

電腦散熱片材料與製程技術介紹

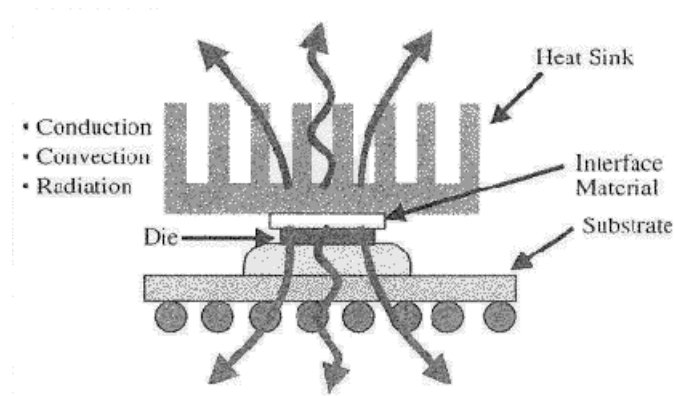
作者：黃振東

隨著電子產品逐漸朝向輕薄化、小型化、高功能化和高頻化的趨勢發展，相對地，其單位體積所散出的熱量(發熱密度)愈來愈高，因此電子散熱的問題愈趨嚴重與棘手。散熱片(Heat Sink)即是一種固定在電子元件表面，用來作電子散熱最普遍的一種產品。如何提高散熱片的材料熱傳導率與增加散熱片的散熱面積，以提升其整體散熱效率，是目前相關產業所面臨的重要關鍵課題。本文僅就散熱片的整體市場狀況與散熱片之材料及製程技術做一簡單介紹，並比較各製程間的優缺點，以便讓讀者對此一熱管理材料與製程有進一步的認識。

關鍵詞：散熱片(Heat Sink)、電子散熱(Electronic Cooling)、熱管理(Thermal Management)

