

新的耐高温弹性体密封材料

——FX-2 氟橡胶

张 洪 雁

FX-2材料是采用国产F246生胶和新硫化体系配制成的低压缩永久变形氟橡胶。它除具有优异的耐热、耐液体介质性能外,特别在耐压缩永久变形和高温强力方面有显著的改善。经使用表明,它适于制作长期在 $-40\sim+180$ 、 250°C 航空油料和空气中工作的固定和活动密封件。本文对该胶料的组成、性能、工艺和使用情况作了介绍,可供飞机、发动机选材时参考。

一、 引 言

早在第二次世界大战期间,随着飞机速度的提高,军用飞机上普遍存在漏油现象。战后工业特别是尖端工业的发展,日益对橡胶材料的耐热、耐液体介质性能提出了更高的要求,原有的天然、氯丁、丁腈等橡胶已不能胜任这些新的工作条件,因而迫切需要研制一种更耐热、耐液体介质的新型弹性体来满足高温密封的需要。

五十年代初期,美国杜邦公司开始研制氟碳弹性体,其商号为维通(Viton)。这种弹性体的出现,在迅速发展的宇航、汽车、化工及机械制造工业中解决了一批通用橡胶所不能解决的问题,因而引起人们的重视。从1956年合成出第一个商品维通-A(Viton A)后,又陆续研制成一批不同类型的氟碳弹性体如Viton A-HV、Viton B、Viton B-50、Viton A-35等,以满足不同使用条件的需要。但直到1966年,作为解决高温液体密封而研制的氟橡胶,一直因为压缩永久变形大和工艺性不好而限制了它的广泛使用。随后美国杜邦和3M公司在氟弹性体的合成和硫化体系方面进行了许多研究工作,从1968年后又相继研制出Viton D-80、Viton E-60、Viton E-60c、

Fluorel LCS-2160、Fluorel-2170等低压缩永久变形氟橡胶,压缩永久变形由200℃72小时的47%降到13%,加工性能也有所改善,适于高温注射成型,从而提高了生产效率。近两年为克服氟橡胶耐蒸汽和低温性能方面的缺点,杜邦公司又研制出四种品级的维通弹性体,它们是:耐蒸汽、化学药品和低温的G型,低温性能可达到 -50°F (-46°C)以下的GLT型,改善耐化学药物和高芳香烃燃料的VT-R-4590和改善低温挠曲性能的VT-R-4677。与此同时,氟橡胶的硫化机理和配合技术也取得突出的进展,极大地扩充了硫化剂类型,改善了硫化胶性能。例如采用马林西亚胺和过氧化物并用使氟弹性体的强度达到4350磅/时²。美国空军材料实验室用改性的氟弹性体使204℃下高温强力达到700~800磅/时²。苏联橡胶工业研究所为了克服CKΦ-26氟橡胶高温强力低和压缩永久变形大的缺点,将结晶型氟塑料在高温下混炼于生胶内进行共硫化,同时选用5毫米长的碳纤维代替ΠΓМ-33碳黑,使250℃24小时的压缩永久变形由58%降到37.5%。在改善氟橡胶耐寒性上,全苏合成橡胶研究院通过在侧基上引入醚基氧这样的杂原子来增加侧链长度以减小分子间的作用力,提高了链段柔软性。例如用偏氟乙烯和全氟甲基乙烯基醚合成

的二元共聚物,其玻璃化温度降到 $-39\sim-40^{\circ}\text{C}$,采用偏氟乙烯、三氟氯乙烯、二氢全氟丙基丙烯酸酯合成的三元共聚物,其玻璃化温度降至 $-45\sim-46^{\circ}\text{C}$,已有两种低温性能得到改善的氟弹性体CK Φ -260、CK Φ -460投入中间生产。由于近年来氟橡胶性能显著地改善,尖端工业对高温密封橡胶的要求得到部分满足,因而在美国仅维通氟弹性体的年销量由1961年的355吨增至1973年1300吨,其中80%是作为橡胶密封件使用的。

