

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

高溫超導線材之靜水壓擠製研究（一）

計畫編號：NSC87-2212-E-009-023

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：洪景華 國立交通大學機械工程研究所

一、中文摘要

本研究的目的是在於設計與製造一工作壓力達一萬大氣壓之靜水壓擠製設備，並以有限元素法模擬配合實驗，針對高溫超導粉體/金屬固體複合包芯材擠製過程中之加工參數進行研究。在本研究計畫的第一年裡，我們針對靜水壓擠製機設計製造，陸續完成高壓擠製筒、高壓擠桿與高壓密封裝置，並完成裝置、配合與擠製測試。而在有限元素法分析方面，除了以實驗取得高溫超導材料的材料特性外，並完成有限元素網格、邊界條件建立，與初步的模擬分析。

關鍵詞：靜水壓擠製、高溫超導粉末、有限元素法

二、緣由與目的

在高溫超導線材化技術中，擠製過程為非常重要且有效的一環。靜水壓擠製法比起傳統的直接擠製法，不但可以比較有效地達到粉末完全緻密化，更能大量提高擠製比，減少加工程序與次數，而且成品品質高，非常適合用在高溫超導線材化技術中。高溫超導線材之靜水壓擠製乃利用流體（高壓油）作為工作介質，在擠製過程中，整個擠製筒充滿高壓油，由流體產生等方性（isotropic）加壓於胚件上，再將其經由模具擠出成形（如圖一所示），圖中之胚件為一高溫超導粉體/金屬固體複合包芯材。由於此類超高靜水壓擠製設備，在設計與製造的困難度與費用頗高，因此國內並沒有設計生產此類設備之經驗。另一方面，對於高溫超導線材靜水壓擠製的理論解析與加工參數在文獻上也非常缺乏。所以在本階段的研究中，我們除了設計且製造完成壓力達 10000 kg/cm^2 之高壓靜水壓擠製設備，以便進行高溫超導粉體/金屬固體之靜水壓擠製實驗外；在理論

解析方面也將進行初步的有限元素法模擬分析。

三、靜水壓擠製設備與擠製測試

（一）高壓擠製筒

高壓擠製筒的部分在之前的研究中 [1] 已經完成設計。其材料乃選用一般模具工廠常用的 SKD61 模具鋼，製成內外兩層缸體後，經熱處理後採干涉方式壓入完成之高壓擠製筒實體如圖二。

（二）高壓擠桿

高壓擠桿於靜水壓擠製設備有作為擠製筒之密封及增壓之功用。在考慮本擠製設備所設定的 10000 kg/cm^2 高壓環境後，我們在設計高壓擠桿時，採用美國鋼結構造學會（AICS）的規範，以半徑 8 mm、長度 62 mm 之設計值和採用高強度之超硬碳化鎢合金 USA C10 為材料。完成製作後的高壓擠桿如圖三所示。

（三）高壓密封

本擠製設備採用固定式高壓密封設計，選用 P 系列的 O 型環密封 [2] 作為其起始密封，且於 O 型環底部加一金屬背托環，背托環的材料選用高強度、高韌性的鈹銅合金，而背托環的斷面則設計成 V 型枕的斷面。整個高壓密封則裝置在高壓擠製筒上端的壓環座，圖四即為高壓密封與密封壓環座的實體圖。

（四）靜水壓擠製實驗

測試的擠製胚料主要分為實心材和複合包芯材。胚件的製作則以 A6061 之鋁合金棒材，加工成直徑 9 mm、長度 40 mm 且前端半錐角為 15 度之子彈型胚件，再以退火處理除去其加工硬化。複合包芯材則視粉末芯材之半徑在實心材胚件後端鑽孔，退火處理後填入特定密度的鈹銀銅系

之 (Y-Ba-Cu-O) 高溫超導原料粉末，再將後端封蓋成為粉體／固體複合包芯材之擠製胚件。在實驗中，我們選定的擠製比為 9，半模角為 15 度，芯材內徑有 3、4、5 和 6 mm 四種，填粉密度 2.0 g/cm^3 。

四、有限元素法模擬

(一) 粉末之材料特性

因為高溫超導粉末為一新材料且為粉末狀，無論在材料變形特性的描述或模擬方面，都不像金屬材料般單純且容易取得。在決定以 Drucker-Prager 的修正降伏特性後 [3]，我們利用直剪實驗來決定粉末材料的摩擦角和內聚力和以壓縮實驗來決定材料的靜水壓力與相對密度的關係。設計實驗的內容和數學關係式在先前的研究 [4] 中都有詳細的描述。

(二) 靜水壓擠製之邊界條件與網格建立

在本研究中我們將靜水壓流體元素 (hydrostatic fluid element) 佈在擠製筒中的流體表面上來模擬作用於胚件表面的邊界條件，如圖五所示。A 和 B 為流體元素上之兩個節點，其給定的位移邊界條件則代表擠桿的進程量。在確定此模型可用之前，我們先以較低的擠製比 4 作為測試，芯材內徑分別為 4、5 和 6 mm，其餘之擠製參數則與實驗相同。

