



鑽鉸孔加工刀具

碳纖維與玻璃纖維材質加工



前言

纖維增強複合材料具有高的比強度和比剛度、抗疲憊性能好、減振性能好、斷裂安全性好質量輕、耐腐蝕以及抗磨損等特性，其最大優勢是賦予材料可剪裁性，複合材料的競爭力不斷增加，應用領域不斷擴大，在交通運輸工具及相關裝置、工業裝置、醫用材料、科學研究用特種裝置、建築領域、航空航太設備和儀器、飛行器和體育運動、休閒娛樂用品等方面都有廣泛應用。

纖維增強複合材料發揮著越來越重要的作用，其切削加工面臨問題隨之重要，其纖維增強複合材料切削特點為切削溫度高，刀具耐用度低，且加工精度和表面粗糙度不易控制易產生高溫變質和軟化等問題。

其中以碳纖及玻纖使用較為廣泛，目前碧威（股）公司針對其材質，在鑽鉸孔加工方面開發刀具，在刀口幾何與材質切削加工應對上有良好成效。

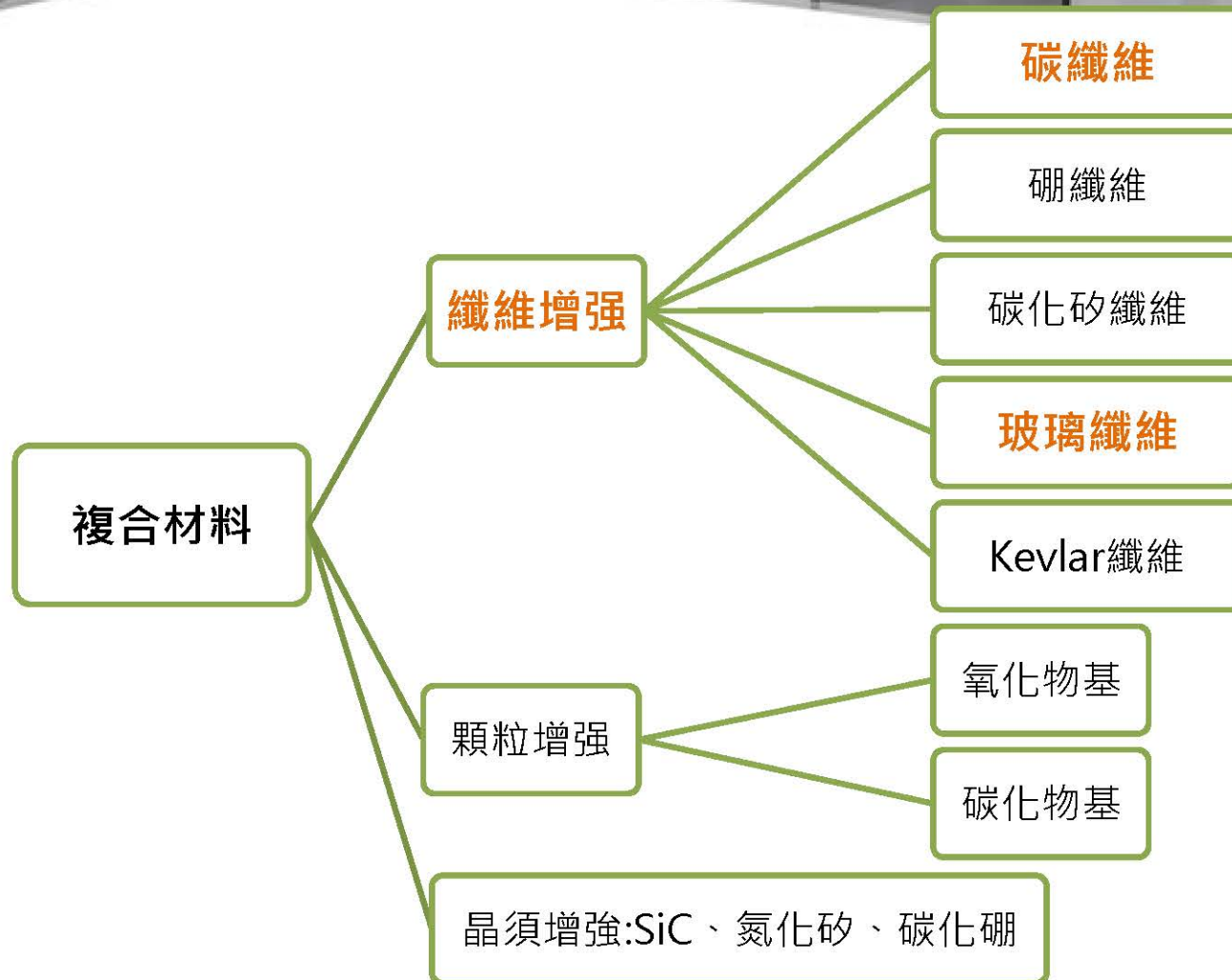
複合材料介紹

- 複合材料定義
- 複合材料產業運用
- 常用的複合材料製造方法

複合材料定義

- 複合材料顧名思義是由兩種以上的材質所組合而成，一般來講，是由基材(matrix)及補強材(reinforcements)所構成。
- 複合材料種類繁多，應用最多的是纖維增強複合材料也叫做纖維增強塑膠(FRP)。高分子一般分為熱塑性塑膠(thermoplastic)及熱固性塑膠(thermoset)兩大類，纖維則有不同的材料及形式，常用的有玻璃纖維、碳纖維、Kevlar纖維、硼纖維...
- 複合材料因纖維補強，具有高強度及質輕之優點，隨纖維排列方向之不同性質亦不同，提高更高之設計自由度。

複合材料定義



複合材料產業運用



常用的複合材料製造方法

■ 預浸材疊層：

預浸材疊層的方法所使用的材料為各種預浸材，預浸材為長纖維及樹脂的混合物，通常是將樹脂均勻的塗包在長纖維上，而長纖維可是單向的，或是雙向編織的。在室溫下，此一材料通常具有一些黏性，並且樹脂容易產生化學反應，因此，都儲存在低溫的環境中，直到疊層完畢後，再加溫使樹脂反應固化。預浸材常見的商業產品，有單向或雙向編織的玻璃或碳纖維，而含浸的樹脂則以環氧樹脂為主。於複合材料的成型上，是將預浸材依設計上纖維的方向，加以裁減，然後一層一層貼在模具上，並加上包裝後，即可進行固化。尖端複合材料在航太上的應用，以使用預浸材疊層(prepreg laminate)的製作方法為主。

常用的複合材料製造方法

■ 樹脂轉注成形：

樹脂轉注成形法(resin transfer molding, RTM)，乃是將纖維先預置 (preplace) 於模具中，再以混合硬化劑後的樹脂注入模具中，接著加熱讓樹脂反應而成化。在製造上，可先將纖維製成預形 (preform)，再將其置入模具中，並將模具預熱，再注入樹脂。

■ 纏繞成型：

快速的將連續性的纖維補強物纏繞在已設計好的模型是纏繞成型法最基本的概念,基本上是一種在旋轉的心軸上,纏繞沾滿樹酯的紗束或由大麻、亞麻作成的纖維的一種製造過程。

常用的複合材料製造方法

■ 模壓成形：

模壓成形包括片狀模造法(sheet molding compound, SMC)、塊狀模造法(bulk molding compound)、及射出模造法(kneaded molding compound)等數種。強化塑膠片狀預浸成形材料，乃以塑脂、填充料、硬化劑與改質劑之糊狀混合物，含浸於玻璃蓆或剪斷的玻璃紗束中，這種片狀預浸材料在常溫可保持三個月左右，SMC材料成形法，是在上下鋼模內疊放數層SMC材料，將模具加熱加壓，使樹脂軟化流動充滿於模具硬化。數分鐘後開啟模具，可得製品。

