

手腕護具發泡製程技術及應用

賴峯民 *洪嘉駿 *顏屹芃

大葉大學 材料科學與工程學系（彰化縣大村鄉學府路 168 號）

*a17861919@gmail.com

摘要

本文主要在於大型與小型手腕護具的開發，其採用 PU 發泡材做為主體結構的製作，而實驗中使用的發泡劑為聚氨酯發泡體（Polyurethane Foams），其主成分為 4-4 ‘ - 異氰酸鹽（MDI）與多元醇，為了探討 PU 發泡製作的可行性，而使用 1.4：1 比例之發泡劑加上碳纖維作為肋條以不同形式進行發泡殼補強，並進行頂壓實驗以位移量的多寡來了解發泡殼的強度，再利用有限元素 ANSYS 套裝軟體內的 Workbench 模組進行分析，將實作實驗值與分析值比對，證實分析模型的正確性，由 Workbench 分析的位移量所影響強度的多寡選出最適合的加勁樣式，最後進行手腕護具的組裝。

關鍵詞： 複合材料、加勁、發泡劑、頂壓測試、手腕護具、PU 發泡

1.引言

本文方向微使用高分子材料來製作手腕護具，而所謂高分子材料即是由分子量較高的化合物構成的材料，很多日常生活會接觸到的天然材料通常是高分子材料組成的，如天然橡膠、棉花等而人工合成的化學纖維、塑料和橡膠等也是高分子材料。高分子材與傳統金屬材的性質比較，兩者都有各自的優缺點，但高分子材的質量輕也能達到相當的強度、剛性、韌性且能耐疲勞等，而其機械性質的設計自由度高，不像金屬性質固定。

近年來各種產品都有走向輕量化、低成本且可大量生產的趨勢，而因為護具使用的頻率高且需求多，因此藉著發泡相繼投入研究讓產品具有競爭性。

1.1 製作方法

本文先以 PU 發泡製程，做上下模壓法來再加上碳纖維做肋條補強來完成護具的上下蓋，再將上蓋進行頂壓測試，並利用 ANSYS 套裝軟體內的 Workbench 針對上蓋作靜態模擬來分析其受力結果，以驗證其正確性。

1.2 研究目的

在市面上的護具大多提供簡單的固定，而本研究的目的在於利用發泡材開發手腕護具搭配碳纖維加勁，之後進行 Workbench 模擬分析，將實驗值與分析值做比對，而其主要目的可列出以下幾點：

1. 對手腕護具上蓋作頂壓測試，瞭解其受力時的變形情況。
2. 製作輕量型手腕護具，達到製造方便、快速及強度佳之特點。
3. 開發手腕護具發泡製程技術，以進行各項測試。
4. 利用頂壓實驗值與分析值進行比較，找出最佳手腕護具之加勁形式。

[鍵入文字]

1.3 手腕護具介紹

手部以及腕關節是生活中非常常使用的部位，但使用過度也常造成傷害，因此市面上有非常多種針對手腕的護具及護腕，但通常都是以不妨礙到手部正常運動而設計，而其固定性及保護效果也不夠好，但當手部有嚴重受傷或骨折時，需要足夠的固定及保護時，就可以使用此硬質發泡外殼的護具，在與台中榮總林醫師討論過後有提到小型護具的保護範圍只要是針對腕關節的部份而大型護具是從掌骨到橈骨，因此先對此部份做設計，而現今手腕護具使用率高，觀察各種設計並實際操作後，使用 PU 發泡來材製作此新式護具，並利用發泡做出輕量的外殼、固定性佳、操作方便且成本低，而目前幾乎很少能在市面上看到高分子材作的手腕護具，因此嘗試利用高分子材來製作，其有重量輕且有高比強度，而本文中使用的發泡材也具有此種特性，也可以藉由不同比例來調整發泡的硬度與韌性等。

2.文獻回顧

2.1 發泡材料製備

本文使用的發泡與楊家任[3]所使用的發泡劑是相同的，此發泡材為聚氨酯發泡體（Polyurethane Foams），擁有極佳的耐磨性、耐水性及耐油性，其官能基是由含活性氫之多元醇或胺類與異氰酸鹽反應而成的。白劑主成分為 4-4' - 異氰酸鹽（MDI），黑劑為多元醇。

2.2 發泡劑的影響

發泡成品製作的方法有很多種，於發泡製程中將氣體引入或成行得方式，大致可分為機械法、物理法及化學法。機械法是藉由強烈的攪拌將外界空氣或氣體引入液體狀的塑膠材料，物理法是經由物理發泡劑本身物理的型態變化構成氣泡，化學法則是在塑料處於可塑型態時，利用化學發泡劑經由化學作用並分解產生氣體來達到氣泡的生成。

