



## 板料延展性對車用晶片導線架橫向毛刺之影響 Effect of sheet material ductility on lateral burrs of automotive chip lead frame

林恒勝<sup>1\*</sup>、黃俊瑋<sup>2</sup>、陳瑞峰<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> 國立高雄科技大學模具工程系  
\*E-mail: hslin@nkust.edu.tw

### 摘要

車用晶片導線架的厚度經常較一般微電子晶片導線架大，容易在打線接合區的尖角端發生橫向毛刺，此種橫向毛刺會大於一般沖切所形成的垂直毛刺，並超出封裝廠對於毛刺長度所訂定的尺寸公差。本研究使用厚度為 0.5 mm 的銅鐵合金 C1921、磷青銅 C5191、紅銅 C1100 等三種常見導線架板料，探討板料延展性對橫向毛刺生成之影響。使用金屬成形有限元素分析軟體 DEFORM 3D 進行模擬分析，以輔助沖缺口過程的定性觀察，並開立實驗模具進行驗證。分析結果顯示，厚板在進行沖缺口的過程，廢料區的材料會朝向自由端流動，連帶使鄰近工件發生橫向鼓脹，當此鼓脹量超出沖切間隙時，便會被母模面刮除，而使殘留的鼓脹在沖切結束時形成橫向毛刺，因此當使用較小的沖切間隙時，橫向毛刺的長度與寬度皆會增多；C1921 與 C5191 等二種板料的伸長率與硬化指數較小，所生成的橫向毛刺屬於局部擠出，而且在平行軋軋方向(RD)生成的橫向毛刺量，會大於垂直軋軋方向(TD)生成的橫向毛刺；C1100 板料的伸長率與硬化指數較大，所生成的橫向毛刺量也較多。使用階梯式沖頭進行沖缺口測試結果顯示，此設計可有效拘束廢料的鼓脹變形，進而消除工件的橫向破斷與橫向毛刺，顯示此項模具技術的研發結果，可以提升車用晶片導線架產業的沖壓品質。

**關鍵詞：**車用晶片導線架、橫向毛刺、切邊、沖缺口、沖壓

### Abstract

The thickness of automotive chip lead frames is often larger than that of micro-electronic lead frames. Lateral burrs are likely to occur at the sharp corners of the wire bonding area. The length of this lateral burr will be larger than the vertical burrs formed by general punching, exceeding the burr length tolerances set by the packaging industry. This study used three common lead frame sheets, including copper-iron alloy C1921, phosphor bronze C5191, and red copper C1100, with a thickness of 0.5 mm, to explore the effect of plate ductility on the cause of lateral burrs. Metal forming finite element analysis software DEFORM 3D was used to simulate the notching process and an experimental die was developed to verify the simulation result. The analysis results show that during the notching process of the thick plate, the material in the cutting scrap will flow towards the free surface, which will cause the punched part to bulge laterally. When the bulge exceeds the gap between the punch and the die, it will be scratched off by the die, leaving the remaining bulge to form lateral burrs at the end of the notching process. Therefore, when a small punching gap is chosen, the length and width of the lateral burrs will increase. The elongation rate and hardening exponent of the two sheets C1921 and C5191 is smaller, and the corresponding lateral burrs generated are localized. The lateral burrs generated in the RD (rolling direction) will be larger than those generated in the TD (transverse direction). For the C1100 sheet material, its elongation rate and hardening exponent is

larger and the amount of lateral burrs is more substantial than those of C1921 and C5191. The notching test results using a stepped punch show that this design can effectively restrain the bulging of the notching scrap, thereby eliminating lateral fractures and lateral burrs.