■ 射出成型：

熱塑性塑膠加熱熔解後，可以混入極短的纖維，然後經由射出成型機將材料注入模具後成形。與傳統的射出成型相同，只是在塑膠材料中均勻混入不同比例的短纖。

常用的複合材料製造方法

■ 拉擠成型：

拉擠成型分為兩類，其一是將多股纖維束並排，導入置有樹脂的容器，使纖維含浸樹脂，然後經一刮片將多餘樹脂刮除，並由模具一端導入模具中，使纖維的截面塑造成模具截面的形狀，經模具加熱固化後，由模具另一端導出，待一定長度後加以截斷。另一法則採用預浸樹脂的纖維，經預熱後於模具中直接加熱固化，再導出模具。至於熱塑性塑膠的拉擠成型，都採用預浸纖維，經模具加熱成形後，必須冷卻至一定溫度後才可導出模具。

■ 熱壓成型：

熱塑性塑膠預浸材經加熱後，因塑膠軟化熔解，而可以採用加壓成型的方式，將加熱的預浸材置於模具上，加壓後使材料貼附模具，而形成模具表面的形狀，此一方法類似板金成形，唯纖維預浸材在受壓時，呈現與金屬不同的反應。

纖維預浸與樹脂

- 複合材料之基材
- 複合材料用環氧樹脂
- 預浸布的製作

複合材料之基材

- 複合材料是基材與強化物所構成，在**高分子複合材料**裡，**基材**代表樹脂，而**強化物**即纖維。
- 基材甚為重要，它除了傳遞力量外，更決定複合材料之諸多性質，譬如複合材料之物性、化性、耐疲勞性、抗衝擊性及耐溫性等，凡此種種皆因使用不同樹脂而決定其性質與用途。
- 一般常用之樹脂有不飽和聚酯、環氧樹脂、雙馬來醯亞胺、聚醯亞胺及熱塑性高分子樹脂等。
- 基材(matrix)在纖維複合材料中的主要功能是傳送應力，保護並固定纖維，使其避免直接的磨擦及侵蝕。通常基材的選擇關係到複合材料將使用的溫度、所需的電氣特性、及使用環境侵蝕作用的大小等因素。

複合材料之基材

常用的高分子基材依其化學特性可分為熱塑性塑膠及熱固性塑膠兩大類：

	熱固性	熱塑性
分子構造	由分子鏈交鏈形成三度空間固體結構，硬化前為短分子，加熱時反應成為架橋的巨大分子。	內部的高分子鏈為線性，長鏈狀構造分子集團而糾纏的構造。
加工時的變化	加熱時先熔融，加壓而流動，成為製品形狀，再以高溫度加熱化學反應成架橋構造，硬化後在加熱，也不熔融，也不溶於溶劑。	會因加熱、加壓，而熔融流動，成為製品形狀冷卻時在回復原來硬度。反覆加熱、冷卻，即可再生，但性質劣化。
樹脂種類	不飽和聚酯樹脂，環氧樹脂，酚樹脂等。	Nylon,PP,PBT,PPO,PC,ABS,PVC 等。
基材製程特性	黏度較低，易製成預浸材，具黏性疊層操作易，纏繞成型較易，溶劑選擇性較廣	樹脂預浸材無壽命限制，儲存環境不需控制，成型週期短，射出成型、熱壓成型等製成較易成型設備、模具成本較低，一般不需後硬化
成品特性	對纖維黏著性較佳較多抗潛變，疲乏數據已建立	韌性佳，不易脫屑，容易修補可重複成型

複合材料用環氧樹脂

環氧樹脂是纖維複合材料良好基材，目前自行車車架碳纖部分基材都是使用環氧樹脂。對於高性能產品的需求，環氧樹脂在積層板與複合材料使用量大增來看，環氧樹脂反應如下之優點：

- 環氧樹脂與填充料、補強材料等有良好結合性
- 環氧樹脂和硬化劑溶劑之種類多，改良空間大
- 環氧樹脂硬化過程中不放出揮發物或者水，因此收縮率比酚醛樹脂或不飽和聚酯樹脂低
- 硬化後環氧樹脂有良好機械性、耐蝕性及電氣性
- 對於纖維等強化物有相當好的黏著性
- 抗濕性佳、抗化學性及抗溶劑好
- 抗疲勞性及尺寸安定性高

市面上複合材料用環氧樹脂規格

項目	A劑	B劑	測試方式
化學成分	環氧樹脂	環氧樹脂	由成分判定
物理狀態	固體	液體	目測
外觀	微黃色液體	微黃色液體	目測
氣味	無味	微氨味	
黏度 · cps	14000±300 (70 °C S14) 100 rpm	22000± 2000 (25 °C S14) 100 rpm	RVDV-I+
比重	1.16 at 25 °C RH	0.98at 25 °C RH	20 /20 °C
PH值	----	---	PH meter SP-701
閃火點 · °C	> 150	> 150	開杯 at 1 atm
色度	----	-----	
沸點 · °C	----	----	760mmHg, °C
蒸氣壓 mmHg	----	-----	,mmHg
蒸氣密度	-----	---	(空氣=1)
溶劑含量 %	0	0	

複合材料用環氧樹脂 (Epoxy) ，具有低流失率、高韌性及剛性，適用於一般RC的玻璃纖維與碳纖維製品，並且適用於OPP外壓法與模具內壓法等不同工法。

	項目	參考值
成品物理性質	抗折強度 MPa	140
	抗折模數 MPa	2600
	伸長量 %	6.1
	衝擊強度(Izod) J/m	55
	玻璃轉換溫度 °C	120
	25°C預浸布壽命	1個月
硬化條件	混合比例	100 : 6
	可使用時間	4hrs/70°C
	硬化條件	150°C/0.5 hr

預浸布的製作

纖維預浸布是由連續長纖及未熟化 (uncured) 的樹脂中所構成，是目前最常用來製作高性能複合材料的原材形式。預浸布是由一系列的纖維束含浸樹脂所構成。其製作方法如下圖所示，纖維束首先合併成所需之含量及寬度，然後經纖維架將纖維均勻的分開，同時樹脂加熱後塗佈在上下離型紙(resin coated interleaf)上。將纖維及塗佈樹脂的上下離型紙同時導入滾輪中，纖維位於上下離型紙之間，借由滾輪的壓力將樹脂均勻的散佈於纖維之間。纖維含浸樹脂後，即經過冷卻或烘乾，經捲取器捲取成捲軸狀，由上下離型紙所包圍的樹脂含浸纖維稱為纖維預浸布。捲取的預浸布需置於控制的溫度溼度環境下膠化至部份反應的階段，此時樹脂呈固體狀稱為B-stage。