我国从1958年起开始研制含氟弹性体,至今已有四个品种研制成功,其中氟橡胶-23和氟橡胶-26(分别相当于美国Kel-f和Viton A)已定型生产,氟橡胶-246(相当于美国Viton B型)和亚硝基氟橡胶(相当于美国CNR)正处于试产阶段。自1966年起,航空工业开始使用国产氟-26生胶配制的氟橡胶,但一直存在着压缩永久变形大和工艺性不好等问题,使这类高温耐油密封橡胶尚未获得广泛应用。为满足迅速发展的航空工业对高温密封橡胶的需要,我们参考国外氟橡胶改质工作的动向,采用国产氟-246生胶从1971年起开始研究,初步研制成FX-2低压压缩永久变形氟橡胶,经在发动机液压系统和滑油系统试用结果良好,现已投入小批生产,适于制作长期在 $-40\sim+180$ 、 250°C 石油基、各种合成油系统和空气中工作的活动和固定橡胶密封件。

二、FX-2氟橡胶的物理机械性能

氟橡胶之所以具有优异的耐热、耐化学介质性能,是由其化学结构决定的。首先,C-F键能很高,大约为107千卡/克分子,而C-H键能只有80千卡/克分子。并且在碳氢化合物中由于氟原子取代了氢原子使C-C键能由80千卡/克分子增至85千卡/克分子,并使C-C键长由 1.337 \AA 缩短为 1.313 \AA ;另外氟原子电负性最大,其半径为 0.64 \AA ,约为C-C键长的一半,因而氟原子对C-C键起着屏蔽作用。所有这些

使氟橡胶具有许多优异的物理机械性能。

FX-2胶料是采用国产氟-246生胶填加氢醌-四丁基氢氧化铵-双肉桂叉己二胺硫化剂、氧化镁和碳黑而配制成的。其硫化胶抗张力为 $160\sim180$ 公斤/厘米²,扯断伸长率为 $140\sim180\%$,邵氏硬度 $70\sim76$ 度,抗撕强度(起始型试片)约 $25\sim30$ 公斤/厘米,并具有良好的耐磨性能和极低的压缩永久变形值。由于FX-2选用新硫化体系,其硫化胶的交联键的类型和密度与含3*硫化剂的胶料有所不同,因而胶料100%定伸模数从 30 公斤/厘米²增至 $80\sim90$ 公斤/厘米²,而伸长率从 250% 降至 $140\sim180\%$,这是低压压缩变形氟橡胶的一个显著特点。美国目前最佳的低压压缩永久变形氟橡胶Viton E-60c伸长率也只有 $160\sim190\%$,按MIL-R-83248和AMS-7280标准也只规定为 125% ,作为密封件 130% 以上的伸长率完全可满足使用要求和工艺成型的需要。

1. 耐压缩和应力松弛性能

材料的耐压缩和应力松弛性能是衡量其密封效能的重要性能之一。胶料长期处于压缩状态下,由于交联键的断裂和分子链的松弛特性,密封应力会逐渐衰减,最后导致泄漏。这种密封应力的松弛过程又随着温度的升高而加剧,因而提高交联键的耐热性是改善胶料高温密封性能的重要途径。

在国外五十年代和六十年代氟橡胶主要使用的硫化剂是六次甲基氨基甲酸盐(Diak No1)和双肉桂叉1,6己二胺(Diak No3)。这些都是脂肪族二胺的衍生物,硫化时生成碳-氮型交联键,这种雪夫碱型($\text{C}=\text{N}-$)交联键耐热性较差,于 200°C 高温下易于水解,同时又生成新的交联键。当硫化胶受压缩时,交联的大分子链由于高温作用,一部分原来的交联键开始破坏,一方面又与变形后邻近的大分子生成新的交联键,这可能是含胺类硫化剂胶料高温压缩永久变形大的缘故。FX-2使用了季胺碱-芳香族二元酚硫化系统,它可生成热稳定的醚型交联键,从而改善了胶料高温

表 1 FX-2 硫化胶在空气和各种航空油料中的压缩永久变形*

试验介质 试验条件	空气	Rp-1 航空燃油	YH-12 航空 液压油	4602-1 合成 液压油	Hp-8 滑 油	4050 合成滑油	4106 合成滑油	4109 合成滑油	Castrol -325 合成滑油	4611 抗燃 液压油
150°C×24小时	14	10	11		10	11		13	7	40**
150°C×100小时						11		15	6	
180°C×72小时		10	15		15	18				
180°C×200小时			24					18		
200°C×24小时	16					14	20	28		
200°C×72小时	26			28			22	25		
200°C×200小时	37						33	42		
200°C×500小时	53									
200°C×1000小时	75									
250°C×24小时	34									
250°C×72小时	56									
250°C×200小时	70									
300°C×24小时	97									

