

厚板齒輪之沖鍛模具開發

The Development of a Thick Gear with Plate-Forging

林恆勝^{1*}、陳品均²、王雅萱¹

¹ 國立高雄科技大學 模具工程系

² 金屬工業研究發展中心 精密成形系統組

*E-mail: hslin@nkust.edu.tw

摘要

汽車電動馬達與機械手臂等厚板齒輪零件以往多以切削加工為主，精度高但是加工成本也高。本研究利用沖鍛複合的方式來製造此類厚板齒輪，除了節省加工成本外，也可以得到較佳的機械性質。研究產品為直徑 13.15 mm，厚度 4.8 mm 之帶階級與中心孔的正齒輪，材料使用 SPCE 之冷軋低碳鋼厚板，利用擠壓下料的工法，先進行板厚 90% 深度的預擠伸，再進行餘料沖切，以得到較佳的擦亮面及齒輪形狀精度，模具共設計 14 個道次，以完成齒輪的成形與整形，並使用 200 噸之伺服沖床進行沖鍛試驗。實驗結果顯示擠壓下料的工法可以得到近板厚 95% 的擦亮面，但在雙數齒型成形時，由於材料往單數齒方向流動，呈現在下壓行程前 50% 時齒型變形尚不明顯，但在 50% 後則齒型變形明顯，並且有撕裂的痕跡。本研究結果可應用在汽車電動馬達與機械手臂等齒輪零件的加工改善。

關鍵詞：厚板沖切、齒輪、沖鍛複合

Abstract

In the past, thick-plate gear parts such as automobile electric motors and mechanical arms were mainly processed by cutting, with high precision but high processing costs. In this study, the method of stamping and forging is used to manufacture such thick plate gears, which not only saves the processing cost, but also obtains better mechanical properties. The research product is a spur gear with a diameter of 13.15 mm and a thickness of 4.8 mm with a step and a center hole. The material is a cold-rolled mild steel plate of SPCE, using the method of extrusion and blanking, pre-extrusion of 90% of the thickness of the plate is carried out first, and then the remaining material is punched, in order to obtain better polished surface and gear shape accuracy, a total of 14 passes are designed for the mold to complete the forming and shaping of the gears, and use a 200-ton servo punch for punching test. The experimental results show that the method of extruding and blanking can obtain a polished surface of nearly 95% of the thickness of the plate, however, when forming even-numbered tooth profiles, as the material flows in the direction of the odd teeth, in the first 50% of the pressing stroke, the tooth profile deformation is still obvious, but after 50%, the tooth shape deformation is obvious, and has tear marks. The results of this research can be applied to the processing improvement of gear parts such as automotive electric motors and robotic arms.

Keywords: thick stamping, gear, plate forging

1. 前言

齒輪是廣泛運用在工業界中的零件，常用來傳動、改變方向、改變速度等作用，以往的齒輪為了經度需求常以切銷加工為主，使用切銷加工製造的齒輪雖然精度較高，但製造需要耗費較多的時間、人力及材料、刀具損耗；使用鍛造加工的齒輪雖然可以漸少加工時間，但製作出的齒輪表面精度不高。

本研究是利用沖鍛複合的方式進行厚板齒輪的製程研究，利用鍛造的特性可以增加產品的機械性質，及利用精密沖切的特性得到高品質的剪切面。

應用Suzuki等人[1]提出的擠壓下料工法(extrusion blanking)，在第一道次進行90%t之負間隙預擠伸，第二道次再進行餘料沖切，如圖1所示，這種工法可以大幅改善沖切表面的擦亮面範圍，提升產品的沖切品質。

Maeno等人[2]提出使用脈動沖切的方法，其沖頭採脈動曲線，在過程中潤滑油可以更順利地引入沖切介面，發揮更加的潤滑作用，進而提升表面沖切品質。

Maeno等人[3]提出使用脈動沖切法對不鏽鋼板進行鍛造，使用最好的潤滑品質與脈動曲線，可以有效地漸少材料流動所產生的空腔及凸台邊緣翻轉的狀況，並可以有效地減少材料與模具的咬合，降低模具負荷，有效的減少開發成本。