註：

- 樹脂內聚合階段: A-stage：樹脂 / B-stage：部份硬化 / C-stage：固化

預浸布的製作

一般在製作纖維預浸布時，樹脂採用兩種加工型式：

	熱熔膠法	溶劑法
製程方式	樹脂加熱，以降低其黏度，便於均勻散佈於纖維之間	樹脂溶於溶劑中來降低黏度，待樹脂含浸纖維後加熱使溶劑揮發
特點	樹脂含量控制容易，可省略烘乾的步驟，且無殘存的溶劑，但樹脂黏度較高，含浸纖維編織物時易造成纖維變形。	投資成本低，製程簡便，但是溶劑的使用易殘存於預浸布中，影響最終複合材料的強度，而且造成環境污染的問題。

碳纖維材料介紹

- 碳纖維材料介紹
- 碳纖維製造流程圖
- 碳纖維機械特性
- 市面上碳纖維紗束材質特性

碳纖維材料介紹

纖維其含 碳量在99%以上者稱為石墨纖維，若在93%-95%之間，則稱為碳纖維。在高溫下，於800~3000°C經特殊處理，以熱分解的方式將預形體(precursor)碳化成碳纖維，預形體的材質有嫆縈(rayon)、聚丙烯睛(PAN)、及瀝青(pitch)，最常用碳纖維80%都是使用PAN系，瀝青系使用也將近15%。目前航空材料、自行車產用比較高階高端之碳纖維原料為聚丙烯睛(PAN)纖維系列。

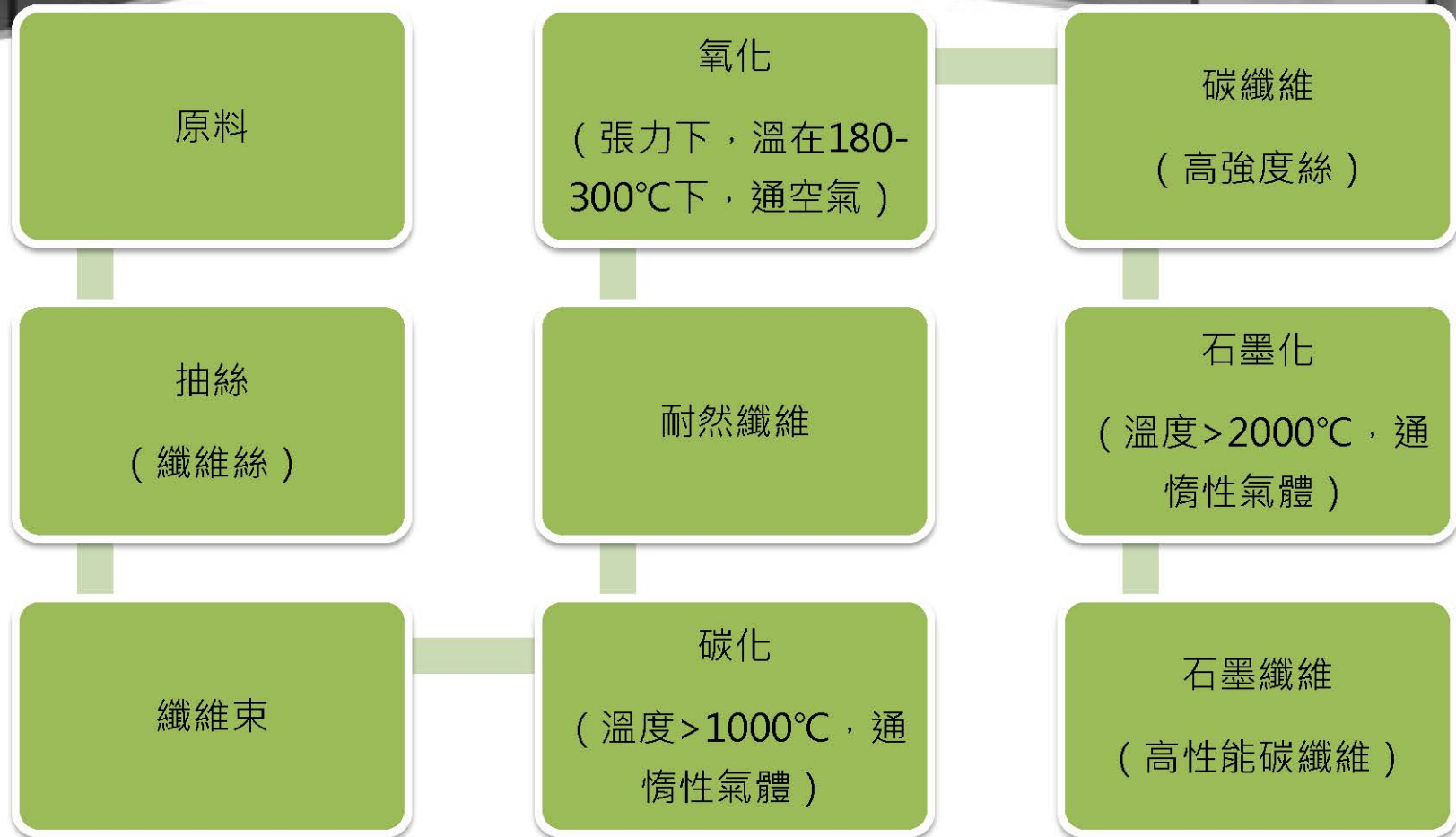
註：

- 嫆縈(Rayon)：最早用來製作碳纖維的原料。
- 聚丙烯睛(PAN)纖維：成本比嫆縈絲低，製作的碳纖維在抗拉強度可達 2.4GPa~3.1 GPa，彈性率 0.2~0.5 GPa。
- 瀝青(pitch)：若將等向性分子瀝青直接做成碳纖維，因分子不具方向性，所以機械性質低，用途有限。如果在 400°C~450°C 的惰性氣體中長期處理，可將瀝青轉換成液晶瀝青(liquid crystal)的形態，因具有優勢的分子順向排列，可製成高性能的碳纖維。

碳纖維製造

- 嫻縈(Rayon)：將嫻縈絲放在惰性氣體中，加熱至 400 °C 進行熱分解，在此過程中，水份及二氧化碳將逐件脫離，然後再加熱至 1000~1500 °C 進行碳化。碳化過程中纖維必須加以延伸以增加分子的順向度，最後在 2800 °C 下進行石墨化。嫻縈絲碳化過程中質量的損失很大約 75%
- 聚丙烯睛(PAN)：PAN 系列的碳纖維，首先是 PAN 預形體的抽絲，然後加以延伸及在 200~300 °C 中進行穩定化，最後在 1500 °C 的惰性氣體中進行碳化及 3000 °C 的惰性氣體中進行石墨化。其碳化的轉換律約 50 到 55%。
- 瀝青(pitch)：將等向性分子瀝青在 400°C~450°C 的惰性氣體中處理，可將瀝青轉換成液晶瀝青(liquid crystal)的形態，在抽絲時這些已排列整齊的分子又延著纖維方向排列。瀝青在抽絲後必須在含氧氣體中氧化處理後，才能進行碳化及石墨化的步驟。

碳纖維製造流程圖



碳纖維機械特性

碳纖維之分類	原料	機械特性			用途
		強度 (Gpa)	彈性模數 (Gpa)	伸度(%)	
低彈性模數碳纖維(泛用碳素纖維)	Rayon和等質 Pitch	0.8	40	20	主要為耐熱材料或振動材料
高彈性模數，高伸度碳纖維(高強度碳纖維)	聚丙烯 (PAN)	2.5~5.0	200~300	1.0~2.0	主要為高級複合材料
高彈性模數，低伸度碳纖維(高彈性模數碳纖維)	液晶Pitch和 PAN	2.0~3.5	350~750	0.4~1.0	主要為結構性材料之彈性補強和耐熱材料
活性碳纖維	Pan Rayon 酚樹脂	-	-	-	吸附材料和電池用電極材料