Keywords: automotive chip lead frames, lateral burr, trimming, notching, stamping

## 1. 前言

車用晶片導線架的厚度經常較一般微電子晶片導線架大，以提供足夠的散熱效率，再加上引腳空隙的寬度小，因此使得導線架的沖壓加工，處於類似厚板切邊(trimming)或沖缺口(notching)[1]的條件，容易在打線接合區的尖角端發生橫向毛刺如圖1所示，圖2為其對應的可能沖壓道次分解，於第二道次沖缺口時發生橫向毛刺，此橫向毛刺長度會比一般沖切所形成的垂直毛刺來的更大，超出封裝廠對於毛刺長度所訂定的尺寸公差，並在封裝過程中造成封裝失效。



圖1 車用晶片導線架的尖角端發生橫向毛刺

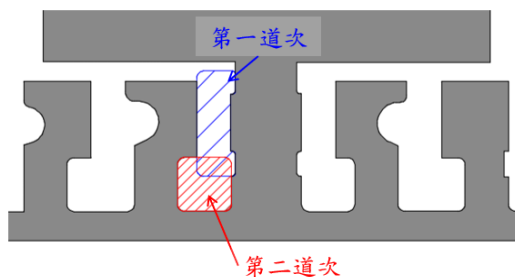


圖2 導線架尖角端發生橫向毛刺的可能沖壓道次分解

沖切(shearing)是沖壓的重要工法，而工件在沖切後所形成的斷面組成，則如圖3所示，包括模輥(roll over)、剪斷面(burnish)、破斷面(fracture)、毛刺(burr)等四部份[1]，其中的毛刺現象，是因板料沖切破斷後所形成，大部分的研究也都是專注在一般沖切(指沖孔或下料等工法)所形成垂直毛刺的探討，文獻上並無橫向毛刺成因的記載。Gréban等人[2]，研究導線架連續沖壓的品質，是受銅合金板料的機械性質與微組織的影響，銅合金板料的延展性越低，則剪斷面的占比越少，而破斷面的占比增加，毛刺則主要是受微組織的影響，當銅合金基地的析出物較多時，則毛刺量也會增多，而與工件的硬化程度無關，模輥則主要是受沖切間隙的影響，此間隙越大，則模輥量也越大。在發明專利[3]中，改善了傳統功率導線架厚度過薄，以致於無法及時帶走晶片熱能的缺點，而且將導線架的晶片承載部厚度增加到0.5 mm以上，以提供足夠的吸熱效能及散熱效率，並在承載部表面加工成凸起造型，以維持功率晶片的水平度，以有效控制粘著層厚度的均勻，利於熱能傳導均一性，此發明專利顯示現今功率導線架

厚度有加厚的趨勢，而且在晶片承載部會有壓印的鍛造工序要求，使得功率導線架的沖壓加工，已進階轉換為板材鍛造(plate forging)製程[4-5]，不能再純以傳統的沖模觀念來設計板材鍛造件的模具。

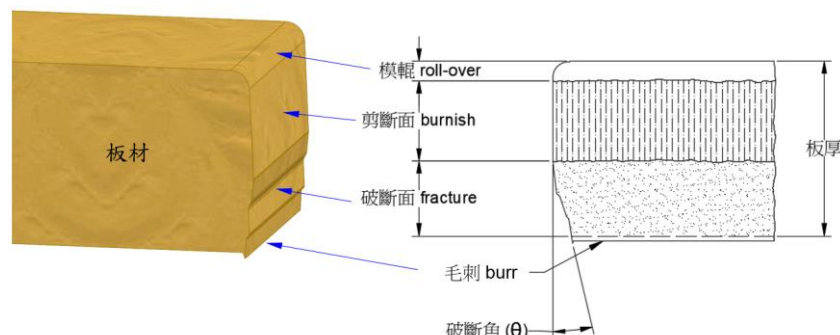


圖3 一般沖切的斷面組成[1]

近期才有文獻[6, 7]針對沖壓導線架的橫向毛刺之成因與改善對策進行探討，這是肇因於近年來車用晶片的蓬勃發展，經常使用厚板來沖壓製造導線架，以提供足夠的散熱來抵抗較嚴苛的晶片工作環境，因而衍生出橫向毛刺的製造問題，但此現象並不會發生在使用薄板來沖壓製造一般微電子晶片導線架的場合。本文延續文獻[6, 7]的研究，進一步針對三種常見導線架銅合金厚板，比較板料延展性對橫向毛刺生成之影響，使用金屬成形有限元素軟體進行模擬分析，並開立實驗模具進行驗證。