表 2.1 發泡成型種類

發泡法		適用材料	代表性用途
化學法	常壓發泡	PE(架橋)、PP(架橋)、PVC	緩衝包材、隔熱材、地板材、膠皮
	押出發泡	PS、ABS、PP、PE	VIR 外殼、建材
	模壓發泡	PE	緩衝材、隔熱材
	射出發泡	各種塑膠	建材、家具、電腦
物理法	模內發泡	PS	緩衝材、隔熱材
	押出發泡	PE、PS	包裝材
	雙魚混合	環氧、矽酮	成型品
氣體混入法		PVC	緩衝材
化學反應法		PU	緩衝材、隔熱材

發泡技術是利用物理或化學發泡使材料達到吸音、緩衝、吸震以及輕量等效果，此技術在產品的運用上也可以因此而降低成本，而運用發泡技術的產品也非常廣泛，包括日常民生用品、建材、與工業上均有需求。

2.3 手腕傷害

手腕是手部重要的部位之一，大多數的運動幾乎都會用到，而手腕的受傷也成為常見運動傷害之一，不管是在運動選手上或是在製造業上手腕受傷的比例都極高，在行政院勞委會針對手腕不骨骼傷害的報告中，以手腕（51%）及手指（20%）比例最高。



圖 3.1 發泡劑

3. 研究方法

本文是利用護具組裝零件及上下壓模法來製作手腕護具的發泡，分別有上蓋和下蓋來進行護具的組裝，製作護具的零件是使用PU發泡的高分子材料配合手腕護具的模具來製作，先將護具的發泡外殼製作完成，再來將實驗中找出的因子帶入田口品質工程方法並做頂壓測試，以此來找出最佳製程參數製作發泡殼，將護具零件與發泡殼進行組裝來製作手腕護具。

最後以問卷調查證明手腕護具的舒適性、固定性以及穿戴是否方便。

3.1 發泡劑

本文使用的發泡材有高耐磨性、耐水性及耐油性，是由多元醇與異氰酸鹽反應而成的一種高分子聚合物，也可以在製作過程添加其他物料來增加其機械性質。發泡材的原料分 A、B 兩部分，原料 A 主要成分為 4-4'-二異氰酸鹽（MDI）簡稱白劑，B 部分為多元醇簡稱黑劑，兩種原料依不同比例或添加物可產生多種不同的軟硬度及回彈性。

3.2 攪拌器

將白劑與黑劑混合時需要使用攪拌器快速攪拌才能產生快速的發泡反應。



圖 3.2 攪拌器

3.3 烤箱溫度與時間

在發泡的反應過程中，如發泡的溫度與模具的溫度差異太大時，將會影響到發泡的品質，因此要先把模具加熱到一定溫度。在本實驗所設定的溫度均為 50℃，時間也均為 20 分鐘，藉此來控制發泡的穩定性。



圖 3.3 烤箱

3.4 脫膜劑

為了從模具中取出發泡時較容易，必須在發泡前先用脫膜劑擦過模具表面。



圖 3.4 脫膜劑

3.5 模具

上蓋模具主要是包覆掌骨到手前臂，並限制手腕關節大幅度向上運動，而模具前後各有一塊鋁製平板，用來將模具固定。

3.5.1 上蓋模具

上蓋模具主要是包覆掌骨到手前臂，並限制手腕關節大幅度向上運動，而模具前後各有一塊鋁製平板，用來將模具固定。



圖 3.4 小護具上蓋模具



圖 3.5 大護具上蓋模具

3.5.2 下蓋模具

下蓋模具是用來限制手關節過度向下的運動，前後有兩塊鋁製平板，用來固定模具。



圖 3.6 小護具上蓋模具



圖 3.7 大護具上蓋模具

3.6 實驗方法

本文是針對手腕護具上蓋進行頂壓測試以及ANSYS套裝軟體的Workbench模組近靜態模擬，以實驗值驗證分析正確性。

另外在於手腕護具的開發方面分為材料選用、護具外型設定和碳纖維加勁樣式等等來進行輕量化手腕護具開發，最後進行手腕護具及配件的組裝。

步驟一：先在模具表面擦上脫模劑以水平及垂直方式擦拭（圖 3.9）並重複三次，再將裁切好的碳纖維肋條貼在模具上（圖 3.10）脫模劑使用完畢後要確實蓋緊，避免其揮發造成不必要的浪費。



