

新型 ODS-MGH956 合金板材热成形性能研究

Research On Thermoforming Property of New ODS-MGH956 Alloy Sheet

沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 杨 踊 石竖鲲 石晓东
北京航空制造工程研究所 侯金宝

[摘要] 利用工厂现有的热成形弯曲模具在数控热成形设备上进行了 5 种温度 3 种料厚 MGH956 合金板材的热成形试验,通过实测零件在不同参数下热成形后的回弹角,应用一般回弹公式反算的方法得到 MGH956 合金板材在不同成形参数下的综合回弹系数,从而掌握了该合金的热成形性能。最终通过试验及数据处理,获得了理想的热成形参数,并掌握了该合金的热成形回弹规律。

关键词: 氧化物弥散强化 热成形 回弹

[ABSTRACT] The thermoforming experiments on MGH956 alloy sheet are carried out in NC thermoforming machine with heated die under 5 kinds of temperatures and 3 kinds of thicknesses. The comprehensive resilience coefficient of MGH956 is obtained under different forming parameters according to the resilience angles of practical part after thermoformed under different parameters by application of reverse algorithm of general resilience formula. The thermoforming properties are mastered and the optimal thermoforming parameters and resilience rule of thermoforming are obtained according to the experiments and data treatment.

Keywords: ODS Thermoforming Resilience

MGH956 合金为国内新研制的氧化物弥散强化高温合金(Oxide Dispersion Strengthened, ODS),其对应的牌号为 MA956 机械合金化合物(Mechanical Alloying, MA),属于粉末冶金高温合金。西方发达国家已经批量应用到先进航空发动机中。此材料具有优良的高温强度、高比强度、耐氧化、耐碳化和耐热腐蚀等综合性能。然而, MGH956 合金较低的加工硬化指数、较大的屈强比、较差的延伸率及其很高的缺口敏感性导致其冲压成形工艺性差。该合金的屈服强度高于多数传统材料的屈服强度,导致成形零件具有较高

的冲压力和较大的成形回弹量。据国外相关 MA956 合金板材成形方面的资料介绍,此种材料的成形性能与钛合金类似,冷成形不适合成形较复杂和精度要求较高的零件,热成形是其理想的成形工艺——“板料和模具都要加热到 1 200 ~ 1 475°F(650 ~ 800℃) 范围内,使用较低的压力速率成形零件,而且 MA956 合金板料与许多高强钛合金板材表现出相同的热成形性能”。本课题针对航空发动机使用 MGH956 合金板材的零件形状复杂、成形精度要求高的要求,开展热成形工艺性研究,力求通过实际试验确定 MGH956 合金板材的最佳热成形参数,探索其热成形回弹情况,为零件的顺利研制奠定坚实的基础。

1 合金基本成分及性能

ODS-MGH956 主要成分为 Fe、Cr、Al,其强化相为 Y_2O_3 ,具体组分见表 1。

由于其强化相 Y_2O_3 具有很强的热稳定性和化学稳定性,其强化效果可以接近合金的熔点,冷轧退火状态的合金具有粗大扁平型晶体结构,这种晶体结构有利于板料良好的高温强度,因而该合金具有高温强度高、高比强度和耐氧化、耐碳化和耐热腐蚀性能好等综合性能。国产 MGH956 合金与美国材料 MA956 相比,其物理性能及力学性能基本相当,具体材料性能及与 MA956 合金的对比见表 2。

表1 ODS-MGH956成分含量^[1]

w/%

元素	C	Cr	Al	Ti	Y_2O_3	O	Fe
含量	≤ 0.05	18.5 ~ 21.5	4.0 ~ 6.0	0.3 ~ 0.7	0.3 ~ 0.7	≤ 0.5	余量