## 2. 研究方法

### 2.1 板料

本研究使用銅鐵合金C1921、磷青銅C5191、紅銅C1100等三種常見導線架板料，厚度 $t$ 為0.5 mm，探討板料延展性對橫向毛刺生成之影響，表1為此三種板料之機械性質，其中的C1921和C5191二種板料具有明顯的方向性，其在平行輥軋方向(RD)和垂直輥軋方向(TD)上的伸長率不相同，而對應的降伏強度、抗拉強度與加工硬化指數 $n$ 值，則分別是平行輥軋方向與垂直輥軋方向測得的平均值。

表 1 銅合金板料機械性質

| 參數           | C1921        | C5191         | C1100 |
|--------------|--------------|---------------|-------|
| 降伏強度(MPa)    | 140          | 300           | 60    |
| 抗拉強度(MPa)    | 300          | 620           | 330   |
| 伸長率(%)       | 10(RD)、5(TD) | 15(RD)、10(TD) | 40    |
| 加工硬化指數 $n$ 值 | 0.242        | 0.264         | 0.355 |

### 2.2 模擬分析

本研究使用金屬成形有限元素分析軟體DEFORM 3D進行模擬分析，以輔助沖缺口過程的定性觀察，圖4為模具與胚料配置的模型，其中的切邊量0.375 mm，相當於板厚的75%，其選用是根據文獻[6]的研究成果，其中當切邊量在板厚50~100%時，橫向毛刺的生成最明顯；表2為模擬分析的參數設定，其中破壞準則選用Normalized Cockcroft and Latham Criterion，作

為模擬時網格破斷的判斷依據，由於本研究僅使用模擬分析來進行橫向毛刺發生的定性觀察，因此臨界破裂值設定為1，且並未針對三種板料進行實驗確認此值。

表 2 模擬分析的參數設定

| 參數                           | 數值                                        |
|------------------------------|-------------------------------------------|
| 沖切之單側間隙 $c$ (% $t$ )         | 2/4/8                                     |
| 壓料力(N)                       | 50                                        |
| 沖頭、母模刀口圓角 $R_p$ 、 $R_d$ (mm) | 0.01                                      |
| 定剪摩擦因子                       | 0.12                                      |
| 最小網格大小(mm)                   | 0.003~0.005                               |
| 破壞準則                         | Normalized Cockcroft and Latham Criterion |
| 臨界破裂值                        | 1                                         |

