超高分子量聚乙烯/棉(UHMWPE/C)包覆紗製備及其物性之探討

周文立[1*]、許耀基[2]、熊漢興[3]、葉正濤[1,4]

1. 南亞技術學院材料與纖維系
2. 萬能科技大學高分子材料系
3. 紡織產業綜合研究所
4. 台灣科技大學高分子工程研究所

摘要

UHMWPE/C 包覆紗是利用超高分子量聚乙烯(UHMWPE)絲當成芯絲而棉紗當成鞘紗利用中空錠子撚線機所包繞而成。其中 UHMWPE 是採用荷蘭 DSM Dyneema 公司之產品 SK65，棉紗則是使用國內生產之純棉紗。包繞紗之性質透過抗張強力、抗張伸度、比強力、支數、均勻度、毛羽數、棉粒及包繞角度之性質來探討。拉張強力、拉張伸度、比強力則是透過拉張強力試驗機、支數則是透過微量天平及烘箱利用重量法及公式運算而得，至於均勻度(U%)、毛羽數及棉粒則透過 Uster Testing Instrument 量測而得，而包繞角度則是利用光學顯微鏡、電子顯微鏡配合 Pierce 理論運算而得。本實驗 UHMWPE/C 包繞紗所選擇之參數為包繞棉紗支數及包覆撚度，棉紗支數從 20’S~50’S，包繞撚度則從 700TPM~1000TPM (twist per meter)。經實驗結果顯示，UHMWPE/C 包覆紗之丹尼數及包繞角度隨著包覆棉紗支數之降低及包覆撚度之增加而增加，拉張斷裂荷重及毛羽數亦隨包覆棉紗支數之降低及包覆撚度之增加而增加；比強力、U%則隨包覆棉紗支數之降低及包覆撚度之增加而降低；至於伸度及應變百分率受棉紗支數及包覆撚度之影響，雖無明顯之線性趨勢，但兩者之性質很明顯地 UHMWPE/C 包覆紗遠優 UHMWPE 絲。總之，UHMWPE 絲經其包繞棉紗後可改善單獨用 UHMWPE 長絲之物性有:1. 紗線之染色性，增加紗線色彩之變化。2. 紗線伸長量可從原先之 3.5% 增加到 12~17%。3 紗線表面較粗造，此有助於織造工程之進行。

關鍵字:UHMWPE、包覆紗、比強力、支數、 U%。

The preparation and physical properties of UHMWPE/C wraps yarn

Wen-Li Chou[1*], Yao-Chi Shu[2], Han-Hsing Hsiung [3] Jen-Taut Yeh[1,4]

1. Department of Fiber and Material, Nanya Institute of Technology, Jungli, Taiwan

2. Department of Polymer Material, Vanung University, Jungli, Taiwan

3. Taiwan Textile Research Institute, Taipei County, Taiwan

4. Graduate School of Polymer Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan

Summary

UHMWPE/C wraps yarn is composed of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) filament and cotton yarn. UHMWPE filament which adopts Holland DSM Dyneema company product SK65 was treated as core filament and cotton yarn which is made in Taiwan factory was treated as sheath yarn was fabricated by hollow spindle machine. The physical properties of UHMWPE/C wraps yarn were investigated through experiments of tensile load, tensile strain, tensile tenacity, yarn count, evenness, hairiness, neps and twist angle, while properties of tensile load, tensile strain and tensile tenacity were tested by tensile testing machine, yarn count would be experimented by accurate balance, oven and calculation of formula, for yarn qualities of evenness (U%), hairiness and neps were measured by uster testing instrument and the properties of twisting angle was taken by optical microscope, scanning electronic microscope cooperates with Pierce theory operation. Afterward, the cotton yarn count and the degree of twist number were chose as the experiment's parameters in this study. The region of cotton yarn count was from 20'S to 50 'S and degree of twist number was from 700TPM to1000TPM (turn per meter). The results of UHMWPE/C wraps yarn are shown that the properties of yarns' count (denier) and twist angle of UHMWPE/C wraps yarn were increased with the decrease of cotton yarn count and increase of degree of twist number; the properties of tensile load, hairiness of ＊ UHMWPE/C wraps yarn were also increased with the decrease of cotton yarn count and the increase of degree of

twist number. Oppositely, the properties of tensile tenacity and U% were decreased with the decrease of cotton yarn count and the increase of degree of twist number; although the properties of tensile extension and tensile strain of UHMWPE/C wraps yarn had not a trend by affection of cotton yarn count and degree of twist number, the both of tensile extension and tensile strain of UHMWPE/C wraps yarn were increased more significantly than original UHMWPE filaments'. Summary, the properties of UHMWPE filament is improved by it wrap cotton yarn behind have: 1. ameliorated dying of yarn which would promote color changeable 2. Tensile extension of yarn can be increased from 3.5% to 12~17% 3. Roughness on the surface of yarn is increased which would improve to weaving.

Key word: UHMWPE, wrap cover yarn, tenacity, yarn count, U%.

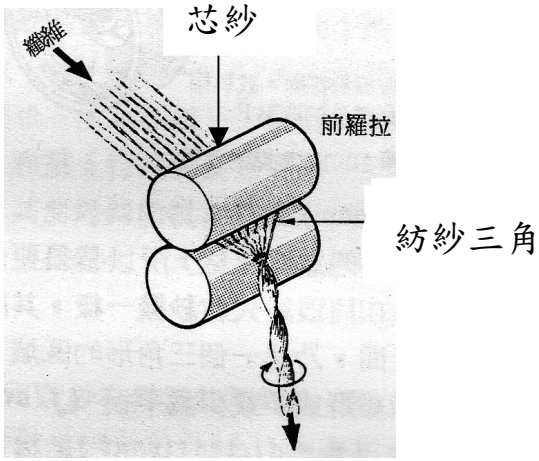
E-mail: steve@nanya.edu.tw

一、前言

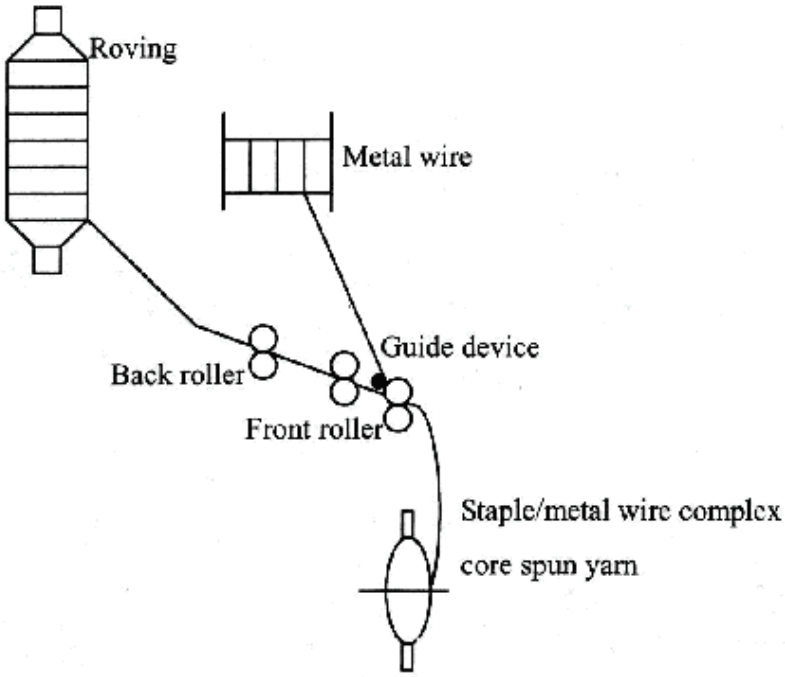
台灣跟隨歐美等先進國家，在近二十年來已將纖維、紡織、染整及高分子製造與加工技術高科技化來保持在纖維紡織與高分子產業之競爭優勢，在全球險惡之競爭環境下，1994-2005 年紡織業 12 年間所賺取外匯之金額仍高達約 1100 億美元，即使在全世界產業不景氣最困難之 2001-2005 幾年間每年仍有近百億美元之外匯金額，成為我國貿易順差與外匯存底最有貢獻之產業。但目前極具市場潛力之大宗高科技紡織產品（如產業用、通訊用、防護型、舒適保健型、智慧型紡織品等）國內則尚未開發完成；先前世界先進國家相繼開發出碳纖維、芳香族聚醯胺類纖維後，在近年來高性能纖維領域所產生了一個重要產品，即高強力高模數之超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纖維。事實上，在目前已商業化的高強力纖維中也以 UHMWPE 纖維之強力達 45g/d (Dyneema SK 77)為最強。此種 UHMWPE 纖維，自 80 年代末期荷蘭 DSM 公司申請凝膠紡絲(gel spinning)專利量產至今其年產量在 10 年內增加約 100 倍。而超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纖維之理論強度(373 g/d)不僅遠較芳香族聚醯胺類纖維(~200-300 g/d)為高，因此為目前最具潛力可進一步發展更高強力纖維之一。UHMWPE 纖維除高強力外，亦兼具比重輕之特性，因此這種高成長、高附加價值之 UHMWPE 纖維產品，近來引起世界各地相關公司及研究機構的極大興趣，目前已廣泛應用於製備防彈衣、防護設備、雷達罩、安全防護衣著、手套、行李箱織布、風箏線、運動器材、輸送帶、箱網養殖、海洋繩纜(如：漁網、風帆、拖曳線)、高強力複合材及地工織物等用途。但因 UHMWPE 纖維表面非常光滑，摩擦係數小，纖維間抱合力低，不易紡紗織造；且具高疏水性與低耐熱溫度，又聚乙烯纖維分子上並無與染料或其他纖維/樹脂化學結合所需的極性基團或染色座基團，再加上高強力聚乙烯纖維均經高倍延伸所以具有高順向度和結晶度，染料或其他樹脂不易擴散到纖維內部。因此，目前具有顏色高強力聚乙烯纖維紡織產品，多是利用顏料或染料再加上樹脂用印花方法，以物理性結合將顏料黏著到聚乙烯纖維紡織產品上，但產品在使用時染料或顏料常有脫落現象。