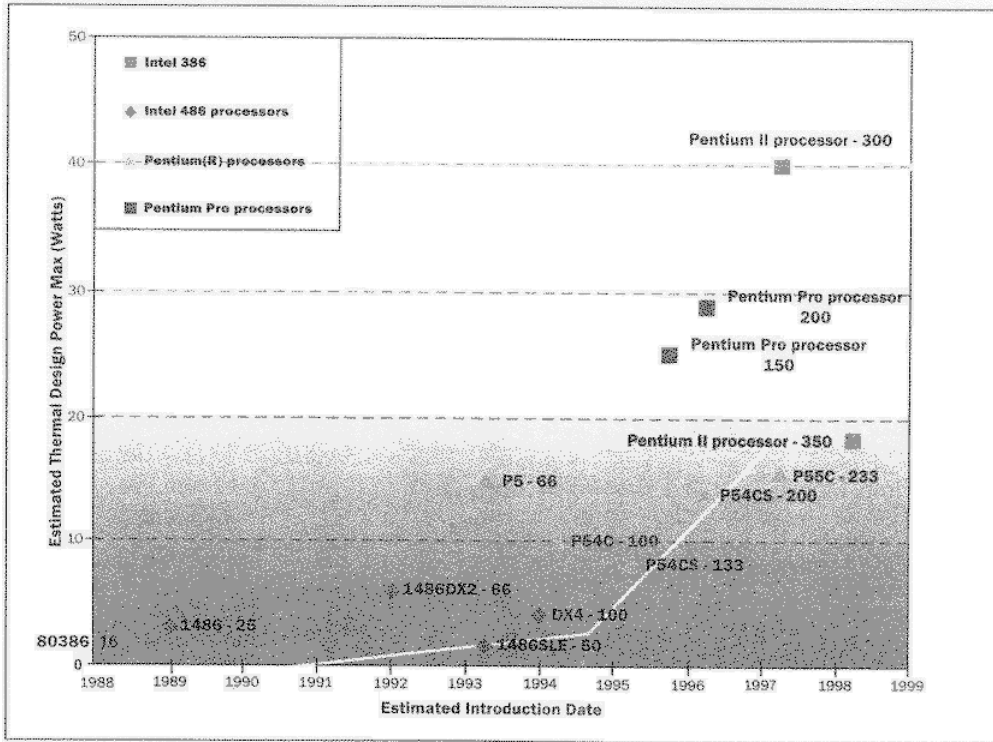
前言

任何電子元件或裝置均由許多電晶體所組成，電晶體在運作過程中因無可避免地會產生熱，這些熱必須藉由其他途徑如熱傳導、熱對流或熱輻射將熱散溢至周圍環境，才不致於使電子元件溫度過高而影響產品之穩定性與可靠性。散熱片(Heat Sink)即是一種固定在電子元件表面的材料，用來將電子元件產生的熱量傳導至周圍。散熱片通常是由一底板(Base Plate)和許多鰭片(Fins)所組成，底板直接與電子元件接觸，負責將熱快速傳導出並擴散出來，以避免熱過度集中；鰭片則用來增加散熱片之散熱面積，以便進一步傳遞底板擴散開來的熱，並藉由鰭片表面與環境的熱對流，將熱散溢至周圍環境中。因此散熱片材料之熱傳導率(Thermal Conductivity)愈高，散熱面積愈大，則其散熱效率愈佳。圖一所示為典型的電子產品散熱方式，幾乎大部分的熱(90%)是靠散熱片將熱導出，少部分由封裝基板傳遞出去，可見散熱片在電子散熱上扮演相當重要的角色。

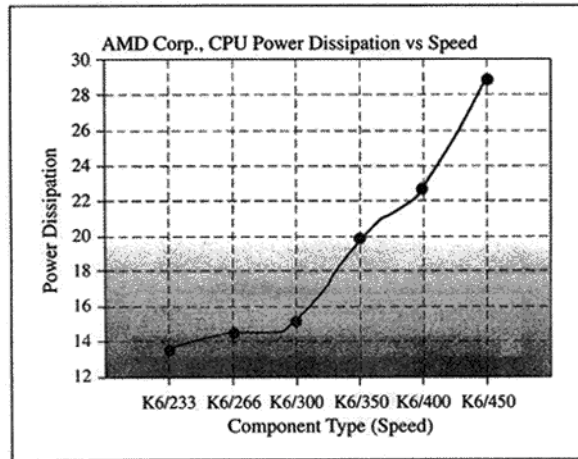


圖一 電子元件之散熱途徑

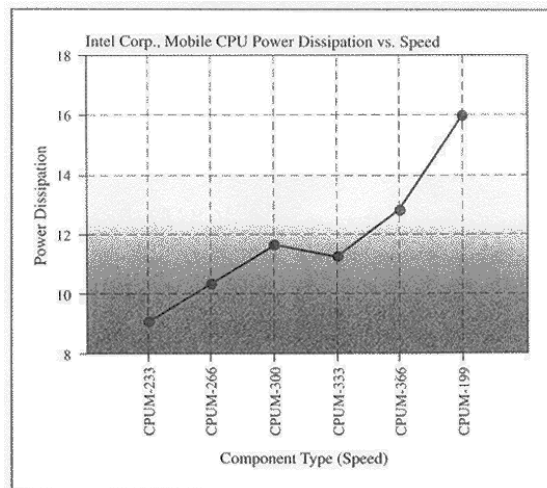
近幾年隨著電子產品逐漸朝向輕薄化、小型化、高功能化和高頻化的趨勢發展，相對地其發熱密度愈來愈高，因此電子散熱的問題顯得愈趨嚴重與棘手。特別對電腦微處理器(CPU)而言，最近幾年產品的世代交替極為快速，市場競爭更是激烈，隨著工作頻率(Core Frequency)之升高，其發熱功率(Power Dissipation)亦不斷增加。圖二和圖三所示為 Intel 和 AMD 兩家 CPU 大廠，Desktop CPU 歷年來的發展，可以明顯看出其散熱量隨著工作頻率的增加而快速增加，同樣地，對 Mobile CPU (筆記型電腦用)而言，其散熱量亦隨著工作頻率的增加而快速增加，如圖四所示。目前 Desktop CPU 的工作頻率已增加到 1GHz 以上，發熱功率更高達 50W 以上，未來幾年工作頻率更高達 2~3 GHz 以上，發熱量更在 80W 以上；而 Mobile CPU 發熱量亦將達到 25W 以上，同樣的問題亦發生在快速成長的通信與光電產業。可以想像的，電腦散熱問題會是一個相當棘手的難題。因此如何提高散熱片的材料熱傳導率與增加散熱片的散熱面積，以提升其整體散熱效率，是當前散熱產業極待突破與克服的問題。因應這些電子相關產業的散熱需求，本文僅就散熱片之市場狀況、材料與製程及其未來挑戰作一介紹。