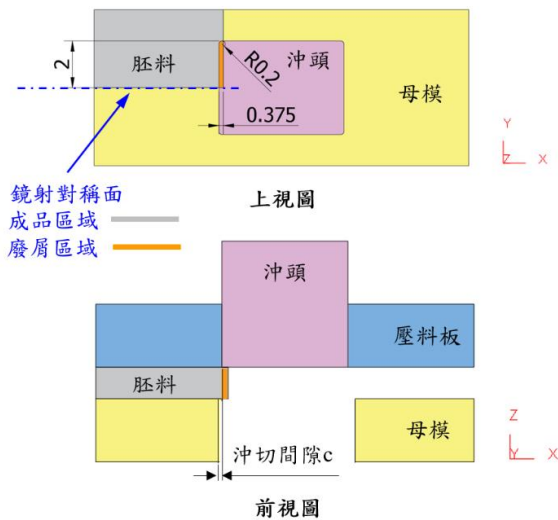


圖4 沖缺口模具與胚料配置的模型

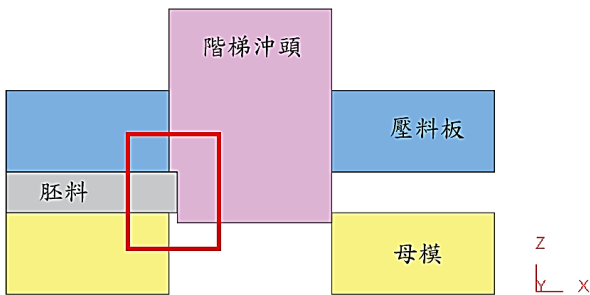


圖5 階梯式沖頭之模具與胚料配置

### 2.3 改善對策

針對沖切廢屑的橫向(x方向)鼓脹而衍生橫向毛刺的現象，本研究使用階梯式沖頭的設計如圖5所示，以進行沖缺口橫向毛刺的改善測試，此種階梯式沖頭在接觸胚料的瞬間，必須將胚料的右側端部抱持，以拘束廢屑的橫向鼓脹，此抱持間隙設定為0.02 mm，實務上也必須要注意，確保沖頭的右下側提前進入母模內側，以防止沖頭因為沖切的側推力，發生側偏現象而影響沖切精度。

### 2.4 沖切模具試驗

根據圖4配置的尺寸，開立實驗模具進行驗證，使用50 kN級之精密伺服高速沖床，選用沖切模式進行實驗，沖切速度為10 mm/s。針對銅鐵合金C1921、磷青銅C5191、紅銅C1100等三種板料，分別在平行軋軋和垂直軋軋等二方向，進行沖缺口試驗。沖切間隙為板厚的2%、4%、8%等三種，切邊量為0.375 mm，相當於板厚的75%。並以圖5階梯式沖頭的設計，進行橫向毛刺的改善測試。實驗後之試件分別以光學顯微鏡進行下視圖的拍攝，用以觀察橫向毛刺的大小，並以掃描式顯微鏡進行等角視圖的拍攝，用以觀察橫向毛刺形貌的變化。

### 3. 結果與討論

#### 3.1 橫向毛刺的發生過程

橫向毛刺的發生過程可從圖6的破壞值分布的模擬來說明，以一般沖頭與階梯沖頭進行沖缺口的比較分析，以C1921板料為例，將沖切間隙固定為板厚的4%。當一般沖頭壓入板厚30%時，廢料發生鼓脹，工件因而在初期就發生橫向破斷面，但是採用階梯沖頭則可有效拘束廢屑的鼓脹，因此僅發生垂直剪斷面，而無橫向破斷面發生。當一般沖頭壓入板厚60%時，廢料持續發生鼓脹，工件也因而鼓脹突出，進而發生橫向毛刺，而採用階梯沖頭則因為未發生廢屑鼓脹，因此不發生橫向毛刺，僅發生垂直破斷面與垂直毛刺。若是改採薄板進行沖缺口加工，或是使用較大的切邊量，則上述廢料發生鼓脹的現象會提早結束或是較不明顯，因此橫向毛刺的現象是不易被觀察到。

