

PDM 在精密鍛造製程技術整合平台之應用

Application of PDM in Precision Forging Manufacture Integrated Platform

許桂樹¹ 邱柄儒²

摘要

PDM 是 Product Data Management (產品資料管理)的縮寫，是以軟體技術為基礎，以產品為核心，實現對產品相關的資料、過程、資源一體化集中管理的技術，是幫助企業、工程師和其他相關人員管理資料並支援產品開發過程的有力工具。本產品資料管理系統(PDM)集中並管理一個產品從設計到生產，再到使用者的整個產品生命週期中的所有資訊，PDM 也是一個連接不同部門、不同地區，保證企業各部門之間，企業與企業之間有效協同作業的集中性管理工具。正確地實施 PDM 系統能使企業提高工作效率，減少人為錯誤，減少資料冗餘，並使工作流程更順暢。

關鍵字：PDM、鍛造製程、CAD/CAM

Abstract

PDM is the abbreviation of Product Data Management (the data management of products), which is based on software engineering technology. It regards products as the core and realizes the technology of integrated centralized management of data, course and resource correlated with the products. It is an effective tool that helps enterprises, engineers and other relative personal manage data and support the course of product development. This product data management system (PDM) centralizes and manages all information in the cycle of products from designing to producing and then reaching to the user. PDM is also a centrality management tool connecting different departments and areas to insure their effective coordination. The implement of PDM system can improve the efficiency of enterprises, reduce the human error and data redundant, and make the procedure smoother.

Keywords: PDM, Forging Manufacture Procedure, CAD/CAM

1. 前言

高雄縣岡山、路竹、湖內、梓官、彌陀、阿蓮、橋頭地區為我國鍛扣件及汽機車零

¹高苑科技大學自動化工程系

²高苑科技大學資訊管理系

組件主要生產聚落，廠商 300 餘家，年營業額 1000 億左右，相關從業人員 10000 人以上，這些廠商基本皆屬中小企業，生產方式以代工為主，普遍存在缺乏設計研發能力，生產及檢測自動化程度低，缺乏現代化生產管理的制度及觀念，e 化程度低等問題。業者以鍛造加工生產機械、化工、運輸、建築、民生等工業之產品及零組件主要。因市場供需生態改變及競爭激烈的情況下，目前各事業者都急思如何轉型至生產附加價值較高的應用，如 3C、精密機械、航太、國防等工業之產品及零組件。在過去的經驗中，轉型的方式皆先求助於工業技術研究院或金屬工業發展中心等法人研究機構，惟因交通距離較遠效率難掌握、對方人力不足或對方技術服務費用較高，負擔之合作成本高等因素，使業者裹足不前，進而延宕轉型之進度，喪失市場競爭力。在政府積極推動產業升級，促進工業轉型之前題下，欲突破技術瓶頸，擴大海外市場，對相關高級精密鍛造技術之引進為一必要性之手段。[1-4]。

目前電腦輔助鍛造製程模擬 CAE 在應用於鍛造製程方面，技術已相當成熟且快速。而應用電腦鍛造模擬解析也已經成為業者邁向精密鍛造之重要輔助利器。目前電腦數值模擬技術應用於鍛造製程上，以有限元素法為主要方法。自 1970 年左右，有限元素法即開始應用於成形分析上，其中經歷 Yamada、Hibbitt、Kobayashi、Perzyna 等[10,11,22,23] 幾位著名學者在塑性成形領域大變形模式之力學理論之突破，使有限元素法得以用來模擬塑性成形之複雜材料流動。

針對塑性成形的模擬解析軟體，DEFORM 可說是目前最廣為使用之鍛造成形專用模擬解析軟體，不管在台灣或是世界上均擁有最多之使用者，而不像其他泛用型軟體大都只侷限於教、學、研單位使用。DEFORM 由於使用者介面親和性極佳，不管在材料參數、製程資料輸入和幾何、邊界條件設定上均相當快速容易，解析準確度也備受業界肯定。不僅僅是大企業，中小型鍛造廠、模具廠或是設備廠等導入者也相當多。

台灣業界目前已有多家廠商導入此一技術，其關鍵在於 SFTC 公司於 1998 年將原本需在價格高昂、動輒上百萬元之工作站(Workstation)上使用之軟體完全移植至十萬元以內之個人電腦(PC)上，使業界導入費用大幅降低，設備維護升級更具彈性[15,17]。

