

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.04.005

淬火条件及停放时间对 B93 铝合金性能的影响

蹇海根, 单彪, 姚春连, 秦荣军, 朱诗强

(湖南工业大学 冶金工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 研究了不同固溶温度和时间、淬火水温、淬火转移时间及淬火后停放时间对 B93 铝合金力学性能和电学性能的影响。结果表明, 该合金最佳的固溶处理制度为 470 °C 保温 40 min; 淬火水温为 40 °C 时, 合金锻件能获得较好的强度和塑性配合, 且电导率较高; 即时淬火效果最好, 因淬火转移时间越长, 合金性能下降越明显; 在室温条件下随着停放时间的延长, 合金性能总体呈下降趋势, 若停放时间控制在 2 h 以内或者 24 h 以上, 合金性能稳定, 下降不明显。

关键词: B93 铝合金; 淬火条件; 力学性能; 电导率

中图分类号: TG156.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)04-0018-04

Influences of Quenching Condition and Delay Time on Properties of B93 Aluminum Alloy

Jian Haigen, Shan Biao, Yao Chunlian, Qin Rongjun, Zhu Shiqiang

(School of Metallurgical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Effects of various conditions of solution and quench treatment on mechanical properties and conductivity of B93 aluminum alloys were investigated, which including solution time and temperature, water temperature and transfer time during quench, as well as delay time after quench. It reveals that optimal treatment condition of the alloy is heating at 470 °C for 40 minutes. Quenching in water of 40 °C brings the alloy good combination of strength and plasticity, and also high conductivity. Though the best quenching effect, properties of alloy will decrease with the increase of transfer time. Moreover, at room temperature the strength of alloy is on a downward trend with the increase of delay time after quench expands, and the properties is relatively stable when aging treatment is carried out within 2 hours or more than 24 hours after quench.

Keywords: B93 aluminum alloy; quench condition; mechanical property; conductivity

0 引言

B93 铝合金是一种新型的高强结构材料, 具有强、硬度高, 铸造性能及加工性能好等优点, 主要适用于生产棒材和制作大型锻件等加工制品, 在航空航天和武器装备领域具有广泛的应用前景^[1-3]。

B93 合金化学成分的特点是不含 Mn, Cr 元素, 虽然 Mn, Cr 的存在会使含 Mg 合金产生挤压强化效应, 但不加入 Mn, Cr 对提高 B93 合金大型锻件的淬透性具有重要意义。B93 合金的锻件不仅具有较好的可淬透性, 而且比 B95 合金性能上的各向异性亦要小。该合金可以在沸水或油中淬火而其强度下降不

收稿日期: 2012-04-08

基金项目: 湖南工业大学大学生研究性学习和创新性实验计划基金资助项目(2012-37)

作者简介: 蹇海根(1980-), 男, 湖南衡阳人, 湖南工业大学讲师, 博士, 主要研究方向为新型铝合金,

E-mail: jianhaigen2001@163.com

明显, 同时显著减少内应力和制品的几何变形^[4-5]。

中铝集团东北轻合金有限责任公司在 20 世纪 60 年代就开始了 B × × 系列合金的试研工作, 重点对 B93 铝合金的铸造性能、锻造性能等方面进行了深入研究。固溶处理工艺是 7000 系高强铝合金材料获得高强度的关键一步, 固溶处理加热保温过程中如何使合金的组织不过热及强化元素最大限度地溶解, 如何控制淬火过程转移时间、冷却速度以获得高过饱和度的固溶体, 同时还要求变形小、残留最小的淬火应力, 这些都是热处理过程需要重点研究的内容^[6-8]。因此, 本文以 B93 铝合金锻件为试验材料, 研究固溶温度和时间、淬火水温、淬火转移时间及淬火后停放时间等因素对 B93 铝合金性能的影响, 探索出合理的淬火工艺, 为该合金材料的实际生产提供技术支持和实验参考。

1 试验

1.1 试验材料

试验所用 B93 铝合金锻件由东北轻合金有限责任公司提供, 按锻件标准检验合格后进行热处理试验, 所有拉伸试样都是沿纵向截取。合金材料的化学成分见表 1。

表1 试验合金各元素的化学成分

成分	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Al
质量分数 /%	6.5~7.3	1.6~2.2	0.8~1.2	0.2~0.4	0.2	Bal.

