

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

應用平板式熱管加熱機構於射出成型之

結合線消除



**Application of vapor chamber for eliminating weld line in
injection molding**

研究生：李艾璉

指導教授：徐瑞坤 教授

中華民國九十五年六月

應用平板式熱管加熱機構於射出成型之結合線消除

**Application of vapor chamber for eliminating weld line in
injection molding**

研究生：李艾聰

Student：Al-Tsung Li

指導教授：徐瑞坤

Advisor：Ray-Quan Hsu

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文



Submitted to Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Mechanical Engineering

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

國立交通大學

論文口試委員會審定書

本校 機械工程 學系碩士班 李艾聰 君

所提論文(中文) 應用平板式熱管加熱機構於射出成型之結合線消除

(英文) Application of vapor chamber for eliminating
weld line injection molding

合於碩士資格水準、業經本委員會評審認可。

口試委員：徐瑞坤 _____

陳紅浩 _____

歐耿良 _____

指導教授：徐瑞坤 _____

系主任：傅武雄 教授

中華民國九十五年六月十六日

應用平板式熱管加熱機構於射出成型之結合線消除

研究生：李艾璵

指導教授：徐瑞坤教授

國立交通大學機械工程學系碩士班

摘 要

本研究應用平板式熱管(vapor chamber)設計一加熱/冷卻機構，之後利用軟體 ICEPAK 進行加熱機構效能的數值模擬，並進行實驗與數值模擬作驗證，確定加熱機構效能後將此加熱機構安裝於射出成型模具內部，實際進行拉伸試片與多孔平板試片之射出成型，機械強度上進行拉伸試驗與彎曲試驗，並針對結合線外觀進行觀察，探討本研究所設計之加熱方法，是否可有效改善目前射出成型結合線在機械強度與外觀上的問題。

實驗結果顯示，在拉伸試驗與壓力試驗，使用加熱機構加熱，確實可提高試片抗拉與抗彎曲的最大強度，但材料韌性則無明顯改善。而使用加熱機構加熱之試片，在肉眼上幾乎看不見結合線，利用顯微鏡觀察結合線深度只有未加熱的 1/24 倍，因此本研究加熱機構可有效改善結合線外觀問題，而使用平板式熱管於射出成型模具上，確實可達到應有的熱傳效果。

Application of vapor chamber for eliminating weld line in injection molding

Student : Ai-Tsung Li

Advisor : Dr. Ray-Quen Hsu

Department of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

The logo of National Chiao Tung University is a circular emblem with a gear-like border. Inside the circle, there is a stylized figure holding a torch, and the year '1896' is inscribed at the bottom. The word 'ABSTRACT' is overlaid on the logo in a bold, black, sans-serif font.

ABSTRACT

A rapid heating/cooling device in combination with the mold was designed. The effectiveness of this device was checked both by the experiments and computer simulation. ICEPAK was selected for simulating the heat transfer of the vapor chamber. Then the heating device was mounted on the injection mold, several pieces of the plastic plate with holes were injected, their strength both bending and tensile was tested. Improvements on the strength of the weld lines were investigated. The results showed that with the rapid heating/cooling device, weld line depth is greatly reduced, in some heating conditions, that naked eye no longer can find its existence. With the help of the optical magnification, we found that the weld line depth for plates produced by rapid heating mold is only 1/24 of those without heating.

致 謝

時間飛逝短短兩年碩士生涯很快的就結束了，在這兩年中首先要感謝我的指導教授徐瑞坤教授對我論文上的指導與生活上的照顧，讓我學習到許多作研究的態度與解決問題的辦法，感謝論文口試委員陳仁浩教授、歐耿良博士與論文計畫書口試委員洪景華教授對我論文上的指教，讓我的論文得以順利完成。

感謝在 EE407 成形實驗室的所有研究伙伴，博士班蔡毓斌學長在論文上的幫忙與實驗現場的指導，博士班林耀南學長為實驗室帶來歡樂，感謝我的實驗室同學小銘跟筱雯陪我一起修課與學習，感謝學長永霖、添煌、事宏、飛哥在我碩一的時候對我的照顧，感謝最常陪我一起作實驗的學弟阿達，還有幫我一起整理論文的啟峰，在我作實驗的時候總有你們在旁邊陪我說笑，感謝大益在我趕論文的晚上總是有你跟我一起在實驗室，感謝曾仕俊陪我一起打球，謝謝你們，有你們讓實驗室總是天天都很開心。

謝謝台灣大學博士班王榮昌學長對我的幫忙，感謝我的好友居正在新竹對我的照顧，感謝曉婷給我的鼓勵，最後最重要的，感謝我的家人，感謝爸爸媽媽 20 幾年來對我的付出與養育之恩，讓我在求學的路上順利沒有牽掛，謝謝你們。

目 錄

目錄	I
表目錄	IV
圖目錄	V
第一章	序論.....	1
1-1	前言.....	1
1-2	射出成型加工的問題點.....	3
1-3	研究動機.....	5
第二章	文獻回顧.....	7
2-1	結合線的成因.....	7
2-2	結合線對結構強度的影響.....	8
2-3	解決結合線目前的方法.....	9
第三章	射出成型與加熱系統介紹.....	15
3-1	射出成型製程簡介.....	15
3-1-1	傳統射出成型.....	15
3-1-2	射出壓縮成型.....	17
3-1-3	氣體輔助射出成型.....	17
3-2	模具快速加熱/冷卻系統.....	18
3-3	平板式熱管原理.....	21

3-4	快速加熱/冷卻系統之操作流程.....	22
3-5	模具機構功能需求考量重點.....	22
3-6	加熱系統與冷卻系統.....	23
第四章	實驗原理與步驟.....	29
4-1	加熱機構設計.....	29
4-2	溫度量測實驗與熱傳軟體數值模擬.....	31
4-3	實驗試片製作	33
4-3-1	拉伸試片.....	34
4-3-2	多孔平板.....	34
4-4	試片強度與外觀實驗.....	35
第五章	熱傳分析軟體介紹與模擬流程.....	45
5-1	熱傳軟體 ICEPAK.....	45
5-2	數值模擬流程.....	47
5-2-1	模型建立與轉檔.....	47
5-2-2	材料參數與邊界條件.....	47
5-2-3	後處理.....	48
第六章	實驗結果與討論.....	53
6-1	軟體模擬熱板效能.....	53
6-2	熱傳模擬結果與實驗量測比較.....	55

6-3	實驗用模具與加熱機構.....	55
6-4	製作完成之拉伸試片.....	56
6-5	製作完成之多孔平板試片.....	56
6-6	試片機械強度試驗.....	57
6-6-1	拉伸試驗.....	58
6-6-2	彎曲試驗.....	59
6-7	試片結合線位置幾何形狀的變化.....	60
6-7-1	拉伸試片結合線幾何形狀變化.....	60
6-7-2	多孔平板結合線幾何形狀變化.....	61
第七章	結論與未來展望.....	85
7-1	結論.....	85
7-2	未來展望.....	86
參考文獻	88
附件一	完成模具照片.....	91

表目錄

表 4.1	熱板熱傳係數.....	37
表 4.2	ASSAB 718 材料參數.....	37
表 5-1	ASSAB 718 材料參數.....	49
表 5-2	平板式熱管相關參數.....	49
表 6.1	溫度量測實驗升溫.....	63
表 6.2	實驗平均標準誤.....	63
表 6.3	拉伸試片射出成型參數.....	63
表 6.4	多孔平板射出成型相關參數.....	64
表 6.5	彎曲試驗結果.....	64



圖目錄

圖 1-1	塑膠充填的噴泉流現象.....	6
圖 2-1	產品上之結合線.....	13
圖 2.2	結合線形成示意圖.....	13
圖 2-3	結合線形成示意圖 2.....	14
圖 2-4	結合線內部鍵結.....	14
圖 3-1	射出成型製程步驟.....	25
圖 3-2	射出機之射出單元.....	26
圖 3-3	螺桿之三段區域示意圖.....	26
圖 3-4	銅電極加熱方式.....	27
圖 3-5	火焰加熱.....	27
圖 3-6	平板式熱管內部示意.....	28
圖 3-7	加熱冷卻示意圖.....	28
圖 4-1	實驗流程圖.....	38
圖 4-2	平板式熱管圖.....	38
圖 4-3	槓桿加熱示意圖.....	39
圖 4-4	渦流管內部示意圖.....	39
圖 4-5	溫控設備.....	40
圖 4-6	熱源.....	40

圖 4-7	實驗用鋼板.....	41
圖 4-8	模型表面溫度量測點.....	41
圖 4-9	ABS 單位分子結構.....	42
圖 4-10	拉伸試片規格圖.....	42
圖 4-11	多孔平板模型.....	43
圖 4-12	電腦伺服控制材料試驗機.....	44
圖 4-13	彎曲試驗示意圖.....	44
圖 5-1	模擬處理流程圖.....	50
圖 5-2	模擬模型圖.....	51
圖 5-3	平板式熱管熱傳係數變化圖.....	52
圖 6-1	數值分析所建立之模型.....	65
圖 6-2	右邊：使用平板式熱管 1s 20s 40s 60s.....	66
圖 6-2	左邊：未使用平板式熱管 1s 20s 40s 60s.....	66
圖 6-3	各點時間溫度曲線比較.....	67
圖 6-4	未使用平板式熱管各點溫度曲線.....	68
圖 6-5	使用平板式熱管各點溫度曲線.....	68
圖 6-6	10mm 厚度鋼板熱源 110°C 實驗模擬曲線比較.....	69
圖 6-7	10mm 厚度鋼板熱源 130°C 實驗模擬曲線比較.....	69
圖 6-8	20mm 厚度鋼板熱源 110°C 實驗模擬曲線比較.....	70

圖 6-9	20mm 厚度鋼板熱源 130°C 實驗模擬曲線比較.....	70
圖 6-10	(a)拉伸試片模具上視圖.....	71
圖 6-10	(b)拉伸試片模具下視圖.....	71
圖 6-10	(c)拉伸試片模具右視圖.....	72
圖 6-10	(d)拉伸試片模具前視圖.....	72
圖 6-11	多孔平板模仁工程圖.....	73
圖 6-12	拉伸試片成品.....	74
圖 6-13	多孔平板試片成品.....	75
圖 6-14	充填示意圖.....	75
圖 6-15	未加熱多孔平板.....	76
圖 6-16	單邊加熱多孔平板.....	76
圖 6-17	雙邊加熱多孔平板.....	76
圖 6-18	拉伸試驗力量-位移關係圖.....	77
圖 6-19	(a)有結合線之拉伸斷面.....	78
圖 6-19	(b)無結合線之拉伸斷面.....	78
圖 6-20	力量位移關係圖.....	79
圖 6-21	經彎曲試驗後試片破壞圖.....	79
圖 6-22	研磨後經彎曲試驗試片破壞圖.....	80
圖 6-23	放大 1000 倍顯微照片.....	80

圖 6-24	放大 5000 倍顯微照片.....	81
圖 6-25	放大 10000 倍顯微照片.....	82
圖 6-26	未經加熱試片顯微照片.....	83
圖 6-27	未經加熱前視圖.....	83
圖 6-28	單邊加熱試片顯微照片.....	84
圖 6-29	單邊加熱前視圖.....	84
圖 6-30	雙邊加熱試片顯微照片.....	85
圖 6-31	雙邊加熱前視圖.....	85



第一章 序論

1.1 前言

塑膠質量輕，加工容易、耐腐蝕、且具有不易導電等優點，使其廣泛的應用於機械、汽車工業、電氣、光學、醫療、食品等工業上，如手機、電腦、高精度光纖連結器、CD 片、導光板等，產品皆大量使用塑膠材料作為其結構及各重要零件之材質。1981 年全世界使用的塑膠體積總量首度超越鋼鐵，而且兩者的差距正逐漸的拉大。光是台灣每年塑膠製品的產值，就超過台幣 3,000 億元。近年來，隨著塑膠材料品質的不斷改良與新種類的持續開發，塑膠材料的應用更有加速之勢。



射出成型製程擁有生產快速與自動化的優點，因此也是在製作塑膠製品上應用最廣泛的製程之一。雖然射出成型製程在生產上具有一定的優勢，但是在產品造型、模具結構，甚至是機台調整的限制下，塑膠產品的外觀缺陷，如包風現象、毛邊、外觀的刮傷、短射、結合線(Weld line)、還有殘留應力造成翹曲、精度不佳等問題，仍然是目前在產品開發或生產產品過程中必須花費大量時間，金錢及技術克服的困難。

