

热塑性纤维复合材料综述

上海材料研究所 吴妙生
上海玻璃钢研究所 周祝林

本文简单综述热塑性纤维复合材料的发展,国内外简况,预浸料的制备方法,制品的成型工艺、性能和轻量化指数,以及应用和展望。

关键词: 热塑性树脂, 预浸料, 熔融体, 热压成型, 拉挤成型

一、引言

热塑性纤维复合材料(FRTP)是纤维复合材料(FRP)中的一大门类。在热固性纤维复合材料的启发下,萌发了研制热塑性纤维复合材料的想法。热塑性纤维复合材料于50年代出现,1951年美国人R. Bradit首次研制了玻璃纤维增强聚苯乙烯,至今已有40多年历

史。自1956年美国Fiberfil公司首先工业化生产玻纤增强尼龙6以来,经过30多年的努力,FRTP品种逐步扩大,性能日益改善,产量直线上升。60年代后期起,FRTP生产的增长速度加快,超过了热固性纤维复合材料的增强速度。表1列出美国1977~1993年主要FRTP产量。

表1 1977~1993年美国主要FRTP产量(万吨)

品 种	增强 聚丙烯	增强 尼龙	增强热 塑性聚酯	增强聚 碳酸酯	增强聚 苯乙烯	其他	总计
1977	3.1	1.7	1.5		1.4	0.9	8.6
1988	7.8	7.6	7.1	2.4	2.2	1.7	28.6
1993	13.3	11.0	13.3	4.3	3.2	2.3	47.4
增长率(%)	11.3	7.5	13.4	12.8	7.4	5.4	10.4

目前,FRTP的世界产量约为150万吨,美国占47万吨,而我国约0.8万吨,仅占世界产量的0.5%,占美国产量的1.7%左右,发展缓慢,差距较大。

已有30多种热塑性树脂可以作为FRTP的基材。最主要的是尼龙、聚丙烯、聚碳酸酯,聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)等。1983年英国ICI公司首先开发了高性能热塑性纤维复合材料APC-2(碳纤维增强聚醚醚酮PEEK)。在以后的几年中,又有多种高性能热塑性树脂相继问世(见表2)。高性能热塑性复合材料的出现,是热塑性复合材料发展史上的一个新突破,在航空航天工业部门的应用不断增强,据预测到1996年,其用量将近48535吨。

热塑性纤维复合材料有下列特点:(1)有较高的断裂韧性;(2)纤维预浸料和片状模料有无限的贮存期;(3)耐化学药品及耐水性;(4)热成型性能好,生产率高;(5)废料可再生利用;(6)普通热塑性复合材料密度低,价格便宜,模具费用小;(7)高性能热塑性复合材料有极高的比强度、比刚度和韧性,有耐热性,阻燃

性及空间性能等特性;(8)设计自由度大等。

二、热塑性纤维复合材料的预浸渍工艺

FRTP如热固性复合材料一样,可以首先制成预浸料。FRTP预浸料按其形态可分为纤维束、纤维细带、片材、粒料、树脂单体几种。其可综述如下:

1. 溶剂浸渍法(Solvent impregnation)

这种方法是把热塑性树脂溶解在某合适的溶剂中,使其粘度下降到一定的水平,随后用传统的热固性树脂的浸渍方法浸渍纤维或纤维细带。这种方法有下列几个缺点:浸渍多余溶剂的贮存问题;不能制造高性能热塑性复合材料(抗溶剂性);环境污染;溶剂的利用需要投资。因此,这种方法的使用范围相当有限。

2. 熔融浸渍法(Melt impregnation)

这种方法是采用加热使热塑性树脂熔融来浸渍纤维或织物。有三种基本方法:(1)薄膜层合法,这是至今应用最为广泛、使用最久的一种浸渍法。这种方法是把热塑性树脂通过吹塑而制成薄膜,然后把纤维或织物