在上述背景下，從 60、70 年代開始，企業在其設計和生產過程中開始使用 CAD、CAM 等技術，新技術的應用在促進生產力發展的同時也帶來了新的挑戰。雖然各單元的電腦輔助技術已經日益成熟，但都自成體系，彼此之間缺少有效的資訊共用和利用，形成「資訊孤島」。實現資訊的有序管理，成為在未來的競爭中保持領先的關鍵因素，其中產品資訊的集中化管理尤其重要。PDM 正是在這一背景下，應運而生的一項新的管理思想和技術，而新一代 PDM 系統已經被開發出來支援整個產品的生命週期---從最初的概念設計到最終的成品。它們不僅能在產品的概念設計階段支援平行作業工程，而且還能幫助更佳地定義工程更改過程以及管理產品設計的不同階段。

1.1 PDM 的功能

一般討論 PDM 系統時，會提到的五個基本功能包含：

- (1) 資料庫和文件管理：提供產品資訊的存取；
- (2) 工作流程和流程管理：控制處理產品資料的程式，提供了一種用資訊驅動業務的機制；
- (3) 產品結構管理：處理物料清單，產品配置以及有關的版本和設計更改；
- (4) 零件管理：提供關於標準件的資訊，方便設計上的重複使用；
- (5) 專案管理：提供工作細目結構，容許各個流程，資源計畫和專案跟蹤之間的協調。

除此之外，還有許多增強 PDM 系統的其他功能。通訊能力（例如連接 Email）提供資訊傳輸和事件通知。資料傳輸功能跟蹤資料位置和從某一位置移動資料，或者程式到另外一個位置。資料傳輸性能以適當的資料格式交換檔。圖像服務處理保存、訪問和觀察產品資訊。管理功能控制和監控系統的運行和安全。

PDM 使用者能夠通過自己的桌面電腦查詢公司的資料和資訊，實際的搜尋過程由伺服器操縱，採用中間資料庫搜索方法。文件被存放在資料庫中，伺服器找到指定資訊後，按適當的格式傳回到使用者螢幕。

1.2 PDM 的優點

成功實施 PDM 能改進生產效率和提高競爭能力，其主要優點有[8,13,18,19]：

- (1) 不同部門間的協同作業：在產品定義的最初階段，PDM 系統能幫助市場人員，設計人員和專案計畫人員制定協同作業方式，識別新產品及其產品範圍與正在生產的產品之間的關係。PDM 系統有利於新產品的協同作業開發和現有產品的改造。
- (2) 產品開發週期縮短：由於加強了企業各部門及其供應鏈間的協同作業，方便了產品資訊的存取，從而使產品開發週期大為減少。企業對市場的回應也更為有效，能不斷為他們的客戶提供有創意的新產品。
- (3) 獲取企業資訊便利：通過管理和使例行工作自動化，PDM 系統大大簡化了使用者每天的繁瑣工作，如查詢圖紙，跟蹤審核和完成狀況報表等等。
- (4) 改進專案管理：由於所有專案參與人員都能訪問相同的資訊、工作於共同的產品模型，所以 PDM 系統使專案管理變得更加容易。PDM 系統能使專案經理更有效地跟蹤專案進度，從而保證所做的工作朝著正確的方向進行，按時完成專案。
- (5) 改進產品生命週期設計：方便地訪問有關新產品開發的資訊能幫助企業施行「為 X 設計」(Design for X)的系統方法。PDM 系統容許製造人員和產品工程師在產品開發的最初階段訪問設計資訊，從而能儘早發現設計問題。
- (6) 供應鏈協同作業：PDM 系統對供應鏈關係有很大的影響，它能把承包商、供應商、諮詢顧問、同盟廠家和客戶鏈結起來，讓大家訪問共同的產品資訊。PDM 系統也可作為企業自製零件和供應商外協零件的資料庫，通過使用 PDM 系統中現成的零件資

料庫，設計人員能夠排除重複工作，因此大大減少了開發的時間和成本。

雖然 PDM 有許多好處，但傳統的 PDM 系統仍有一些不足。首先，為了獲得顯著效益，PDM 系統的實施不是件容易的事情，當一種新的 PDM 系統出現時使用者常常經歷一個長的學習過程。其次，傳統的 PDM 系統使區網或企業間的通訊非常容易，但卻缺乏全球協同作業的支持。第三，缺乏友好的使用者介面。今天市場上的許多 PDM 產品都有獨特的使用者介面，使用者要花費很多時間來熟悉新軟體，對使用者介面的不熟悉是妨礙使用者實施 PDM 系統的主要原因之一。

