

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 複合包芯材擠製加工之破斷條件研究

計畫編號：NSC 90-2212-E-009-034

執行期限：90年08月01日至91年07月31日

主持人：徐瑞坤(國立交通大學機械工程學系)

計畫參與人員：陳彥彰、劉展光(國立交通大學機械工程學系)

### 一、中文摘要

複合包芯材是指由兩種或兩種以上不同材料所組成之複合棒狀或線狀材料，此種複合材料因其優異的機械特性，故廣泛的被工業界應用於超導線或電極中。但此種複合材料由於組成材料機械性質的差異，因此在材料進行擠製加工時，芯材與包覆之被覆材容易產生不均勻之變形，造成擠製後的產品出現諸如芯材斷裂等之非健全之擠製材。

本計畫主要的研究目的是探討複合包芯材擠製時芯材的破斷的原因與條件。研究中使用極限解析(Limit Analysis)中的上界法(Upper-Bound Method)做為解析手段。在模擬材料於擠製模具內流動變形之運動可容許速度場的構築上，除了建構一可使芯材及被覆材均勻變形之三維運動可容許速度場外，再增設一偏差速度場模擬芯材破斷時之徑向流動之頸縮現象，此偏差速度場的存在與否取決於加工條件與材料特性的組合。藉由兩速度場的結合，求出滿足塑性變形消耗能量最小上界值，並從中判斷此運動可容許速度場中偏差速度場的存在與否。最後再利用此一判斷標準，探討在不同的加工條件組合下，芯材的破壞界限，並以一連串的擠製實驗來證明其理論的適應性。

**關鍵詞：**複合材料，上界法，可容許速度場

### Abstract

The composite clad rod is a rod composed of two or more materials. It is applied extensively in industry because of its outstanding mechanical characteristics. However, when subject to extrusion the composite clad rod tend to develop

non-uniform deformation because of these differences in materials' mechanical properties. In certain cases, core fracture appears.

The main object of this project is to investigate the criterion of core fracture for composite clad rod in extrusion. Upper-bound method was adopted for the analysis with a kinematically admissible velocity field to simulate the core and the sleeve's uniform deformation under sound process parameter combinations, while a deviation-velocity field simulates the radial flow of core material. These two velocity fields are combined together with a parameter applied to the deviation velocity component. When the total minimized power of extrusion indicates an existence of deviation velocity component, the initiation of the core fracture is deemed positive to occur. With this criterion for core fracture established, the extrusion work parameter combinations is systematically investigated, and the work limit diagram for the composite clad rod in extrusion can be constructed.

**Keywords:** Composite Clad Rod, Upper Bound Method, Admissible Velocity Field

### 二、前言

擠製加工即利用一段變形可得斷面形狀複雜的長尺寸製品，並且由於擠製完成品的尺寸精度十分精良，所謂之二次加工幾可省略，使得其成品應用範圍極其廣泛。而由於工業技術的進步，對於材料的需求除越來越多樣化外，在材料各項特性的要求上更是漸趨嚴苛。因此傳統的單一材料已無法符合實際使用上的需求，而複合材料的使用正有助於此問題的解決。如今複合材料在使用上已相當普及，因此除了要積極開發不同種類的

複合材料外，改進現有複合材料的生產方法與製造技術亦是相當重要的課題。

目前對於複合材料的加工方法有鍛造 (forging)、壓延 (rolling)、抽拉 (drawing)、壓製 (press)、擠製 (extrusion)、爆炸成形 (exploding) 等，而擠製加工正是製造各種不同斷面形狀之長尺寸產品的重要方法。複合包芯材 (clad materials) 中的棒狀、線狀產品在加工過程中更是不可或缺的製造程序。

### 三、解析結果與討論

本文的主要目的在於分析複合包芯材健全擠製的加工界限。然而造成擠製時芯材的破斷因素有很多，除了芯材和被覆材的降伏強度不同外，另外擠製比、模具半模角、摩擦因數和擠製時芯材的初始半徑等亦會影響到芯材的破斷與否。而由於各個加工條件彼此間都有所關連，若放任這些參數自由變化，其解析出來的結果將非常複雜且難以判斷為何者參數所影響；因此為了使結果比較清楚易於分析，本研究將採取限制某些加工條件，如半模角、模具/芯材初始半徑比和被覆材/芯材降伏強度比，藉由不同的參數變化，再配合上偏差速度場和部分加工參數來探討芯材破壞界限。

