

沖壓引伸加工不銹鋼 SUS304 機械性質之研究

黃立仁¹ 柴雲清²

¹ 中州科技大學工程技術研究所 lrhwang@dragon.ccut.edu.tw

² 中州科技大學工程技術研究所 ucchai@dragon.ccut.edu.tw

摘 要

本研究提出封閉型SUS304不銹鋼和鋼碳兩種材質深抽拉加工拉釘帽之機械性質測試，探討不銹鋼和鋼鐵拉釘帽連續衝壓引伸成型後，多道次引伸加工成品之剖面硬度和應變變化分佈，來了解引伸加工SUS304不銹鋼和鐵材拉釘帽的性能。本研究結果將使生產封閉型不銹鋼拉釘帽，無論在功能性、生產技術、產品品質與精度方面，達到精密與量產的水準，並且有效降低產製成本。

關鍵字：不銹鋼、拉釘帽、性能

壹、前 言

過去國內拉釘材質以鋁、銅、鐵為限，採鍛造製程，由於上列金屬常溫可鍛性佳，以四模四沖打頭機，即可生產。由於技術上較易克服，大量廠商相繼投入，產量過剩，削價競爭，利潤有限，而使得產品價值性縮減。但不銹鋼材質鍛造不易，傳統國內製造拉釘採用一對一製程生產方式，其生產品質較不易穩定。

引伸加工（drawing）係指將板狀金屬胚料加壓，在使其不發生皺褶、變薄或破裂的過程中完成有底的圓筒形、角筒形、半球形、錐形或直邊與曲邊組合形等各種無縫容器的成形加工。其產品的深度與直徑的比愈大則所需的引伸模具困難度愈高，此外，方型產品所需的引伸模具較圓形產品的技術高，而愈精密的引伸產品當然其所需模具的技術層次愈高。

液壓深引伸發展動作方法和研究原理是敘述一些研究員所提出的方法或修正。Buerk [1] 在液壓深引伸的報告工作是在西元1967年，他在管口蓋板和模具間使用封閉環。這決定了材料毀壞是伸展、壓縮和彎曲所組成。一個向上的圓緣通常成形時，在板料會自動分配適當液

通訊作者

姓名：黃立仁

E-mail: lrhwang@dragon.ccut.edu.tw

壓，有時迅速的增加時，沖頭會向下移動。這封閉環是一個抵抗磨耗的塑膠所製造。而Buerk也提出不同方法的液壓引伸，再引伸（二次引伸）和反向引伸法Becker和Bensmann [2]報告一個修正液壓加工上的封閉環，由震動模環或震動壓料板所代替。這方法事實上是動液壓法。一個雙動模設計於先引伸和再引伸加工。

Yang [3]以及其他人也提出一些修正徑向壓力深引伸法，當成形非常長的杯子於慣用的先引伸和動液壓再引伸法。一個區別徑向壓力的系統使用細緻的差別在合適的徑向壓力和最合適的室壓之間去應用一個非常高的引伸比和引縮，使再引伸後杯子能有很好的表面性質和精確厚度分佈。Tirosh[4]以及其他人提出靜液壓引縮法，這引縮法可促進靜液壓為了增加在沖頭（或心軸）和工件間的摩擦力。於是沖頭力能減少甚至忽略（一開始的壓力）和極限引縮比（LIR）能增加很多。近來有一個報告值得注意，是一個新的促進液壓深引伸法，這是引用HBU法（高壓薄金屬成形）。在每個工作循環成形兩個工件和凹模決定工件確實的形狀。這方法適用複雜薄零件成形和細小的產品。

