

铝合金硬度定量快速无损检测^①

樊景云 万国庆

(哈尔滨理工大学材料科学与工程系, 哈尔滨 150080)

摘 要 由于 LC4 和 LY12 等铝合金时效处理后硬度与低频 WJF-38 型微机式金属材质自动分选仪的显示值之间成单值倒“C”型关系, 并且过时效件和欠时效件出现在倒“C”型关系的上下两端, 所以用低频 WJF-38 仪能定量检测铝合金的硬度, 并直接显示其布氏、洛氏、维氏硬度值, 而且能准确分辨其热处理状态、时效程度及进行混料分选等。其硬度检测精度可达 $HRB \pm 1.3$ 左右, 分选速度可达 1 500 件/h。

关键词 铝合金 时效 硬度 低频 无损检测

中图法分类号 TH878

铝合金热处理后的硬度超差、时效不足和过时效以及牌号混杂等问题, 是各有色金属材料及其制品厂的一大技术难题。常规的硬度检测方法无法逐件非破坏检测上述缺陷。而目前国内外各种基于高频的电导率仪和涡流检测仪, 也未能对铝合金的硬度进行定量检测, 并且定性检测的操作也十分繁琐^[1~4]。在 WGF-I 型数字式钢铁材质自动分选仪基础上研制出低频 WJF-38 型微机式金属材质自动分选仪^[5, 6], 可一机完成硬度、热处理状态、时效程度和混料的快速电磁无损检测, 从而为有色金属的质量无损检测提供了一种新方法。

1 原理

金属的许多性质, 如纯度、成分、硬度、热处理状态及过热、过烧等, 都与其电导率有对应的关系。因此, 通过对电导率的测量, 就可以对铝合金的成分、硬度、热处理状态和混料等进行分选、鉴别和定量检测。

WJF-38 仪基于电磁感应原理, 通过对金属电导率的相对比较测量来进行金属硬度等性能检测, 其线路原理方框图见图 1。

该仪器是基于被测工件引起的输出与其电导率、也即成分、硬度和应力等性能指标成比例而采用差动方式研制成功的。仪器采用两只螺线管式探头(也称穿过式探头)或一只笔式探头(俗称放置式探头)。被测试件由 1~ 1 500 Hz 频率中的某一频率激磁后获得的感应电压信号, 由信号处理系统和单片机系统处理后, 用 4 位数字表直接显示其成分、硬度等, 并用灯光和声响来对不合格件进行报警。

2 试样制备及试验方法

2.1 铝合金试样制备

(1) LC4 铝合金试件制备

取不同直径供货状态下的 LC4 棒料, 表面不加工, 一律切成 90 mm 长的试样。

在 470 °C 固溶处理, 保温 75 min 后室温水淬, 然后进行 160 °C 人工时效处理, 时效保温时间分别为 0.2、0.5、1.0、2.0、3.0 和 4.0 h。

LC4 的退火温度为 400 °C, 保温 75 min, 缓冷至 150 °C 后取出空冷。

(2) LY12 铝合金试样制备

① 收稿日期: 1997-08-11; 修回日期: 1997-11-12 樊景云, 女, 52 岁, 副教授

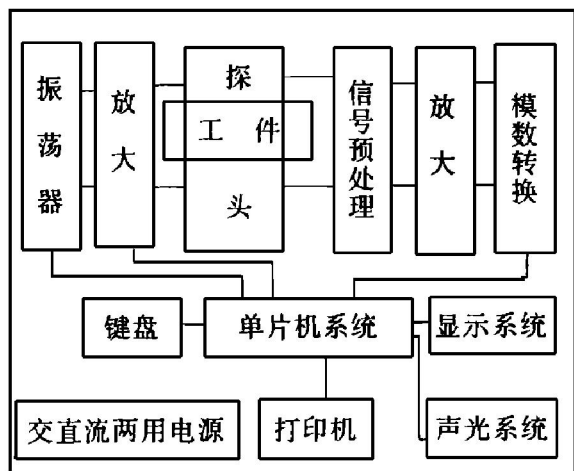


图1 WJF-38 仪线路原理图

Fig. 1 Circuit principle diagram of WJF-38 instrument

试件尺寸与加工方法同 LC4。如 $d 15 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ 。

在 490°C 固溶处理，室温水淬，然后进行 185°C 人工时效处理，时效保温时间分别为 0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.5 和 6.0 h。