*20%压缩率；**试验条件150°C×72小时。

耐压缩性能。

FX-2 硫化胶在空气和各种航空油料中耐压缩性能见表 1。从所测数据可以看出，FX-2 在空气和航空油料中具有极低的压缩永久变形值，例如：FX-2 在 200°C 下压缩 1000 小时变形值为 75%，而此值和含双肉桂叉 1,6 己二胺的胶料 72 小时结果相近。在热空气 250°C 下压缩 200 小时后，胶料还保持 30% 弹性恢复能力，而含双肉桂叉 1,6 己二胺的胶料在 24 小时后变形值已超过 95%（即弹性恢复不足 5%）。FX-2 在各种航空油料中的耐压缩性能甚至比最佳配方的丁腈橡胶还要好得多。

FX-2 硫化胶在室温下长期压缩后的变形也是很小的，1000 小时压缩后的变形值不大于

表 2 FX-2 在空气和航空油料中长期压缩后变形值

介质 存放条件	空 气	YH-12 航空液压油	4109 合成滑油
室温(20~30°C) ×1000小时	2.9%		
年平均温度 (15~25°C) ×10220小时		22.2%	21%

3%，要比含双肉桂叉 1,6 己二胺硫化剂的 7270、7271 小 80%。它在 4109 合成滑油和 YH-12 航空液压油中压缩了 10220 小时，压缩永久变形值接近 20%（表 2），因而 FX-2 胶料压制的密封件会比当前所用的胶料有更好的贮存性能。

FX-2 胶料受压缩时，其接触应力起始值较高并随温度升高有增大的趋势，在贮存和使用过程中，应力逐渐减小，但减小的速度极为缓慢，即具有较好的应力松弛特性（表 3）。根据胶料这种工程性能，选择 FX-2 密封件压缩率时应比丁腈橡胶适当降低，以防止摩擦力过大而引起胶圈扭转和剪断现象。

表 3 FX-2 硫化胶在 Castrol-325 和 YH-10 液压油中应力松弛*

介质 温度 应力值, 公斤 老化条件	Castrol-325 滑油			YH-10 液压油	
	室温	100°C	150°C	室温	100°C
起始应力值	21.3	27.5	31.7	21.3	27.5
150°C×22小时后	15.9		32.5	14.1	22.1
150°C×40小时	14.6	25.8	30.6	13.0	21.2
150°C×60小时	14.1	23.5	29.1	12.4	20.8

*20%压缩率。

2. 耐油性

氟橡胶耐各种油类(燃油、润滑油、液压油)、各种无机酸、各种有机溶剂和高浓度过氧化氢等流体的性能是目前其他弹性体不能相比的。FX-2 胶在各种航空油料中的重量和体积变化以及油老化性能见表 4、5。

数据表明, FX-2 硫化胶在各种石油基油料中体积变化不大于10%, 经150℃200小时浸油后强度和伸长率的保持率也均在80%以上。在合成酯类油中体积变化不大于15%, 经180℃200小时浸油后强度和伸长率的保持率也在80%以上。但在200℃的4106、4109双酯合成油中, FX-2 胶的性能会产生急剧恶化, 因此在200℃只能短期(不超过72小时)使用。

氟橡胶不适于在某些磷酸酯液压油(如国产4611抗燃液压油和国外的Skydrol 500、500

A油)中工作, 其溶胀值可达300%, 物理机械性能也有很大的衰减, 但在工业抗燃液压油4621(磷酸酯和芳香烃混合物)中却具有良好的适用性。另外, 氟生胶和混炼胶能溶于甲乙酮、环己酮、醋酸乙酯等低分子酮、酯类溶剂中, 硫化胶在上述溶剂中也有很大的溶胀值(大于300%), 因而氟橡胶在使用过程中切勿与上述油料和溶剂接触。

3. 耐热老化性能

氟橡胶是一种耐热材料, 据国外报导, 维通型氟橡胶连续使用的时间和温度为:

- 在204℃下多于三年;
- 在232℃下多于3000小时;
- 在260℃下为1000小时;
- 在288℃下为240小时;
- 在316℃下为48小时。

表 4 FX-2 硫化胶在航空油料中重量和体积变化

油料名称 性能	Rp-1 航空 燃油	Rp-2 航空 燃油	YH-10 航空 液压油	YH-12 航空 液压油	4602-1 合成 液压油	4611 抗燃 液压油	Hp-8 航空 滑油	4050 合成 滑油	4109 合成 滑油	4106 合成 滑油	4031 合成 滑油	Castrol -325 合成滑油	Mobil-I 滑油
150℃×24 小时	△G 2.7 △V 6.5		1.1 2.6	1.2 3		37.4* 73.9	0.8 1.6	4.1 8.7	4.1 8.7		6.8 14.2	4.7 10.1	
180℃×72 小时	△G 4.2 △V 10.5			2.4 5.6			1.5 3.1	4.4 9.2					5.3** 10.8
200℃×24 小时	△G △V	3.5 9.3						4.9 11.0	4.4 9.2	3.6 7.2			
200℃×72 小时	△G △V				0.9 1.9			5.3 10.5	5.5 11.8	3.6 7.3			
200℃×200 小时	△G △V								6.4 14.8	4.8 10			

注: △G 为重量变化百分数, △V 为体积变化百分数;

*浸渍条件150℃×72小时;

**浸渍条件175℃×72小时。

如以工作24~36小时的极限温度表示耐热性, 维通氟弹性体大约是320℃, 实际上填充配合剂的氟橡胶在260℃以上已经出现热裂解现象, 因此正常连续使用的温度大约在230~250℃范围。在200、250、300℃不同温度下热空气老化后的性能如表6。上述结果表明, FX-2 氟橡胶具有优异的耐空气热老化性能, 250℃200小时热老化后仍保持80%以上的强力 and 伸长率。特别是对300℃热空气老化, F-26型氟

生胶配制的硫化胶经100小时即变脆, 而FX-2 胶虽强力有明显降低, 但还保持一定的弹性。因此在选择于250~300℃使用的材料时, 如要求材料保留较好的柔软性, 选用FX-2 是比较合适的。

此外, 氟橡胶也有极好的耐臭氧、氧、光老化的性能。FX-2胶料研制时间较短, 虽尚未进行此方面的工作, 但国外同类胶种这方面的性能可以借鉴。维通硫化胶置于38℃臭氧浓度

表 5 FX-2 硫化胶在航空油料中强力和伸长性能的变化

油料名称 表 5 条件 性能		RP-1 航空 燃油	YH-10 航空 液压油	YH-12 航空 液压油	4611 抗燃 液压油	Hp-8 滑油	4050 合成 滑油	4109 合成 滑油	4106 合成 滑油	Castrol -325 合成滑油	Mobil-Ⅱ 滑油	4602-1 合成 液压油
150°C×24小时	Kd Ks		0.97 1.0				0.84 0.98	0.80 0.96		0.89 0.96		
150°C×100小时	Kd Ks		0.93 0.96		0.21 0.64		0.85 1.0	0.80 1.01		0.85 0.83		
150°C×200小时	Kd Ks		0.98 1.06				0.84 1.13	0.77 1.11		0.82 1.10		
175°C×72小时	Kd Ks										0.81 0.85	
180°C×72小时	Kd Ks	0.67 0.88		0.76 0.82		0.86 0.85	0.67 0.77					
180°C×200小时	Kd Ks							0.84 1.19				
200°C×24小时	Kd Ks							0.48 0.63	0.77 0.94			0.72 0.83
200°C×72小时	Kd Ks							0.27 0.43	0.40 0.52			
200°C×200小时	Kd Ks							0.12 0.23	0.17 0.27			

注：Kd、Ks分别表示抗张力、伸长率的老化系数。

高达 100ppm 的空气中一年后，进行弯环试验未发现老化微小裂纹，拉伸 25% 的试样在同样浓度下经 28 昼夜，也未见任何龟裂现象。我国航空工业使用氟橡胶已有十年历史，至今尚

未发现氟橡胶零件的老化问题，如在可用氟橡胶的部位有更多橡胶件采用氟橡胶，将会极大地延长零件的使用寿命和贮存期。

表 6 FX-2 硫化胶热老化后的性能

性能	温度，°C		200				250			300		
	时间，小时		0	24	72	200	24	72	200	24	72	200
抗张力，公斤/厘米 ²			195	197	181	185	201	160	145	121	77	74
扯断伸长率，%			175	145	121	160	142	168	183	169	138	20
永久变形，%			5	5	5	5	5	5	5	5	5	0
邵氏硬度			76	76	75	75	79	75	74	75	74	90
压缩永久变形，%				16	26	37	34	56	77	97	—	—