Yossifon和Tirosh [5-10]研究理論提出一個最大引伸比（MDR）的觀點，因為速度和壓力會引起破裂而不足夠的壓力可能會引起皺褶或挫曲。這壓力路線是一個忽略在工作表面區域和兩個臨界壓力值能合適於不同情況標準之下。一個好的方法能成功的通過壓力沒有觸到兩個臨界線。最大引伸比（MDR）達到一個最小值在 $n=0.1$ 和 0.2 之間，這是由實驗所證實的。Tirosh和Konvalina [11]調查動液壓法的引伸比（LDR）值，使用極限分析在可塑性理論關係和非年噸流體流動黏性分析。LDR值理論上決定了上彈回和下彈回方法。Hsu和Hsieh [12]分析破裂和皺褶在液壓加工沖頭所在範圍。板料是分開成三區域和應力和內部壓力的應用，為了壓力-沖頭行程能作成圖表以計算成形為原則。

Thiruvarudchelvan 與Lewis[13]塑膠板取代壓料板以增加逆引伸之引伸深度，其板材為鋁板，塑膠板提供適當之潤滑，使鋁板之引伸比最大至3；Thiruvarudchelvan 與Travis[14]使用液壓輔助提昇再引伸製程的成形性，在液壓16500psi 下得到引伸比2.2 的鋁杯。

本研究將建立不銹鋼多道次引伸設計與加工，加上業界原有之專業能力將使國內不銹鋼封閉型拉釘的多道次引伸加工製程技術大幅提升。傳統式人工一對一製程的生產方式，其生產上較不易穩定；本研究改以自動化連續沖模製程，除可大量生產，且品質較穩定、可靠度較高之工業用固件「封閉型不銹鋼拉釘」。

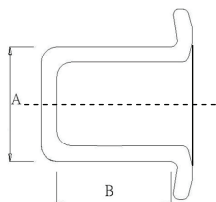
貳、實驗方法

一、拉釘材質與尺寸

本實驗中的材料利用廠商提供之鐵板（SPCC）及SUS 304沃斯田鐵系不銹鋼板材，將材料切割至所需尺寸，表面部分以鹽酸清洗，再將清洗乾淨的板材以酒精浸泡。利用沖床沖壓引伸加工成拉釘帽，並組合成拉釘，本實驗拉釘尺寸為 $\varphi 4.8 \times 12$ mm、 $\varphi 4.0 \times 10$ mm，分別為不



銑鋼、軟鋼兩種材質拉釘，其中拉釘帽部分尺寸為 $\varphi 4.8 \times 12$, $\varphi 4.8 \times 10$, $\varphi 4.0 \times 12$, $\varphi 4.0 \times 10$ (A×B) 四種，如圖一拉釘帽尺寸示意圖。



圖一 拉釘帽尺寸示意圖

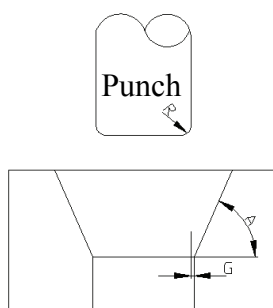
心軸 (Mandrel) 外徑為 $\varphi 2.86 \times 45$ mm (所能承受拉力為700kg)，設計受力為600kg時，其 Neck 尺寸為 $\varphi 2.5$ mm，拉釘測試之尺寸參數如表一。

表一 拉釘測試之尺寸參數

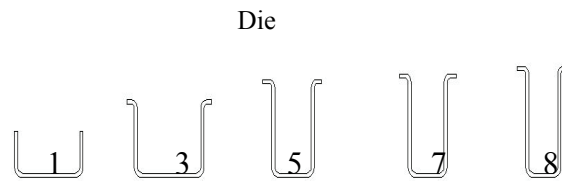
Material	SUS304, Steel	SUS304, Steel
Dimensions	$\varphi 4.8 \times 12, \varphi 4.8 \times 10$	$\varphi 4.0 \times 12, \varphi 4.0 \times 10$
Mandrel	$\varphi 2.86$	$\varphi 2.3$
Neck	$\varphi 2.55$	$\varphi 2.0$