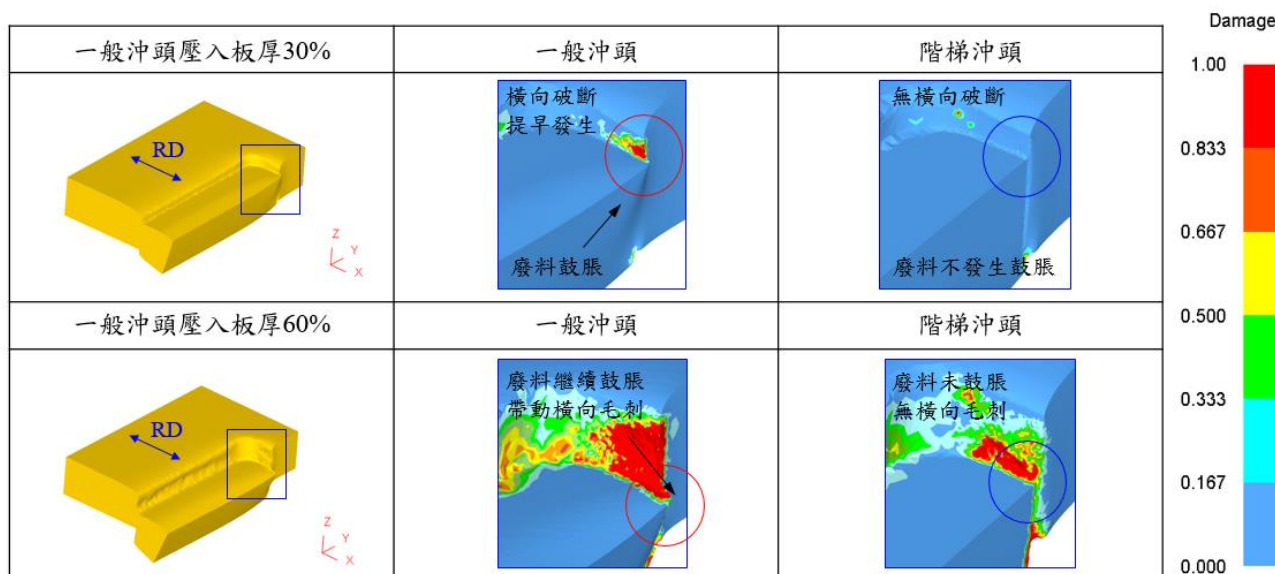


圖6 沖缺口的破壞值分布模擬之比較分析

#### 3.2 沖切間隙的影響

圖7為C1921銅合金板料的光學顯微鏡之下視圖比較，並且與模擬分析進行對照，沖切間隙(c)範圍為板厚(t)的2%~8%。圖7顯示隨著板料的間隙增加，橫向毛刺的長度與寬度隨之減少，對照模擬分析可發現，這是因為較大的沖切間隙，對於廢料鼓脹的刮除現象減緩，因此橫向毛刺的長度與寬度也隨之減少。圖7的模擬是選用沖頭壓入板厚60%時的截圖，若是採用沖切完全的截圖，則會因網格重建以及3D模擬的解析度較低的影響，反而不易觀察到橫向毛刺最終的樣貌。

圖8為C1921、C5191、C1100等三種銅合金板料的毛刺長度，與沖切間隙的實驗關係圖，可以觀察到此三種板料皆隨著沖切間隙的增加，而橫向毛刺的長度與寬度會隨之減少，而且在相同沖切間隙的條件下，C1100板料的毛刺長度最大，C5191板料與C1921板料次之(由於C1921板料的硬化指數與C5191板料接近，且為不同類型的銅合金，因而二者所生成的橫向毛刺大小的順序較無規律)；而且在方向性明顯的C1921與C5191等二種銅合金板料，則呈現RD方向的橫向毛刺較大於TD方向，且C1100板料則因為方向性不明顯，其橫向毛刺在RD與TD方向的差異不明顯。上述板料伸長率特性與方向性對橫向毛刺的影響，將於下節3.3繼續探討。

