

Al_2O_3) 7mg, 升温速率 $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, N_2 流量 $40\text{ml}/\text{min}$, 走纸速率 $5\text{mm}/\text{min}$, 坩锅为铂金坩锅, DTA 量程 $\pm 100\mu\text{V}$ 。

用落球法测定推进剂的药浆粘度, 测定时间从加入固化剂后 2 小时开始, 每隔 1 小时测 1 次, 共测 4 次。用水下声发射法测定其燃速, 压强 4, 6, 7, 8, 9MPa, 药条为 $4\text{mm}\times 4\text{mm}\times 100\text{mm}$ 。

推进剂配方见表 1。

Table 1 Composition of propellants

Samples	AP		Al (%)	HTPB+TDI+MAPO (%)	Plasticizer (%)	Catalyst
	Coarse (%)	Fine (%)				
No. 1	46	24	16	11	3	0
No. 2	46	24	16	11	3	1% normal CaCO_3
No. 3	46	24	16	11	3	0.5% CaCO_3 UFP
No. 4	46	24	16	11	3	1% CaCO_3 UFP

3 结果与讨论

3.1 热分解特性

AP 与 CaCO_3 以 35 : 1 混合均匀制成样品。实验发现无论是超细还是市售 CaCO_3 均使 AP 的热分解出现爆燃, 这说明 CaCO_3 使 AP 热分解的放热速率加快。

3.2 推进剂药浆的工艺性能

复合固体推进剂药浆粘度 (流变性能) 产固体推进剂可加工性的重要指标。复合固体推进剂药浆流变形性能的好坏除影响工艺性能以外, 还影响能量特性、力学性能等。为了研究超细催化剂对推进剂工艺性能的影响, 我们测定了加入 1% 催化剂后推进剂药浆粘度的变化, 其结果如表 2 所示:

Table 2 The viscosity of the propellant mixture (kPa·s)

Samples	The times after the curing agent was added (h)			
	2	3	4	5
No. 1	4.714	9.018	21.905	27.459
No. 2	3.520	7.131	17.746	22.206
No. 4	5.669	8.974	21.736	35.979

从表 2 可以看出, 市售 CaCO_3 可以使基础配方的药浆工艺性能有所改善, 含超细 CaCO_3 的药浆的工艺性能比含市售 CaCO_3 的药浆的工艺性能下降很多。

3.3 推进剂的燃烧性能

测定了含超细及市售 CaCO_3 的丁羟推进剂在不同压强下的燃速, 计算了 4MPa~9MPa 压强下的压强指数, 结果均列于表 3 中。与基础配方相比, 加入催化剂后燃速提高幅度见表

4。

Table 3 Burning-rates and pressure exponents of propellants

Samples	Burning-rates (mm/s)					Pressure exponents
	9.0MPa	8.0MPa	7.0MPa	6.0MPa	4.0MPa	
No. 1	7.391	6.927	6.275	5.884	4.772	0.536
No. 2	7.574	7.217	6.723	6.290	5.170	0.473
No. 3	8.745	8.041	7.651	7.049	5.560	0.548
No. 4	8.151	7.984	7.625	7.235	5.866	0.415

Table 4 The degree of improving burning rates of propellants after the catalysts was taken into

Catalyst	Pressure (MPa)				
	9	8	7	6	4
1% normal CaCO_3	2.48%	4.19%	7.14%	7.65%	8.34%
0.5% ultrafine CaCO_3	18.32%	16.08%	21.93%	19.80%	16.51%
1% ultrafine CaCO_3	10.28%	15.26%	21.51%	22.96%	22.93%

由表 3 及表 4 可以看出: (1) 在含量小于或等于 1% 的情况下, CaCO_3 可提高推进剂的燃速。(2) 在含量为 1% 的情况下, 超细及市售 CaCO_3 均可在提高推进剂燃速的同时降低推进剂的压强指数, 且超细 CaCO_3 对燃速的提高幅度及对压强指数的降低幅度均较市售 CaCO_3 要大。这说明由于表面效应的影响, 超细 CaCO_3 的催化活性明显比市售 CaCO_3 要高。(3) 随着超细 CaCO_3 的含量降低, 推进剂高压燃速升高的同时低压燃速降低, 因此压强指数升高。

参 考 文 献

- 1 荻原丰, 市川敏夫, 铃木正大, 等. AP/HTPB 系コンポジット推进药の燃烧速度におよぼす各种酸化铁の効果(Ⅰ).
- 2 荻原丰, 市川敏夫, 铃木正大, 等. AP/HTPB 系推进药の燃烧速度におよぼす各种酸化铁の効果(Ⅱ). 工业火药, 1992, 53: 125.
- 3 邓鹏图, 田德余, 唐松青. 含铜催化剂对 RDX/AP/HTPB 推进剂燃烧特性的影响. 火炸药, 1996, 19(2)

正交各向异性材料粘塑性统一本构模型^{*}

周 柏 卓

(沈阳航空发动机研究所, 沈阳, 110015)

张 晓 霞

(沈阳建筑工程学院, 沈阳, 110015)

罗 焰 明

(东北大学机械工程学院, 沈阳, 110006)

摘 要: 通过引入各向异性矩阵, 将各向同性材料的 WALKER 粘塑性统一本构模型进行了修正, 提出了一个正交各向异性材料的粘塑性统一本构模型, 给出了定向结晶材料和单晶材料各向异性矩阵的表达式。用所提出的统一本构模型预测了某单晶材料不同方向的迟滞回线、蠕变和松弛特性, 同时与试验结果进行了比较。

主题词: 非弹性应力, 应变率, 正交各向异性材料⁺, 粘塑性, 数值仿真

分类号: V250.1

A UNIFIED VISCOPLASTIC CONSTITUTIVE MODEL OF ORTHOGONAL ANISOTROPIC MATERIAL

Zhou Baizhuo

(Shenyang Aeroengine Research Inst., Shenyang, 110015)

Zhang Xiaoxia

(Shenyang Architectural and Civil Engineering Inst., Shenyang, 110015)

Luo Yanming

(School of Mechanical Engineering, Northeastern Univ., Shenyang, 110006)

Abstract: Based on modification of Walker's model of isotropic material by introducing anisotropic matrix, a unified viscoplastic constitutive model of orthogonal anisotropic material is presented. The anisotropic matrix of directionally crystallized material and single crystal material is given. The hysteresis, creep and relaxation behavior are predicted and compared with experimental data.

Subject terms: Inelastic stress, Strain rate, Orthogonal anisotropic material⁺, Viscoplasticity, Numerical simulation

1 引 言

在机械负荷和温度负荷的联合作用下, 航空发动机涡轮叶片材料的本构关系是高度非线性

^{*} 收稿日期: 1997-01-13, 修回日期: 1997-07-24