LY12 的退火温度为 490°C ，保温 1.5 h，缓冷至 150°C 后取出空冷。

2.2 试验方法及设备

淬火加热、人工时效及退火均在马弗炉中进行。

用 HR150 型硬度计检测上述热处理试件的硬度 HRB(低于 HRB25 时，本硬度计无法准确测定，故一律以 $< \text{HRB}25$ 表示)。

用 WJF-38 仪显示值和“Y1 法”硬度检测等方法检测上述试件的硬度及其他性能。

3 试验结果

3.1 LC4 铝合金试件的硬度与人工时效时间的关系

LC4 铝合金试件的硬度与人工时效时间的关系见图 2。由图 2 可见，随时效时间的增加，硬度上升，至 3 h 左右到达峰值，时间再增加，至 4 h 时，硬度反而下降。这是由于稳定的第

二相 MgZn_2 相和 $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$ 相析出也即过时效造成的^[7]。

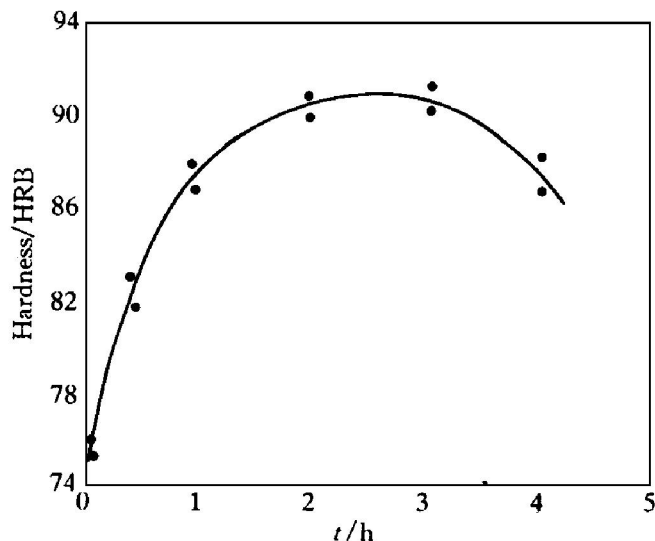


图2 LC4 铝合金硬度与时效时间之间的关系

Fig. 2 Relationship between hardness and aging time of LC4 aluminium alloy

3.2 LC4 铝合金试件的 WJF-38 仪的显示值与其人工时效时间之间的关系

LC4 铝合金试件的 WJF-38 仪的显示值与其人工时效时间之间的关系见图 3。由图 3 可见，随时效时间的增加，LC4 试件的显示值成近似指数曲线的关系单调增加。

3.3 LC4 和 LY12 铝合金时效件的硬度与 WJF-38 显示值之间的关系

LC4 和 LY12 铝合金时效件的硬度与 WJF-38 仪显示值之间的关系见图 4 和图 5。

由图 4 和图 5 可见，WJF-38 仪的显示值与 LC4 和 LY12 不同时间时效后的硬度成倒“C”型关系。这是因为硬度与电导率之间有倒“C”型关系^[1]，故而与电导率成比例的 WJF-38 仪的显示值与硬度之间也呈倒“C”型关系。由图 4 和图 5 可见，用 WJF-38 仪可区分欠时效态、正常时效态和过时效态。欠时效态和过时效态出现在倒“C”型关系的下、上两端。

用 WJF-38 仪的“Y1 法”检测 $d 12 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ LC4 试件的硬度的结果见表 1。由表 1 可见，用 WJF-38 仪“Y1 法”硬度检测，可用数字直接显示其 HRB 值，精度为 $\text{HRB} \pm 1.3$ 左右。