目前本計劃係利用 UHMWPE 與棉利用中空定子撚線之技術作成新世代高強力聚乙烯複合紗，將棉（比重 1.5）短纖紗包繞於 UHMWPE 纖維束外層形成包繞紗線，而目前進行包繞加工之機台主要不外乎兩種，一為 Ring Spinning 系統，另一為 Twisting 系統，其中 Ring Spinning 系統，為利用環錠精紡機牽伸區前羅拉吐出短纖（Staple）紗之紡紗三角來包繞芯紗，所製作之包繞成品一般稱為 Core-Spun

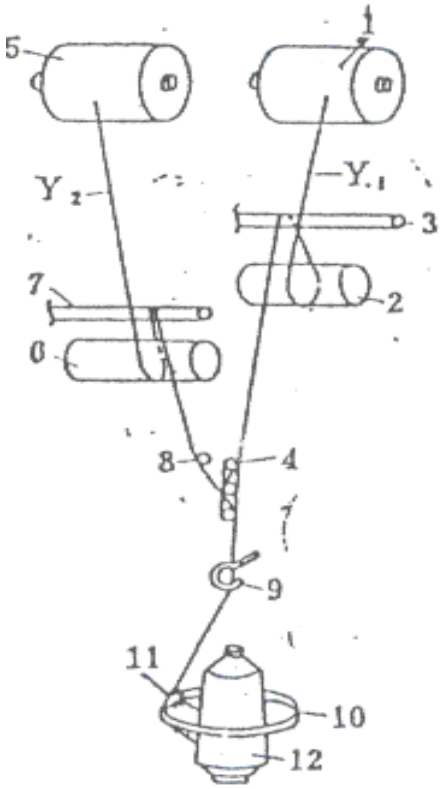
Yarn，由於紡紗三角（見圖一）範圍很小[1]，無法包繞較粗支數之紗線，且前述兩種系統在包繞過程中大都需經過鋼絲圈之加撚（見圖二~五）[2-3]，造成加工紗線與鋼絲圈、鋼絲圈與機件之磨擦，使得加工紗線容易起毛羽或機件磨損，或機台速度無法提高等缺點。



圖一：利用紡紗三角包繞

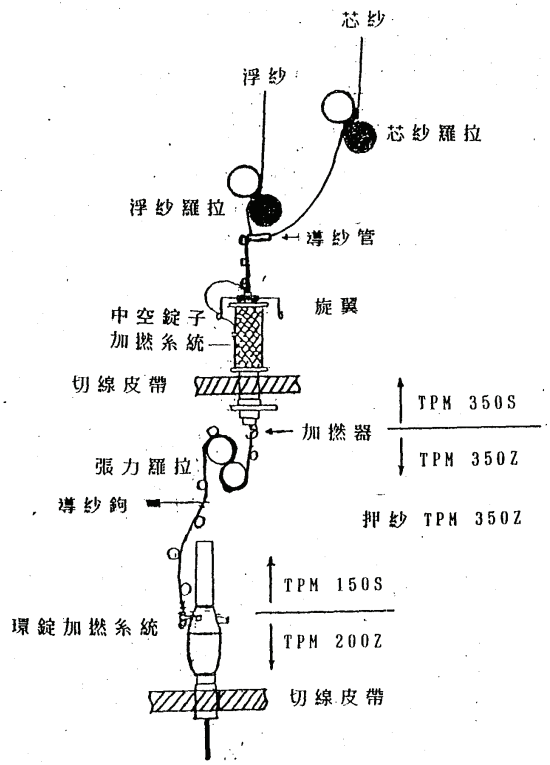


圖二：鋼絲圈之加撚系統-1

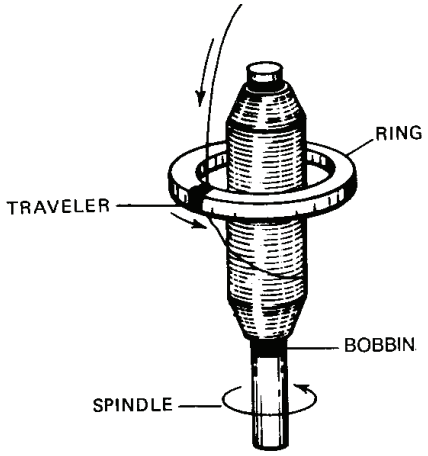


Y_1:Filament, Y_2:Staple Fiber, 1,5 :Yarn Bobbin, 3,7 :Yarn Guide, 2,6:Yarn Rod, 4,8:Yarn Guide, 9:Yarn Plate, 10: Ring, 11:Traveller, 12: Yarn Package

圖三：鋼絲圈之加撚系統-2



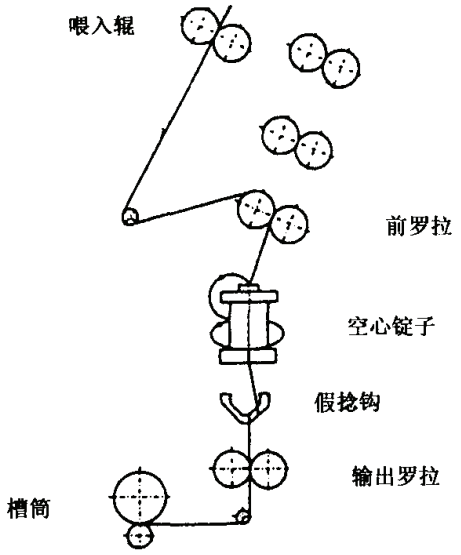
圖四：鋼絲圈之加撚系統-3



圖五：鋼絲圈之加撚示意圖

從 20 世紀 70 年代以來，空心錠子包纏紡紗技術由於其紗線在強度、條幹和手感外觀等性能上的優勢得到了的廣泛重視[4]，在短短的 20 年中獲得了迅速發展。目前空心錠子包纏紡紗機類型相當多，其中有德國 Sussen 公司的 PL-1000 系列和 PL-2000 系列、Saurer-Allma 公司的 SM 型包纏紡紗機、美國 Walker 公司的

LPC6000 型、JamesMacakie 公司的 Spinmack 型、Whintin Roberts 公司的 Weapid 型、Lee.sona 公司生產的包纏紡紗機、英國 Gemmill&Dunsmore 公司的 GDs 型包纏紡紗機、法國 N.Schlumherg 公司的 MG10 型包纏紡紗機 [5-9]。就這些包纏紡紗機的使用範圍來看，主要是用於中粗紗支的織物開發 [10-11]。為了將空心錠子包纏紗的使用範圍擴大，解決高支包纏紗的條幹和強度問題，有相關學者對空心錠子包纏紗進行了製程創新的試驗研究[12-13]，即通過包纏後再加撚的補充成紗技術（如圖六），形成一種獨特的差撚包纏紗，達到提高紗線性能的目的，目前已開發出 20 多種毛條差撚包纏紗織物，其織物在斷裂強度、抗起毛起球性、羊毛覆蓋率等方面好於併撚紗織物。



圖六：差撚包紗機構圖

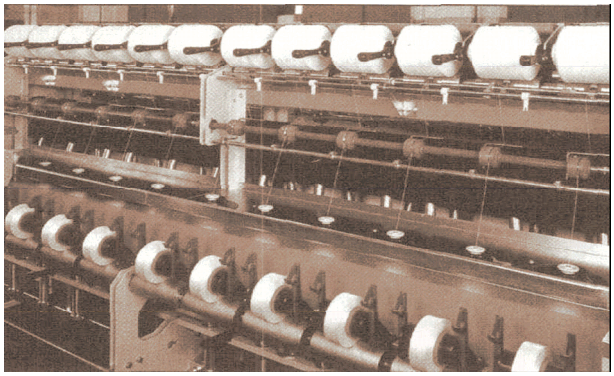
空心錠子包纏紗是一種結構獨特的新型紗線，其芯紗是無撚的，外包紗螺旋纏繞其上，形成兩相獨立的紗線結構[14]，由於芯紗長纖維束近似平行，纖維間接觸面積幾乎達到最大，受拉時，由長絲的伸直產生的向心壓力，促進了纖維間的彼此抱合，因此紗線強力比併撚紗高、條幹均勻、紗線毛羽少[15]且具有高強力和低伸長的特性[16] ，因此以平行排列的高強力聚乙烯複合纖維長纖維束作為芯紗，以中空錠子式撚線機所製成的包繞紗成品，必能維持高強力聚乙烯複合纖維原本之高強力，達到高強力聚乙烯複合纖維包繞紗成品高比強力之目標。但前述所提沒有經過變形的、無撚的連續長絲紗束，不具有良好的覆蓋能力、觸感、舒適感和愉快的外觀等等缺點，且高強力聚乙烯複合纖維表面非常光滑，摩擦係數小，纖維之間抱合力低，不易織造，造成加工不易之困擾，以及經由高強力聚乙烯複合

