

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

鍛造模具設計 CAE 技術之建立與人才培育

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2622-E-002-030-CC3

執行期間：92年12月01日至93年11月30日

執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：陳復國

計畫參與人員：林家璋，莊文章

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫為提升產業技術及人才培育研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 94 年 3 月 2 日

國科會補助提升產業技術及人才培育研究計畫成果精簡報告

學門領域：E1 機械固力

計畫名稱：鍛造模具設計 CAE 技術之建立與人才培育

計畫編號：NSC 92-2622-E-002-030-CC3

執行期間：92 年 12 月 01 日至 93 年 11 月 30 日

執行單位：國立臺灣大學機械工程學系

主持人：陳復國 教授

參與學生：

姓名	年級 (大學部、碩士班、博士班)	已發表論文或已申請之專利 (含大學部專題研究論文、碩士論文)	工作內容
林家瑋	碩士班		CAE 電腦模擬，資料收集，模具設計分析
莊文章	碩士班		材料性質試驗，資料收集，CAE 電腦模擬

合作企業簡介：

創立日期：1985 年 3 月

資本額：新台幣 3 億元整(USD 約 9,090 萬元整)

廠地面積：13,223 平方公尺(4000 坪)

廠房面積：8,264 平方公尺(2500 坪)

從業員工：146 人

生產能力：月產 1500 噸(成品)

董事長：鄭藝聖

總經理：范振唐

廠長：呂紹誠

合作企業名稱：金鍛工業股份有限公司

計畫聯絡人：鄭藝聖

資本額：新台幣 2 億 6 千萬

產品簡介：

金鍛公司專業製造汽車、機車、五金工具、機械、國防工業、船舶貨櫃及其他適合工業或市場所需之鍛件。可承接客戶圖樣定製重量 0.1 ~ 30 公斤 之鍛件，並接受客戶委託機械加工零件。

網址：<http://www.kingduan.com.tw> 電話：02-24925366

研究摘要(500 字以內)：

由於國內外鍛品市場之蓬勃發展，鍛造業者面臨到鍛品品質之要求或是在納期縮短方面均和以往不同，導入電腦輔助工程分析（Computer-Aided Engineering，CAE）已是刻不容緩的課題。本計畫首先評估市面上可應用於鍛造產業之 CAE 軟體，從軟體功能及正確性，以及國外大廠使用之普遍性，進而選定 DEFORM 軟體做為本計畫所使用之 CAE 軟體。

在執行方法方面，首先選擇一個公司過去已開發之產品來驗證軟體之正確性，並建立一套產品分析流程，同時規畫 CAE 軟體訓練課程，從基礎之操作訓練到最後自行操作訓練；然後輔以本實驗室所開發之 CAE 軟體中文介面，選擇一項目前正在生產之產品，訓練受訓人員利用 CAE 軟體來改善目前生產所遭遇之問題，並驗證所提出之改善方法。

由於目前鋼料價格不斷上漲，壓縮到公司利潤，於是藉由 CAE 軟體導入公司未曾開發過之閉模鍛造技術，利用公司正在生產之產品，以原本開放式模具設計方式變更為閉模樣式。首先將圖檔匯入 CAE 軟體中分析其胚料成形結果，若不如預期則修改模具圖檔再進行分析，所得結果使胚料由原本的 1.5 公斤減少到 1.1 公斤，得料率從 60% 提升到 73%。此新技術之開發流程將可成為公司未來針對新產品開發之借鏡。經由本計畫的執行，使金鍛公司之工程師充分了解 CAE 分析技術之功能與其實用價值，並成功培育了 CAE 技術之種子人才，提升了公司技術開發的能力。

關鍵字：電腦輔助工程分析(CAE)、DEFORM 軟體、模具設計、閉模鍛造

人才培育成果說明：

人才培育內容主要為有限元素軟體 DEFORM3D 之操作訓練，共分為三個部分。第一個部分係驗證 DEFORM3D 軟體應用於公司過去已開發之產品，檢測產品之成形模式是否和模擬結果相同；第二及第三部分為公司人員軟體訓練，教材內容包含本實驗室自行開發之 DEFORM3D 軟體 F3 版本之中文化介面，並以圓柱壓縮為例，使接受訓練之人員能先熟悉軟體之介面操作，然後再利用比圓柱壓縮複雜之鍛造模具為例，讓公司人員自行操作並從旁協助，使之更熟悉整個 DEFORM3D 軟體之操作流程。