Hirota等人[4]提出使用A1050-24與A1050-O兩種鋁合金進行凸台擠伸，使用不同的沖頭母模直徑比，配合適當的壓料力，在沖頭母模直徑比為1.8時，可以達到最理想的凸台形狀與高度。

Deng等人[5]提出，利用閉式擠壓沖切的方式，先將材料以閉模鍛造的方式進行鍛粗，隨後沖頭進行沖切，背壓塊再將材料頂出，此種加工方式可以在沖切時可以得到類似精密沖切時的強壓效果，進而得到良好的剪切面。

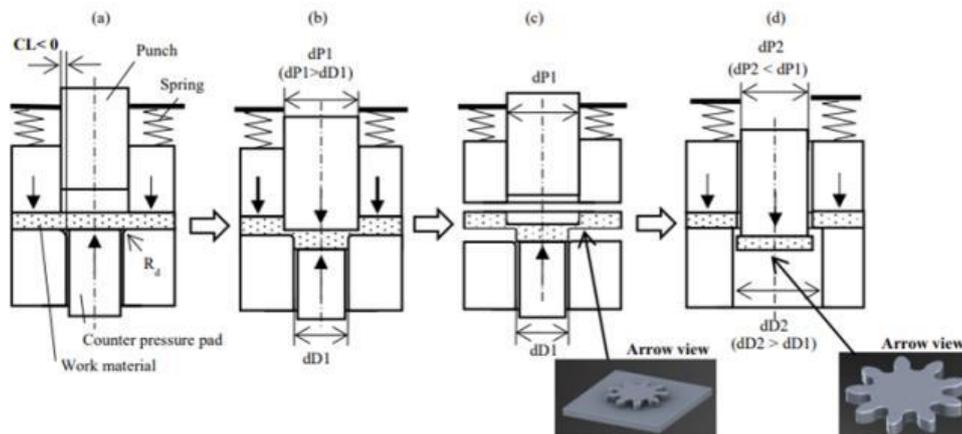


圖1 擠壓下料示意圖[1]

2. 研究方法

2.1 材料與方法

2.1.1 產品規格與材料選用

本產品如圖2所示，為 $\phi 13.15$ mm，厚度4.8 mm之帶階級與中心孔之正齒輪，其詳細規格如表1所示，材料選用SPCE之冷軋低碳鋼，如圖2所示，胚料長為600 mm，寬為50 mm，厚度為4.8 mm。SPCE常用於引伸之板材，相較於S10C有更佳之成形性，用作沖切可以得到更好的沖切面品質。

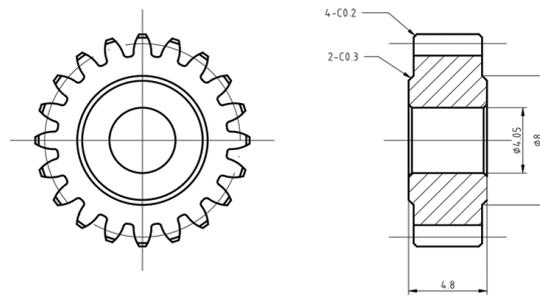


圖 2 產品圖(單位:mm)

表 1 齒輪規格

齒數	20
模數	0.6
壓力角	20°
基圓直徑 (mm)	$\phi 11.27$
齒頂圓直徑 (mm)	$\phi 13.15$
齒根圓直徑 (mm)	$\phi 10.5$
節圓直徑 (mm)	$\phi 12$

