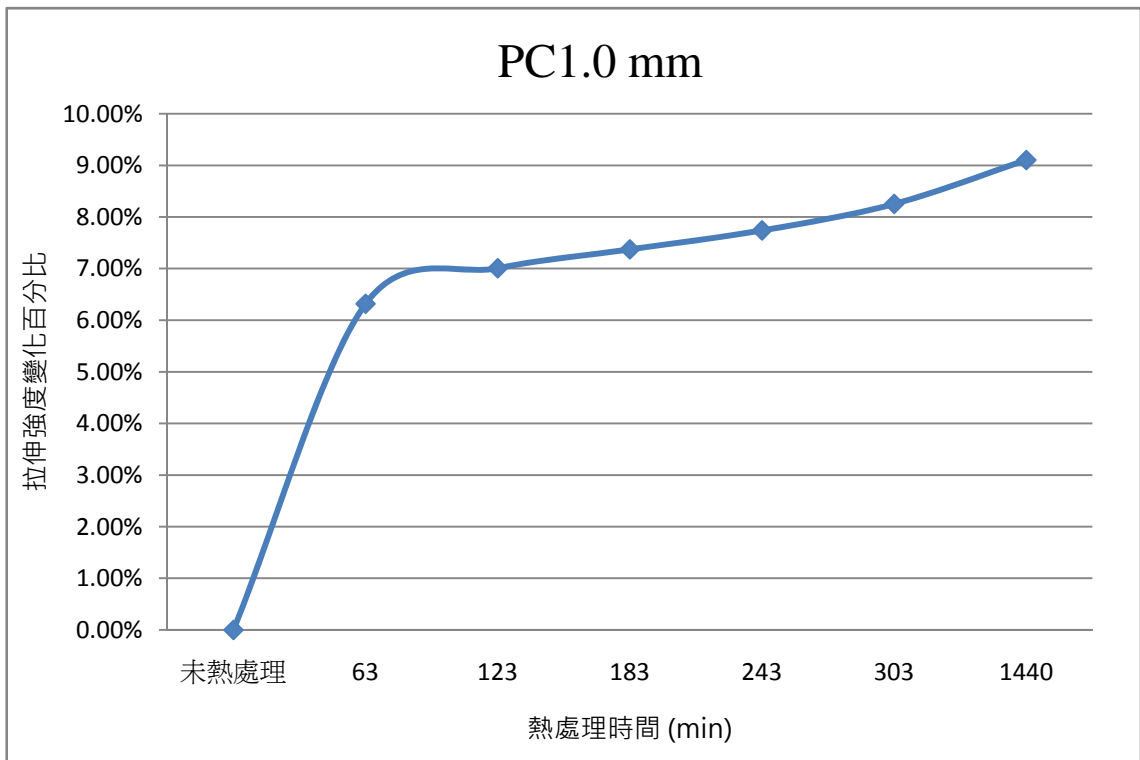


圖6-9 PC 1 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

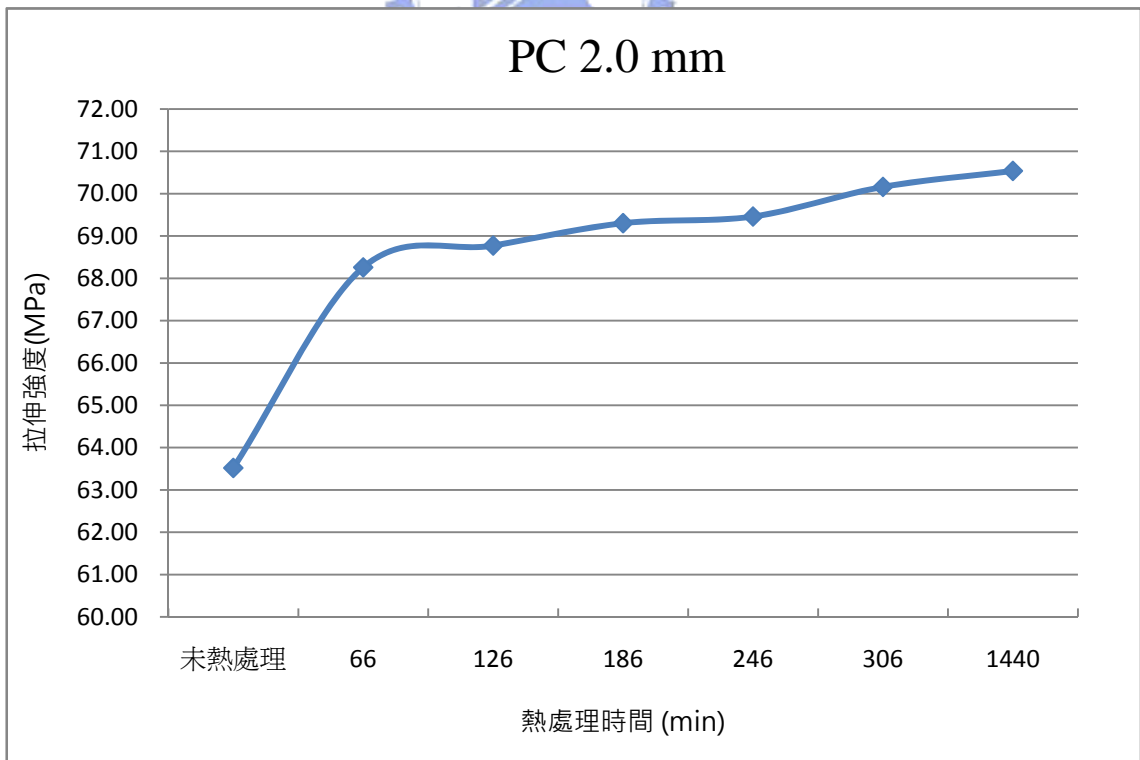


圖6-10 PC 2 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

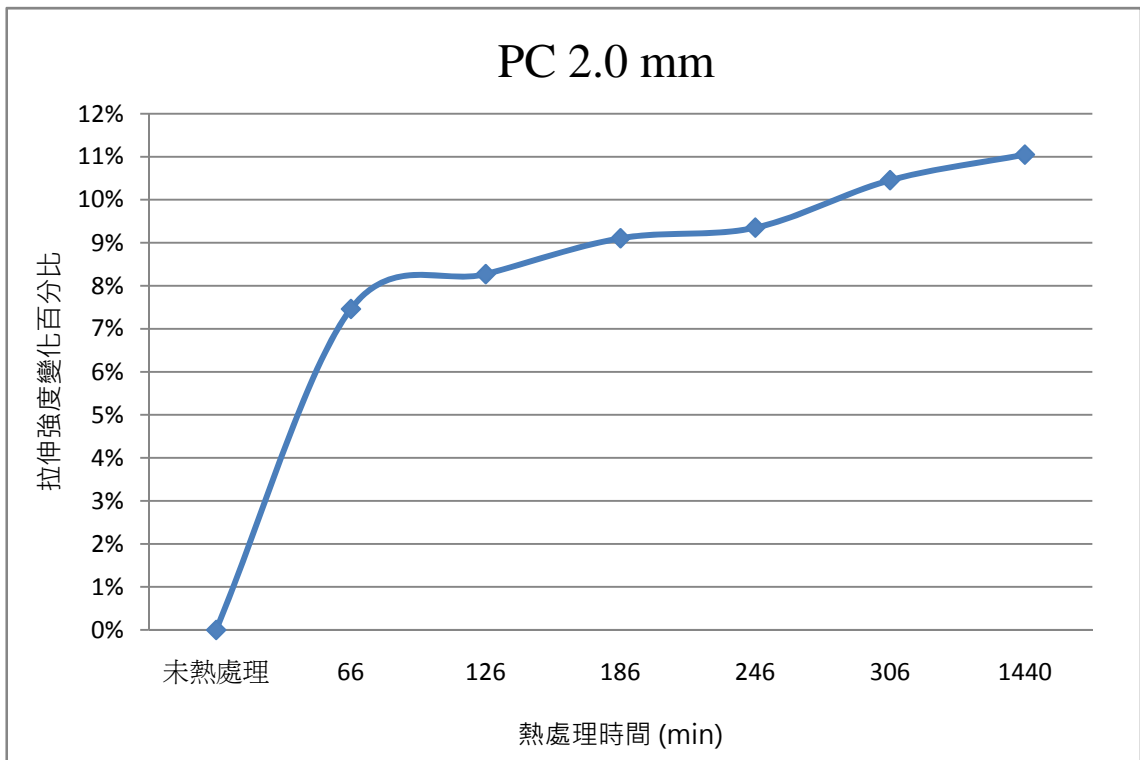


圖6-11 PC 2 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

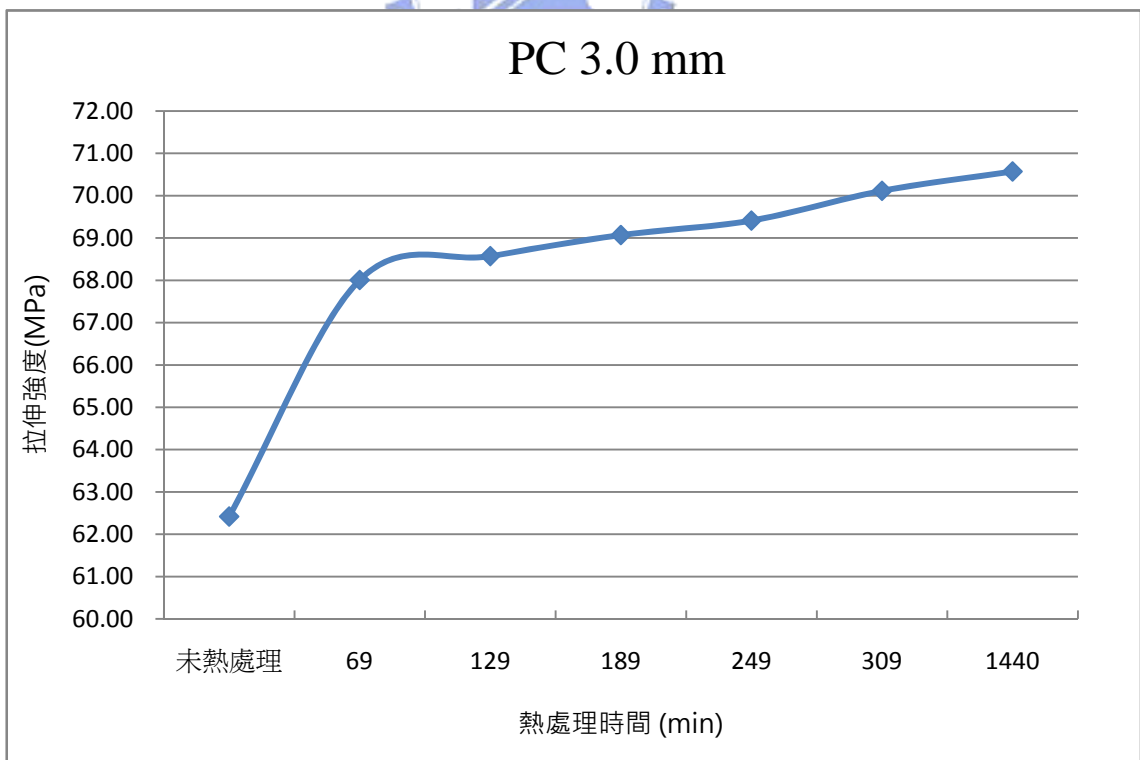


圖6-12 PC 3 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

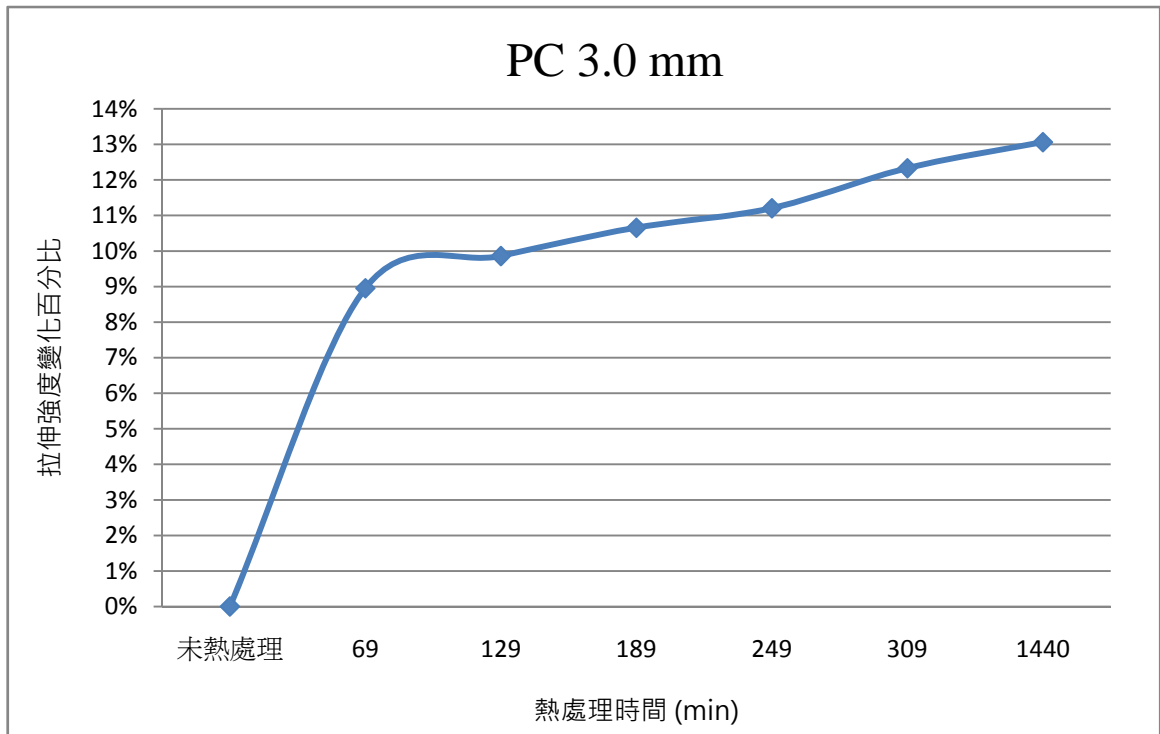


圖6-13 PC 3 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

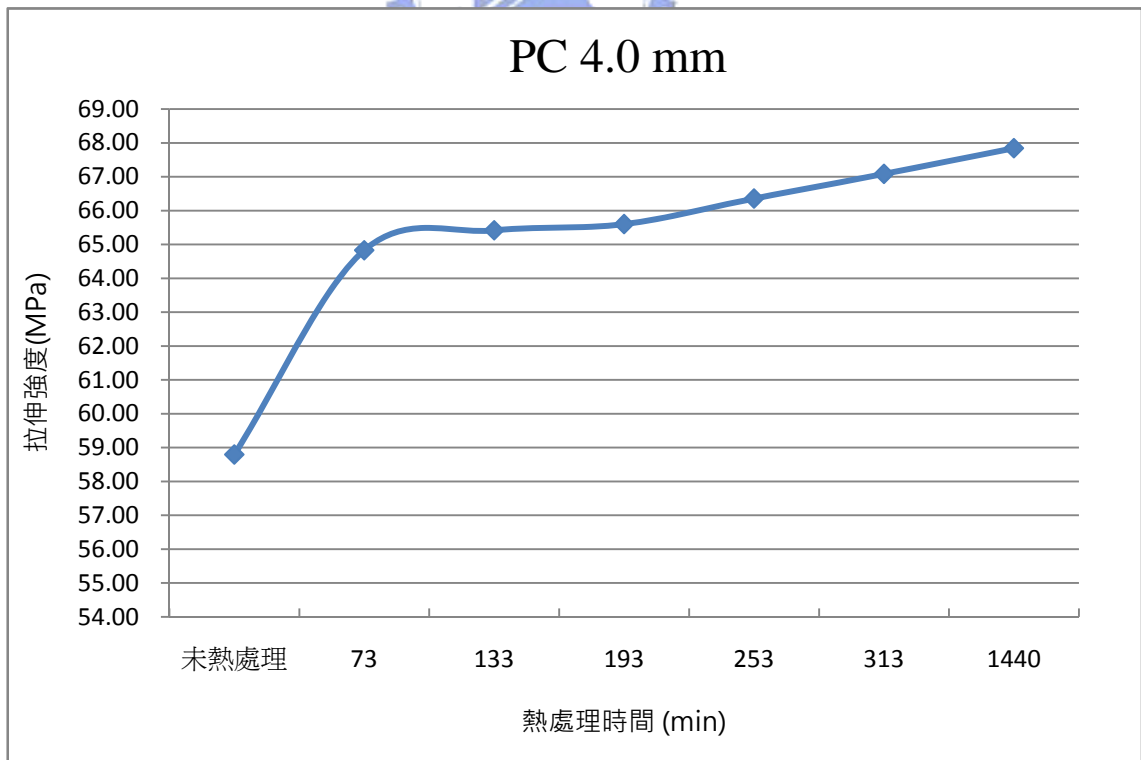


圖6-14 PC 4 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

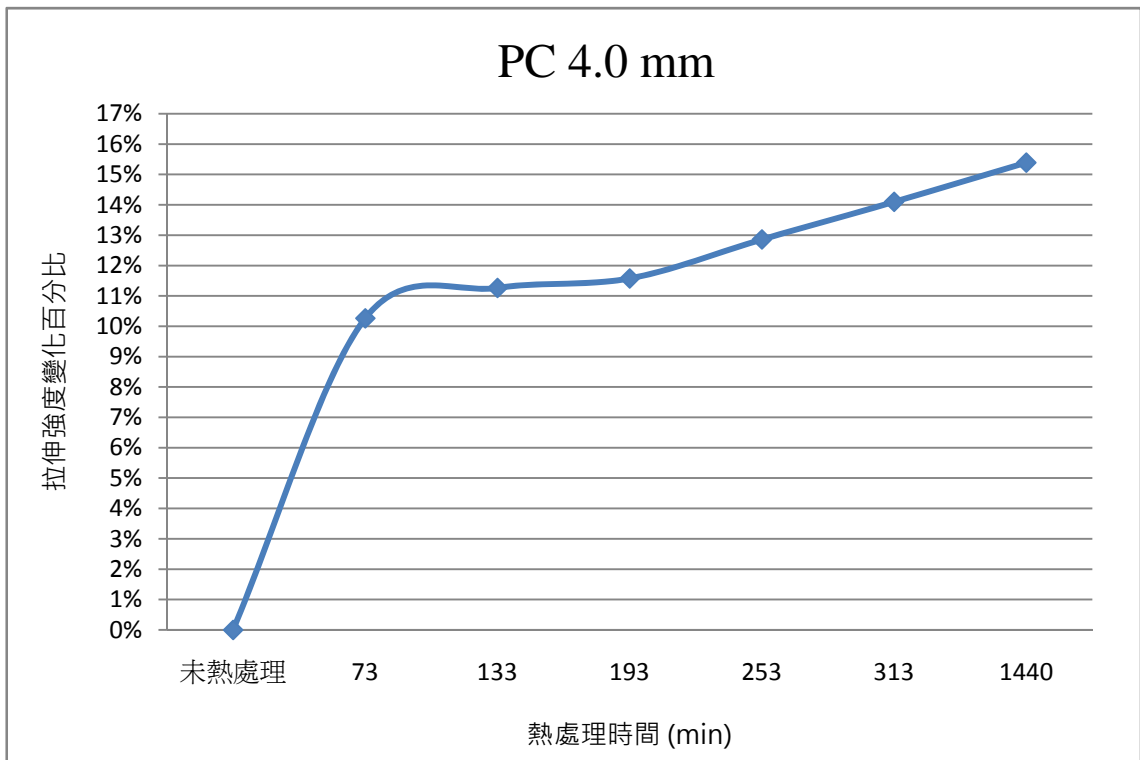


圖6-15 PC 4 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

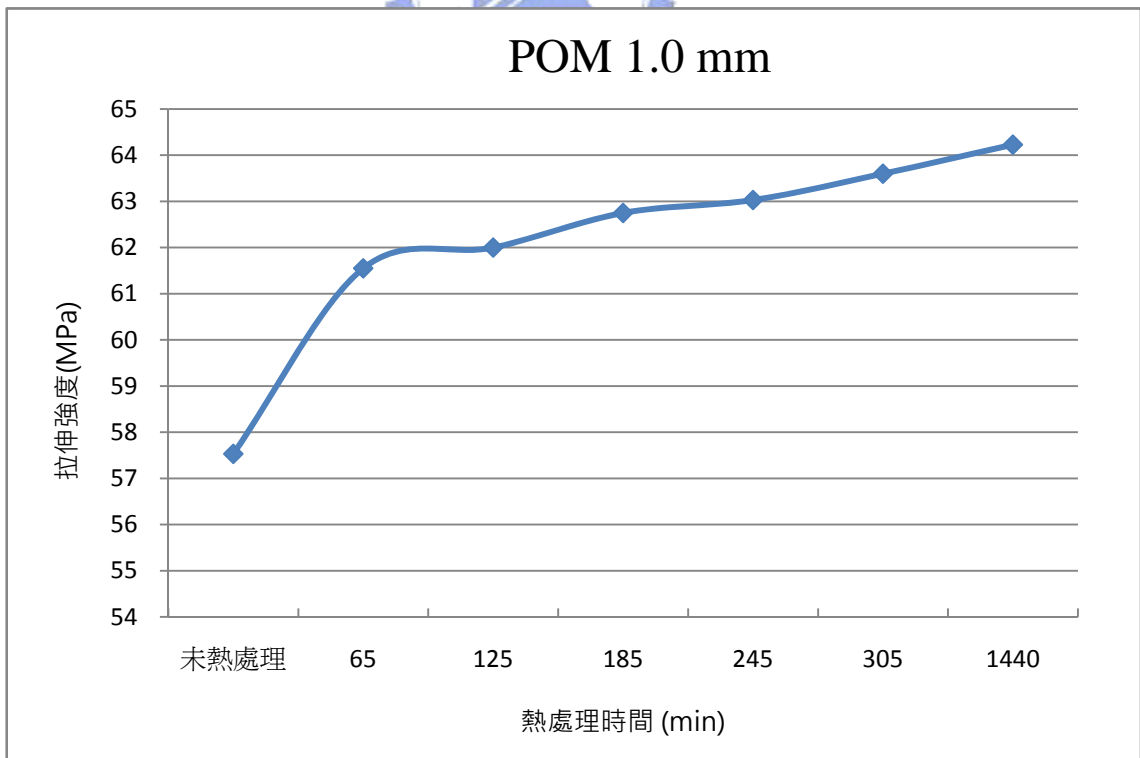


圖6-16 POM 1 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

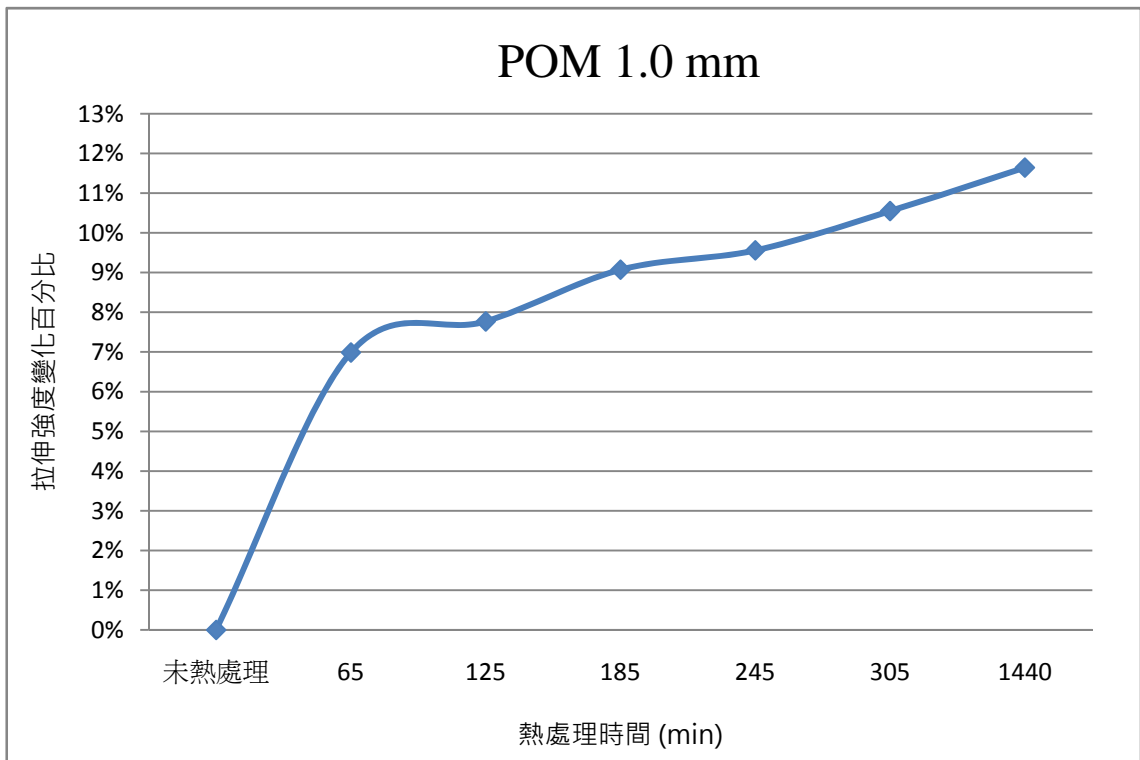