圖二 Intel Desktop CPU 之工作頻率與散熱量之關係



圖三 AMD Desktop CPU 之工作頻率與散熱量之關係



圖四 Intel Mobil CPU 之工作頻率與散熱量之關係

電腦散熱片之市場狀況

散熱片主要應用在電腦微處理器(CPU)、圖形顯示卡(VGA)、單晶片和多晶片模組(MCM)等電子元件上，其市場需求隨著電腦產量之增加而增加。根據 IDC 的全球電腦市場分析，最近幾年不管是桌上型電腦、筆記型電腦或伺服器／工作站，均維持 10~15% 的成長，如表一所示。以 2000 年為例，全球桌上型電腦產量高達一億一千八百萬，筆記型電腦產量達二千萬台，伺服器／工作站亦高達三百萬台。如果檢視每部電腦可以發現，幾乎每台電腦上至少有 1~3 組之散熱片，如 CPU、VGA、MCM 用之散熱片，依此推估全球之散熱片需求量每年至少在二億片以上。若再加上光電、通信、電力和運輸工具產業等之需求，其用量更遠高於這個數字。以產值來計算的話，全球散熱片之市場總值高達百億元以上，稱得上是一具有龐大市場商機的產業。

表一 全球個人電腦市場預測

	1998	1999	2000(f)	2001(f)	2002(f)
桌上型電腦	90,246	103,160	118,118	134,026	149,960
筆記型電腦	15,542	17,965	20,664	23,537	26,330
伺服器/工作站	2,153	2,598	3,006	3,432	3,854
PC 成長率	12.19%	14.3%	14.5%	13.4%	11.8%
NB 成長率	9.5%	15.6%	15%	13.9	11.9%
Server 成長率	17.4%	20.6%	15.7%	14.2%	12.3%

單位：千台 資料來源：IDC,1999/5

台灣由於已躍居世界第三大電子資訊生產國，電腦產量更高居世界第一，其中筆記型電腦產量佔有率已高達 52%，達一千二百萬台，桌上型電腦產量佔有率亦達 35% 左右，近三千二百萬台，相對地，其對散熱片的需求就很高。目前全球幾乎有六成以上的散熱片及散熱模組係由台灣接单生產（含台灣接单大陸生產），年產值達 80 億元以上。表二所示為國內幾家主要的散熱片和散熱模組製造廠商。

表二 國內主要的散熱模組廠商

產品	主要製造廠商
桌上型電腦用散熱模組	鴻準、愛美達、訊凱、奇紘、天邁、永太興、國格、超眾、建準、皇品、赫商
筆記型電腦用散熱模組	鴻準、天邁、超眾、鼎沛、富驊、台洋維、雙鴻、聯合、力致、科普、航能、良維、愛美達、台灣古河國際

散熱片材料與製程

散熱片的製程技術發展由來已久，從早期的鋁擠型與鋁壓鑄傳統製程發展到現在的折彎、黏結、鍛造、焊接、刨床、改良式壓鑄和機械精密加工，乃至金屬粉末射出等創新製程。這些製程各有其技術特性與能力限制，可應用在不同的產品市場上，在選擇上可依其熱性能(Thermal Performance)、量產性與生產成本等作一考量。同時各種散熱片材料因製程的差異而出現不同的選擇，這都是事先必須注意的，表三和表四所示為各種散熱片製程之能力限制與優缺點比較。現就傳統散熱片製程與創新性散熱片製程作一介紹。

表三 各種不同散熱片製程之能力限制

Parameters	Conventional Processes		Innovative Processes					
	Extruded	Die-casting	Bonding	Folding	Modified Die-casting	Forging	Skiving	Machining
Min. δ (mm)	1.0	1.0	0.75	0.25	0.2	0.4	0.3	0.5
Max. H/S	12 : 1	10 : 1	60 : 1	40 : 1	>50	50 : 1	25 : 1	50 : 1
Min. S(mm)	3.2	2.0	0.8	1.25	0.2	1	2	1
Material	Al	Al, Zn-Alloy	Al, Cu, Mg	Al, Cu	Al, Zn-Alloy	Al	Al	Al, Cu, Mg