圖 3.8 擦拭脫膜劑



圖 3.9 加勁肋條黏貼

步驟二：依照比例平分白劑與黑劑，並使用攪拌棒先將白劑倒入杯中，再倒入黑劑（圖 3.11）。使用完畢後要將瓶口擦拭乾淨並蓋好，如未擦乾淨可能會造成瓶蓋無法打開，而如果沒蓋好則會因為溶劑接觸空氣過久而造成品質產生問題。



圖 3.10 將黑劑倒入白劑

步驟三：使用攪拌器使發泡劑快速混合（圖 3.12），攪拌約 5 至 7 秒後，發泡劑開始快速產生反應，因此要迅速倒入模具中（圖 3.13），這樣發泡才能在模具中完整成型。



圖 3.11 使用攪拌器混合



圖 3.12 將發泡倒入模具內

步驟四：將模具上下蓋好後，並利用對角方式將螺絲鎖上（圖 3.14），簡稱對角鎖，鎖緊後倒放入烤箱烘烤 150 度 90 分鐘（圖 3.15），之後等其冷卻即可取出發泡殼（圖 3.16）。

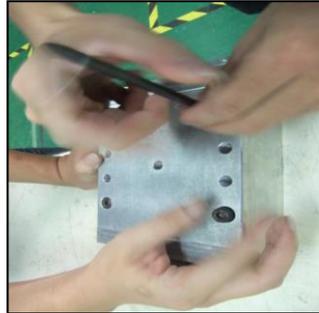


圖 3.13 使用對角鎖法

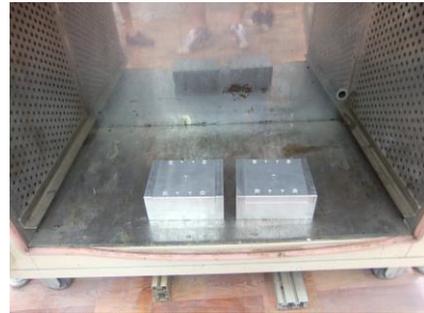


圖 3.14 烘烤加熱



圖 3.15 取出發泡零件

3.7 頂壓測試

頂壓實驗可以測出護具零件被施予不同力時，可以知其位移量的變化，利用 U3S1 荷重計搭配 DTH-A-1 位移計來進行力量與位移的量測，並藉由 PCD-300-A 取值系統來擷取兩者的數據測出來的實驗值也可以做為後續對照的依據。



圖 3.16 頂壓測試雞

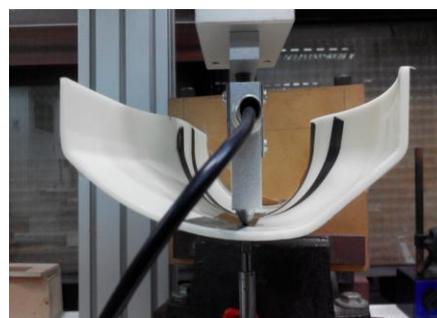


圖 3.17 頂壓測試

3.8 Workbench 有限元素分析

先建立材料資料庫，藉由材料性質檢測取得材料參數後將已建好模型匯入分析軟體中進行網格化處理，最後設定邊界條件並以變形量求解，即可與實驗值做比對，確認模型的準確性。

[鍵入文字]

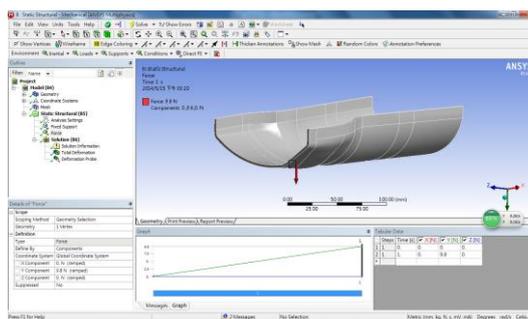


圖 3.18 Workbench 分析圖

3.9 加勁樣式

以純 PU 發泡法製成護具其剛性強度可能無法達到需求，因此在於強度不足的地方利用碳纖維做局部加勁，而本文使用碳纖維肋條加勁如表 3.1 及 3.2，規格大小如圖 3.19 及 3.20：