圖6-17 POM 1 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

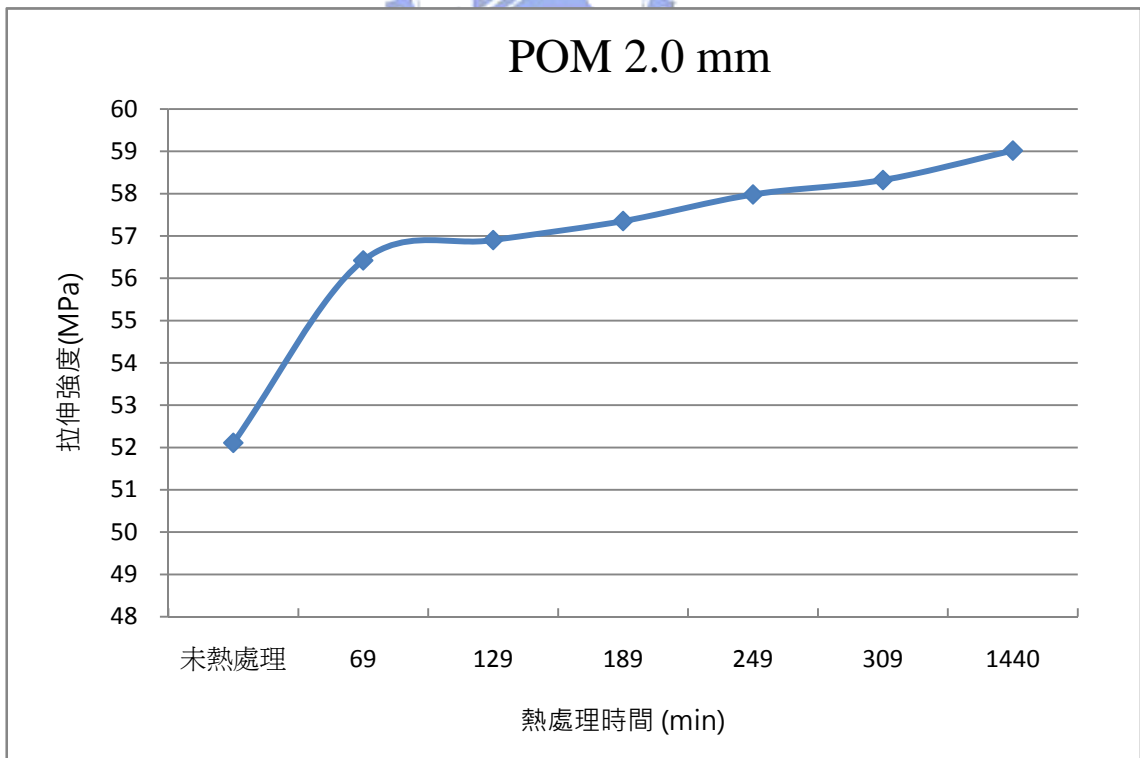


圖6-18 POM 2 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

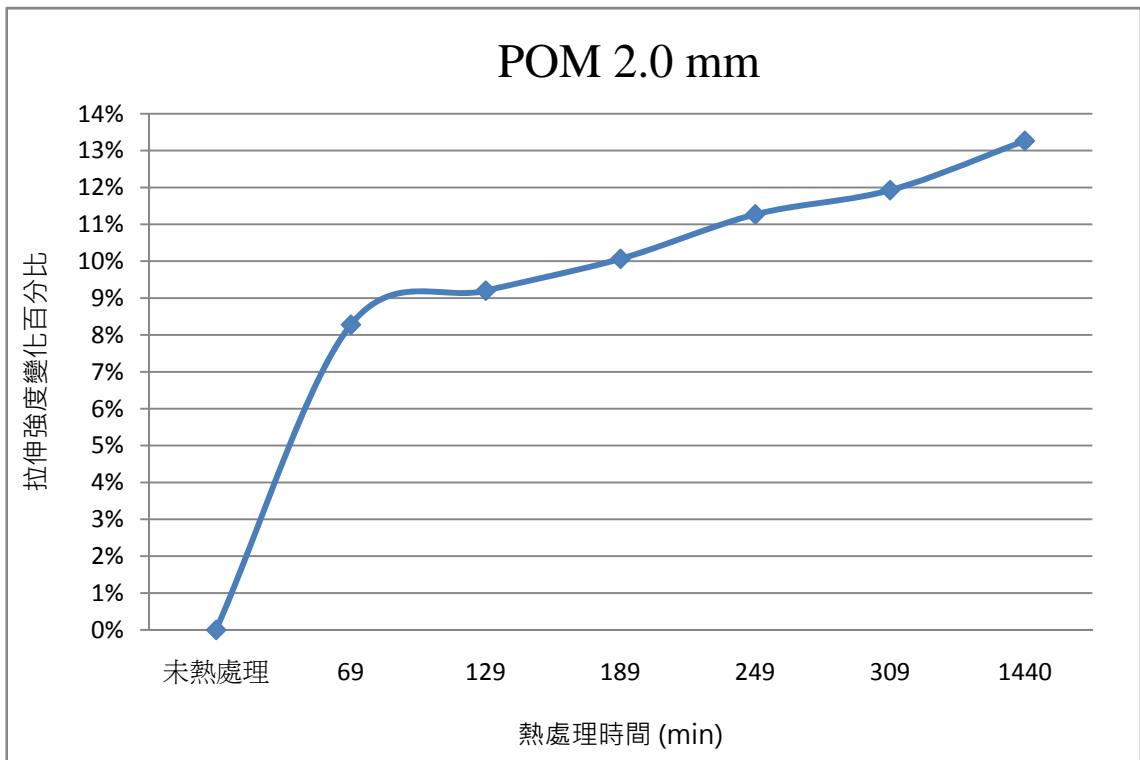


圖6-19 POM 2 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

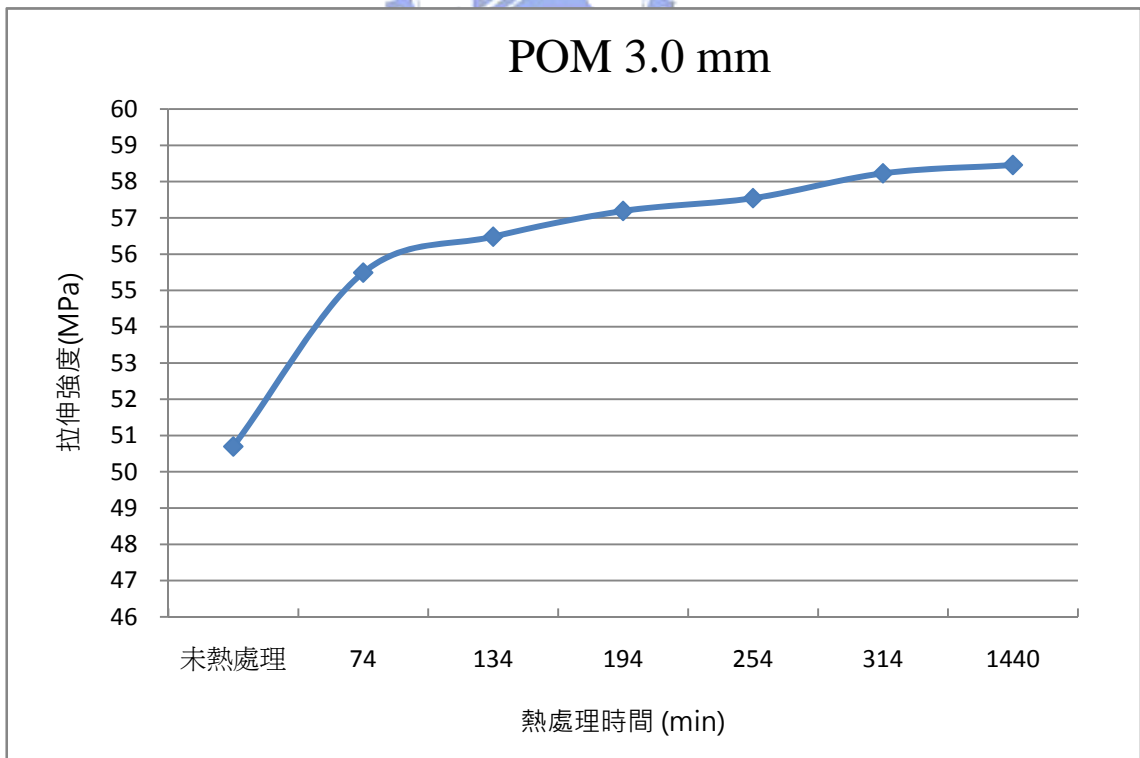


圖6-20 POM 3 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

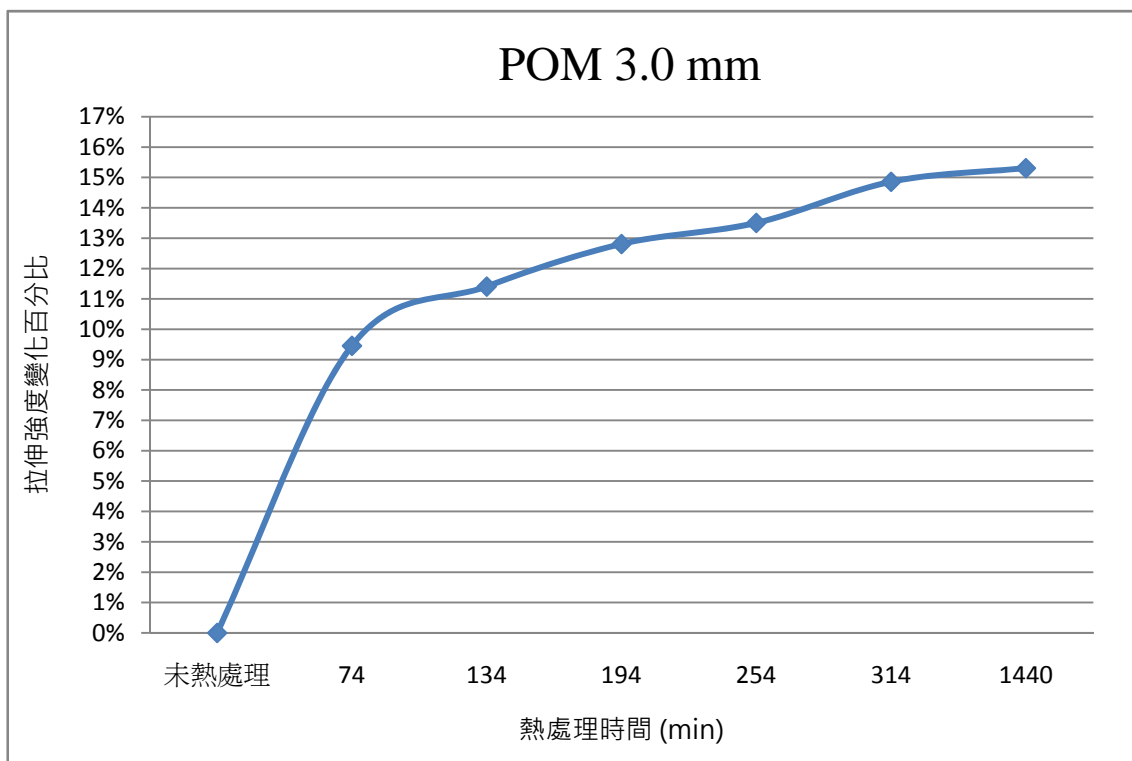


圖6-21 POM 3 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

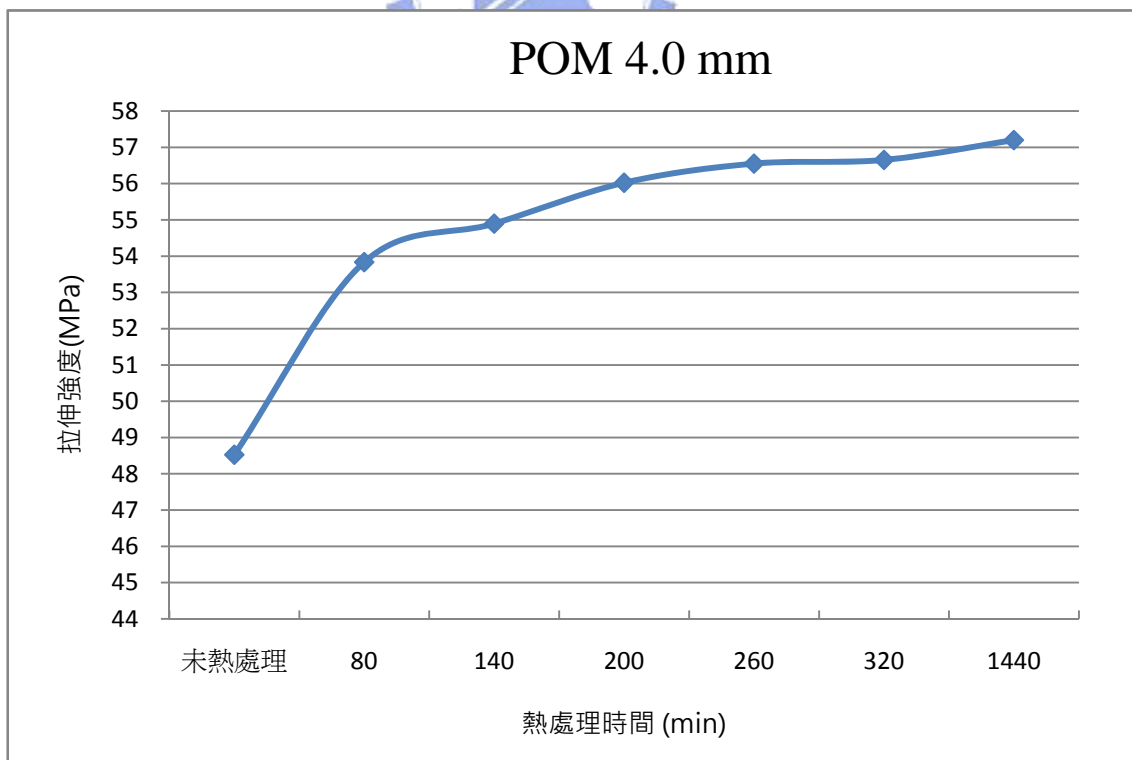


圖6-22 POM 4 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

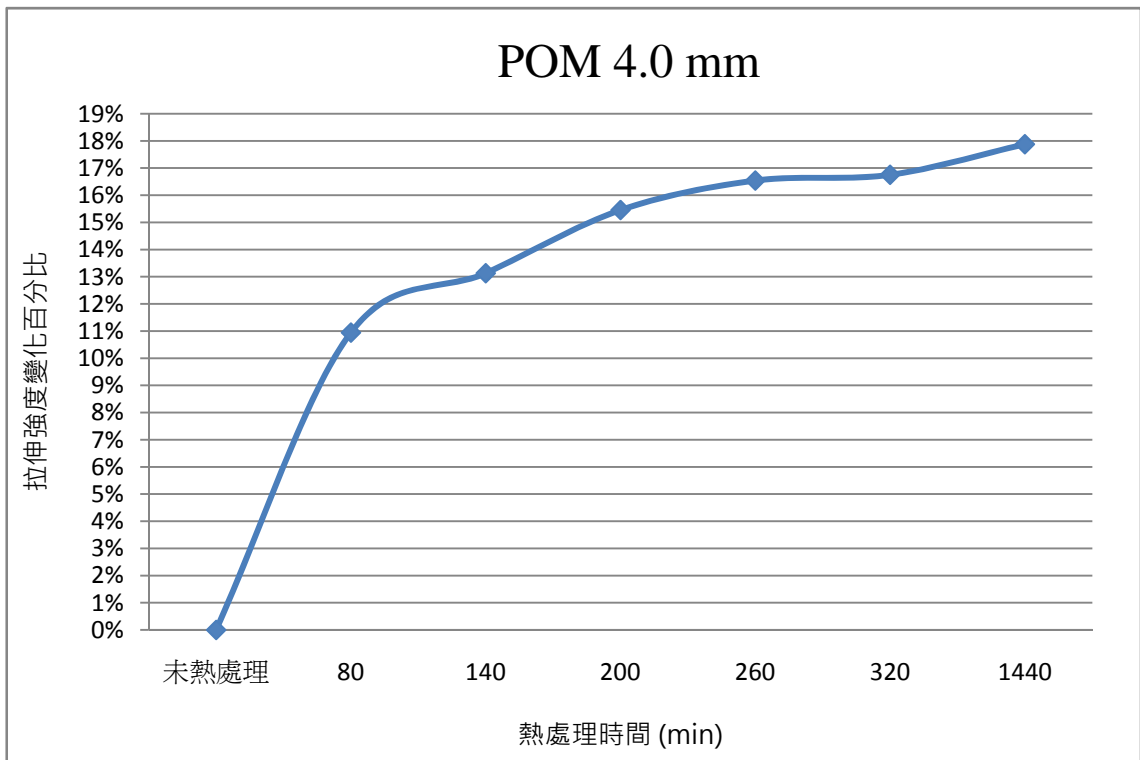


圖6-23 POM 4 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

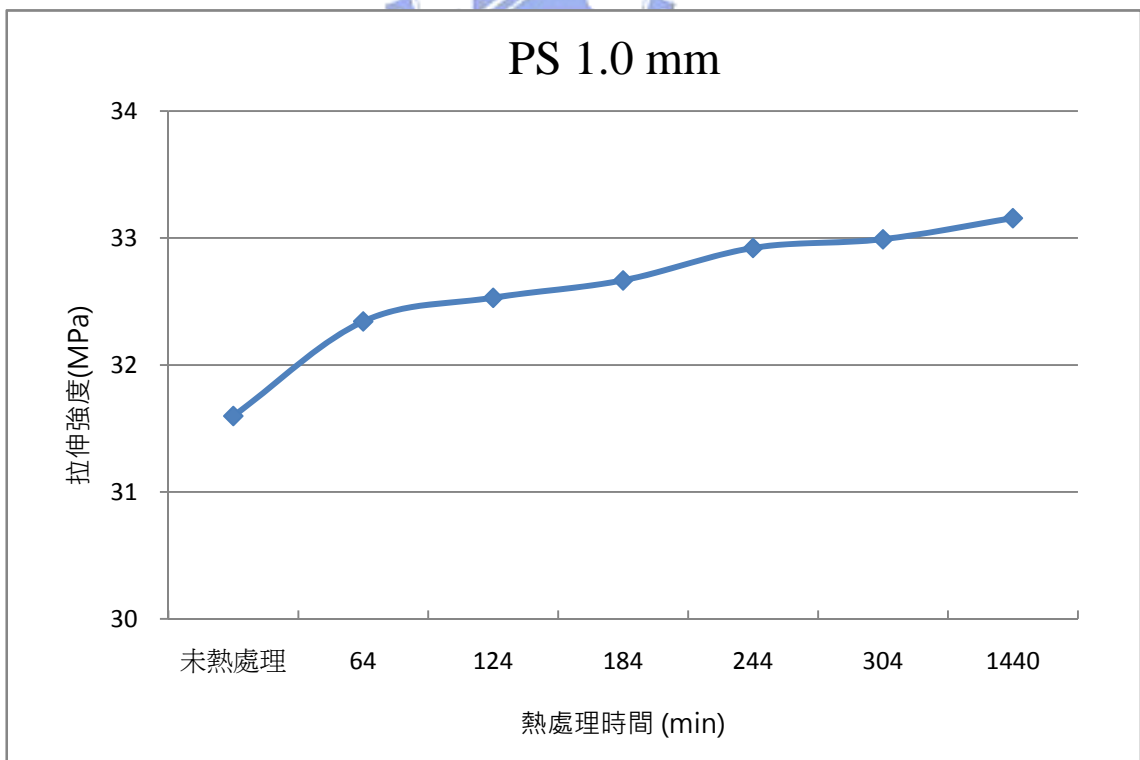


圖6-24 PS 1 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

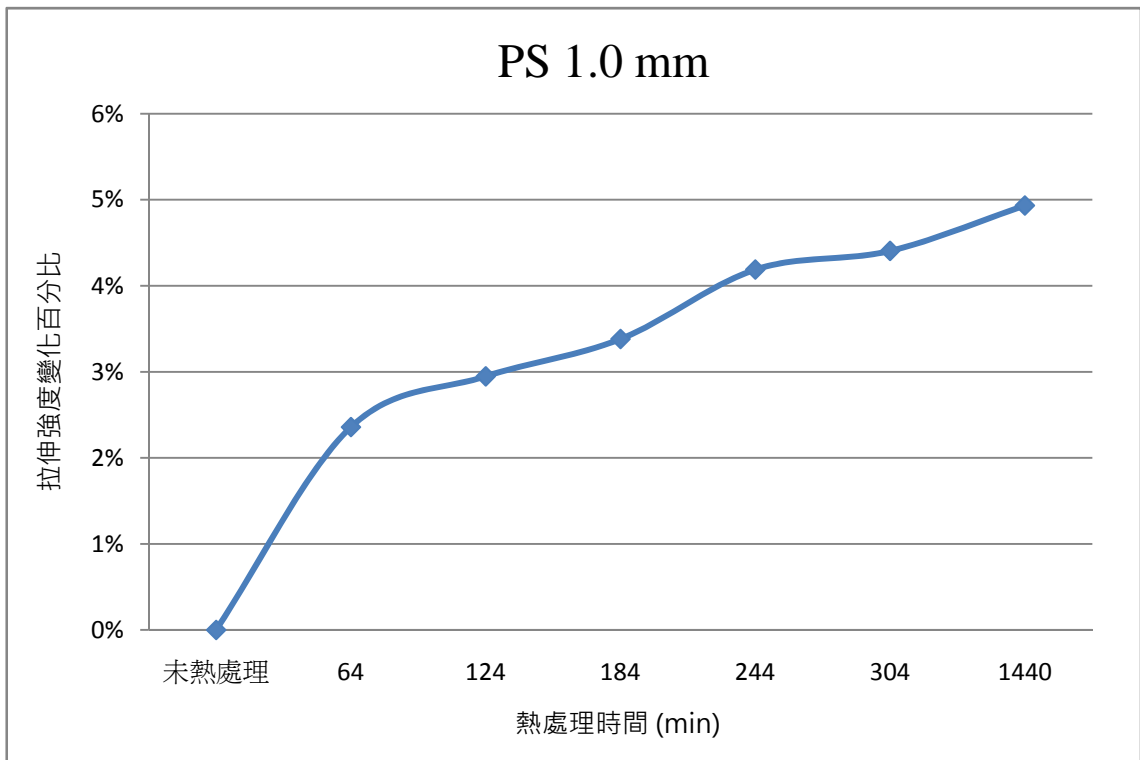


