

锌合金液态模锻凝固特征探析

Research on the Solidifying Characteristics of Zinc Alloy by Liquid Metal Forging Process

齐乐华 (西北工业大学)

Qi Lehua (Northwestern Polytechnical University)

[摘要] 研究了 $ZnAl_4Cu_3$ 合金在常规铸造和液态模锻时的凝固过程, 探讨了压力对液态金属凝固过程温度场的影响, 给出了在压制过程中不同比压和冲头温度下模具与制件不同位置的温度变化情况, 根据实验结果计算得出液态模锻下冷却速度较之自由凝固提高近 10 倍, 并由此分析了液态模锻的凝固特征。

关键词: 锌合金 液态模锻 凝固特征

[Abstract] In this paper, the solidification process of $ZnAl_4Cu_3$ alloy during casting and liquid metal forging has been studied by means of experimental method. The influence of pressure on the temperature fields during the solidification process of liquid metal has been investigated. The variation of temperature at the different positions of the die and workpiece under the different pressure and punch's temperature was measured and analysed. The solidifying characteristics of liquid metal forging has been discussed. According to the experiments and calculation, it has been shown that the solidifying velocity in the liquid metal forging process is increased about 10 times compared with that in the gravity casting.

Keywords: zinc alloy liquid metal forging solidifying characteristics

1 引言

液态模锻 (又称挤压铸造) 锌合金克服了该合金塑性、韧性低的缺点, 使其应用范围进一步扩大。液态模锻对锌基合金组织与性能的影响以及合金成形过程中所涉及的一些问题在文献 [2], [3] 中已有阐述, 而锌合金液态模锻凝固特征的研究至今尚未涉及。液态金属的凝固过程对液态模锻单一合金和复合材料制件的质量影响很大, 特别是由于力的作用, 改变了制件与模具之间的热交换条件, 导致其凝固过程复杂化, 因而有必要对其成形过程进行深化研究, 以促进液态模锻理论、工艺的发展和完善。

2 实验方法及装置

实验采用平冲头加压法, 通过改变比压值和冲头温度, 测定液态模锻时金属轴向和径向温度的变化情况, 以对凝固过程进行分析。图 1 为实验装置示意图。总压力通过压力传感器测定, 温度用热电偶测定。采用台式自动平衡记录仪、函数记录仪记录实验数据。热电偶位