纖維製成之紡織品難以染色，限制其在外觀要求之應用領域。針對上述缺點本研究擬使用中空錠子式撚線機製造 UHMWPE/C 包繞紗，並探討 UHMWPE/C 包繞紗之性質。

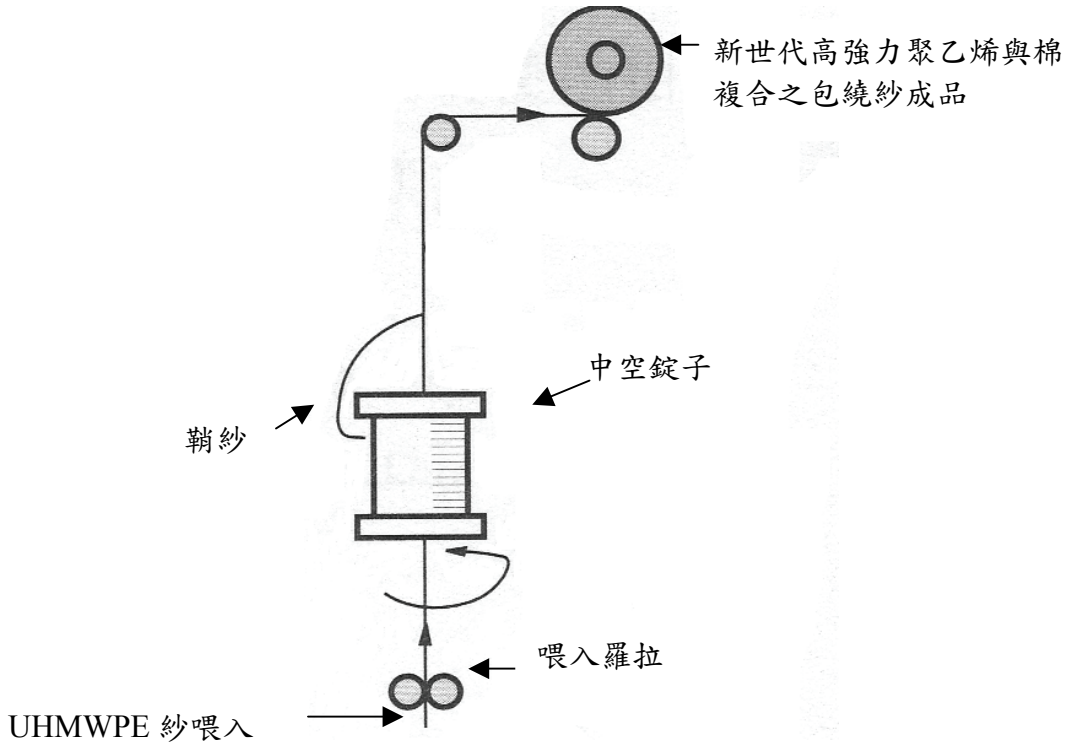
二、實驗

2.1 UHMWPE/C 包覆紗之製備

針對高強力 UHMWPE 表面過於光滑，摩擦係數小，纖維間抱合力低，不易織造等缺點，乃製備高強力聚乙烯與棉複合之包繞紗，選用德國 Saurer-HAMEL-1000 型中空錠子式撚線機（圖七），該設備主要特點為，於加撚包繞過程中不需使用鋼絲圈，且包繞過程在密閉空間進行，不受車間氣流、飛花影響，因此包繞成紗過程能穩定進行，此可使包繞之 UHMWPE/C 包覆紗外觀兼具舒適手感、耐磨、易染色織造與高強力等特性。而 UHMWPE/C 包覆紗之包繞原理：將 UHMWPE 作為芯紗（Core Yarn）由餵入羅拉導入中空紡錠中，沿著中空錠子的內部進入中心，再從中空錠子的中心穿出；包覆用棉紗（鞘紗-Wrapping Yarn）則從固定的筒子引出，經過管座的自由端引入 UHMWPE 紗形成高強力聚乙烯與棉複合之包繞紗（如圖八所示）。



圖七：中空錠子式撚線機側照



圖八高強力聚乙烯與棉複合包覆紗之包繞紡紗原理

2.2 UHMWPE/C 包覆紗強伸度及比強力之試驗

UHMWPE/C 包覆紗強伸度之試驗標準是採用萬能強力試驗機（弘達儀器股份有限公司）並依 ASTM 標準 D 2256-97 試驗法[17]，將測試之樣本 UHMWPE/C 包覆紗剪成約 30cm 長之長度夾於 10kg 荷重之夾頭且兩端夾頭距離為 25cm 之萬能強力試驗機上，紗之底端施以 4g 的初荷重，使紗保持平直，夾緊於兩頰頭後並以 25mm/min 之定拉伸速率進行測定紗線之斷裂荷重(F)及伸度(Δλ)。將所測得之斷裂荷重值除以紗線密度(丹尼)數即為比強力，而將被拉長之伸長量與原長之比值稱為應變，應變百分率即為伸率，其式子如下所示：

比強力(g/d) $=\frac{F}{D}$ (1)

應變$=\frac{\Delta\lambda}{L}$(2)

伸率$=\frac{\Delta\lambda}{L}\times 100$ (3)

其中 F：紗線之斷裂荷重，D：紗線丹尼，Δλ：伸度(被拉長之長度)，L：原長

2.3 UHMWPE/C 包覆紗棉節、毛羽數與非均勻度(U%)之試驗

本試驗方法是依據 ASTM D1425-89 試驗法[18]，將測試之樣本 UHMWPE/C 包覆紗之棉節、毛羽數與非均勻度(U%)之測定分別採用 shirley hairiness instrument (USTER UT3B)毛羽試驗機 紀錄毛羽長 3mm 以上之缺點數並以每 10 公尺之長度為一紀錄單位，將 UHMWPE/C 包覆紗連續測試 10 次，並以平均值表示之；另 UHMWPE/C 包覆紗棉節與非均勻度(U%)之試驗係採用 USTER 均勻度試驗儀以表其 UHMWPE/C 包覆紗之條幹均勻之情況，此可評價紗線之品質以確保織物布面外觀之優劣情形。

$$U\% = \frac{\left|x - \bar{x}\right|}{n} \times 100 \qquad (4)$$

$$CV\% = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \qquad (5)$$

2.4 UHMWPE/C 包覆紗支數之試驗

紗線支數即表示紗線之粗細程度而言，而有關紗線支數之定義有間接制(或稱為定重制)之單位質量之長度及直接制(或為稱定長制)之單位長度之質量，一般紗線支數所提到的丹尼(denier)或德士制(tex)均是屬於定長制之一種，所不同僅是其單位長度不同而已，丹尼之定義為 9000m 時重多少公克即為多少丹尼，而德士之定義為 1000m 時重多少公克即為多少之德士，故兩著間之差別僅在其單位長度（丹尼之單位長度為 9000m，而德士之單位長度為 1000m)；同樣在 定重制中所提之支數有分英制及公制，而英制中亦因不同原料中其單位長度亦不同，如原棉紗、人造棉紗，或其他人造纖維和原棉所混合所紡成之混紡紗其所使用之紗線支數均為英制棉支數(Ne)，其定義為每英磅紗線長若干(x)倍數之單位長度，稱為若干(x)支，被表示成 x’s，此處之單位長度為 840 碼(840y)；若對公制支數而言，則以 Nm 表之，其定義為每公斤重紗線長若干(x)倍數之單位長度長稱為若干(x)支，亦被表示成 x’s，此處之單位長度長則為 1000m[19]。換言之，無論採用哪一種系統在檢驗支數時，均是對紗線之長度及重量加以測量。

本試驗方法是依據 ASTM D1907-89 試驗法[20]，將測試之樣本 UHMWPE/C 包覆紗在標準環境下亦即相對溼度 65±2%、溫度 20±2℃下置放 24 小時後，利用搖紗機搖取 80 圈計 120 碼長並利用分析天平秤重，其所得之重量依定重制系統之支數運算公式算出支數(Ne)；或利用定長制支數之運算公式即可得紗線之支數(N)，此處。

定重制系統之支數運算公式：$N=\frac{L\times w}{l\times W}$ (6)

定長制支數之運算公式：$N=\frac{l\times w}{L}$ (7)