圖6-25 PS 1 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

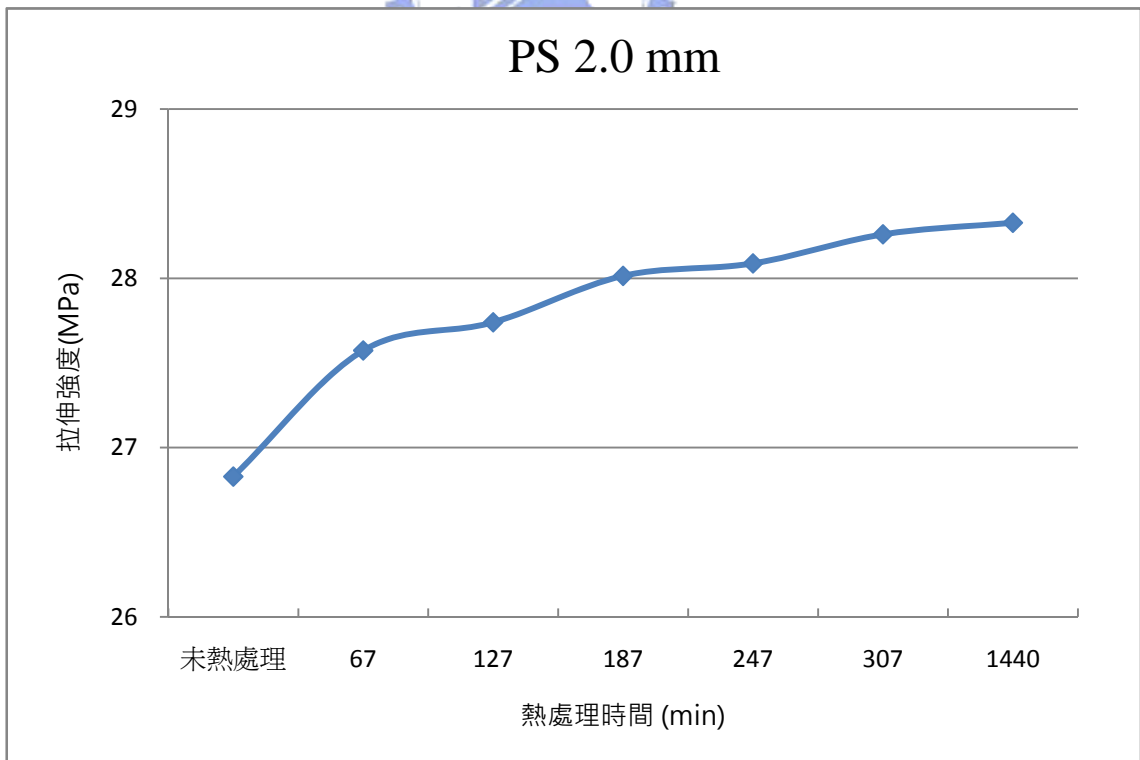


圖6-26 PS 2 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

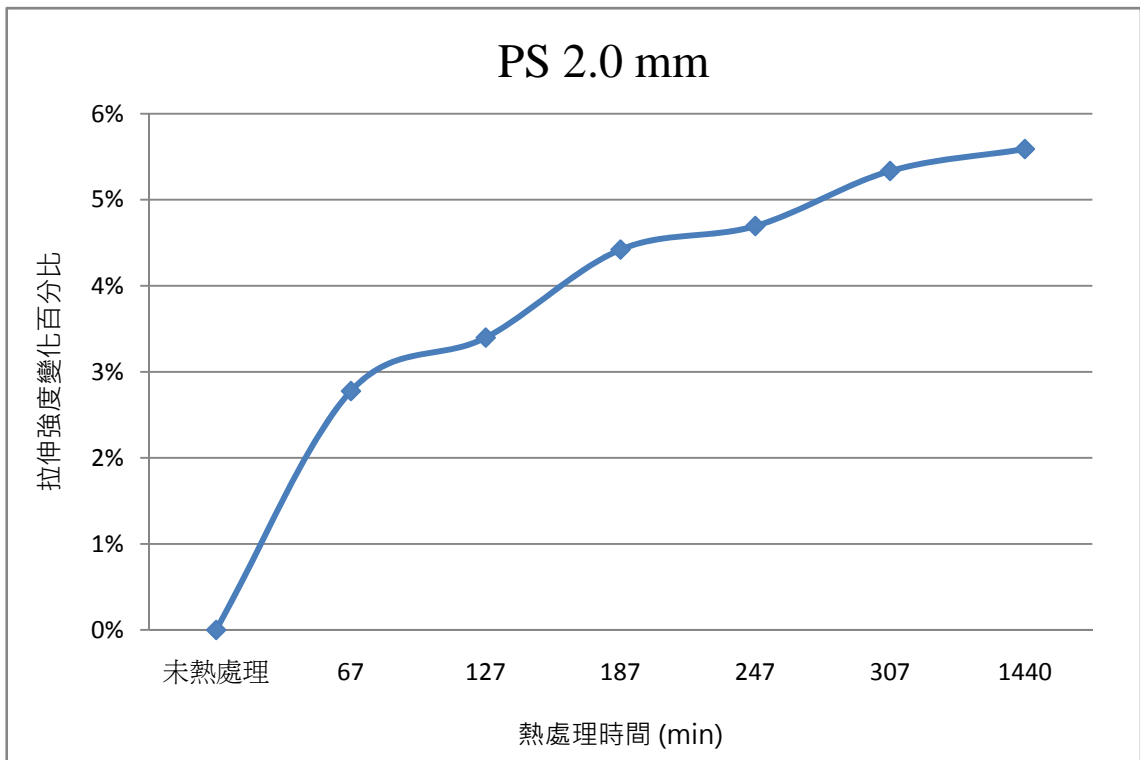


圖6-27 PS 2 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

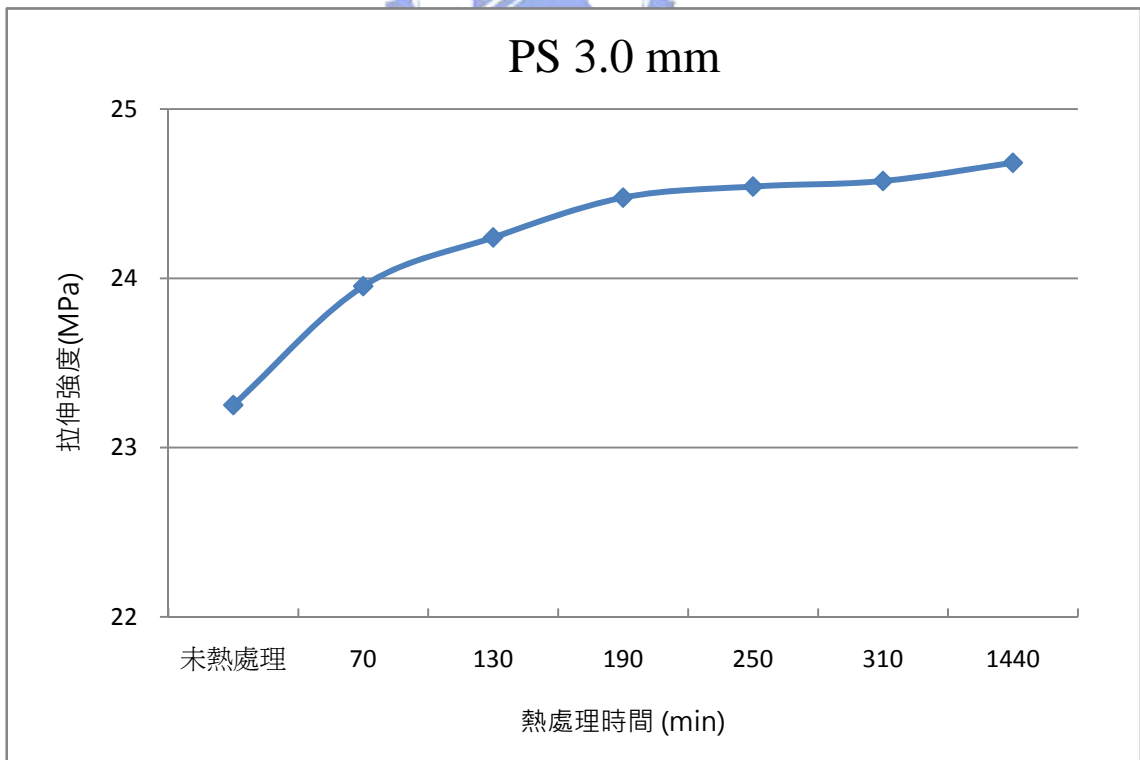


圖6-28 PS 3 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

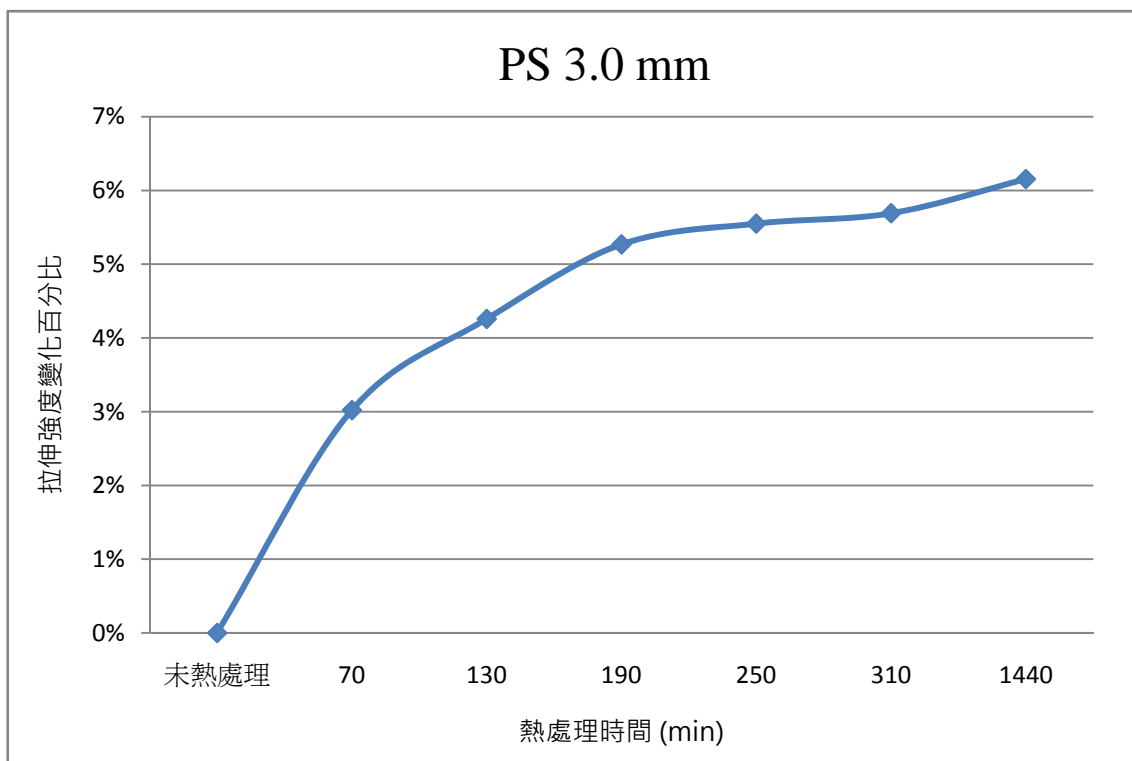


圖6-29 PS 3 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

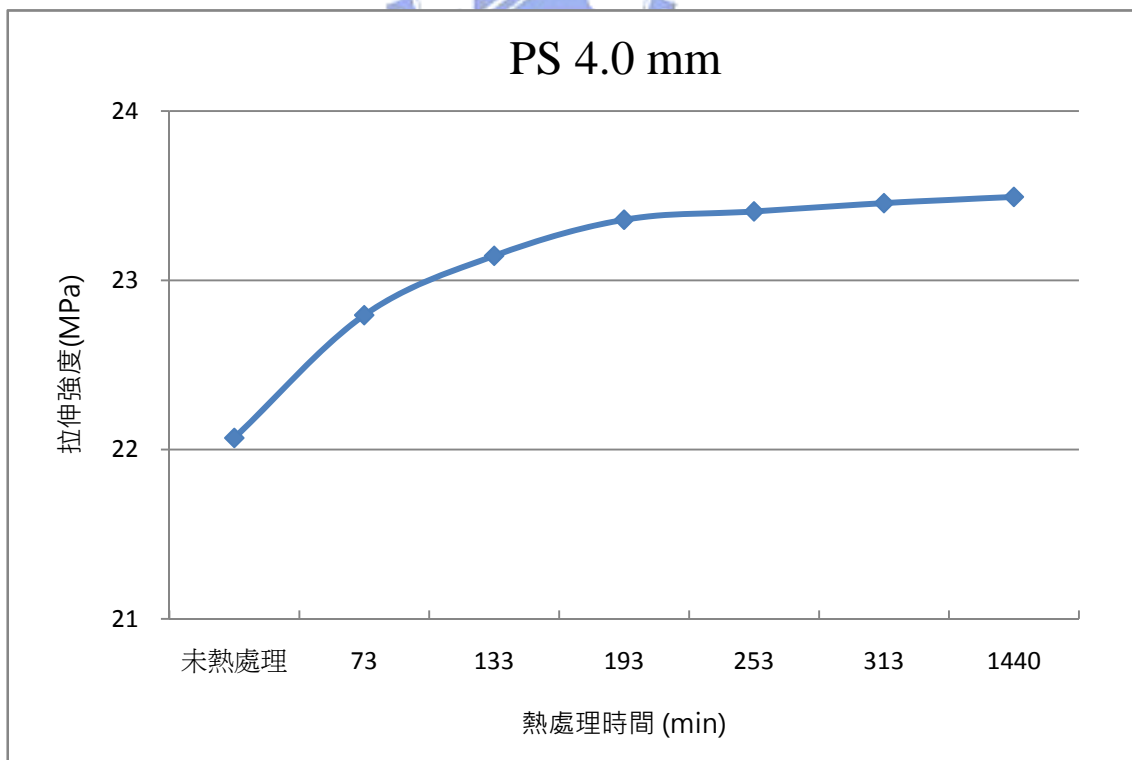


圖6-30 PS 4 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

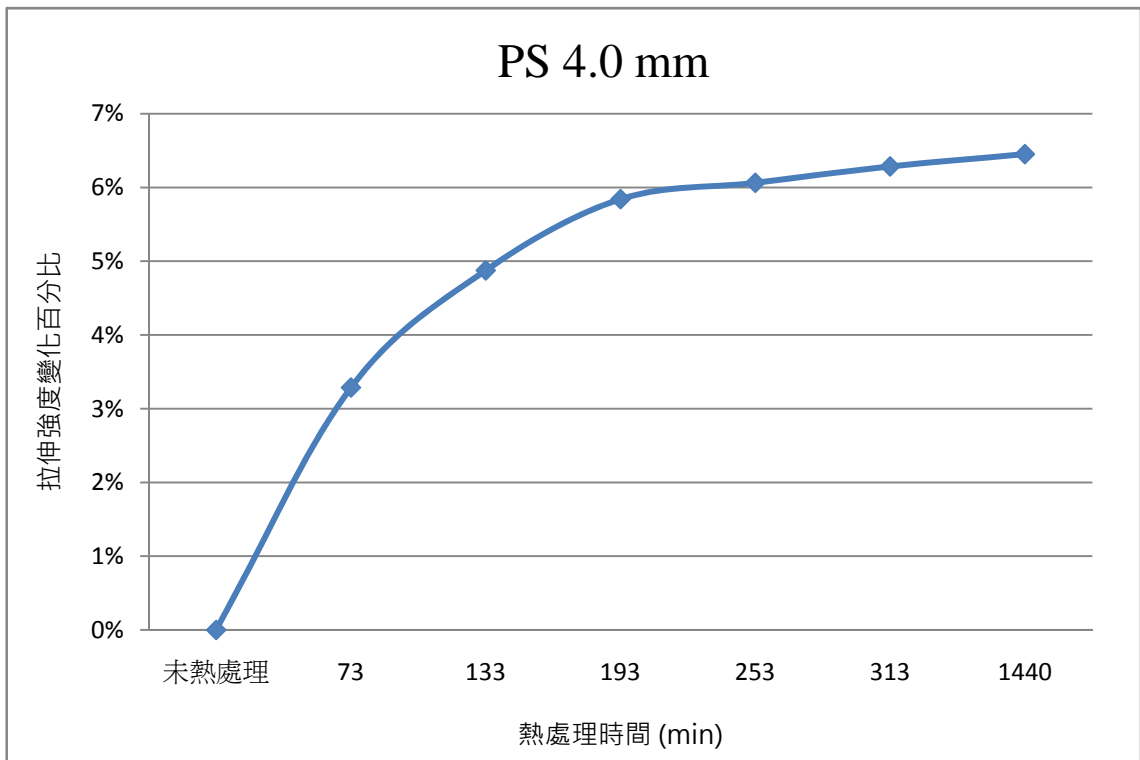


圖6-31 PS 4 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

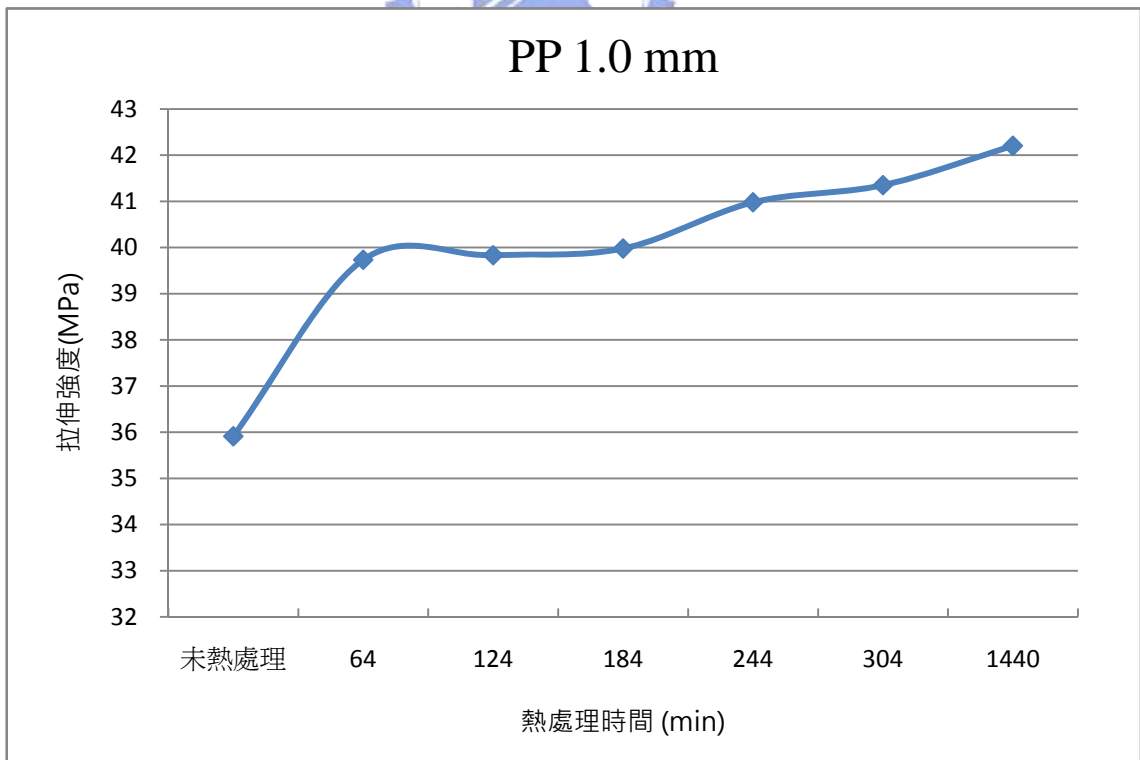


圖6-32 PP 1 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

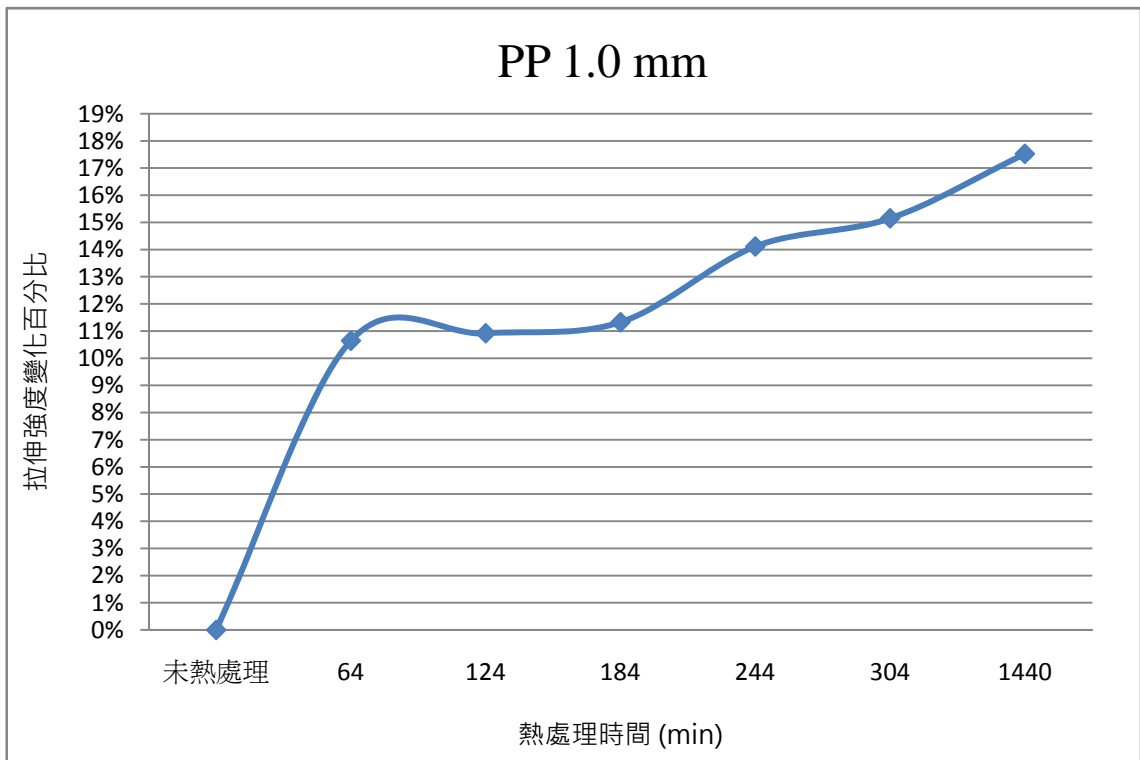


圖6-33 PP 1 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