表2 MGH956与MA956性能对比

合金	物理性能		力学性能				
	密度 / ($10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	熔点 / °C	室温性能		持久性能		
			σ_b /MPa	延伸率 δ_5 /%	温度 /°C	σ / MPa	寿命 /h
中国 MGH956	7.32	1 480	650	10	1 100	55	>100
美国 MA956	7.20	—	640	9	1 000	75	>100

2 ODS-MGH956 合金板材热成形试验

2.1 ODS-MGH956 与 MA956 合金延伸率对比

据国外相关 MA956 合金板材成形方面的资料介绍,此种材料的成形性能与一些高温钛合金类似,冷成形不适合成形较复杂和精度要求较高的零件,热成形是其理想的成形工艺——“板料和模具都要加热到 1 200 ~ 1 475°F(650 ~ 800℃) 范围内,使用较低的压力速率成形零件,而且 MA956 合金板料与许多高强钛合金板材表现出相同的热成形性能”。从图 1 可见,MA956 的最大延伸率出现在 600℃左右,最大延伸率约为 21%~22%。从材料研制单位提供的材料延伸率—温度曲线(见图 2),可以看到 MGH956 合金板材最佳热成形温度在 600~800℃之间,最大延伸率约为 20%~24.5%。但是料厚不同其最大塑性温度也有所不同:0.5mm 厚度的板材最大延伸率出现在 800℃,最大延伸率为 21%~22%;1.0mm 厚度的板材最大延伸率出现在 600℃,最大延伸率为 24%~25%。

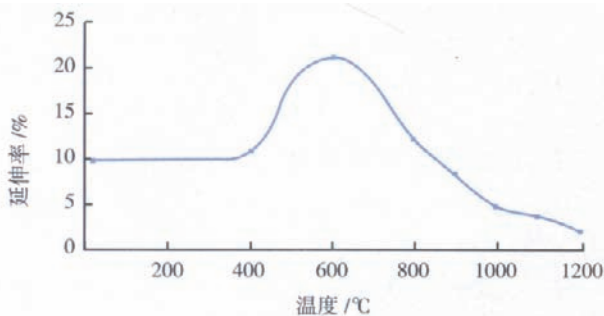


图1 MA956合金板材延伸率-温度曲线
Fig.1 Elongation-temperature curve for MA956 sheet

从图 2 发现,此材料成形性能不稳定,具体的热成形温度还需要实际热成形试验来确定,而且一般回弹公式中的相对弯矩系数 M 值也无法获得。为了实际掌握 ODS-MGH956 合金板材的热成形性能及在不同热成形温度下的回弹规律,特进行热成形研究。

2.2 热成形试验原理及方法

(1) 综合回弹系数计算原理。

如图 3 所示,零件在成形时,当模具打开时零件成形角度及成形的转接圆角都有一定的弹复,其回弹角用 $\Delta \alpha$ 表示($\Delta \alpha = \alpha_0 - \alpha$)。

按照回弹公式^[2]:

$$r_{\text{凸}} = \frac{r_0}{1 + \frac{M\sigma_s}{E} \cdot \frac{r_0}{t}}, \quad (1)$$

$$\Delta \alpha = (180 - \alpha_0) \cdot \left(\frac{r_0}{r_{\text{凸}}} - 1\right), \quad (2)$$

其中 $r_{\text{凸}}$ 为凸模圆角半径; r_0 为零件要求的圆角半径;