兩者公式中之 L：樣本之長度；l：系統之長度單位；W：樣本在標準狀態環境下之重量；w：系統之重量單位[19]。

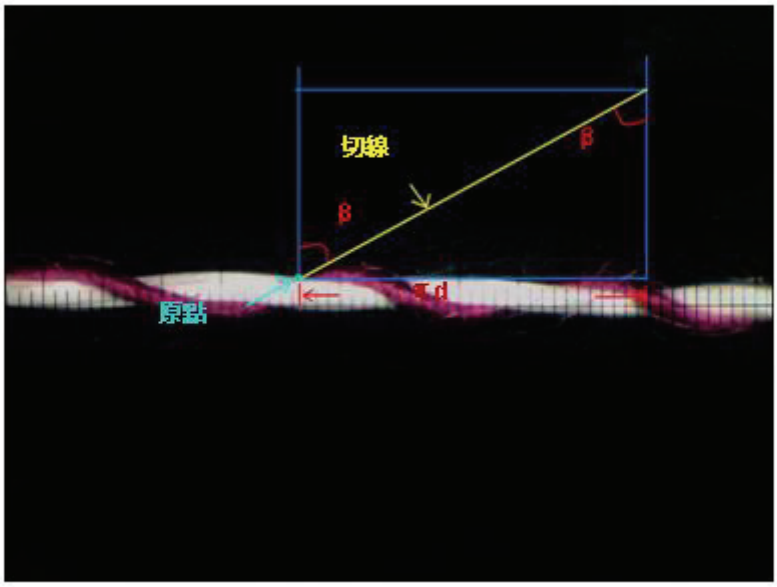
2.5 UHMWPE/C 包覆紗撚度角之試驗

在研究織物幾何學中，紗線的直徑是一項重要的尺寸，首先必須假設紗的橫斷面為圓形，但是在與其它紗線交會時會被扭曲，隨後再擠壓時也會變成扁平狀。Peirce 在其有關織物幾何學論文中[21]，假設紗支斷面為圓形，但因紗在交會時會被壓扁，因此 Kemp 在其論文中[22]將紗線斷面是為橢圓形猶如田徑場，亦即兩邊為半圓之長方形，不過因 UHMWPE/C 包覆紗僅是交撚紗線，於此僅考慮斷面為圓形。當一根纖維以螺旋狀路徑位於芯紗之表面，剛好繞著紗軸旋轉一圈，因而包覆紗撚度角(β)是纖維所呈螺旋切線與紗軸間的角度。測試方法：

將 UHMWPE/C 包繞紗擷取約十五公分，再將 UHMWPE/C 包繞紗兩端施與相同張力，置於 MBS-10 實體顯微鏡下，觀察其包繞情形。

將截取到的 UHMWPE/C 包繞紗圖片，從 UHMWPE/C 包繞紗原點畫一切線，相交於一切點，再以量角器量測 β 角度，每一 UHMWPE/C 包繞紗各量測 10 次，求其每一 UHMWPE/C 包繞紗平均值，即可獲得 UHMWPE/C 包繞紗的撚度角(圖九)。

圖九.撚度角測試方法



7

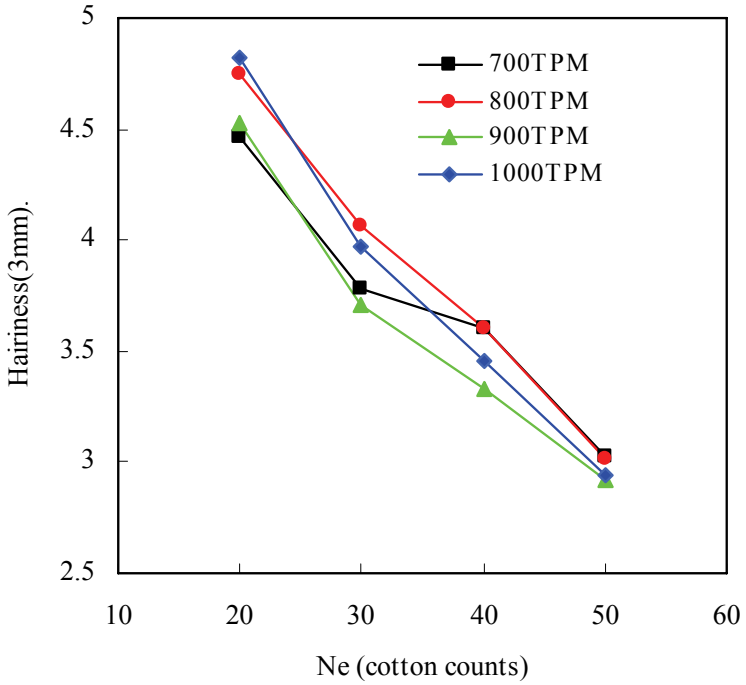
三、結果與討論

3.1 UHMWPE/C 包覆紗之包繞支數與包繞撚度對 Neps、Hairiness 、U%之影響

在紗線中粗節、細節及棉結的多寡是展現紗線重要品質之因子之一，因為粗節與棉粒會影響織物布面外觀之優劣，而細節則會影響織機之效率，此外毛羽數是影響織機效率的重要品質之另一因子，因為當毛羽過長且過多時，容易造成在織造中相鄰之經紗易產生相互糾纏而造成開口不清導致斷經效應，不但影響織機效率更影響因斷紗產生之布面外觀及品質，特別是高級織物影響尤甚。另外紗線之均勻度(U%)亦是影響布面外觀及品質之重要因子，在紗線品質中均勻度(U%)、粗節、細節、棉結及毛羽長短與數目是表示紗線品質好壞之重要因素，故本研究針對 UHMWPE/C 包覆紗這幾項性質評估其包繞紗之品質。

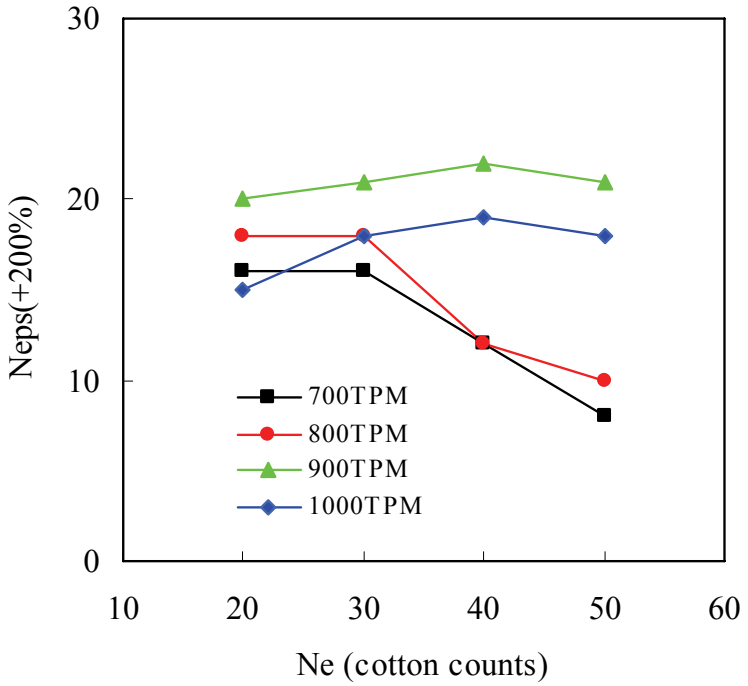
圖十~圖十二分別是包繞之支數在各種不同之包繞撚度下對毛羽數、棉粒及均勻度之關係。從圖十中可很清楚的看出無論在何種包繞撚度下，其毛羽數均隨棉紗支數(Ne)之增加而降低。而無論在何種之支數下(此處之支數範圍為 20’s~50’s)其包繞撚度似乎對包繞紗線之毛羽數沒有任何影響。由於 UHMWPE 是長絲，沒有毛羽之問題，因此其毛羽數主要是包繞於 UHMWPE 外面之棉紗，若棉紗之毛羽數少，則其所包繞之包覆紗毛羽數相對亦較少，是故無論毛羽數與包繞撚度較沒關係。但毛羽數一般而言與棉紗支數有關係，因為棉紗支數愈高其要求之品質愈高，所使用之原棉品質較長且較好，其所紡出之毛羽數長度及數目相較於

低支棉紗來得短且少，而在本實驗中亦得到相類似之結果，亦即每 10m 中 3mm 長之毛羽數無論在何種之包繞撚度下隨包繞之棉支數愈高而降低，而與包繞撚度多少較無關係。