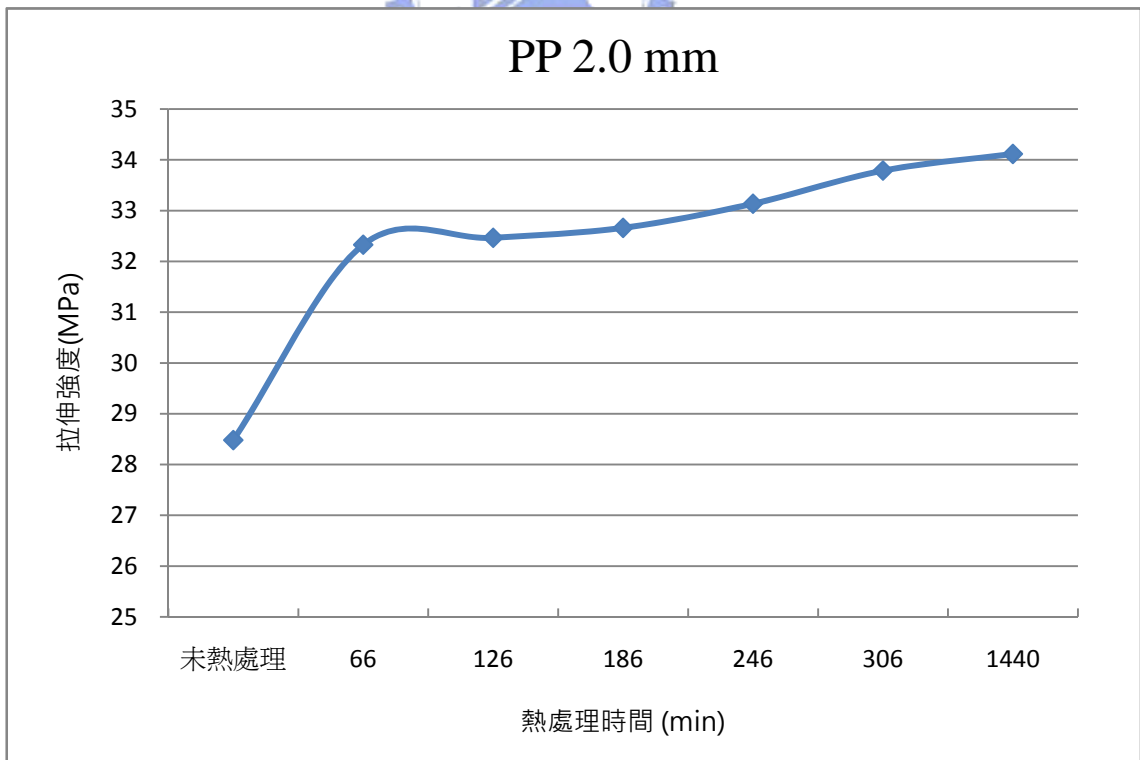


圖6-34 PP 2 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

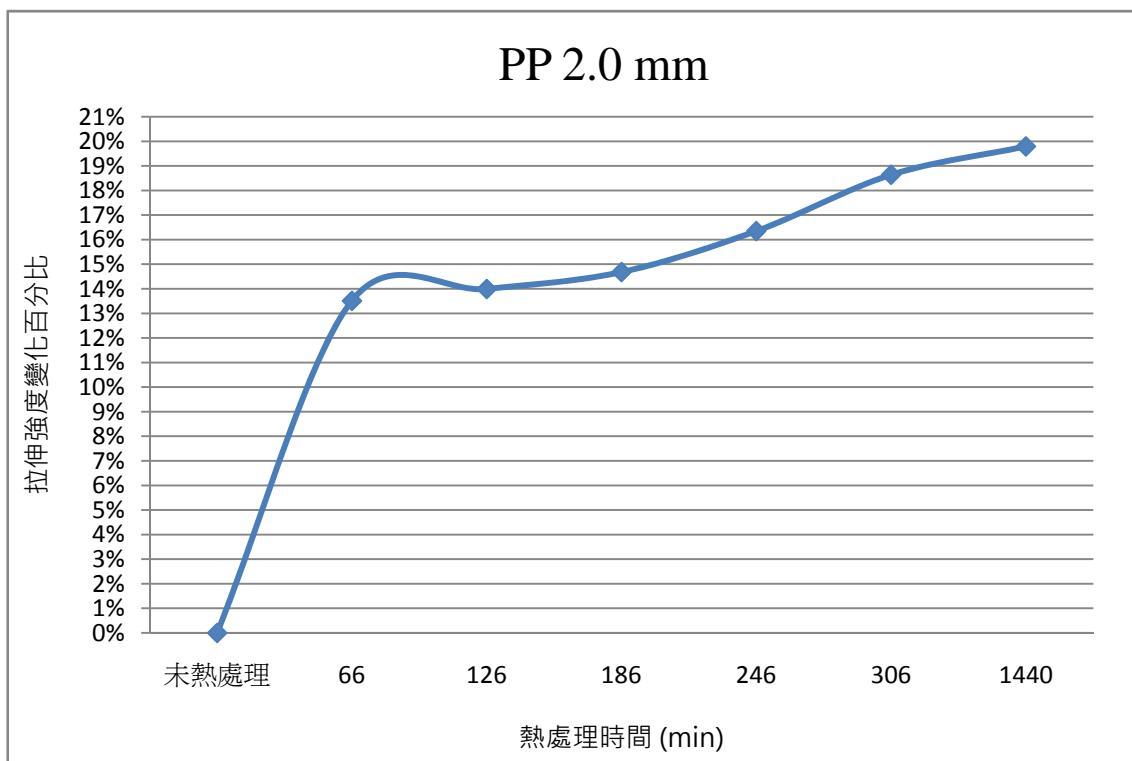


圖6-35 PP 2 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

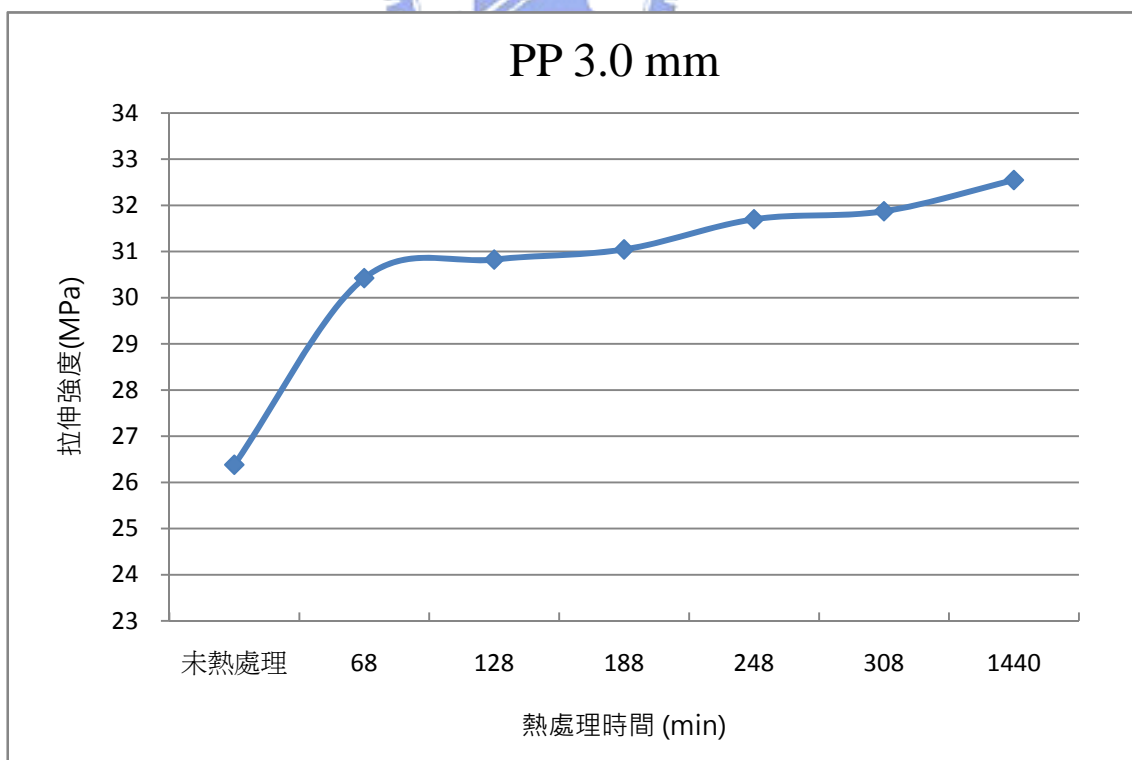


圖6-36 PP 3 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

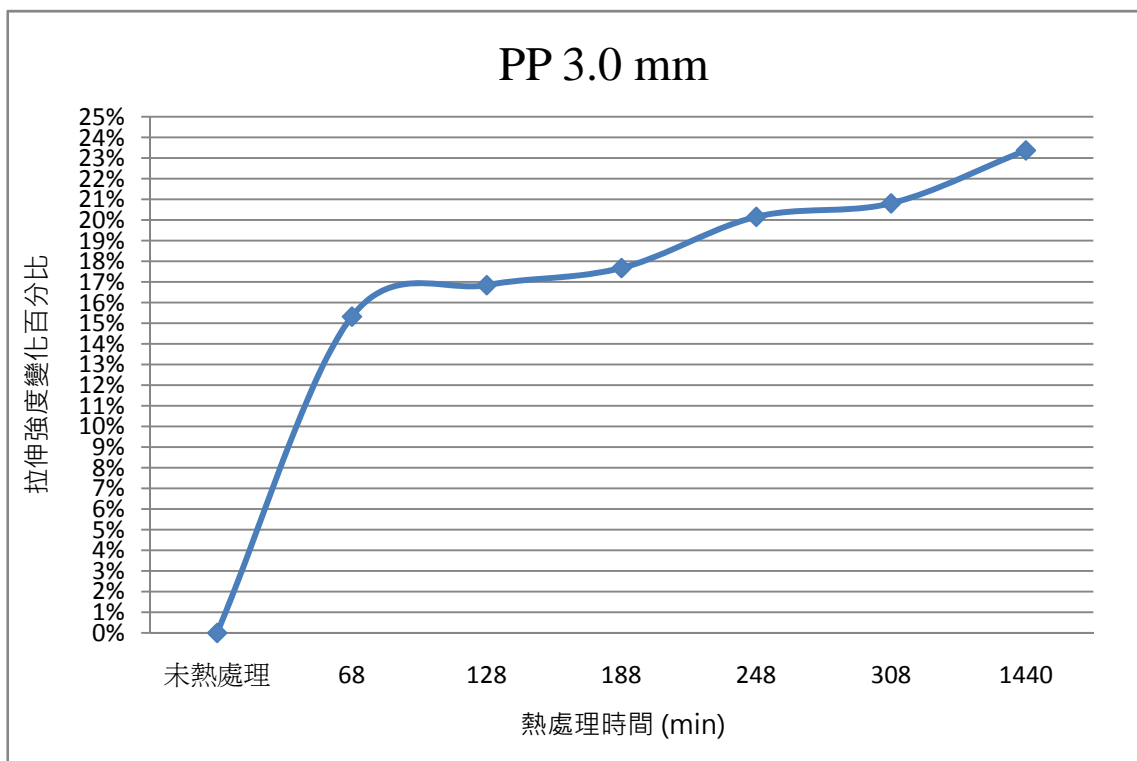


圖6-37 PP 3 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

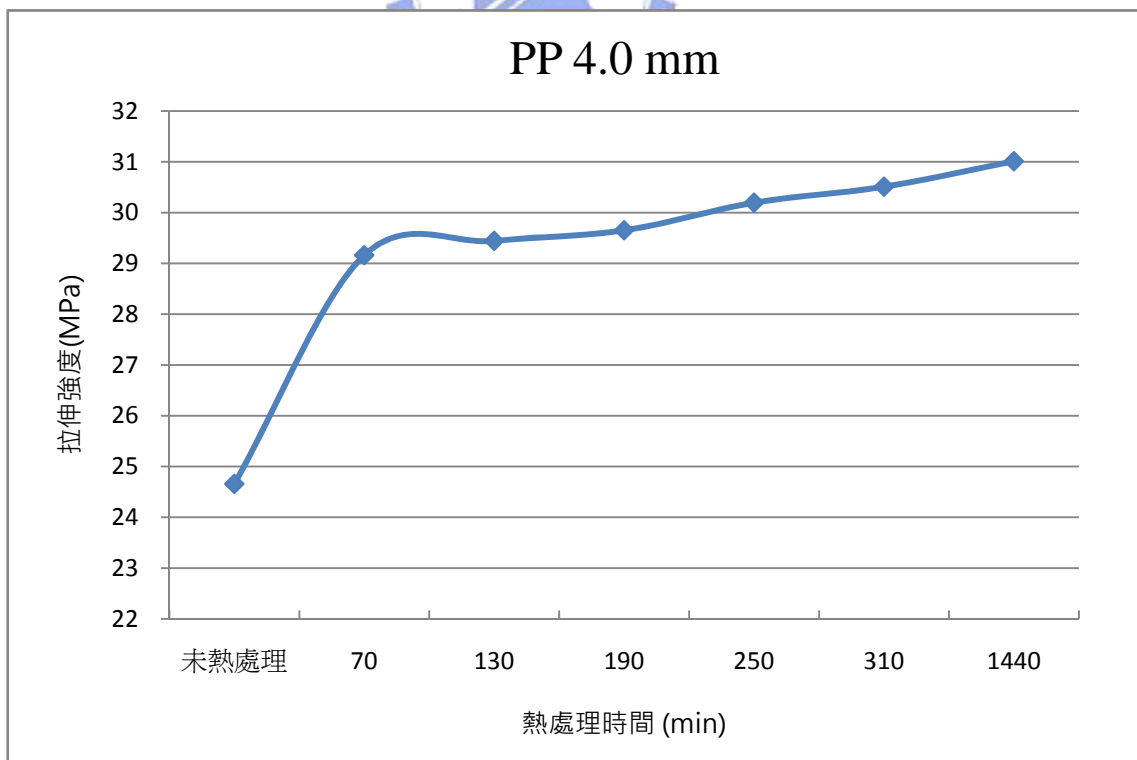


圖6-38 PP 4 mm 退火處理前後拉伸強度關係圖

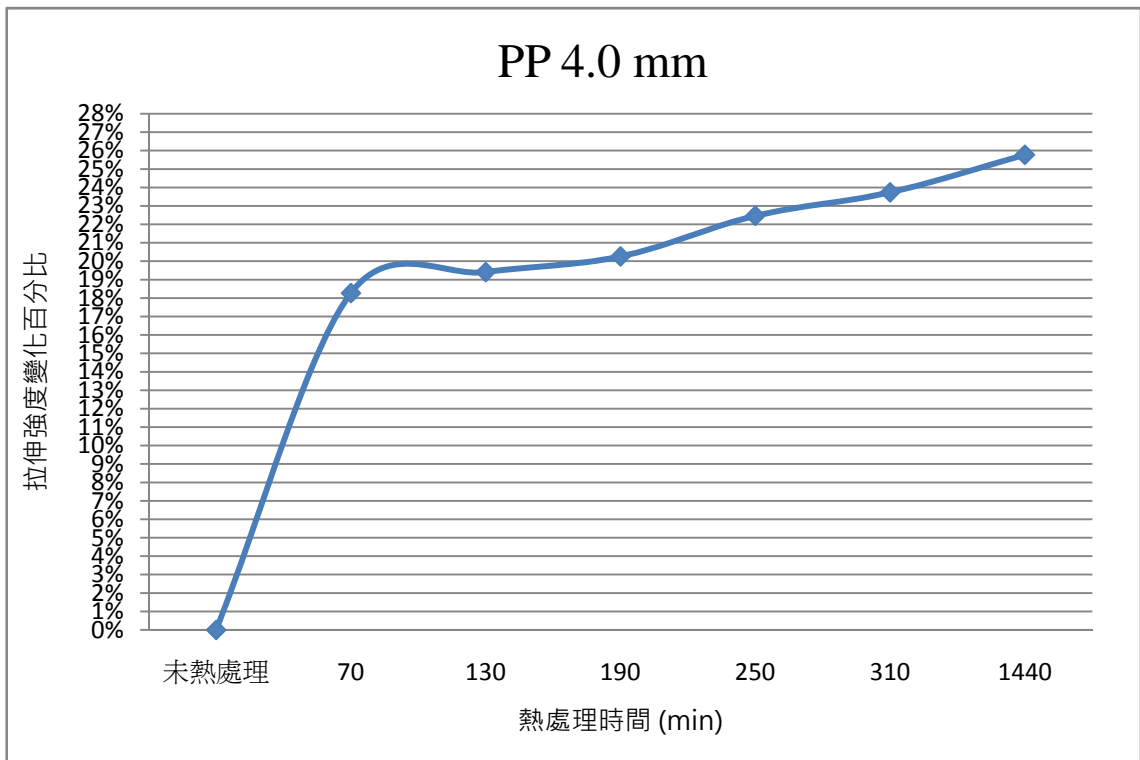


圖6-39 PP 4 mm 拉伸強度變化百分比與退火處理時間關係圖

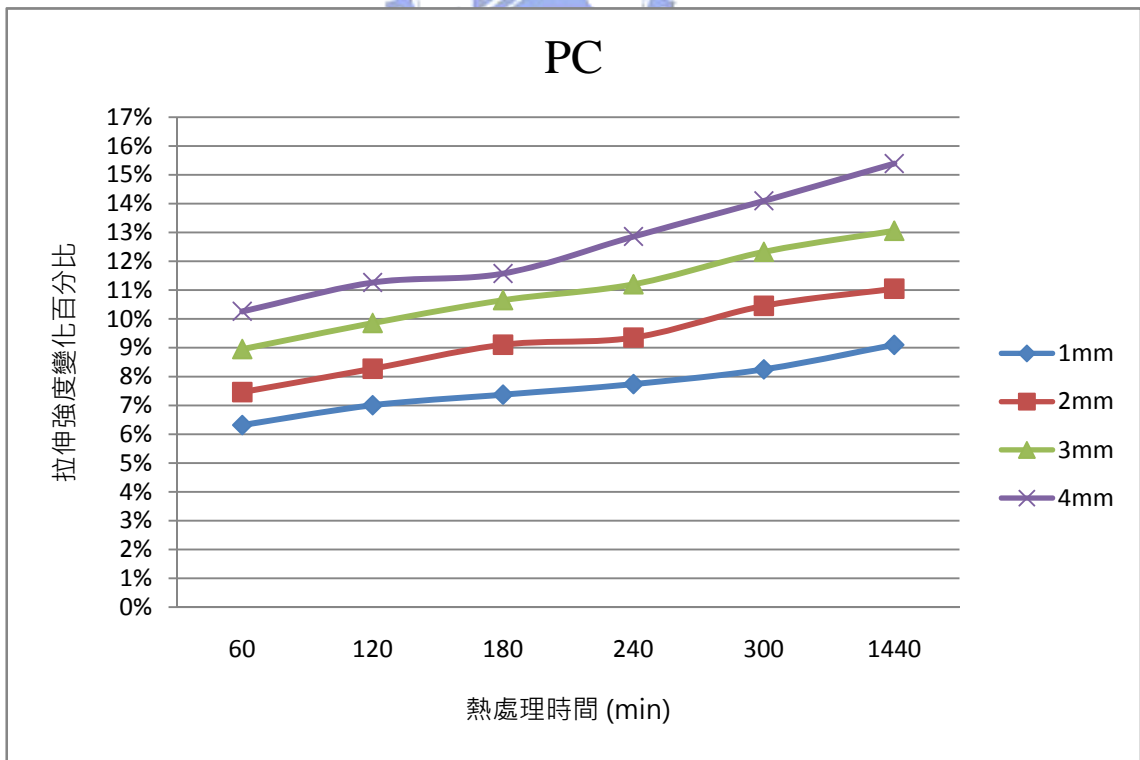


圖6-40 PC 試片拉伸強度百分比與退火處理時間關係圖

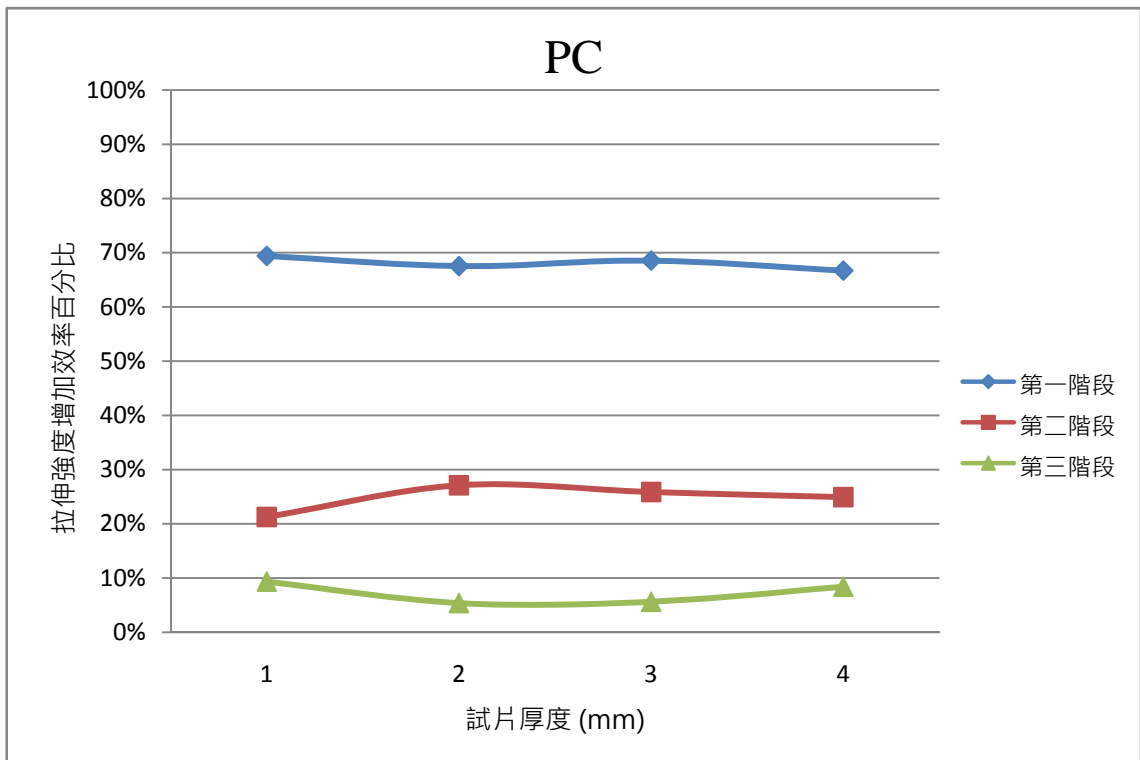


圖6-41 PC 試片三階段拉伸強度增加百分比比較圖

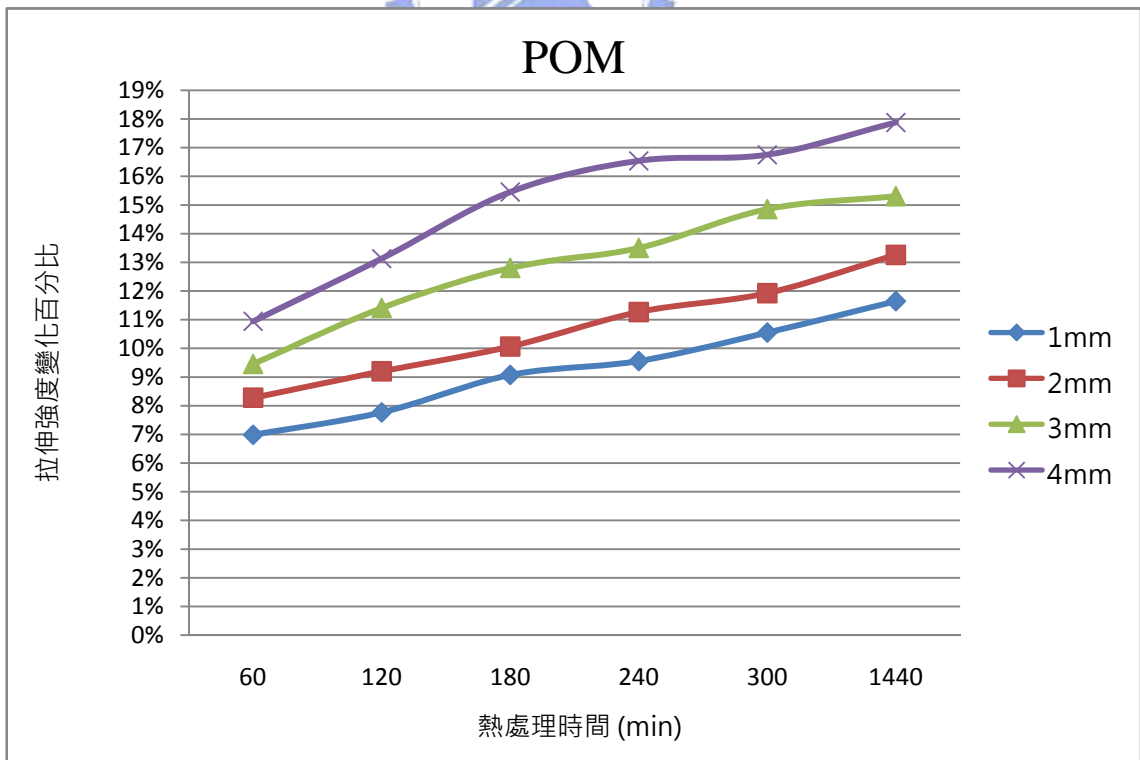


圖6-42 POM 試片拉伸強度百分比與退火處理時間關係圖

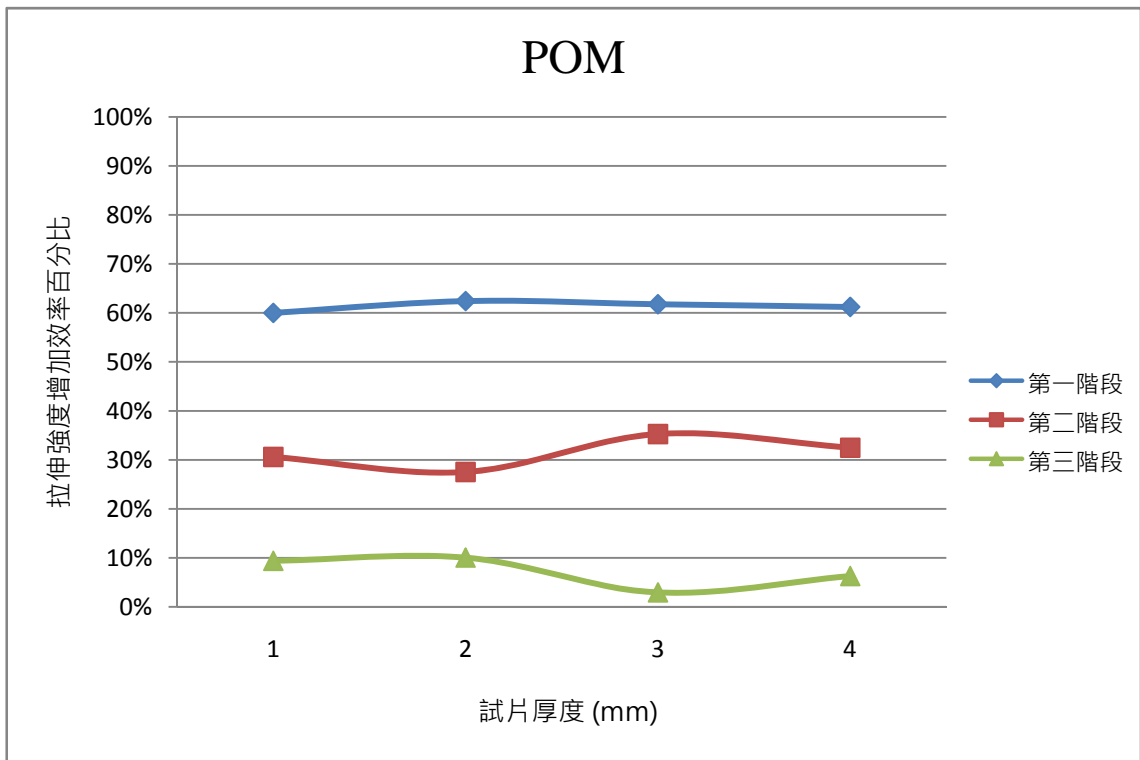


圖6-43 POM 試片三階段拉伸強度增加百分比比較圖

