

[文章编号] 1004- 0609(2001)S1- 0052- 04

微机系统在合金热裂行为测试中的应用^①

王业双, 丁文江, 王渠东

(上海交通大学 材料科学与工程学院, 上海 200030)

[摘 要] 设计了一种新的合金热裂行为测试系统。该系统通过数/模转换, 用微机对凝固过程中的温度、应力和收缩信号数据进行采集和进一步的处理, 并描绘其曲线。实验结果表明, 在正常凝固条件下, AZ91 合金并不按平衡相图凝固, 而是有共晶相析出; 在合金凝固后期, 存在一“冲击”收缩, 是“冲击”收缩导致了合金凝固过程热裂的产生。

[关键词] 微机测试; 热裂; 收缩; 凝固

[中图分类号] TG2

[文献标识码] A

热裂是铸造和焊接生产中最常见的而且是危害最严重的缺陷之一。探索合金产生热裂的机理和对热裂缺陷进行有效的控制, 在理论研究和实践上都具有重要意义。

现在普遍认为采集合金凝固过程中的温度、线收缩和热裂抗力等信息对于深入认识合金的热裂行为、判断合金的热裂倾向性有着重要意义^[1~5]。有人算出 Al-7Cu 合金固相线附近的线收缩系数是固态线收缩系数的 21 倍^[1], 因而当合金冷却到固相线温度附近时, 将产生一个“冲击收缩”, 在受阻条件下, 铸件或试样则产生一个相应的“冲击应力”, 而使铸件或试样开裂。比利时的 van Eeghem 和 de Sy 设计的装置可以记录合金凝固过程中的温度、热裂纹(或线收缩)和应力信号^[5], 国内开发的 ZSR 合金热裂倾向性测定仪^[3]和 ZQS-2000 型双试棒合金热裂-线收缩仪^[1]也可以对这些信号的单路或多路进行记录。但这些设备的数据记录大多是采用函数记录仪或手工记录方式, 多路信号的同时记录困难, 并且数据记录灵敏度低, 操作繁琐, 数据的进

一步处理困难。

本文作者在前人工作的基础上, 采用数/模转换, 设计出一种能同时连续采集铸件凝固过程中温度、线收缩、应力等多路重要信息的高精度、高灵敏度的合金热裂行为微机测试系统, 为深入研究热裂行为创造了条件。

1 测试系统

在试棒浇注以后, 从热电偶、位移传感器和应力传感器产生的电压信号先经过滤波和调压电路, 除掉部分噪音, 并将信号调到合适的统一范围, 然后经 A/D 卡完成模/数转换, 再输入微机, 以便进行进一步的处理。测试系统结构如图 1 所示。

该系统所采用的仪表为大连理工大学研制的 ZQS-2000 型双试棒合金热裂-线收缩仪(以下简称热裂仪), 并根据所测试合金的特点进行了改进。热裂仪采用完全相同的 2 个试棒, 一试棒两端固定, 接应力传感器, 在预计热裂部位放置热电偶;

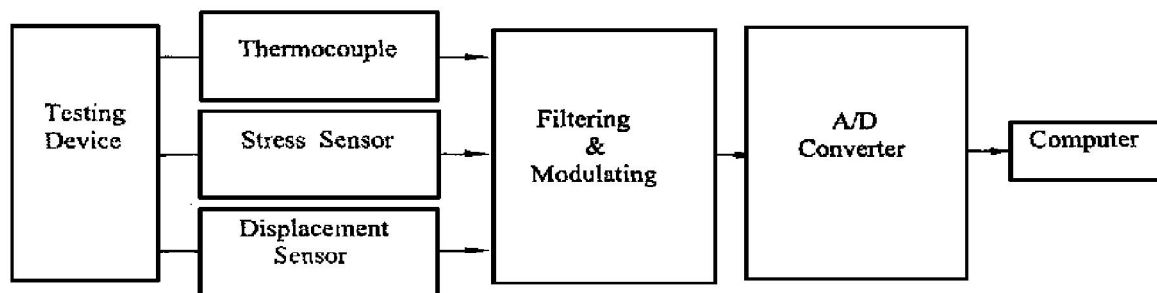


图 1 合金热裂行为微机测试系统示意图

Fig. 1 Scheme of microcomputer system for alloys' hot-cracking testing

另一试棒两端为自由端, 连接位移传感器。为了保证两试棒的凝固条件相同, 采用同一个浇注系统, 以保证同时浇注。热电偶采用自制的镍铬-镍硅热电偶。镍铬-镍硅热电偶的热电偶与温度线性度好, 微分热电势较大, 灵敏度较高, 已广泛地应用在 500~ 1 300 ℃ 温度范围的氧化性和惰性气氛中^[6]。该系统采用尽可能细的热电偶丝: 镍铬丝和镍硅丝皆为 $d0.2\text{ mm}$, 套管也采用目前最细的外径 $d2\text{ mm}$ 的双孔陶瓷套管, 以尽量减小热电偶本身对测量温度的影响, 并保证足够的灵敏度。应力传感器和位移传感器皆为热裂仪自带。