(包括毡)与薄膜分层交替堆积铺放,通过加热加压使纤维或织物得到浸渍。此法缺点是加热加压时间较长,生产效率不高。(2)粉末包覆法,这是一种解决高粘度熔体难流动的有效方法。把热塑性树脂加工成 $5\mu\text{m}$ 左右颗粒直径的粉末,使用某种形式的流化床方法使粉末吸附在纤维或织物表面上,然后加热烧结,使粉末粘附在纤维表面上。对于碳纤维可以采用静电喷涂流化技术,也可以用树脂粉末直接铺放在织物上,按设计的层数铺叠,经加热加压复合、冷却后定型。(3)熔融包覆法,这是一种比较传统的浸渍方法,类似于生产电缆护套线的相似工艺,熔体从挤压机挤出进入十字型的模头中,使纤维包覆一层熔体。这种方法虽然可以高速生产,但浸渍仅仅发生在纤维束的表面,不是每根单丝的表面,因而不能达到有效浸渍,需要在螺杆挤出机中进行配混回挤,使纤维与树脂进一步浸渍。

3. 纤维合并工艺法 (Comingling Process)

这是一种把热塑性树脂纤维与增强纤维混杂一起,在纺织过程中,共同编织成一束丝或布,然后在成型加工过程中使增强纤维得到比较好的浸渍。这种方法的浸渍效果较好但要避免采用使脆性纤维损伤的织造工艺。对于如6K或12KAS-4高碳纤维含量难于实现。此法也不适用于纤维高速缠绕工艺。

4. 湿法造纸工艺法 (Radlite Method)

这种方法是仿湿法造纸技术的工艺法,称为Radlite法,也称Siurry法,是在造纸机上开发的方法。把长度 $6\sim 25\text{mm}$ 之间的玻璃纤维,也可使用其他纤维或填料,和粉末树脂一起放入混合机或分散槽内加水混合均匀,用泵将其打到多孔的传动带上扩散,在多孔带上减压脱水(真空脱水),待发泡体破碎后即形成湿毡,通过干燥后变成干毡,可以把干毡卷于卷筒上,直接送到成型工厂,或把干毡在连续层压机上连续层压,制成热塑性SMC,这种SMC厚度为 $0.5\sim 4\text{mm}$ 。

5. RTM 法

与热固性树脂一样,目前利用热塑性单体的RTM (Resin Transfer Molding)技术也发展甚速,利用单体或预聚体所具有的初始分子量小,熔体粘度低及流动好的特点,使纤维与之一边浸渍,一边发生化学反应,从而得到了理想的浸渍效果。这种方法已在增强聚二环二烯及尼龙-6中实施。能用这种方法浸渍的聚合物不是很多,一般仅适合于具有环状分子结构的单体。

6. 熔体拉挤法

这种方法是英国ICI公司于1984开发成功的,不同于熔融包覆法,这方法主要采用一种特殊结构的拉挤模头,使纤维束经过这一充满高压熔体的模头时,反复多次承受交替的变化,促使纤维与熔体强制性的浸渍,达到相当理想的浸渍效果,是目前公认的最有效的浸渍

法。当前市场上供应的Verton的长纤维增强粒料就是用这种方法生产的。缺点是产量低、成本高。

三、热塑性纤维复合材料的模塑工艺

生产出质量良好的预浸料,只是完成最终复合材料制品的第一步。第二步的关键则是采用何种成型工艺。目前已有20多种成型热塑性复合材料的工艺。热塑性复合材料的成型机理与热固性复合材料是不同的,前者是靠冷却降温后达到定型,而后者是靠固化剂固化成型。主要成型方法有下列5大类。