1.2 试验方法及性能测试

采用单因素法对固溶温度和时间、淬火水温、淬火转移时间、淬火后停放时间进行热处理工艺试验优化, 随后分别进行 120 °C/24 h+170 °C/16 h 双级时效, 其具体研究方案见表 2。

表2 B93 铝合金锻件的热处理试验方案

Table 2 The heat treatment experiment system of B93 aluminum alloy forging

	温度 / °C	时间 / min	水温 / °C	转移时间 / s	停放时间 / h	时效
固溶温度	450, 460, 470, 480, 500	40	40	< 2	< 2	
固溶时间 (优选)	$\theta_{固溶}$	5, 20, 40, 60, 80	40	< 2	< 2	
淬火水温 (优选)	$\theta_{固溶}$	$t_{固溶}$	20, 40, 60, 80, 90	< 2	< 2	120 °C/24 h+170 °C/16 h
淬火转移时间 (优选)	$\theta_{固溶}$	$t_{固溶}$	40	5, 10, 30, 60, 80	< 2	
淬火后停放时间 (优选)	$\theta_{固溶}$	$t_{固溶}$	40	< 2	0.5, 1, 2, 4, 12, 24, 48, 60	

对不同热处理条件下合金时效态试样进行力学性能测试, 拉伸试验在长春试验机研究所生产的 CSS-44100 型万能测量试验机上进行。采用双臂电桥法, 在上海速雷电力仪器有限公司生产的 QJ19 型单双臂两用电桥上进行电导率测试, 电桥所测电阻精度为 0.05%。

2 试验结果及分析

2.1 固溶温度和时间对合金性能的影响

图 1 为 B93 铝合金锻件在不同固溶温度条件下, 经双级时效处理后的力学性能和电导率结果。

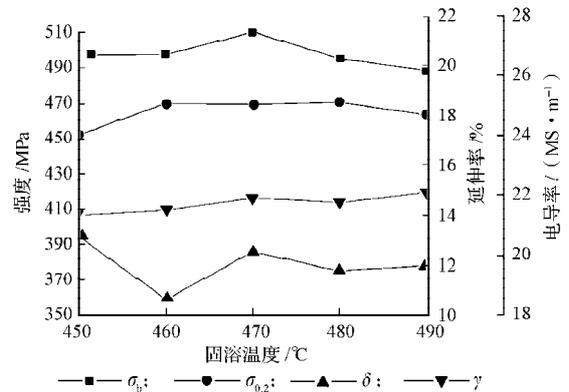


图1 固溶温度对锻件拉伸力学性能和电导率的影响

Fig. 1 The effect of solution temperature on forging mechanical property and conductivity

由图可知, 随着固溶温度的升高, 合金的基本力学性能是先升后降, 在 470 °C 时合金的抗拉强度和屈服强度值达到峰值, 此时延伸率也较高。合金的电导率则随固溶温度的升高而呈单调上升趋势。

不同固溶时间条件下, 合金锻件时效态的拉伸力学性能和电导率结果如图 2 所示。

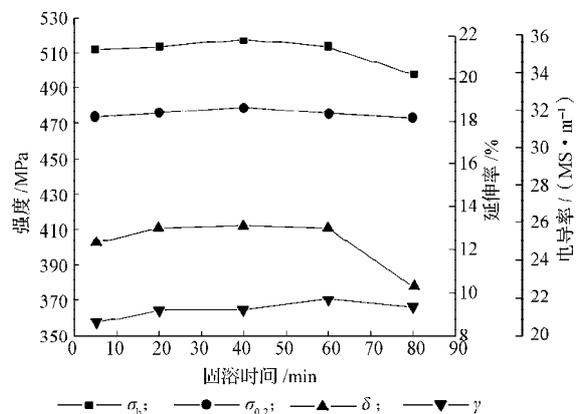


图2 锻件拉伸力学性能和电导率随固溶时间的变化

Fig. 2 The forging mechanical property and conductivity changing with solution time

由图可知, 固溶时间对合金锻件力学性能和电导率的影响与温度一致, 在 470 °C 保温 40 min 再时效

处理,合金锻件的强度性能最高,延伸率约为12%。

为了获得合金的最大过饱和固溶度,应尽可能提高合金的固溶温度,但是超过共晶熔化温度就会引起过烧,导致局部熔化和氧化,对合金的性能非常不利^[9-10];加热温度太低时又可能导致合金元素强化相固溶不完全,影响时效强化效果。为了保证强化相的充分溶解,获得最大的强化效果,应尽可能延长保温的时间。但是,在高温下保温时间过长,则会使晶粒粗化严重,再结晶分数提高,对合金强度和韧性反而不利。

多组元合金中,固溶在Al基体中的原子引起的晶格畸变对电子的散射作用起主导作用。固溶温度越高,固溶时间越长,淬火后固溶体的过饱和浓度越高,时效后析出相的体积分数越大,固溶体对电子的阻碍作用也就越小。所以,合金的电导率随固溶温度和时间单调升高。