2. 研究方法

本研究以知識管理的角度來處理產品資料管理核心的運作部份，希望把重點放在群組研發過程中產品資料產生後的修改及管理機置，期望透過協同處理及不斷的設計進化，產生最好的共識結果並且能在良好的權限規範下進行資料分享。

為了達到知識管理中知識推演及群組協同作業的功能，同時兼顧友善度高的系統使用介面，我們選擇了最具延展性的 Web 介面型式發展 PDM 系統。在提供群組討論的機置上，我們設立了權限管理的機制，將使用者權限區分為使用者自己、相同群組及群組以外等三種不同的身份，加上可以對資料夾(也就是分類)的讀取、上傳、刪除操作組合，可形成彈性極高的九種不同的管理權限組合(參閱圖 1)。



圖 1 權限的不同組合方式

在鍛造過程中，上、中、下游生產製造過程所需及產出之各種產品相關資料在 PDM 進行整合，進而提供共享。在規劃上，我們以資料夾的型式來處理資料分類的問題。將上游收集的資料及產生的資料分門別類管理(參閱圖 2)，並分享給中下游生產流程取用以做進一步結合，減少重覆人力、物力浪費，型成一交換及管理的平台。

在群組作業中，為了避免因為所有人都在此平台上交換及管理資料造成版本錯亂問題，提供鎖定及版本控制的機制，使不同的人員可以設定為協同作業成員，對管理的資

料進行下列的操作：

- (1) 訂閱追蹤資料：只要完成資料夾及文件檔案訂閱，往後該資料只要被協同作業成員修改，更新版本，可以自動以 Email 通知訂閱成員，以提醒資料更新發生。



圖 2 以群組、目標做為分類管理方式

- (2) 鎖定資料：為避免協同作業成員下載同一份資料，各自修改不同的資料內容後上傳更新原始資料，造成資料新舊版本錯亂現象，提供鎖定機制。使用 Check In/Check Out 機制，當資料因修改而下載時，使用 Check Out 鎖定資料；當資料完成編修上傳至 PDM 系統時，使用 Check In 解除資料鎖定。資料產生者或修改者可以彈性對文件鎖定，以避免相關人員對文件做任何變更，待修改完成上傳更新後，再解除鎖定，供其他人做相關之修改。同時，對於修改過程中所產生的所有版本，也可以做歷史管理，可在任何時刻，在權限允許下，調閱開發過程中，任何一個版本的資料。
- (3) 版本控制：檔案只要進行一次上傳更新動作，文件版本序號自動增加 1，讓使用都可以清楚了解文件的更新先後順序並掌握最新版本資料。

為了讓系統的可用度更高，方便的操作性及強大的管理能力，有助於調整出使用者滿意度最高的系統。因此，本研究方法的 PDM 系統也提供了下列的功能：

- (1) 全文檢索搜尋：除提供搜尋機制對檔案關鍵字搜尋以外，也可以就文字檔(含 txt, ms-word, pdf 格式)內文做全文檢索搜尋，以方便資料之查找。
- (2) 資料檔案管理：可以搬移、刪除並以附件寄出文件等檔案操作功能。
- (3) 資料庫管理：透過資料庫管理文件及資料夾，使未來系統的擴充性更大，系統也可藉由資料庫強大的管理功能，使系統的使用方式更多元化。也可使用資料庫備份的功能，讓系統的資料保存性更高。
- (4) 事件 Log：可以了解使用者使用系統的行為，做為系統改善的依據。
- (5) 下載統計：可以了解資料被使用的情況。
- (6) 新聞系統：透過新聞系統的訊息公告功能，使協同處理成員隨時掌握工作進度及最

新狀況。

(7) 使用者自訂文件類型：除非類不同的使用者資料外，也可針對不同類型的文件做不同的顯示處理。

本研究中 PDM 系統與其他系統間的關係如上圖所示。由此圖可看出，本 PDM 系統是一般化的 PDM 管理系統，可將研發過程中所收集及所產生的產品資料分類在系統中管理。生產流程中的各個開發製造的環節也能隨時參考不同階段的產品資料(在權限允許下)，以便能在任何時機對有疑問的生產過程加以澄清。此種產品資料交換的彈性有助於成品有較高的顧客滿意度。

