

铍青铜(QBe2)的分级时效工艺

卢越焜 刘涛 李阿妮 谷胜民

(中国运载火箭技术研究院,北京 100076)

文摘 为提高铍青铜(QBe2)带材的抗拉强度,采用正交试验法对铍青铜带材进行分级时效处理,结果表明二级时效温度对抗拉强度影响最大,其最佳工艺参数为一级时效温度 200℃,一级时效时间为 1 h,二级时效温度为 330℃,二级时效时间为 2 h。此时抗拉强度最大值为 1.336 GPa。

关键词 铍青铜,抗拉强度,分级时效,正交试验

Twice-Step Ageing Method for Beryllium Bronze (QBe2)

Lu Yuekun Liu Tao Li Ani Gu Shengmin

(China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076)

Abstract Orthogonal experiment of twice-step ageing method was used for beryllium bronze. The tensile strength of 1.336 GPa was achieved while holding an hour at the temperature of 200℃, then keeping two hours at the temperature of 330℃. The effect of twice-step ageing method on tensile strength of beryllium bronze was studied, and the temperature of the second step affected the tensile strength more than other factors.

Key words Beryllium bronze, Tensile strength, Twice-step ageing method, Orthogonal experiment

0 引言

铍青铜具有高的强度、硬度和弹性极限,弹性滞后小、稳定性好,并且具有耐疲劳、耐腐蚀、耐磨、耐寒、无磁性、高导电导热性、受冲击时不产生火花等优良的综合特性^[1],广泛应用于航空航天、电子电器和仪器仪表工业中的弹性元件。铍青铜是一种典型的沉淀硬化型合金,固溶处理后具有良好的冷加工成形性,可加工成各种形状复杂的零件,而随后的时效处理过程又能发生强烈的沉淀硬化,硬度和耐磨性等得到了很大提高^[2]。分级时效是提高铍青铜力学性能的有效方法^[3],能克服常规时效的不足,既可提高强化效果,又可减少畸变。因一级时效温度低,在基体中能够形成一定量稳定晶核,能避免出现二级时效时脱溶物沿晶界不均匀析出,促使二级时效在稳定晶核基础上析出 γ_2 相,并弥散均匀分布于基体^[4]。本文采用正交试验法^[5-6]对铍青铜带材进行分级时效,以得到最佳工艺参数,从而提高铍青铜带材的抗拉强度。

1 试验

1.1 材料

采用宁夏东方铝业股份有限公司生产的淬火半硬状态的铍青铜带材,牌号为 QBe2,其化学成分为

Be:1.907%,Ni:0.317%,余量为 Cu。力学性能: σ_b 为 635 MPa, δ_{10} 为 15.5%。

从试验材料上切取 1.0 mm × 210 mm × 40 mm 的试样用于分级时效,时效后进行拉伸试验。测试标准为 GB/T228—2002。

1.2 仪器设备

使用 SX-12-10 型箱式电阻炉进行热处理试验,采用 CMT4205 型电子式万能试验机测试力学性能。

1.3 方法

通过正交试验法研究分级时效制度对抗拉强度的影响,并确定最佳分级时效工艺参数。选取的四个影响因子分别为:一级时效温度(A 因子)、一级时效时间(B 因子)、二级时效温度(C 因子)、二级时效时间(D 因子),每个因子选取三个水平,因此采用 L9(3⁴)正交表。选取的影响因子及各因子的水平见表 1。

表 1 试验因子及各因子试验水平

Tab.1 Factor of orthogonal experiment

试验水平	A 因子/℃	B 因子/h	C 因子/℃	D 因子/h
水平 1	180	1.0	300	1.0
水平 2	200	1.5	320	1.5
水平 3	220	2.0	340	2.0

收稿日期:2008-12-15;修回日期:2009-06-08

作者简介:卢越焜,1981 年出生,硕士,主要从事材料热处理工艺研究。E-mail:luyuekun@gmail.com

2 结果与讨论

2.1 正交试验

表2列出了上述因素在三个不同水平上的正交试验结果,相应的极差分析结果也列入其中。

表2 正交试验表 L₉(3⁴)¹⁾

Tab.2 Results of orthogonal experiment

试验号	A 因子/°C	B 因子/h	C 因子/°C	D 因子/h	σ_b /MPa
1	180	1.0	300	1.0	1210
2	180	1.5	320	1.5	1300
3	180	2.0	340	2.0	1315
4	200	1.0	320	2.0	1325
5	200	1.5	340	1.0	1305
6	200	2.0	300	1.5	1245
7	220	1.0	340	1.5	1310
8	220	1.5	300	2.0	1235
9	220	2.0	320	1.0	1275
I_j	3825	3845	3690	3790	
II_j	3875	3840	3900	3855	
III_j	3820	3835	3930	3875	
R_j	55	10	240	85	

