

機械與機電工程學系 105 學年度機電實作專題成果展報名表

一、專題題目：

(中文) 管件液壓成型與沖孔

(英文) Tube hydroforming and hydropiercing

二、團隊成員：(必須指定 1 人為主聯絡人)

學號	姓名	連絡電話	Email	主聯絡人
B023022026	尹聖凱	0985335124	rgnkud@gmail.com	是 ☒ 否 ☐
B023022047	劉翰軒	0981139076	B023022047@student.nsysu.edu.tw	是 ☐ 否 ☐
B023022027	張簡明政	0975118881	B023022027@student.nsysu.edu.tw	是 ☐ 否 ☐
				是 ☐ 否 ☐
				是 ☐ 否 ☐

三、指導老師：黃永茂

四、本專題執行期間：104 年 9 月 至 105 年 9 月

五、構想書繳交：是 ☒ 否 ☐

(構想書格式請參見活動辦法)

105 學年度「機電實作專題成果展」構想書

作品中文名稱：管件液壓成型與沖孔

作品英文名稱：Tube hydroforming and hydropiercing

中山大學/機電系/尹聖凱/B023022026

中山大學/機電系/張簡明政/B023022027

中山大學/機電系/劉翰軒/B023022047

指導教授：黃永茂

主辦單位：國立中山大學機械與機電工程學系

一、摘要：

液壓成型相對於其他加工成型較為新穎，且可以結合成型和沖孔一起進行將可以減少加工道次及時間，本專題藉由有限元素軟體來進行金屬加工成形模擬，並利用有限元素軟體相對於實際實驗快速和方便的優勢，來進行各種路徑的模擬方式和不同沖頭所造成的影響，希望可以求得最佳化的負載路徑及最好的沖孔效果，大幅增加工業上所生產的品質與節省時間及成本。

二、動機與目的：

管件液壓成形近幾年來受到工業界及學術界極大矚目而蓬勃發展，相較於一般傳統的生產製程，它具有許多的優點，例如(1)減少加工道次(2)高強度剛性(3)輕量化(4)較佳精度(5)成本降低(6)產品一體成型(7)較少廢料(8)搭配液壓沖孔大幅減少裝配誤差。

由於管件液壓成型和傳統製程有極大的差異，不管是在管件的材料性質上或者是模具的設計、參數設計控制、應力計算、設備機台的設置都和傳統製程有所不同，本研究主要是利用先前所研究出的材料性質、模具設計、應力計算、設備機台等數值來進行參數模擬分析的研究，來找出有效且快速地成型方式。

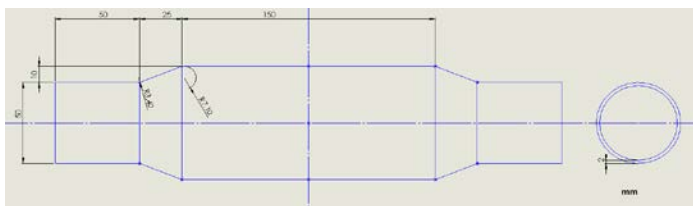
三、研究內容

1. 成型

(1)文獻參考

在管件液壓成型研究方面 Taylan Altan 等人[1]，採用了階梯式分段進給的方式，但過程必須要不斷地進行模擬及修改參數，這樣大量地進行模擬一樣需要花費大量的時間，管件成型厚度方面也可能會過薄，甚至會產生破裂的情形。但此研究對剛接觸管件液壓成型研究的人員方面提供了有效的幫助。這份研究也提供了我們模擬的模具及材料的基本參數。在實驗設計方面利用蘇朝墩[2]所介紹的田口方法來進行。

圖一：模擬的模具



圖二：液壓管件



(2)理論推演

要進行管件液壓成型必須要先進行內壓力的計算及進給量的大小，要進行壓力的計算必須要先知道我們使用的材料性質，此模擬是利用材料 AISI 304 並利用 Dynaform 材料原本就有的材料參數進行計算。壓力方面利用根據材料力學薄殼壓力理論 ($D/t > 10$)