二、拉釘帽實驗

實驗用沖頭採用SKH9經淬火硬化至HRC 52後再回火處理，並作深冷處理後，表面逐次拋光至Ra為0.3 μ m以下，再施以表面PVD鍍膜處理。其中沖頭 (R值) 尺寸為0.5 mm，而引伸斜度 (A值) 設為45°，本實驗之引伸工程數 (站) 均固定為8站工序。引伸工程數與間隙設定有關，本實驗間隙 (G值) 設定每站約0.50~0.70 mm。如下圖二為沖頭與模具設計示意圖。圖三顯示引伸工程數之板材變形程度分析。



圖二 沖頭與模具設計示意圖



圖三 引伸工程數之板材變形程度分析

三、應變分佈

1. 變形量測

本實驗將衝壓完成之成品利用立體顯微鏡和量測軟體分析蝕刻圓形變形量，來了解主變形及次要變形大小和前面分析作比較。並將衝壓引伸板金件以軸平行研磨至中心，以立體顯微鏡和量測軟體分析壁厚尺寸變化。

2. 硬度測試

所有衝壓引伸板金件以軸平行研磨之試片，利用硬度試驗使用維克氏硬度機（Akishi MVK-H1）進行輪廓硬度變化測試，荷重為300g，以了解每站應變硬化量與變形或差排堆積現象之關係。

3. 磁性量測

所有衝壓引伸SUS304不鏽鋼拉釘帽工件以軸平行研磨之試片，使用磁通量計（KANETEC Weber Meter TM-701）進行磁性變化與變形量大小測試，以了解每站工程應變硬化量與變形或差排堆積和應變硬化現象之關係。

四、金相顯微鏡觀察

本實驗使用光學顯微鏡（OLYMPUS BH2-UMA）進行金相組織觀察，觀察過程係以附有冷卻系統之慢速切割機切取試片，並利用冷鑲埋試料進行鑲埋，然後進行研磨工作，其研磨進行所使用之SiC砂紙號數為100至1500號之防水砂紙，再進一步以氧化鋁粉依次細拋光，並使用10 ml HNO₃，10 ml HCl，30 ml water 溶液浸蝕90至270秒，接著以光學顯微鏡鏡進行50至500倍之顯微組織觀察。

五、掃描式電子顯微鏡觀察

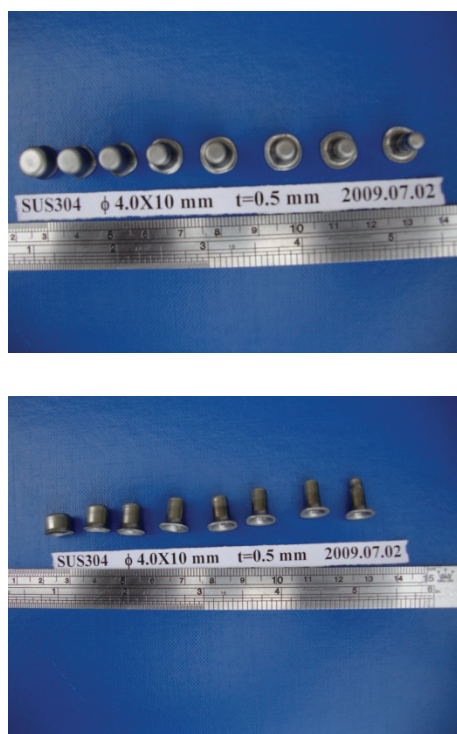
為了探討引伸過後鐵材與不銹鋼的變形大小，將引伸後的試片表面腐蝕置於掃描式電子

顯微鏡 (SEM) 下觀察變型區面，以型號JEOL JSM-6380 掃瞄式電子顯微鏡觀察，將試片裁取適當大小，將導電碳膠帶黏貼於機台之試片載台上，以10 kv至25 kv之操作電壓，放大倍率500倍與4000倍觀察試片交界處之情形。

