

聚四氟乙烯薄壁软管的连续推挤 成型工艺探讨及分析

江西瑞金电线厂 赖 成

摘 要

本文介绍了航空用聚四氟乙烯钢丝编织屏蔽软管及在正交设计试验法指导下的聚四氟乙烯薄壁软管采用连续推挤烧结法的工艺过程。应用该工艺方法生产壁厚仅 $0.4 \pm 0.10 \text{ mm}$ 的F₄薄壁软管系国内首创。其产品性能完全符合设计要求。

前 言

聚四氟乙烯钢丝编织屏蔽软管是以聚四氟乙烯作为内管,其外用钢丝编织(起增强或屏蔽作用)、两端配上特殊用途接头制造而成。这种软管具有重量轻、耐老化、耐热耐寒性能好、抗腐蚀及化学稳定性好、安装维护方便等特点,在 $-60 \sim +250^\circ\text{C}$ 温度下可在一定半径范围内随意弯曲,并在此温度下承受适当压力和挠曲疲劳考验,具有良好的气密性。所以,世界各主要工业国家已普遍将它代替橡胶和各种金属软管,应用于飞机的液压系统、冷气系统、燃油系统、润滑系统及线路保护系统。在我国,亦正将聚四氟乙烯钢丝编织屏蔽软管应用于飞机的上述系统。

本文主要探讨飞机的线路保护系统用软管的聚四氟乙烯内管的制造工艺。

工艺路线

研制的各规格聚四氟乙烯内管,其内径在 $\phi 25 \text{ mm}$ 以下,壁厚均为 $0.40 \pm 0.10 \text{ mm}$ 。像这种聚四氟乙烯薄壁管,国内外过去采用绕包烧结法的生产工艺,即将聚四氟乙烯薄膜带以一定的重叠率绕包于所需尺寸的金属棒上,其后再包复一层金属箔(以使尺寸稳定),然后连同金属棒一起置于烧结炉内进行熔封烧结,待冷却定型后抽出金属棒,除去金属箔,内管即告制成。这种方法的优点是操作方便,工艺简

单,尺寸稳定;缺点是工序间连续性差,不能大长度连续生产,同时,内管在穿管装配时聚四氟乙烯的薄膜烧结处有时会“起套”、松脱。

针对上述缺陷,我们研制时决定采用“推挤烧结法”。其工艺流程如下:

F₄树脂粉过筛加助挤剂,混料→压坯→推挤→干燥→烧结→冷却→检验→包装。

推挤烧结法的特点是:可较大长度连续生产,制得的管子内壁光滑圆整,使用时易于穿管操作,安装维护方便,且纵向强度大、气密性好。但它的工艺复杂,技术难度大。

影响推挤成型的工艺因素分析

1. 推挤压力

它直接影响着制品的性能和挤出成型顺利与否。推挤压力小,挤出物疏松、多孔,烧结后收缩率大,尺寸不易控制;反之则使设备过载,制品过度定向,以致发生纵向开裂甚至不能成型。实践证明:推挤压力的大小与压缩比、挤出速率、模具锥角及模套定径长度成正比,与助挤剂浓度及模芯端面和模套定径口间距离成反比。

2. 挤压力度

它与推挤压力有关。实践表明,在推挤压力很大的情况下,F₄坯料在料腔的流动速率基本是不变的;但在低压下,推挤速度将随时间延长而迅速下降;在中间压力下,速度先下降

到最小,尔后再略为上升,最后趋于稳定。

操作时,推挤速度的控制主要视干燥速度和烧结速度而定。对于间隙烧结,推压速度快慢关系不大;但对于连续烧结来说,推压速度快慢将直接影响制品质量:若挤出速度太慢,一则制品易分解,有时还不能成型,其原因是速度太慢使助挤剂过多逸出;二则生产效率太低;三则由于坯体受压时间过长,致使预制品密实,助挤剂不易挥发,导致制品外观发黄。反之,推挤速度太快,预制品干燥不完全,也使制品外观发黄甚至呈其它颜色,且烧结不透导致制品的综合性能下降。因此,连续烧结时推压速度必须小于或等于干燥速度。

3. 坯体的剪切力

这一参数直接影响制品的纵向强度。对于一定的制品,在活塞、料腔、模具不变的条件下,可以通过改变助挤剂浓度来调节剪切力,以提高制品的纵向强度;如控制不当,将难以挤出成型。