碳纖維機械特性

螺綫碳纖維機械特性

Manufacturer	Product name	T. S. (MPa)	Y. M. (MPa)
Amoco Corp. (U. S. A.)	Thronol 50	2070	345
	Thronol 75	2520	517
	Thronol 40	1720	276
Hitco (U. S. A.)	HMG 50	2070	345
	HMG 40	1720	276
	HMG 25	1030	172

碳纖維機械特性

PAN碳纖維機械特性

Manufacture	Product name	T.S. (MPa)	Y.M. (GPa)	Failure strain (%)
Hercules Inc (U.S.A.)	AS-4	4000	235	1.60
	IM-6	4880	296	1.73
	IM-7	5300	276	1.81
Torey Indust (Japan)	T300	3530	230	1.50
	T800-H	5490	294	2.10
	T1000-G	6370	294	2.40
	T1000	7060	294	1.00
	M40	2740	392	0.70
	M55J	3920	540	0.70
	M60J	3920	588	1.72
Toho Beslon (Japan)	HTA-7	3840	234	1.64
	ST111	4400	240	1.80
Mitsubishi Rayon (Japan)	Purofil T1	3330	245	1.40
	Purofil M1	2550	353	0.70

碳纖維機械特性

瀝青碳纖維機械特性

種類	製造商	拉伸強度 (MPa)	模數(GPa)	產能 (T/Y)
GP	Asland	686	41	140
	Donac	686	34	300
	Kureha	590-790	30-33	900
	Nittobo	657-980	40-49	--
	Nippon	784-980	39-49	--
HP	Amoco	1300-2400	170-960	140
	Donac	1800-3000	140-600	--
	Kureha	1800-4000	150-400	--
	Mitsubishi	1800-3000	176-735	500
	Chem	3230-3300	392-686	50
	Nihon seiyn	2450-2940	392-588	--
	Nippon steel	1470-3000	147-784	12/24
	Petoca	5000	>500	--
	Teijia	2940	490-686	12
	Ton Nenryo	--	--	--

市面上碳纖維紗束材質特性

Fiber Type	Tensile Strength		Tensile Modulus		Elongation	Yield	Density	Diameter	Sizing
	Kgf/mm ²	MPa	10 ³ Kgf/mm ²	GPa	%	g/m	g/cm ³	μm	%
A	500	4,900	23.5	230	2.10	0.800	1.80	7	1.0
B	500	4,900	24.5	240	2.00	0.800	1.80	7	0.5
C	499	4,900	25.5	250	2.0	0.800	1.81	7	

玻璃纖維紗介紹

- 玻璃纖維紗介紹
- 玻璃纖維紗製造
- 玻璃纖維布的製作流程圖
- 玻璃纖維機械特性

玻璃纖維紗介紹

玻璃纖維有高拉伸強度、耐化學性及抗濕性;玻纖為無機化合物具有良好耐熱耐火性;玻纖也具有低熱膨脹係數與高熱傳導係數-熱性質良好;玻纖為非導電性為絕緣材料，具高介電強度與低介電損失等特性。玻纖紗依下游應用領域又分為強化塑膠用玻璃纖維（FRP）（又稱為工業級玻纖紗）與電子級玻纖紗，FRP主要應用於機車外殼與電腦外殼等。

常用的玻璃纖維

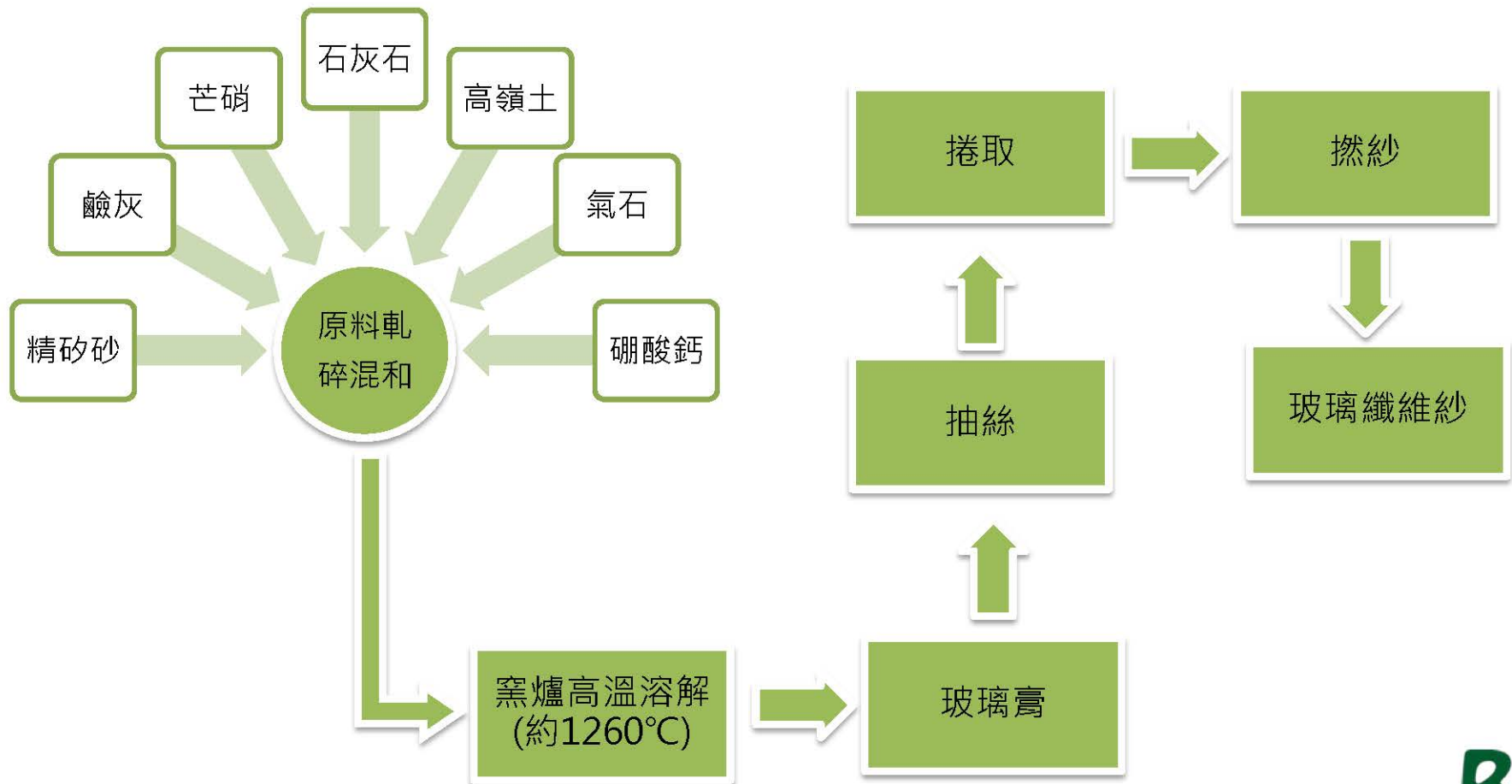
E-glass	鈣-硼矽玻璃纖維，具有良好的電絕緣性	用於一般之補強塑膠，電氣性質甚為優良
S-glass	矽酸鎂、鋁製成之纖維，具高強度及高彈性係數，與E-glass比較，比重小約2%，抗拉力約大35%，而彈性係數約大20%	用於太空方面
C-glass	硼矽酸鈉製成玻璃纖維，耐化學品侵蝕的性質優良	適合於耐腐蝕性之纖維複合材料製品