註： δ ：Fin Thickness，H：Fin Height，S：Fin Spacing

表四 各種散熱片製程之優缺點比較

材料種類	材料製程	優點	缺點
A6063	鋁擠型(Extrusion)	成本低廉、開發期短	細長比<15、形狀單純
1070, ADC12, A356, A6061, Cu	壓鑄(Die Casting)	可作複雜形狀、散熱面積大、量產性佳	開發成本高、開發時間長、模具費用高
Al Alloy	改良式壓鑄(Modified Die Casting)	可插入超薄的 Al 或 Cu 鱗片	量產性較差、有界面阻抗問題
IXXX, 7xxx Al	鍛造(Forging)	材料緻密高、高細長比、可變化形狀	模具費用較高、需二次加工
Al, Cu	接合型(Bonding Fins)	高細長比、重量輕、散熱面積大、不同材料之接合	有界面阻抗、可靠度較差
Al, Cu	折彎型(Folded Fins)	高細長比、重量輕、散熱面積大、可接合不同材料	界面阻抗大、形狀單純、製程多、量產性較差
Al, Cu	機械加工型(Machining)	容易自動化、適合銅散熱片	材料損耗化、量產速率慢
6063, Cu Alloy	刨床(Skiving)	散熱片面積大、底座與鱗片一體成型、重量輕	鱗片無法太高、限於單純之 Pin-fin 結構
Cu, Cu-W	金屬粉末射出	一體成形、適用於銅合金	原料成本比較昂貴、良率較其他製程低

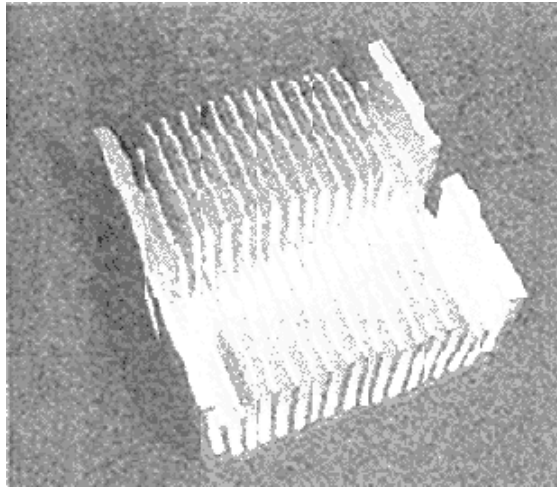
1. 傳統散熱片製程

目前電腦用的散熱片大都以鋁擠型和鋁壓鑄為主，其中鋁擠型散熱片(6063-T6) 由於具有良好的熱傳導率(160~180 W/m.K)，製造成本較低廉，因此普遍被用於較不受空間限制的桌上型電腦上；而壓鑄型散熱片，因可作成複雜形狀的導流設計，並能做出薄且密的翼片，以增加散熱面積，因此普遍被用於較受空間限制的筆記型電腦上。這兩種製程雖屬於較傳統的製程，但卻也是目前最廣為使用的散熱片製程，以下簡單介紹這兩種傳統製程。

(1) 鋁擠型散熱片

鋁擠型製程係將鋁擠型錠預熱至 520~540°C 後，在高壓下流經 400 °C 的擠型模具，做出連續平行溝槽的散熱片初胚，接著再二次加工，將條狀初胚裁剪、剖溝成一個個散熱片。鋁擠型散熱片由於具有資本

投資與生產成本適中、技術門檻低、模具費低和開發期短等優點，且其使用的鋁擠型材料主要為 6063，具有良好的熱傳導率(160~180 W/m.K)與加工平整度，因此是目前最被廣為使用的散熱片製程(達六成以上)，並普遍被用於較不受空間限制的桌上型電腦與伺服器上。如圖五所示為一典型的擠型散熱片。