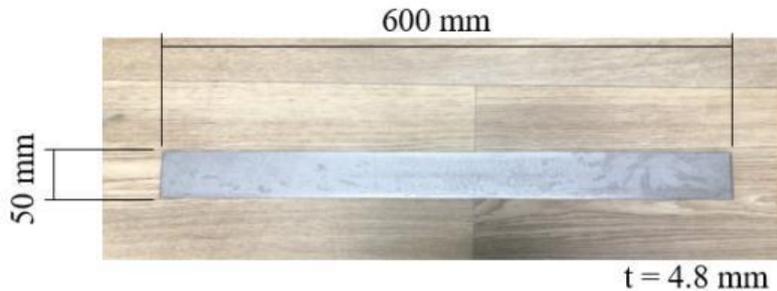


圖 3 胚料尺寸

2.2 製程設計

由於產品尺寸小且厚度較厚，為避免沖頭應力集中及母模崩塌，故設計14道次進行齒型成形，圖4為模具之2D組立圖，圖5為料條佈列圖，以下將針對各道次設計及作用進行說明：

- (1) 第一道次：進行定位孔沖切(圖6a)，方便後續成形時定位作用。
- (2) 第二道次：進行左右逃料孔沖切(圖6b)，目的為避免產品在成形時，材料流動影響到前後站成形。
- (3) 第三道次：進行上下逃料孔沖切(圖6c)，目的為避免產品在成形時，材料流動影響到料條邊緣以及定位孔變形。
- (4) 第四道次：進行鍛粗成形(圖6d)，將產品之倒角形狀以鍛粗的方式成形。
- (5) 第五道次：進行中心孔預擠伸(圖6e)，沖頭母模使用負間隙進行預擠伸，擠伸深度為90%t。
- (6) 第六道次：進行中心孔沖切(圖6f)，是將前一道次擠伸過後的餘料進行沖切，沖切間隙為5%t。
- (7) 第七道次：進行單數齒型預擠伸(圖6g)，沖頭母模使用負間隙進行預擠伸，擠伸深度為90%t。
- (8) 第八道次：進行單數齒型沖切(圖6h)，是將前一道次擠伸過後的餘料進行沖切，沖切間隙為5%t。
- (9) 第九道次：第九道次為空站，預留於修整作用。
- (10) 第十道次：進行雙數齒型預擠伸(圖6i)，沖頭母模使用負間隙進行預擠伸，擠伸深度為90%t。
- (11) 第十一道次：進行雙數齒型沖切(圖6j)，是將前一道次擠伸過後的餘料進行沖切，沖切間隙為5%t。
- (12) 第十二道次：第十二道次為空站，預留於修整作用。
- (13) 第十三道次：進行橋帶齒型預擠伸(圖6k)，沖頭母模使用負間隙進行預擠伸，擠伸深度為90%t。
- (14) 第十四道次：進行橋帶齒型沖切(圖6l)，是將前一道次擠伸過後的餘料進行沖切，沖切間隙為5%t，沖切完成即為成品。

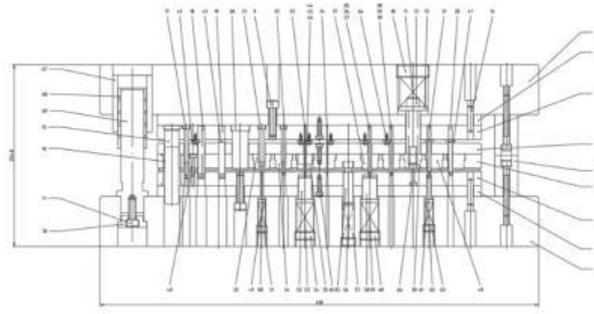


圖 4 2D 模具組立圖

W=50 P=30 T=4.8

第一站	第二站	第三站	第四站	第五站	第六站	第七站	第八站	第九站	第十站	第十一站	第十二站	第十三站	第十四站
定位孔沖切	逃料孔沖切	逃料孔沖切	鍛粗	中心孔預擠伸	中心孔沖切	單數齒型預擠伸	單數齒型沖切	空站	雙數齒型預擠伸	雙數齒型沖切	空站	橋帶預擠伸	切斷橋帶