4. 模具

合理地设计模具和高精度加工,是聚四氟乙烯薄壁软管挤出成型的关键。按常规的模具设计,所研制的各规格软管欲达到成型所必需的压缩比,必须选择缸筒内径在 $\phi 140 \sim 150 \text{ mm}$ 左右方可进行生产。而我厂现有设备的最大缸筒内径只有 $\phi 70 \text{ mm}$,突出的矛盾是:如何利用现有工艺装备,快速、经济、优质、高效地完成内管的推挤成型。实践中,如何消除下列两种现象又成了关键问题:一是挤出物脱模后即成碎片或扭曲爆裂;二是虽能挤出成型,但因压缩比太小,挤出物未充分定向,纵向强度太低,无法连续挤出并通过干燥烧结区。经反复试验,终于在模具的设计上找到突破口。其原理是:使坯料在模具的压缩腔内形成多个压缩区域借以弥补缸筒小之缺陷,达到所需的压缩比。由于我们合理地把握住这个原理,对模具的几何形状和尺寸作了合理设计并精心加工,从而在同一缸筒、活塞不变的条件下,保证了推压挤出的顺利进行,成功地生产出多种规格的聚四

氟乙烯薄壁软管。

工艺实践

为便于对工艺过程进行整体设计和综合分析,我们采用了正交设计试验法进行探索性试验。

1. 因素水平的选定及表头设计

根据以上对推压挤出因素的分析及大量试验结果,在生产条件不变及配比一定的条件下,重点验证下述四个工艺参数:坯料预成型压力、推挤速度、成型模挤压锥角和成型模定径长度。根据本厂的设备条件和生产经验,试验中的因素水平选定情况列于表1。

表 1 推挤成型工艺试验因素水平表

因素水平	各因素代号及参数			
	A 预成型压力* (kgf/cm ²)	B 推挤速度	C 成型模锥角	D 定径长度** (mm)
1	50	一档快速	单角度	(0.5~0.8)d
2	60	一档慢速	多角度	(0.9~1.1)d

* 保证时间均为15~20分钟。

** 数值为成型模孔的倍数。

注: $1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.0980665 \text{ MPa}$ 。

根据所选定的因素水平,确定选用 $L_8(2^7)$ 正交表。其试验方案及表头设计见表2。

2. 试验结果分析

按上述试验方案所得的试验结果见表3,各因素对试验结果的方差分析见表4。

从表3可看出,第7试验号的收率最高,其试验条件为 $A_2 B_2 C_1 D_1$ 。是不是这个试验条件最佳呢?或者说能否确定 $A_2 B_2 C_1 D_1$ 就处于最好水平呢?我们不妨用因素的水平作横坐标,用试验结果的平均收率作纵坐标,作出因素与指标的关系图如图1所示。

表 2 $L_8(2^7)$ 正交试验方案

试验号	各因素代号及列号下的水平						
	A	B	(A×B)	C			D
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

表 3 试验结果分析

试验号	各因素代号及列号下的水平							结果
	A	B	(A×B)	C			D	
	1	2	3	4	5	6	7	
1	1	1	1	1	1	1	1	10
2	1	1	1	2	2	2	2	8
3	1	2	2	1	1	2	2	6
4	1	2	2	2	2	1	1	25
5	2	1	2	1	2	1	2	10
6	2	1	2	2	1	2	1	20
7	2	2	1	1	2	2	1	30
8	2	2	1	2	1	1	2	20
K_1	49	48	68	56	56	65	85	
K_2	80	81	61	73	73	64	44	
\bar{K}_1	12.25	12	17	14	14	16.25	21.25	
\bar{K}_2	20	20.25	15.25	18.25	18.25	16	11	
R	7.75	8.25	1.75	4.25	4.25	0.25	10.25	
S_1	120.12	136.12	6.12	36.12	36.12	0.12	210.12	