1. 热压成型

热压成型方法是把各种形式的预浸料按不同方式加热加压制成复合材料制品。这种成型法生产费用低,成型周期短、方法简单。按模具材料及加压形式可分以下五种:(1)模压法。这是一种常用的热压方法,通常采用金属对模,见图1。对于形状复杂的制品,模具加工费高,另外模具料腔设计裕度要准确,否则会造成制品受力不均,纤维分布不均,不密实。(2)隔膜法。这方法是用超塑性铝薄膜或聚酰亚胺薄膜包在工件两面,然后放在模具上,在另一面上加压,将工件压在模具上成型制品(见图2)。(3)液压法。与隔膜法相似,不同的是在橡胶薄膜上的是液压油一类的液体介质(见图3)。橡胶薄膜是成型设备的一部分,固定在压机上,有时要在片材上铺放一层耐热橡胶,防止液压薄膜在高温时破裂。液压成型压力可达 70MPa ,所用的橡胶片厚度接近 13mm 。液压成型的特点是模具高低部位压力均匀。缺点是成型温度不够高。(4)橡胶模具模压法。此法与(1)法相似,仅用柔性橡胶阳模代替金属阳模,这种方法的优点是能使模具上的压力较均匀,模具压力大,缺点是使用温度受到一定的限制,不适合做形状复

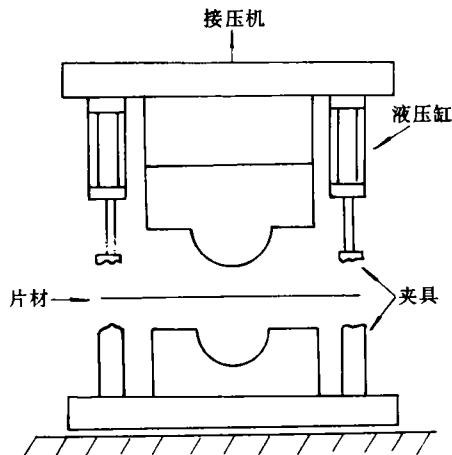


图1 模压成型法

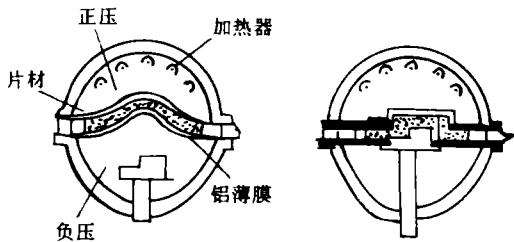


图2 隔膜成型法

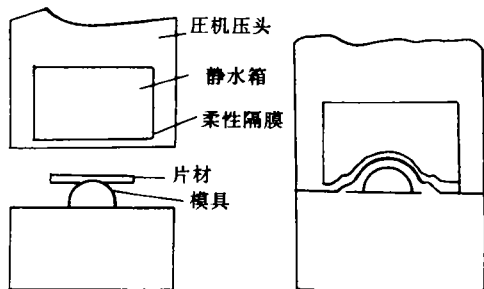


图3 液压成型法

杂的制品。(5) 高压釜法。此法的成型原理与液压成型和隔膜成型相似，在高压釜内成型，使片材和模具间的料腔处于真空或常压状态，由料腔内外的压力差把片材压靠模具上。如果高压釜是常压，内腔是真空，即为真空成型法。

按压制的材料又可分：(1) 预浸料压制法，把各种预浸料按设计要求叠层并加温压制制成制品。(2) 薄膜叠合压制法，将纤维织物（如毡等）与热塑性树脂薄膜相间铺放在模具内，按设计要求铺设层数，然后加温加压直接制成制品，树脂薄膜可以是挤出吹塑膜，也可以用溶剂在专门设备上干燥制成薄膜。

2. 纤维缠绕成型

热塑性复合材料的纤维缠绕成型与热固性复合材料的不同之处是：缠绕时要把预浸纱（带）加热到软化点，并在与芯模的接触点上加一只加热压辊。

通常的加热方法有传导加热、介电加热、电磁加热、电磁辐射加热等。在电磁辐射加热中，又因电磁波的波长或频率不同而分红外辐射（IR）、微波（MW）和射频（RF）加热等。最近几年还发展了激光加热及超声加热系统。激光工业加热用的是 CO_2 激光，最佳波长为 $10.6\mu\text{m}$ ，该波长离 IR 区较远，极易被热塑性树脂吸收，因激光束容易聚集，适合作逐点加热、减少能量的损失。超声加热系统是把普通电能转化为高频电能，再把高频电能通过换能器转为 $20000\sim 40000\text{Hz}$ 的超声机械振动能，通过一种角状器，加热温度达 315°C ，最高压力达 55MPa ，缠绕速度为 38mm/s 。