置示于图 2。1~5 点的实测位置可变, 6~9 点的位置固定。

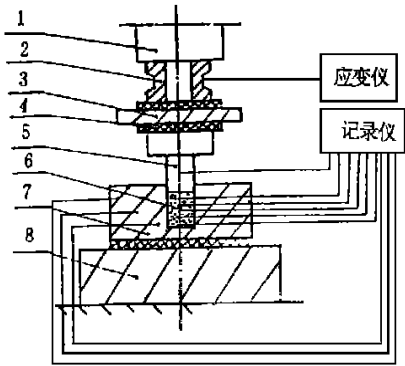


图 1 实验装置

1. 压头; 2. 压力传感器; 3. 上垫板; 4. 隔热垫
5. 凸模; 6. 液态金属; 7. 凹模; 8. 下垫板

3 结果与分析

锌合金在大气压下凝固时内部各点的温度变化示

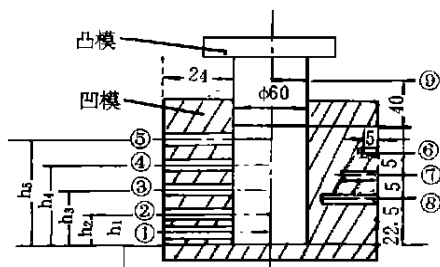


图2 热电偶在模具上的位置
1~9点: 热电偶的编号及位置

于图3, 可以看出锌合金自由凝固的特点。沿径向距模壁越近, 凝固越快, 中心部位凝固最慢; 沿轴向(图3a)近模具底面处(曲线)凝固较快, 靠近上表面处

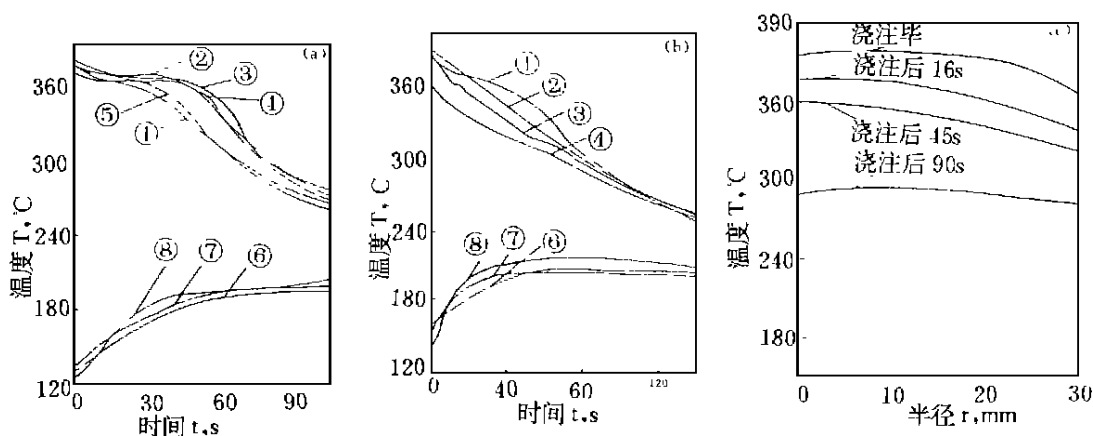


图3 大气压下不同部位凝固温度(T)随时间(t)的变化
(a) 轴向 $T-t$ 关系曲线, 各占位置参见图2, 其中 $h_1=10\text{mm}$;
 $h_2=25\text{mm}$; $h_3=35\text{mm}$; $h_4=45\text{mm}$; $h_5=55\text{mm}$
(b) 径向温度变化, 其中测试点与模壁之距分别为 30mm (制件中心);
距模壁 21mm ; 距模壁 9mm ; 距模壁 3mm ; ~ 模具上各点温度
(c) 沿径向不同时刻的温度分布

液态金属在压力下结晶凝固时, 其温度场的变化与大气压下有很大区别, 见图4。对比图3和图4便可看出液态模锻下的凝固特征:

(1) 凝固初期, 沿轴向各点的温度变化趋于一致, 在 $T-t$ 关系曲线上出现一结晶平台(图4a), 表明液态金属在压力下凝固时其结晶潜热释放量很大^[5], 采用温度回归法^[6]可对液态模锻的凝固过程进行计算模拟。

(2) 液态金属凝固温度受比压值所影响, 压力较低时, 合金的液相线温度上升较少, 凝固时合金液过冷度不高, 释放的结晶潜热刚好补偿固态合金继续冷却时所散失的热量, 故凝固温度变化不大; 压力增大时, 液相

次之(曲线), 冷却最慢的是中心偏上部位(曲线)。图3b表明, 液态金属刚浇入模具时冷却速度较快, 随后变慢。这是由于凝固要放出潜热和外层已凝固金属因径向收缩会与模壁相脱离而形成间隙^[4], 导致热阻增大、热传导速度降低造成的结果。凝固结束后, 结晶潜热不复存在, 冷却速度略有升高。

观察模具温度的变化可知, 随液态金属的浇入, 模具温度急剧上升; 靠近型腔处的点温度上升快, 远离型腔处的点温度上升较平缓; 金属开始凝固时, 模具温度上升速度变慢, 将近凝固结束时, 模具温度不再升高, 即其吸收的热量与散失的热量相平衡。图3c表明, 制件从边到中心部位的凝固时间约需55s, 由此估算出的ZnAl₁₄Cu₃合金凝固速度为0.55mm/s。金属完全凝固后, 其中心至外部温度逐渐趋于一致。

线大幅度上升, 大量的过冷态合金液同时开始结晶, 短时间内散发出大量结晶潜热, 使冷却曲线出现了小凸台(图5)。

(3) 在压力作用下, 制件内部的热传导加剧^[5], 使各点的温差变小。

(4) 冷却速度加快。由于压力的作用, 使已凝固区产生塑性变形, 消除了制件与模壁间的间隙, 导致热阻减小, 从而增加了冷却速度。经计算, 凝固过程中冷却速度最高达39 /s, 而自由凝固时仅为0.5~3.9 /s, 提高了近10倍(图6)。