$P_y = \sigma_y * (2t)/(D - t)$ 可以求出管內的降伏壓力約為 20MPa。

表一：AISI 304 材料參數

	Density (g/cc)	Yield Stress(MPa)	Poisson's Ratio	R	K	n	ϵ_0
AISI 304	8	239	0.28	1.02	1455	0.5	0.0166

在負載路徑設定方面，假設管件液壓成型的過程中管壁厚度都維持不變，並利用簡單的積分方法來算出成型前後的體積變化，再利用 ls-prepost 軟體，設管件中央的直徑為所需

量測的目標，找出時間跟管徑變化的關係圖，利用這關係可以求出管件膨脹高度所相對應的進給量，由於成型前後管件中央部分的半徑變化大小為 10mm，依照計算左右的堵頭街各需要進給約 36mm。

(3)模擬方法

此研究為了要達到良好的成型效果，希望成型的目標為厚度可以維持在原先厚度 80% 以上，所以進給量會改為原先的 80% 左右，我們利用左右各 28mm 來進行。先經歷過 Taylan Altan 等人的研究及自行不斷的更改數據及模擬，並搭配田口方法的進行，得出表二、表三的實驗設計方法。

模擬的過程中將會從一開始就進行加壓，並在 0.04 秒時達到最後壓力的大小，並維持最後壓力大小直到 0.06 秒，過程中當壓力達到進給開始壓力大小時，堵頭將會依照進給速度開始進給。

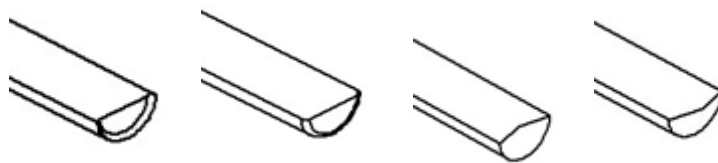
表二：控制因子設計(P=20MPa)

控制因子			
名稱	最後壓力大小	進給速度	進給開始時壓力大小
水準 1	P	1000	0.25P
水準 2	1.5P	1200	0.5P
水準 3	2P	1400	0.75P
單位	Mpa	mm/s	

表三：田口直交表

分析組別	最後壓力大小	進給速度	進給開始時壓力大小
1	P	1000	0.25P
2	P	1200	0.5P
3	P	1400	0.75P
4	1.5P	1000	0.5P
5	1.5P	1200	0.75P
6	1.5P	1400	0.25P
7	2P	1000	0.75P
8	2P	1200	0.25P
9	2P	1400	0.5P

2. 沖孔



圖三：沖頭示意圖(內圓角、外圓角、內圓錐、外圓錐)

此模擬使用 Deform3D 軟體，以最常使用之圓管作為工件，內徑為 36mm，厚度 1.6mm，材料為現今常使用之鋁合金 AA6061，臨界破壞值參考[3]設定為 0.8841，透過不同沖頭及內壓力在成型後進給，探討哪些變數會影響沖孔之品質，衡量管件沖孔品質的指標包括斷面品質、尺寸精度及形狀誤差等。

四、結果與討論

1. 成型

利用田口方法得出最佳的控制因子，這組因子有望得到最好的厚度效果，但是由厚度的標準差可以發現較好的厚度效果未必是好事，表面會伴隨著細小的皺褶發生。兩者之間

的取捨就看要生產的產品所需的特性來進行。利用表五可以發現進給開始時的壓力大小會較容易影響成形厚度的效果，再利用表五數據而得到了最佳因子，最佳因子的厚度減少率卻不是最佳的情形，可能是由於取樣的設計不夠完整，或是田口方法使用的錯誤，這部分必須更深入研究田口方法的使用。

表四：田口方法-厚度減少率

分析組別	厚度減少率	SNR	標準差
1	12.40%	18.131	0.047474
2	11.64%	18.683	0.018321
3	16.81%	15.491	0.015671
4	16.12%	15.854	0.012958
5	19.41%	14.238	0.004896
6	10.23%	19.801	0.008779
7	20.87%	13.609	0.002155
8	14.75%	16.625	0.009383
9	17.04%	15.369	0.009873
平均		16.422	