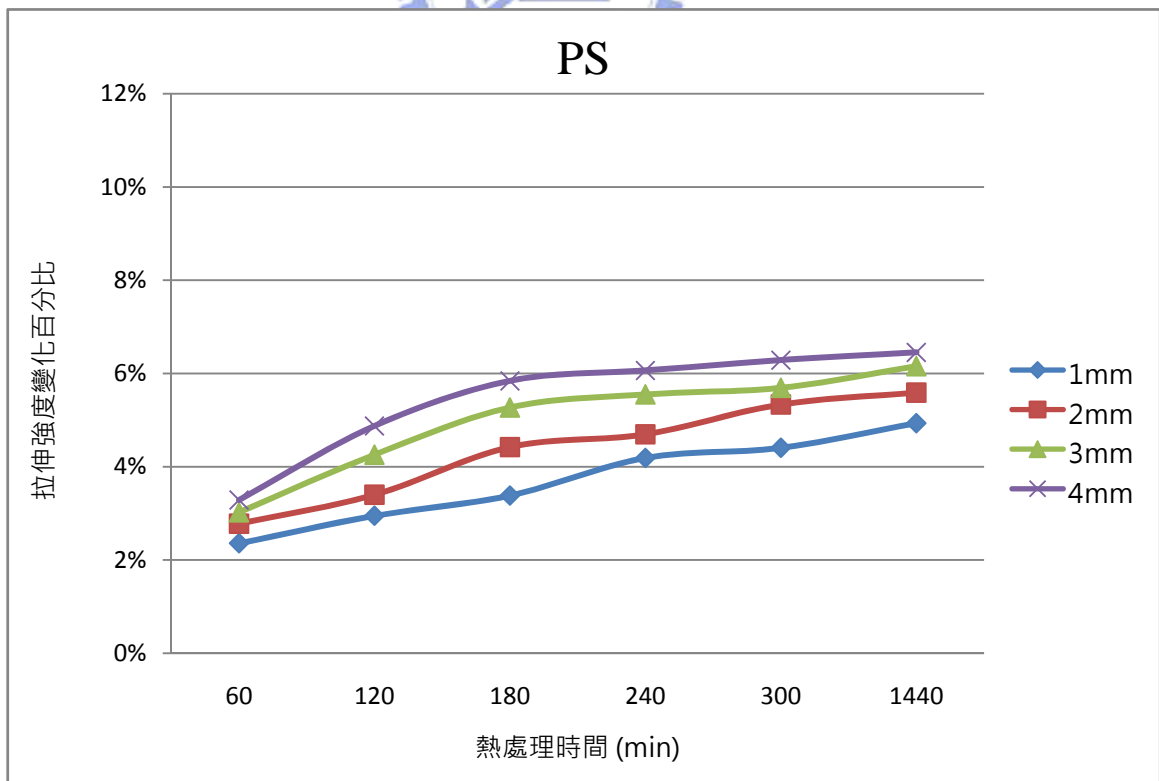


圖6-44 PS 試片拉伸強度百分比與退火處理時間關係圖

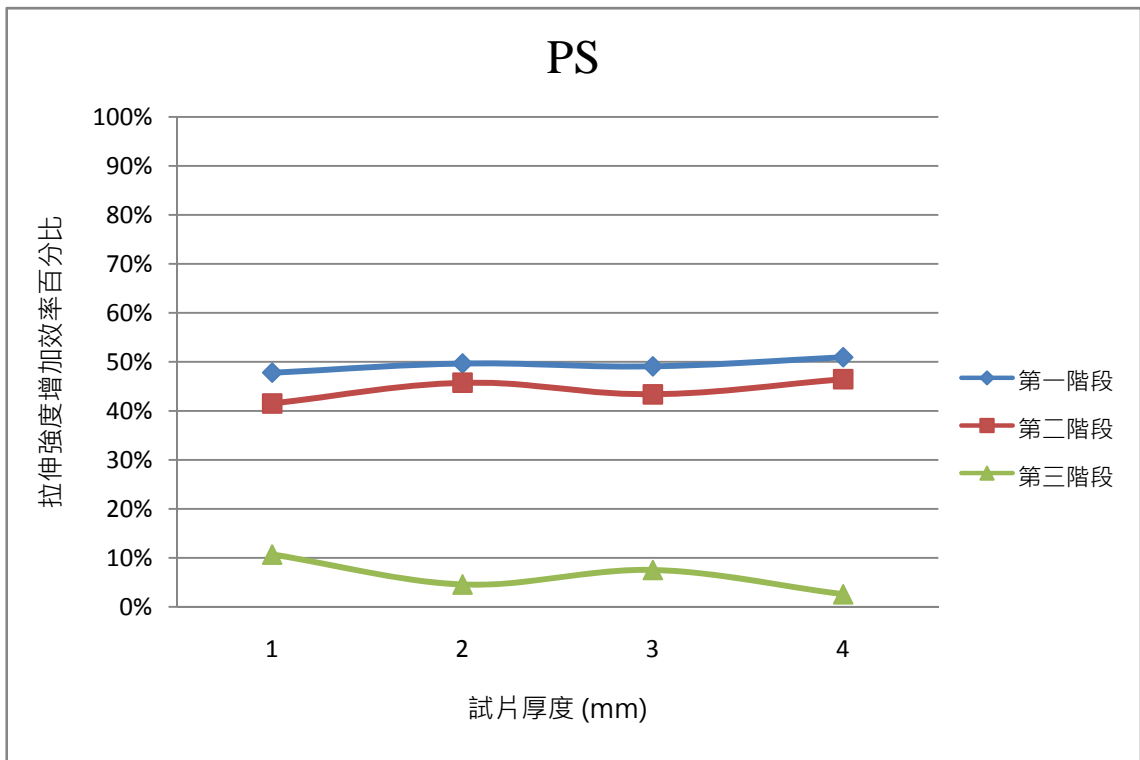


圖6-45 PS 試片三階段拉伸強度增加百分比比較圖

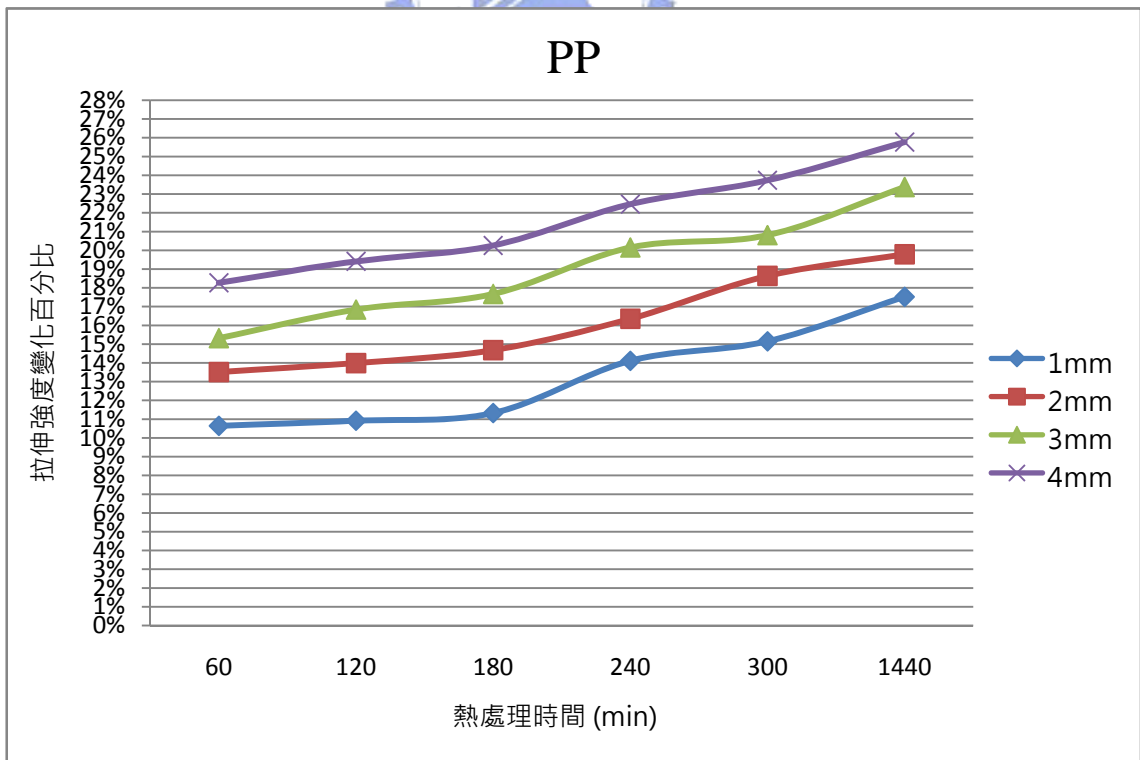


圖6-46 PP 試片拉伸強度百分比與退火處理時間關係圖

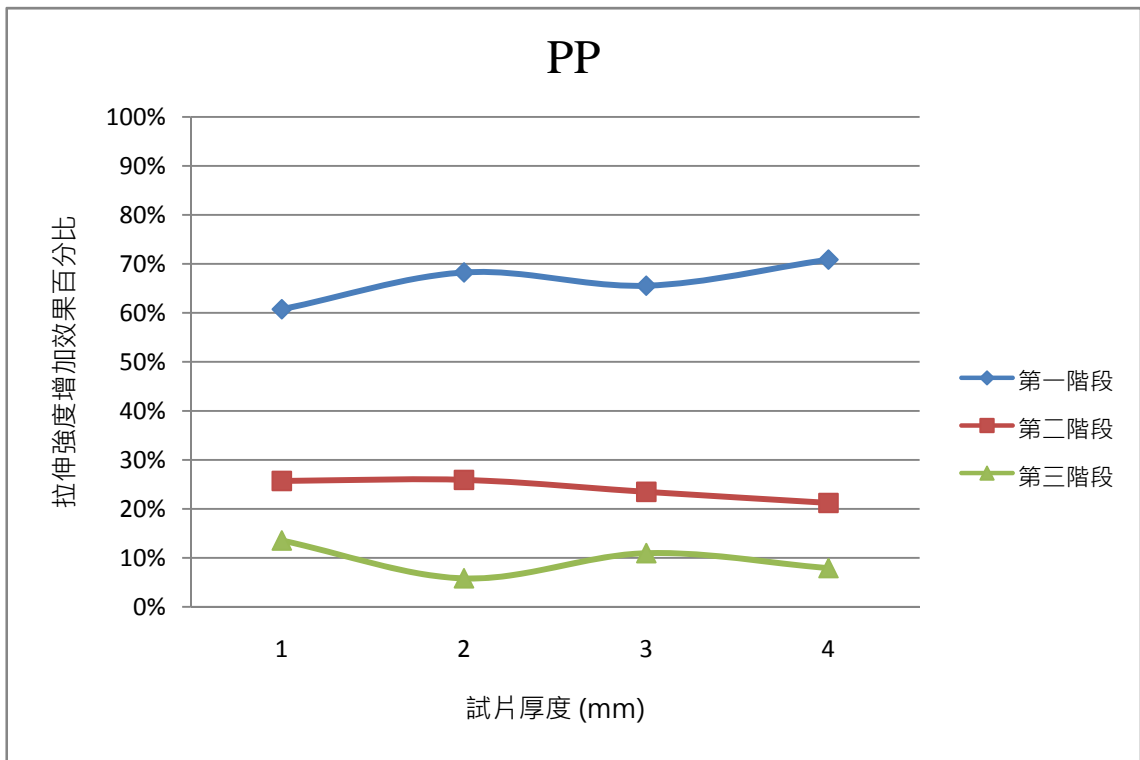


圖6-47 PP 試片三階段拉伸強度增加百分比比較圖

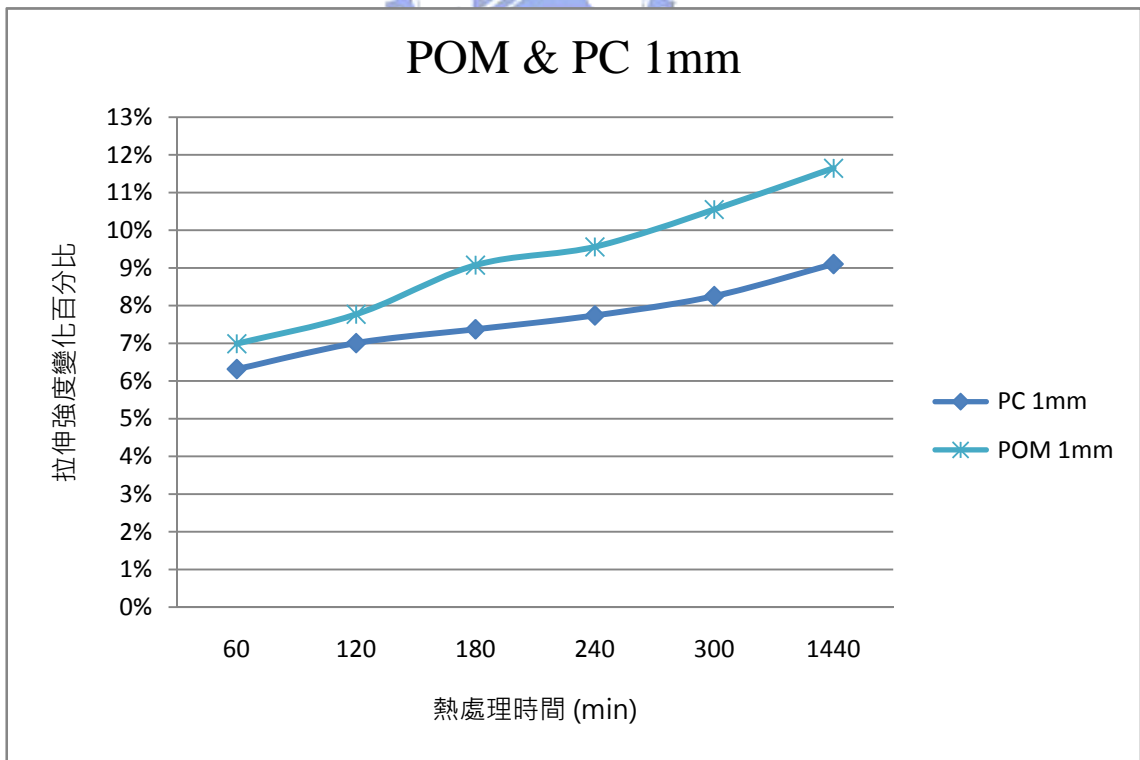


圖6-48 POM 與 PC 1mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖

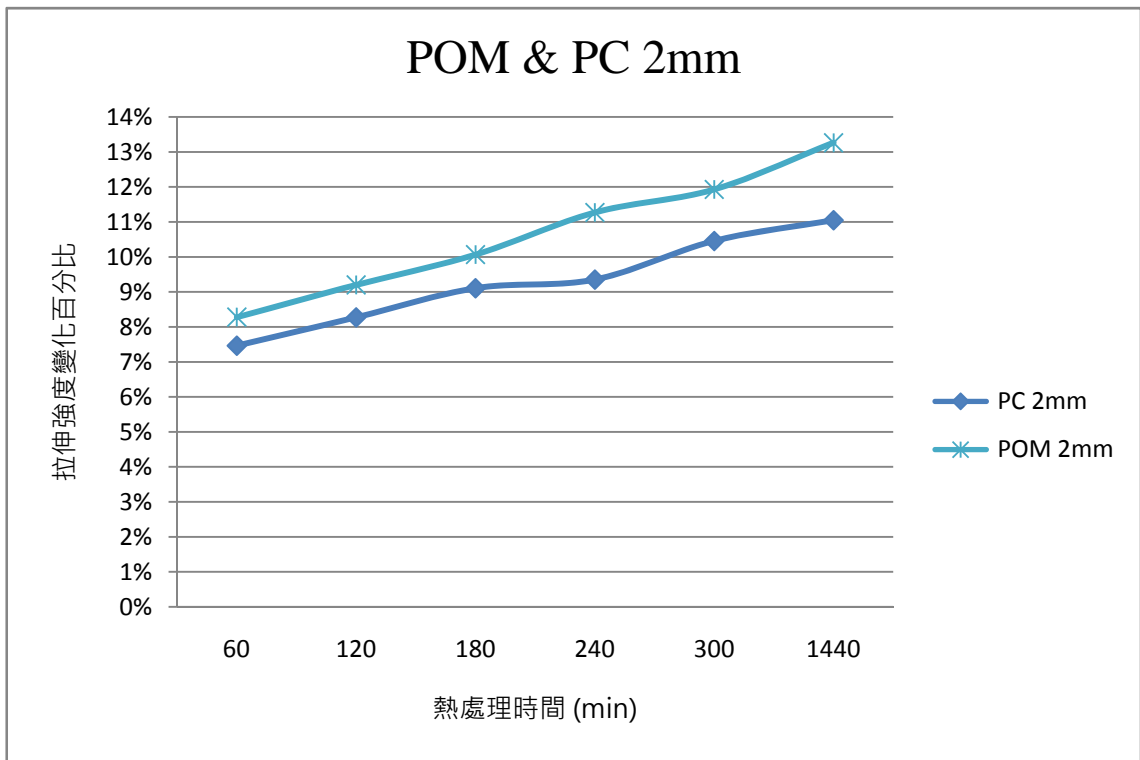


圖6-49 POM 與 PC 2mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖

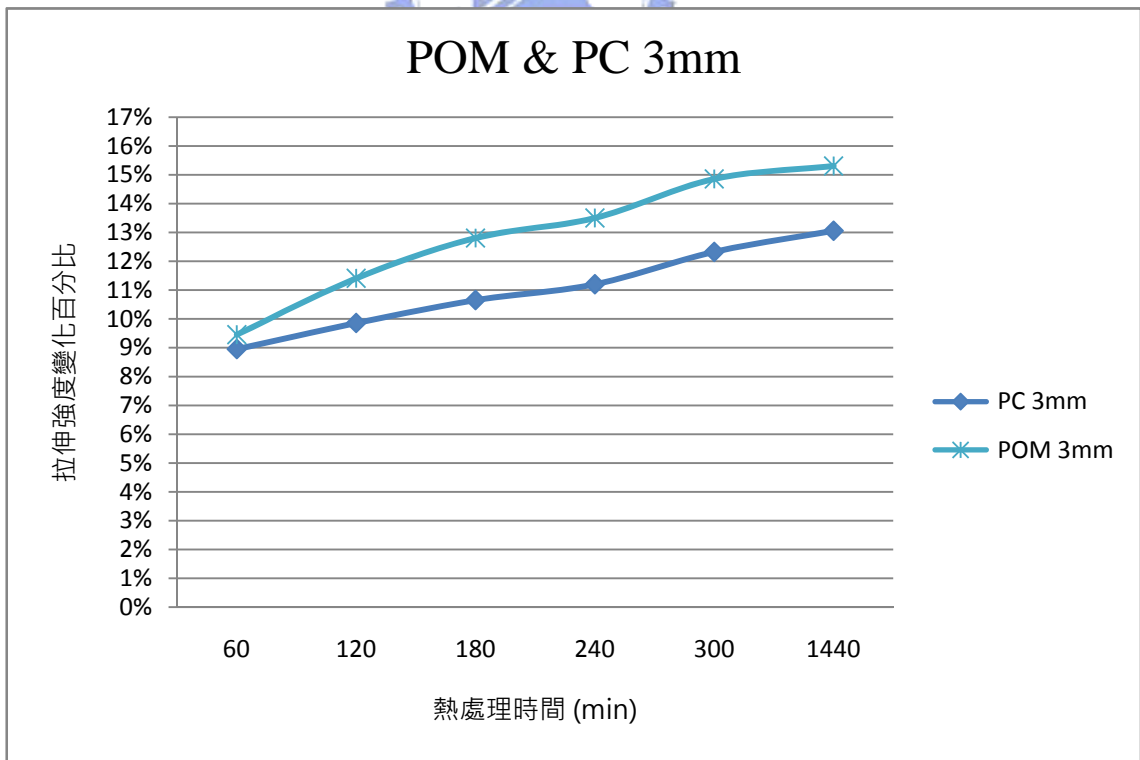


圖6-50 POM 與 PC 3mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖

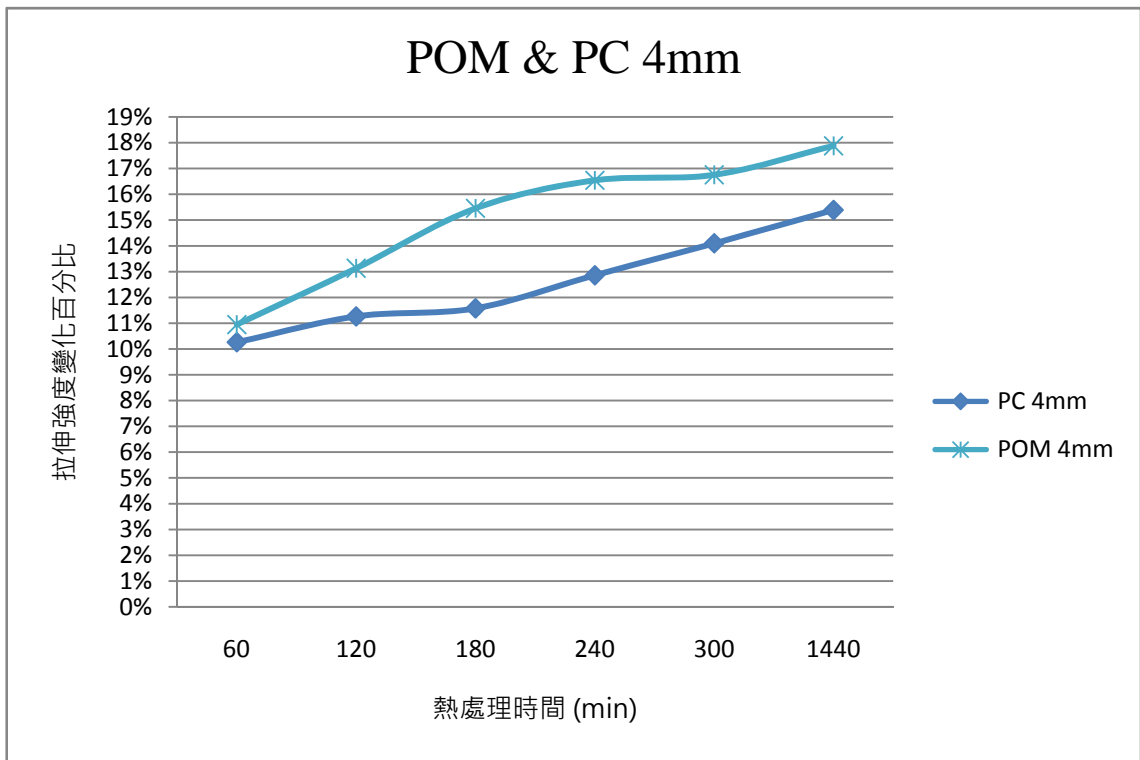


圖6-51 POM 與 PC 4mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖

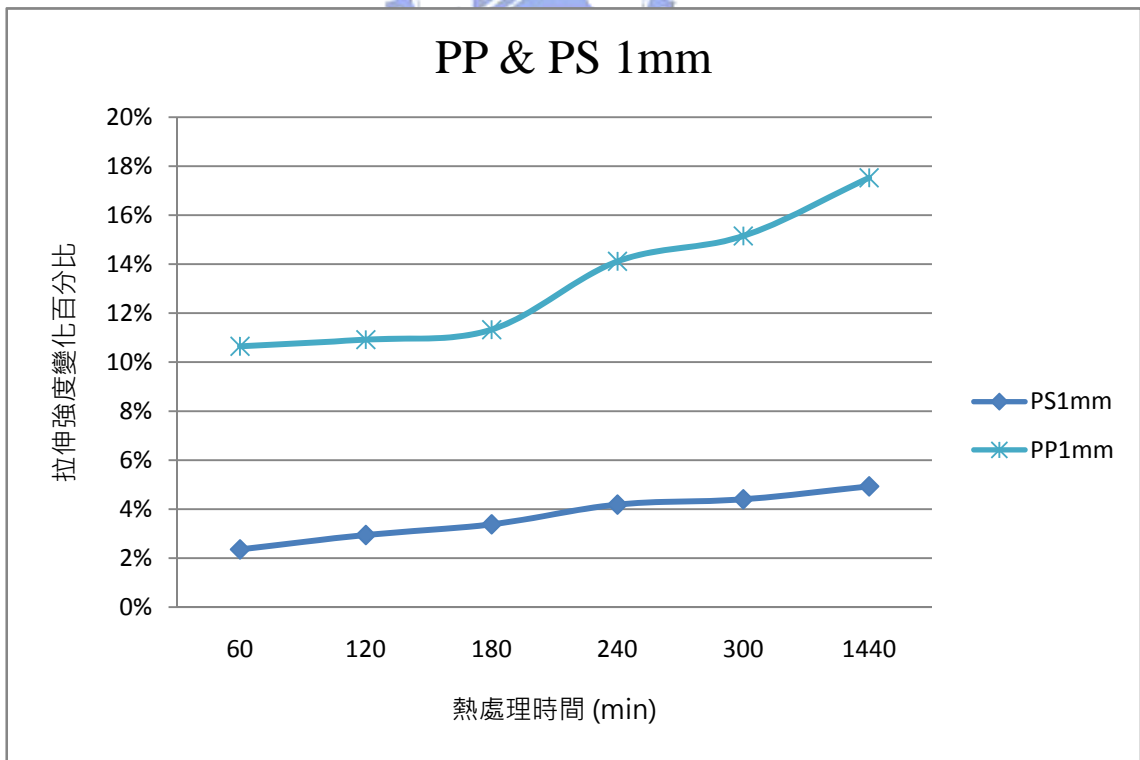


圖6-52 PP 與 PS 1mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖

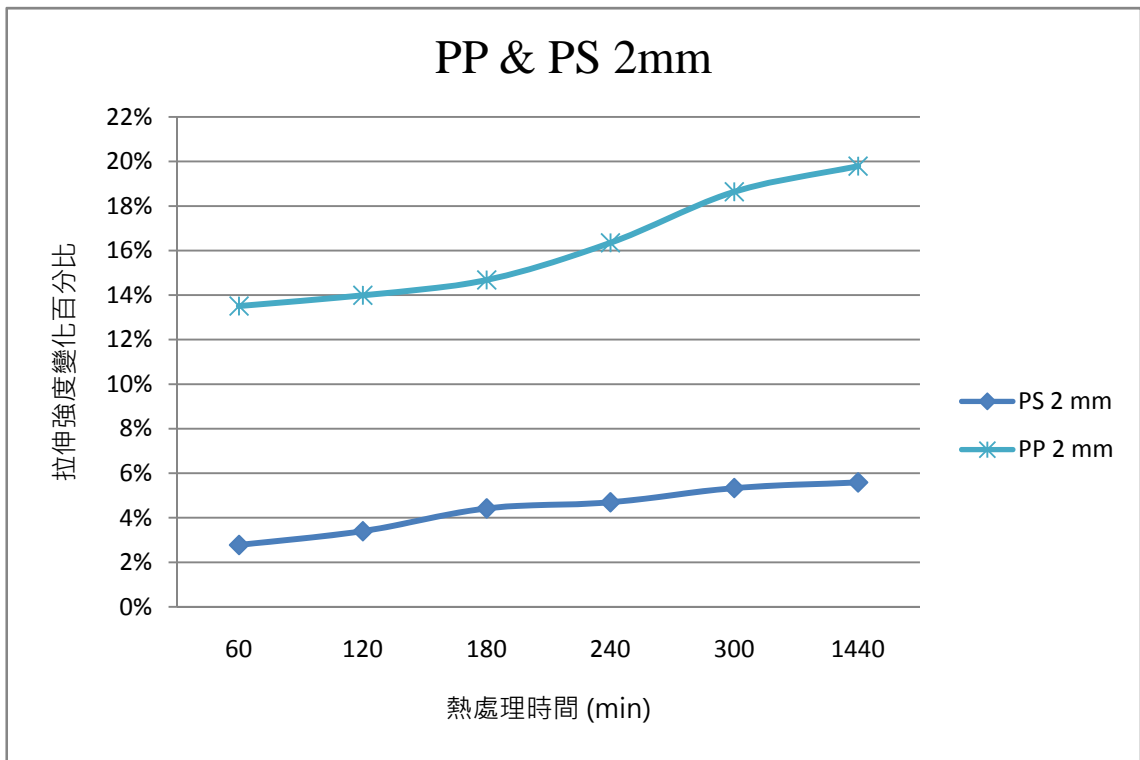