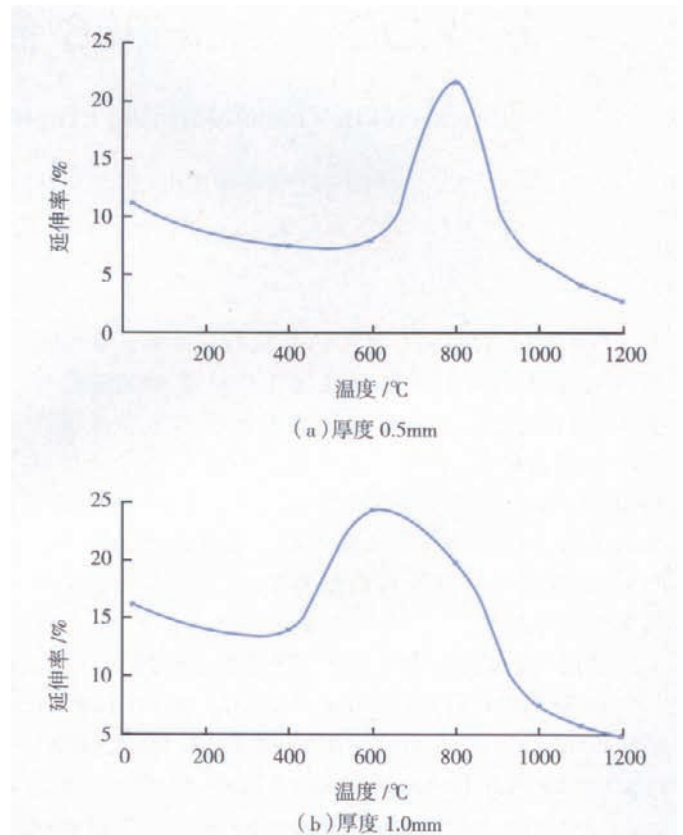


图2 MGH956合金板材延伸率-温度曲线
Fig.2 Elongation-temperature curves for MGH956 sheet with different thickness

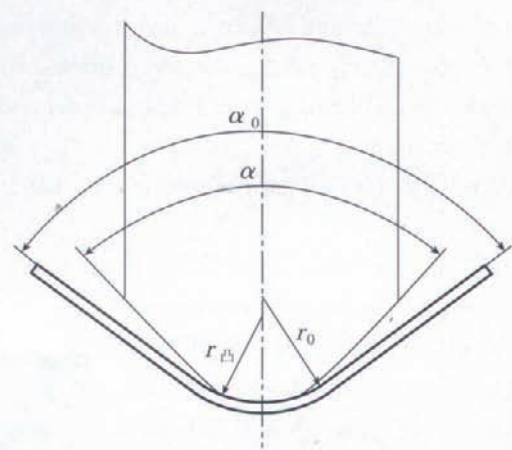


图3 成形回弹示意图
Fig.3 Forming resilience

α 为凸模圆心角; α_0 为零件要求的圆心角; $\Delta \alpha$ 为回弹角($\alpha_0 - \alpha$); t 为材料厚度; E 为材料弹性模量(kg/mm^2); σ_s 为材料屈服强度(kg/mm^2); M 为相对弯矩系数。

假设 A 为材料的综合回弹系数,

$$A = \frac{M\sigma_s}{E}, \text{ 代入(1)式,}$$

得到:

$$r_{\Delta} = \frac{r_0}{1 + A \frac{r_0}{t}},$$

经过推导,最后可以得出:

$$A = \frac{\Delta \alpha \cdot t}{(180 - \alpha_0) \cdot r_0}, \quad (3)$$

由式(3),可以通过实际测量试件的回弹角 $\Delta \alpha$ 来计算综合回弹系数 A 值。

(2) 热成形方法。

从前面的图表可见, MGH956 合金的热成形温度应该在 600~800℃ 之间。选择一种形状较简单的现有热成形模具,在 ACB 公司生产的 FCC200T(2×600)×800 LOIRE 热压成形机上进行 MGH956 合金板材热成形技术研究。利用以上推导出的式(3),通过实测试件热成形后的回弹角 $\Delta \alpha$, 计算获得材料的综合回弹系数 A 值,从而掌握材料在不同温度热成形时的回弹情况,为热成形参数的选择及热成形模具的回弹计算提供依据。

选择 0.8mm、1.2mm 和 1.5mm 三种材料厚度,在 600~800℃ 之间每增加 50℃ 作为一个热成形试验温度进行热成形试验,保压时间选择与一般钛合金热成形相同,即保压 2~3min。