近年来国外许多公司致力于新型缠绕成型工艺的研究，开发出了几种很有特色的成型方法。其中有一步成型法，即纤维通过热塑性树脂粉末沸腾流化床制成预浸纱（芯），然后直接缠绕在芯模上。还有通电加热成型法，即对碳纤维预浸纱（带）直接通电，预浸纱（带）一端接正极，芯模接地，靠通电发热使热塑性树脂熔化，使纤维纱（带）缠绕成制品，第三种是用机器人进行缠绕，提高缠绕制品的精度和自动化程度，因而受到了极大的重视。

3. 拉挤成型

类似热固性复合材料，拉挤成型可以生产出截面形状多变的复合材料制品。在拉挤成型中，材料被预加热，然后牵引通过一个模具或多个模具，经冷却后成型最终形状的制品。这种成型技术既适合于预浸料，更适合于边牵引纤维边通过各种设备加入热塑性树脂，再通过一个或多个模具制成复合材料制品。加热塑性树脂的设备，可以采用树脂挤出机加熔融的树脂，也可采用树脂粉末沸腾床把树脂粉末粘附在纤维上。

类似拉挤成型的有一种老式的注射成型法，先把热塑性树脂包覆纤维制成粒料，然后用粒料通过注射机注射成型复合材料制品。

4. 辊压连续成型

把预浸料按设计要求叠合对齐，放在模具上，用远红外、电或激光加热方法使之加热软化，然后通过牵引装置经过一系列的辊压台，从而逐渐成型所需形状的复合材料制品。通常的速度可达 2.5m/min 。若用激光加热，生产速度可达 25m/min 。也可直接用热塑性薄膜与纤维毡相隔叠合进行连续辊压成型。

5. 三向织物成型

用热塑性纤维和增强纤维编织成三向织物，然后在模具上压制成品，这种制品具有特别高的断裂韧性，能适用于复杂形状结构产品。

四、性能比较及轻量化指数

用不同的纤维增强的热塑性复合材料有很不同的性能，用高强玻纤、碳纤维、芳纶增强的耐高温的热塑性树脂，称为高性能 FRTP。由于热塑性纤维复合材料密度小，有优异的轻量化指数。

1. 性能

一些纯树脂的物理力学性能及断裂韧性列于表 2。

用碳纤维单向增强表 2 中树脂的高性能热塑性复合材料性能列于表 3，纤维体积含量为 60%。

2. 轻量化指数

一些材料性能列于表 4。对于材料性能比较有二个方法：一是用同样材料制成制品构件，按比强度和比刚度进行比较；二是制品构件在等强度或等刚度条件下，

表 2 一些纯树脂的性能

树脂	密度 kg/m ³	T _g	T _m	T _p	粘度 ⁽¹⁾ (Pas)	模量 ⁽²⁾ GPa	强度 ⁽²⁾ MPa	延伸率 ⁽³⁾ %	断裂能 ⁽⁴⁾ kJ/m ²
Epoxy	1300	/	/	/	/	4.28	83	1	0.1
J-Polymer	1160	156	/	300	1000	3.17	103	25	2.0
PEKK	1300	156	338	370	2500	4.50	102	4	1.0
K-Polymer	1310	250	/	350	>10,000	3.76	102	14	1.8
N-Polymer	1410	350	/	375	>100,000	4.17	110	6	2.5
PEEK	1300	144	340	380	3500	3.79	103	11	2.0
HTX	/	205	386	420	/	2.48	86	13	/
PAS-2	1400	215	/	330	/	3.28	101	8	/
PPS	1360	85	285	343	/	3.91	80	3	/
PEI	1270	217	/	343	2000	2.96	104	60	2.5
PES	/	260	/	330	/	2.41	76	7	/
PAI	1380	283	/	350	>10,000	3.30	136	25	3.4