圖6-53 PP 與 PS 2mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖

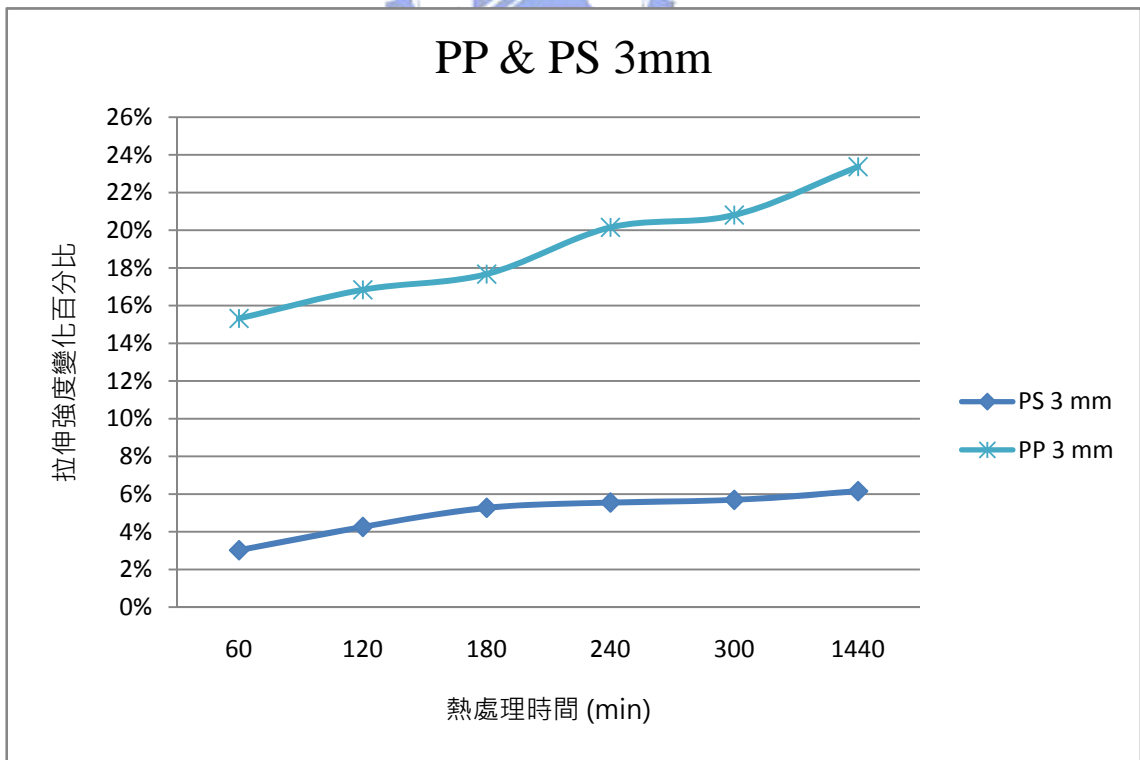


圖6-54 PP 與 PS 3mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖

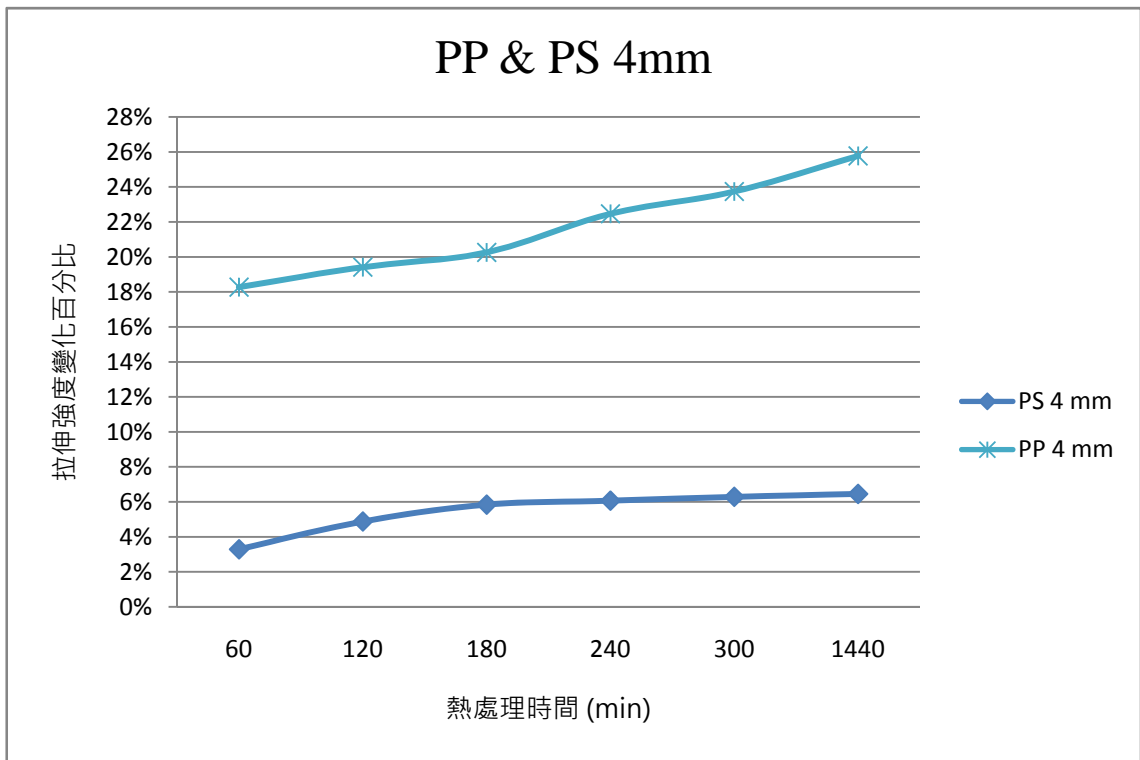
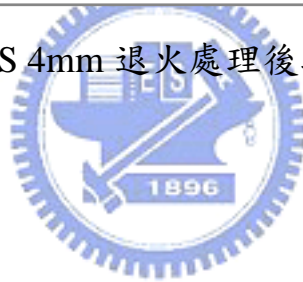


圖6-55 PP 與 PS 4mm 退火處理後拉伸強度增加比較圖



第七章 結論與未來展望

7-1 結論

高分子在實施退火處理時，主要會造成結晶度的提高，以及使糾結的分子鏈部份移動到適當的位置。對高分子而言，其機械性質主要是由分子的結晶程度所影響，當一個高分子的結晶程度越高時，其硬度越硬、剛性越大、密度也越高，而進行高分子結晶度與分子鍊的改變，則需要一定的時間與熱能。本研究以實驗的方式探討退火處理對於高分子的拉伸強度之影響，藉由不同退火時間，分別比較經過退火處理前後拉伸強度的變化量，整個過程從模具的設計製作到實驗之進行以及實驗結果之討論，經由最後的分析與整理，可以歸納出以下之結論：

1. 塑膠材料在退火處理後，拉伸強度隨著退火處理時間增加而增加。
2. 塑膠材料在退火處理後，拉伸強度增加之比率隨著退火處理時間增加而減少。
3. 針對塑膠進行退火處理中，退火處理時間1小時後拉伸強度增加之效率最為顯著，約佔退火處理時間1440分鐘後拉伸強度增加效率50%以上。
4. 在結晶性塑膠（如：POM、PP）與非結晶性塑膠（如：PC、PS）的比較，在經過退火處理後拉伸強度增加的比率上，結晶性材料比非結晶塑膠佳。

7-2 未來展望

本實驗針對PC、POM、PS、PP四種塑膠材料，討論了結晶性與非結晶性塑膠，以及工程塑膠與一般塑膠在退火處理後機械性質改變之差異。未來可以針對研究在不同結晶性，退火處理後分子結構變化的程度，與退火處理不同的時間，其機械性質改變之差異，已可討論在不同退火處理的時間下，塑膠殘留應力的改善，與退火處理後機械性質改變的相對關係。