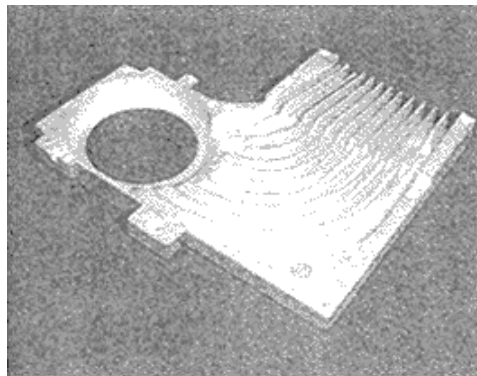


圖五 典型的擠型散熱片

不過鋁擠型亦有其製程能力上的限制，一是其形狀較單純，缺乏變化與新穎性，二是其散熱鰭片(Fins)之細長比有其限制(<15)，無法在有限空間下大量提高其散熱表面積與降低熱阻抗值。因此隨著電子元件散熱功率愈來愈高，鋁擠型散熱片的空間會受到壓縮，需進一步尋求技術與材料上的突破。另一方面，鋁擠型散熱片在市場上已被定位為屬低技術層次與低價位的產品，獲利空間較有限，因此目前很多散熱片廠商在考量成本與競爭壓力下，已將這部分的生產重心轉往大陸，在台灣則只負責接單與設計。

(2) 鋁壓鑄散熱片

壓鑄製程是除了鋁擠型外，另一個較常被用來製造散熱片的製程，它是將鋁錠溶解成液態後，利用壓鑄機將鋁液快速充填入金屬模穴內，而直接成型出散熱片。壓鑄型散熱片因可作成複雜形狀，可搭配風扇的氣流方向而設計出具導流效果的散熱片，並能做出薄且密的鰭片，以增加散熱面積，因此普遍被用於較受空間限制的筆記型電腦上。目前國內筆記型電腦用的散熱模組，大部分採用鋁壓鑄散熱片，其主要考量即是能充分利用有限的散熱空間，配合風扇與熱管的安裝，而作整體的設計並直接一體成型。圖六所示為一筆記型電腦用散熱片，具有導流之設計。



圖六 筆記型電腦用的壓鑄散熱片

對壓鑄型散熱片而言，較常用的壓鑄合金為 ADC12，其壓鑄成形性相當良好，適合做薄鑄件，但其熱傳導率(K)較差，約為 96W/m*K，比鋁擠型用材料 6063 (K=160~180 W/m*K)差很多。因此近年國內有許多

系統廠和散熱模組均以 1070(99.7% Al)純鋁料來進行設計及壓鑄，主要是認為 1070 板材之熱傳導率高達 200W/m*K 左右。不過，事實上以 1070 純鋁壓鑄仍存在一些問題：

- ◎表面流紋和氧化渣太多
- ◎內部微縮孔偏高，降低實質熱傳導率($K < 200\text{W/m}^*\text{K}$)
- ◎壓鑄模具易受鋁液侵蝕，模具壽命過短
- ◎成型性較差，不適合薄肉件
- ◎材質較軟，易發生變形。

工業材料研究所已針對上述兩種合金的缺點加以改進，重新設計出一種散熱片用壓鑄合金，兼具材料之熱傳導率與鑄造性。使用該壓鑄合金之散熱片，其熱阻抗值均比 ADC12 或 1070 來得佳，目前已提供先期參與廠商試用。

2. 革新性散熱片製程

前面所述的兩種傳統散熱片製造製程（鋁擠型或鋁壓鑄），基本上其細長比均有其極限(<15)，因此無法在相同體積下藉由提高鰭片密度與減低鰭片厚度來增加整體散熱面積。為了突破細長比的限制以因應新世代電子元件日愈增加的散熱量，有幾種革新性的新製程被發展出來，以下就逐一介紹。

(1) 接合型製程(Bonding Fins)

接合型散熱片的做法是首先利用鋁擠型擠出有溝槽的散熱片底板，同時將鋁板片或銅板片（厚度 <1mm）作成一片片的鰭片，接著將每片鰭片插入散熱片底板的溝槽上，再利用導熱黏膠或焊錫將兩者接合起來。這種製程的優點是散熱片之細長比可突破傳統製程之限制，高達 60 倍以上，同時鰭片可選擇不同的材料(Al、Cu、Mg)。缺點是利用導熱黏膠或焊錫作接合會存在界面阻抗問題，且其接合強度亦會影響到產品之可靠度。接合型散熱片製造成本相對較高，底板溝槽通常需要特別機械加工。不過，界面阻抗問題最近在改用導熱較佳的熱硬化樹脂或鋁填充樹脂後，已獲得一些改善。