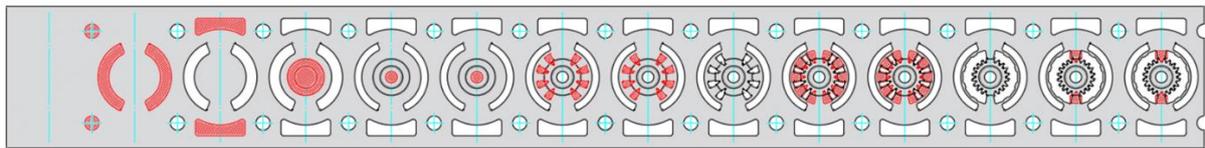


圖 5 料條佈列圖

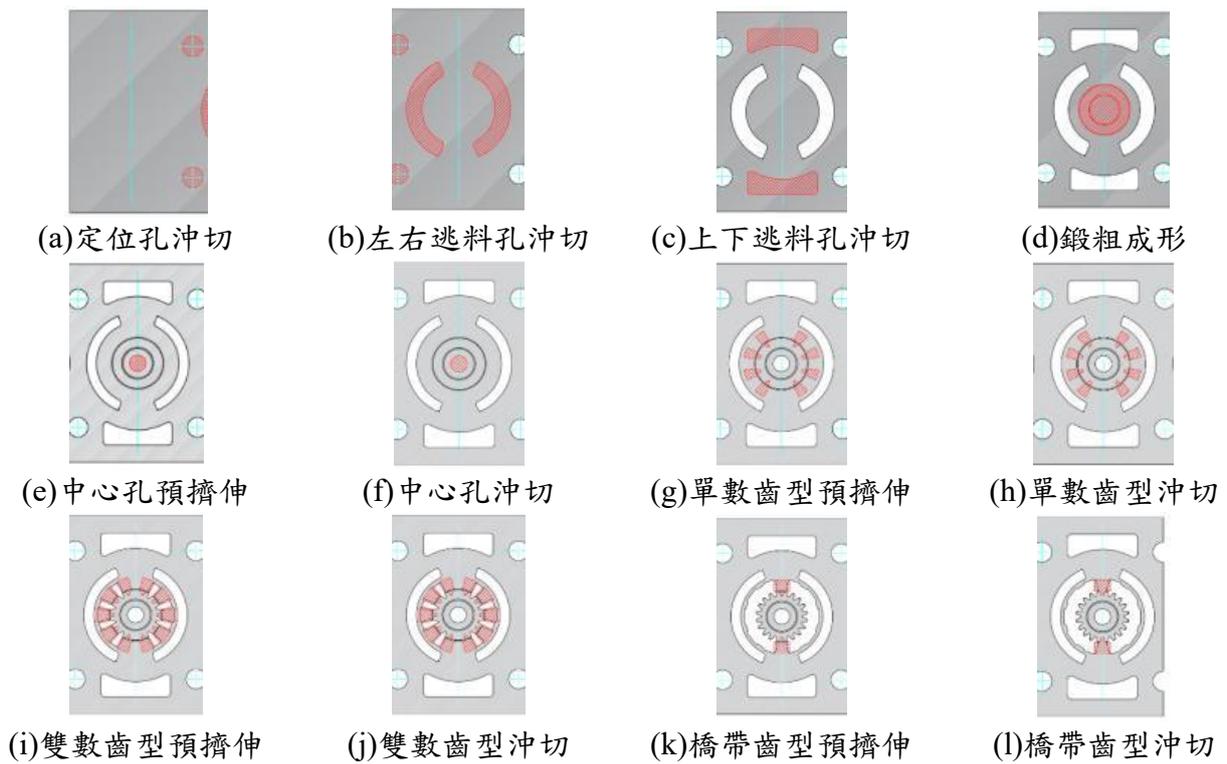


圖 6 各道次圖示

3. 研究方法

3.1 實驗設備

實驗設備選用協易機械之200噸伺服沖床，型號為SD1-200，如圖7所示。



圖 7 直驅式伺服沖床

3.2 實驗模具與料條佈列

圖8為實驗模具組立情況，圖9為成品之料條佈列。



圖 8 實驗模具組立



圖 9 成品之料條佈列

4. 結果與討論

4.1 背壓之影響

在模具設計時，考量到使用負間隙進行負間隙預擠伸，材料流入母模孔需要相當大的負荷，造成材料卡在母模內的情況，如圖10所示，在沖壓行程完成後上模抬起，頂料銷頂出力不足，預擠伸過後的材料卡在母模內，導致料條無法順利抬起，造成材料嚴重的翹曲，並使送料困難；使用背壓塊的情況下，材料則可以順利脫離母模，不會造成材料翹曲的情況。