參考文獻

- [1] 韋仁旌，「以退火處理方式消除射出成型製品殘留應力之研究」，交通大學，碩士論文，民國 97 年。
- [2] 巫承德，「剪切作用對聚丙烯冷卻過程中的高階結構形成之影響」，交通大學，碩士論文，民國 93 年。
- [3] Callister, William D. 著，材料科學與工程導論，陳文照，曾春風，游信和譯，初版，高立，民國九十一年。
- [4] L. H. Sperling, "Introduction to Physical Polymer Science", third edition, John Wiley & Sons, New York, 2001.
- [5] 蔡信行，聚合物化學，文京圖書有限公司，台北，民國七十三年。
- [6] 賴耿陽，聚丙烯樹脂 PP 原理與應用，復漢出版社，台南，民國八十八年。
- [7] 洪伯達，莊偉綜，周哲民，「高分子材料之相分離與結晶化」，化工技術，第十一卷第九期，156~171 頁，民國九十二年九月。
- [8] 塑膠材料成形與加工技術手冊，塑膠世界雜誌社出版，台北，民國八十七年六月。
- [9] 謝淵清譯，工程塑膠之特性及其加工，初版，徐氏基金會，民國八十七年。
- [10] A V. Tobolsky, H F Mark 著，聚合物材料學，李敏達，陳伯寬，何瑞莊譯，初版，國家編譯館，民國七十八年。
- [11] 徐啟峰，「熱塑性塑膠射出成型模內沖孔製程開發研究」，交通大學，碩士論文，民國 96 年。
- [12] 李艾聰，「應用平板式熱管加熱機構於射出成型之結合線消除」，交通大學，碩士論文，民國 95 年。
- [13] 林建中，高分子化學原理，第十一版，歐亞書局，民國八十八年。

- [14] 鶴田禎二，川上雄資著，高分子設計，薛敬和編譯，初版，國家圖書館，民國九十二年。
- [15] 胡德譯，基礎高分子科學，文京圖書有限公司，台北市，民國六十六年。
- [16] Qing-guo Li, Bang-Hu Xie, Wei Yang, Zhong-Ming Li, Wei-qin Zhang, Ming-Bo Yang, “Effect of Annealing on Fracture Behavior of Poly (propylene -block-ethylene) Using Essential Work of Fracture Analysis” , College of Polymer Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan, People’s Republic of China, August 2006.
- [17] Bing Na, Ruihua Lv, “Effect of Cavitation on the Plastic Deformation and Failure of Isotactic Polypropylene” , Department of Materials Science and Engineering, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, People’s Republic of China, 28 February 2007.
- [18] 張留成，高分子材料導論，初版，化學工業，北京市，民國八十四年。
- [19] “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics” Annual Book of ASTM Standards, D638.
- [20] 塑膠工業技術發展中心，<http://www.pidc.org.tw/default.aspx>
- [21] 聚碳酸酯樹酯 PC-110 材料物性表，奇美實業股份有限公司。
- [22] 聚甲醛樹脂 Delrin 100P NC010 材料物性表，台灣杜邦股份有限公司。
- [23] 聚苯乙烯樹酯 PH-60 材料物性表，奇美實業股份有限公司。
- [24] 丙烯樹脂 PT 3757 材料物性表，陶氏化学公司。