在這些問題之中，結合線是最常見的外觀缺陷之一。雖然這項缺陷可以利用噴漆、電鍍等二次加工製程加以掩飾，但是隨著塑膠透明

外觀件的大量應用（如 Apple 的電腦）、環保問題造成的塑膠回收限制、產品成本的控管甚至是結構強度上的顧慮，都使得這項外觀缺陷變成產品開發時最頭痛的問題。

結合線發生之原因，最主要是由於塑料流動性不佳使合流處之空氣無法從模穴內排出所造成。然而製作透明塑件時，模具內往往因為無法增加排氣機構，使得結合線的痕跡更加明顯。從以往的經驗中，在無法額外增加排氣機構的限制下，提高模具溫度或提高塑料成形溫度對於結合線的消除確實有幫助。而上述兩種方法中，更以提高模具溫度為主要方法（提高塑料成形溫度容易造成塑料裂解，反而造成額外的外觀缺陷）。但將模具溫度提高，會讓塑件成形時間延長（塑件必須在模具內冷卻至頂出溫度，才可開模取出），造成不必要的成本浪費。而模具溫度要提升到多少，才能保證消除結合線，僅能根據經驗加以評估，沒有相關數據可供參考。因此本研究希望能夠在成形品結合線位置設計一套可局部快速加熱之機構，利用局部提高模具溫度、降低塑料黏度，讓塑料在合流處能有較佳之流動性，使結合線痕跡能夠消除。

熱管(Heat pipe)是目前廣泛應用於熱交換方面的產品，在文獻上也已經有人將之應用於射出成型模具的散熱，而本研究使用與熱管相同原理的蒸氣腔體(Vapor chamber)，又稱為平板式熱管，將平板式熱

管應用於射出成型模具的加熱機構上，利用其兩相流體極快速高潛熱釋放的熱傳特性，設計一套可安裝於塑膠射出成型模具上之快速加熱/冷卻系統，期望可以在一個局部固定範圍內達到均勻且快速的加熱效果，藉此機構解決結合線問題。

1.2 射出成型加工的問題點

結合線發生之原因，最主要是由於塑料合流處之空氣無法從模穴內排出所造成。因此一般解決結合線問題的方法，不外乎下列三種：(1)提高料溫(2)提高模溫(3)增加排氣機構。這三種方法，都是以降低塑膠黏度，改善塑膠的流動性，並且幫助空氣從模穴內排出。然而，增加料溫雖然能夠降低材料黏度，使得塑膠充填更為順利。但是料溫太高，容易造成材料裂解，而發生其他更麻煩的外觀問題。另外增加排氣機構雖也可以幫助結合線痕跡消除，但是並不適用於所有的產品因為透明塑膠件上不能夠有頂針或者是入子的痕跡，所以調整模溫就成了一般最常使用的解決問題方法。

在射出成型過程中，塑膠是以層流 (Laminar flow) 的方式流動，而其流動波前 (Melt front) 則是以噴泉流 (Fountain flow) 的形式充填模穴，如圖 1-1。噴泉流的流動方式，會讓塑料從模壁接觸側逐漸向塑料中心層固化。

當模溫過低時，固化層的增加速度會加快，使得中心熔膠可通過的面積減少，增加熔膠流動的阻力。如果模溫過低造成固化速度過快時，中心熔融區域會大幅減少，最糟的狀況甚至造成短射（Short shot）。當塑膠在充填階段發生流動困難的問題時，不但會造成外觀缺陷，產品也容易因為體積收縮不均而發生翹曲變形的問題。

模溫提高時，除了高模溫能夠降低進入模穴的塑膠黏度，改善塑膠的流動性外，還能夠降低成形壓力以及降低鎖模力。但是由於模具溫度增加後，塑料從熔融溫度降低到頂出溫度所需的時間勢必會隨之增加，成形時間（Cycle time）也會隨之增長，這會造成生產成本的提高。

為克服上述的困難，本研究提出一套模具快速加熱/冷卻機構，其中包含

1. 可獨立安裝於各種塑膠射出成型模具上
 2. 在塑膠充填階段提供快速加熱功能
 3. 在塑膠開始固化後提供快速冷卻功能
 4. 上述過程可以自動循環完成
- 等特點。

1.3 研究動機

本研究範圍適用於塑膠射出成型模具之範疇，測試之材料為熱塑性塑膠材料，主要著重於應用平板式熱管，設計一可用於模具內部的加熱機構，經軟體數值模擬與實驗驗證確定加熱機構效能後，將加熱機構安裝於射出成型模具內進行射出成型實驗。成形後之試片觀察結合線於不同的加溫條件下外觀的變化，以及不同加溫條件下試片的機械強度，進而找出模具加熱溫度對於結合線的影響。



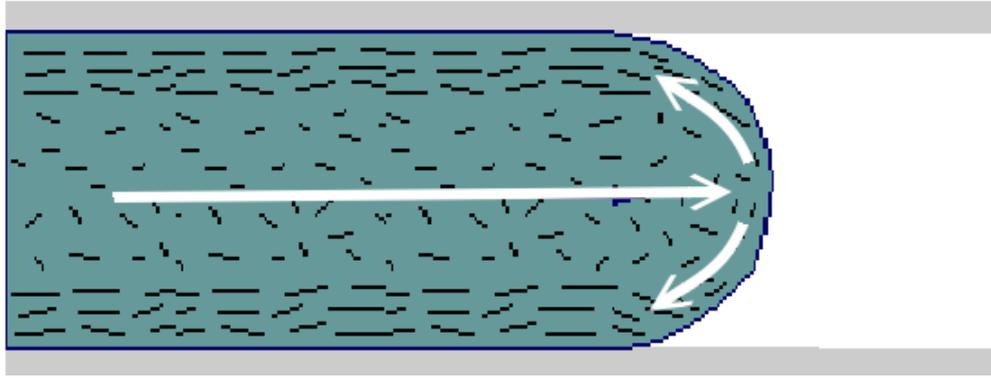


圖 1-1 塑膠充填的噴泉流現象



第二章、文獻回顧

2-1 結合線成因

射出成型技術中複雜形狀和多樣性的產品，常會出現結合線 (Welding line) 而造成如圖 2.1 之缺陷，這類缺陷影響成品品質和強度。結合線又稱熔合線、熔接線和融接痕等，通常發生在分別的兩股或兩股以上的熔膠流動時，波前以相對的方向流動，當流動路徑越遠時，熔膠的溫度遞減，模腔壁所形成之固化層亦隨著流動路徑越遠時，溫度就越冷，固化層就越厚。如圖 2.2 所示當兩股熔膠相遇在一起時其模腔壁最窄，熔膠溫度最低。若其熔膠溫度過低便會造成熔膠合流部份之接合處分子擴散不易，形成結合線。再者若於合流的位置存在著空氣或其他揮發性物質如離型劑等異物，熔膠合流部份即會存在著高度壓縮的空氣及穢氣所留下的空間，當合流部份之壓力持續增加時，分子即呈高度之等向性，其擴散極為不易，亦會形成結合線。另外在模具的製造上，若有突起物、多點進澆或者是肉厚不均時，亦會造成熔膠分流的數目增加，亦即結合線之數目增多，這亦會形成結合線如圖 2.3[1]。在文獻中所整理結合線形成的原因歸納如下[1~5]:

1. 兩個或兩個以上的澆口(Gate)，每增加一個澆口，最少會增加一條結合線。
2. 成形品有不同的肉厚變化時，會因為塑膠流動之跑道效應 (Race

tracking) 而產生結合線。

3. 塑料因固化速度太快造成流動性不佳。
4. 塑料在合流處捲入空氣或脫模劑等。
5. 模穴內有障礙物，或是製品形狀上有孔洞等複雜的形狀，如手機、鍵盤、PC Camera 等。

2-2 結合線對結構強度的影響

結合線不僅會影響成形品之外觀，同時也不利於成形品的結構強度，I. S. Dairanieh[2]利用商用模流分析軟體 moldflow 預測結合線發生的地方，並且計算結合線區域之材料強度，Necar Merah[6]討論塑膠材料 CPVC 在環境溫度 $-10^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 的過程中的結合線強度變化，也證明了結合線的存在會明顯降低材料的拉伸應力，溫度越低時其影響越明顯。而結合線強度不佳的原因包括 E. M. Hagerman [7]因為其兩邊的熔膠相遇接觸後，結構和性質改變發生不完全鍵結 (Bonding)，使得結合線強度減弱，且由於熔膠波前會產生噴泉效應，使波前位置的分子鏈配向呈現互相平行，分子鏈間穿插糾纏情形不佳，造成其結構的弱點，再加上因為空氣及雜質使結合線表面形成 V 形的缺口 (V-notch)如圖 2.2，造成應力集中使產品容易在這個地方造成破壞，這個部分是外觀上就可以看出來的。

2-3 解決結合線目前方法

結合線的問題在塑膠的成形加工中算是相當棘手的問題，目前還沒有一套方法可以完整解決結合線的問題，目前的作法，還是僅能根據經驗從模具上變更澆口位置與加強排氣，或者是從成形參數上提高模溫、料溫等來解決，但是並不保證一定能夠完全消除結合線痕跡。除了外觀上的影響，結合線同時會影響整個截面內部的鍵結強度如圖 2.4 所示，因此結合線的截面形狀、長度、材料性質等，都會影響該區域之強度。以下將針對以往文獻中提出之研究作一簡短說明。

S. Fellahi[1]提出改變澆口位置與數目，或是在可能產生結合線的位置設置排氣機構，使空氣能夠藉由排氣機構釋出，避免結合線的產生。Du Hwan Chum [8]以改變澆口位置的方法，移動與控制結合線產生之位置。Younggon Son[5]將結合線移到較不影響外觀或者是強度的地方，例如將結合線產生於成品的非外觀面或是截面積較大的區域都是不錯的解決方法，Miguel Pazos[9]是利用 CAE 軟體模擬光學透鏡的充填情形，再找出結合線的位置後再以控制鏡片之肉厚分佈的以解決結合線的問題。

Osman G. Ersoy [3]檢討沒有添加纖維的塑膠材料其結合線強度的問題，結合線強度減弱的原因可以解釋為分子配向結合度不足，而對於添加纖維的塑膠材料而言，則是因為纖維的 aspect ratio 所造成，

作者利用在材料中添加不同比例的滑石，進而提高結合線位置的強度。Chang Lu[10] 利用 PS/PA-6/ SMA 混合材射出成型來研究結合線強度，並且以 SEM 觀察結合線位置材料接合情形，最後發現結合線的位置與強度受到 SMA 的比例影響。Turng and Kharbas[11]則是探討在微細發泡成形 (MuCell) 技術中，加工參數對結合線強度的影響。加工參數則包括了料溫、射出量(Shot size)、超臨界流體(Supercritical fluid ,SCF)以及充填速度，並與傳統射出成型製程作比較，以田口法進行 PC 材料的拉伸試驗，再以拉伸試驗機進行材料強度測試，最後以電子顯微鏡和光學顯微鏡，檢測不同加工參數下的截面。結果顯示微細發泡成形技術可以增加結合線強度，而加工參數射出量，對結合線強度影響很大。



Dai[12] 提出使用改良型的針點澆口可以改善模穴中的塑膠流動狀態，亦可改善結合線區的機械強度。Koster[13]是以 PS 為研究材料，製作相同形狀的兩個試片，其中一個有結合線，而另一個沒有結合線，將兩種試片進行拉伸試驗與拉伸衝擊試驗，結果說明流動所引起的應力與熔膠的溫度，會影響結合線強度，熔膠溫度越高結合線強度越強。L. Wang[14]利用 scorim 的技術控制塑膠固化過程，讓塑膠在結合線位置重新配向排列，而其利用這種方法的結合線強度，會比傳統的成形方法結合線強度強上 16 倍，而這樣方法製作的拉伸測試

片其強度也提升了 90%左右。成功大學曾宇譚[15]針對三種不同材料有 PS、HDPE、PS+HDPE (20%)，改變料溫、模溫、射出速度和射出壓力等參數，探討結合線強度和鍵結問題，會因製程條件不同產生差異。由結果得知模溫對 PS 的結合線強度影響僅次於料溫。中原大學鍾明修[16]使用不同厚度(2.5、1.2、1.0 and 0.8mm)的 ABS 薄殼試片，探討結合線的鍵結度與四種參數間的相關性，當料溫、模溫、射出速度增加而保壓壓力減少時，試片的抗拉強度會因此變強。

Chang 和 Faison[17]利用田口實驗(Taguchi method)分析結合線，製程參數包括：料溫、模溫、射出壓力、保壓壓力、冷卻時間、保壓時間和背壓。射出像狗骨頭的試片(ASTM D638 Type I)，其塑膠材料為 HDPE，並進行機械強度試驗，探討其結合線寬度和拉伸衝擊(Tensile impact)強度。由實驗可以得知，料溫對結合線寬度的影響較大，而模溫則是影響拉伸衝擊強度較大。Shih-Jung Liu 等人[18]利用奇美公司生產的聚苯乙烯材料(Polystyrene)，規劃田口實驗 L18 的直交表，選用六個不同的製程參數，如：障礙物幾何形狀、射出壓力、料溫、保壓壓力、模溫和射出速度，並分別各有三個水準數，並且找到抗拉強度最佳的參數組。利用模穴內不同的障礙物，使結合線產生，並且用拉伸試驗機，對試片做拉伸實驗，由實驗結果，得知影響結合線強度，最主要的兩個參數料溫和模溫。在 Osman G[3]與 R.