參、結果與討論

一、拉釘帽成品照片

圖四 (a) (b) 顯示不銹鋼SUS304材質，拉釘帽直徑4 mm長度10 mm之拉釘帽1~8各工序成品照片。照片顯示隨著衝壓之引伸加工序中，拉釘帽被引伸成型的步驟。



圖四 (a)(b) 不銹鋼 SUS304 材質，拉釘帽直徑 4 mm 長度 10 mm 之拉釘帽 1~8 各工序成品照片

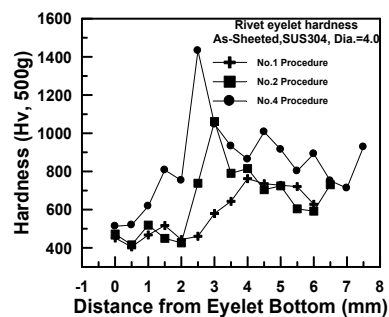
圖五 (a) (b) 顯示軟鋼板spcc材質，拉釘帽直徑4.8mm長度12mm之拉釘帽各工序成品照片。照片顯示隨著衝壓之引伸加工序中，拉釘帽被引伸成型的步驟。

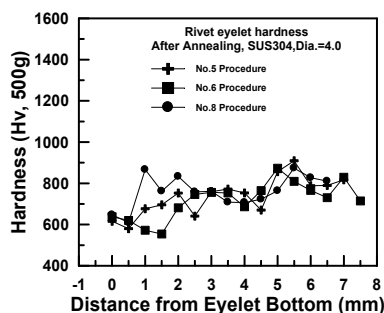


圖五 (a)(b) spcc 軟鋼材質，拉釘帽直徑 4.8 mm 長度 12 mm 之拉釘帽各工序成品照片

二、拉釘帽硬度、磁性及變形關係

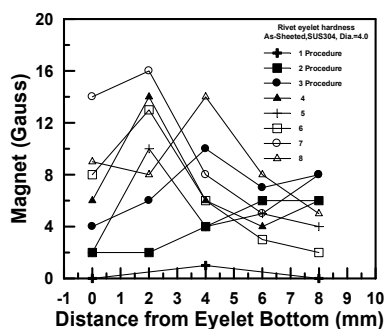
圖六 (a)(b) 顯示SUS304不銹鋼於拉釘帽深引伸加工之序1~8號時之硬度變化情形，圖中顯示隨著深引伸加工道次越增加，SUS304不銹鋼之材料加工硬化越明顯，且至第4道加工程序時其最高硬度已達1000 Hv以上，故需作固溶處理軟化，才能做引伸加工5~8次加工程序，且硬度均維持在600~800Hv之間，無法進一步降低硬度。





圖六 (a)(b) 顯示 SUS304 不銹鋼拉釘帽深抽加工之序 1~8 號時之硬度變化情形

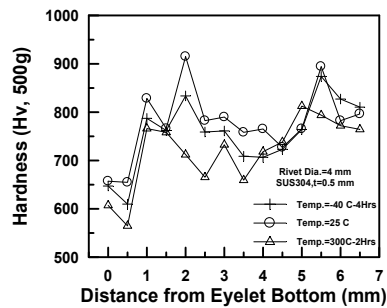
圖七顯示 SUS304 不銹鋼拉釘帽各加工程序之磁性變化 (KANETEC Tesla Meter TM-701)，隨著引伸加工程序越多，其磁性有增加趨勢，且 1~4 道次引伸加工固溶後，磁性變較小，但不太明顯。隨後進行 5~8 道次引伸加工其磁性仍持續增加。此因為 SUS304 內部之沃斯田鐵因變形引起麻田散鐵相變態，使拉釘帽磁性及硬度均增加，且很難再次沃斯田鐵化，使 SUS304 材質再次軟化。