第一部分主要內容在驗證 DEFORM3D 軟體之正確性，故利用公司過去已開發過之產品來模擬其成形情形。首先利用此成品之上、下模具設計圖，在 CAD 軟體中建立出 3D CAD 圖形，之後再匯入 DEFORM3D 軟體中以供模擬使用，其中圖 1 及圖 2 分別為利用 CAD 軟體所建立之上、下模具圖，而模擬結果如圖 3 所示。由圖 3 可看出模擬結果和產品外型相同，且成形結果之餘料分布情形也和實際生產時相同，並可依此算出產品之得料率。本產品之材料為 AISI 1055 中碳鋼，其鍛造成形方式為熱鍛成形，鍛造溫度為 1200，藉由 CAE 模擬可以

得知此成形過程有無超過機台之最大負荷，也可看到成形過程中胚料內材料流動之速率分布，以及各部位材料流到之情形，若有未填滿問題也可以藉此了解未填滿之原因，由此可知 DEFORM3D 軟體在模擬鍛造成形上其正確性是可以確定的，這也是為何 DEFORM3D 軟體在國外被普遍應用於鍛造工業的原因。



圖 1 產品之上模 CAD 圖檔

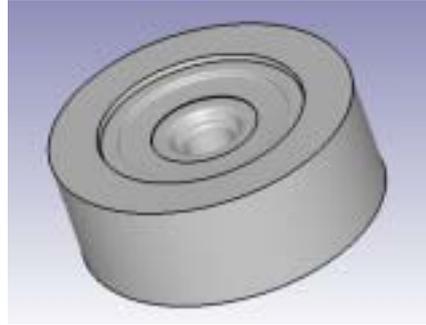


圖 2 產品之下模 CAD 圖檔



圖 3 模擬結果與實際產品圖

第二部分為基礎訓練課程之說明，基礎訓練主要在讓使用者熟悉 DEFORM3D 軟體之基本操作流程。本次教學的版本為 DEFORM3D V5.03_F3，訓練方式係以一個簡單之鍛造模型圓柱壓縮為例，逐步說明各個步驟之功能及使用方法，以利初學者可以快速地熟練軟體操作流程及功能。

第三部分為進階訓練課程，主要在介紹 DEFORM3D 軟體之後處理介面，讓使用者在模擬完成後可以利用後處理介面來獲得想要之資訊。本次訓練是利用基礎訓練課程所設定之模擬結果，來看後處理介面內每個選項功能及操作方法，後處理介面包含物件模式、步數顯示器、狀態變數及工具等，每一項之功能都在課程中作詳細之介紹。

為使教育訓練能更有效率地進行，本計畫特針對訓練內容編寫中文訓練教材，其中包括本實驗室自行開發之 DEFORM3D 軟體 F3 版本之中文化介面。訓練教材內容以簡易例子使受訓人員能先熟悉軟體之介面操作，然後再選擇其它較複雜之鍛造模具為例，給予受訓人員自行操作並從旁協助，使之更熟悉整個 DEFORM3D 軟體之操作流程。本計畫最後並以目前該公司開發產品所遇到之實際問題作為教材，藉由本次遇到之問題及以 CAE 模擬分析解決問題之流程，培養該公司人員解決實際問題之能力。

技術研發成果說明：

本計畫第一步先選擇金鍛公司已開發過之產品，利用 DEFORM 軟體來驗證其正確性，以建立公司人員之信心；第二步利用基礎、進階及自行操作訓練三個階段，讓公司受訓人員從完全不懂軟體之操作流程到最後可以自行選擇實例完成軟體模擬，然後請公司人員提出生產過程中所遇到之問題，嘗試利用 DEFORM 軟體來模擬缺陷發生之原因，並利用軟體來模擬改善方案是否可行，以減少實際試模之時間及費用，最後並協助其應用 DEFORM 軟體來從事開發公司之前未研發過之閉模鍛造模具，增加其研發能力以利日後公司導入 CAE 技術於研發流程。