圖 10 無背壓之頂料情形

4.2 齒型成形

在單數齒型成形時胚料封閉，因此複雜的形狀仍可以得到良好的擠伸面與剪切面，如圖 11 所示，但在成形雙數齒型時，由於胚料支撐面不足，導致沖頭行程剛開始時齒頂出現裂痕，以及齒型部分被往下拉，造成較大的模輓，如圖 12(a)、圖 12(b)所示。

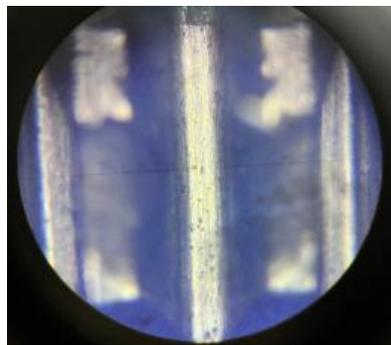


圖 11 齒底部分剪切面

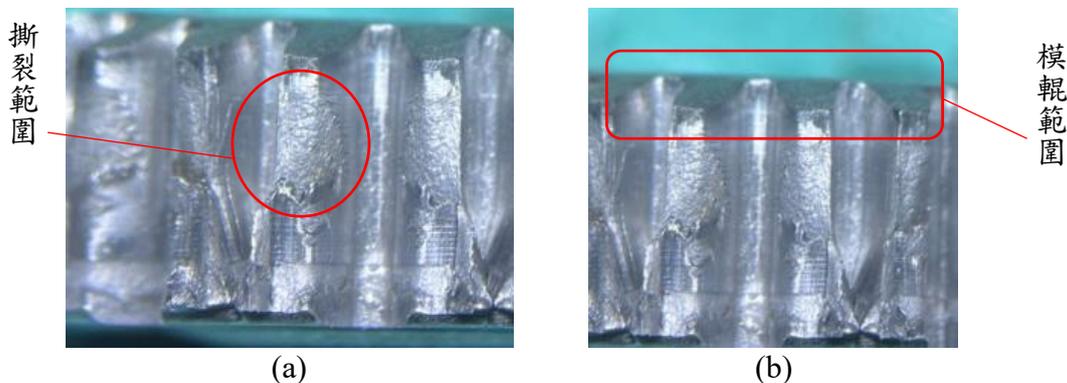


圖 12 (a)齒型撕裂 (b)齒型模輓

在雙數齒型行程的前 50%可以得到良好的齒型形狀，如圖 13 所示，是由於材料加工時加工表面的加工硬化，但在行程後 50%材料開始溢出，發生齒型合併的現象，如圖 14 所示，且材料往已經成形好的單數齒形流動，在下一道次雙數齒型沖切時留下前一道次溢出的範圍，導致沖切不完全，成品無法完整落料，如圖 15 所示。