#### 3.1 一般速度場的軸向和徑向速度

根據圖一(a)所示，如果其擠製過程為健全擠製時，則芯材和被覆材為均勻的變形，所以兩者的軸向速度應該要一致，也就是在擠製方向沒有速度差。而且根據體積一定的原理，越接近出口處，因為斷面積更小，因此出口速度會加快。而在徑向速度上，雖然芯材和被覆材為一合併的複合材，不過在擠製過程時，是個別的變形流動，僅於其界面以一摩擦常數相互作用。若為均勻變形之健全擠製，則如圖一 (b) 所示，芯材和被覆材在擠製過程時，材料沒有互相滑動，兩者於 Y 方向的速度完全一致。

#### 3.2 非健全擠製時芯材之速度分佈

圖二是模擬在非健全的擠製條件下，當芯材有破壞情形產生時，芯材的徑向和軸向速度分佈。由圖中可以發現，原本的破壞判

斷是用芯材和被覆材的出口速度差 ( $> 5\%$ ) 代表破壞的存在，因此由圖二可知被覆材和芯材於徑向和軸向的速度會有差異。而在本次研究中則改用偏差速度場的存在與否來當作判斷依據，如果偏差速度場存在，則表示芯材會往中間方向頸縮，表示破壞存在。而由於偏差速度場代表著是一段頸縮區的速度，因此當偏差速度場存在時，根據體積一定的原理，芯材的軸向速度和徑向速度必會加快。

#### 3.3 加工參數對芯材破斷的影響

##### 3.3.1 芯材初始面積和材料強度對擠製結果的影響

若芯材初始半徑較小，則被覆材相對於整體面積比例增加，則其斷面縮減率相對變小，故兩者速度差較小。但是當芯材初始半徑接近模具出口端半徑時，因芯材降伏強度大於被覆材，代表著不易變形，且被覆材佔整體面積比例減少，兩者之出口速度差就會變大，將不利於擠製加工。

圖三為用偏差速度場和出口速度差做標準的擠製結果。當芯材半徑較小的時候，加入偏差速度場後的額外變形功率和原本的摩擦功率比較，並不會比較大，因此若芯材半徑比較小者，其加入偏差速度場去計算之後，發現加入偏差速度場的能量會比原本要來的小，代表著即使速度差在  $5\%$  以下 (原本認定為健全擠製的界限)，仍會產生頸縮現象。因此以偏差速度場去做判斷時，在半徑比小的條件下，其需要採用較嚴格的速度差標準，而隨著半徑比的增大，其速度差判斷標準也可以隨著放大。

圖四即為在不同的芯材半徑比時，配合偏差速度場所找出的正確的出口速度差，在此速度差之下，便可確保其芯材皆為健全擠製的成品。

##### 3.3.2 半模角和材料強度對擠製結果的影響

複合包芯材擠製時，由於被覆材和芯材間降伏強度的差異所以變形的能力亦不同，所以會造成兩材料間有速度差的存在。當材料的降伏強度較小時，受外力作用時之變形亦較激烈，其流動速度較相鄰之降伏強度大之材料的流動速度快，因此在兩材料的界面間，流動速度較快的承受壓縮應力，流動速

度較慢的則承受拉伸應力，所以降伏強度愈接近者，較容易得到健全擠製結果。

因為在不同的加工條件下，各項消耗功率所佔整體總功率的比例不同。當半模角小時，變形區將變長，材料變形也較緩和。相反的，當半模角增大時，變形區也就縮短，材料必須在短時間內完成變形，因而造成材料在模具內的流動產生極大的變化，此時所需的總功率也相對增加。因此當材料降伏強度比越小，半模角越大則芯材相對的越不易變形，材料的破壞或變形的可能性就會上升。