表 4 各因素对试验结果的方差分析

方差来源	偏差平方和	自由度	平均偏差平方和	F 比	显著性
A	$S_A = S_1 = 120.12$	1	120.12	6.63	
B	$S_B = S_2 = 136.12$	1	136.12	7.51	
C	$S_C = S_4 = 36.12$	1	36.12	1.99	
D	$S_D = S_7 = 210.12$	1	210.12	11.60	*
A×B	$S_{A \times B} = S_3 = 6.12$	1	6.12	0.34	
误差 e	$S_e = S_6 + S_5 = 36.24$	2	18.12		

$$F_{0.05}(1, 2) = 18.5$$

$$F_{0.1}(1, 2) = 8.53$$

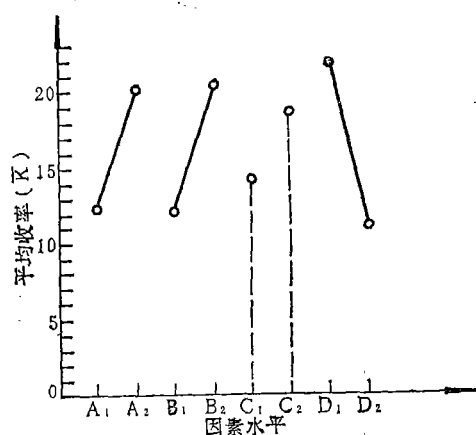


图 1 收率与诸因素关系 (实线为定量指标, 虚线为定性指标)

从图1可看出, 当预成型压力为 60 kgf/cm^2 时收率最高; 挤出速度以一档慢速为宜; 而成型模锥角则以选多角度较合适; 模具定径长度取 $(0.5 \sim 0.8)d$ 为好。把这四个因素组合起来就得到一个较佳的工艺条件: $A_2B_2C_2D_1$ 。可见, 由表中直观得出 $A_2B_2C_1D_1$ 为较佳生产条件到比较后得出 $A_2B_2C_2D_1$ 为较佳生产条件的过程, 实质上是由表及里、去伪存真的过程, 是由感性认识上升到理性认识的飞跃过程。

在表3中我们注意到因素D的极差R值最大。这说明当该因素处于不同的水平时对试验结果将产生较大影响,是主要因素。同样,我们可以根据R值的大小判断出诸因素在整个试验过程中所处的不同的主次地位(见图2),进而筛选出关键因素D。从对试验结果进行的方差分析中也可进一步看出因素D的显著性作用。

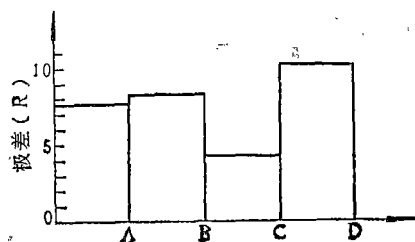


图2 因素的主次分析

从产品质量方面分析,导致废品率高的主要原因见图3所示。

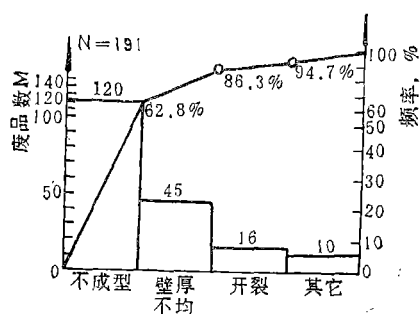


图3 质量分析排列表

尽管废品的表现形式不同,各因素对造成废品率大小的影响各异,但我们从正交试验的结果分析中得到启示,即推挤过程中影响制品成型在工艺方面的主要因素是合理的模具设计。抓住了这一主要矛盾并致力于攻关,终于实现了小缸筒、大压缩比连续推挤成型聚四氟乙烯薄壁软管,初步探索出具有一定特色的聚四氟乙烯超薄型(壁厚)软管的加工新工艺。

性能测定

为了验证制品在该工艺条件下的性能可靠性,我们严格按有关技术标准进行了全面测试检查,同时模拟该产品在飞机飞行过程中所遭遇到的各种恶劣环境下运行的性能稳定性进行了综合考核。检测情况如下。

1. 老化前后的气密性试验

将各规格软管各取二根试样放入温度为 -50°C 冰箱内保温2小时,取出放入温度为 $+200^{\circ}\text{C}$ 的烘箱内保温2小时,取出后冷却至室温(如此为一个循环,共做三个循环),再按规定的弯曲半径弯曲50次。此时管内应无目视可见裂纹(允许有绉折)。将试验合格的样管通入 $2\sim 3\text{kgf/cm}^2$ 压缩气体,管子应无渗漏现象。试验结果见表5。

表5 老化前后气密性试验结果

	技术要求	实测
老化前	管内通入 $2\sim 3\text{kgf/cm}^2$ 压缩气体无渗漏	无渗漏
老化后	弯曲50次无裂纹	无裂纹
	同老化前要求	无渗漏