玻璃纖維紗製造

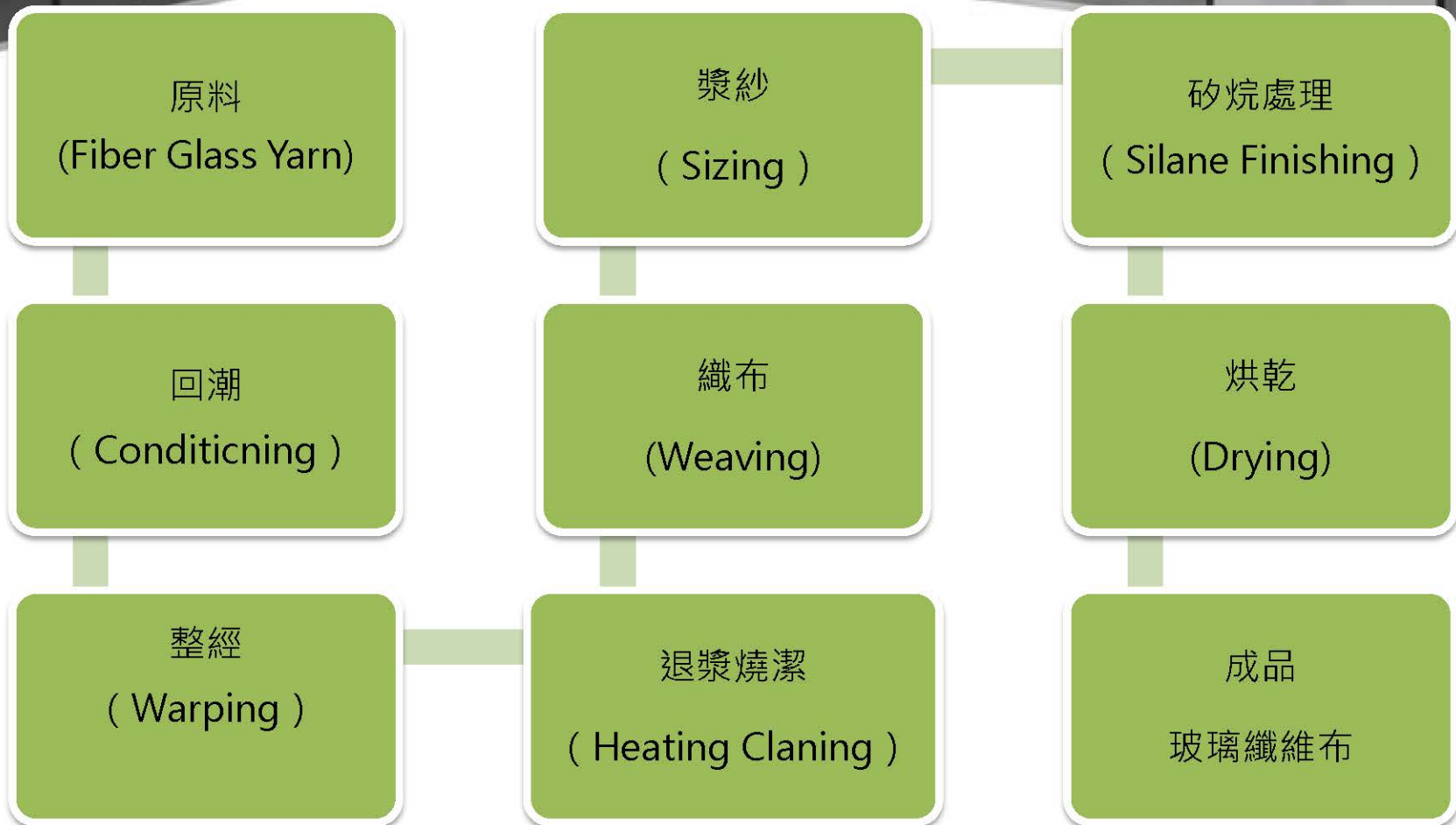
玻璃纖維的主要成分是二氧化矽、氧化鋁、氧化鈣、氧化硼、氧化鎂、氧化鈉等，根據玻璃中鹼含量的多少，可分為無鹼玻璃纖維（氧化鈉 0 ~ 2%）、中鹼玻璃纖維（氧化鈉 8 ~ 12%）和高鹼玻璃纖維（氧化鈉 13%以上）。玻璃纖維的截面呈圓形，直徑在數微米至 20 微米之間，密度大約是 2.4 ~ 2.7 公克 / 立方厘米。

纖維紗為玻纖布上游原料，玻纖紗製程主要為將精矽砂、碎玻璃、石灰石、純鹼與高嶺土等經混合後軋碎放入窯爐內高溫熔解生產成玻璃膏，玻璃膏直接流入拉絲盤內，拉絲盤內有許多微細紡嘴，融熔的玻璃由紡嘴流下，成為纖維狀，經噴水急速冷卻，經過抽絲、捲取、撚紗等過程製成玻璃纖維紗，再經由整經、漿紗、併經、織布、退漿等處理後，製成玻纖布。

玻璃纖維紗製造流程圖



玻璃纖維布的製作流程圖



玻璃纖維機械特性

玻璃纖維機械特性

	Grade of Glass			
	A	B	E	S
Physical properties				
Specific gravity	2.5	2.49	2.54	2.48
Mohs hardness	—	6.5	6.5	6.5
Mechanical properties				
Tensile strength psi*10 ³ (MPa)				
At 72°F(22°C)	440(3033)	440(3033)	500(3448)	665(4585)
At 700°F(371°C)	—	—	380(2620)	525(3758)
At 1000°F(538°C)	—	—	250(1724)	350(2413)
Tensile Modulus for E at 72°F(22°C), psi*10 ⁶ (GPa)				
	—	10.0(69.0)	10.5(72.4)	12.4(85.5)
Yield elongation, %	—	4.8	4.8	5.7
Elastic recovery, %	—	100	100	100

複合材料切削

- 纖維增強複合材料切削原則
- BW鑽鉸刀加工測試-玻纖板切削測試
- BW鑽鉸刀加工測試-碳纖板切削測試
- BW鑽鉸刀加工測試-金屬與複合材料切削測試

纖維增強複合材料切削原則

纖維增強複合材料切削特點為切削溫度高，刀具耐用度低且加工精度和表面粗糙度不易控制易產生高溫變質和軟化等問題。

■ 鋸切：

- 玻璃纖維增強熱固性基體層壓板，採用手鋸或圓鋸切割。這時要注意克服材料的低熱導性和因振動造成的分層。
- 排除切削產生的熱量可加冷卻劑。

■ 鑽孔和仿形銑：

- 大多數熱固性複合材料層合板經鑽孔和仿形銑後會產生收縮，因此精加工時要考慮一定的餘量。
- 鑽孔時最好用墊板墊好，以免邊緣分層和外層撕裂。
- 鑽頭必須保持鋒利，必須採用快速除去鑽屑和使工件溫升最小的工藝。
- 熱塑性複合材料鑽孔時，更要避免過熱和鑽屑的堆積。