4. 高温强力

虽然氟橡胶具有优异的耐热性，但高温强力都较低，含双肉桂叉 1,6 己二胺硫化剂的胶料，室温下强力大约 160~190 公斤/厘米²，但 200°C 下强力仅为 30~40 公斤/厘米²，250°C 下强力降至 20~25 公斤/厘米²。这种影响在 150°C 以上尤为显著。FX-2 胶料硫化时生成部

分耐热的醚键以及交联密度有所提高，它在 150、200、250°C 下的高温强力分别为 60.5、50.5、41 公斤/厘米²，要比单独使用胺类硫化剂提高 10 公斤/厘米²。

含己二胺基甲酸盐的胶料，当温度从 24°C 升到 204°C 时其硬度值大约降低 15 度。采用新硫化体系配制的低压缩永久变形氟橡胶其硬度

几乎不随温度的升高而变化, 实测结果表明: FX-2 硫化胶在室温和 200℃ 下硬度值变化不大于 2~3 度。这种硬度不随温度变化的特点, 一方面会降低密封件受挤压损坏的可能性, 另一方面也可能出现高温下摩擦力过大而造成胶圈的机械损坏, 因此在密封件设计时, 应对该工程特性加以注意。

5. 低温性能

由于氟碳弹性体分子间有较强的内聚力和分子链段较大的刚性, 因而它不是一个耐寒材料。FX-2 硫化胶脆性温度为 -41℃, 在 -25℃ 下耐寒系数为 0.04, 但这并非材料的实际使用温度。氟橡胶实际使用的低温范围国内外还没有明确的报导, 一般认为这与材料的工作条件有密切关系。美国杜邦公司曾介绍, 维通氟弹性体作动态密封件使用温度可到 -24℃, 但在某些特定条件下可用到 -54℃, 在作静态密封使用时, 材料的低温性能可适当放宽要求, 例如用维通胶压制的 O 形圈在超低温装置上做固定密封曾用到接近绝对零度。

FX-2 胶料曾在 ZL-8、ZL-12 两种助力器进行了低温密封试验, 在 -60℃ 两米液柱静压密封试验均未发现漏油, 在 210~315 压力下壳体接合面一个固定密封处出现漏油而活动密封处无漏油现象。分析漏油原因, 活动密封是采用双道密封胶圈, 而固定密封是单道密封形式, 壳体的固定密封仅有一个直径大于 90 毫米的胶圈, 有可能是因为低温下材料的收缩而造成了漏油。所以整个部件的低温密封性能不仅取决于密封材料的低温性能, 而且与密封结构形式有密切关系。对于低温要求不太苛刻的滑油系统, 氟橡胶完全能胜任, 而它优异的耐热、耐液体介质性能又是高温密封材料所必备的, 因此近年来国外军用机和客机滑油系统均采用了大量的氟橡胶密封件。

6. 对金属的腐蚀性能

FX-2 硫化胶在高温下对所接触的金属腐蚀情况如表 7。

本胶料在高温下除使所接触金属表面轻微

表 7 FX-2 硫化胶对金属腐蚀情况

所接触的金属 试验条件	45* 钢	LY12 铝合金
高温腐蚀试验 (200°C×200 小时) 热空气	金属表面 轻微失光	金属表面 轻微变暗
潮湿-高温循环腐蚀试验*	同上	同上

*于相对湿度 60% 的 40°C 容器内放置 60 小时, 再移入 200°C 烘箱处理 8 小时为一次循环, 总共进行五次。

失光变暗外, 未发现有其他的腐蚀现象。可以认为, FX-2 胶料对所接触的钢和铝合金无腐蚀性。在实际使用中也未发现和它配合的零件产生腐蚀。另外, FX-2 混炼胶对炼胶机和模具也无腐蚀现象。