需要注意的是,表中试样号为 11 和 12 的两个试件的结果为 92.6 和 94.0,已超过本试验条件下的硬度最高极限值 HRB91.0 左右,

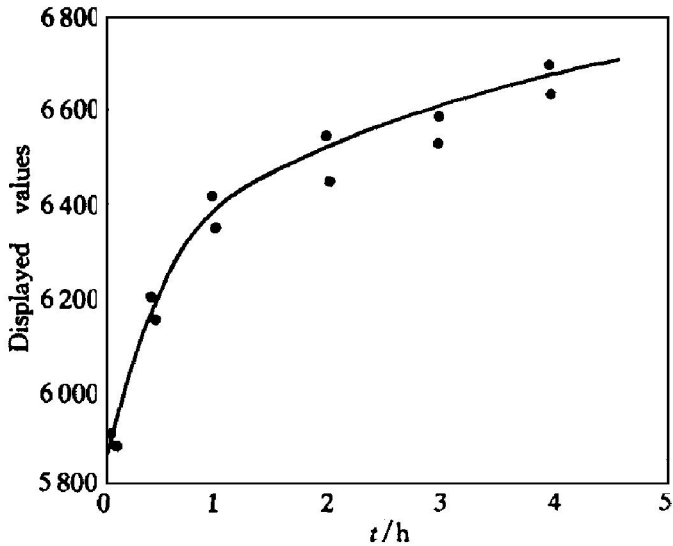


图 3 LC4 铝合金时效时间与其 WJF-38 仪显示值之间的关系

Fig. 3 Relationship between aging time and displayed values of LC4 aluminium alloy on WJF-38 instrument

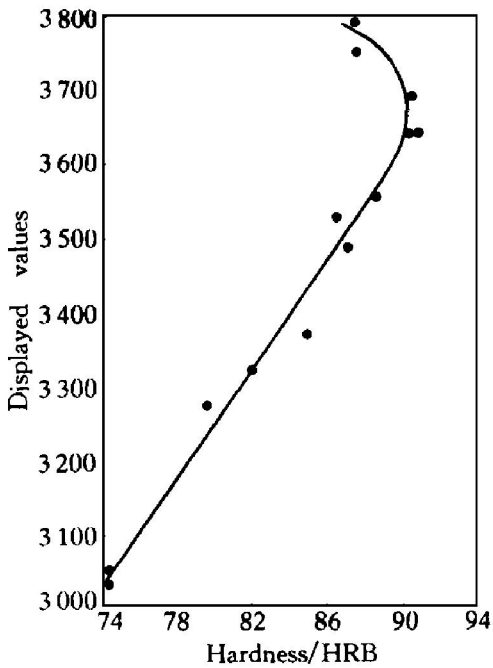


图 4 LC4 铝合金试件时效后的硬度与 WJF-38 仪显示值之间的关系

Fig. 4 Relationship between hardness and displayed values of LC4 aluminium alloy after aging treatment on WJF-38 instrument

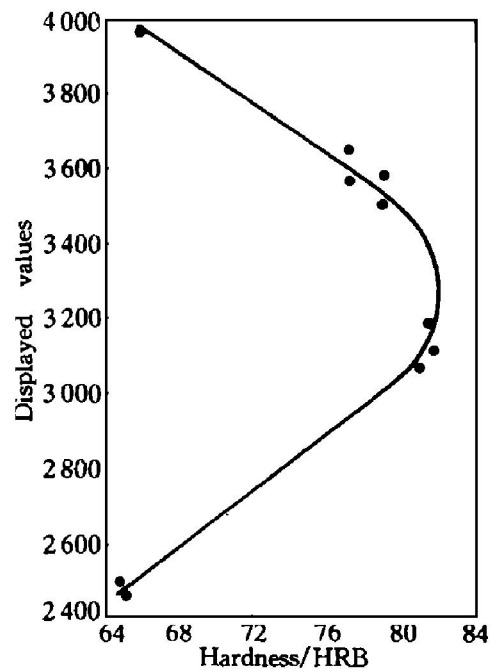


图 5 LY12 铝合金试件时效后的硬度与 WJF-38 仪显示值之间的关系

Fig. 5 Relationship between hardness of LY12 aluminium alloy after aging treatment and displayed values of WJF-38 instrument