■ 銑削、切割、車削和磨削：

- 刀具要鋒利、切削速度適當、供給充足冷風及冷卻液或潤滑劑和進給速度要快。

BW鑽鉸刀加工測試

BW公司開發新型四刃鑽鉸孔刀具、針對碳纖維、玻璃纖維與石墨纖維複合材料加工、因特殊刀具材料與切削排屑方式、改善刀具在切割複合材料、能使刀具穩定切割無毛邊現象、排屑方式能產生顆粒粉末狀。



BW直刃三階鑽鉸刀



BW螺旋鑽鉸刀

BW鑽鉸刀玻纖切削加工測試

BW公司開發鑽鉸孔刀具CNC機台直接進行刀刃側銑，工件為玻璃纖維板厚度0.4mm、進行穿透側銑。

玻纖切削加工參數

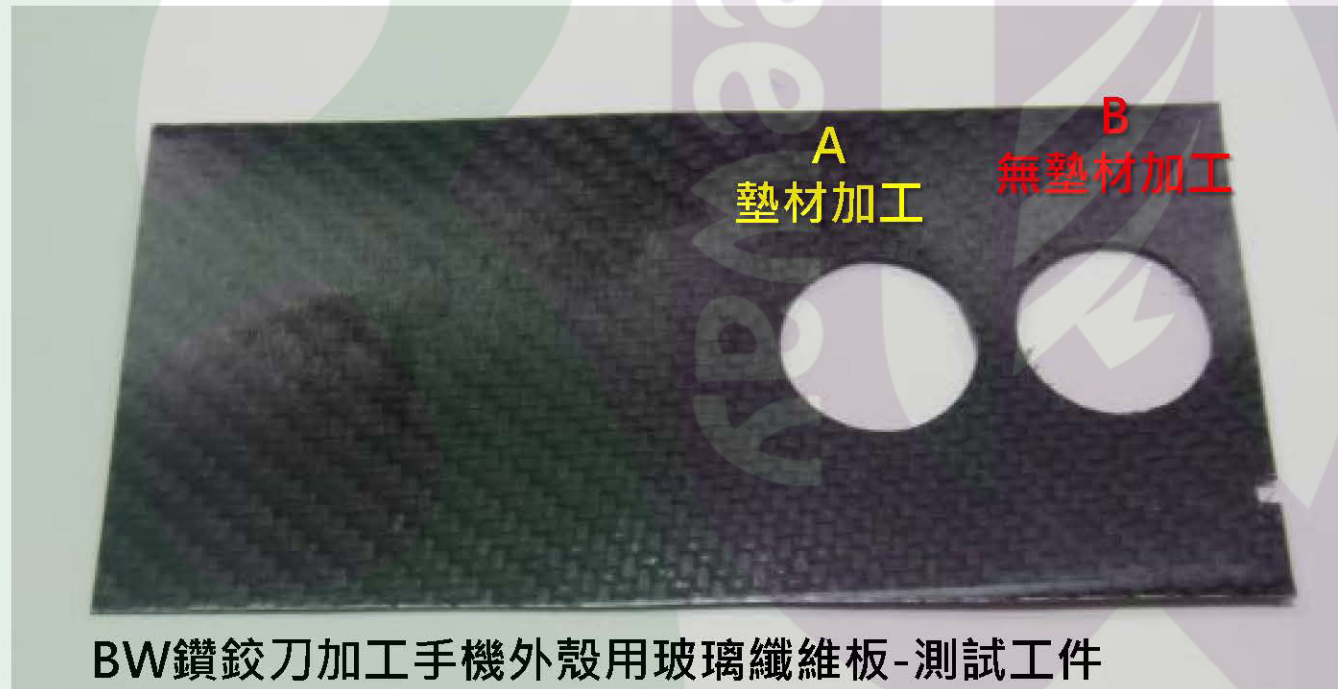
加工件	手機外殼用玻璃纖維板 厚度0.4mm
加工刀具	BW發三爪柄螺旋鑽鉸刀 $\Phi 4\text{mm} \times 4\text{Z} \times 89\text{L} \times 118^\circ$
加工機台	CNC機台
加工方式	側銑，無任何切削油、水與無冷風處理
加工條件	主軸轉速：6000rpm F進給：600 Z深度：0.5mm



玻璃纖維板

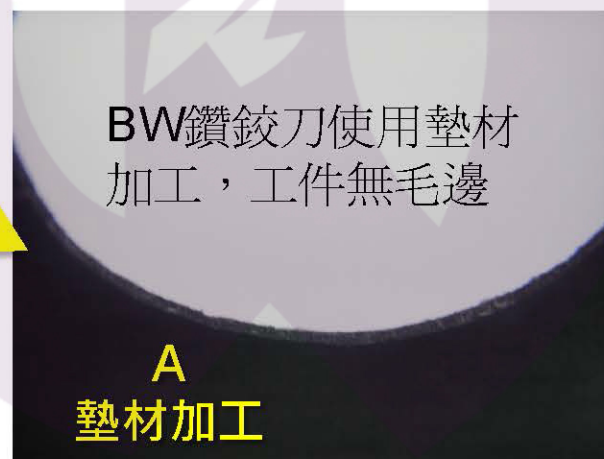
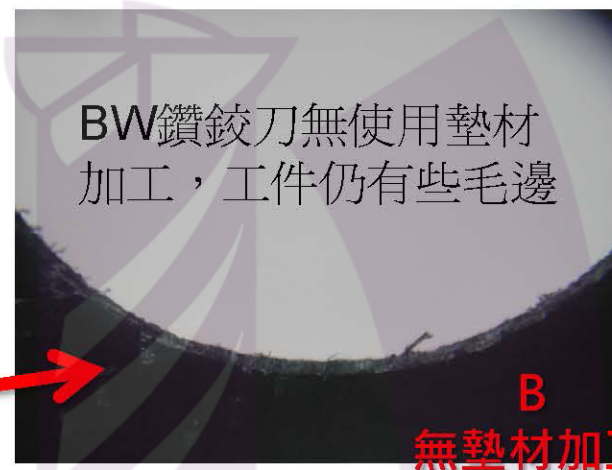
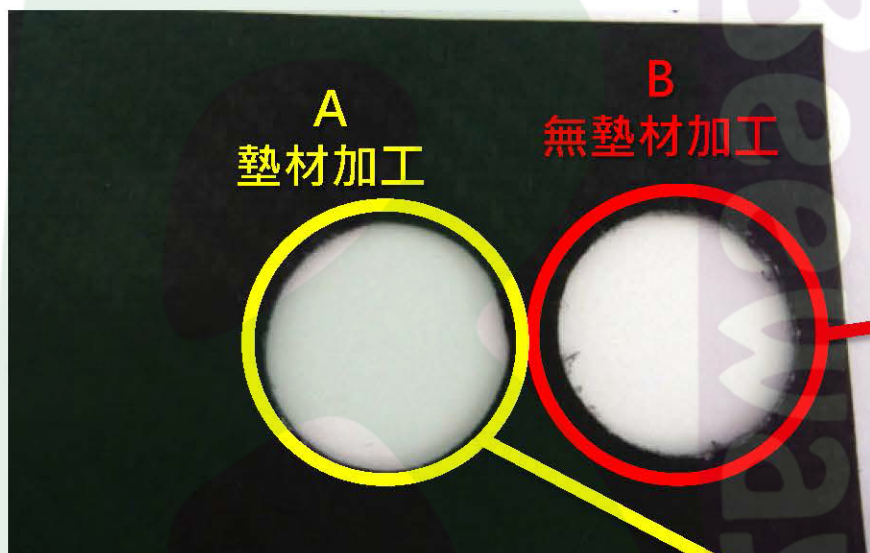
BW鑽鉸刀玻纖切削加工測試