在 PDM 系統上有效管理開發資料的基礎上，透過物料管理及生產排程管理的搭配，可以使資源運用及時程管理上更為有效。透過本平台之建立，將可提供鍛造生產流程更高效率的資源整合環境。

本文章之研究內容即是藉由製程模擬技術之引進，建立高級鍛造技術，協助國內業者縮短鍛件開發時程、提升品質，進軍高級鍛件、朝向高附加價值產業發展。本計劃所擬引進之 DEFORM 程式，係美國空軍所支持發展之 ALPID 程式改良而來。不但執行速度較快、操作亦較原程式簡便，其可模擬之範圍涵蓋恆溫、非恆溫與粉末鍛造等成形製程、解析結果包含有模具與胚料之流動應力、應變率與溫度分佈解析，可準確模擬出金屬於實際鍛造作業時之全部變形過程，並預測缺陷可能發生位置，以便預先改變模具與製程設計，減少材料與人力之損失。DEFORM 主要組成有三，包括有前處理(Pre-processor)模組、模擬解析(Simulation Engine)模組及後處理(Post-processor)模組。在前處理的輸入準備模組，使用者可由此以交談式輸入所有材料、製程參數及起始與邊界條件等。自動網格佈建及網格重新佈建則可依幾何形狀、應變梯度、溫度梯度、應變率梯度等，作不同比重之考慮，而產生最適當的有限元素網格大小及密度。模擬解析模組則針對前處理模組所設定之條件進行分析，計算並記錄其應力、應變、負荷、溫度等隨時間變化之參數，並可依使用者需求而建立應力或位移等副程式進行計算。後處理模組則可將分析所得之負荷位移關係、溫度、應變、應力、應變率等資料以曲線圖、等高線圖或向量形式做成分佈圖。並由模具與鍛件位置關係可以瞭解材料充填性、是否有缺陷產生及材料流動情形。[7,9,20,21]

雖然電腦鍛造模擬解析具有相當多的優點，但實際導入時仍有下列重點需加以注意：(1)初期軟體投資稍高，後續若取得更新軟體尚需有維護成本。不過在中華民國鍛造協會的協助支援下，已可為台灣鍛造業者向美國 SFTC 公司爭取到極優惠的價格，尤其對於學術單位的優惠價格，將有利於學術界應用 DEFORM 軟體進行精密鍛件的開發，同時在軟體使用操作上，也有金屬工業研究發展中心以近十年之使用經驗對台灣業者做技術支援。(2) 3D 幾何模型建立需其他 CAD 軟體支援，高苑技術學院自動化系目前有 CATIA 3D、SOLIDWORK-2003 軟體，以及 ANSYS、FLUNT、Moldex 3D 等套裝軟體

對於 3D 幾何模型建立將有足夠的設備及人力支援。(3)使用人員除需受操作訓練外，也必須具備鍛造設計專業能力。有限元素分析的精神是將實際非線性之自然現象，選擇適當的模式並加以分割成網格元素，再同時解各線性化網格，得到近似原非線性解，所以網格切割的越多越小，模擬結果與實際的誤差就越小，但相對計算時間就會增加。所以良好的模擬應為在有限設計時間內，得到精確度可接受之模擬結果。

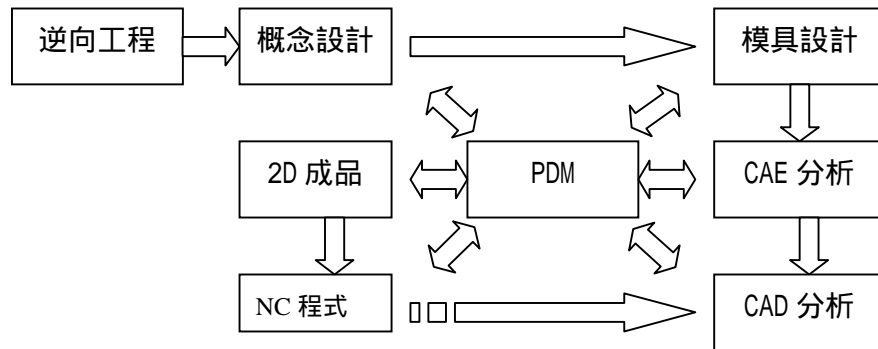


圖 3 各系統與 PDM 之間的關係

本文章中 PDM 系統與其他系統間的關係如上圖所示。由此圖可看出，本 PDM 系統是一般化的 PDM 管理系統，可將研發過程中所收集及所產生的產品資料分類在系統中管理。生產流程中的各個開發製造的環節也能隨時參考不同階段的產品資料(在權限允許下)，以便能在任何時機對有疑問的生產過程加以澄清。此種產品資料交換的彈性有助於成品有較高的顧客滿意度。