五、結果與討論

(一) 實心材靜水壓擠製測試

擠製程序剛開始時，高壓擠桿之壓縮力隨擠桿位移增加而增加，當擠桿壓縮力持續增加達到 14000kg 時，隨即降至 13500kg，之後擠桿位移雖持續增加，但壓縮力則幾乎保持不變呈穩定狀態，由此我們判斷擠製胚料此時正被擠出模具，但因實驗設備受高度之限制，又因本實驗擠製比很高，所以我們維持此穩定狀態直至擠桿位移約 2 mm 後，即結束實驗將壓力釋放，並將擠桿及擠製模具退出高壓擠製筒，最後將擠製件從模具退出，其擠製胚件實體如圖六。由成品外觀可看出其皆為無缺陷的光滑表面，不會產生像傳統之成品表面剝裂的現象，此即證明靜水壓擠製

的優越性。

(二) 粉體／固體複合包芯材靜水壓擠製

1. 內徑 3 mm 之複合包芯材：擠製壓縮力在 14000kg 時胚件被擠出，擠製表面很平順光滑無缺陷，且經剖面觀察後，發現粉末芯材擠製後的直徑沿試片之軸心均勻變形，成品圖則如圖七所示。
2. 內徑 4 mm 之複合包芯材：擠製壓縮力達 15382kg 後，即開始上下震盪於 12000 到 13000kg 之間。最後觀察擠製成品剖面，芯材呈現間斷波浪狀。可見粉末於內徑較大時，流動性會隨著填粉量增加而變差，進而造成局部堆積 (見圖八)。
3. 內徑 5 mm 之複合包芯材：擠製壓縮力達 11500kg 後急速降至 6500kg，隨即又上升至 12500kg。最後觀察擠製成品前端約 50 mm 長度已斷裂，後段被擠出一小段，但被覆材已被擠成凹陷且將粉末擠出，使得此次測試實驗失敗 (見圖九)。歸究其原因可能為內徑大於模具出口直徑甚多，造成粉末之壓縮量必須夠大才能順利經過模具。但是粉末密度在被壓縮至一定程度後即無法再被壓縮，所以強度較低的被覆材受擠壓而產生劇烈塑性變形，以致被覆材厚度減少而讓粉末貫穿射出。
4. 內徑 6 mm 之複合包芯材：其擠製結果與內徑 5 mm 的大略相同，擠製成品也是呈現斷裂，粉末被擠出的現象。

(三) 有限元素模擬

經過整合材料參數、邊界條件和網格分割後，我們以 ABAQUS 軟體對粉體／固體複合包芯材靜水壓擠製做模擬分析。擠製後之網格變形圖如圖十所示 (內徑 5 mm)。由網格的變形來觀察，粉末被壓縮的程度非常嚴重，而且被覆材和芯材之擠出速度差距相當明顯，粉末的流動性顯然比被覆材差得多。擠製後粉末之靜水壓力分佈如圖十一所示。粉末之靜水壓力大小與其密度有直接關係，壓力越大密度也越高。由圖中可看出粉末在中段有堆積的情況，其密度最高。在擠製壓縮力方面，由模擬結果經換算後列表如下：

芯材半徑 (mm)	4	5	6
擠製壓縮力 (kg)	12152	11873	11623

由此表可大略得到內徑越大，擠製壓力越低的結果。其原因可能為粉體芯材在未達緻密且導致硬化之前，其強度遠比金屬被覆材來的低，所以內徑越大，芯材體積比越大，整體擠製的壓力也會比較低。

六、計畫結果自評

1. 本研究所設計製作之靜水壓擠製設備經擠製測試實驗，在擠製比高達 9 時能順利擠出，與傳統擠製比較之下，所得之擠製成品品質較佳，擠製能量也較低，因此可以證明靜水壓擠製的優點。
2. 在針對粉體/固體複合包芯材擠製實驗中，內徑 3 mm 之胚料順利擠出，內徑 4 mm 之成品有芯材呈現波浪狀的現象，而在內徑 5 和 6 mm 擠出後產生斷裂和粉末射出的情形。要改善這些擠製成品的缺陷，可從各種的擠製參數，如粉末填粉密度、模具外廓或是選用適當的被覆材材料著手，而這也是一項未來值得研究的課題。
3. 在考慮變形量可能會太大的情況下，有限元素法模擬雖僅在較低的擠製比進行，但其建立的靜水壓擠製模型已確定可用。在未來的研究中，除將對各種擠製參數作模擬分析外，也會配合模擬來進行實驗驗證，以期對高溫超導線材之靜水壓擠製做一完整之研究。