三、FX-2 氟橡胶的工艺性能

FX-2 混炼胶是氟-246 生胶、酸受体, 硫化剂和填料在开放式炼胶机炼制的。它和丁腈、氯丁、天然橡胶等具有相近的加工性能, 因而通用橡胶生产用的装备都可适用。由于氟橡胶结构和配合技术上的特点, 其模压流动性较差, 收缩率也比通用橡胶大些, 并且需要进行二次硫化。这是氟橡胶在工艺上不同其他胶料的地方。现就 FX-2 胶的硫化、粘合工艺以及模压收缩率和贮存性能分述如下。

1. 硫化工艺

氟橡胶的硫化分二个阶段: 第一阶段是压制硫化, 第二阶段是烘箱硫化。压制硫化是在一定的温度和压力下, 胶料填入模具内产生交联反应, 并赋予材料所需的形状。但压制硫化后胶料内的交联反应还是不完全的, 需在高温下使不稳定的 $>C=N-$ 键破坏掉, 再生成热稳定的二级网状结构, 另外胶料进一步脱出氟化氢形成芳香环排列, 这种进一步改善胶料耐热性能的过程称之为烘箱硫化。

1) 压制硫化: 模压前胶料需在炼胶机上进行返炼以增加材料的模压流动性。返炼工艺为: 将胶料放入滚距 3~4 毫米炼胶机通过上几

次，待胶料变软后锁紧滚距薄通10~15次，薄通后的胶料按所压零件的尺寸，辗成平滑的胶片。

由于氟橡胶的模压流动性较差，采用搭接的坯料压制的胶圈表面残留有接头痕迹，对于外观要求较高的活动密封件需用冲刀或划刀制成与所压零件相似的连续型坯料。胶圈表面接头痕迹不影响其强度，对外观质量要求较低的固定密封件也可采用坯料的搭接。冲切下来的胶料在保证清洁的情况下（绝对不允许用水冲洗）可以多次返炼使用。模压压力应使模具单位面积大于100公斤/厘米²，温度175±3℃。如零件最大截面不超过6毫米，硫化时间可为10分钟，对于厚制品每增加2毫米，硫化时间延长5分钟；压制嵌有金属骨架的零件时，可根据表面处理剂和胶粘剂的固化情况以及零件的尺寸，将硫化时间适当延长，一般可选20~25分钟。形状复杂的零件加压过程应卸压放气1~2次，一般胶圈可不卸压放气。为避免粘模现象，模具应经常涂脱模剂并用绸布擦净。

2) 烘箱硫化：压制好的零件还需在烘箱内进行长时间高温处理，其处理程序为：

在一小时内从室温升至100℃；

一小时从100℃升至150℃；

一小时从150℃升至200℃；

一小时从200℃升至250℃；

在250℃下保持8小时，然后使其自然冷却至室温。

氟橡胶硫化过程中的挥发物主要是二氧化碳、水以及硫化剂所引起的组分，后者对人体的生理影响还不够清楚，所以氟橡胶在压制和烘箱硫化时工作场所应适当进行通风。目前尚未发现氟烃化合物裂解的产物。

2. 粘合工艺

FX-2 氟橡胶做密封皮碗时需与钢骨架粘合。由于氟橡胶结构的饱和性和化学惰性，它和金属粘合比较困难。“列克那特”胶水虽能使氟橡胶和钢粘合，但其耐热性较差，经烘箱硫化后胶接结构就被破坏，FX-2 胶和钢粘合

是采用KH-560表面处理剂和FX-2 粘接用胶浆进行。首先将钢表面进行喷砂，用汽油清洗后放入盐酸水溶液中进行酸洗处理，其后用冷流水冲去残留的酸液，待表面干燥后开始涂胶。第一层涂KH-560表面处理剂，再涂一层FX-2 粘接用胶浆，涂好后置于120℃烘箱内处理30分钟，即可进行压制硫化。按上述胶粘剂和表面处理工艺，FX-2 胶和钢的粘合性能如表8。

表 8 FX-2胶料与钢的粘合强度

试 验 条 件	扯离强度 公斤/厘米 ²	破坏形式
老化前粘合强力	57	橡胶层破坏
250℃×24小时热空气老化后粘合强力	40	同上
250℃×48小时热老化后粘合强度	45	同上
高温强力（250℃×10分钟）	12	同上
180℃C4109合成油浸渍200小时后粘合强度	39	胶粘剂层破坏
150℃YH-12航空液压油浸渍200小时后粘合强力	39	橡胶层破坏
与不锈钢粘合强力	56	同上