为前述时效时间为 4 h 的两件过时效件。其过时效的硬度值 HRB 87.8,也在美国波音公司规定的过时效件的硬度极值范围 HRB 79.5~89.0 之内^[1]。因此,在检测正常时效范围的硬度时,WJF-38 仪虽不能准确反应过时效件的实际硬度值,但从其显示值却可准确判断其为过时效件。

3.4 用 WJF-38 仪鉴别 LC4 淬火态、时效态和退火态的结果

用 WJF-38 仪鉴别 LC4 淬火态、时效态和退火态的结果见表 2。由表 2 可知,用 WJF-38 仪鉴别铝合金的淬火态、时效态和退火态以及时效程度等十分容易,表 2 同时给出美国波音公司 7075 铝合金(相当于我国的 LC4)在时效和退火态下的电导率 γ 值,单位为 % IACS^[1]。由表 2 可见,时效和退火态下 LC4 的显示值基本上是美国波音公司 7075 铝合金电导率值的 100 倍左右。由此也证明了 WJF-38 仪的显示值与金属的电导率成比例的检测原理。因此,如用已知电导率值的试件给仪器定标,则用 WJF-38 仪可直接给出每一个被测试件的电导

率值。

表 1 用 WJF-38 仪“Y1 法”检测铝合金硬度的结果

Table 1 Results of testing hardness of LC4 aluminium alloy using method “Y1” of WJF-38 instrument

	HRB	Value of WJF-38	Value difference
1	74.5	74.7	- 0.2
2	74.5	74.9	- 0.4
3	82.0	81.8	0.2
4	79.7	81.0	- 1.3
5	87.5	86.9	0.6
6	86.3	87.3	- 1.0
7	88.5	87.9	0.6
8	90.8	89.6	1.2
9	90.5	90.8	- 0.3
10	90.7	90.0	0.7
11	87.8	92.6	- 4.8
12	87.8	94.0	- 6.2

4 讨论

4.1 激磁频率的选择和透入深度^[8, 9]

WJF-38 仪的频率可在 1~ 9 999 Hz 间连续任选或由仪器根据试件性能自选最佳频率, 常用频率低于 1 000 Hz。因此, 对铝合金时效处理试件而言, 其电导率在 $1.74 \times 10^7 \sim 2.03 \times 10^7$ S/m 范围内, 则其标准透入深度最低从 1 000 Hz 下的 3.5 mm 到 20 Hz 下的 23.0 mm, 是国内外各种电导率仪常用 60 kHz 频率下透入深度 0.43 mm 的 8~ 53 倍左右。克服了常用涡流检测仪只能检测表面、近表面性能和缺陷的不足之处, 并且大大减小了因表面粗糙度、表面氧化膜层及其他表面质量对检测结果的干扰。

4.2 关于试件直径和长度等对测量结果的影响

本试验表明, WJF-38 仪的显示值随试样直径的增加而线性增加, 随长度的增加而降低。结果表明, 长度变化 1%, 或直径变化 0.5% 左右, 对测试结果基本无影响。这是由于低频下尺寸变化对测试结果的影响比高频下小得多的缘故。因在高频下, 电导率效应的灵敏度大幅度下降, 而直径变化的灵敏度却大幅度上升^[4]。

4.3 温度对测试结果的影响

文献^[10]表明, 温度升高 1 ℃, 电导率的变化为 5×10^4 S/m。相当于引起 0.3% 的测试误差。因此, 各种电导率仪要求环境温度和试件温度的变化一般不超过 3 ℃。由涡流理论可知^[4], 试件表面涡流密度随磁场强度的增大和检测频率的增大而增大, 特征频率为 100 的涡流密度是特征频率为 1 下的 100 倍。WJF-38 仪在 1 000 Hz 频率以下和弱磁场下检测, 且检测时间不到 1 s, 因此, 试件不会因发热而导致温度变化。而且, WJF-38 仪的螺线管式探头连续使用 8 h, 温度变化不超过 1 ℃。从而大大减小了温度变化对测试结果的影响。