圖五為不同的破壞標準所得到的擠製結果。由圖五可知，在加入偏差速度場的判斷之後，其出口速度差的標準必須隨著半模角的增加而縮小，若仍是以 5% 為判斷標準，在半模角較大時，芯材則會產生頸縮的破壞現象。

圖六即為在不同的半模角時，配合偏差速度場所找出的相對應的出口速度差，透過此半模角和出口速度差的關係圖，便可找出其芯材皆為健全擠製的界限。

### 3.3.3 摩擦因數對擠製結果的影響

在被覆材之降伏強度小於芯材的加工條件下，被覆材較易變形因此流速較快，而較大的摩擦參數可有效地降低被覆材的流動速度，如此被覆材與芯材之間速度差就會縮小，亦即模具面摩擦因子較大時可以擴大健全擠製加工界限。

當摩擦因數變大時，被覆材的流速降低，則出口速度差也會比較小，所以當加入偏差速度場之後，其變形功率會比原本的滑動摩擦功率來的大，因此當摩擦因數變大時，其判斷界限也會跟著變大。而從圖七得知，由偏差速度場來考慮，原本的判斷標準（出口速度差）也從 3.5% 升高到 5%。

## 四、結論與展望

本論文主要的目的是要用一假設的偏差速度場來模擬非健全擠製時的破斷狀況，因此在用上界法做解析時，在運動可容許速度場的構築上，將分為兩部分來討論；當材料做正常且均勻變形時，可構築一均勻且唯一的運動可容許速度場，稱為一般（正常）運動可容許速度場；另外假設當芯材產生破斷

時會有一偏差速度場的存在，用此偏差速度場來模擬破斷時的速度場，再利用一個可變的設計變數將此兩速度場合成，即為這次解析所用之運動可容許速度場。而由上界理論得知，材料變形是根據能量大小來決定，因此比較以出口速度差和偏差速度場的變形能量，便可知道芯材是否會產生頸縮變形。而經過此偏差速度場的研究之後，對於以出口速度差作為芯材破壞與否的判斷標準，便可以有另一種研究的方向。

透過本論文解析過不同狀態下的速度場，在和本實驗室之前所做的研究相比較，可以得到當複合包芯材擠製時，加入偏差速度場的影響：

1. 在原本芯材會發生破斷時，被覆材和芯材間會存在著若干的速度差，而速度差的大小依不同加工條件的組合而變，在以往判斷的標準是當此速度差大於 5% 以上，就判斷為破壞。由此次解析之結果可以發現，當芯材和被覆材的半徑比小時，用出口速度差做破壞判定的話就要更趨嚴格；當半徑比較大的時候，其出口速度差的判斷也就可以跟著放寬。
2. 由第三章解析結果可知，當半模角越大時，其所用來判斷破壞的出口速度差也要越嚴格，若仍是以原本的 5% 當作判斷依據，那麼即使在安全的擠製條件下，芯材仍會產生頸縮變形。

未來展望：

1. 在本次研究中所假設的偏差速度場，只有模擬芯材最後 1/4 處，雖然和之前的論文結果非常類似，但是如果更進一步模擬真實情況中的各種破斷情形，對於偏差速度的假設要再從不同的實驗結果方面進行修正，使其解析過程可以應用的更廣。
- 複合包芯材擠製時的種類相當多，本研究只針對軸對稱雙層複合包芯材擠製時芯材的破斷做探討，故解析模式對於不同的擠製情形（如非軸對稱材和多材料系複合多芯材）還有待驗證。