鍛造產品之開發流程大致上為 OEM 提供製品圖以及參考樣件做為開發之依據，根據這些資料，公司內部設計人員從事工程分析及模具設計之工作。而鍛造產業現階段之問題點在於，工程分析憑靠老師傅之經驗判定成形是否成功，工程技術侷限於師傅之經驗而無法有效傳承，也無法成為公司之資產，加上新進人員不易在短時間內達到和師傅相同之技術，不僅需待模具完成後才能確認模具設計之正確性，並且無法正確了解到材料在模具內之流動情形，以致模具改造費用高且費時，又由於目前鋼鐵材料價格居高不下，和以往便宜之鋼料價格已完全不相同，所以需要利用 CAE 來縮短產品之開發時間，以節省材料成本。

導入 CAE 技術後，公司可以解決許多問題點，並將成形分析科學數據化，不必再仰賴難以傳承之經驗，把鍛造技術透過 CAE 儲存於檔案中，使技術成為公司最重要之資產。電腦化後可以建立標準化作業，使每個人員均能輕易且快速完成工程與成形分析，新進人員之訓練上也更容易，短時間內皆可獲得基本之鍛造模具設計技術。利用 CAE 可預見產品成形之過程，可大幅降低模具修改成本並縮短開發時程，增加公司之競爭力。

本計畫成功地讓公司人員學習完整的 DEFORM 軟體操作，並利用許多實例培養公司人員解決問題之能力，最後也成功利用 DEFORM 軟體整合產品開發流程，開發公司從未開發過之閉模鍛造模具，使每個產品減少 0.4 公斤之材料，為公司節省許多之材料成本，此新技術之開發流程也可以成為公司往後遇到新產品開發之借鏡。經由本計畫的執行，使金鍛公司之工程師充分了解 CAE 分析技術之功能與其實用價值，並成功培育 CAE 技術之種子人才，提升該公司之技術開發能力。

技術特點說明：

本計畫之技術特點在於利用 CAE 軟體模擬實際成形情形，並利用軟體來解決其所遭遇之問題，更可應用軟體來驗證其改善方案，以大幅減少試模及修模時間，進而縮短公司之產品研發時間。

公司目前開發之產品，以磁座生產為大宗，其磁座外型如圖 4 所示為一個八個爪部的

外型，產品材料為 AISI1015(低碳鋼)，鍛造類型為熱間鍛造，鍛造溫度為 1200 ，產品生產流程為鍛粗、預成形及完成鍛，後續流程為整形、切邊等流程，如圖 4 所示。前面三個流程可用 CAE 軟體 DFORM3D 來模擬，分析流程為利用產品之 2D CAD 圖檔，再以 3D CAD 軟體(如 CATIA)來建立 3D 的模具圖檔(.stl)，然後可以將模具圖檔匯入 DFORM3D 軟體內，並輸入成形條件來模擬，若模擬過程出現問題，便要再回頭修改模具圖檔再進行模擬分析，如此反覆進行，直至沒有缺陷產生為止，整個分析流程如下所述。