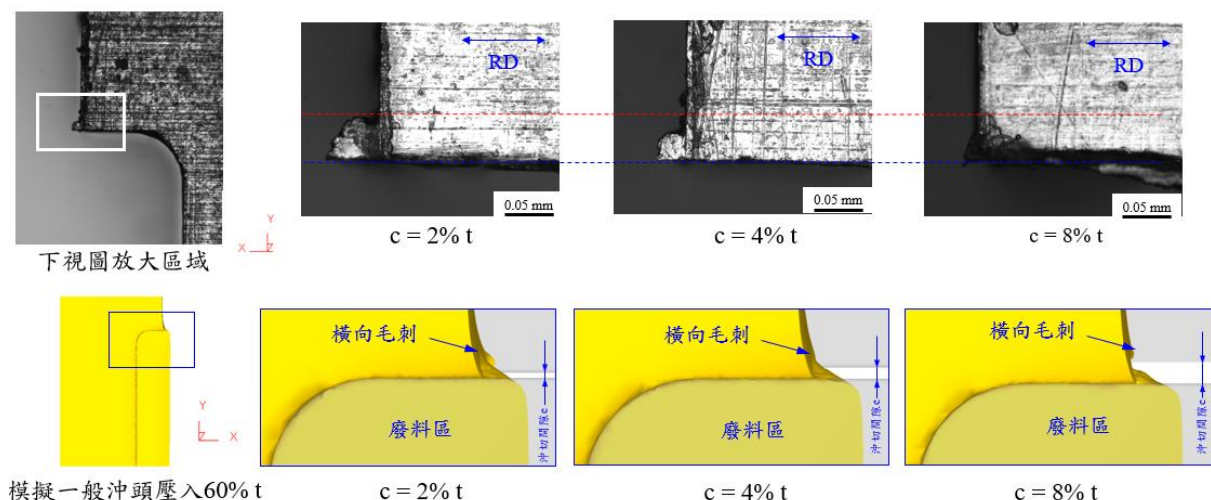


圖7 C1921銅合金板料的橫向毛刺與沖切間隙之關係，倍率200x

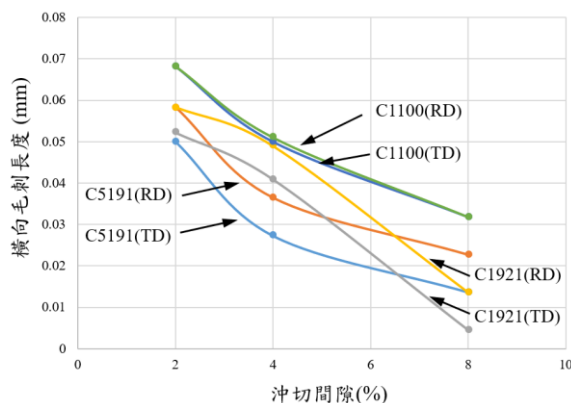


圖8 橫向毛刺長度與沖切間隙的關係

### 3.3 延展性與方向性的影響

圖9為C1921、C5191、C1100等三種銅合金板料的光學顯微鏡之下視圖比較，沖切間隙固定為板厚的4%，此系列照片顯示隨著板料伸長率也就是延展性的增加，橫向毛刺的長度與鼓脹現象也隨之增加，也就是C1100板料最明顯、C5191板料次之、C1921板料最小且侷限在局部；而且在方向性明顯的C1921與C5191等二種銅合金板料，則呈現RD方向的橫向毛刺較TD方向來的明顯，且TD方向的橫向毛刺較局部，而C1100板料則因為方向性不明顯，橫向毛刺在RD與TD方向的差異不明顯。圖9的部分照片呈現有細微的毛刺，如C5191(TD)和C1100(TD)，極易發生碰觸脫落，而部分則僅存有鼓脹部，此不規則的現象，亦會影響橫向毛刺定量觀察(如圖8)的客觀性。

由於橫向毛刺的發生，是基於廢料的鍛粗鼓脹(bulging in upsetting)現象所致，且由於板料的伸長率通常正相關於加工硬化指數，因此圖8與圖9的趨勢則可以用板料加工硬化的能力，來解釋延展性(或伸長率)與方向性對橫向毛刺發生的影響程度：也就是板料的伸長率越大，則加工硬化指數也越大，其沖切廢料的鼓脹現象越明顯，因此橫向毛刺的生成量也越大；而當板料RD方向的伸長率較大，則代表此方向的加工硬化指數也較大，因此在RD方向橫向毛刺的生成量也較TD方向多。