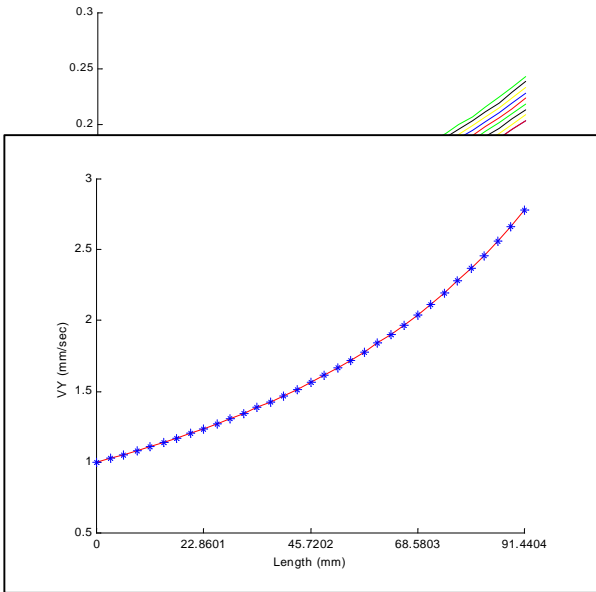
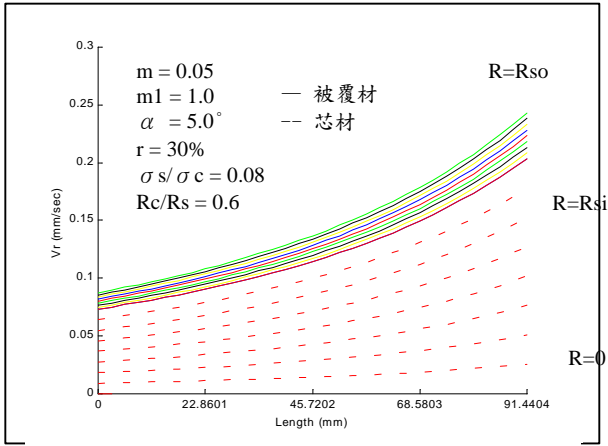
### 誌謝