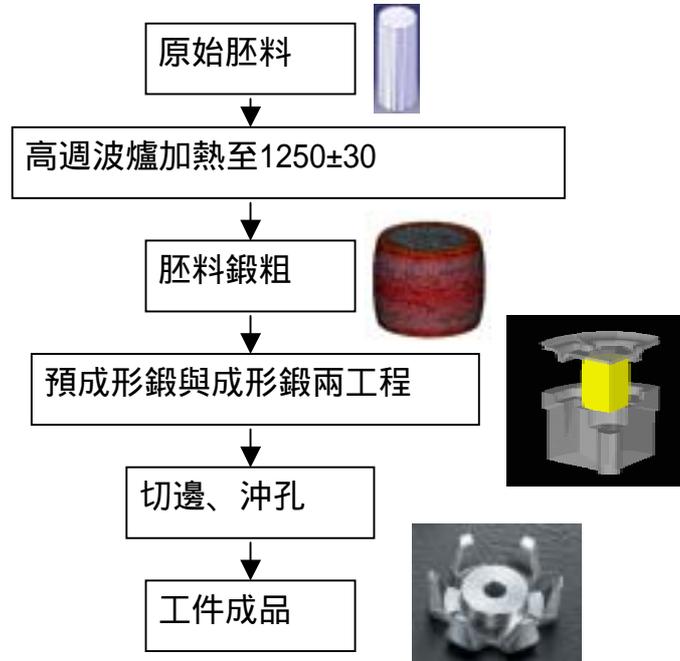


圖 4 磁座生產流程

CAE 軟體分析流程主要分為三個部分，分別為鍛粗、預成形鍛及成形鍛，以下針對此三個部分別做各個流程之介紹：

1. 鍛粗：

為加快模擬時間與減少模擬結果儲存空間，鍛粗與預成形之模擬分析均以四分之一進行模擬圖 5 所示為鍛粗之模擬設定圖，而模擬之設定條件則以公司鍛造製程相同。經由 CAE 模擬分析可以得到鍛粗後胚料之應力分佈、流動速率及沖頭和沖程之作用力關係圖。

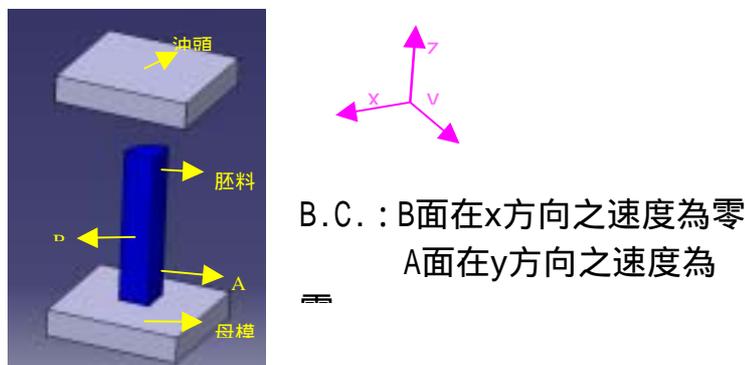


圖 5 鍛粗之模擬設定圖

2. 預成形鍛：

預成形鍛之目的在對於較複雜之鍛件因為無法一次鍛造完成而必須先以預鍛成過渡形狀，以減低一次鍛造之壓力及材料流動阻力，圖 6 為預成形之上、下模以及三者位置之示意圖，其餘參數設定如公司所提供，惟在此溫度不用再行設定，可依照鍛粗後胚料之溫度分佈經過傳送過程中之熱傳效應後之新溫度場來模擬，模擬結果可得預成形鍛完成後之胚料形狀、預成形鍛完成後之溫度變化、流動速率及內部應力之變化。