在有限元素模擬軟體中模擬使用齒型抱持塊的成品如圖 16 所示，齒型抱持塊的功用為限制材料流動，除了改善齒型合併的缺陷之外，也可以進而改善沖切不完全的問題。



圖 13 成品上視圖



圖 14 齒型合併

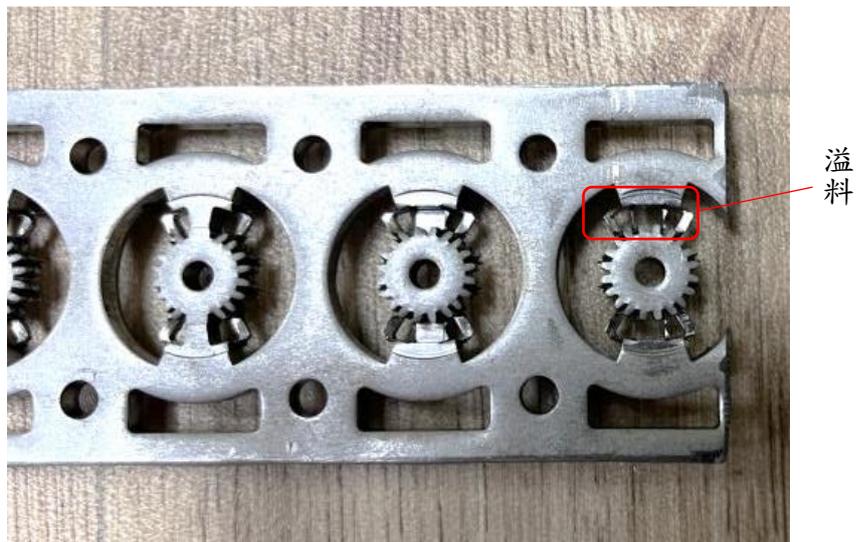


圖 15 溢料導致沖切不完全

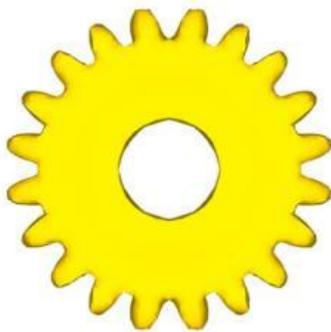


圖 16 有限元素模擬成品(使用齒型抱持塊)

5. 結論

本研究是以SPCE之冷軋低碳鋼做為胚料，透過擠壓沖切的工法進行厚板小齒輪的製程可行性研究與模具開發實驗，並得出以下幾點結論：

- (1) 使用擠壓沖切的工法在胚料封閉的情況下進行簡單形狀與複雜形狀的沖切都可以獲得良好的剪切面；但在胚料未封閉的情況下，擠伸負荷過大，斷面會出現大範圍撕裂痕。
- (2) 在齒型成形的部分，行程的前50%可以完整地成形，但行程後50%出現溢料，導致齒型合併以及無法完整落料的問題，在未來可以增加齒型抱持塊，以改善齒型的成形。
- (3) 在預擠伸道次中使用背壓會使材料不易流入模孔，但不使用背壓會使胚料無法順利脫模，並造成料條翹曲，無法順利送料等問題。
- (4) 由於為厚板沖切，在沖孔上設計受限，導致材料利用率不佳。

6. 誌謝

本論文為金屬工業研究發展中心高值金屬成型機械智慧機電整合技術開發計畫(3/4)，計畫案號A11N1000，由於金屬工業研究發展中心的支持，使得本計畫得以進行，特此致上感謝之意。

7. 參考文獻

1. Suzuki, Tomomi Shiratori, Masao Murakawa, Ming Yang, Precision stamping process of metal micro gears, Metal Forming, pp. 16-19, 2018
2. Changjun Hu, Yunyang Shi and Fangfang Liu, Research on Precision Blanking Process Design of Micro Gear Based on Piezoelectric Actuator, Micromachines, pp. 2-10, 2021
3. Tomoyoshi Maeno, Minoru Sugawara, Takumi Saito, Ayato Terada, Ken-Ichiro Mori, Improvement of burnished area in punching of stainless steel thick plate by means of pulsating motion, Metal Forming, pp. 203-209, 2020
4. T. Maeno, K. Mori, A. Hori, Application of load pulsation using servo press to plate forging of stainless steel parts, Journal of Materials Processing Technology, pp. 1379-1387, 2014
5. Kenji Hirota, Kota Michitsuji, Deformation behaviour in boss forming by sheet extrusion, ICTP, pp. 19-24, 2014
6. Kenji Hirota, Kota Michitsuji, Deformation behavior in boss forming with small punch/die diameter ratio, ICTP, pp. 294-301, 2014
7. Ming Deng, Yi-long Ma, Lin Lv, Development of closed extruding fine blanking technology, ICTP, pp. 1157-1162, 2014