圖十：UHMWPE/C 包覆紗之包繞棉紗支數與包繞撚度對包覆紗毛羽數之影響

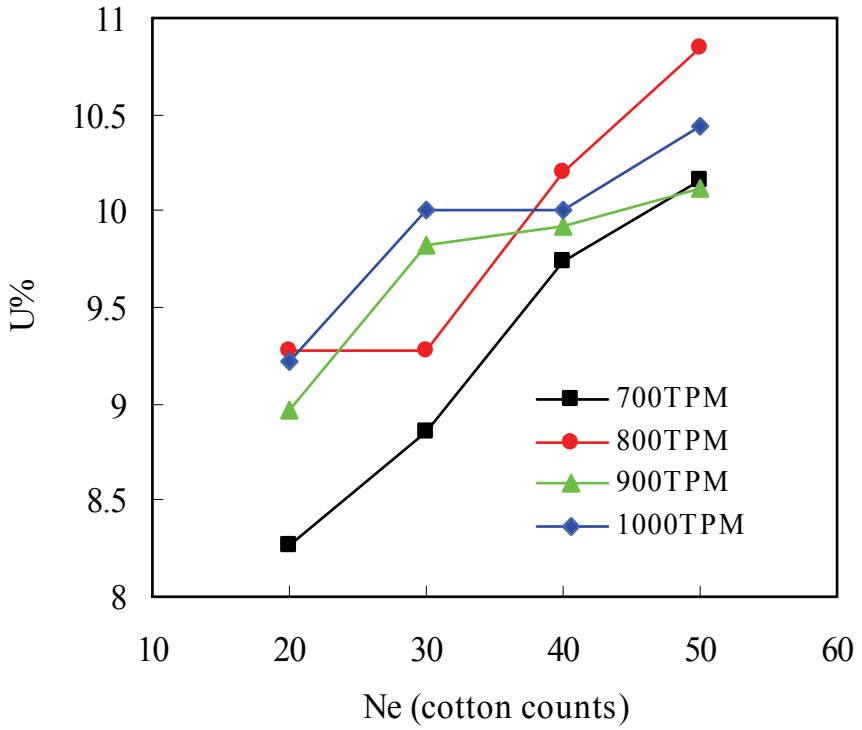
圖十一為 UHMWPE/C 包覆紗之包繞棉紗支數與包繞撚度對包覆紗棉粒之影響。從此圖結果很明顯看出其棉粒數與包繞棉紗支數與包繞撚度沒有一定之趨勢可言。如前段所述，一般棉粒之形成均在短纖維原料在採收過程中或於紡紗過程時為去除雜物，纖維受梳理或摩擦過度導致纖維之糾纏而造成的，因此，UHMWPE/C 包覆紗中之 UHMWPE 因為長絲不可能會產生棉粒，除非 UHMWPE 長絲斷裂，方會因斷裂之紗頭糾纏而產生棉粒，但因 UHMWPE 長絲為一耐磨性、超高強力之人造絲不容易在加工過程中被刺斷或拉斷，故其 UHMWPE/C 包覆紗中之棉粒完全可說其來源是包繞於包覆紗外頭之棉紗。就棉紗支數而言，當支數愈高時其要求之原棉等級越高，原棉長度愈長，品質愈好，若是在正當之紡紗過程時期棉粒數相對較少，但相對的因棉紗支數愈高其棉紗直徑愈小，其棉粒大小達到棉紗直徑之機會愈大，換言之，其所產生之棉粒完全取決於棉紗之原料加工過程與原棉之品質以及包繞之棉紗支數之相互影響織結果而定，故於此僅就其棉紗支數與包繞撚度對其棉粒之影響時則無法展現其一定趨勢之結果。



圖十一：UHMWPE/C 包覆紗之包繞棉紗支數與包繞撚度對包覆紗棉粒之影響

一般所謂均勻度(evenness, regularity)或非均勻度(irregularity)，都是指以各種機器所紡成紗線不均勻的程度(degree of uniformity)。吾人了解，紗線的某些性質具有變異性，如每單位長度之重量，撚數，直徑，強力等，這些性質多多少少彼此互有關聯，不過，欲以數字式來評價非均勻度，最普遍的還是考慮每單位長度之重量，如此，不但紗線適用此種方法來量度非均勻度，棉捲、棉條、及粗紗等亦可採用。因此一般材料將之切斷成各種長度，每一種長度之重量可以測出而求其平均值及各值與平均值之偏差以計算平均偏差(mean deviation)並導出平均偏差百分比(percentage mean deviation 簡稱 P.M.D.)當做非均勻度之一種量度，亦即所謂之U%。而本實驗並非用上述方法求得U%，而係以使用Uster儀器測出變異軌跡而計算其P.M.D.或變異係數(C.V.)，而P.M.D與變異係數(C.V.)之關係C.V.=1.25P.M.D.，此兩者均可表示非均勻度。一般而言，紡製同一支數紗，若選用較好之原棉，則其非均勻度值將較一般原棉所紡製成的紗支 U%為低。本實驗之U%測試結果如圖十二所示，UHMWPE/C 包覆紗之包繞撚度對其包覆紗之U%並沒有直接之關係，雖然包繞撚度愈多其包繞之棉紗長亦較長，僅是所測試之棉紗較長而已，但相對可能發生變異則未必較多，因此U%與包繞之撚度並無一定之關係。但若以棉紗支數而言，因棉紗支數愈小代表紗線愈粗，其每單位長度之重量

較大，但如上述所言，其紗線之不均勻是指單位長度重量之差異除以單位長度重量，因母數較大固其值較小，換言之，支數愈低其 U%值愈小。而本實驗圖 12 中有關包繞撚度與包繞棉紗支數對 U%之影響中亦如上述之理論結果一致，亦即 U%隨包繞棉紗支數之增加而增加，而 U%與包繞之撚度並無一定之趨勢。



圖十二：UHMWPE/C 包覆紗包繞撚度與包繞棉紗支數對 U%之影響

3.2 UHMWPE/C 包覆紗之包繞支數與包繞撚度對斷裂荷重、斷裂伸度與比強力之影響

一般沿一試樣之軸向施以一荷重時，此試樣會受到一張力，荷重通常表克重(grams weight)或磅重 (pounds weight)，就像力(force)的重力單位(gravitational units)，但一般會將克重或磅重之重字省略，本實驗以克表示其紗線所能承受拉張荷重稱之斷裂荷重。將所施荷重除以試樣橫斷面積則稱為應力(stress)，但由於許多纖維及纖維結構之斷面形狀不規則，不易測出其斷面積而係以纖維之線性密度代替，而線性密度則為每單位長度之質量，其可表之為丹尼(Denier)或德士(Tex)，而此時紗線所受之拉張力量或荷重與線性密度之比值則稱為質量應力(mass stress)，而紗線在斷裂時之質量應力則稱之為強度(tenacity)或比強力(specific strength)；斷裂長度是指試樣垂直懸掛時，施以一定荷重，試樣會受某種程度之拉長，此被拉長之長度稱為伸度(elongation)，而伸度與原

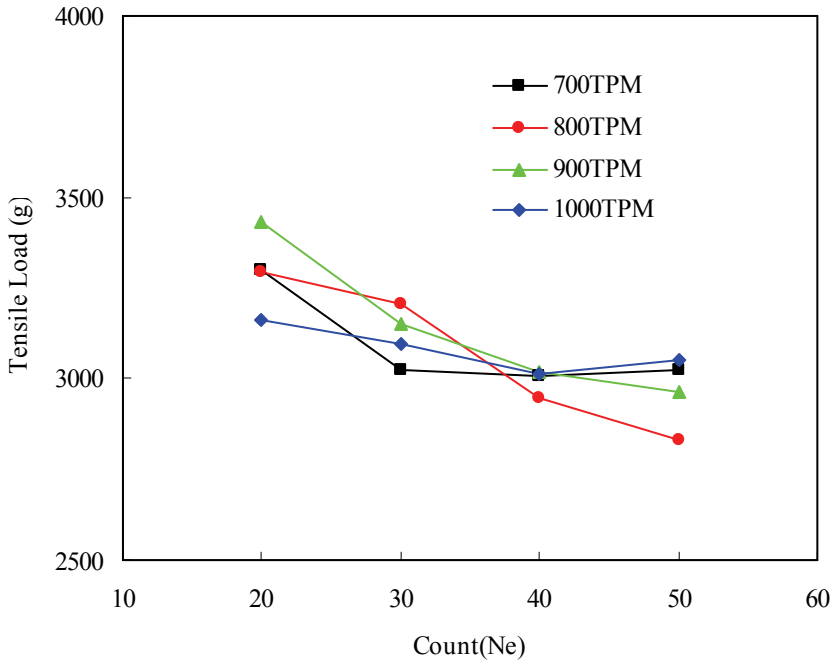
長度之比值則稱為應變(strain)，將應變以百分比表示，即為伸率(extension)。

圖 13~18 分別是 UHMWPE/C 包覆紗包繞撚度與包繞棉紗支數對拉張荷重、拉張強度、伸度及伸率(應變百分率)之影響。從圖十三中可看出無論任何包繞撚度與包繞棉紗支數，UHMWPE/C 包覆紗之拉伸斷裂荷重均低於 3500g，此意味著 UHMWPE/C 包覆紗之拉伸斷裂荷重低於無包繞棉紗之 UHMWPE 紗之拉伸斷裂荷重，因 UHMWPE 紗之拉伸斷裂荷重每丹尼可承受 35g 之拉伸斷裂荷重，由於 UHMWPE/C 包覆紗所使用之 UHMWPE 是 100 丹尼，故純 UHMWPE 丝即可承受 3500g 之拉伸斷裂荷重，由此可知，UHMWPE 丝包繞棉紗，其棉紗提供在 UHMWPE/C 包覆紗之拉伸斷裂荷重相對於 UHMWPE 丝可說相當小，甚至小到可忽略。但為何 UHMWPE/C 包覆紗之拉伸斷裂荷重會小於 UHMWPE 之拉伸斷裂荷重呢？其因可能是當 UHMWPE 被棉紗包繞後，由於 UHMWPE 受棉紗擠壓而略為變形，此可從 UHMWPE/C 包覆紗之 SEM 圖(如圖十四)可觀之，使其在長軸向之總拉伸斷裂荷重變小，且包繞之棉紗所提供在長軸向之拉伸斷裂荷重無法完全彌補 UHMWPE 被棉紗包繞其拉伸斷裂荷重之損失，固其 UHMWPE/C 包覆紗之拉伸斷裂荷重會小於 UHMWPE 之拉伸斷裂荷重。另從圖十三中亦可觀察出抗張斷裂荷重無論在任何包繞撚度之下會隨包棉支數之增加而下降，但在任何包繞相同之棉支數，其拉伸斷裂荷重受包繞撚度之影響並沒有一定之趨勢。此可能之原因是當包繞之棉支數愈低時紗線愈粗，其相對提供在長軸向之抗張荷重較大，因此 UHMWPE/C 包覆紗之拉伸斷裂荷重會隨包棉支數之增加而下降。包繞撚度愈高代表其單位長度被包繞支棉紗量愈多，但就其 UHMWPE 之變形量而言並未增加，此可從 UHMWPE/C 包覆紗之 SEM 圖(如圖十五)可觀之。就 UHMWPE/C 包覆紗之拉伸斷裂荷重之影響，其影響是當被包繞棉紗時其對芯紗所產生之變形大小而非變形密度，雖說包繞撚度愈高對變形芯紗所產生之變形密度較大，但並未使其變形量增加，因此其拉伸斷裂荷重受包繞撚度之影響並沒有一定之趨勢。