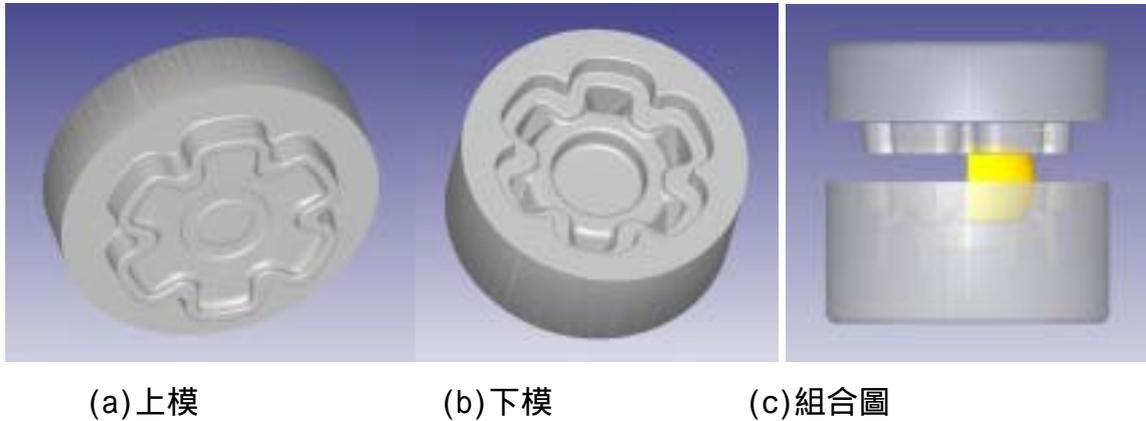


圖 6 預成形鍛模具示意圖

3. 成形鍛：

成形鍛模具是依照產品所要求之尺寸做設計，通常由於尺寸之要求嚴格，無法在此模具上做設計上的修改，而為整個熱間鍛造流程之最後階段。在 DEFORM3D 軟體的操作上，胚料是匯入預成形鍛之結果檔，參數設定也是同公司所給之參數，但溫度設定上是以預成形鍛完後之胚料溫度變化為主，圖 7 為成形鍛之上、下模及三者組合之示意圖。由模擬結果可得胚料之內部應力分部、溫度變化及流動速率圖，從溫度變化中可以看出在成形過程中內部變形量大的地方溫度反而會升高，而從流動速率圖中可看出最末步驟之材料流動，亦可觀察上下模具間的材料流動以及餘料的形成。

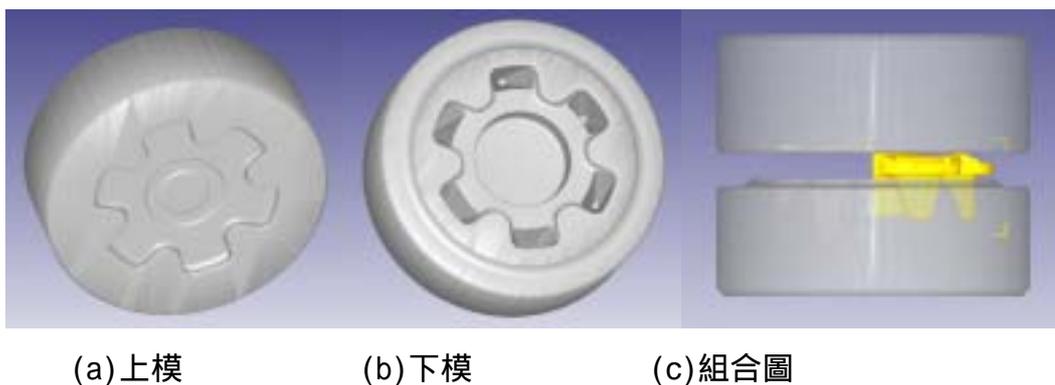


圖 7 成形鍛模具示意圖

利用 CAE 技術可大幅提升鍛造模具設計之能力及縮短模具設計與製作的時程，可分析鍛造成形過程中之材料流動、溫度分佈、胚料形狀、模具應力分佈、胚料應力應變分佈及沖頭負荷，以輔助模具設計。

金屬鍛造製程之目的主要在於鍛鍊及成形，鍛鍊的主要功用為破壞粗大的鑄造組織，

使結晶組織細密化，並壓縮胚料中微小的空隙，以提高機械性質，纖維化方向之抗拉強度可增高 1.2~1.3 倍，衝擊值則可達為 2~4 倍；而成形的功用在於將胚料轉變成具有金屬流線(鍛流線)及所需的各種形狀，尤其閉模鍛造中更是以成形為主要目的，金屬鍛造製程之優點在於晶粒組織細密，減少內部缺陷，並產生鍛流線，材料因而提高最大方向性強度、耐衝擊強度及抗疲勞強度等優良機械性質，同時鍛造較機械加工經濟，適合大量生產，可以降低成本，以及減少材料損耗等。

得料率在鍛造製程設計中，是影響成本的一項重要因素，以本計畫所分析的一項成品而言，該成品之實際重量大約為 0.9 公斤，但在實際所設計的胚料重量為 1.5 公斤，於是餘料約為 0.6 公斤，而產品的得料率為 60%，在鍛造製程中若得料率在 60%以上已是可以接受之範圍，不過由於近二年鋼鐵價格飛快上揚，已對國內許多鍛造業者在成本上造成很大的壓力，鋼鐵原料價格和餘料價格差異甚大，使鍛造業者開始在閉模鍛造技術上著手，以期可以提升產品得料率以壓低原料成本，獲得更多的利潤，閉模鍛造技術的優點在於可以減少產品餘料，利用其閉模成形特性可以減少後續整形加工之費用。本計畫亦以實際產品開發為案例，來探討 CAE 分析在減少餘料之應用，以下將介紹如何應用 DEFORM3D 軟體來搭配閉模鍛造模具之設計開發流程，以大幅減少試模及模具設計時間。