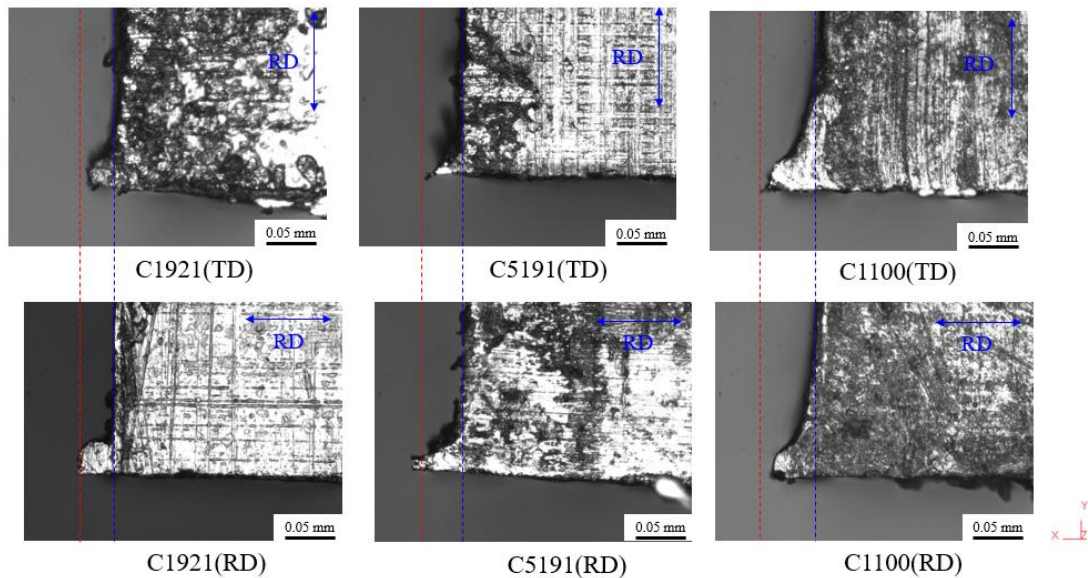


圖9 橫向毛刺的長度與鼓脹現象之比較， $c = 4\% t$ ，倍率200x

### 3.4 沖缺口斷面的形貌比較

一般沖頭(如圖4)與階梯沖頭(如圖5)的沖缺口斷面形貌比較，如圖10的SEM照片所示，針對C1921板料，沖切間隙為板厚4%，並搭配沖頭壓入板厚60%時的模擬截圖來輔助說明。模擬顯示以一般沖頭進行沖缺口時，由於廢料鼓脹外推，會帶動成品區發生鼓脹，並在沖切結束時，形成橫向毛刺；而以階梯沖頭進行沖缺口時，由於廢料鼓脹被抱持部所抑制，因此並未產生橫向毛刺，但因為成品區有發生少量鼓脹，因此成品區殘留少量鼓脹。SEM照片顯示以一般沖頭進行沖缺口時，成品在斷面的上側產生橫向破斷，而在下側產生橫向毛刺的特殊形貌；而使用階梯沖頭進行沖缺口時，成品的斷面就接近於一般沖孔斷面的組成(參考圖3)。