圖七 SUS304 不銹鋼拉釘帽各引伸加工程序之磁性變化

三、拉釘帽軟化實驗

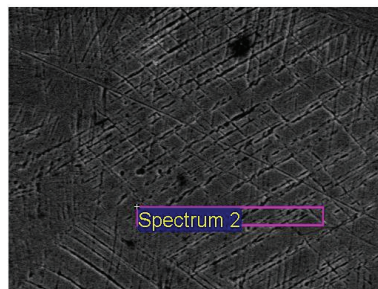
圖八顯示 SUS304 不銹鋼拉釘帽於最後引伸加工完成後，再分別經零下 40°C- CO₂ 處理 4hrs，和烘烤 300°C -2hrs，由 Hv 硬度曲線顯示，硬度變化或軟化效果不大，微硬度均維持在 600~900Hv 之間，証明沃斯因鐵經由硬變誘發 (strain induce) 之麻田散鐵相無法消除，故硬度無法下降。



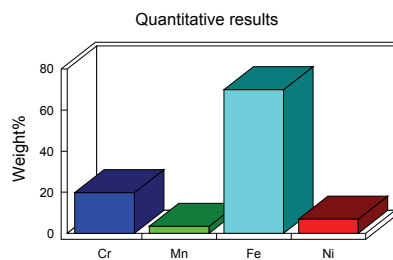
圖八 SUS304 不銹鋼拉釘帽於最後引伸加工完成後分別經零下 40°C 度 CO₂ 處理 4hrs，和烘烤 300°C-2hrs 硬度曲線

四、拉釘帽金相與成分分析

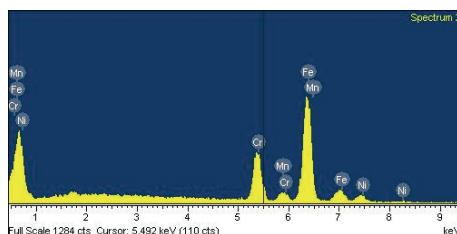
圖九 (a) (b) (c) 顯示拉釘帽固溶後之EDAX成份分析，圖 (a) 為分析位置之金相圖，(b) 為分析出各成份之直條圖，因採用成份為SUS304不銹鋼，故Cr百分比約20%、Ni百分比約8%，基地其餘為鐵元素。



圖九 (a) SUS304 拉釘帽金相 2500 倍

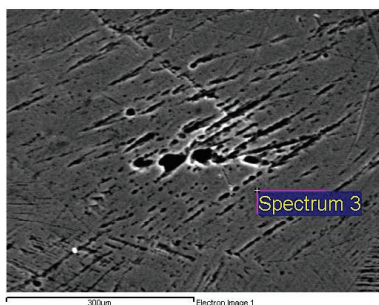


(b) SUS304 拉釘帽成份

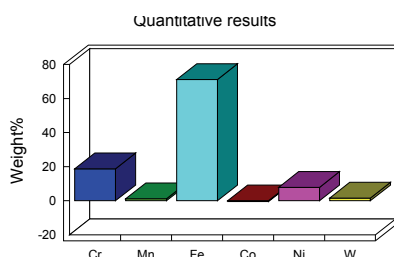


(c) SUS304 拉釘帽成份掃描元素強度波形

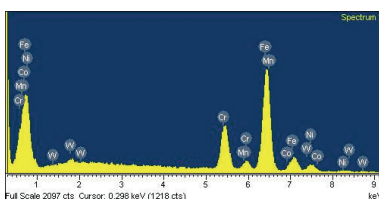
圖十 (a) (b) (c) 為應力腐蝕缺陷區之EDAX成份分析，圖中顯示Cr百分比約20%，Ni百分比約8%與前段SUS304成份相同，証明該缺陷非雜質引起，而是因應力變形引起之金相變態因應力集中而腐蝕，產生較明顯且較深之紋路和孔洞。