本計畫由國科會計畫(計畫編號：NSC 90-2212-E-009-034)經費補助，特此誌謝。

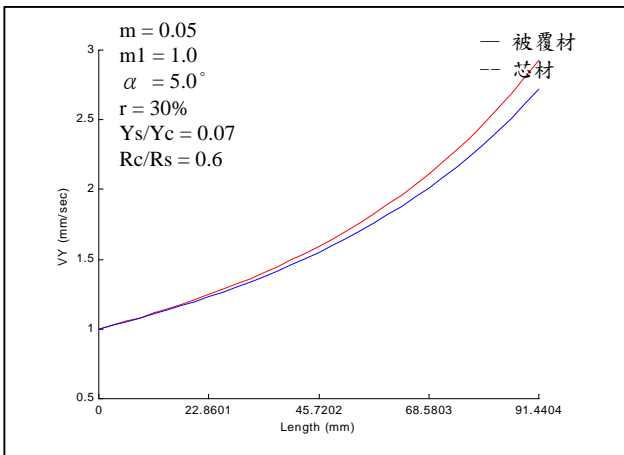
## 五、參考文獻

1. Osakada, K., Lim, M. and Mellor, P. B., "Hydrostatic extrusion of composite rods with hard cores," *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 15, 1973, pp. 291-307.
2. J. M. Story, Avitzur B. and W. C. Hahn, Jr., "The Effect of Receiver Pressure on the Observed Flow Pattern in the Hydrostatic Extrusion of Bimetal Rods," *Trans. ASME, Journal of Engineering for Industry*, Vol. 98, No. 3, Aug. 1976, pp. 909-913.
3. Avitzur, B., Wu, R., Talbert, S. and Chou, Y. T., "Criterion for the Prevention of Core Fracture During Extrusion of Bimetal Rods," *Trans. ASME, Journal of Engineering for Industry*, Vol. 104, No. 3, Aug. 1982, pp. 293-304.
4. Avitzur, B., Narayan, C. and Chou, Y. T., "Upper-Bound Solutions for Flow Through Conical Converging Dies," *Int. J. Machine Tool Design Research*, Vol. 22, No.3, 1982, pp. 197-214.
5. Avitzur, B., Wu R., Talbert S. and Chou, Y. T., "An Analytical Approach to the Problem of Core Fracture During Extrusion of Bimetal Rods," *Trans. ASME, Journal of Engineering for Industry*, Vol. 107, Aug. 1985, pp. 247-253.
6. Avitzur, B., "Analysis of Central Bursting Defects in Extrusion and Wire Drawing," *Trans. ASME, Journal of Engineering for Industry*, Vol. 90, No. 1, Feb. 1968, pp. 79-91.
7. Alcaraz, J. L. and Gil-Sevillano, J., "Safety maps in bimetallic extrusion," *Journal of Materials Processing Technology*, 60, 1996, pp. 133-140.
8. Manabu KIUCHI and Sumihiko ITOH, "Limit Analysis of Drawing and Extrusion of Composite Material 1<sup>st</sup> Report", 東京大學 生產技術研究所第2部, 31卷12號, 12, 1979, pp.763-766.
9. Zoerner, W., Austen, A. and Avitzur, B., "Hydrostatic Extrusion of Hard Core Clad Rod," *Trans. ASME, J. Basic Eng.*, Vol. 94, No. 1, 1972, pp. 78-80.
10. 山口喜弘, 野口昌孝, 松下富村, 西原正夫, "複合材の靜水壓押出," *塑性と加工*, 15, pp. 723-729. 1974.
11. 森部毅, 高井良昌文, 横手達夫, 荒木正俊, 小野寺龍太, "軸對稱金屬複合材料於押出的加工中欠陷發生及芯材半徑比的影響," *塑性と加工*, 33, pp. 537-542. 1992.
12. Avitzur, B., "Metal Forming: The Application of Limit Analysis," Marcel Dekker, New York, 1980.
13. Avitzur, B., Wu, R., Talbert, S. and Chou, Y. T., "Criterion for the Prevention of Sleeve Fracture During Extrusion of Bimetal Rods," *Trans. ASME, Journal of Engineering for Industry*, Vol. 108, 1986, pp. 205-212.
14. J. L. Jeng, C. W. Wu, R. Q. Hsu, "Extrusion of Three-Layer Composite Clad Rods", *IPMM*, 1997, p103.
15. 翁釋龍, "複合包芯材之靜水壓擠製分析", 交通大學, 碩士論文, 1999.