2.3 热成形试验结果

试验测得的试件回弹角 $\Delta \alpha$ 见表 3。通过推导出的式(3),计算得到 ODS-MGH956 合金板材 0.8mm、1.2mm 和 1.5mm 试件综合回弹系数 A 值见表 4。

从试验数据发现, ODS-MGH956 合金板材随着料厚的增加热成形回弹逐渐减小,3 种料厚的试件在 650℃ 以上,保压 2~3min,除了厚度为 0.8mm 的试件有轻微回弹外,厚度为 1.2mm 和 1.5mm 的试件基本无回弹(即 A 值为 0)。而热成形温度超过 700℃ 时,3 种料厚的试件均达到非常好的成形精度,基本无回弹。考虑成形的经济性及热成形设备的温度控制精度,应该选择能够满足成形精度的最低温度进行热成形,因此,厚度

表3 试验测得的回弹角

试件厚度 0.8mm		试件厚度 1.2mm		试件厚度 1.5mm	
成形温度 /℃	回弹角 $\Delta \alpha /(^{\circ})$	成形温度 /℃	回弹角 $\Delta \alpha /(^{\circ})$	成形温度 /℃	回弹角 $\Delta \alpha /(^{\circ})$
610	1.78	604	0.77	598	0.06
635	1.11	625	0.03	617	0
666.67	0.78	656.67	0	646	0
707.3	0	688.67	0	677	0
799	0	789	0	776.5	0

表4 ODS-MGH956合金板材试件综合回弹系数A值

试件厚度 0.8mm		试件厚度 1.2mm		试件厚度 1.5mm	
成形温度 /℃	A 值	成形温度 /℃	A 值	成形温度 /℃	A 值
610	0.005 579 063	604	0.003 577 236	598	0.000 346 021
635	0.003 479 079	625	0.000 139 373	617	0
666.67	0.002 439 024	656.67	0	646	0

为 0.8mm、1.2mm 和 1.5mm 的 ODS-MGH956 合金板材的最佳热成形温度区间分别是 700~750℃、650~700℃ 和 600~650℃。

3 结论

(1) 国产 ODS-MGH956 合金板材与 MA956 合金板材的热成形性能基本相当;

(2) ODS-MGH956 合金板材热成形回弹与热成形温度和板材厚度均有关系,相对地,薄板的热成形回弹值要大一些;

(3) 厚度为 0.8mm、1.2mm 和 1.5mm 的 ODS-MGH956 合金板材的最佳热成形温度区间分别是 700~750℃、650~700℃ 和 600~650℃。

参考文献

- [1] 李华林. ODS-MGH956 高温高强度抗氧化合金的全面性能. 钢铁. 1994(5):55-60.
- [2] 李硕本. 冲压工艺学. 北京:机械工业出版社, 1984.

(责编 玉龙)

(上接第 86 页)

参考文献

- [1] 郑海州. 面向航空企业的工艺装备全生命周期管理研究[D]. 西安:西北工业大学, 2005.
- [2] 刘洪. 飞机工装设计制造技术探讨. 航空制造技术, 2006(12):69-71.
- [3] Gruber T R. A translation approach to portable ontology specifications. Palo Alto, CA: Sumford University, 1993.
- [4] 陈永当. 基于知识的机械产品开发集成技术研究. 制造技术与机床, 2005(5): 64-67.
- [5] 张东民. 基于本体的设计知识建模研究. 华南理工大学学报(自然科学版), 2005, 33(5):26-31.
- [6] 潘旭伟. 面向知识管理的知识建模技术. 计算机集成制造系统, 2003, 9(7):517-521.
- [7] 李继红. 飞机制造中工装数字化技术的应用研究[D]. 西安:西北工业大学, 2001.
- [8] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京:北京航空航天大学出版社, 2001.

(责编 阳光)