本計畫選擇該公司所生產之磁座為載具，為其開發設計一組閉模鍛造之模具，並依照成品尺寸來做規畫，磁座成品之重量為 0.9 公斤，原始胚料設計為 1.5 公斤，經過之前所設計之模具鍛造成形後，由模擬及實際生產成品可以看出其周圍餘料很大，如圖 8 中所示，於是以原始胚料為 1.1 公斤來開發此組閉模鍛造模具，若成功開發出來，可以產品得料率可提升到 73%。

由於公司在從事熱鍛產品生產流程上，在預成形及成形鍛之過程，需依靠產品在預成形鍛所產生之餘料來夾持至成形鍛模上，而從成形鍛模上也要藉由餘料夾持到整形模上，若開發完全無餘料之閉模鍛造技術，雖然完全無餘料之閉模鍛造技術可大幅提升得料率，但在公司並無夾持工具之情形下，將無法導入其實際之生產流程，在初步研究下，本次設計將只針對預成形模具做修改，再利用原本之成形模具及整形模具來做後續之處理。

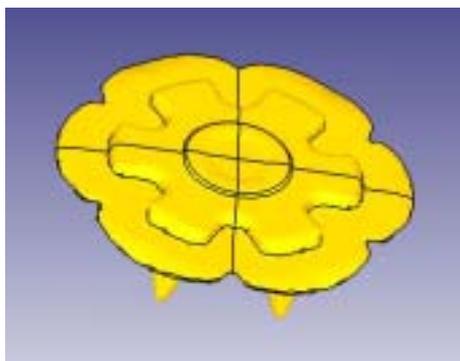


圖 8 模擬結果之餘料大小

預成形模具設計方法如下，磁座之預成形模具未更改前如圖 9 中所示，上、下模具合模處也是餘料跑出的地方，於是要更改成閉模鍛造時，需要阻擋材料之流動，如圖 10 中所示，以阻擋材料流入形成不需要之毛邊，依據此原則來更改上下模具，第一次更改完成後之閉模預成形模具如圖 11 中所示，把側邊皆提高以阻擋材料流動，而上模則依據下模之形狀做延伸進而完成閉模預成形模具，下模向旁邊位移 1mm 以避免疊料現象發生。