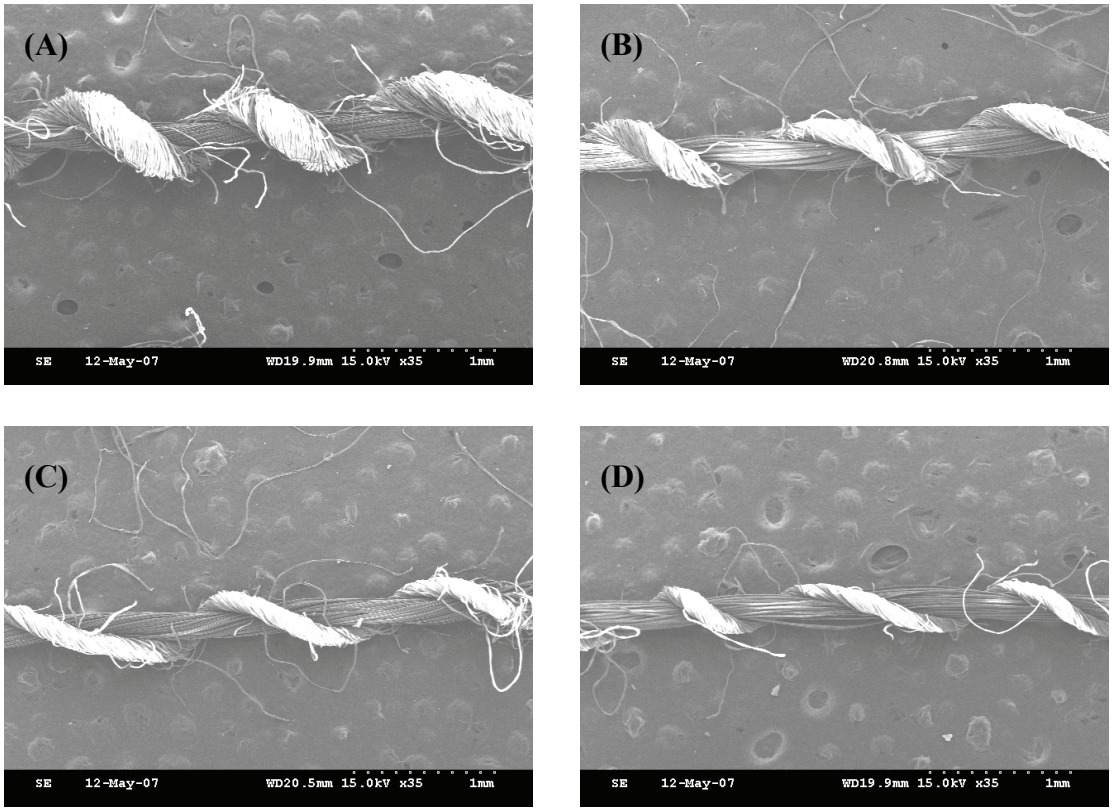
圖十六 UHMWPE/C 包覆紗包繞撚度與包繞棉紗支數對拉張強度之影響中可看出拉張強度隨著包繞棉紗支數之增加而增加，同樣的包繞撚度對對拉張強度之影響並沒有一定之趨勢。其主要之原因已於上述包繞撚度與包繞棉紗支數受拉張荷重之影響討論過。由於拉張強度係拉伸斷裂荷重除以 UHMWPE/C 包覆紗丹尼數，因此 UHMWPE/C 包覆紗之拉伸斷裂荷重雖受棉紗支數之降低而增加，但其所除包覆紗之丹尼數較大，故其結果是拉張強度隨著包繞棉紗支數之增加而增加，而包繞撚度對對拉張強度之影響並沒有一定之趨勢。

圖十七、十八分別為 UHMWPE/C 包覆紗包繞撚度與包繞棉紗支數對拉張伸度及應變百分率之影響。從此兩圖中可看出包繞撚度與包繞棉紗支數對拉張伸度及拉

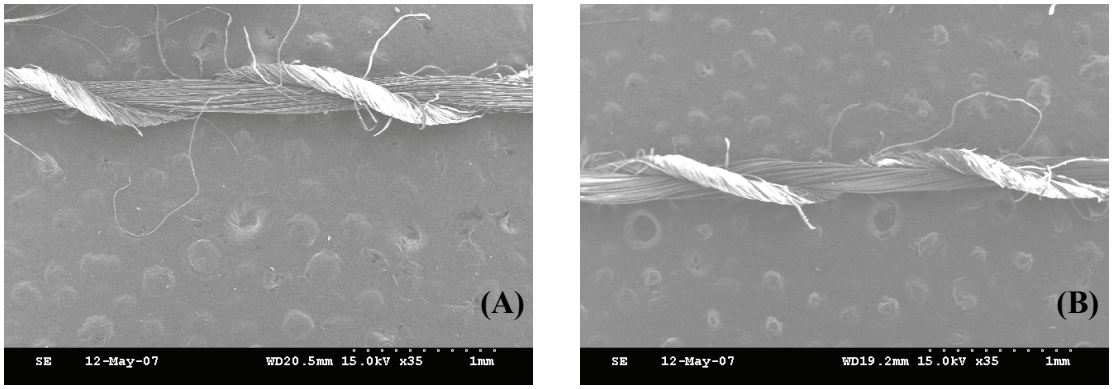
張應變百分率之影響圖形均一樣，此主要是拉張應變百分率之定義為拉張伸度除以原長之百分率，故其趨勢圖形均一樣。從圖形中 UHMWPE/C 包覆紗之拉張伸度受包繞撚度與包繞棉紗支數之影響並沒有一定之趨勢，但純 UHMWPE 之伸率(應變百分率)僅 3.5%，而 UHMWPE/C 包覆紗之伸率則可達 13~18%，換言之，UHMWPE 經棉紗包繞會受棉紗擠壓而變形，此從圖十四、圖十五之 SEM 可觀之，因此提供了 UHMWPE/C 包覆紗之應變伸長。因為 UHMWPE/C 包覆紗之應變伸長受包繞支數、包繞撚度、以及包繞時之張力大小之綜合結果，故難以單一因素之影響來論述其影響結果，因此其綜合結果顯示，拉張伸度及應變百分率沒有隨著單一之包繞撚度與包繞支數而有一定之影響趨勢。