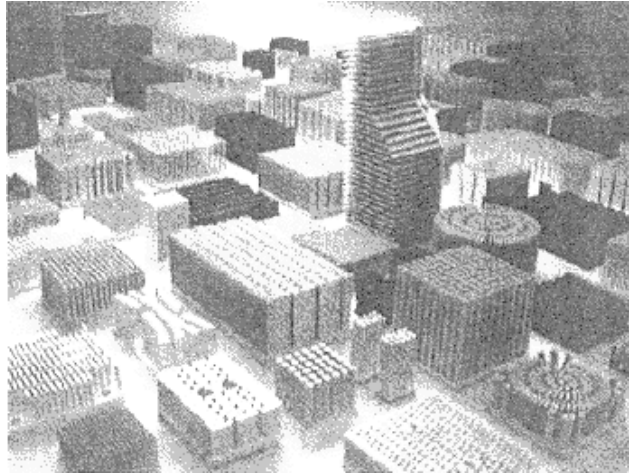
(2) 折彎型製程(Folding Fins)

折彎型散熱片製程是先將薄板片(Al, Cu)折成鰭片排列形狀（一體成型），再利用硬焊或錫焊方式與擠型過或機械加工過底板相結合成一散熱片。這種製程的優點與接合型製程(Bonding)一樣，適合做高細長比(>40)的散熱片，且鰭片部分是一體折彎成型，有利於熱傳導之連續性；另一方面，具有不同散熱材料組合的彈性，即散熱片之鰭片與底板可為不同材料接合而成，如鋁和銅。缺點是其成型步驟較多且複雜，會增加散熱片組裝上的製造成本，相對單價較高。再則這種折彎後再焊接方式，依然會產生額外的界面熱阻抗，及不易建構緊密排列之細間距散熱片。

(3) 改良式壓鑄(Modified Die Casting)

改良式壓鑄散熱片製程事實上是一般壓鑄原理延伸，它的最大特色是將許多細密的沖壓鰭片（鋁板片／銅板片）先插入在一留有微小間隙（線切割成）的金屬心內，壓鑄前將此金屬心置入模具內，再利用鋁液快速充填入金屬模穴內，進而將插入之鰭片與散熱片底板結合在一起。這種製造方式的接合界面熱阻抗要比 Bond-ing Fins 及 Folded Fins 來得低，同時鰭片之細長比可以相當大(>60)。另外，它可以採用熱傳導率較佳的材料作鰭片，如 A1100 純鋁板片或 C1100 純銅板片，必要時還能在底板內插入銅板片，以提高底板的熱擴散速率；同時可配合熱管的使用，以提供更有效率的熱解決方案。其缺點是將鰭片插入金屬心內相當耗時，無形間增加人工成本，並影響其量產性。國內目前已有廠商設法開發自動插入裝置，以克服量產之問題。圖七所示為材料所與散熱片廠商合作開發的改良式壓鑄散熱片，可適用於 AMD 1GHz 以上之 Desktop

CPU，熱阻抗值(特湊 ja)低於 0.72 摺數穢 C/W。

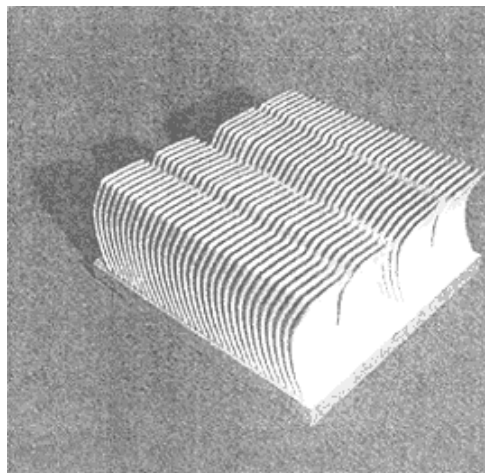


圖七 日本 Alpha Co., Inc.開發之各種鍛造散熱片

(4) 鍛造製程(Forging)