注：(1) 在工艺温度下，10/s 剪切率；(2) 拉伸或弯曲；(3) 拉伸延伸率；(4) 从拉伸冲击试验得出，ASTM-E399；
(5) T_g，T_m，T_p 分别为玻璃化、熔融和模压时温度

表 3 单向碳纤维热塑性复合材料性能

基 体	弯曲强度 MPa	短梁剪切 MPa	压缩强度 MPa	断裂能 ⁽²⁾ kJ/m ²	冲击后压缩 ⁽¹⁾		生产公司
					应力 MPa	应变 %	
J-Polymer	1450	104	1040	1.1	345	0.75	Du pont
PEKK	1620	117	1390	1.0	274	0.60	
K-Polymer	1590	98	1000	1.7	274	0.65	
N-Polymer	1530	120	/	/	/	/	
PEEK	1500	117	1040	1.6	310	0.70	ICI
HTX	1770	/	1130	2.2	310	0.63	
PPS	1360 (1610)	69	635 (908)	0.9	179	0.52	Phillips
PAS-2	1650 (1920)	/	897 (977)	/	/	/	
PEI	/	94	824	1.2	/	/	GE
PES	/	78	/	/	248	/	Amoco
PAI	2070	110	1380	1.6	345	0.90	

注：(1) 用 67 J/cm 的冲击能，并当作准各向同性试样来处理；(2) 用双悬臂梁试验测试

按所使用的材料质量比，即按轻量化指数进行比较。
对于制品构件的不同受力状态，其比强度比刚度指数是不一样的。典型的是受拉构件和受弯构件，对于受压和受剪构件，可分构件失稳与不失稳二种情况。受拉构件，其承载能力及刚度均与构件厚度 t 成正比，则比强度和比刚度指数为 σ/e ， E/ρ 。而受弯构件，其应力与 t^2 成反比，挠度与 t^3 成反比，因此，比强度和比刚度指材料工程

数为 σ/ρ^2 ， E/ρ^3 。
对于所使用的材料质量比，也即轻量化指数，受力构件，为 σ/ρ ， E/ρ ，受弯构件为 $\sqrt{\sigma}/\rho$ ， $\sqrt[3]{E}/\rho$ 。为了便于比较，其密度 ρ 采用相对密度，为无量纲的数值。表 4 中取拉伸强度和弯曲强度一样，便于分析比较。对于受拉构件、比强度比刚度指数与轻量化指数是一致的，对于受弯构件是不一样。

表 4 一些材料性能、比强度、比刚度和轻量化指数

材料	相对密度 ρ	σ MPa	E GPa	拉伸载荷		弯曲载荷			
				σ/ρ	E/ ρ	σ/ρ^2	E/ ρ^3	轻量化指数	
				MPa	GPa	MPa	GPa	$\sqrt{\sigma/\rho}$ (MPa) ^{1/2}	$\sqrt[3]{E/\rho}$ (GPa) ^{1/3}
结构钢	7.85	421	210	53.6	26.8	6.81	0.434	2.61	0.757
铝 (355-T6)	2.69	246	72.4	91.4	26.9	34.0	3.71	5.83	1.55
钛合金	4.52	726	119	160.6	26.3	35.5	1.29	5.96	1.09
单向复合材料	GF/UP	2.0	1270	49.2	635	24.6	317	6.15	1.83
	CF/EP	1.45	1500	140	1034	97.0	713	45.9	26.7
	CF/EP	1.60	1070	240	668	150	416	58.6	20.4
	KF/EP	1.40	1400	80	1000	57.0	713	29.2	26.7
	CF/PEEK	1.50	1620	140	1080	93.3	720	41.5	26.8
正交双向复合材料	CF/UP	2.0	500	24	250	12.0	125	3.00	11.2
	CF/EP	1.45	600	65	413	44.8	285	21.3	16.9
	KF/EP	1.60	450	110	281	68.8	176	26.8	13.3
	CF/EP	1.40	500	35	357	25.0	255	12.8	16.0
	GF/PEEK	1.50	700	65	467	43.3	311	19.3	17.6