七、參考書目

1. 洪景華，「超高壓擠製筒之設計與製造」，國科會計畫編號 NSC86-2212-E-009-015，民國八十六年。
2. Whalley, E. and Lavergne, A., "Modified unsupported-area hydraulic seal for pressure 50 kilobar," Rev. Sci. Instrum., Vol. 47, No. 1, Jan., 1976.
3. Drucker, D.C., Gibson, R.E., and Henkel, D.J., "Soil Mechanics and Work-Hardening Theories of Plasticity," Trans., ASCE, Vol. 122, pp. 338-346, 1957.
4. Chou I-N. and Hung Ch., "Extrusion of

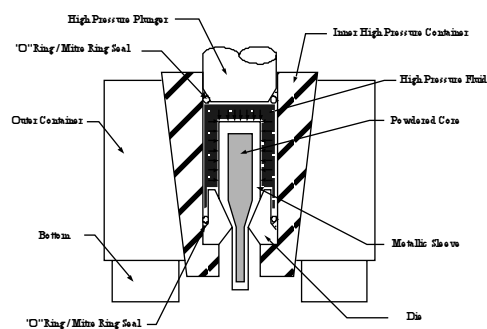
powder/solid composite clad rods, part 1: The deformation characterization of powder," Proceeding of 14th National Conference on Mechanical Engineering, The Chinese Society of Mechanical Engineers, R. O. C., 1997.

ABSTRACT

The purpose of this research is to design and manufacture a hydrostatic extrusion device which has a maximum working pressure of 10000 kg/cm². And we can use this device to research hydrostatic extrusion of superconductive powder/metal composite clad rods. by using the finite element method and extrusion experiments.

In the first year, the high pressure extrusion container, high pressure plunger and high pressure seal were designed and tested. In the finite element analysis, we have obtained the material parameters of powder and finished the mesh, boundary conditions and primary simulation of extrusion.

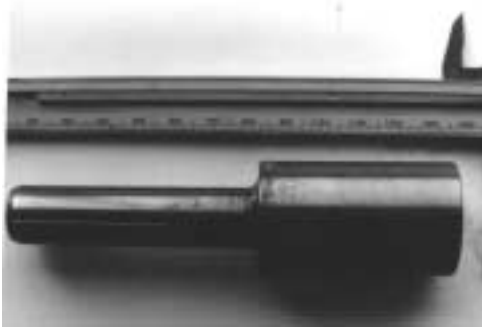
Keywords: hydrostatic extrusion, superconductive powder, the finite element method.



圖一 靜水壓擠製示意圖



圖二 高壓擠製筒

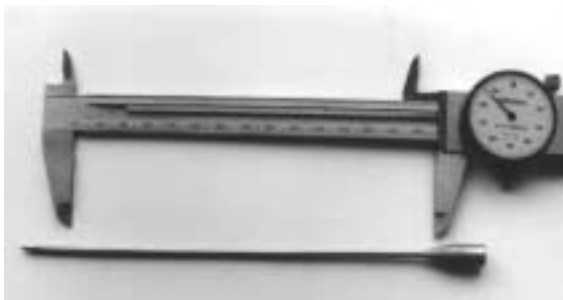
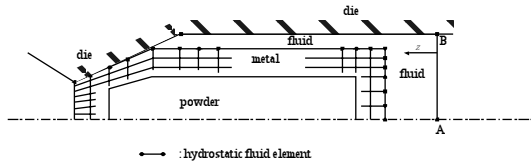


圖三 高壓擠桿



圖四 金屬背托環與密封壓環座之實體圖

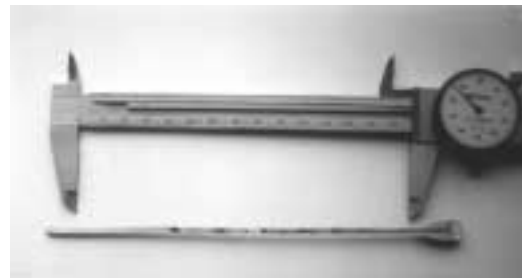
圖五 流體元素的網格建立示意圖



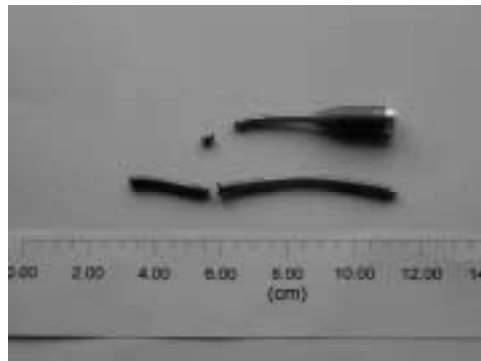
圖六 實心鋁胚料之擠製結果實體圖



圖七 內徑 3mm 之擠製結果實體剖面圖



圖八 內徑 4mm 之擠製結果實體剖面圖



圖九 內徑 5mm 之擠製結果實體圖



圖十 擠製後網格變形圖



圖十一 擠製後粉末靜水壓力分布圖