3. 模压收缩率

胶料的模压收缩率不单是材料的特性，它除受胶料配方影响外，硫化工艺、零件结构尺寸、坯料的制备方法也都对模压收缩率有一定影响，对FX-2 压制的O形圈进行了收缩率测定，见表9。由于收缩率受零件的形状和尺寸的影响以及测试上的误差，很难给出每种规格O形圈精确的数值，一般O形圈内径小于50毫米时收缩率为2.8~3%，如果内径大于50毫米其收缩率可在3~3.5%范围内选取。

在氟橡胶两个硫化阶段中，胶料收缩率的80%是发生在硫化第一阶段即压制硫化过程，因而严格控制压制硫化工艺条件对稳定收缩率是很重要的。按FX-2 胶料硫化工艺条件施工其收缩率变化不会大于0.2%。另外，坯料的停放时间、返炼次数、混炼胶贮存时间对收缩率影响也不大于0.2%。

表9 FX-2胶料压制的部分O形圈收缩率

序 号	模具尺寸, 毫米		胶圈尺寸, 毫米		收缩率, %	
	ϕD^*	ϕd^{**}	ϕD	ϕd	ϕD	ϕd^{***}
1	10.1	4.1+0.05	9.85	4.07	2.5	1.9
2	12.45	3+0.05	12.12		2.4	
3	14.4	2+0.05	13.85	2.0	3.5	2.4
4	18.6	3+0.05	17.95	2.91	2.6	4.6
5	24.8	3+0.05	24.01	2.81	2.4	4.2
6	25.2	3.1+0.05	24.5	3.05	2.7	3.2
7	56.35	2.85+0.05	54.5	2.85	3.3	2.7
8	90.9	2.6+0.05	87.5		3.7	

* ϕD 为O形圈内径** ϕd 为截径

***有的收缩后呈椭圆, 此数据供参考

4. 混炼胶的贮存性能

FX-2 胶料的硫化促进剂是四丁基氢氧化铵, 它是一种吸潮性和挥发能力较强的化合物, 在长期贮存过程中由于它的逸失和效力的减低对物理机械性能会带来一定影响。为此, 曾研究了贮存时间对性能的影响。

胶料在相对湿度60~90%、平均气温13~21℃条件下贮存六个月后, 其250℃×24小时压缩永久变形从33%增至35%, 扯断伸长率从160%增到230%, 各项性能均满足暂定技术标准的要求。故贮存期暂定为五个月。胶料最好放在温度低于20℃、相对湿度小于60%避光的地方。如能冷冻贮存, 则可延长保管期限。另外胶料使用后应包封好放回贮存地点。

四、使用情况

近几年在各厂、所的帮助下, FX-2 胶料在航空发动机液压、滑油系统部分密封件上进行了使用考核, 并取得了一定的成效, 例如做电机轴和液压泵传动轴的封严皮碗, 在温度-40~+150℃、压力4公斤/厘米²的Castrol-325合成滑油内, 于转速3000转/分下工作300多小时密封性良好, 皮碗唇口没有明显的磨损。用作YM-1 液压马达上的皮碗, 于150℃ YH-12 液压油中转速6500转/分连续工作200小时没

有泄漏现象, 分解后皮碗唇口仅有轻度磨损, 满足了使用要求, 现已投入成批生产使用。上述皮碗用丁腈橡胶仅工作几十小时就出现严重损坏, 引起漏油现象。用FX-2 胶料压制的O形圈在飞机助力器上进行了模拟试验, 除-60℃下壳体接合面有漏油现象外, 其他部位密封性良好。在高温150℃下进行运转试验, 连续工作450小时均未发现漏油现象, 分解后仅有二个胶圈被扭断。原用丁腈橡胶O形圈从80小时就开始滴油到160小时就漏油成线, 胶圈变硬且产生严重变形。从胶圈断裂后呈螺旋状态来分析, 上述胶圈的损坏是由于装备尺寸不合适而扭断的。用作发动机放气活门的7270、7271 氟橡胶, 由于压缩变形大经常发生漏油现象, 采用FX-2 胶后经100小时试车密封性良好, 胶圈变形小, 仍很柔软。该发动机滑油系统选用4109 合成油后, 密封件全部更换为FX-2 胶料, 经100小时试车密封性良好, 基本上满足使用要求。此项试验仍在继续进行。某飞机滑油系统中使用FX-2 做固定密封件, 通过模拟试验看出, 本胶料在4106 合成油中表现出良好的物理机械性能, 压缩永久变形小, 能保证密封性能的要求。