在 PDM 系統上有效管理開發資料的基礎上，透過物料管理及生產排程管理的搭配，可以使資源運用及時程管理上更為有效。透過本平台之建立，將可提供鍛造生產流程更高效率的資源整合環境。

3. 模擬結果

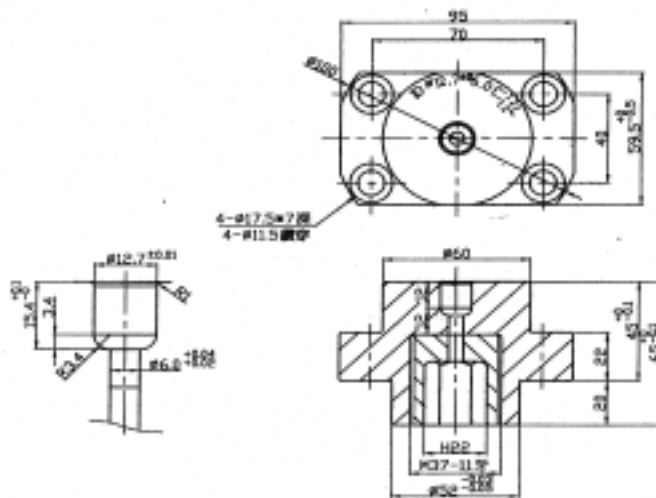


圖 4 第一道 CAD 設計圖

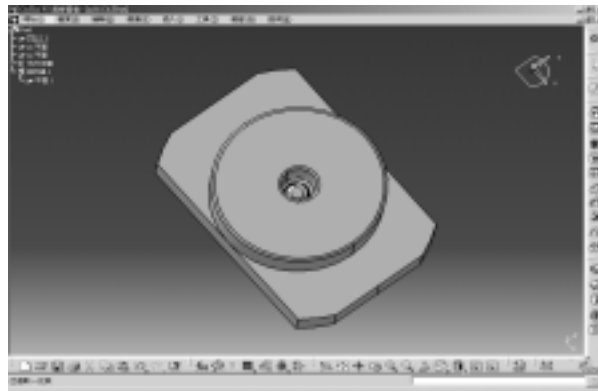


圖 5 第一道 CAM 模擬設計圖

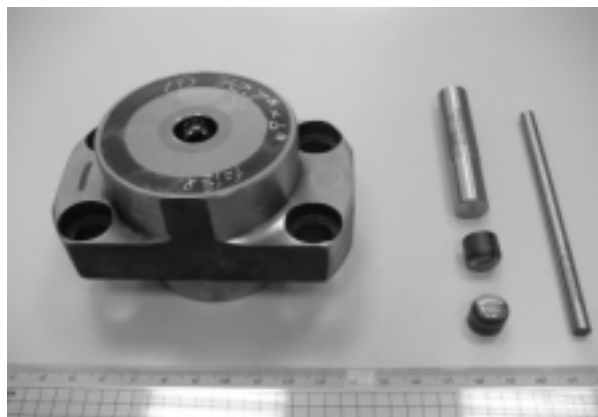


圖 6 第一道 CAD/CAM 模擬設計後實體圖



圖 7 資料分類管理



圖 8 每個專案以獨立資料夾分類



圖 9 可對資料鎖定，防止別人下載

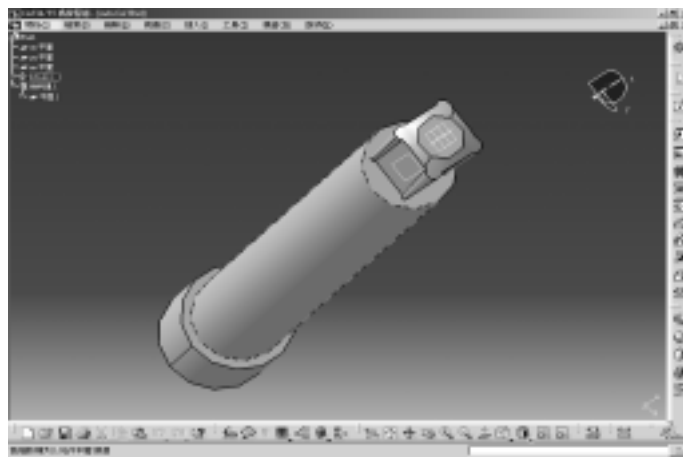


圖 10 文件檢示結果



圖 11 文件檢示結果

4. 結果與討論

CAE 軟體的典型分析過程為：建立/獲取幾何模型，前置處理（產品外形複雜或材料特殊，工程師必需憑經驗及專業知識的判斷，需經由多少工程道次，每一道次鍛胚之

外形應如何變化，外在環境如胚料溫度、模具溫度及潤滑條件等該如何控制?) 再經過求解、然後處理(瀏覽結果、生成報告)。作為分析對象的幾何模型可以由 CAD 數據獲得，其分析結果是對相應 CAD 模型性能的描述。PDM 作為管理產品數據和產品過程的軟體平台，也以 CAD 數據作為其管理的核心。因此在 PDM 描述的產品結構中，CAD 數據應該作為每個零部件必須的連結點，而 CAE 數據可以作為相對應 CAD 數據的連結點。

對於 PDM 的系統結構，CAE 軟體也要作相應的分布式配置：License 文件及管理層放在服務器端的功能層，應用程序、界面及各種輸入/輸出文件都在客戶端，得到的詳細的分析報告作為主要的交流物件，放在服務器端的支持層共享，在功能層還需實現對分析報告/相關 CAD 文件的存、取、刪、改、查等操作。本計畫可完成的項目為