Selden [4]也都有提出改變製程參數，如：模溫、料溫、射出速度、保壓壓力、保壓時間、冷卻時間和射出加速度等，都可有效解決結合線的問題。Y.H. Chung[19]的研究中，更將製程參數縮小到提高料溫與提高結合線處的壓力就可以解決結合線的產生，綜觀以上的研究先進所發表的各種文獻中，明確的實驗與分析，歸納後可以得到提高溫度與壓力用來解決結合線問題是可行的方法。



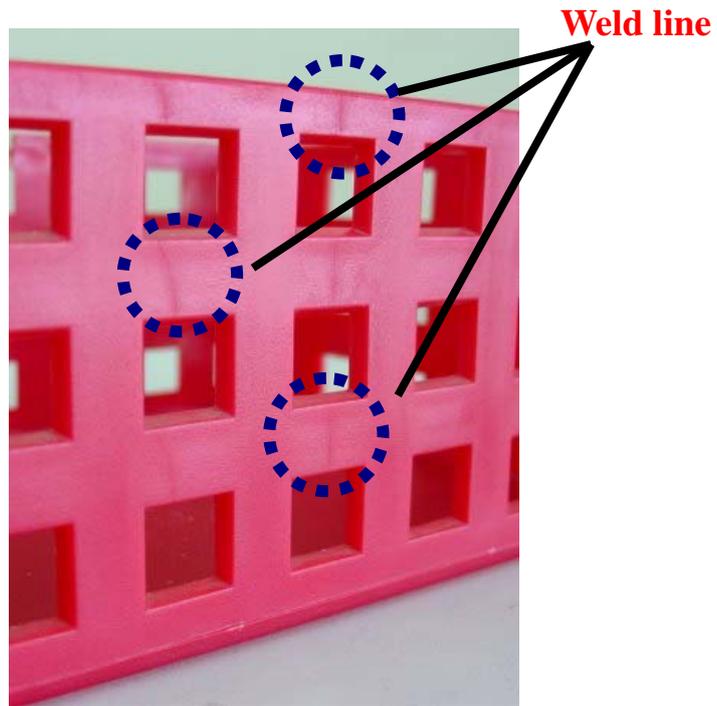


圖 2.1 產品上之結合線

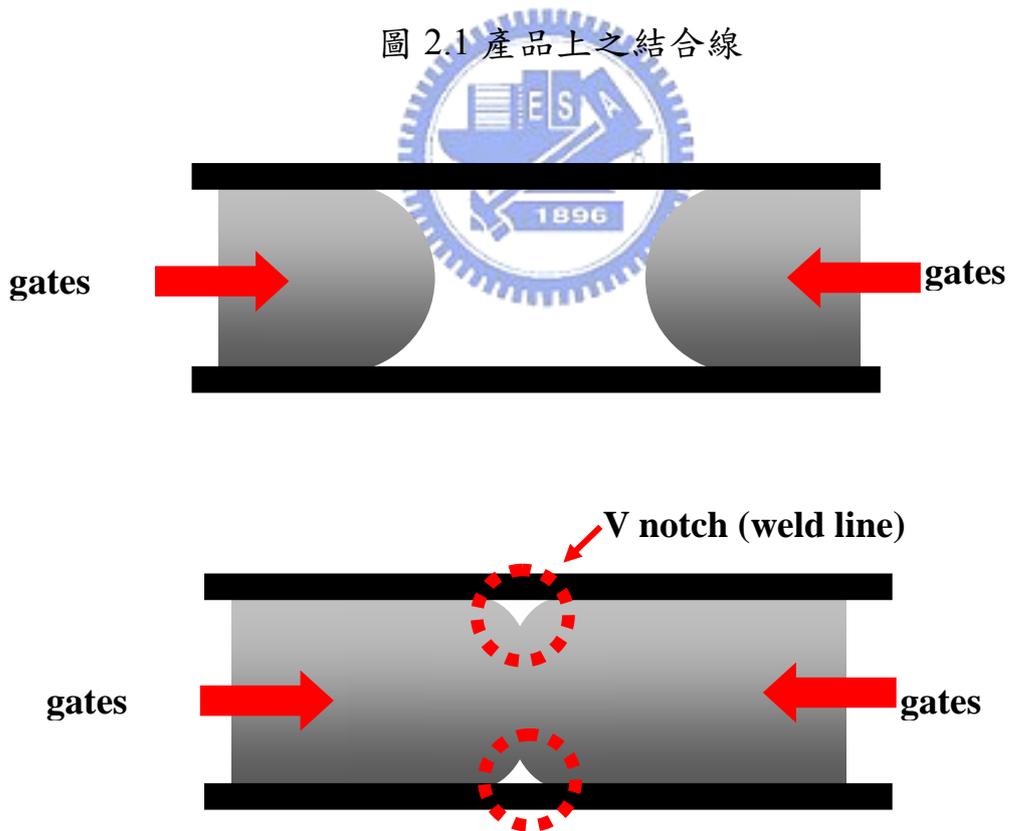


圖 2.2 結合線形成示意圖 1

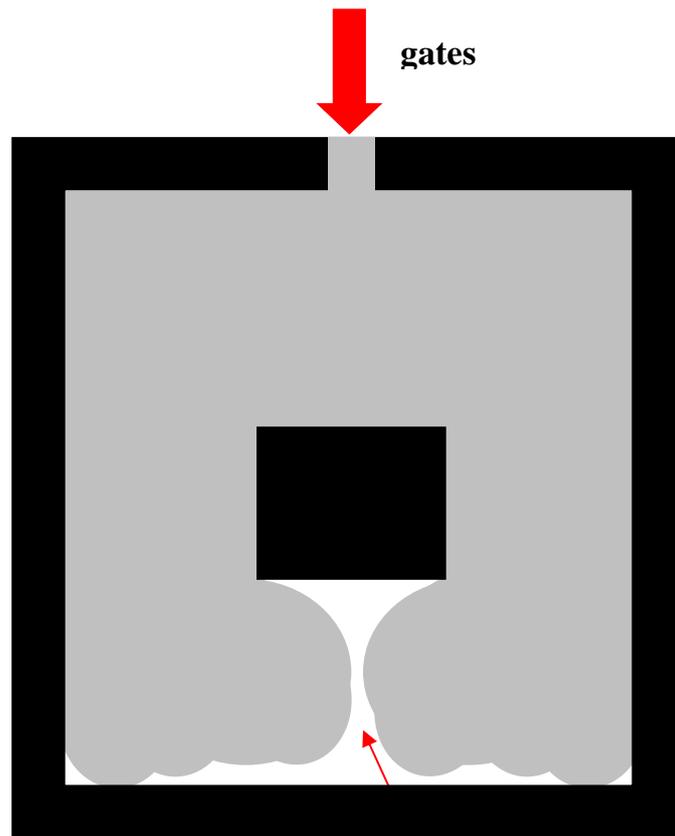


圖 2.3 結合線形成示意圖 2

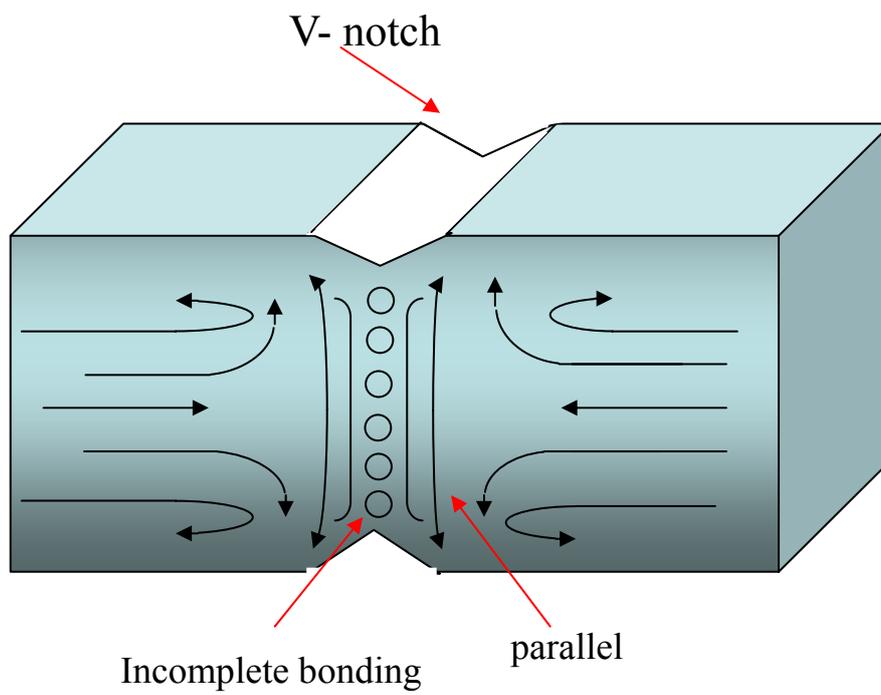


圖 2.4 結合線內部鍵結

第三章 射出成型與加熱系統介紹

由於模具快速加熱/冷卻系統必須配合射出成型的製程進行操作，因此本章節將先對射出成型製程作基本介紹，再說明應用平板式熱管於模具快速加熱/冷卻系統的操作時機以及設定方式。

3.1 射出成型製程簡介

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是隨時間變化，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[20]所示，而由於射出成型製程為了製造上的需求不停改良，因此成就出許多種不同的射出成型製程，以下就塑膠射出成型的分類作介紹。

3-1-1 傳統射出成型

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[20]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[21]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的，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，令模穴內熔膠密度提高，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。

3-1-2 射出壓縮成型

射出壓縮成型與射出成型最大的不同，是在傳統射出成型之外再加入壓縮的步驟，不再單靠熔膠由澆口所給予的壓力，而是利用油壓缸壓縮，由模壁給予全面施壓。在塑膠充填模穴之前，模穴並沒有完全閉合，因此等於塑件的肉厚增加，使得塑料更容易充填模穴。一旦充填結束，再由射出機於公模側施加壓力，將模具完全閉合。利用此方法製作的成品其精度較高，目前常用於光學元件之製作上。

3-1-3 氣體輔助射出成型

氣體輔助射出成型與傳統射出成型的最大不同，在於保壓階段的差異。該製程在充填階段與傳統射出成型相同，但是保壓階段時則是打入控制壓力或者是控制體積的氣體於熔膠核心流動，由於氣體可以推擠熔膠前進使之充滿整個模穴，而所使用氣體一般為氮氣，因此藉由持續進氣可取代傳統射出成型製程中的保壓製程，對於大而薄的成

形品可使用較均勻而低的壓力，即可完成射出，因此可以減少殘留應力及翹曲變形並增加機械強度，目前氣體輔助射出成型多應用於結構性產品，例如：電視機外殼、電腦螢幕外殼等等。

3-2 模具快速加熱/冷卻系統

射出成型的製程當中，溫度是相當重要的一個因素。所謂溫度除了塑膠料的料溫之外，另外還有模具模溫。為了提昇射出成型的製品品質，最為慣用的方法就是模溫控制。在許多研究中都有提出模溫是影響成形品的重要因素，Friel[22]曾探討模具溫度會影響成形表面品質、收縮、尺寸偏差及翹曲。Y. Doggang[23]設計的模溫系統利用對模穴直接鍍上一層薄金屬及絕緣層來做模具的加熱、冷卻，結果顯示製程時間約 12 秒，且所鍍的加熱層較薄者，反應速度較快。Schmidt[24] 提到射出成型除了降低製程時間，也必須考慮溫度的均勻性，否則導致成品的不穩定。

Catic[25]將射出成型中的參數區分為動態因素及靜態因素兩者，其中動態因素包括溫度控制之平均溫度、環境因素、熔膠溫度、冷卻用循環液之速度、冷卻時間、射出壓力、射出速度、保壓時間、保壓壓力等。而靜態因素主要和模具溫度、材料、熔膠熱性質以及冷卻管之尺寸有關。一般在射出成型的生產時，可控制的因子中最主要

及最具決定性的為模溫高低及冷卻時間長短兩者。

在模具的加熱方式上，有下列幾種作法，傳統加熱方法是使用模具內的水路，在水路內通入高溫流體進行加熱，一般採用水作為工作流體，不過水溫上限只到達 100°C，若將工作流體換成油，則可以加熱到達 160°C，此種方法目前最為普遍也不需額外裝設備，只是加熱的效率差，容易拉長成形時間（Cycle time），且無法達到局部加熱，目前並無法完全解決結合線的問題。

感應加熱（Induction Heating）也是另外一種快速加熱的方式，其優點為加熱快速，可達到的加熱溫度也高，不過由於其線圈設計較為複雜，同時容易與模具內的其他機構發生干涉，目前在商業上的應用仍然有限。



另外 Y. Doggang[23]提出使用銅電極加熱，其設計的模溫系統利用對模穴直接鍍上一層銅及絕源層來做模具的加熱、冷卻，利用加熱層的厚薄控制加熱速度。圖 3.4 為加熱方式示意圖，不過鍍膜於模穴上之技術仍然不容易控制，加上鍍膜後之金屬表面對於塑料成形面之光亮度也會有影響，因此應用的範圍也有限。