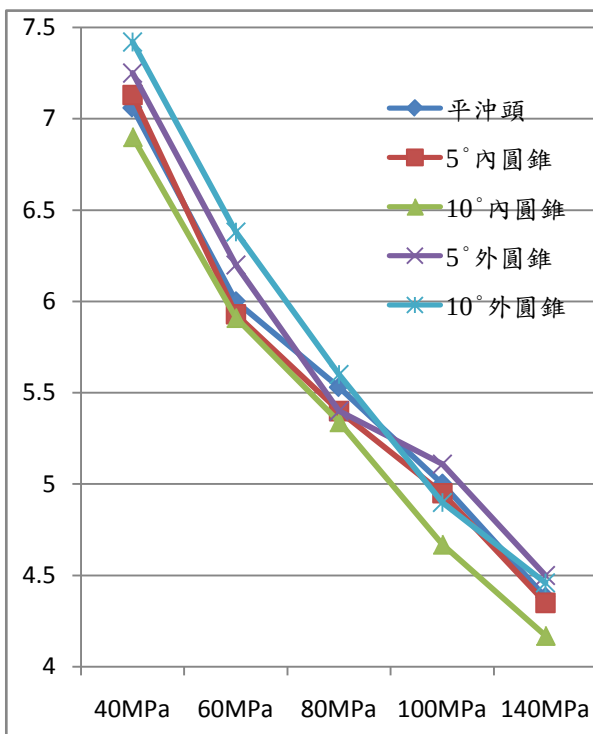
表五：水準與效果

	最後壓力大小	進給速度	進給開始時壓力大小
水準 1	17.435	15.865	18.186
水準 2	16.631	16.515	16.635
水準 3	15.201	16.887	14.446
效果	1.013	0.465	1.763