圖十 (a) SUS304 拉釘帽金相 2500 倍



(b) SUS304 拉釘帽成份列表



(c) SUS304 拉釘帽成份掃描元素強度波形

五、拉釘組合照片及剖面金相

圖十一 (a)(b)(c) 顯示SUS304直徑4mm拉釘經衝壓加工後之拉釘帽剖面圖與組合後之剖面圖3-10 (a) 顯示經衝壓加工後之拉釘帽剖面圖，厚度約5.3mm底部為拉釘裝置位置，圖十一 (b) 顯示拉釘帽與拉釘結合後之剖面位置底部為拉釘頭位置，讓拉釘拉出時固定板件，圖3-10 (c) 顯示實際結合時拉釘帽膨脹過程與拉釘頭部位置。



圖十一 (a) SUS304 經衝壓加工後之拉釘帽剖面



(b) 拉釘帽與拉釘結合後之剖面位置



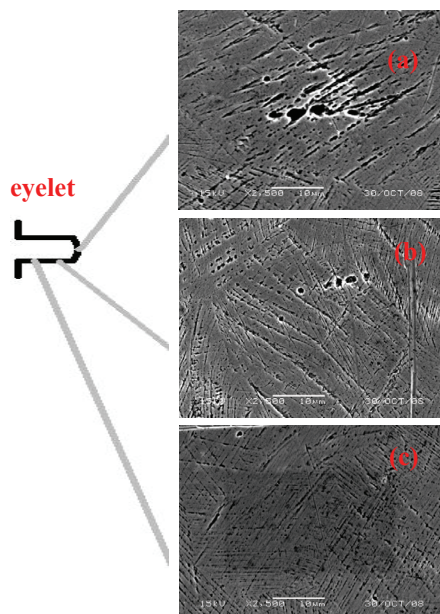
(C) 實際結合時拉釘帽膨脹過程與拉釘頭部位置

六、SEM 金相

圖十二 (a)(b)(c) 是拉釘帽未結合時固溶處理後不同位置之SEM照片，圖3-11 (a) 為底部位置經腐蝕後之金相照片，其中因應力變形腐蝕產生溝狀紋路及點蝕，圖3-11 (b) 為應變晶粒受腐蝕後之金相，位置則在腹部中間，圖3-11 (c) 為腹部上方之金相，因變形較不劇

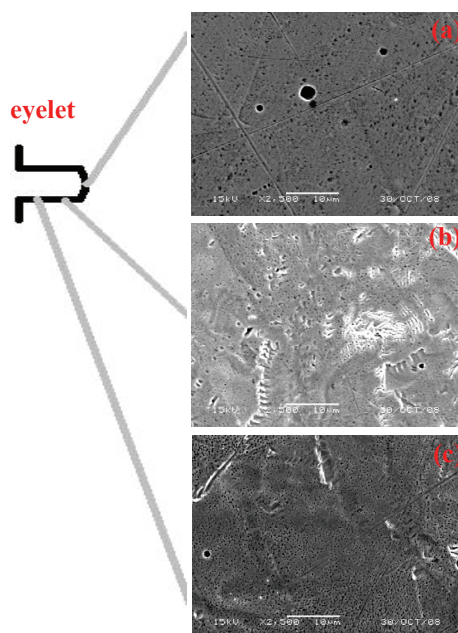


烈，所以應力腐蝕痕較細小。



圖十二 (a)(b)(c) 拉釘帽未結合時固溶處理後不同位置之SEM照片

圖十三 (a)(b)(c) 是拉釘帽與心軸結合後固溶處理+拉釘結合處之金相SEM照片，其中 (a) 圖處因加工變形應變較劇烈，固發生較大點蝕金相，其餘 (b) 和 (c) 處之金相顯示較細小，且因拉釘帽與心軸結合又一次產生變形，故應力變形較未拉釘帽結合時嚴重，應力點蝕情形明顯。



