

涡流法检测铝合金电导率的研究

庆安宇航设备公司 张梅芬执笔

〔提要〕本课题的目的是研究 LY12 铝合金热处理后的电导率标准值。研究结果表明,涡流法检测电导率可以检查材料的组织均匀性、混料分选、热处理状态以及确定铝合金组织是否过烧。

一、研究目的

涡流检测是无损检测的一种方法,由于具有数字记录、检测结果可靠、效率高等优点,在国外宇航工业中,已作为一种常规方法用来检测铝合金成品、半成品或部件的电导率,以检查材料的组织均匀性、混料分选、热处理状态、硬铝时效程度等。

在航空某产品制造过程中,规定对铝合金零件热处理后的组织均匀性检查采用涡流法,而国内各种牌号铝合金材料及不同热处理规范下的电导率值无标准可循,且在检测技术上尚不成熟。

本课题主要研究材料牌号为 LY12 的铝合金棒材热处理后电导率标准的制定,从而用于某产品热处理后组织均匀性检查。

二、检测原理及影响因素

1、基本原理

涡流检测是以电磁感应原理为基础的。一个载有确定频率和振幅的交流电的探测线圈(探头)产生交变磁场(初级磁场 H_p),将线圈靠近被检测试件时,在这个交变磁场的作用下,试件中就会感生出交变的电流——涡流。而涡流也在试件中及其周围产生一个附加的交变磁场(次级磁场 N_s)。这个次级磁场的方向,根据楞次定律决定,与初级磁场的方向相反。而这二个交变磁场是叠加的。涡流产生的反作用磁场使线圈磁场减弱,与这种减弱作用有关的线圈阻抗的变

化,用电导率值标定的仪表指示出来,从而确定被测试件的各种性能。

2、影响电导率的因素

影响电导率测试结果准确性的因素较多,主要有测试温度的波动,试件温度越高,电导率就越低;试件形状(如凹面,凸面);试件检测面尺寸大小,狭窄平面检测时会因边缘效应而影响结果的准确性;材料的纤维方向;表面粗糙度;表面涂层;铁磁性金属;强磁场等都会影响测试结果。

三、试验内容

铝合金电导率标准值的研究是以一定的热处理工艺条件为依据,以电导率值与同一试件上对应的硬度值的研究为重点,辅以机械性能及金相组织进行论证。

1、仪器及标准块

(1) FQR7501型涡流电导仪

测量频率: 60千赫;

测量范围: 5~62兆西(门子)每米;

测量误差: 在额定测量范围内不大于分度盘端值的 $\pm 1\%$;

适用温度: 0~45℃。

(2) 标准块是由航空部621所提供的铝合金标准块,其电导率如下:

电导率低值标准块: 14.26兆西(门子)每米;

电导率中值标准块: 19.8兆西(门子)每米;

电导率高值标准块：24.9兆西（门子）每米。

2、试验用材料及试样几何形状

表1 LY12棒材化学成分

炉批号	化学成分(%)						备注
	Cu	Mn	Mg	Fe	Si	Al	
3097	4.17	0.59	1.42	0.1	0.42	余量	符合YB604
6618	3.82	0.78	1.42	0.15	0.40	余量	-66技术要求
标准	3.8 ~ 4.9	0.3 ~ 0.9	1.2 ~ 1.8	≤ 0.5	≤ 0.5	余量	

表2 试样形状及尺寸

材料规格	机械性能 拉棒试样	金相组织 试样	电导率及 硬度试样
φ34mm	按GB228-76 技术要求加工 直径φ10mm 拉棒	φ10×15mm	30×30×10 mm

3、试验材料LY12铝合金的热处理规范

表3 LY12铝合金热处理规范

温度 ℃	淬 火		时效处理(自然时效)			
	保温时间	冷却转移时间 介质 (s)	加热温度 (℃)	保温时间 (h)	冷却 介质	
480	电导率、 硬度、金 相试样 20 min 拉棒试样 30min	水	≤5	19~21	93	空气
490						
495						
500						
503						
505						
510						
515						
520						