鍛造型散熱片製程係經精密的風道設計後，於模具上開具適當的鱗片排列，再將鋁塊加熱至降伏點後，於模穴內利用高壓使鋁材充滿模穴而形成柱狀鱗片，其優點為鱗片之高度可達到 50mm 以上，厚度可薄至 1mm 以下，且鱗片之高度對間隙比可達到 20 倍以上，因此可於相同的體積內得到最大的散熱面積，且整體重量亦相對減少，達到最經濟之效益。鋁合金和鎂合金均很容易利用鍛造來作成散熱片，所需的鍛造機壓力至少在 500 噸以上。鍛造散熱片最容易發生的問題是材料在鍛造模穴內由於底板厚度與鱗片厚度有明顯之肉厚差，當塑性流變時會出現頸收現象，而使散熱片容易出現鱗片高度不均的現象。另外，鍛造模具費用相當高，因此通常散熱片量大才考慮用鍛造製程，否則成本太高。

日本 Alpha Novatech Inc 是當今世界上以鍛造生產散熱片技術最先進、最有名的公司，其散熱片之細長比(H/δ)高達 50 倍以上，且形狀相當多樣，圖八所示即為該公司所做出的各式各樣鍛造散熱片產品。國內目前亦有少數幾家在開發鍛造散熱片，不過技術水準仍落後 Alpha 甚多。

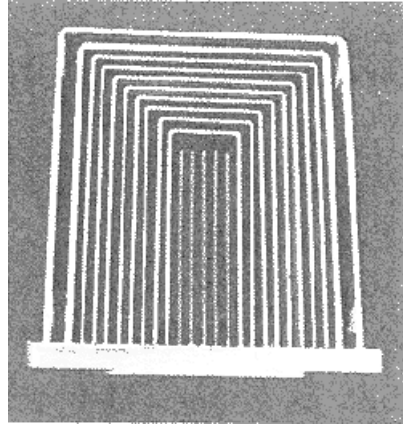


圖八 國內廠商開發之刨床式散熱片

(5) 刨床式製程(Skiving)

刨床式製程係一相當特別的散熱片製程，它的做法是先以擠型方式做出長條狀帶有凹槽的初胚，隨著利用一特殊的刀具將初胚削出一層層帶點彎曲的鱗片出來，如圖八所示。散熱片鱗片厚度可薄至 0.5mm 以下，同時鱗片與底板是一體成型的，沒有像 Bonding Fins 和 Folded Fins 存在的界面阻抗問題，因此具有高鱗

片密度、高散熱片面積與高熱導性之特點。該製程最初發展係用在自然對流的散熱片上，不過近來亦將努力焦點轉向需輕量化、高鰭片密度和強制對流的散熱片上。6063-T6 的鋁擠型料是最典型的優先選擇材料，主要是考慮到其優異的強度和機械加工性。日本的 SHOWA Aluminum Corporation 是採用刨床式製程生產散熱片歷史最悠久的公司，台灣目前亦有幾家擁有這方面的技術，甚至嘗試用銅板來刨成散熱片，不過量產性與良品率仍待提昇。圖九所示即為國內廠商開發之鋁刨床片。



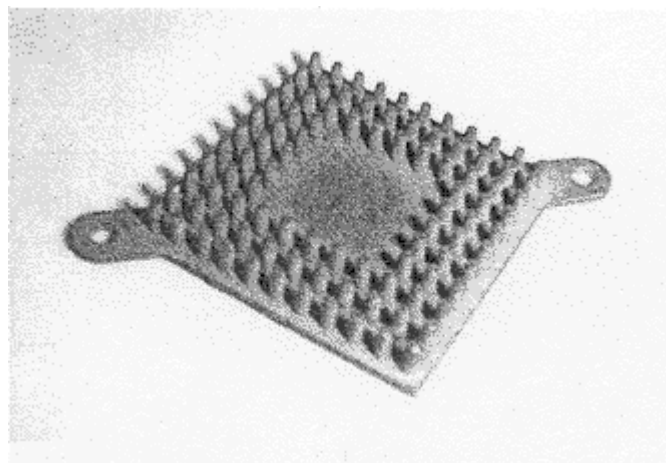
圖九 工研院材料所與廠商合作開發之改良型壓鑄散熱片

(6) 機械加工製程(Machining)