从表 5 可见,复合材料构件受拉伸载荷时的比强度均比结构钢和铝合金的高,最高达 20 倍。比刚度,除用玻纤维增强复合材料及芳纶增强的正交双向复合材料

外,也均比钢和铝合金的高,高达 5 倍多。轻量化指数在数值上与比强度比刚度的一致。采用复合材料后构件质量减轻情况,以强度为设计指标的,复合材料均能减

表 5 比强度比刚度相对钢的比值及减轻质量的百分比

材料		受拉载荷						受弯载荷							
		σ/ρ	E/ ρ	减轻质量 (%)				σ/ρ^2	E/ ρ^3	$\sqrt{\sigma/\rho}$	$\sqrt[3]{E/\rho}$	减轻质量 (%)			
				相对钢		相对铝						相对钢		相对铝	
				强度	刚度	强度	刚度					强度	刚度	强度	刚度
铝合金		1.71	1.00	41	0.4			4.99	8.56	2.23	2.04	55	50		
钛合金		2.99	0.98	66	-2.0	43	-2.0	5.21	2.96	2.28	1.43	56	30	2	-42
单向复合材料	GF/UP	11.8	0.92	91	-8.2	85	-8.2	4.65	14.1	6.81	2.42	85	59	67	15
	CF/EP	19.3	3.62	95	73	91	73	104	106	10.2	4.73	90	79	78	57
	CF/EP	12.5	5.60	92	82	86	82	61.1	135	7.81	5.11	87	80	71	60
	KF/EP	18.6	2.12	95	53	91	53	104	67.1	10.2	4.06	90	75	78	50
	CF/PEEK	20.1	3.48	95	71	91	71	106	95.5	10.3	4.57	90	78	78	55
正交双向复合材料	GF/UP	4.66	0.45	79	-123	63	-123	18.3	6.91	4.28	1.89	77	49	49	-7.4
	CF/EP	7.71	1.67	87	40	78	40	41.8	49.0	6.47	3.66	84	73	65	44
	CF/EP	5.24	2.56	81	61	67	61	25.8	61.7	5.07	3.95	80	75	56	48
	KF/EP	6.60	0.93	85	-7.6	74	-7.6	37.4	29.3	6.11	3.07	83	67	63	33
	CF/PEEK	8.71	1.62	88	38	80	38	45.7	44.4	6.74	3.54	85	72	66	42

注: (1) 有“-”者,表示质量增加; (2) 受拉时,相对铝的比强度比刚度比值是表中数乘以 0.5864 和 0.9962;

(3) 受弯时,相对铝的比强度比刚度比值是表中数乘以 0.2002 和 0.1167。轻量化指数是分别乘以 0.4476 和 0.4887。

轻质量,但以刚度为设计指标时,玻纤增强复合材料反而增加质量。受弯曲载荷时,比强度比刚度增加更大,相对于钢,比强度高达100倍以上,比刚度高达130倍以上。轻量化指数,以强度为设计指标时,高达10倍,以刚度为设计指标时,高达5倍多,质量均减轻。

五、应用和展望

热塑性复合材料在航天、航空、汽车、化工、电子电器、造船等工业部门得到了广泛的应用、产量约150万吨。高性能热塑性复合材料在航天航空中应用不断增加,据预测,到1996年其用量将达到48535吨,从“星球大战”武器、空间站到火箭发动机壳体、机身、机翼等等。