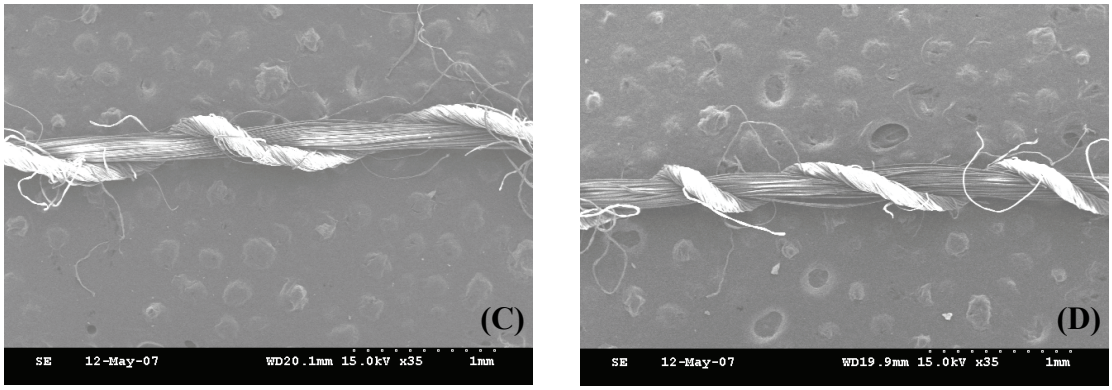


圖十三：UHMWPE/C 包覆紗包繞撚度與包繞棉紗支數對受拉張荷重之影響

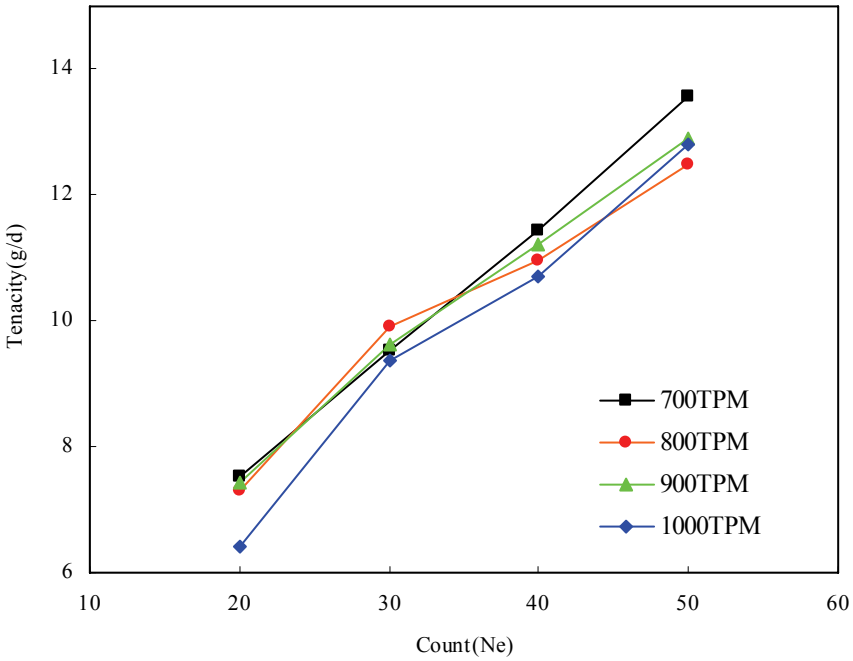


圖十四：UHMWPE 包繞各種棉支數在 1000TPM 下包覆紗之 SEM 圖 (A)：20’S (B) ：30’S (C)：40’S (D)：50’S

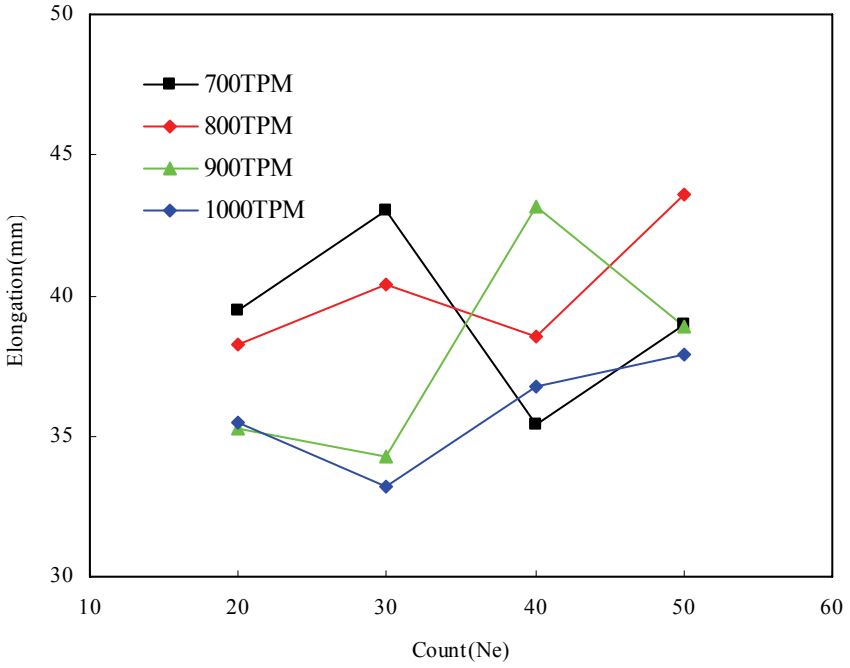




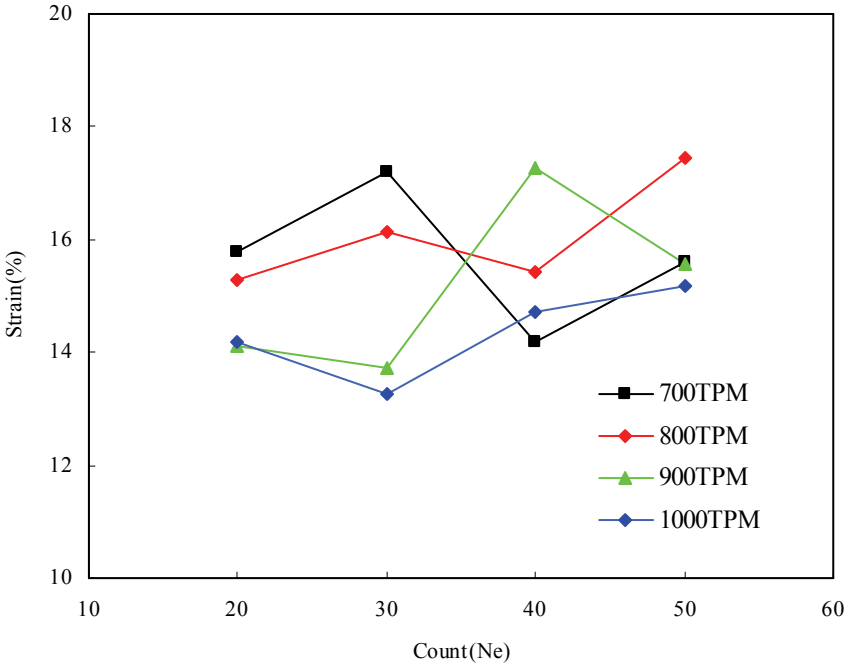
圖十五：UHMWPE 包繞 50'S 棉支數在各種包繞撚度包覆紗之 SEM 圖 (A)：700TPM (B) ：800TPM (C)：900TPM (D)：1000TPM