淬火介质硝酸盐成分：硝酸钠37.4%；硝酸钾62.4%。

4、涡流电导仪校准

涡流电导仪按HB5356-85的要求，对仪器进行灵敏度、稳定性、间隙抑制性能的检测，然后用标准试块校准仪器。

用低值〔14.26兆西（门子）每米〕和高值〔24.9兆西（门子）每米〕标准试块校准仪器。这时电导仪的有效测量范围为12~27兆西（门子）每米。

电导仪经过低值和高值电导率标准试块校准后，再对中值电导率标准试块进行测量，其误差<±0.2兆西（门子）每米。

5、工作环境

工作环境温度19~23℃。试样、标块及仪器均在同一环境内静置四小时以上，并且在远离强磁场及铁磁性材料的木制工作台上测量。

6、测试方法

采用直接测量真值法测量电导率，每个试样测试3次，取读数平均值，且每隔15分钟重新校准仪器。

四、试验结果及分析

电导率-机械性能-金相组织之间的关系。采用同一炉批号的LY12铝合金棒料制作的试样，经不同温度淬火、自然时效后，测定试样的电导率，且在同一试样的另一面测定布氏硬度；此外还以条件相同的试样进行抗拉强度、屈服强度、延伸率的测试，以及光学金相组织检查。结果见表4。

LY12铝合金是Al-Cu-Mg系在淬火加热过程中，合金强化相以置换形式固溶到α基体的结晶点阵中。而后经过自然时效形成与母相共格的GP区，从而造成结晶点阵的严重歪扭。这种现象便成为电子散射源，使电导率下降。随着淬火温度的升高，合金强化相固溶更充分，晶格歪扭程度更厉害，所以淬火温度与电导率成反比关系。从试验结果看到，刚淬火后的铝合金强度比退火原材料的合金高出不多，但淬火后硬铝的各种性能，随时间的延长而发生变化。性能的变化是在经过2~3小时孕育期之后才开始的。经过24小时后抗拉强度则显著提高，抗拉强度由235~255兆帕提高到392兆帕以上，电导率则明显下降见表4。

试验证明，抗拉强度σ_{0.2}及屈服极限σ_{0.2}随淬火温度的升高而增加。当淬火温度继续升高到505℃以上时，因为强化相发生熔化现象，晶界变粗并发生毛，甚至有复熔球出现，金

表4 LY12合金电导率-机械性能-金相组织关系表

淬火温度 ℃	电导率MS/m			机械性能				金相组织
	原材料 (退火状态)	不稳定态 (淬火后3小时)	稳定态 (96小时时效后)	抗拉强度 MPa	屈服强度 MPa	延伸率%	布氏硬度	
480	23.55	19.72	18.25	538.6	363.0	14.2	129	—
490	23.86	18.76	17.75	551.3	385.5	13.2	135	无过烧
495	23.90	18.19	17.51	558.2	397.3	13.0	135	无过烧
500	23.59	17.73	17.11	569.0	406.1	13.3	135	无过烧
503	23.52	17.43	16.88	570.0	407.1	13.4	134	无过烧
505	23.55	17.21	16.84	569.0	412.0	13.6	135	有三角晶界开始过烧
510	23.37	16.60	16.20	561.1	403.2	13.0	136	有三角晶界, 晶界变粗, 过烧加重
515	23.74	17.30	16.91	557.2	393.4	13.0	130	大量三角晶界, 连成网状, 且有复熔球出现, 严重过烧
520	23.53	17.42	16.25	545.4	391.4		126	-

相组织过烧。这时 σ_0 、 $\sigma_{0.2}$ 、 $1/\rho$ (ρ 表示电阻率, 电导率即电阻率的倒数) 开始下降。尽管硬度仍然很高, 但电导率已下降到一定值, 电导率对金相组织过烧表现敏感, 即电导率低于某一值时金相组织过烧, 故不能认为电导率愈低愈好。