A/D 卡采用 PCL-818HG/L 型, 为高增益、多通道 12 位高速数据采集卡, 信号的循环采集速度可达 400 次/s 以上, 完全满足采集速度的要求。采用主频 100 MHz 的 486 微机, 内存 8 M。

2 信号的采集

热电偶通过电压传递温度信号。该系统中电压与温度关系采用如下高次方乘幂多项式拟合^[7]。

$$t_{90} = \sum_{i=0}^n C_i (E)^i \tag{1}$$

式中 t_{90} 为 ITS-90(国际温标) 的温度, ℃; C_i 是 9 次幂多项式加上指数表达式的有关系数; E 为热电势, mV; n 为多项式次数。此函数覆盖 0~ 1 372 ℃ 温区, 误差为 $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$, 电压变化范围为 0~ 50 mV。

该系统采用的应力传感器为 CL-YB-13 型, 在使用载荷范围内的输出电压为 0~ 3 mV, 电压较小。在对信号进行放大滤波后, 其输出电压为 8.4~ 50 mV, 且载荷与电压的线性度很好, 载荷 N_p (kg) 与电压 V (mV) 的关系为

$$V(N) = 8.03 + 0.498 N_p \tag{2}$$

所测量范围内, 因应力传感器的信号电压为 - 400~ 400 mV, 为了便于统一采集, 采用分压电阻将输出电压的范围降到 - 40~ 40 mV 范围内。其电压值 V_s (mV) 与位移 S (mm) 量呈线性关系。

$$V_s = - 25.56 + 6.29 S \tag{3}$$

该系统采用 12 位高增益 A/D 卡, 统一输入电压范围为 - 50~ 50 mV, 其采集精度 Q 可用下式表示:

$$Q = \frac{100}{4096 \times N} \tag{4}$$

该系统中温度、位移和应力信号的采集精度如表 1 所示。

表 1 信号的采集精度

Table 1 Accuracy of collected signal

Singnal type	Parameter N	Acquisition precision Q
Temperature/ ℃	0.04	0.61
Displacement/ mm	6.29	0.0039
Stress/ kg	0.498	0.049

3 信号的干扰和滤波

在实验测量中, 直接测量到的电压信号往往含有大量的噪音, 严重影响着信号的准确度。干扰信号的来源有 4 种: 1) 传感器电源中含有基波和多次谐波的交流分量; 2) 外界电干扰; 3) 微机本身的高频电压干扰; 4) 机械振动。

为除去噪音信号, 首先是在该系统中尽可能用干电池作为传感器和放大电路的电源, 以减少信号中的交流分量; 并同时采用了硬件滤波和软件滤波。

由于输出的电流非常小, 所以可用电容滤波器来滤除噪音信号。另外, 负端加电容接地也是屏蔽外界电干扰的有效方法。图 2 所示为应力信号的放大滤波电路。图 2 中 U_i 和 U_o 分别为输入电压信号和输出电压信号; R_1 , R_2 , R_f 分别为电阻; C_1 , C_2 为电容; A_1 为放大器。

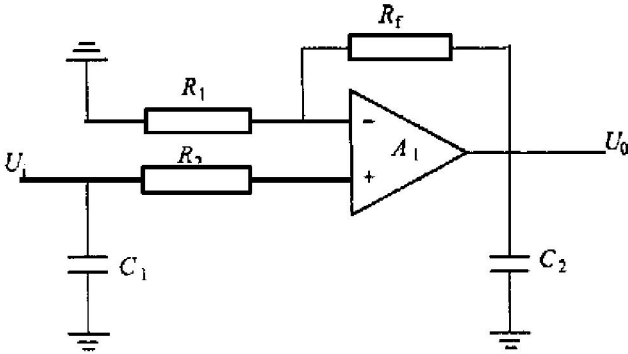


图 2 应力信号的放大滤波电路

Fig. 2 Magnifying and filtering circuit of stress signal

比较常用的软件滤波方法有程序判断滤波(限幅滤波)、算术平均法、中位法及一次延迟数字滤波法 4 种^[7]。该系统中, 在经过滤波后的信号平滑度已较好, 且实验中数据采集量, 每组 8 万个, 故适合于采用平均值法, 其算式为