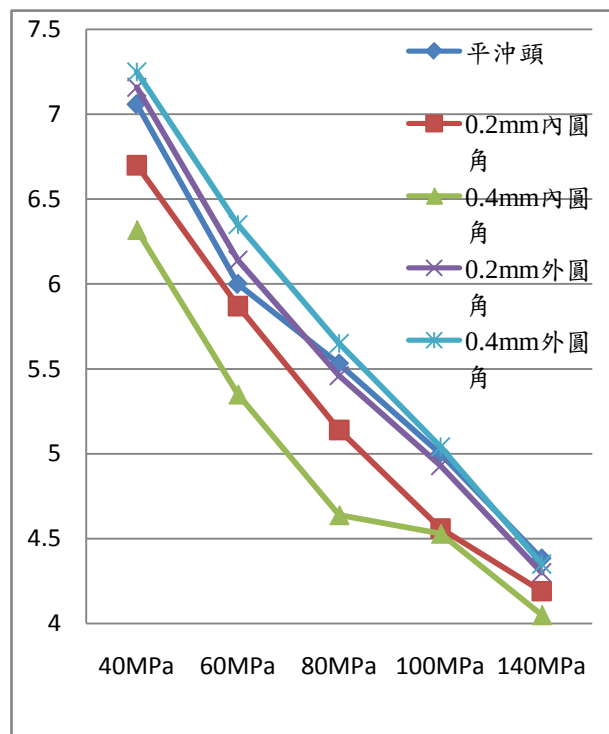
表六：最佳化因子

最後壓力大小	進給速度	進給開始時壓力大小	厚度減少率	標準差
20	1400	0.25P	13.66%	0.049835

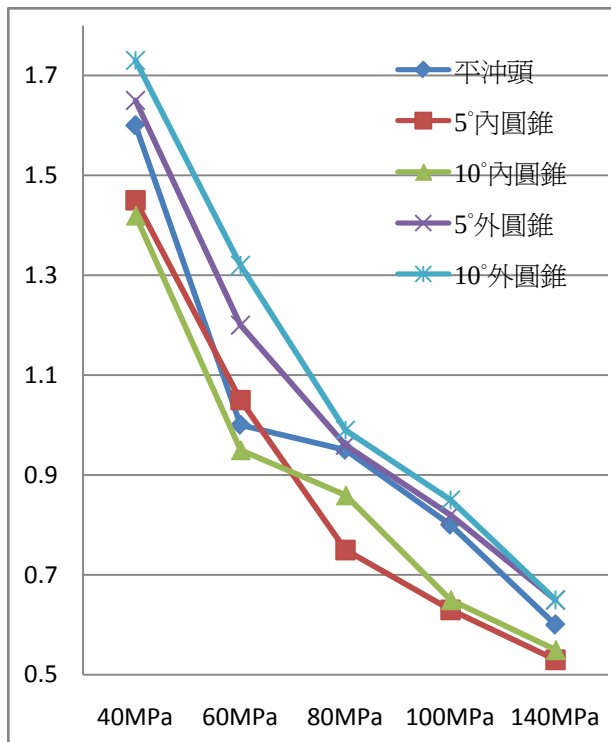
2. 沖孔



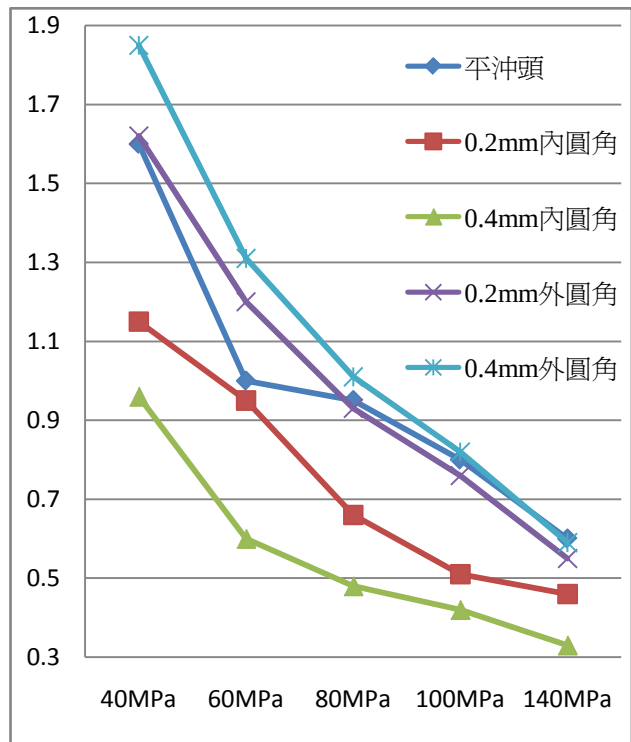
圖四：圓錐沖頭徑向塌陷半徑(mm)



圖五：圓角沖頭徑向塌陷半徑(mm)



圖六：圓錐沖頭塌陷深度(mm)



圖七：圓角沖頭塌陷深度(mm)

由測量沖孔後之塌陷半徑及邊緣塌陷最深處，來判斷此沖孔品質如何。很明顯的可以得知當內壓力上升，塌陷半徑及深度必然隨之減少。觀察圖比較圓錐與平沖頭之差別，得知當使用內圓錐沖頭時孔之品質會隨角度而上升，反之外圓錐沖頭則品質下降。圖比較圓角沖頭之情形，內圓角隨圓角大小增大品質上升，外圓角則相反但變化較小。

表七：塌陷半徑比較

平沖頭	60MPa	80MPa	100MPa	5°內圓角	80MPa	100MPa	120MPa
徑向	6	5.53	5		5.93	5.4	4.95
管長向	6.73	5.53	4.78		5.95	5.48	4.83

由上表可知在內壓力 80MPa 時徑向與管長方向之塌陷寬度相差無幾，但在小於 80MPa 時管長向塌陷大於徑向，而在大於 80MPa 時則相反徑向之塌陷較大。

五、參考文獻

- [1] Yingyot Aue-U-Lan, Gracious Ngaile, Taylan Altan“ Optimizing tube hydroforming using process simulation and experimental verification”Journal of Materials Processing Technology Volume 146, Issue 1, 15 February 2004, Pages 137–143
- [2] 蘇朝墩 (清華大學工業工程與工程管理系 教授)，田口式品質工程簡介
- [3] QI Yan-bing ,LIN Jun-feng ,SU Hai-bo ,CHEN Xin-ping ,LIU Gang(2011).

Influence of punch shape on rollover of hydropiercing

- [4] 林星佑, 擠製製程時中央破裂缺陷形成之研究, 2003