表 3.1 小手腕護具加勁樣式

類字	川	三	十
照片			

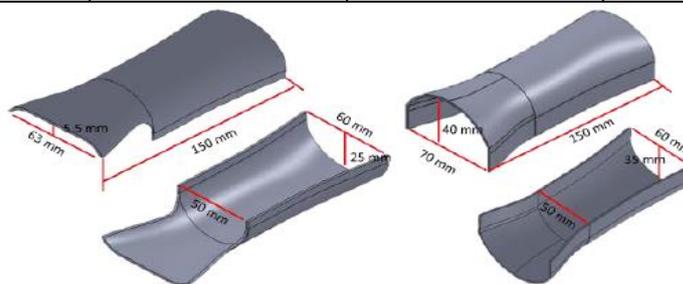


圖 3.19 小手腕護具規格

表 3.2 大手腕護具加勁樣式

類字	川	雙十	川二
照片			

[鍵入文字]

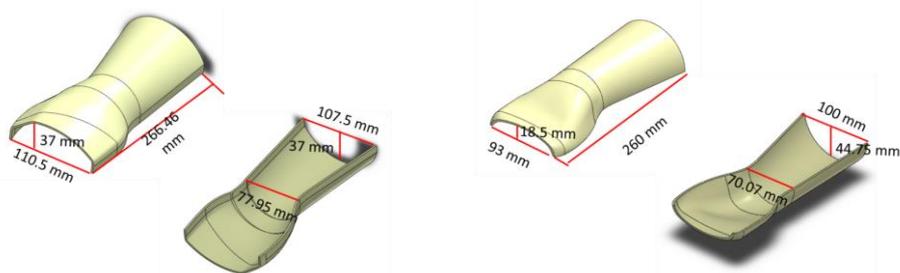


圖 3.20 手腕護具規格大小

3.10 穿戴測試

大、小手腕護具的穿戴方式皆是以束帶黏緊的固定方式，因此只要將束帶鬆開，再將手放在適當的位置後拉緊固定即可，穿戴流程如下：

(1) 大手腕護具穿戴流程：



(2) 小手腕護具穿戴流程：



4. 結果與討論

本文依照使用發泡搭配碳纖維加勁形式來製作樣品，並進行頂壓測試探討其位移量，也利用 Workbench 分析軟體進行分析，以及不同的護具設計來取得實驗數據，並以此來進行討論。

4.1 分析比對

將頂壓測試完成後的實驗值與 Workbench 模擬後的分析值做比對，來證實分析模型的準確性，只要誤差值在 20% 左右即可，而小手腕護具誤差大約在 6%~20%，而大手腕護具的誤差值大約在 5%~27%。

(1) 小手腕護具分析比對

表 4.1 川字實驗值與分析值比較

施力值 (kg)	實驗值 (mm)	分析值 (mm)	誤差
0.5	0.305	0.437	20%
1	0.805	0.875	8%

表 4.2 三字實驗值與分析值比較

施力值 (kg)	實驗值 (mm)	分析值 (mm)	誤差
0.5	0.740	0.875	15%
1	1.641	1.751	6%

表 4.3 十字實驗值與分析值比較

施力值 (kg)	實驗值 (mm)	分析值 (mm)	誤差
0.5	0.505	0.563	10%
1	1.046	1.127	7%

(2) 大手腕護據分析比對

表 4.4 川字實驗值與分析值比較

施力值 (kg)	實驗值 (mm)	分析值 (mm)	誤差
0.5	0.267	0.327	18%
1	0.680	0.645	5%

表 4.5 雙十字實驗值與分析值比較

施力值 (kg)	實驗值 (mm)	分析值 (mm)	誤差
0.5	0.227	0.312	27%
1	0.523	0.624	16%

表 4.6 川二字實驗值與分析值比較

施力值 (kg)	實驗值 (mm)	分析值 (mm)	誤差
0.5	0.310	0.374	17%
1	0.673	0.747	10%

有碳纖維加勁的手腕護具位移量必有減少與未加勁的護具之位移量來做比較，可看出在於小手腕護具完川字加勁法最佳，其重量雖然增加 4.5%，卻減少了 61.99 的位移量，而大手腕護具則是雙十字加勁法最佳，其重量雖然增加了 5.23%，但減少了 57.41% 的位移量，如表 4.7 至 4.8。

表 4.7 不同樣式小手腕護具之位移分析比對

施力 (kg)	1.4:1	川		三		十	
		位移 (mm)	減少 (%)	位移 (mm)	減少 (%)	位移 (mm)	減少 (%)
1	2.118	0.805	61.99	1.752	17.28	1.127	46.79
增重		4.5%		5.5%		6.2%	

表 4.8 不同樣式大手腕護具之位移分析比對

施力 (kg)	1.4:1	川		雙十		川二	
		位移 (mm)	減少 (%)	位移 (mm)	減少 (%)	位移 (mm)	減少 (%)
1	1.13	0.680	49.91	0.523	57.41	0.673	41.84
增重		2.91%		5.23%		4.36%	