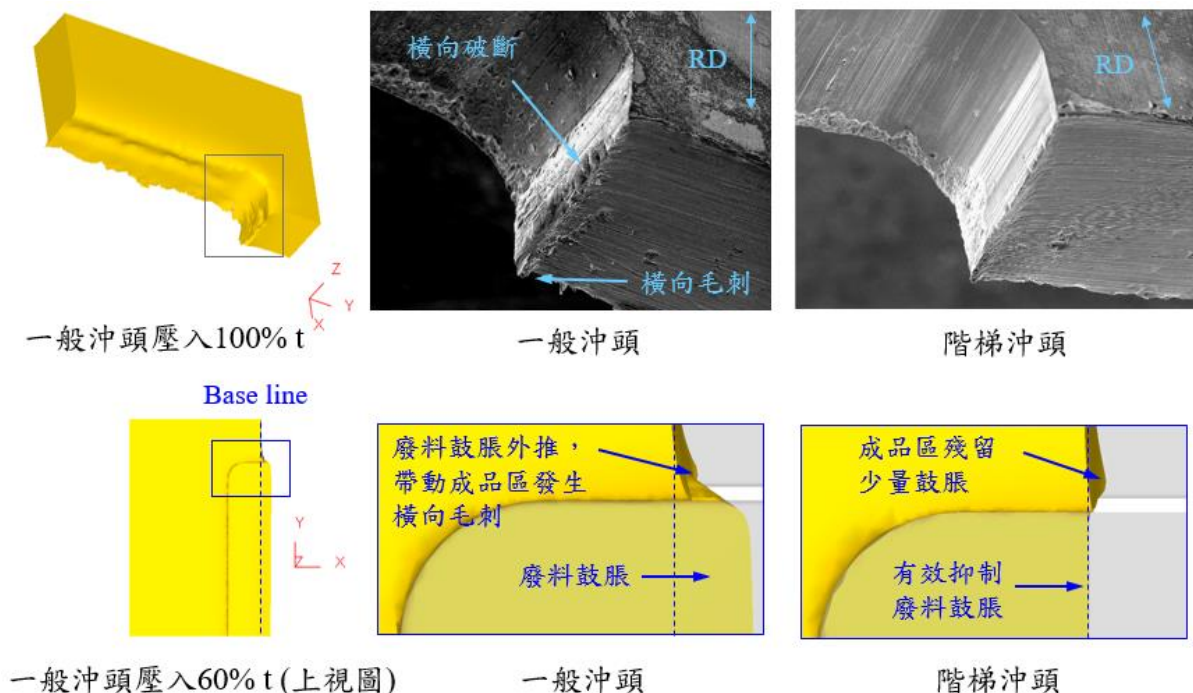


圖10 一般沖頭與階梯沖頭的C1921板料沖缺口斷面形貌比較



#### 4. 結論

針對車用晶片導線架的橫向毛刺缺陷，本研究使用厚度0.5 mm的銅鐵合金C1921、磷青銅C5191、紅銅C1100等三種常見導線架板料，探討板料延展性與方向性對橫向毛刺生成之影響，使用金屬成形有限元素分析軟體DEFROM 3D進行模擬分析，以輔助沖缺口過程的定性觀察，並開立實驗模具進行驗證，其結論如下：

- (1) 厚板料在進行沖缺口的過程中，廢料區的材料會朝向自由端流動，連帶使鄰近工件發生橫向鼓脹，當此鼓脹量超出沖切間隙時，便會被母模面刮除，而使殘留的鼓脹在沖切結束時形成橫向毛刺。
- (2) 使用較小的沖切間隙時，橫向毛刺長度與寬度皆會增多。
- (3) C1921與C5191等二種板料的伸長率與硬化指數較小，所生成的橫向毛刺屬於局部擠出，而且在RD方向生成的橫向毛刺，會大於TD方向生成的橫向毛刺，但是且C1921板料的硬化指數與C5191板料接近，二者所生成的橫向毛刺大小的順序較無規律；C1100板料的伸長率與硬化指數較大，所生成的橫向毛刺量也最多。
- (4) 使用階梯式沖頭的沖缺口測試結果顯示，此設計可有效拘束廢料的鼓脹變形，進而消除橫向破斷與橫向毛刺，顯示此項模具技術的研發結果，可以提升車用晶片導線架產業的沖壓品質。

#### 5. 誌謝

本論文為國科會計畫編號112-2221-E-992-076之計畫，由於國科會的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

#### 6. 參考文獻

1. 邱先拿等編著，2000.沖壓模具設計手冊，金屬中心，高雄，台灣。
2. F. Gréban, G. Monteil, and X. Roizard, 2007. Influence of the structure of blanked materials upon the blanking quality of copper alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 186, pp. 27–32.
3. 張敬模、韓永一、金仁浩，高功率芯片封裝构造的导线架及其制造方法，日月光半导体（威海）有限公司，中國發明專利CN102148213B，公開日期2014-06-04
4. M. Merklein, J.M. Allwood, B.-A. Behrens, A. Brosius, H. Hagenah, K. Kuzman, K. Mori, A.E. Tekkaya, and A. Weckenmann, 2012. Bulk forming of sheet metal, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 61, pp. 25–745.
5. K. Mori and T. Nakano, 2016. State-of-the-art of plate forging in Japan. *Production Engineering*, vol. 10, pp. 81–91.
6. 陳瑞峰，2022. 沖壓導線架尖角端沖切毛邊之成因與改善對策，國立高雄科技大學模具工程系碩士論文，高雄，台灣。
7. 林恆勝，陳瑞峰，黃俊瑋，2023. 沖壓導線架鼓脹毛刺之成因與改善對策，國立高雄科技大學，第10屆台灣塑性加工研討會。