圖十三 (a)(b)(c) 拉釘帽與心軸結合後固溶處理+拉釘結合處之金相 SEM 照片

肆、結 論

- 1.拉釘與拉釘帽結合後+拉釘拉斷之各部位金相 SEM 照片顯示劇烈變形故有裂紋，因底部拉釘頭擠壓變形較嚴重，結合後拉斷之金相顯示晶粒變形和應力腐蝕紋路。
- 2.SUS304 拉釘應力腐蝕缺陷區之成份分析，顯示 Cr 約 20%,Ni8%與前段 SUS304 成份相同，証明該缺陷非雜質引起，而是因應力變形引起之金相變相而腐蝕，產生較明顯且較深之紋路和孔洞。

伍、參考文獻

1. E. Buerk, Hydromechanical drawing, *Sheet Met. Ind.* (1967) (3), pp. 182–188.
2. H.J. Becker, G. Bensmann, Further development in hydromechanical deep drawing, *Dev. Drawing Met.* (1983) 272–279.
3. D.Y. Yang, J.B. Kim and D.W. Lee, Investigation into manufacturing of very long cups by hydromechanical deep drawing and ironing with controlled radial pressure. *Ann. CIRP* **44** 1 (1995), pp. 255–258.
4. J. Tirosh and P. Konvalina, On the hydrodynamic deep drawing process. *Int. J. Mech. Sci.* **27** (1985), pp. 595–610.
5. J. Tirosh, S. Yossifon, R. Eshel and A. Betzer, Hydroforming process of uniform wall thickness products. *ASME Journal of Engineering for Industry* **99** (1977), pp. 685–691.
6. S. Yossifon, J. Tirosh and E. Kochavi, On suppression of plastic buckling in hydroforming processes. *International Journal of Mechanical Science* **26** (1984), pp. 389–402.
7. S. Yossifon and J. Tirosh, Rupture instability in hydroforming deep-drawing process. *International Journal of Mechanical Science* **27** (1985), pp. 559–570.
8. S. Yossifon and J. Tirosh, Buckling prevention by lateral fluid pressure in deep drawing. *International Journal of Mechanical Science* **27** (1985), pp. 177–185.
9. S. Yossifon and J. Tirosh, On the permissible fluid-pressure path in hydroforming deep drawing processes—analysis of failures and experiments. *Journal of Engineering for Industry* **110** (1988), pp. 146–152.
10. S. Yossifon and J. Tirosh, The maximum drawing ratio in hydroforming process. *J. Eng. Ind. Trans. ASME* **112** (1990), pp. 47–62.
11. J. Tirosh and P. Konvalina, On the hydrodynamic deep drawing process. *Int. J. Mech. Sci.* **27** (1985), pp. 595–610.



12. T. C. Hsu and S. J. Hsieh, Theoretical and experimental analysis of failure for the hemisphere punch hydroforming processes. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* **118** (1996) , pp. 434–438.
13. S. Thiruvarudchelvan, W. Lewis, “ The redrawing of cups at a redraw ratio of 3 using an annular urethane pad ”, J. Mater. Proc. Technol. 87 (1999) pp.128-130
14. S., Thiruvarudchelvan, F.W. Travis, “ An exploration of the hydraulic-pressure assisted redrawing ”, J. Mater. Proc. Technol. 72 (1997) pp.117-123

A Study of the Mechanical Properties for SUS304 Stainless Steel under Deep Drawing Processes

Lih-Ren Hwang¹ Un-Chin Chai²

^{1,2}Chung Chou University of Science and Technology, Dept.of Mechanical and
Automation Engineering

Abstract

The study will develop two kinds of precision SUS304 stainless steel and carbon steel material mechanical properties testing of deep drawing processing eyelet of rivet. Eyelet rivet was draw deeply would fully discussion on stainless steel and carbon steel forming. The cross-sectional hardness and strain distribution of multi-pass drawing eyelet that introduced to understand drawing properties of SUS304 stainless steel and the eyelet rivet. The research results will enable production of blind stainless steel rivet, in terms of functionality, production technology, product quality and accuracy, and reduce production costs.

Key words: stainless steel, eyelet of rivet, performance