注:1)表中的 I、II、III 分别表示水平一、水平二、水平三,j 表示第 j 列; I_j 表示正交表中第 j 列的一水平所对应的指标之和; II_j, III_j (j=1, 2, 3, 4), 表示的意义依次类推。极差 R_j 表示该因素的不同水平下的指标之和中的最大值与最小值之差,它反映了该列所排因子选取的水平变动对测试指标影响的大小。

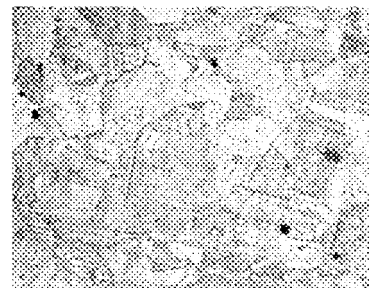
由表2中极差 R_j 这一行的数据可知,第3列最大,第2列最小。由此根据极差的大小顺序排出因子由主到次的顺序为:C→D→A→B。由于各因子所在列的 I_j, II_j, III_j 的差异实际上只反映该因子由于水平变动引起的抗拉强度的波动,而不受其他因子水平变动的影响。所以,把各因子的最佳水平简单地组合起来就是最佳工艺。依据正交试验极差分析结果,选取好的水平为 $A_2B_1C_3D_3$ 。即获得最高强度的最佳工艺条件为:一级时效温度为 200°C,一级时效时间为 1 h,二级时效温度为 340°C,二级时效时间为 2 h。

根据正交试验结果可知,二级时效温度对抗拉强度影响最大,其过程是铍元素以 γ_2 相形式从 α 固溶体中析出。由于 γ_2 相的沉淀析出强化,使合金的力学性能得以提高。过高的二级时效温度会导致 γ_2 相的聚集和长大,产生过时效现象,从而使力学性能降低;反之,如果时效温度过低,则从过饱和的 α 固溶体中 γ_2 相的析出就不充分,达不到强化效果^[7]。二级时效温度的三个水平指标之和分别为 3 690(300°C)、3 900(320°C)、3 930(340°C),由此可以看出,300°C 时由于时效不充分,强化效果不明显,从而抗拉强度较低,而 320 和 340°C 对应的指标之和数值比较接近且较高。因此,为进一步提高抗拉强度,进行了第二轮热处理工艺试验,其参数分别为:一级时效温度 200°C,一级时效

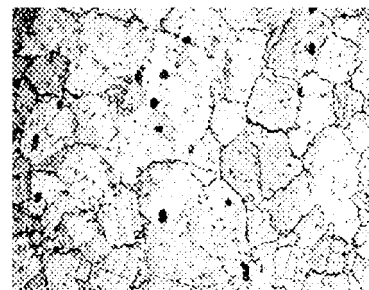
时间 1 h,二级时效温度 330°C,二级时效时间 2h。此时抗拉强度为 1.336 GPa。

2.2 金相组织观察

图1为经时效处理前后铍青铜的金相组织照片。腐蚀方法为 1% 铬酐水溶液电解浸蚀。可以看出经过时效后的铍青铜在晶界处有强化相析出,且较为均匀,产生沉淀硬化作用,从而使抗拉强度得到提高。



(a) 未时效



(b) 时效后

图1 时效前后的铍青铜金相组织

Fig.1 Microstructure of beryllium bronze 400×

3 结论

通过正交试验得知,获得最高强度的最佳工艺条件为:一级时效温度为 200°C,一级时效时间为 1 h,二级时效温度为 330°C,二级时效时间为 2 h,抗拉强度为 1.336 GPa。即铍青铜带材通过最佳分级时效制度处理后抗拉强度得到提高。

参考文献

- 1 杨复建,梅敬军. 铍青铜热处理工艺的改进. 机电元件, 2004; (3): 18~20
- 2 狄平. 铍青铜形变时效工艺的优化. 金属热处理, 2003; (2): 63~64
- 3 李晓艳. 铍青铜的热处理工艺应用研究. 电视技术, 2001; (6): 87~89
- 4 王荣滨. 铍青铜的热处理缺陷分析和双重时效强化. 热处理, 2001; (3): 20~24
- 5 沈德和,李云壁. 正交试验设计及应用. 机械制造, 1984; (9): 46~48
- 6 沈德和,李云壁. 正交试验设计及应用. 机械制造, 1984; (11): 45~48
- 7 郁龙贵. 热处理对铍青铜组织和性能的影响. 物理测试, 2000; (4): 5~8

(编辑 李洪泉)