而火焰加熱[26]是利用瓦斯噴槍，在模具合模瞬間，在模面噴火加熱後再合模進行充填。圖 3.5 為加熱方式示意圖，其危險性高且加熱並不均勻，溫度也不容易控制。

目前解決結合線方面最成功的加熱方式要屬小野株式會社所申請的專利 RHCM(Rapid Heat Cycle Molding)[27]技術，其加熱方法是利用高溫高壓的蒸氣加熱與低溫的蒸氣冷卻，可作整體加熱與局部加熱，能成功解決結合線問題且不至於拉長成形時間，缺點是由於溫度在短時間內快速升高及下降，使得模穴表面容易產生水氣，且利用此方式必須額外加裝高溫高壓的蒸氣產生器，這對於成本上來說也是負擔之一。

利用電熱管加熱的方式也是目前較普遍應用於生產上的加熱方法，其安裝容易且價格不高，缺點是傳熱上不均勻，且將電熱管埋進模具內，模具降溫時溫度不容易下降，這會使得成形時間拉長，因此仍有改善的空間。

以上方法中，每種方法各有其優點但也都有缺點，而電熱管加熱有著機構簡單方便的優點，且目前應用於產業上接受度高，如能改善其傳導的效率不佳，與升溫太慢與升溫不均的缺點，則可以成為廉價方便且效果佳的加熱方式。

3.3 平板式熱管原理

一般而言傳統熱管的主要構造包含三個部分，分別為密閉容器、毛細構造與工作流體三大部分，而功能使用上內部又可以分為三個區

域[28]，即蒸發段(Evaporator section)，絕熱段(Adiabatic section)以及冷凝段(Condenser section)，其原理為熱源由蒸發段傳入，使毛細構造中的工作流體吸收熱量，隨即產生相變化由液態轉變為氣態，在容器內進行快速對流，待蒸氣到達冷凝段之後，經由一次相變化釋放出潛熱並轉回液態，再由毛細構造的輸送力，送回原本的蒸發段。

目前熱管已經有相當廣泛的應用，包括 Anon[29]研究中提到，將熱管應用於射出成型模具的散熱，可以比單純使用水路進行冷卻節省 25~30%的循環時間(Cycle time)，且可以使溫度更加均勻。

本研究所使用之平板式熱管，其功能原理與熱管相同，其利用兩相流體相變化時的潛熱，達到輸送大量熱量的功能，與傳統熱管最大的不同為汽化後之工作流體在傳統熱管中幾乎可以視為一維流動，而在平板式熱管中則是三維流動，因此可以將小範圍發熱源的熱量迅速的擴散到大面積，以達到均熱的效果，其內部構造如圖3.6所示。

3.4 快速加熱/冷卻系統之操作流程

從射出成型製程的四個階段中可以發現，結合線基本上是屬於充填階段造成的外觀缺陷，因此模具必須在充填階段進行前就完成基本的加熱動作。另外，為了避免高模溫使成形時間加長，冷卻系統的操作時機則是在充填結束瞬間就開始進行，等到模具開始頂出產品後，

就必須讓加熱系統再次加熱，準備下一次製程。整個循環動作以流程圖 3.7 表示。

3.5 模具機構之功能需求考量重點

模具機構之功能性主要是快速加熱以及快速冷卻，因此可以根據功能性需求，定義出模具機構必須採用的設計：

1. 快速加熱

由於模具機構必須達到快速加熱的需求，根據以往的參考文獻，最適用於可更換式模具機構者為電熱管以及感應加熱。然而，這兩種加熱方式都有其優缺點。在檢視過現有系統之優缺點，本篇論文決定改良電熱管系統，而針對加溫不夠均勻的缺點，則以不同的熱傳導物質替代傳統的鋼料；只要該熱傳導物質之熱傳效率夠快，就能夠發揮本研究加熱機構的優點。

2. 快速冷卻

模穴要能夠在加溫到高溫後迅速降溫，最重要的關鍵在於如何快速移去熱源；而這也是傳統電熱管的缺點。一般的電熱管是直接固定安裝於模具系統內，當加熱結束時，加熱器附近的鋼料溫度仍然非常高，再好的冷卻系統也無法在短時間內將熱量帶走。因此，要達到快速冷卻，最快的方法就是讓加熱系統在停止加熱後能夠立即與模穴分離。因此在設計模具機構時，就必須將加熱系統安裝於可分離運動之

熱源上，利用油壓缸的前進後退，使加熱器能夠接觸以及分離模穴，再搭配冷卻系統進行冷卻。

3.6 加熱系統與冷卻系統

根據 3.5 所定義的機構功能需求，可將所需要的加熱系統配件以及冷卻系統配件定義如下：

1. 加熱系統

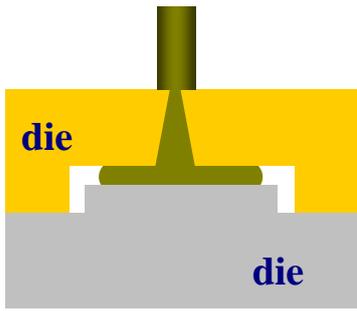
加熱系統必須隨著成形階段接觸以及分離模穴，在本研究中將以油壓缸配合槓桿作為動作驅動來源；另外，在模穴下方安裝平板式熱管以取代傳統鋼料。平板式熱管一般應用於電子產品的熱交換，又稱為蒸氣腔體(Vapor chamber)，其熱傳導係數大約是一般模具鋼(P-20)的 20 倍以上（一般應用於傳統模具機構中之快速導熱材料-鈹銅(BeCu)大約是 P-20 鋼料的 5 倍）。

2. 冷卻系統

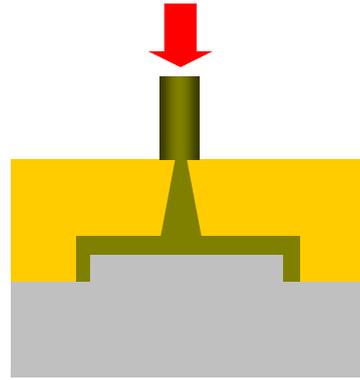
為了讓系統在加熱結束後可以迅速的冷卻，本研究採用低溫的空氣來進行模具的冷卻，只需要利用空氣壓縮機搭配一般工業上所使用的渦流管，即可產生低溫的冷卻空氣，利用開關控制其於冷卻時開啟，加熱時則關閉以確保不會影響到加溫時的模具升溫，冷卻時將低溫氣體由加熱槓桿與模具的間隙噴入，使低溫氣體可直達平板式熱

管，再利用平板式熱管的熱交換效能帶走熱量。在此機構中，加熱系統之加熱器、平板式熱管尺寸以及模穴尺寸必須隨著產品大小不同而變更尺寸；因此必須配合實驗以及模擬確認設計參數與加熱系統之關係。