機械加工式散熱片，簡言之即是直接由金屬塊將材料加工成具有鰭片間隙的散熱片型式。通常是在 CNC 機台上以 Gang Saw 刀具來加工製造散熱片，這種刀具有多重精密排列的鋸輪。這種製程雖然在加工過程中易造成鰭片損害和變形問題，需要進一步整形，同時產生大量廢料與材料耗損，而較不具生產性，不過由於可適用於高性能散熱片的製造上，如銅散熱片加工，且容易自動化，因此未來仍有其可發揮的空間。

(7) 金屬粉末射出成型(MIM)製程

金屬粉末射出成型(MIM)製程應用在散熱片製造上是最近的發展，這主要著眼於有些高熔點、高熱傳導的材料，如 Cu,Cu-W，不易用上述幾種製程予以一體成型，因而才考慮到用金屬粉末射出方式，直接作成散熱片型式之初胚，接著再利用高溫燒結成具有強度與高密度的成品。這種製程的優點是可以將高熱導的銅粉末直接一體成型出高效能的散熱片，頗適合用在高發熱密度並受限於空間限制的電子元件上。圖十所示為一種用在 VGA 上的金屬粉末射出成型散熱片，其熱阻抗值要比用鋁材的低很多。其缺點是原料成本比較昂貴，產品良率較其它製程低。



圖十 金屬粉末射出(MIM)之銅散熱片(VGA 用)

散熱片設計與最適化

了解散熱片各種製程能力與限制後，接下去才能針對各種電子元件或裝置的散熱需求，設計出符合規格及具價格競爭力的散熱片。散熱片在設計之前需考慮幾個條件：

- 電子元件的最大散熱量(P)
- 最大環境溫度(Ta)
- 容許的最大界面溫度(Tj)
- 散熱片之熱阻抗值要求(特湊 $ja=(Tj-Ta)/P$)
- 自然冷卻或強制冷卻(Passive Cooling or Active Cooling)
- 需強制對流時之風量與風扇選用
- 容許之壓力降
- 最大散熱片尺寸
- 選用何種散熱片製程
- 散熱片外觀與成本

接著在進行散熱片之設計，其設計要點如下：

- 鰭片高度(Fin Height)
- 鰭片長度(Fin Length)
- 鰭片厚度及間隙(Fin Thickness/Spacing)
- 鰭片數目及密度(Number /Density of Fins)
- 鰭片形狀(Fin Shape/Profile)
- 底板厚度(Base Plate Thickness)
- 扣具之扣接槽型式(Cross-Cut Patterns)
- 散熱片材料(Heat Sink Materials)

設計好之散熱片如能再配合熱模擬技術，先行預測所設計之散熱片熱阻抗值，將可避免設計上之閃失，減少不必要的錯誤，同時可達到最適化之設計，節省材料之使用。有關熱模擬在電子散熱之應用另有專文討論，在此不再詳述。

結語

散熱片產業近幾年隨著電子資訊產業的蓬勃發展亦呈現一片榮景，未來幾年仍有成長的空間，不過由於其發展及市場需求與 3C 產業息息相關，目前亦面臨一些內外的挑戰與隱憂，諸如產品世代交替快、週期短、低價電腦引發的降價壓力、產業外移大陸及電子元件發熱量越來越高等問題。為因應這些挑戰，業者除了需不斷提昇本身的設計能力與製程技術，以降低生產成本外，並該尋求可能的製程技術及先進高導熱材料，方能在競爭激烈的環境下生存與發展。

參考資料

1. SIA Roadmap,(1997).
2. K. Azar, Electronic Cooling, Vol.6, p.42(2000)
3. Intel Report, (1999)
4. G. R. Wagner, I-therm 2000, Vol. 1, P.180(2000).
5. B. C. Avram, I-therm 2000, Vol. 1, p.141(2000)
6. H. Jonsson and B. Moshfegh, I-therm 2000, vol.1, p.185.

作者：黃振東 現職：工研院材料所輕金屬實驗室主任 (黃振東版權所有,請勿轉載)