圖十六：UHMWPE/C 包覆紗包繞撚度與包繞棉紗支數對拉張強度之影響



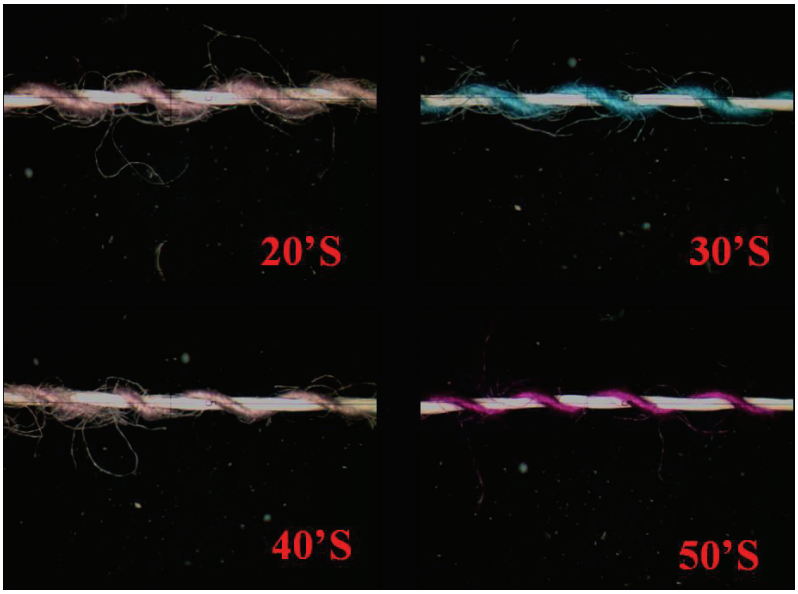
圖十七：UHMWPE/C 包覆紗包繞撚度與包繞棉紗支數對伸度之影響



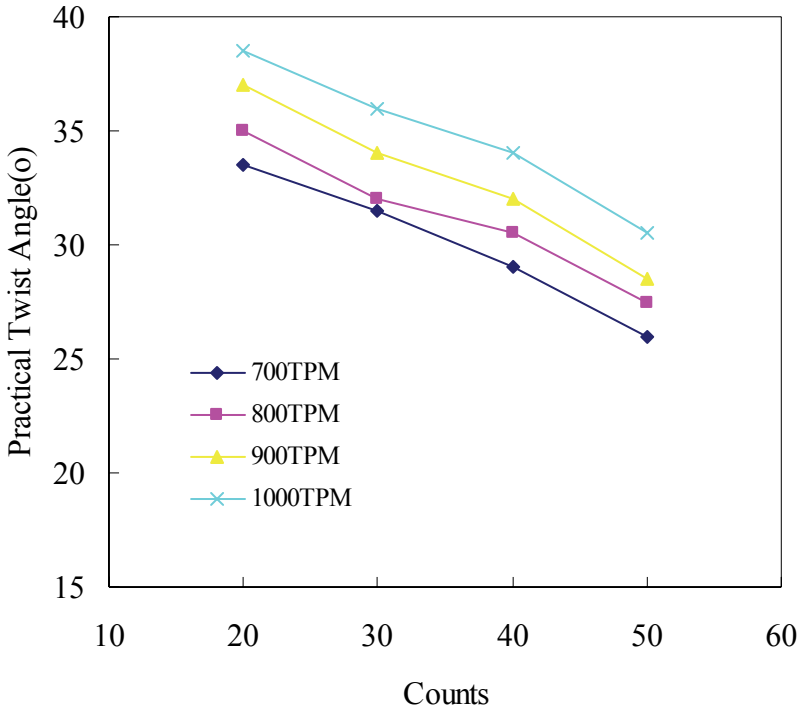
圖十八：UHMWPE/C 包覆紗包繞撚度與包繞棉紗支數對應變百分率之影響

3.3 UHMWPE/C 包覆紗之包繞支數與包繞撚度對包繞撚度角之影響

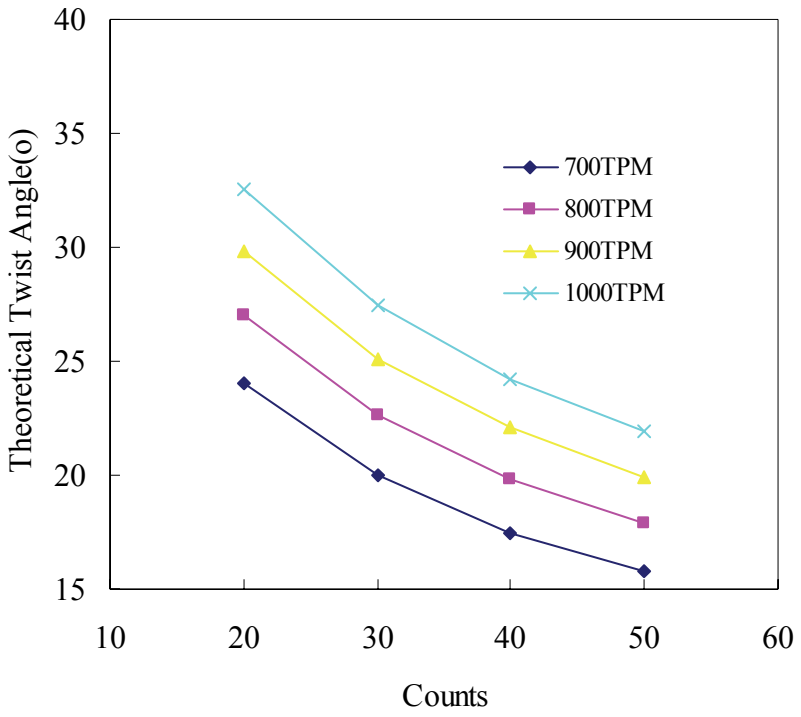
為更進一步探討包繞棉紗之舒適性，本研究利用光學顯微鏡量測不同包繞棉紗支數與包繞撚度對撚度角之影響，依據本實驗所使用之 MBS-10 實體顯微鏡觀察棉紗包繞情形，圖十九是在包繞撚度 1000TPM 下各種棉紗支數(20’S~50’S)包繞 UHMWPE 絲所形成之 UHMWPE/C 包覆紗，並利用如圖九之量測方式量測包繞紗線與包覆紗軸向之夾角，此即為所謂之撚度角。圖二十與圖二十一分別是實際量測與利用 Peirce 理論所推算在各種棉紗支數(20’S~50’S)與包繞撚度對 UHMWPE/C 包覆紗撚度角之關係。從此兩圖中觀之，包覆紗之撚度角隨棉紗包繞之支數增加而降低，但撚度角則隨包繞撚度之增加而增加，此實際量測與理論推算趨勢一致，所不同只是其值之大小而已，此可能因 Peirce 理論在推算棉紗直徑時，是利用高密度之棉布，且棉布經過經緯交織，紗線被擠壓較為嚴重，其相對未經經緯交織之棉紗直徑較小，故經由理論值所推算之棉紗直徑較小，因此其相對應之撚度角較小。另外，由於包繞撚度愈增加時，其單位長度之 UHMWPE 絲被棉紗包繞之圈數愈多，其撚度角愈偏向徑向(亦即偏離軸向)，因此撚度角隨包繞撚度之增加而增加。反之，當包繞之棉紗支數愈高，其棉紗直徑愈小，πD 值愈小，因此撚度角隨包繞棉紗支數之增加而降低。又從圖十四~十五之 SEM 中可看出 UHMWPE 絲經包繞棉紗所形成 UHMWPE/C 包覆紗，其紗表面含有很多之毛羽且表面較為粗糙，此有助於 UHMWPE/C 包覆紗之織造。又從圖 19 中可看出經包繞棉紗所形成 UHMWPE/C 包覆紗，因棉紗可先行染成各式各樣之顏色再行包繞，故可製成各種顏色之 UHMWPE/C 包覆紗。



圖十九 UHMWPE/C 包覆紗在包繞撚度 1000TPM 下各種棉紗支數(20'S~50'S)包繞 UHMWPE 絲所形成之 UHMWPE/C 包覆紗



圖二十 UHMWPE/C 包覆紗之包繞支數與包繞撚度對包繞撚度角之影響



圖二十一 利用 Peirce 理論所推算 UHMWPE/C 包覆紗之包繞支數與包繞撚度對包繞撚度角之影響

四、結論

針對高強力 UHMWPE 絲表面過於光滑，摩擦係數小，纖維間抱合力低，不易織造等缺點，乃製備高強力聚乙烯與棉複合之包繞紗，為確保包繞及包覆紗之品質則選用德國 Saurer-HAMEL-1000 型中空錠子式撚線機進行對 UHMWPE 絲之包繞而形成 UHMWPE/C 包覆紗，並透過包覆撚度及包覆棉紗支數之變化使包覆紗隨著包覆棉紗支數之降低及包覆撚度之增加時，UHMWPE/C 包覆紗之丹尼數及包繞角度隨之增加，拉張斷裂荷重及毛羽數亦隨包覆棉紗支數之降低及包覆撚度之增加而增加比強力、U%則隨包覆棉紗支數之降低及包覆撚度之增加而降低；至於伸度、應變百分率受棉紗支數及包覆撚度之影響則無明顯之趨勢，但很明顯地兩者之性質 UHMWPE/C 包覆紗遠優 UHMWPE 絲而改善單獨用 UHMWPE 長絲紗之物性有:1. 使紗線具有染色性，增加紗線色彩多樣化。2. 紗線伸長率可從原先之 3.5%增加到 12~17% 。3. 改善 UHMWPE 表面過於光滑，摩擦係數小，纖維間抱合力低等不易織造之缺點。

五、References:

1.姚興川編譯, 新式紡紗基礎學, 大學圖書,1973,p.144

2.Phyllis G.Tortora,Billie J.Collier.Understanding Textiles,Merrill prentice hall press,1997,p.243

3.俞瑞圖, 康沛然編譯, 花式紗線, 紡織工業出版社,1987p.115

4. R Audivert. Advantages of staple-fibre yarns covered with filament.Texti1e Institue and Industry.1974.12(9):271-272

5.姚洪興編譯 ・新型 V 行紡紗機介紹 國外紡織技術 1988.（1）：43

6. Suessen production lines for PL-yarns.TextileWorld,1991,141(2):31-32

7.昊文英譯 ・PLYGL .Siro 紡以及傳統紡紗系統所紡羊毛紗的牽伸和均勻度・國外紡織技術 ・1993.（1）：11-14

8. 王瑞，狄劍峰，平行紡、自撚紡、渦流紡和靜電紡的技術竹分析發展趨勢 ・天津紡織科技 ・1993.（1）:50-51

9.劉振山 ，平行紡紗機及其包纏紗產品・黑龍江紡織，1992，(4).51-52

10. WeisserH,Czapay M. Production of wrap spun yams and Ply-yanrns by the wrap spinning process and use of this process in spinning and doubling. Melliand Textilberichte International, 1983, 12(9) : 591 ~ 595

11. 楊俊霞，張力 包纏紗織物的設計與生產・中國紡織工業研究中心：紡織速報・1990.11 (12):32-34

12. Audivert R, Fortuny E. Filament-reinforced differential twist yann. Textile Institule and Industry, 1979, 17(8); 286-287

13 Audivert R, Furluny E. Properties of filament-reinforced differential-twist woollen yams. Textile Institute and Industry, 1979.17(9): 325-326

14. Y. Xie.W. Oxenham, P. Grosberg, 24-A Study of the Strength of Wrapped Yams Part 1: The Theoretical Model, J. Text. Inst. , No. 5,1986,295-304

15. 袁義淑，閻友隸:包纏紡紗及其應用，〔毛紡科技〕.No・1，1985,8-12

16.Hearle, J.W.S. and V.B. Merchant, 〝Interchange of position among the components of a seven-plystructure-mechanism of migration〞 J.Text.Inst.,1962,531-537

17.UHMWPE/C 包覆紗強伸度及比強力之試驗,ASTM D 2256-97 試驗法

18.UHMWPE/C 包覆紗棉節、毛羽數與非均勻度(U%)之試驗,ASTM D1425-89 試驗法

19. 蔣敏洵, 紡織檢驗原理與方法，國彰出版社 1988, P222-224
20. UHMWPE/C 包覆紗支數之試驗, ASTM D1907-89 試驗法
21. Peirce, 織物幾何學紗線的直徑, J.Text.Inst. , T45, 1937, P28.
22. Kemp, 織物幾何學紗線的直徑 J.Text.Inst. , T44, 1958, P49.