5 结论

(1) 用低频 WJF-38 型微机式金属材质自动分选仪可准确定量检测铝合金的硬度, 其精度为 HRB ±1.3 左右。

(2) 用低频 WJF-38 仪可准确鉴别铝合金的热处理状态、时效程度以及进行混料分选等。

表 2 用 WJF-38 仪检测 LC4 铝合金热处理状态的结果

Table 2 Results of testing as-treatment LC4 aluminium alloy by WJF-38 instrument

Condition of heat treatment	HRB	Value of WJF	γ of 7075/ % IACS
Quenching	57.5	2 630~ 26 40	
Underaging	74.5	3 025~ 3 040	
Nomal aging	81.0~ 90.7	3 328~ 3 642	30.0~ 35.0
Overaging	87.8	3 735~ 3 815	38.0~ 42.5
Annealing	< 25	4 399~ 4 518	44.0~ 47.5

(3) 用已知电导率值的试件给 WJF-38 仪标定, 可定量检测批量生产件的电导率值。

(4) WJF-38 仪的检测速度可达 1 500 件/h。

REFERENCES

- 1 Xu Kebei(徐可北). Nondestructive Testing(无损检测), 1996, 18(4): 116–120.
- 2 Chen Xiaoquan(陈小泉). In: NDT Editorial Department, the Nondestructive Testing Institution of Chinese Mechanical Engineering Society(中国机械工程学会无损检测学会《无损检测》编辑部). Proceedings of The 5th Conference of The Nondestructive Testing Institution of Chinese Mechanical Engineering Society(中国机械工程学会无损检测学会第五届年会议文集). Shanghai: Shanghai Research Institute of Materials, the Ministry of Machine Building Industry, 1991: 302–305.
- 3 Xu Kebei(徐可北). Nondestructive Testing(无损检测), 1991, 13(8): 218–221.
- 4 Xu Guanghua(徐光华). Nondestructive Testing(无损检测), 1979, 1(5): 31–34.
- 5 Wang Guoqing(万国庆) and Fan Jingyun(樊景云). Rapidly Electromagnetic Nondestructive Testing Technology of Steel And Iron's Component, Hardness And Cracks(钢铁成分、硬度和裂纹的快速电磁无损检测技术). Harbin: Hei Longjiang Province Science And Technology Press, 1996: 39–57.
- 6 Wan Guoqing(万国庆) and Fan Jingyun(樊景云). Chinese Journal of Mechanical Engineering(机械工程学报), 1997, 33(2): 32–37.
- 7 Wang Xiaotian(王笑天). Metal Material Science(金属材料学). Beijing: China Machinery Industry Press, 1987: 264.
- 8 Fang Jingyun(樊景云) and Wang Guoqing(万国庆). Transactions of The China Welding Institution(焊接学报), 1997, 18(1): 43–49.
- 9 Wang Guoqing(万国庆), Fan Jingyun(樊景云) and Wang Yubo(王于波). Journal of Harbin University of Science And Technology(哈尔滨科学技术大学学报), 1995, 19(5): 37–40.
- 10 Ren Jilin(任吉林). Electromagnetic Nondestructive Testing(电磁无损检测). Beijing: Aviation Industry Press, 1989: 144.

RAPIDLY NONDESTRUCTIVE AND QUANTITATIVE TESTING OF HARDNESS OF ALUMINIUM ALLOYS

Fan Jingyun and Wan Guoqing

Department of Materials Science and Engineering,

Harbin University of Science and Engineering, Harbin 150080, P. R. China

ABSTRACT The overaging parts and the underaging parts appear at the top and the bottom of the “C” shape relationship curve, respectively, and there is a single-valued reverse “C” shape relationship between the hardness of aluminium alloys such as LC4 and LY12 after aging treatment and the displayed value of the low frequency WJF-38 type micro-computer based automatic quality of material separator for metal, therefore the low frequency WJF-38 instrument was used to quantitatively test hardness of the aluminium alloys whose Brinell hardness, Rockwell hardness and Vickers hardness can be directly displayed in digits. the instrument can be used to accurately distinguish the heat-treatment state, aging degree and separate the mixed materials. The hardness testing precision can be about $HRB \pm 1.3$. The separating speed can be 1 500 parts per hour.

Key words aluminium alloy aging hardness low frequency nondestructive testing

(编辑 黄劲松)