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \tag{4}$$

式中 Y 为采样值的平均值, Y_i 为第 i 次采样, n

采样次数。该系统中, n 取 100~200 效果较好。

4 结果与分析

利用该测试系统对常用铸造镁合金 AZ91(相当于 ZM5) 进行了测试浇注温度为 740 °C, 铸型材料为覆膜砂, 不预热。图 3 和 4 所示为同时采集到的温度、线收缩和应力曲线。

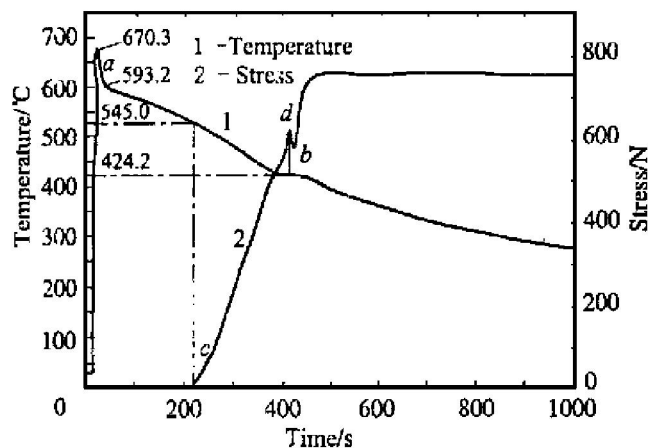


图 3 AZ91 合金时间-温度、应力曲线

Fig. 3 Curves of temperature and shrinkage of AZ91 alloy during solidification

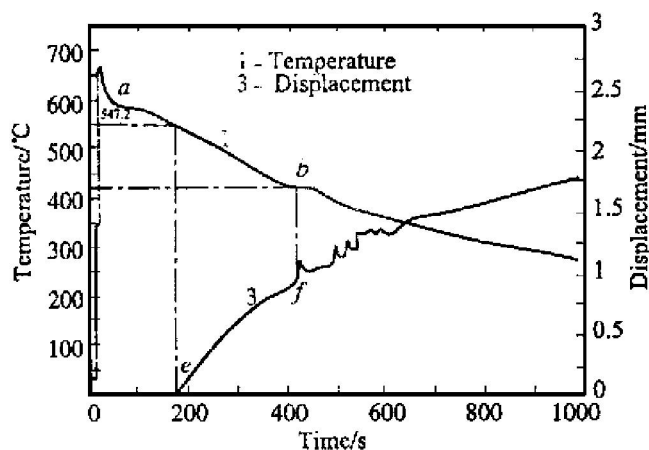


图 4 AZ91 合金时间-温度、线收缩曲线

Fig. 4 Curves of temperature and stress of AZ91 alloy during solidification

1) 由温度曲线可以看出, 合金液浇入型腔后, 高灵敏热电偶立刻测出当前温度 670.3 °C, 由于热电偶放置在型腔内部, 经过砂型冷却后的金属液温度要低于浇注温度 740 °C。这时的砂型尚处于室温状态, 对金属液造成大的激冷, 因此温度迅速下降。当到达 a 点 593.2 °C 处, 出现一个小平台, 开始有固相析出, 释放结晶潜热, 从而降低了冷却速度。当到达 b 点 424.2 °C 处, 又出现一个小平台, 由于此温度远低于 AZ91 平衡固相线温度 470

°C^[8,9], 而与 Mg-Al 合金的共晶点温度 437 °C^[10] 较近, 由此可以推测, 在合金凝固的后期有较多的共晶相析出。合金完全凝固后, 合金均匀冷却。

2) 由时间-应力曲线可以看出, 在凝固初期, 合金还没有建立起强度, 没有应力产生。到达 c 点, 应力开始产生并迅速上升, 结合温度曲线可以看出, 合金开始建立强度时的温度为 545 °C。当到达 d 点处, 出现一个明显的拐点, 由此可以推断, 在 d 点处有微裂纹产生, 微裂纹的出现造成了应力的释放, 导致应力值的下降。此拐点所对应的温度, 为温度曲线的 b 点。此后, 应力继续上升(后面大的平台, 是由于信号超出测量范围所致)。