从试验结果来看合金的强度、硬度与电导率之间的关系并非函数关系, 而是相关关系。对大量试验数据进行回归处理, 得到电导率的合格区间值及金相组织过烧时的电导率。

五、结 论

1. 铝合金材质的均匀性检查应采用电导率及硬度测量相结合的方法。从试验结果可知, 在不同的淬火温度范围内, 一个强度值可能对应二个电导率值。例如: 当抗拉强度 σ_0 为559兆帕(57公斤力/平方毫米)时, 则出现两个电导率值: 一个淬火温在512℃时, 电导率 $1/\rho$ 为16.3兆西(门子)每米; 而另一淬火温度在496℃时, 电导率 $1/\rho$ 为17.6兆

西(门子)每米。

2、涡流法电导率测试方法简单, 数据准确, 其最大优点是无损检测。经过大量试验及数据处理, LY12铝合金在490°~500℃淬火, 96小时自然时效的热处理规范下, 其电导率 $1/\rho$ 的合格区间是16.9~17.9兆西(门子)每米。该结果可用于产品检测。

3、电导率可基本确定合金的金相组织是否过烧: 当电导率 $1/\rho$ 小于16.9兆西(门子)每米时金相组织过烧。

4、试验证明, 当金相组织已经过烧时, 其硬度值仍在技术要求 $HB > 105$ 的合格范围内。所以热处理后不能认为硬度值大于某一值时即为合格产品。

5、本研究结果可用于LY12铝合金的材质与电导率间存在单质关系范围的检测。当对电导率有疑义时, 可结合硬度进行检查, 必要时还应作金相检查, 以确定产品合格与否。

注: 本课题组成员: 詹孝慈、张梅芬、孙建武、魏西、陈少君、樊世昆、杨银霞。

**CHECK OF CONDUCTIVITY
OF AL-ALLOY BY EDDY**

**Qingan Aerospace Equipment
Company**

Zhang Meifen et al.

Normal conductivity of heated LY 12 AL-alloy is investigated. It is shown that the eddy method can be used for checking the homogeneity, size classification and heat treatment condition of AL-alloy and determining if the alloy structure is overburnt.

**SUPERFICIAL OPINION TOWARDS
DESIGN OF INTENSIFIER
OF SMALL VOLUME, LARGE
FLOW AND SUPERHIGH PRESSURE**

BAMTRI

Liang Licheng

High pressure waterjet technology is being perfected along with the development of science and technology and has achieved considerable benefit. Here superficial opinion towards the design of three critical parts (high pressure water cylinder, high pressure seals and high pressure plunge piston) in superhigh pressure intensifier is given.

**ASSEMBLING ALL-COMPOSITE
VERTICAL STABILIZER**

**Nanchang Aircraft Manufacturing
Company**

Yuan Ziqiang and Zeng Zhangyi

High rigidity and brittleness of carbon-fibre composite bring new technical problems and difficulties in assembling. In this paper coordination, hole drill, connection and quality control in assembling of vertical stabilizer made of all-composite are introduced.

**DESIGN CONCEPT OF SCREW
PRESS FOR FINISH FORGING**

China Aeronautical Project and

Design Institute

Zheng Shuhai

In this paper are described the design requirements of screw press for finish forging, and the hit energy, stiffness and guidance which can effect finish forging. Calculated formulas are given, and the way to control screw press is briefly introduced.

**APPLY WORK ABILITY
COMPARISON OF MEDIUMS
USED FOR STEAM-AIR HAMMER**

Northwest Polytechnic University

Li Yunrui

Steam or compressed air can be used as working medium for steam-air hammer, but the features of medium, apply work ability and apply work efficiency are different. Of them compressed air can make better use of energy. This is explained theoretically in this paper.

**MULTISTAGE DUAL-NOTCHED
DRAWING DIE**

**Haerbin Aircraft Manufacturing
Company**

Yang Dajun

In the paper are described the design of multistage dual-notched drawing die and its testing. The function of dual-notch is to increase deformability of the part being drawn, so that the drawing factor of each operation can be considered based on single operation die.