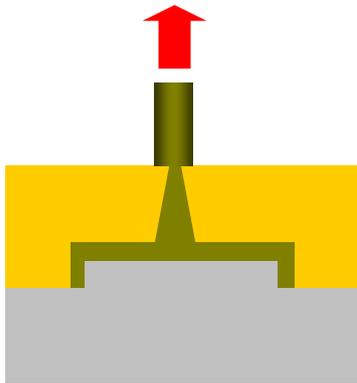




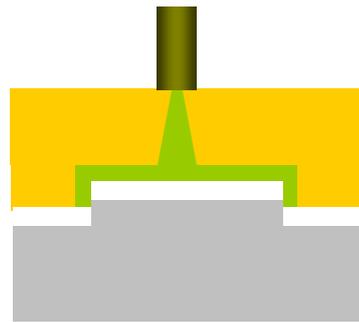
Filling stage



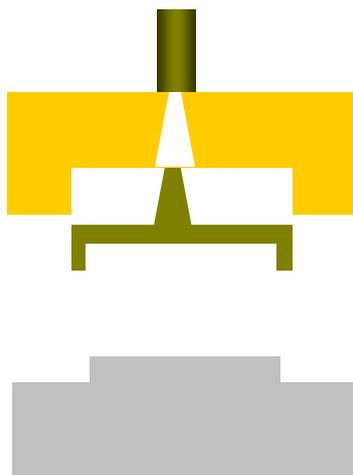
Packing stage



Cooling stage



Eject stage 1



Eject stage 2

圖3.1射出成型製程步驟

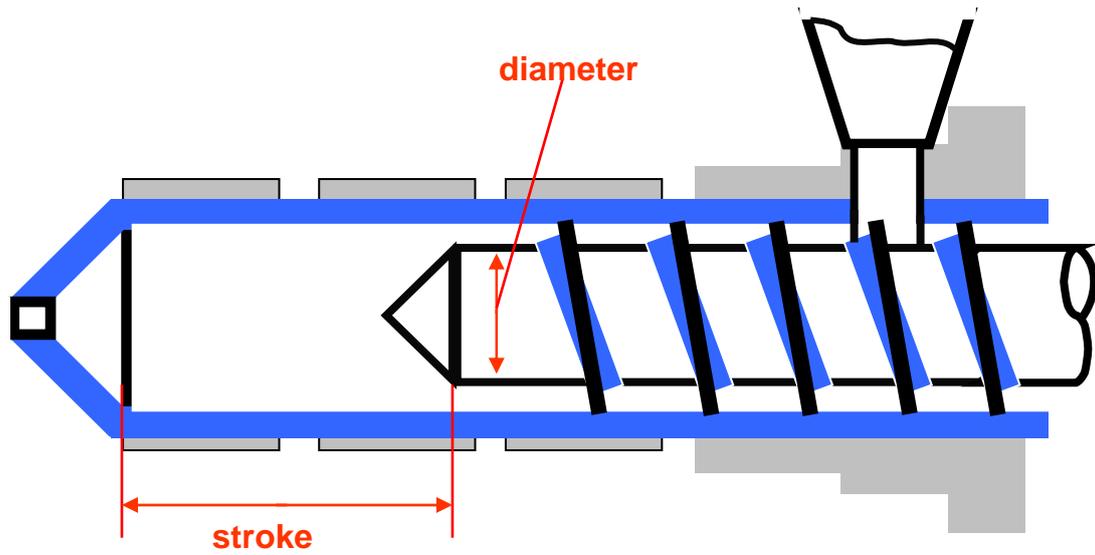


圖 3.2 射出機之射出單元

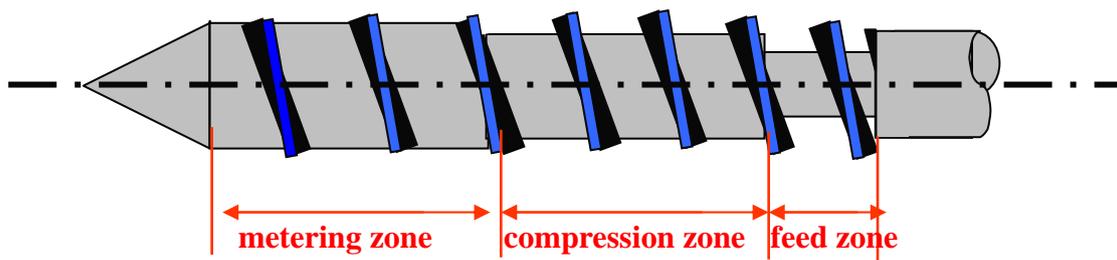


圖 3.3 螺桿之三段區域示意圖

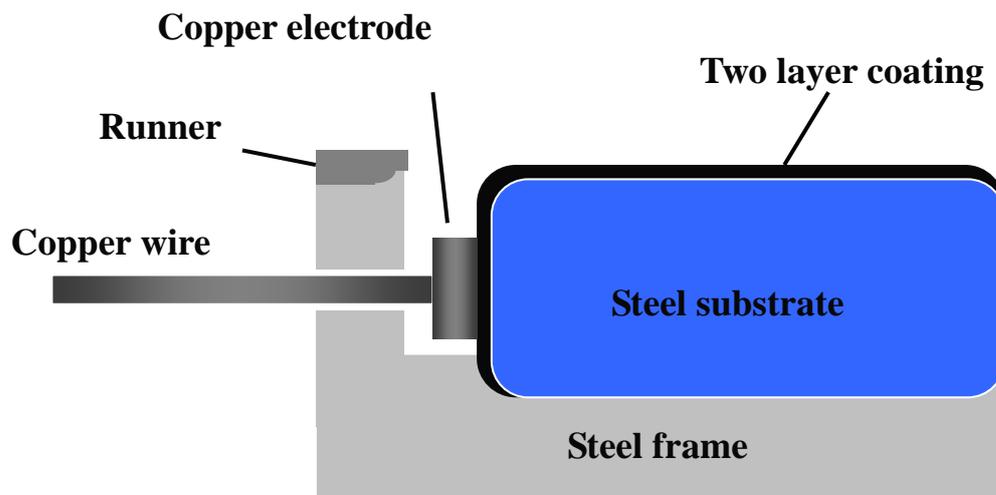


圖 3.4 銅電極加熱方式

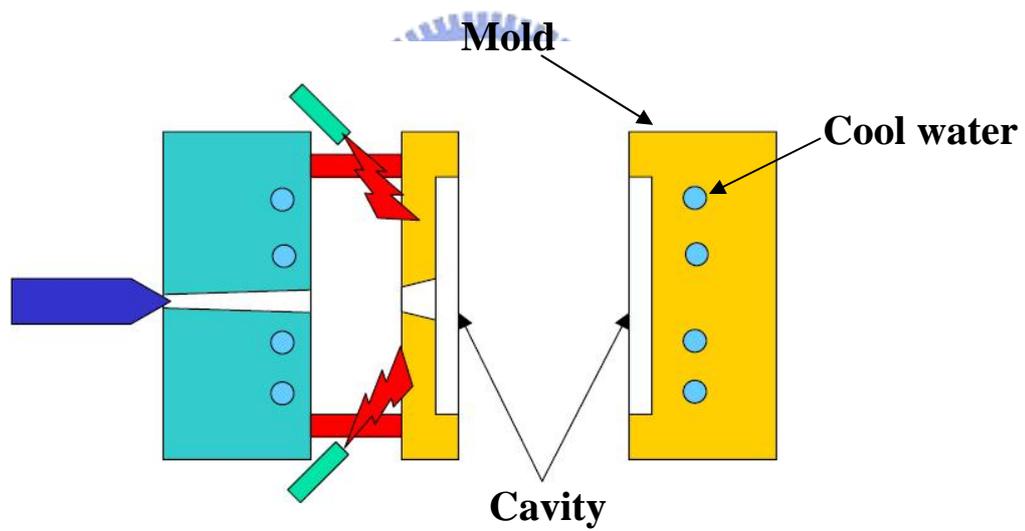


圖 3.5 火焰加熱

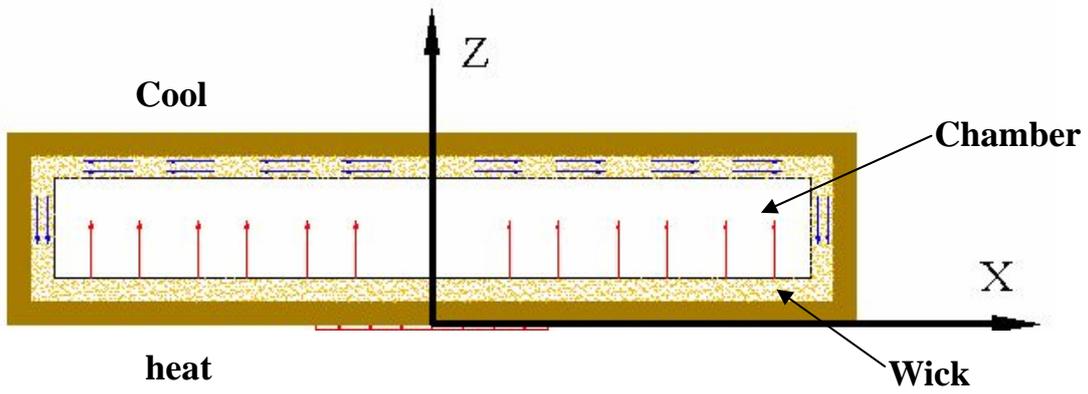


圖 3.6 平板式熱管內部示意圖

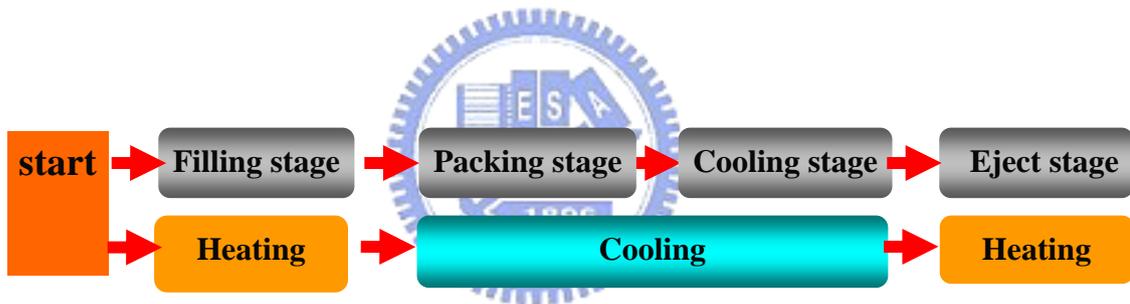


圖 3.7 加熱冷卻示意圖

第四章 實驗原理與步驟

本研究實驗架構分為：加熱機構設計、溫度量測、熱傳模擬、試片製作、試片強度與外觀試驗。首先配合平板式熱管，利用槓桿接觸與分離的方式設計加熱機構，進行加熱機構的熱傳導效能分析，利用數值軟體 ICEPAK 模擬分析並與溫度量測實驗比較且驗證，確認加熱機構達到預期的熱傳效能後，將加熱機構安裝於射出成型模具內，利用射出成型機進行試片製作，針對結合線產生位置進行局部加熱，試片完成後針對結合線位置機械強度與外觀進行觀察與試驗。圖 4.1 為完整實驗架構圖。



4-1 加熱機構設計

本研究中所選擇使用於加熱機構內之平板式熱管，是採用目前市面上既有規格的平板式熱管，其規格與實體圖如圖 4.2，目前已被使用於電子產品的散熱，其特色為快速均勻傳遞熱，其傳熱效果較一般銅板更佳，熱傳導係數並非為一定值，而是隨著溫度改變如表 4.1 所示，其外觀有四個螺孔，可將熱板固定於模仁下方，平板式熱管的原理[30]是一個封閉的系統，內部有毛細結構並填充工作流體，工作流體的量通常只要浸透所有的毛細結構即可，而在本研究中所使用的工作流體為水，工作流體為水的平板式熱管可以安全加熱使用至 200

°C，若要使用更高的溫度，則必須更換內部工作流體。

加熱機構部分，主要由平板式熱管、加熱槓桿、熱源及油壓缸等所組成，將平板式熱管固定於模仁下方，利用油壓缸配合射出成型的製程步驟帶動槓桿來接觸並進行加熱其示意圖如圖 4.3 所示，加熱時油壓缸向下對槓桿一邊施壓，另一邊槓桿帶動熱源向上頂住平板式熱管進行加熱，冷卻時油壓缸退回原本位置帶動槓桿使熱源離開平板式熱管與模仁，此時並搭配模具內的冷卻系統進行冷卻。

而模具內部冷卻系統是採用空氣冷卻的方式，目的為將溫度降低至脫膜溫度，其構造是利用渦流管（vortex tube）搭配空氣壓縮機來製造低溫空氣進行冷卻，將冷卻氣體噴入加熱槓桿與模具間的空隙，讓冷卻空氣可以直接接觸到平板式熱管，在利用平板式熱管之高熱傳導係數的特性，加速模具的冷卻，而渦流管冷空氣出口溫度最低溫度可到達-30°C，渦流管內部示意圖如圖 4.4 所示。

本研究設計此加熱/冷卻機構，安裝於模具內部，配合射出成型製程進行模具需要加溫部位進行升溫與降溫，未來此機構可改用如氣壓缸等機構以縮小體積，並且適用於不同尺寸產品之射出成型模具。

4-2 溫度量測實驗與熱傳軟體數值模擬

加熱機構設計完成後，先行就加熱機構效能進行數值模擬與實驗以確定加熱機構是否達到預期效果，並且由於實驗中必須考慮到的參數包含加熱溫度、加熱速度，甚至是加熱機構與模穴內之距離等，如果要完全由實驗取得相關數據，不但耗力費時，而且不容易做精密量測。因此利用軟體進行熱傳遞的模擬分析，期望可在後續研究中，可運用軟體數值模擬減少大量實驗所耗費的時間。數值模擬採用熱傳軟體 ICEPAK 來進行，熱傳實驗則是選用不同厚度之鋼板，實驗用鋼板與模仁所使用之材料一致為 P20 模具鋼 ASSAB 718，其材料相關參數如表 4.2 所示。在鋼板下方安裝加熱器及平板式熱管進行加熱，並且記錄鋼板表面之時間-溫度曲線。而記錄時間-溫度曲線所使用之溫度量測實驗，溫度量測系統包括電源供應器、熱電偶、溫控系統等等，其整體圖如圖 4.5 所示。

熱源為鑲入兩根加熱棒的 P20 鋼塊如圖 4.6 所示，加熱棒規格為直徑 14mm 功率 280 瓦，利用規格長 210mm 寬 90mm 厚度分別為 10mm 與 20mm 的 P20 鋼板來當作模仁如圖 4.7 所示，將平板式熱管固定於鋼板的下方，之後一同置於熱源上方，利用溫控器設定熱源的溫度分別為 110°C 與 130°C，實驗共為四組 10mm110°C、10mm130°C、20mm110°C 及 20mm130°C，由室溫開始加熱，假設射出成型開模頂

出時之模穴表面溫度為 65 度，頂出後加熱機構開始加溫至射出成型
充填製程結束中間經過時間為 60 秒，利用熱電偶觀察其鋼板頂部表
面在這 60 秒以內的溫度變化，每隔 10 秒鐘記錄一次溫度，觀察 60
秒內模穴表面溫度可由 65°C 上升幾度，每組實驗分別作 5 次，將最
高與最低的兩組數據刪除留下 3 組數據。

由於模仁與平板式熱管、平板式熱管與熱源間的接觸熱阻無法得
知，故利用實驗時量測得到的升溫曲線來反推接觸熱阻，利用此反推
得到的接觸熱阻，模擬時帶入不同厚度的模仁觀察其升溫是否與實驗
相符合進行驗證。

由於平板式熱管最大的優點在於能在短時間內達到均勻傳熱之
要求，因此在取得相關數據後，以 ICEPACK 進行數值模擬，確認
平板式熱管是否有達到效果。模擬模型是考慮在相同的熱源大小、相
同的加熱溫度在加熱時間 60 秒內，模型表面的溫度變化情形。

將模型表面分為 5 個點如圖 4.8 所示，O 點為模型正中心、A 點
與 B 點分別為兩個方向熱源的邊界、C 點 D 點分別為兩個方向平板
式熱管的邊界，利用軟體模擬後觀察此五個點的溫度變化，由各點的
溫升比較有加裝平板式熱管與沒有加裝平板式熱管兩者傳熱的均勻
情形。

4-3 實驗試片製作

本實驗中製作實驗試片之塑膠材料為透明ABS，ABS是由丙烯腈(Acrylonitrile)、丁二烯(Butadiene)和苯乙烯(Styrene)三者共聚合而成的苯乙烯系塑膠，取其三種聚合物之第一開頭字母稱為ABS，其化學結構如圖 4.9 所示，是一種熱塑性塑膠又稱為塑膠合金，是少數可電鍍的塑膠材料，ABS的物理特性相當優異，具耐熱、耐衝擊、耐腐蝕、高光澤度、易著色、硬度高、成形容易且二次加工性佳等優點，故已被廣泛使用於資訊業、家電用品、汽車零件等等。ABS其密度為 1.04 g/cm^3 玻璃轉換點大約在 105°C ，工作溫度在 $200\sim 270^\circ\text{C}$ 之間。

選擇此材料最大的原因是其具有透明性，透明性的材料在結合線方面會比非透明性材料有較高的要求，因為結合線產生於透明性塑膠材料的製品中，則在視覺上會比非透明性塑膠材料較為清楚明顯，且與其他透明塑膠材料相較起來，ABS 廣泛應用於一般 3C 製品外殼，因此本研究選擇使用 ABS 作為射出成型試片製作的材料。

本實驗利用所設計之加熱機構，進行射出成型模具加熱並且製作以下兩種試片，方便後續針對結合線位置作觀察，與對其試片強度作測試。

4-3-1 拉伸試片

為探討射出成型結合線的強度問題，本研究中製作拉伸試片形狀的模仁，模仁部分的規格是依照美國材料與試驗協會(American Society for Testing and Materials，簡稱 ASTM)的塑膠測試手冊[31]上所介紹的塑膠拉伸試驗片規格如圖 4.10，並且將設計的加熱機構安裝於模具內，模具完成之後，進行拉伸試片製作，依照不同澆口位置與不同加熱溫度，利用射出成型製作幾種不同射出參數的拉伸試片如下所示：

1. 單邊澆口（澆口形式採用側澆口），模具未加熱
2. 雙邊澆口（澆口形式採用側澆口），模具未加熱
3. 雙邊澆口使用一般傳統模溫機加熱 75 度
4. 雙邊澆口利用本研究加熱機構加熱

第四組試片中，藉由更換幾種不同的加熱溫度等製程條件來研究其對結合線的影響。其設定溫度分別為設定熱源溫度為 100°C 與 130°C。

4-3-2 多孔平板

對於設計人員來說，雙邊流體直接正面接觸產生結合線的情況，是可以在設計上利用澆口位置變更加以解決，真正無法解決的是模穴內有障礙物，流體繞過障礙物後合流處所產生的結合線，以常見之手機外殼為例，按鍵的位置會在按鍵後方留下一條明顯的結合線，而順

著塑膠流動的方向，越晚形成的結合線，由於料溫越低使得該區域之強度越低。因此本研究選擇搭配與先前製作拉伸試片相同的加熱機構，製作多孔平板來驗證外觀上結合線是否被消除，多孔平板的設計如圖 4.11 所示，平板上有兩排大小不同的孔洞，分別為直徑 10mm 與 5mm 的圓孔，因為在先前的文獻得知孔徑對於結合線的產生會有不同的影響，因此本研究設計兩邊孔徑不同大小之多孔平板，方便在日後判斷結合線改善情形。