虽然在推广使用过程中也曾出现过密封唇口的磨损和胶圈变形扭断现象, 但多数是属于唇口紧度和胶圈压缩量加大以及装配不当造成

的,只要精心注意这些问题,FX-2 氟橡胶完全能满足航空发动机对密封件的要求。它比丁腈橡胶具有更高的耐温性,在油料和空气中长期工作温度可达 $180\sim 250^{\circ}\text{C}$,具有优异的耐航空油料特别是双酯合成油性能,极低的压缩永久变形,优异的耐气候性(但目前低温性能和加工性能不如丁腈橡胶,成本也较高)。因此在飞机、发动机上一些工作温度较高而低温要求不高(-40°C)的部位选用氟橡胶作密封件对保证航空产品质量,延长使用寿命具有现实意义。

近年来由于航空发动机推力不断增加,液压、滑油系统的温度也相应提高,例如当飞行速度 $M=3$ 时液压系统温度达 $-54\sim 204^{\circ}\text{C}$,滑油系统进出口温度为 $204\sim 260^{\circ}\text{C}$,在此条件下国外大量使用象Oronite 8200、8515, OS-45等硅酸酯液压油和ESSO 15、35、2380, Shell300, Castrol 98、5C、235, JHBM336/1

双酯和多元醇酯润滑油。在这些合成油中只有氟橡胶、氟硅橡胶具有良好的配伍性能,并已开始应用,例如AI20 M和达特发动机使用氟橡胶做密封皮碗,苏制 $37\Phi 2\text{C}$ 、波音707机的JT 3 D、斯贝等发动机的滑油系统已大量使用氟橡胶做固定、活动密封件,延长了发动机的翻修寿命。从国外高速飞机和发动机上氟橡胶密封件用量逐年增长的趋势说明,低压压缩变形氟橡胶一定会在今后的航空工业上得到广泛应用。

为满足飞机、发动机上各种密封件的需要,我所又研制出另三种硬度(65、75、85)的低压压缩永久变形氟橡胶,除具有与FX-2相近的物理机械性能外,在贮存稳定性和模压工艺性方面有了新的改善(拟在本刊陆续介绍)。今后上述四种材料将能在新机选材和老机延寿方面发挥它应有的作用。



用 400 公斤空气锤锻成尾翼片

尾翼片是采用LC4铝合金锻造的八五毫米气缸尾翼式破甲弹的重要零件,该零件型面较为复杂,尺寸精度要求高,锻后除个别部位外其余不再进行机械加工,表面质量严格,一般不允许有折迭、夹层、起泡、黑斑等冶金缺陷。这就给锻造工艺带来一定困难。我们根据该零件图核实锻件图并进行设备吨位的计算。计算结果表明,需要750公斤空气锤才能锻造该零件,而我厂目前最大的锻造设备只有400公斤空气锤。据悉,承担该零件生产的兄弟工厂,目前均采用750公斤空气锤、一吨模锻锤或两吨模锻锤,有的还采用四吨·米的高速高能锻锤。

在锻造设备能力达不到的情况下,为满足战备急需,决定采用多火次的锻造工艺。经多

次试锻后表明,锻造成形是可以的,但每一件锻件毛坯,需锻打5~6锤,而每分钟只能生产2~3片,这种生产效率是不能满足生产要求的。为迅速改变这种状况,我们又分析了LC4铝合金的锻造温度范围是 $480\sim 380^{\circ}\text{C}$,根据兄弟厂生产经验,我们将LC4铝合金的始锻温度规定为 $420\sim 425^{\circ}\text{C}$,采用单向胎模,在锻造过程中发挥人的主观能动性,勤跑快拿,上锤的砧面多加油润滑以减少变形阻力。由于采取了这些措施,保证了两锤锻成一片,每分钟可锻6~7片,该锻件经金相组织检查和机械性能试验,符合技术标准要求,成品率达99.66%。

由于改变了尾翼片原生产工艺规定的四次酸洗为一次酸洗,即终检前的酸洗,尽管减少了锻件的起泡和过腐蚀现象,但锻件表面却有黑点存在,如何更好地解决这一问题,目前还在摸索试验之中。

(一四一厂十五车间锻工组供稿)