2. 耐振强度试验

试样内通入 $2\sim 3\text{kgf/cm}^2$ 压缩气体,一端固定,一端振动,并将软管形成直径为800mm的圆弧装在振动台上,形成一次振动一次弯曲。检查产品在所要求的振动条件下承受长时间振动的能力。其振动时间不少于16小时,按高、低频率分配。经试验后管体不应有渗漏现象。试验结果见表6。

3. 弯曲试验

以20倍于试样内径作为软管的最小弯曲半径,双向弯曲50次,并通入 $2\sim 3\text{kgf/cm}^2$ 压缩气体,试验后管体应无渗漏现象。试验结果见表7。

表 6 耐振强度试验结果

试验号	频率 (Hz)	过载 (g)	压 力 (kgf/cm ²)	时间 (h)	结 果
1*~3*	50	2.6	2±0.2	10	无渗漏
	200	5	2±0.2	8	无渗漏
4*~6*	50	2.6	2±0.2	8	无渗漏
	200	5	2±0.2	8	无渗漏

结 语

1. 推挤烧结法的工艺使流程基本上是连续的。对于超薄型(壁厚)聚四氟乙烯软管加工, 实践中首先碰到的难题是管子在烧结前的挤出成型问题, 这是关键工序。它关系到制品的优劣, 决定着能否成型。小缸筒、大压缩比连续推压挤出聚四氟乙烯薄壁软管新工艺, 较好地解决了这一难题。

2. 本文在工艺探讨中, 是在考虑烧结工艺相对稳定并能满足推挤条件的情况下单独地把

表 7 弯曲性能试验结果

试验号	压 力 (kgf/cm ²)	弯曲半径 (mm)	双向弯曲次数 (次)	结 果
1*	2~3	60	50	均
2*	2~3	60	50	
3*	2~3	60	50	无
4*	2~3	80	50	
5*	2~3	100	50	渗
6*	2~3	160	50	

挤出成型作为独立工序来进行叙述分析的。经验表明, 其他几个工艺参数如烧结温度曲线的合理设定及冷却速率的控制也是非常重要的。在连续的工艺流程中必须视具体情况适时调整, 有机配合, 方能奏效。但从这次试验的情况看来, 所得的结果对整个试制过程具有一定的指导意义。

★ ★ ★ ★ ★

美国几家公司研制的新型材料

Du Pont公司研制出Hytrel G-4074、G-4755和G-5544三种新牌号的聚醚胶料。这些胶料与硬度范围相同的现有牌号的胶料相比, 在可加工性、耐热性和价格(低15%)等方面均具有优越性。该胶料可以进行挤压加工、压力浇注, 并能任意成形。由于该胶料的熔点高、结晶温度高, 因而具有较高的软化温度, 与现有牌号的胶料相比, 具有更高的使用温度。此外, 该胶料的成形周期短, 并能浇铸成薄壁件。硬度为40D的胶料流动性最大, 它的熔点和结晶温度比硬度相同的Hytrel胶料分别高出20°C和50°C。该胶料一般用作高压软管、摩托车不充气轮胎的内胎等。

Upjohn公司研制出两种以异氰酸酯为基体的聚酰胺: 一种牌号是Isonamid7030; 另一种是Estamid 90A。前者为脂肪-芳香族聚酰胺, 对汽油和酒精的混合物、开水、苛性碱、溶剂(如丁酮、二氯甲烷)具有稳定性, 主要应用在燃料系统及化工、电视、电子等领域。Estamid 90A是另一种新型聚酰胺耐热胶料,

★ ★ ★ ★ ★

对溶剂和化学试剂具有良好的稳定性, 硬度为90A, 可在-40~+170°C温度范围内长期使用, 一般用作软管、导管、电缆、成形件等。

Emerson and Cuming公司研制成功一种新型耐冲击Eccothane 7031聚氨酯。它具有很高的硬度和透明度。这种双组分聚氨酯不含有甲苯撑二异氰酸酯, 阳光照射不变黄, 工作温度为-30~+125°C, 硬度为65D, 用作耐冲击箱体、子弹不易射穿的复合体。该聚氨酯对许多纺织物、塑料、金属和玻璃均具有良好的附着力。

Allied Fibers and Plastics公司制出一种新型耐火Petra 130 FR聚酯纤维, 用作电器零件及开关。以耐火性能分类, 它属于V-O至UL-94范畴。该材料含有30%的氯溴甲烷, 可有不同颜色, 加工时无需特别脱水, 也不需要控制成型温度。

(邢致信摘译)