综合考虑B93пч合金锻件的拉伸力学性能及电学性能,最佳固溶处理制度定为470℃保温40min。

2.2 淬火水温对合金性能的影响

图3为B93пч合金锻件在不同淬火水温条件下的拉伸力学性能和电导率结果。

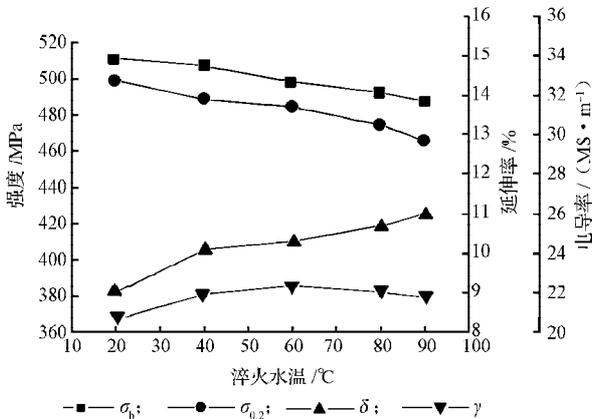


图3 锻件拉伸力学性能和电导率随淬火水温的变化

Fig. 3 The forging mechanical property and conductivity changing with water temperature during quench

由图可知,随着淬火水温的升高,时效后合金锻件的强度逐渐降低,延伸率和电导率却逐渐增大。淬火水温为40℃时,合金锻件能获得较好的强度和塑性配合,且电导率也较高。

淬火过程中,为了确保过饱和固溶体不被分解,避免沉淀相析出而导致时效后合金锻件力学性能的下落,淬火冷却速率则是越快越好。但是,冷却速度越大淬火锻件的残余应力和残余变形也越大,如果要减少淬火产生的热应力,就必须通过提高淬火水温来减少水温和锻件间的相对温差。所以,对于本试验中的大型锻件,综合考虑,淬火水温一般控

制在40℃左右较理想。

2.3 淬火转移时间对合金性能的影响

锻件拉伸力学性能和电导率随淬火转移时间的变化规律见图4。

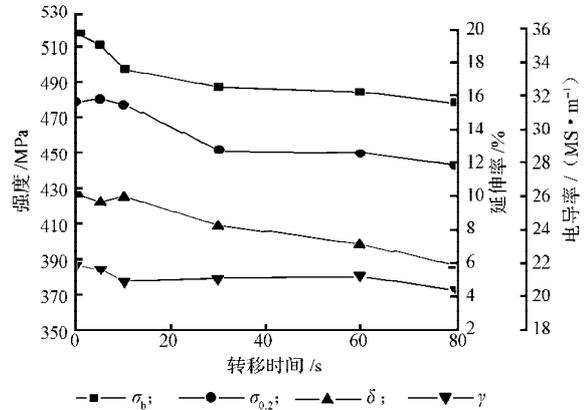


图4 锻件拉伸力学性能和电导率随淬火转移时间的变化

Fig. 4 The forging mechanical property and conductivity changing with transfer time during quench

由图可知,锻件的力学性能、延伸率以及电导率均随淬火转移时间的延长而降低。

在淬火转移过程中,试验合金锻件处于空冷状态,过饱和固溶体发生部分分解,促使强化相的析出,从而影响强化效果。时效时,这些预先析出的第二相可吸收附近的溶质原子而继续长大,导致其附近溶质贫乏加剧,合金的强度和韧性降低。同时,随着淬火转移时间的延长,析出物增加,电子导电的自由程增加,经过时效后合金的电导率反而减小。因此,高强度B93пч合金锻件应尽量即时淬火,中间转移的时间越短越好。

2.4 淬火后停放时间对合金性能的影响

锻件固溶淬火后停放不同时间再时效的拉伸力学性能和电导率结果见图5。

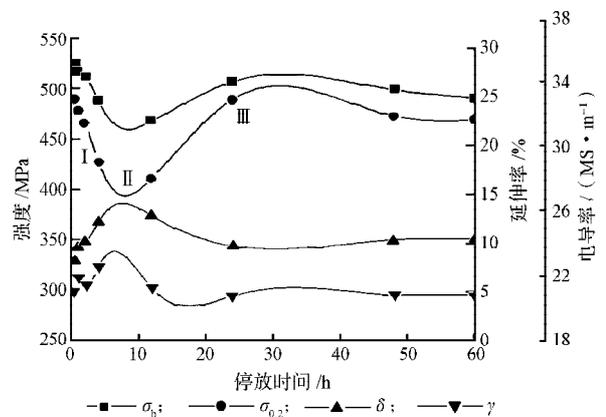


图5 锻件拉伸力学性能和电导率随淬火后停放时间的变化

Fig. 5 The forging mechanical property and conductivity changing with delay time after quench