(1) 國際化

透過即時網路資料交換，以 Web-base 應用系統架構，實現跨地域協作，消除新產品研發技術障礙，降低成本，加速新產品上市，搶佔市場利基。

(2) 整合機制

建立資訊整合價值鏈的起點，將研發資料成功轉入產品量產階段，完成客戶、業務、研發、工程及製造的資訊整合，為完整的價值鏈統合打下堅實基礎。

(3) 節省成本

研發流程自動化、無紙化、合理化管理，節省成本。提昇研發管理效率及品質，降低人為疏失和成本。

(4) 知識管理

產品資料有效管理，提昇資訊再利用價值。累積研發經驗，建構企業特有的管理文化和知識管理體系，並完成下列管理功能：

- a. 使用者權限管理：具備個人、群組及所有人等三種不同之權限存取等級，對管理文件做適當之限制。
- b. Web base 應用系統：提供從 Intranet 至 Internet 應用之延展性。使用者將可隨時隨地存取知識管理內容。
- c. 文件更新版本控制：群組工作或個人工作時，對文件更新版本作控制，以避免舊版本覆蓋新版本的問題。提供知識演化之歷史資料保存及回溯追蹤功能。
- d. 文件修改自動備份：自動對文件修改做資料備份，以提供 Undo 之能力。
- e. 文件鎖定防止組員修改：群組工作時，提供組員資料保護之能力，以免彼此製作之文件相互覆蓋。
- f. 追蹤監管文件：提供使用者與文件同步之功能，只要文件被修改，即會透過 email 等機置通知追蹤設定使用者。
- g. 文件關鍵字搜尋功能：以便快速搜尋知識管理系統內之內容。

h. 目錄型管理方式：使用者可將不同文件依目錄管理方式分類歸檔。

(5) 人機介面連結

資訊體系通透化，降低研發時間成本，通過網路提供與客戶間準確的商品及工程資料交換機制，快速反映客戶商品資訊需求，有效預防及管理變更設計。

誌謝

本研究經費承蒙行政院國家科學委員會補助，計畫名稱：南部科學園區路竹基地專案--精密鍛件製程技術整合平台之建立，計畫編號(NSC 93-2745-E-244-002)。