實驗之成形條件，分為不加熱與熱源加溫至 130 度兩種，再由外觀與顯微觀察來觀察結合線位置。



4-4 試片強度與外觀實驗

本研究於試片製作完成之後，在強度上對試片進行拉伸試驗與彎曲試驗，並且在外觀上用肉眼與顯微鏡觀察結合線之幾何形狀。

本實驗拉伸試驗所使用之電腦伺服控制材料試驗機為弘達儀器公司型號HT-9102A之儀器如圖 4.12，其承受力量為 20~200 公斤。以拉伸試驗機去進行拉伸試驗。每種拉伸試片分別進行五次的試驗，最後五片取其平均值，比較各種成形條件下試片強度之差異，藉以探討當使用本研究所設計之加熱機構進行加熱時，結合線的強度是否有增加，是否有比一般傳統模溫機加熱達到更好的效果。

彎曲試驗則是將多孔平板之結合線位置切割成測試用試片，試片尺寸為長 30mm 寬 7mm 之試片。將試片放置於壓力測試機上，固定試片兩端點，由上方施力於試片中心，其示意圖如圖 4-13 所示。為了避免試片在受力時滑動，實驗過程中以雙面膠貼附於試片下方固定，再進行彎曲試驗，記錄相關之力量及位移結果。

在外觀上除了肉眼觀察外，並且使用電子顯微鏡 SEM(掃描式電子顯微鏡)觀察結合線的區域表面之幾何形狀，並且藉由觀察結合線 V 形缺口的寬度與深度來判斷幾種試片與成形條件對於結合線的影響，使用之 SEM 規格為 HITACHI S-4000 CCFE SEM，倍率為 30 倍至 30 萬倍，為國家奈米實驗中心所有。



Temperature(°C)	Conductivity K (W/m-k)
51.7	631.58
61.0	666.67
70.9	666.67
80.6	685.71
89.5	800.00
98.9	666.67
106.3	705.88
average	689.03

表 4.1 熱板熱傳係數

Temperature(°C)	20	200	400
Density (KG/m ³)	7800	7750	7700
Conductivity (W/m-k)	29	29.5	31.5

表 4-2 ASSAB 718 材料參數

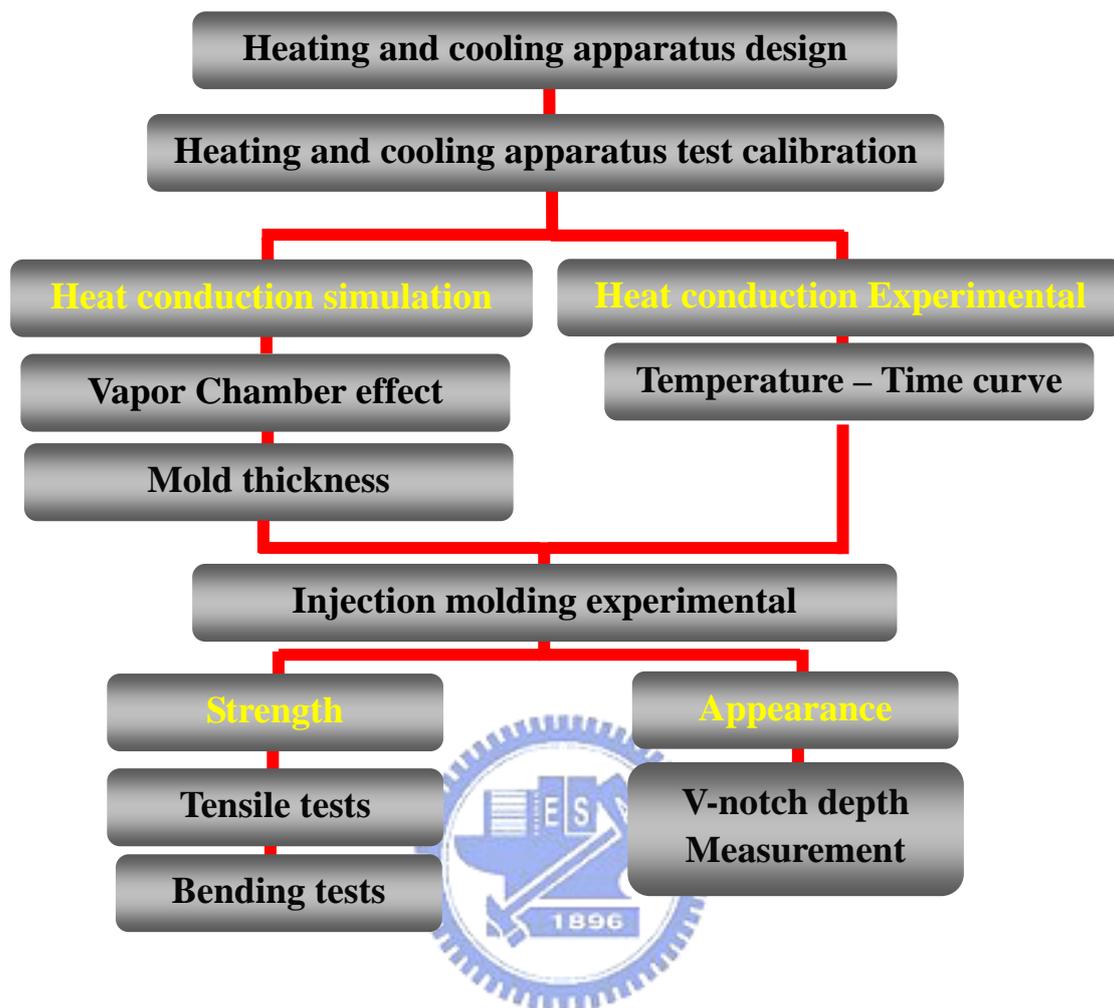


圖 4.1 實驗流程圖



圖 4.2 平板式熱管

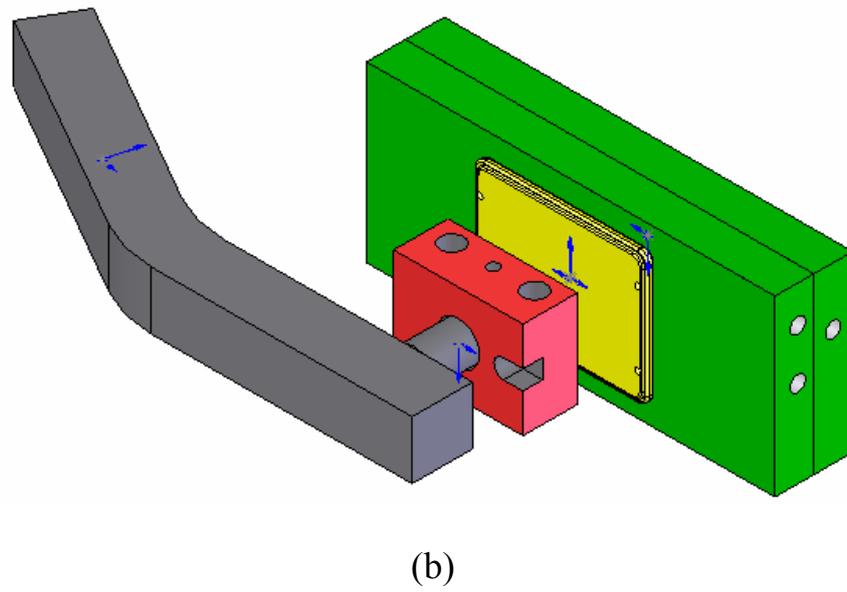
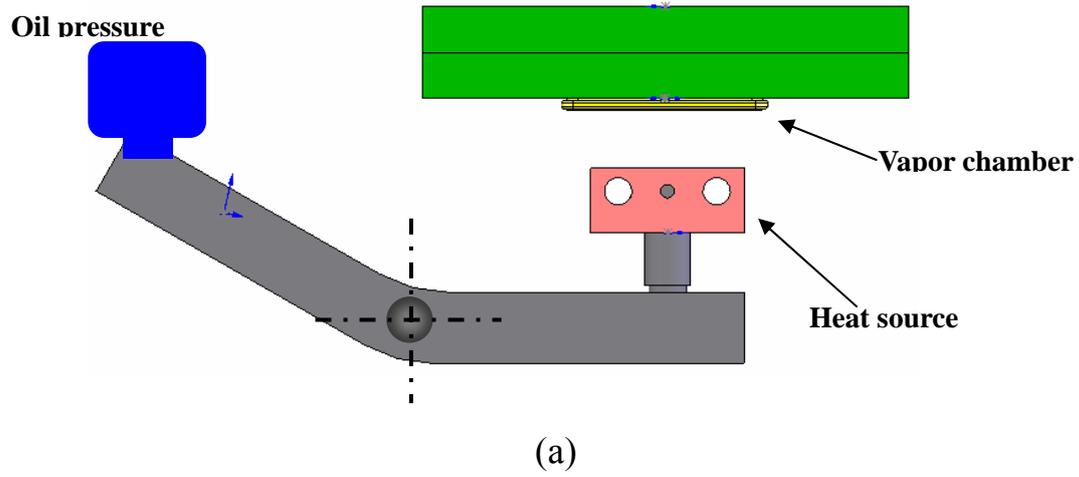