由图可知,试样淬火后随着室温停放时间的延

长,强度总体呈下降趋势。停放 12 h 以内 (I 区),合金的强度随停放时间的增加而逐渐下降,延伸率和电导率随停放时间增加而升高。停放 12 ~ 24 h 时间内 (II 区),合金的力学性能和电导率出现反弹,随着停放时间的延长力学性能逐渐升高,延伸率和电导率逐渐降低。停放时间 24 h 以上 (III 区),合金的性能基本达到稳定。

由图 5 可以看出,停放效应从淬火处理后就已开始,对合金锻件的力学性能和电学性能的影响也非常明显,但是关于这种现象的解释目前还没有形成共识。合金强度的降低可用 C.M. 沃洛诺夫提出的回归现象来解释^[11]: 室温停放期间形成的 GP 区在随后的双级时效时重新回溶,减少了沉淀强化相析出的数量,从而降低了锻件的强度。随着停放时间的延长,GP 区长大到人工时效温度难以重溶的尺寸,合金锻件的强度即出现反弹。考虑生产实际情况,人工时效最好在 2 h 内进行,如果在淬火后需要进行多道加工工序而来不及立即人工时效的情况下,可以安排在 24 h 后再人工时效,这样也能得到较理想的综合性能。

3 结论

1) B93 铝合金锻件在 470 °C 保温 40 min 后即时水淬,转移时间尽可能短,淬火水温控制在 40 °C 左右,然后在 2 h 内立即进行人工时效或者停放 24 h 后再人工时效。此时, B93 铝合金锻件能获得理想的力学和电学性能,满足实际使用要求。

2) 在最优化的淬火条件及停放时间后进行 120 °C/24 h+170 °C/16 h 人工双级时效, B93 铝合金锻件的力学和电学性能分别可达到: $\sigma_b=510$ Mpa, $\sigma_{0.2}=485$ Mpa, $\delta=12\%$, $\gamma=22$ MS·m⁻¹。

参考文献:

- [1] Heinz A, Haszler A, Keidel C, et al. Recent Development in Aluminum Alloys for Aerospace Applications[J]. Materials Science and Engineering: A, 2000, 280(1): 102-107.
- [2] Staley J T, Liu J, Hunt W H. Aluminum Alloys for Aerostructures[J]. Advanced Materials and Processes, 1997, 152(4): 17-20.
- [3] 蹇海根, 谢幸儿, 尹志民, 等. 5B01 铝合金方管型材的

热挤压温度试验[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(4): 9-12.

- Jian Haigen, Xie Xing'er, Yin Zhimin, et al. Extrusion Temperature Test for 5B01 Aluminum Alloy Square Tube [J]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25(4): 9-12.
- [4] 弗里良捷尔. 高强度变形铝合金[M]. 吴学, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1963: 6-9.
И. Н. Мандракса Хороший. High Strength Deflection Aluminum Alloy[M]. Wu Xue, Translated. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1963: 6-9.
- [5] Fridlyander I N. Russian Aluminum Alloys for Aerospace and Transport Applications[J]. Materials Science Forum, 2000, 331/332/333/334/335/336/337: 921-926.
- [6] 林高用, 彭大暑, 魏圣明, 等. 强化固溶处理对 7075 铝合金组织的影响[J]. 金属热处理, 2002, 27(11): 30-33.
Lin Gaoyong, Peng Dashu, Wei Shengming, et al. Influence of Strengthened Solution on Microstructures of 7075 Aluminum Alloy[J]. Heat Treatment of Metals, 2002, 27(11): 30-33.
- [7] Papazian J M. Differential Scanning Calorimetry Evaluation of Retrogression and Re-Aged Microstructures in Aluminum Alloy 7075[J]. Materials Science and Engineering, 1986, 79(1): 97-104.
- [8] 陈康华, 刘红卫, 刘允中. 强化固溶对 7055 铝合金力学性能和断裂行为的影响[J]. 中南工业大学学报: 自然科学版, 2000, 31(6): 528-531.
Chen Kanghua, Liu Hongwei, Liu Yunzhong. The Effect of Promotively Solutionizing Treatment on the Mechanical Properties and Fracture of Ultra High Strength 7055 Aluminum Alloys[J]. Journal of Central South University of Technology: Natural Science, 2000, 31(6): 528-531.
- [9] Fridlyander I N, Senatorova O G. Development and Application of High-Strength Al-Zn-Mg-Cu Alloys[J]. Materials Science Forum, 1996, 217/218/219/220/221/222: 1813-1818.
- [10] Wei Qiang, Xiong Baiqing, Zhang Yong'an, et al. Production of High Strength Al-Zn-Mg-Cu Alloys by Spray Forming Process[J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2001, 11(2): 258-261.
- [11] Ólafsson P, Sandström R. Calculations of Electrical Resistivity for Al-Cu and Al-Mg-Si Alloys[J]. Materials Science and Technology, 2001, 17(6): 655-662.

(责任编辑: 邓光辉)