3) 位移(收缩)曲线表现出与应力曲线相似的规律。分别在 e 点开始收缩, 在 f 点出现拐点。其中 e 点对应温度为 547.2 °C, f 点对应于温度曲线的 b 点。

综合 3 条曲线可以看出, 在实际凝固条件下, 合金的开始凝固温度与液相线温度对应得很好, 但在凝固后期偏离了平衡相图, 有大量的共晶相析出; 合金开始建立起强度的温度应在 545 °C (或 547.2 °C) 附近; 在合金凝固后期, 确实存在一个“冲击”收缩, 从而验证了文献[1]中的理论预测。

5 结论

1) 该系统可以同时连续采集合金凝固过程中的温度、应力和收缩信息, 具有足够的精确度和灵敏度, 能反映出合金凝固过程中的微小的物理量变化, 并采用微机对采集信号进行处理, 提高了信号数据的可读性, 为进一步研究创造了条件。

2) 在本实验凝固条件下(砂型), AZ91 合金的开始凝固温度接近平衡液相线温度, 但在凝固后期偏离了平衡相图, 有大量的共晶相析出, 造成实际凝固结束温度远低于平衡固相线度而接近共晶温度, 为 424.2 °C。

3) 本实验测试证明, 在 AZ91 合金凝固的后期, 存在一“冲击”收缩, 是“冲击”收缩导致了合金热裂的产生。

4) AZ91 合金最可能产生热裂温度在凝固结束温度(424.2 °C)附近。

[REFERENCES]

- [1] CHEN Guang-yun(陈光昀), LIU Xu-lin(刘旭麟), JIN Yun-lin(金蕴琳), et al. ZQS-2000 双试棒合金热裂-线

- 收缩仪的设计及实验研究[J]. Foundry (铸造), 1988 (1): 13–19.
- [2] SUN Pei-hui(孙培惠), YANG Hai-chun(杨海春). 合金热裂倾向测定方法的探讨[J]. Foundry Technology (铸造技术), 1987(4): 37–39.
- [3] ZHANG Wen-hui(张文辉), QIAN Guo-gao(钱国高), LI Cheng-wen(李成文). ZSR 合金热裂倾向性测定仪的研究制[J]. Journal of Shenyang Polytechnic University (沈阳理工大学学报), 1982(2): 47–56.
- [4] SHI Sheng-li(时胜利). 合金热裂倾向性测试分析[J]. Journal of Xi'an University of Technology(西安理工大学学报), 1994, 10(4): 274–277.
- [5] van Eeghem J, de Sy A. A contribution to understanding the mechanism of hot tearing of cast steel [J]. Modern Casting, 1965(68): 100–109.
- [6] LING Shan-kang(凌善康), YUAN Zuo-dong(袁遵东). Manual on General Thermocouple Tables (通用热电偶分度表手册) [M]. Beijing: Chinese Metrology Press, 1994. 22.
- [7] GAO Qin(高钦), ZHANG Guo-liang(张国梁). The Implication of Microcomputer in Foundry Test and Control (微机系统在铸造测试和控制中的应用)[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1986. 35.
- [8] SUN Yang-shan(孙扬善), WENG Kun-zhong(翁坤忠), YUAN Guang-yin(袁广银). Sn 对镁合金显微组织和力学性能的影响[J]. The Chinese Journal of Non-ferrous Metals(中国有色金属学报), 1999, 9(1): 55–60.
- [9] American Society for Metals. Metals Handbook(Ninth Edition Volume 2, Properties and Selection Nonferrous Alloys and Pure Metals) [M], (in Chinese). Beijing: Mechanical Industry Press, 1994. 751.
- [10] ZHANG Xiao-nong(张小农), ZHANG Di(张荻), WU Ren-jie(吴人洁). 混杂增强镁合金复合材料的力学性能和阻尼性能[J]. The Chinese Journal of Non-ferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(Suppl. 1): 150–153.

Microcomputer systyem for hot-cracking testing of alloys

WANG Ye-shuang, DING Wen-jiang, WANG Qu-dong

(School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University,
Shanghai 200030, P. R. China)

[Abstract] A new method to test hot-cracking in metallic alloys was proposed. Through A/D conversion, the information of temperature, stress and shrinkage are collected and further treated, and their curves are drawn with microcomputer. The results indicate that AZ91 alloy does not solidify following the phase diagram under the experimental conditions, but precipitate eutectic; at the end of the alloys solidification, a “shock shrinkage” occurs, whcih leads to the hot cracking.

[Key words] microcomputer testing; hot cracking; shrinkage; solidification

(编辑 何学锋)