參考文獻

1. 勾淑婉, "電腦輔助工程技術於鍛造業之應用", 鍛造, Vol. 6, NO. 1, 1997.4, p. 56-59
2. 林煥章, 李榮顯, "鈦合金 Ti-6Al-4V 之鍛造製程參數分析", 鍛造, Vol. 5, No. 4, 1996年12月, p.56-70
3. 洪榮哲, "金屬模具 CAD/CAM", 全華科技圖書公司。
4. 賴耿陽譯, 吉田弘美著, 模具的 CAD/CAM 系統實務, 復漢出版社。
5. 鄭炳國, "溫間鍛造製程及其應用" 鍛造, Vol. 2, NO. 3, 1993. 10, p.41-64。
6. 傅尹坤, "電腦輔助工程技術(CAE)應用於鋁合金自行車零件之應力分析", 鍛造, Vol. 6, No. 2, 1997年7月, p.29-41
7. Ceretti, E., W. T. Wo & P. Fallbohmer, T. Altan (1996), "Application of 2D FEM to Chip Formation in Orthogonal Cutting", *Journal of Materials Processing Technology*, 59, pp.169-180.
8. D. Levi & C. Stem (1995), Team work in research and development organizations: The characteristics of successful teams *International Journal of Industrial Ergonomics*, 16.
9. Domblesky, J. P. & R. Shivpuri (1995), "Development and Validation of a Finite-Element Model for Multiple-Pass Radial Forging", *Journal of Materials Processing Technology*, *Journal of Materials Processing Technology*, 55, pp.432-441.
10. Hibbitt, H. D. P.V. Marcal & J. R. Rice (1970), "A Finite Element Formulation for Problems of Large Strain and Large Displacement", *Int. J. Solids Structures*, 6, pp.1069-1086.
11. Hofmeister, L. D., G. A. Gseebaum & Evensen. (1971), "Large Strain Elasto-Plastic Finite Element Analysis", *AIAA J.*, 9, pp.1248-1254.
12. HWANG, Y. M. & T. Altan(2001), "FE-Simulations on Tube Hydroforming in Square and Rectangular Dies", *The Seventh International Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes*, Toyohashi, Japan, 06-17 ~21.
13. Horibe, Frances (1999), *Managing Knowledge Workers*. New York: John Wiley & Sons, Inc., pp.109-126.
14. Hwang, Y. M., J. S. Yang, H. S. Lay & J. C. Huang (2000), "Analysis on Superplastic

- Blow-Forming of 8090 Al-Li Sheets in Axisymmetrical and Rectangular Closed-Dies”, International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials, Las Vegas, Nevada, U.S.A., 12-04~08.
15. Hwang, Y. M., D. C. Chen (1998), “Simulation on Asymmetrical Sheet Rolling by FEM Software Package”, The 22nd National Conference on Theoretical and Applied Mechanics Tainan, Taiwan, 12-19~20, pp.439-445.
 16. Lee, C. H. & S. Kobayashi (1973), “New Solution to Rigid Plastic Deformation Problems Using A Matrix Method”, J. Eng. Ind. Trans. ASME, pp.865-872.
 17. J.P. Tang, W.T. Wu & J. Walters (1994), “Recent Development and Applications of Finite Element Method in Metal Forming”, J. of Materials Processing Tech., 46, p. 117-126.
 18. Karcher, A. Wirtz & J. Fischer, F. (2000), The PDM Enablers data model as a reference model for the customization of PDM-Systems. Proceedings of the 7th European Concurrent Engineering Conference, Leicester, United Kingdom, April 17th-19th.
 19. Karcher, A. & J. Wirtz, Customizing a STEP-processor in an integrated PDM-environment in Virtual Enterprise. Proc. of PDT Europe 1999, 8th Symposium Product Data Technology Days Europe 14th April 1999, QMS Sandhurst, UK, 1999, S. pp.47-54.
 20. Kou, Shu-Wan (1994), “Some Applications of Forging Processes Simulation by the DEFORM System”, The R.O.C./Australia Workshop on Materials Processing Technology, Tainan, Taiwan, 5-05~06, pp.150-155.
 21. Matthew, O., P. Brett & M. Gary, Taylan, A (1996), “Flashless Closed-Die Upset Forging-Load Estimation for Optimal Cold Header Selection”, *Journal of Materials Processing Technology*, 59, pp.81-94.
 22. Perzyna, P. (1966), “Fundamental Problems in Viscoplasticity”, in *Applied Mechanics*”, Chap. 9, Academic Press, New York, pp.243-377.
 23. Yamada, Y., N.Yoshimura. & T. Sakuuui (1968), “Plastic Stress Strain Matrix and It's Application for The Solution of Elastic Plastic Problems by The Finite Elementn”, *Int. J. Mech. Sci*, 10, pp.343-354.