圖 4.3 加熱槓桿示意圖

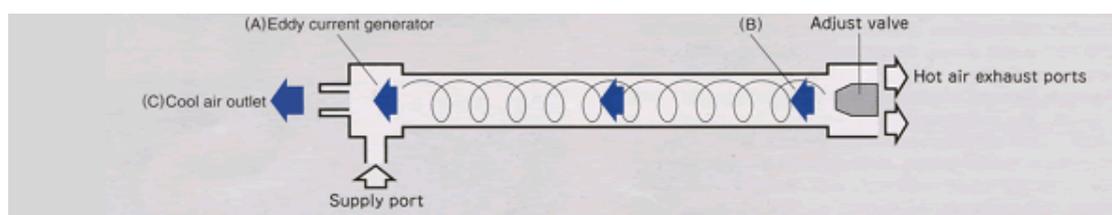


圖 4.4 渦流管內部示意圖

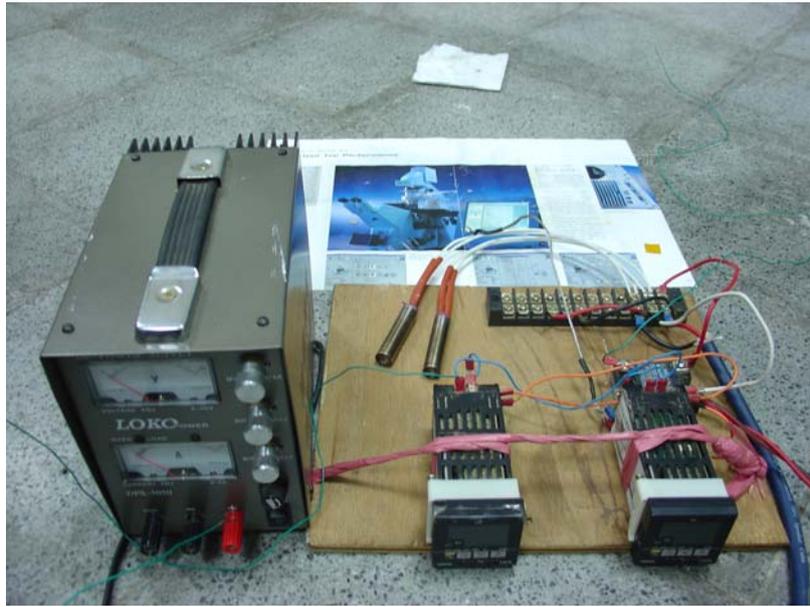


圖 4.5 溫控設備

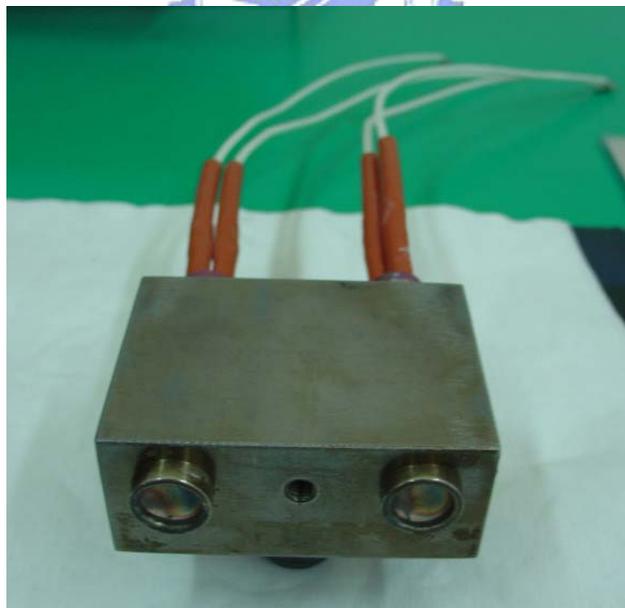


圖 4.6 熱源

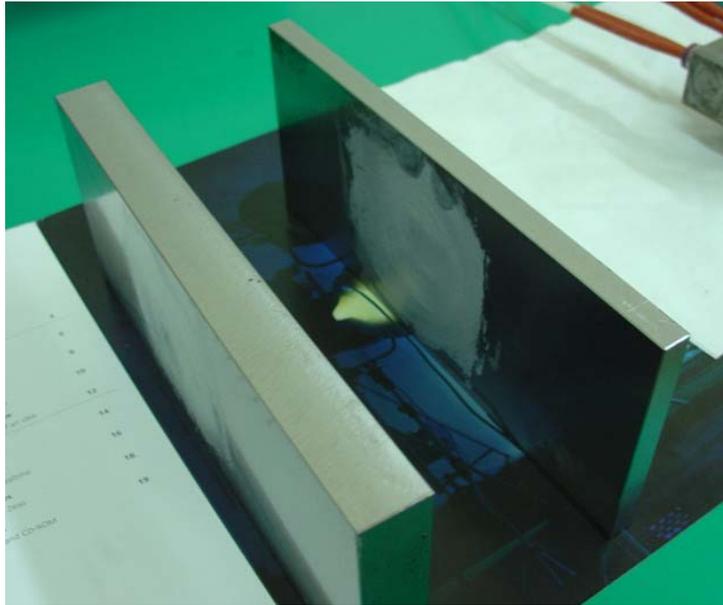


圖 4.7 實驗用鋼板

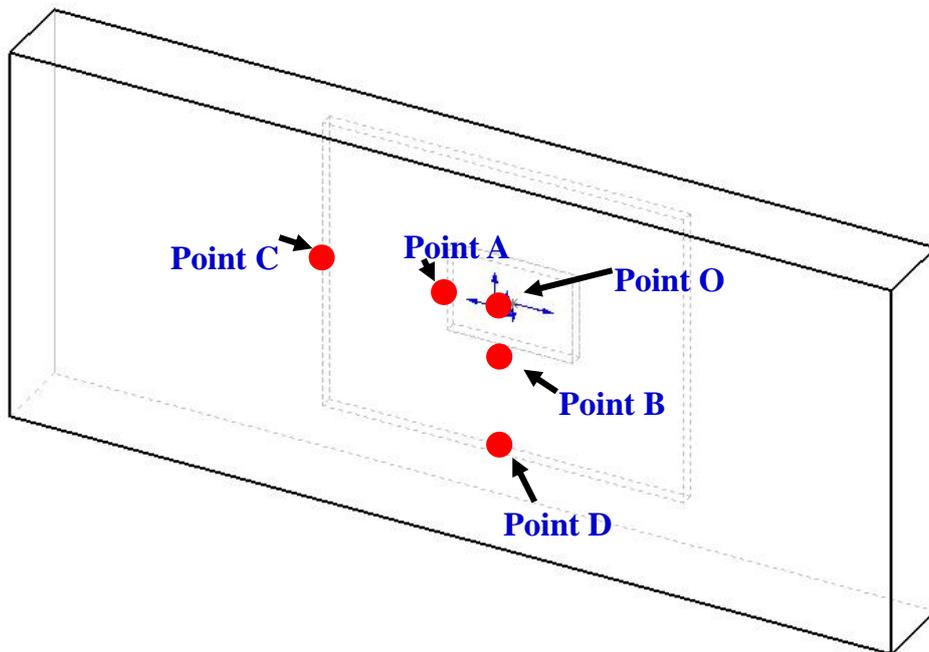


圖 4.8 模型表面溫度量測點

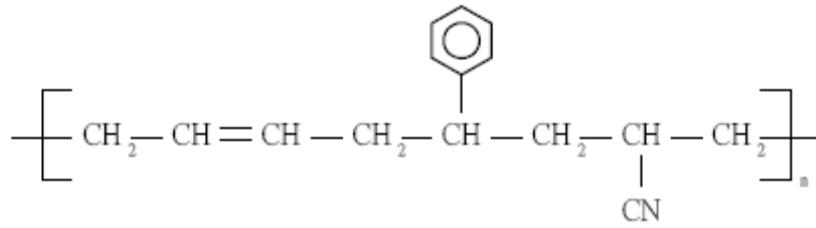


圖 4.9 ABS 單位分子結構

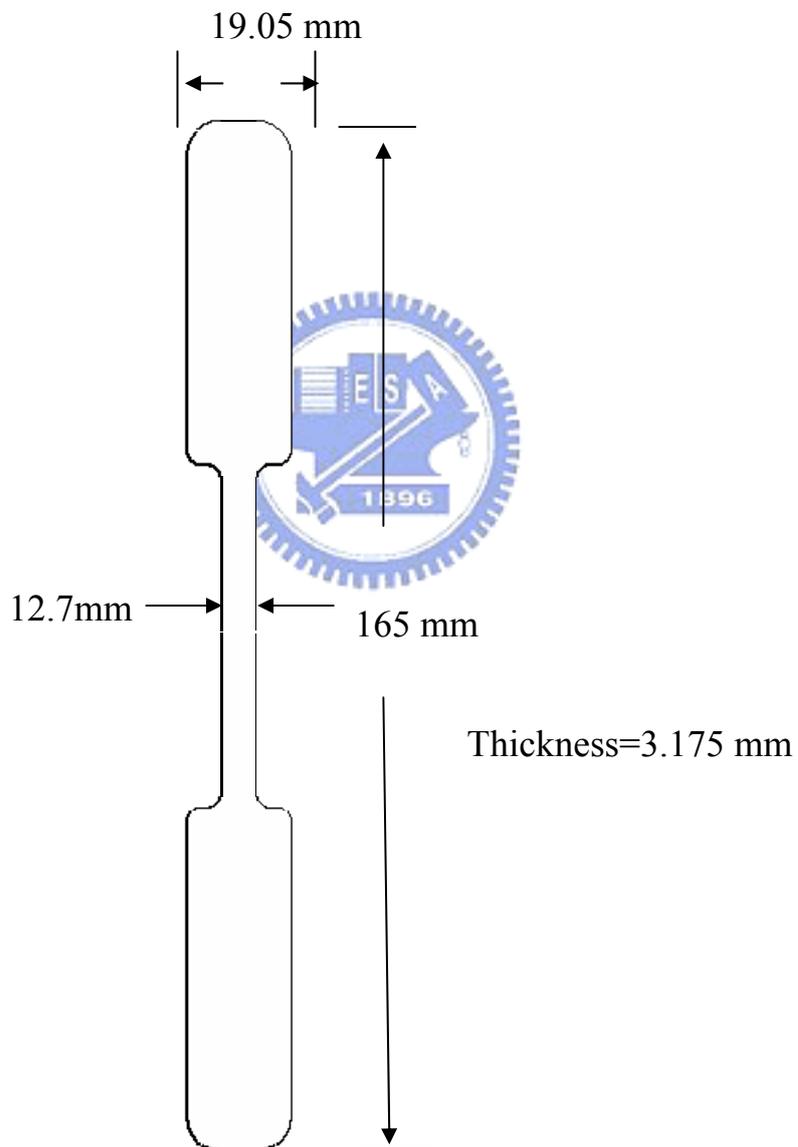


圖 4.10 拉伸試片規格

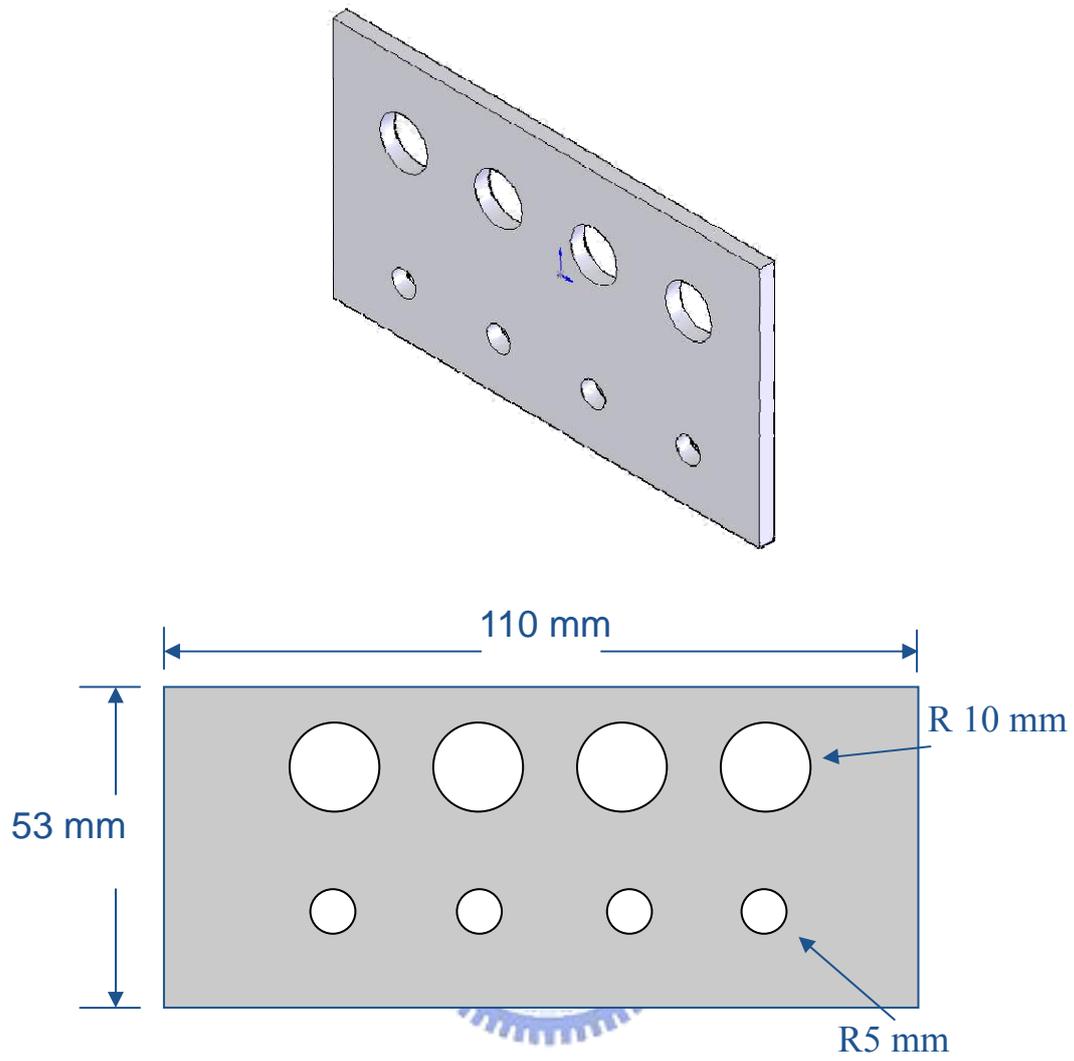


圖 4.11 多孔平板模型



圖 4.12 電腦伺服控制材料試驗機

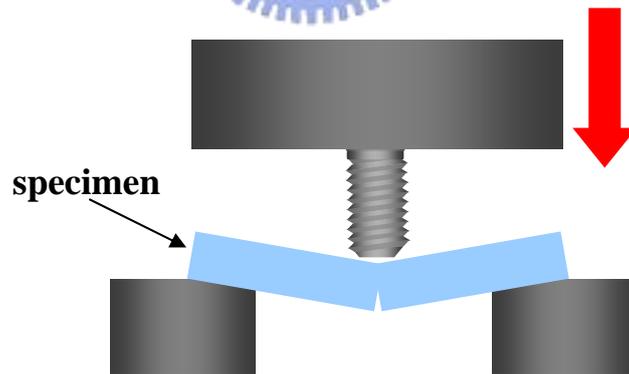


圖 4.13 彎曲試驗示意圖

第五章 熱傳分析軟體介紹與模擬流程

在目前市場激烈的競爭下，利用熱傳模擬軟體確實是節省不少的時間，利用電腦輔助分析不只可大幅縮短時間，同時也可以得到相當準確的趨勢，這對於研究上有相當大的幫助，而隨著電腦運算能力的進步，數值的方法廣泛的應用在流體與固體熱傳的分析上，且因電腦運算能力不斷提升，數值分析的技術與計算效率也跟著提升，故數值分析由以往的一維轉為二維與三維。

本實驗中利用熱傳軟體 ICEPAK 來進行熱傳的數值模擬，研究熱由熱源傳導至模仁中間的情形與是否使用熱板的效能比較，此時先行模擬平板式熱管的效能對加熱系統的影響，是否能在本實驗預設之時間內，達到均勻加熱的需求，若能符合要求，則進行熱由熱源傳導至模穴表面中心點所造成的溫升情形模擬，再與溫度量測實驗進行驗證看其結果是否相符，藉此可以在實驗中先行利用模擬來預測與控制加熱時熱源所需的溫度。

5.1 熱傳軟體 ICEPAK

本實驗係採用美國 Fluent 公司所研發的套裝軟體 ICEPAK 進行熱傳分析，其可應用領域相當廣泛，包括電子、航太、化工、機械及醫學等相關產業，故 ICEPAK 是目前產業界與學術界、研發單位等所採