目前加工廠纖維材質使用一般刀具加工切削，加工件邊都有毛邊情形，都還需靠人工再做修邊動作，耗費人力及時間，BW鑽鉸刀加工後無毛邊克服此問題，節省人力成本。



BW鑽鉸刀玻纖切削加工測試

手機外殼用玻璃纖維板-測試工件

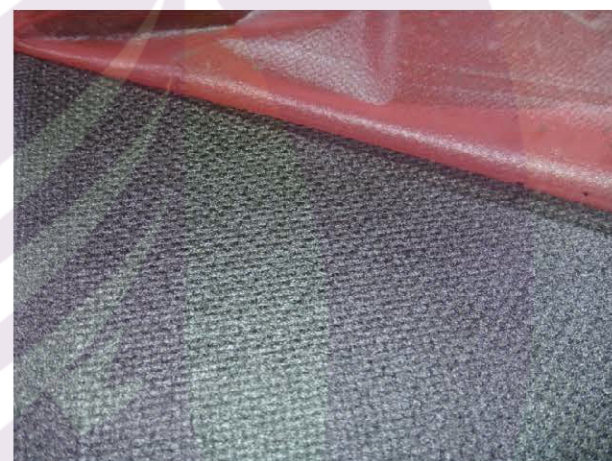


BW鑽鉸刀碳纖切削加工測試

BW公司開發鑽鉸孔刀具使用氣動工具/鑽孔機直接進行刀刃鑽鉸孔，工件為航太用高階碳纖維板，進行穿透鑽鉸孔。

碳纖切削加工參數

加工件	航太用高階碳纖維板 厚度5mm
加工刀具	BW發三爪柄螺旋鑽鉸刀 Φ 4mm X 4Z X 89L X 118°
加工機台	氣動工具/鑽孔機
加工方式	鑽孔無啄鑽，無任何切削油、水與無冷風處理
加工條件	主軸轉速：6000rpm 加工後用標準孔位公差棒測試，孔位以達到正確公差。



碳纖維板

BW鑽鉸刀碳纖切削加工測試

此次實驗針對航太氣動工具、在耐高溫碳纖維板進行鑽孔與鉸孔一次完美加工、以達到精準孔位與無毛邊、一次成型。



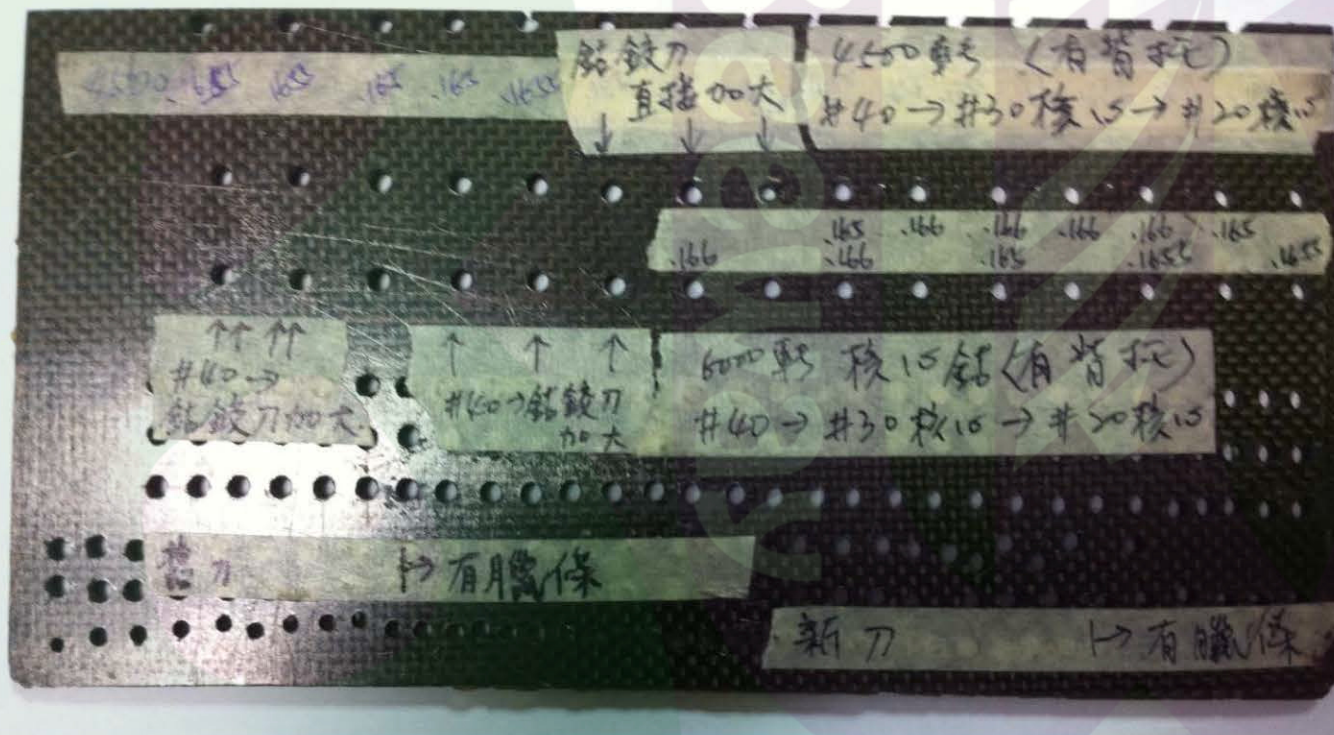
BW鑽鉸刀加工-鑽孔機



BW鑽鉸刀加工-氣動工具

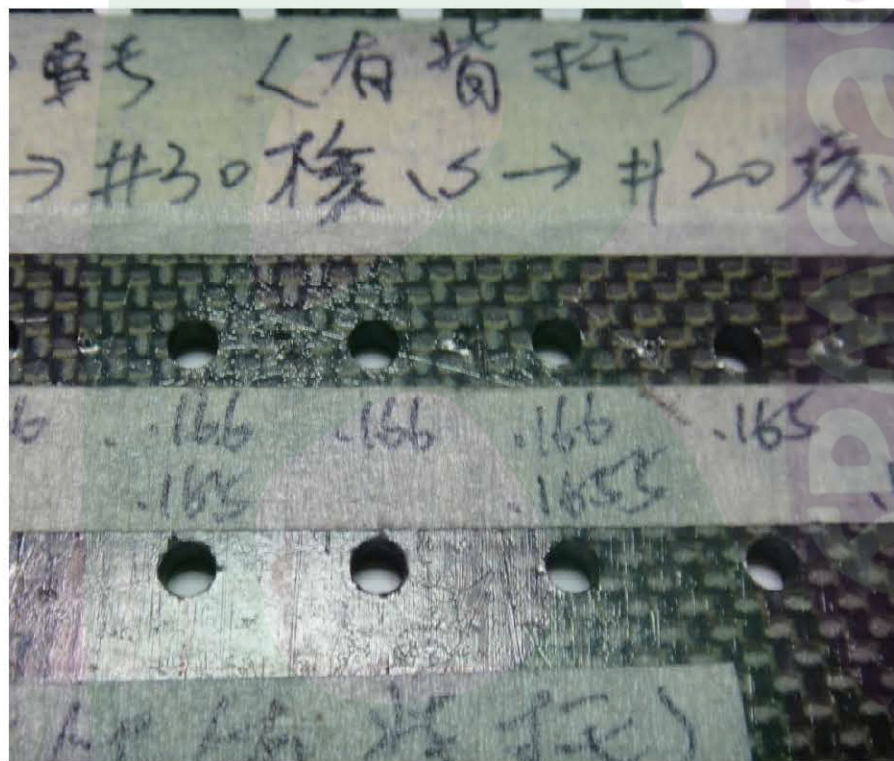
BW鑽鉸刀碳纖切削加工測試

有背拖墊板包覆加工:



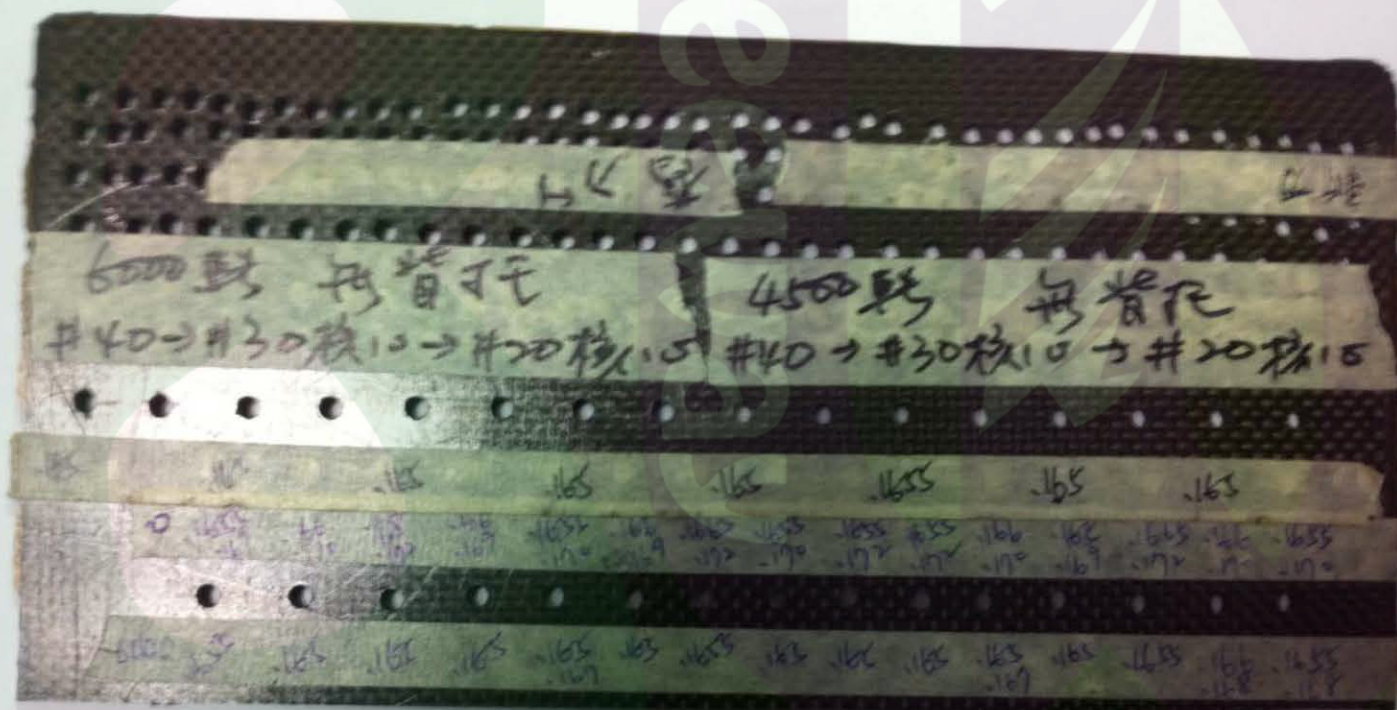
BW鑽鉸刀碳纖切削加工測試

有背拖墊板包覆加工:



BW鑽鉸刀碳纖切削加工測試

無背拖墊板包覆加工:

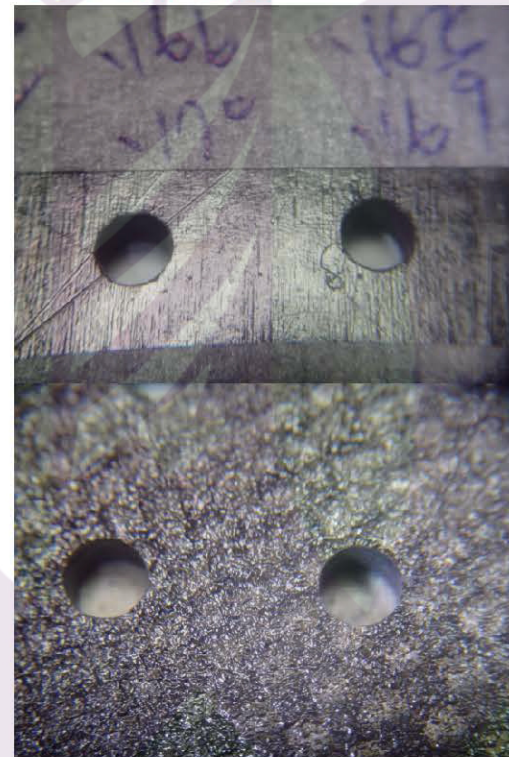


BW鑽鉸刀碳纖切削加工測試

無背拖墊板包覆加工:



背面無毛邊



正面無毛邊

普通鑽頭碳纖切削

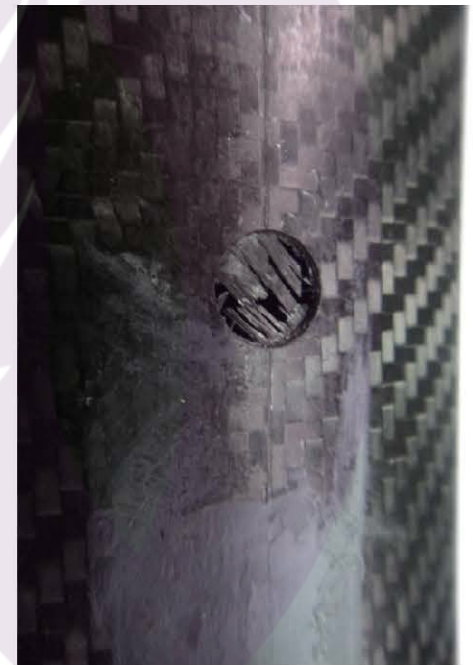
目前在做碳纖維工件加工，應用普通鑽頭作為加工，因碳纖維材料是編織纖維製品，所以加工後會產生嚴重毛邊、必須使用砂紙再一次做去除毛邊工序。



航太用碳纖板



自行車碳纖



自行車碳纖



Thank you!

- 碧 威 股份有限公司
Bewise Inc.

文獻參考

- 部分碳纖資訊與環氧樹脂資料由亨晏企業公司協助提供
- 複合材料鑽鉸刀切削加工由碧威股份有限公司測試紀錄
- 纖維相關資料由網路搜索彙整