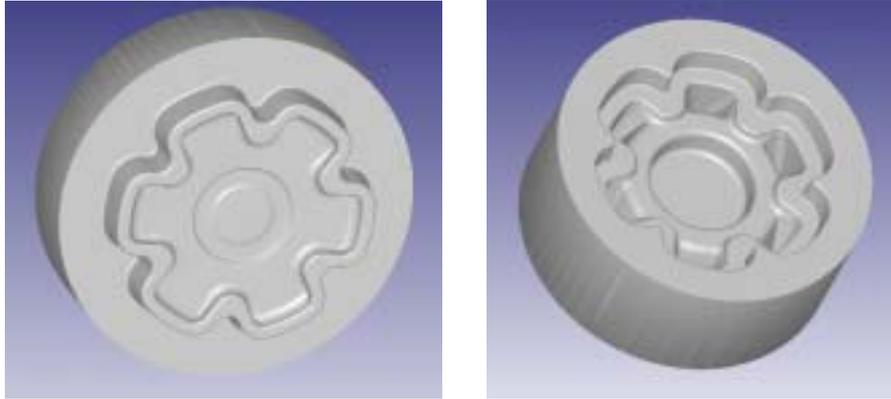


圖 9 未更改前之上、下模具外型

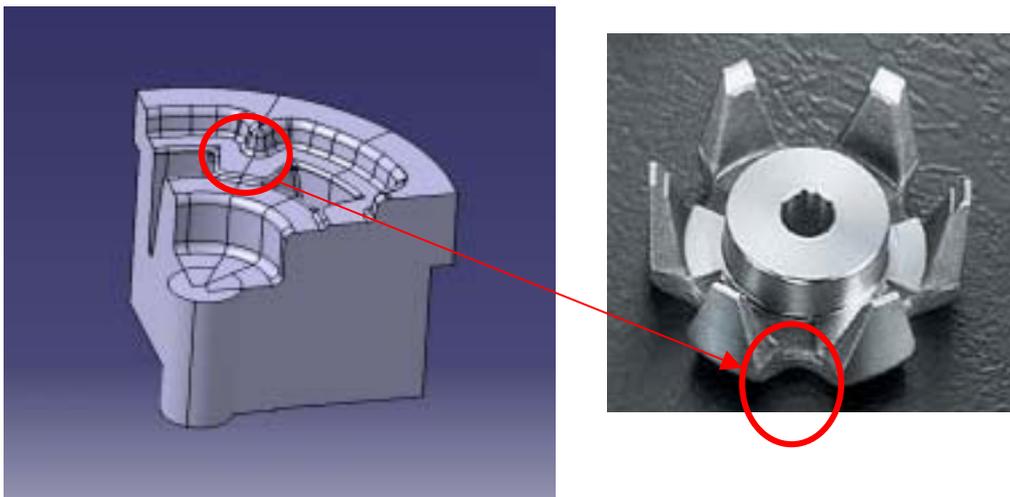


圖 10 更改原則為阻擋材料流入成形後切除之毛邊

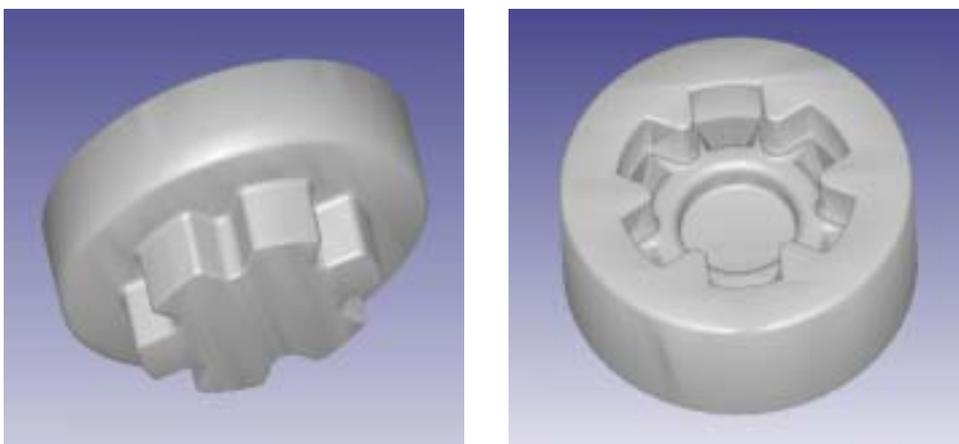


圖 11 閉模鍛造模具設計，下模向旁邊位移 1mm

最後模擬結果如圖 12 所示，明顯可以看出比未採用閉模鍛造(圖 8)之餘料為少，從二者之餘料比較圖可以明顯看出採用閉模鍛造之優點，採用閉模鍛造可以比之前節省 0.4 公斤之材料。在模擬順利完成後，設計者可以利用模擬結果來變更或修改模具設計圖以節省更多的材料，未來也可將二道製程皆改為閉模鍛造，相信可以更節省材料及後續之整形、切邊等製程，同時可以利用 CAE 分析技術來提升公司的研發設計能力。

可利用之產業及可開發之產品：

CAE 技術之應用也可拓展到所有鍛造相關產業及產品。



圖 12 完成鍛之模擬結果圖

推廣及運用的價值：

本計畫成功地讓公司人員學習完 DEFORM 軟體之操作，並利用許多實例培養公司人員解決問題之能力，最後也成功利用 DEFORM 軟體整合產品開發流程，以開發公司從未開發過之閉模鍛造模具，使每個產品減少 0.4 公斤之材料，為公司節省許多之材料成本，此新技術之開發流程也可以成為公司往後遇到新產品開發之借鏡。經由本計畫的執行，使金鍛公司之工程師充分了解 CAE 分析技術之功能與其實用價值，並成功培育 CAE 技術之種子人才，以提升公司模具開發之能力。

備註：精簡報告係可供國科會立即公開之資料，並以四至十頁為原則，如有圖片或照片請以附加檔案上傳，若涉及智財權、技術移轉案及專利申請而需保密之資料，請勿揭露。