用的熱傳軟體，是在工業界幾乎佔有一半左右的市場佔有率。藉由 ICEPAK 的設計環境，設計人員可以減少設計成本、提高產品的一次成功率，改善產品的性能、提升產品的品質。而其中利用 ICEPAK 熱傳分析軟體的優點包含了：

- ICEPAK 具有強大計算功能
- 跨越 Window NT 與 UNIX 兩大工作平台
- 可應用之範圍相當廣泛
- 操作介面相當人性化
- 可設計三維的複雜模型
- 網格方式多變
- 完整的前、後處理器與求解器



對於一般的 CFD 計算流體力學軟體，其建立模型時的建構能力與方便性都遠不及專門的 CAD 軟體，但是 ICEPAK 上的模型不只可以在內部建立，也可事先由專業的 CAD 軟體先行建構好，再由 IGES 或 DXF 檔案方式匯入 ICEPAK 裡面進行分析，擴充了模型建造的能力與完整性。

模型建構之後，必須進行建立網格(mesh)，網格的大小跟形狀對於分析結果來說會產生相當大的影響，而 ICEPAK 裡面提供強大的非結構性網格自動建立功能，可以對複雜的幾何形狀進行數值運算。

在數值上，ICEPAK 所採用的是有限體積法 (Finite Volume method) 來切割計算的區域，網格是以直角座標來切割成複數個小的控制體積，而使所用的數值計算方式是以 SIMPLE 法(Semi Implicit Method for Pressure LinKed Equations)作為計算理論基礎來進行代數運算。其解題流程大致上如圖 5.1 所示。

5.2 數值模擬流程

再利用 ICEPAK 軟體時，其主要的流程分為三大部分，前處理，條件定義及求解與後處理器(Post-Processing)

5.2.1 模型建立與轉檔



先由 Solidwork 中建立模型如圖 5.2，模型主要分為三部分，下方的加熱源、中間的平板式熱管以及上方的模仁，主要用來模擬加熱時拉伸試片形狀的模仁，其模穴表面中間部分的溫度，圖形完成後將其存成 IGES 檔，IGES 為 ICEPAK 所相容的圖檔，之後進入 ICEPAK 讀出 IGES 檔，在模型上分別指定加熱源(Sources)或是一般固體模型(Block)。

5.2.2 材料參數與邊界條件

當建立好模型之後，開始進行各項設定，將運算過程調整為瞬態 (transient)，設定所需加熱時間，接下來定義模型的物理特性

(physical properties) 與材質特性 (material properties)，包含熱傳係數與密度、週遭空氣對流等等，本研究模具的材料都選用 P20 模具鋼 ASSAB718，這是一種熱傳導性較佳的塑膠模具鋼，由軟體輸入材料參數，其材料參數如表 5.1 所示；平板式熱管的相關參數如表 5.2，其中熱傳導部分非一定值，是由圖形輸入溫度與熱傳導係數的關係如圖 5.3，之後建立模擬模型的網格，其中網格形式設定為非結構性網格，邊界條件 (thermal boundary conditions) 為設定本身是否發熱，或一開始的溫度邊界條件，並給定熱載、熱對流的值，表面的部分設定模擬模型各部位材料之熱傳導係數，本研究中設定為自然對流，材料熱傳導係數皆依據表 5.1 與圖 5.3 輸入；至於程式的求解，當所有之條件設定好後，執行 ICEPAK 進入求解的過程，此時模型會開始出現函數之曲線，待數據達到收斂標準以後，程式將停止計算。

5.2.3 後處理

待程式停止計算後，開始擷取數據的步驟，可依照需求選取任何一時間點，擷取其時間點完整的模擬測試數據如各物件溫度分佈圖、截面溫度分佈圖等等，也可直接輸出動態的傳導過程的溫度變化，再由以上數值分析結果與判斷，與實驗之溫度量測相比較看是否相符合，以達成模擬的目的。

Temperature	20°C	200°C	400°C
Density KG/m ³	7800	7750	7700
Conductivity (W/m-k)	29	29.5	31.5

表 5.1 ASSAB 718 材料參數

Density (g/cm ³)	4.19
Specific heat (j/kg-k)	1200

表 5.2 平板式熱管相關參數



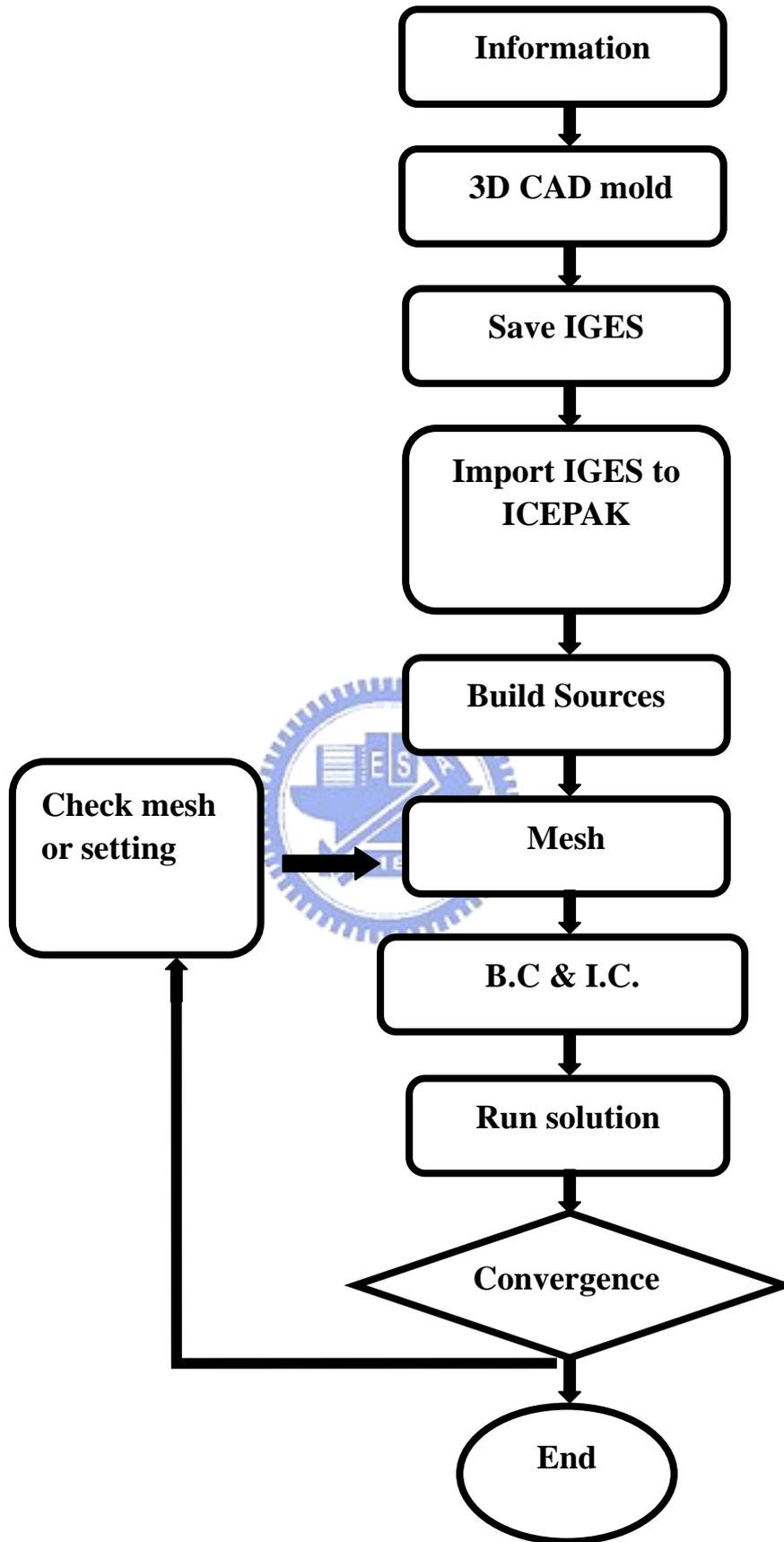


圖 5.1 模擬處理流程圖

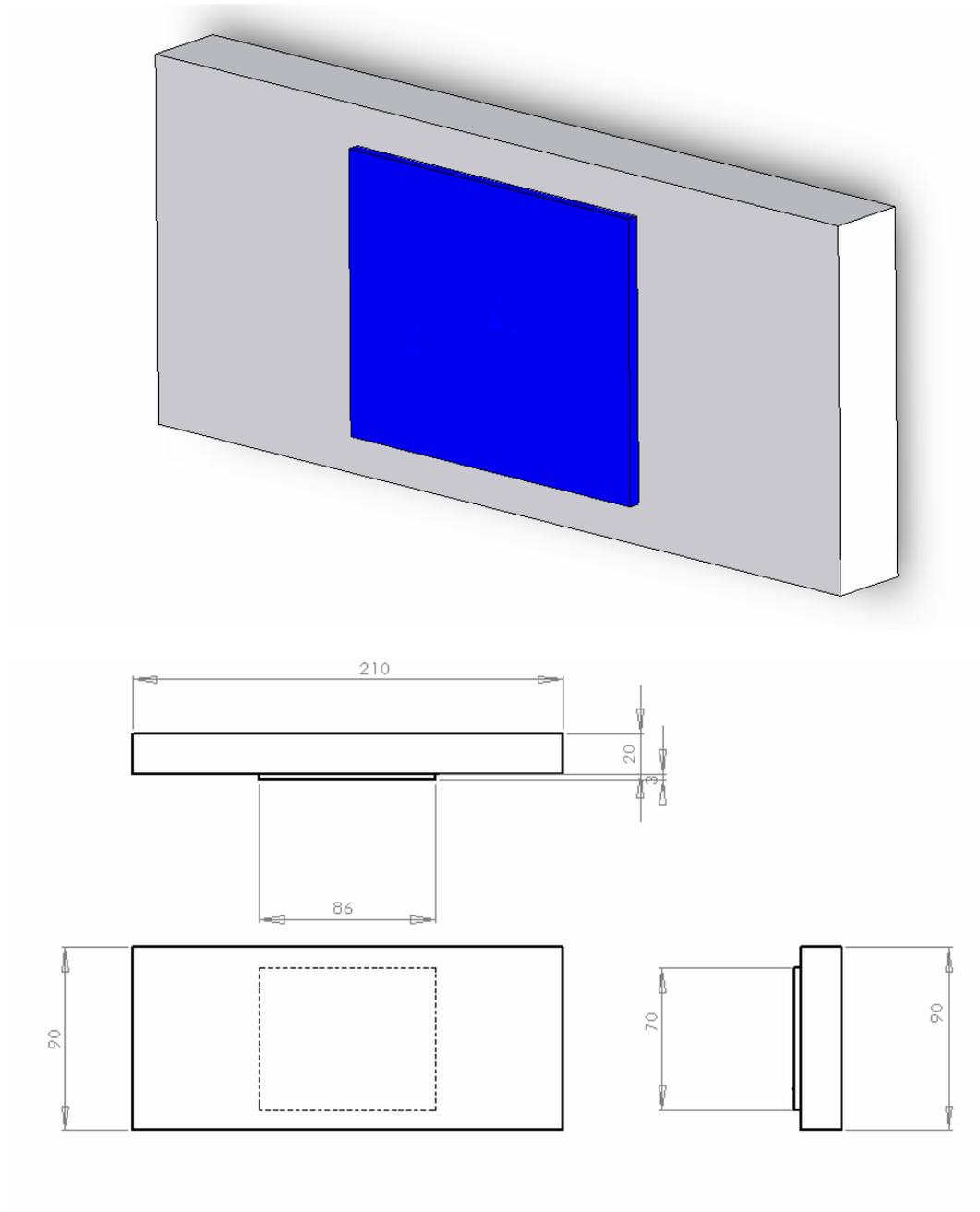


圖 5.2 模擬模型圖

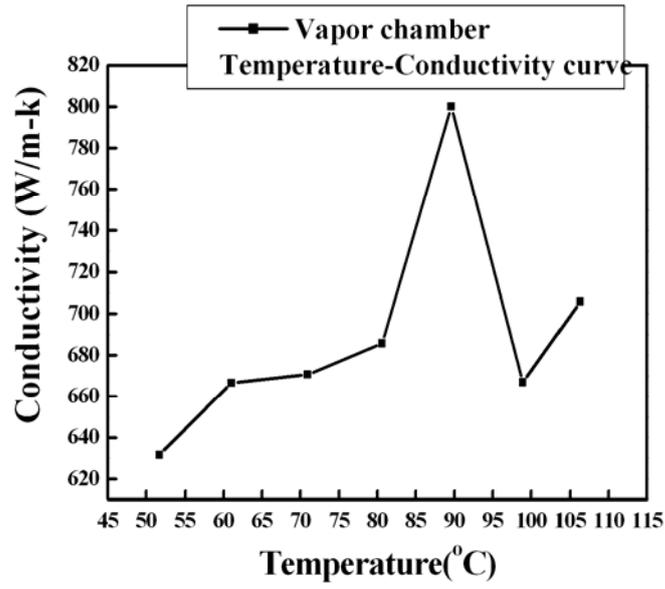


圖 5.3 平板式熱管熱傳係數變化圖