热塑性复合材料在汽车工业中的用量最大,西欧、美国等国家及地区均占全部热塑性复合材料的40%以上。仅小汽车上使用的热塑性复合材料零部件就达150种之多,用热塑性复合材料制造车门,重量可由原来的26kg下降到15kg,有的已制成整体车身。

化学工业部门中的应用主要利用热塑性复合材料的优异耐化学腐蚀性能,如真空过滤机、离心除砂器、管道、泵、阀等。

在电子电器工业部门方面,可以制成电动工具罩壳、手柄、轴瓦、轴套、锤子、螺丝刀手柄、家用洗衣机盖和罩壳,计算机罩壳,仪表罩壳、接线盒、保险盒、蓄电池壳、电视机后盖、电动机风扇叶片、路灯罩等。

随着航天、航空、汽车、电子电器、化工等工业的发展,对热塑性复合材料的需求量逐年增加,不断改进成型工艺和设备,开发高性能热塑性复合材料以适应市场需要。热塑性复合材料的年增长率远大于热固性复合材料,不久的将来年产量超过热固性复合材料,将是复合材料的最重要的支柱。

参考文献

1. 周祝林, 玻璃钢, 1990, N3, P22~35
2. 王世政, 玻璃钢/复合材料; 1989, N3, P48~52, 1989, N5, P49~52
3. 董雨达等, 第十届玻璃钢/复合材料学术年会论文集, 1993, E-8
4. 杨振国, 第十届玻璃钢/复合材料学术年会论文集, 1993, E-9
5. L. Y. Chang, et al., ICCM-V11, 1989, P367~372
6. Richard K. Okine, Journal of Thermoplastic Composite Materials, April 1992, 5, 160
7. L. M. J. Robroek, 38th International Symposium SAMPE, May 1993; 10~13, 2032

8. B. T. Astrom, B Pipes, Proceedings of the American Society for Composites, June 1990; 12~14, 219

(上接第3页)

生产许可证附有许可生产项目单,其中包括产品名称、牌号、规格及批准生产日期。

4. 生产检验代表

为了具体审查和监督生产许可证持有者生产的民机材料及锻件是否符合委员会批准的文件及生产者的质量保证系统,办公室代表委员会委任一批专业人员担任生产检验代表,负责监督和检查生产厂的技术和质控系统及其执行情况,原材料和工艺过程是否符合要求,检查记录是否齐全,设备和仪器是否定期检验和校准等,并定期向办公室报告。

5. 可沿用的承包商目录

凡材料或锻件厂的产品如果已经国外主要航空工厂或适航部门批准,并列入其海外承包商目录,国内可沿用其目录,组织定点验收,并颁发生产许可证。

五、结束语

根据国际上公认的适航性条例及其相应的管理程序和《中华人民共和国民用航空器适航管理条例》以及中国民用航空局航空器适航管理司颁发的《生产许可审定程序及质量保证系统评审大纲》,并考虑到中国航空材料管理现状,为简化手续、提高效率,提出了由中国民用航空局和中国航空工业总公司联合组建民机材料生产许可审定机构行使审定职权的设想。这个设想的基本点是以“民用航空材料生产审定委员会及其办公室、审查组和生产检验代表”的组织形式,统一进行民用航空材料及外购锻件的生产许可审定工作。

该设想分四个层次分工把关,贯穿于民机材料取证和生产的全过程。即不但在申请过程中对申请者进行审查和帮助,而且在取得生产许可证后,还对生产者进行监督和帮助,以确保民用飞机材料及外购锻件生产的质量。

在这四个层次中,办公室不但是上级指示和下面情况的汇集点,而且还是生产厂和使用厂联系的纽带,既起到承上启下的作用,又是横向联系的桥梁,有利于统一安排和协调工作。因此,办公室成员不但应该是知识面广的航空材料及其特种工艺专家,而且还应具有较强的组织能力和秉公办事的品质。

综合上述,我们认为这种组织形式既不违反国际上对民机材料审定的惯例,又适合于我国国情,可以保证民机材料及外购锻件生产许可审定工作的顺利进行。