4.2 手腕護具零件與組裝設計

此護具的設計是只要將魔鬼撕開，然後把束帶拉寬，即可將手伸進伸出的設計，其使用的零件包括泡棉、透氣衣料、束帶、扣環、虎口固定帶及魔鬼氈（圖 4.1）。



圖 4.1 護具組裝配件

(1) 小手腕護具組裝過程

組裝過程步驟一：先將發泡上、下蓋內側貼上泡棉，再使用透氣布料包覆發泡外殼（圖 4.2）。



圖 4.2 包覆發泡殼

組裝過程步驟二：在包覆完成的發泡殼外部貼上兩條一端黏上扣環的束帶（圖 4.3），在兩條束帶的一端貼上一片防止束帶從扣還脫落的塑膠條（圖 4.4）。



圖 4.3 貼上束帶及扣環



圖 4.4 貼上塑膠條

組裝過程步驟三：在護具上蓋外側的束帶上貼上毛端魔鬼氈以及在有塑膠條的末端貼上刺端魔鬼氈（圖 4.5）。



圖 4.5 貼上魔鬼氈

組裝做成步驟四：最後在上蓋的上緣黏上虎口固定條（圖 4.6）即可完成手腕護具。



圖 4.6 貼上虎口固定條

(2) 大手腕護具組裝過程

組裝過程步驟一：先將內襯綿貼在發泡殼內側（圖 4.7）。



圖 4.7 泡綿黏貼

組裝過程步驟二：將貼好內襯綿的發泡殼使用透氣布料完整包覆（圖 4.8）。



圖 4.8 透氣布料包覆

組裝過程步驟三：最後將束帶及魔鬼氈貼上環繞再外側即可完成（圖 4.9）。



圖 4.9 束帶黏貼

5.結論

本文利用手部護具上蓋之頂壓測試以及Workbench有限元素分析，做靜態模擬分析以驗證模型，其可得到以下幾點結論：

1. 本文成功開發以PU發泡搭配碳纖維加勁肋條所製作之手腕護具。
2. 碳纖維加勁手腕護具均比原來 1.4：1 發泡殼的位移量減少 17.28%~61.99%且重量只提升 2.91~6.2%，其強度均有明顯提升，效益明顯提升。
3. 大小手腕護具分別以雙十及川字的加勁樣式分別可減少 57.41%及 61.99 的位移。
4. 本文中的Workbench分析的模型，可正確分析手腕護具的位移量。
5. 大小手腕護具依三種加勁樣式進行頂壓實驗與分析比對在施力值為 1kg 後，其誤差在合理範圍內證實分析模型準確性。

參考文獻

- [1] 鄭世傑，”多孔材料之製造技術開發與性質探討與手腕護具製成開發”，大葉大學工業工程與科技管理學系碩士班學位論文，2011。
- [2] 陳正中，”TPE發泡成型技術”，高分子工業期刊，90~92期。
- [3] 楊家任，”頸部固定器的三明治結構之最佳製成參數”，大葉大學材料科學與工程學系專題製作報告，2012Bell, A.G., U.S. Patent No.174465,1876
- [4] 陳協慶、杜宗禮、劉永平，”手腕部肌肉骨骼傷害危害因子暴露調查研究”，行政院勞工委員會勞工 [鍵入文字]

安全衛生研究所，2004。

- [5] 葉文鴻，”頸部護具之掉落實驗與手腕護具製成開發”，大葉大學工業工程與科技管理學系碩士班學位論文，2014。

Foaming Processes Technology and Application of Wrist Protectors

Feng Min Lai¹ Jia Jun Hong² Yi Peng Yi³

¹Materials Science and Engineering, Da-Yeh University

²Department of Industrial Engineering & Management, Da-Yeh University

a17861919@gmail.com

ABSTRACT

The research mainly lies in large and small wrist brace, which uses PU foam material as the main structure of production, and blowing agents used in the experiment for polyurethane foam (Polyurethane Foams), whose main ingredient is 4 4'-isocyanate (MDI) and polyols, in order to explore the feasibility of PU foam production, and the use of 1.4: 1 and carbon fiber as a foaming agent in different forms foam shell reinforcement, and top pressure experiment to understand the amount of displacement of the strength of the foam shell, re-use Workbench ANSYS finite element software package module within the analysis, the real value for the experimental comparison and analysis confirmed the correctness of the model analysis, Workbench analysis by the displacement of the amount affected by the strength of stiffened select the most suitable style, the final assembly of the wrist brace.

Keywords: composite materials, stiffening, Foaming agent, wrist brace, PU foam