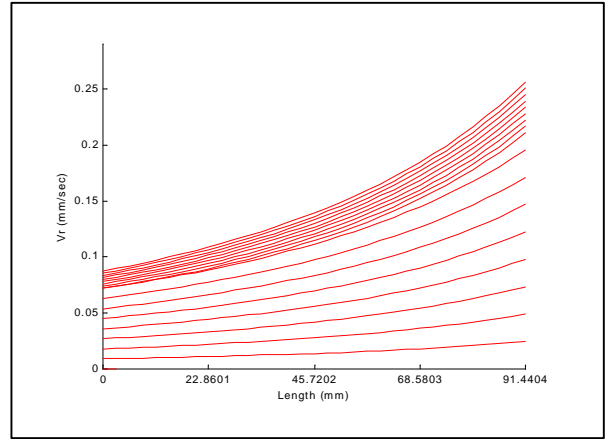
圖表



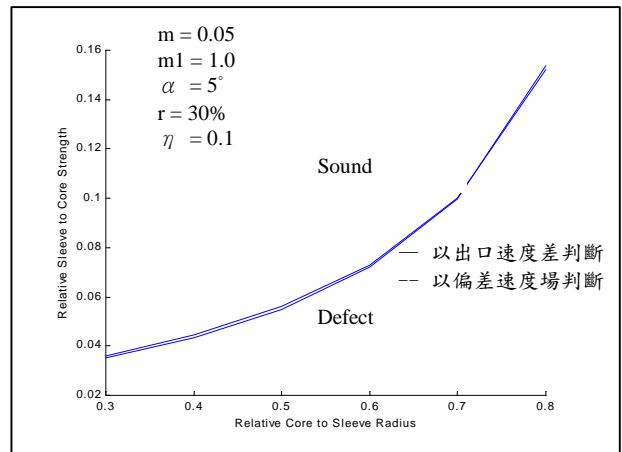
圖一 (b) 健全擠製時材料於軸向方向的速度



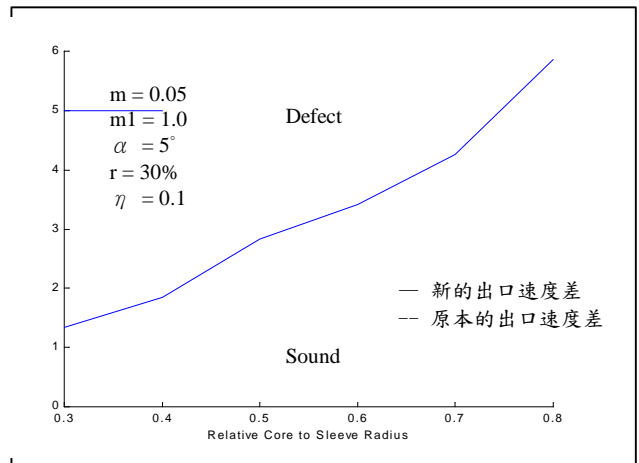
圖二(a) 非健全擠製條件下材料於軸向方向的速度



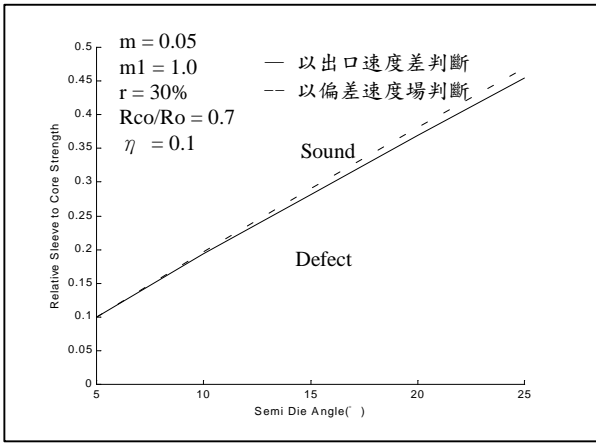
圖二(b) 非健全擠製條件下材料於徑向方向的速度



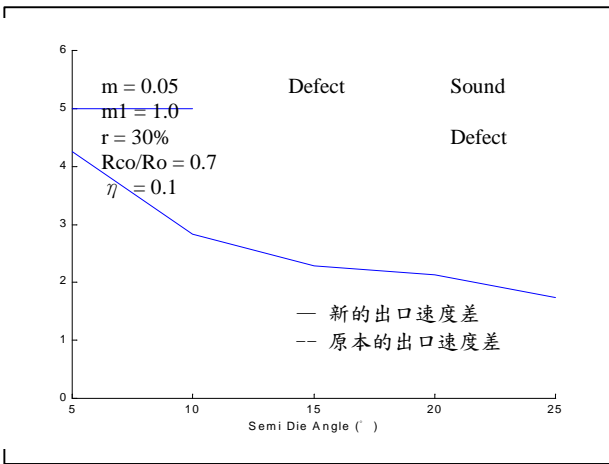
圖三 芯材初始半徑和材料強度對擠製結果的影響



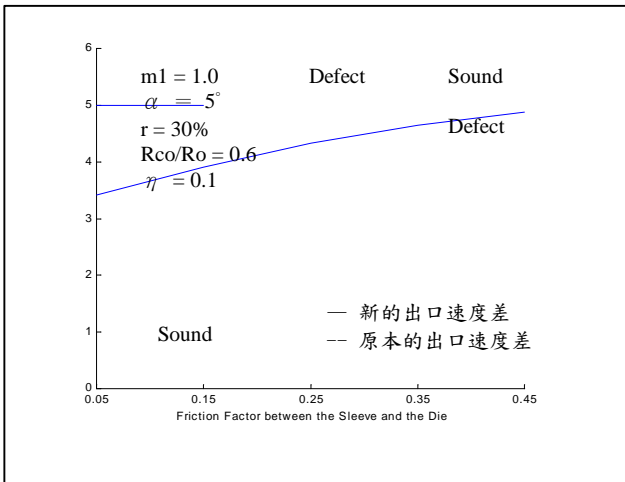
圖四 破壞判定條件(出口速度差)對被覆材/芯材比關係圖



圖五 模具半模角和降伏強度比對  
擠製結果的影響



圖六 破壞判定條件(出口速度差)  
對半模角關係圖



圖七 破壞判定條件(出口速度差)對  
模具/被覆材摩擦因子關係圖