(5) 压力下凝固, 使制件中的最后凝固点位置发生

变化。大气压下凝固最后凝固区一般在最上部，而液态模锻时最后凝固区则偏向中心，且随冲头温度的不同而改变。

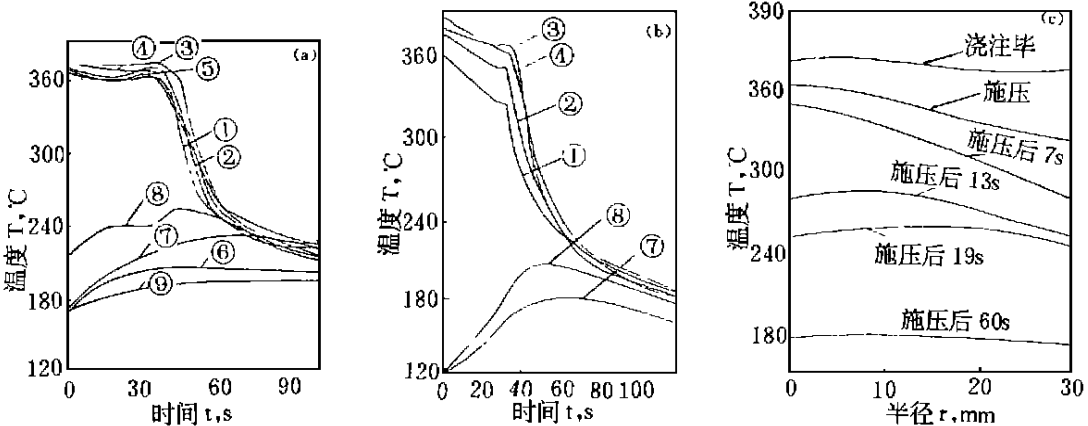


图 4 液态模锻时各点温度变化

- (a) 径向 $T-t$ 关系曲线，各点位置参见图 2，其中 $h_1=10\text{mm}$;
 $h_2=22\text{mm}$; $h_3=32\text{mm}$; $h_4=42\text{mm}$; $h_5=54\text{mm}$
- (b) 径向温度变化，其中测试点与模壁之距分别为：
 1mm ; 14mm ; 25mm ; 30mm
- (c) 沿径向不同时刻的温度分布

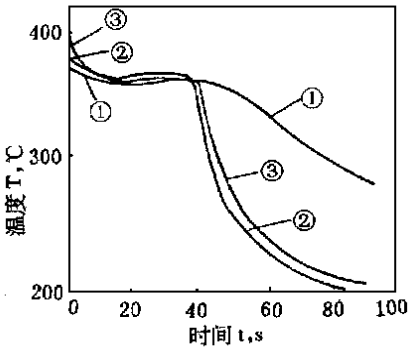


图 5 制件同高处不同比压下的冷却曲线
大气压; 比压 $P=86\text{MN}/\text{m}^2$; 比压 $P=34\text{MN}/\text{m}^2$

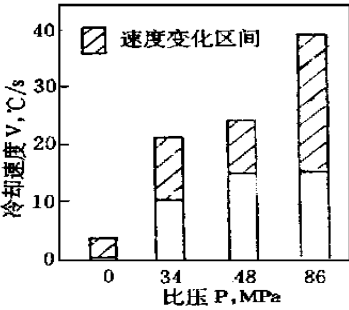


图 6 比压对冷却速度的影响

- (1) 锌合金液态模锻温度场与大气压下凝固的温度场有较大区别。自由凝固时曲线平坦，无明显结晶平台，液态模锻条件下，冷却曲线阶段性明显。
- (2) 压力的作用使凝固速度加快，熔点升高，结晶潜热增加，制件内部温差变小，冷却速度提高近 10 倍，且比压值对冷却速度有一定影响。
- (3) 凸模温度影响最后凝固区的位置，凸模温度越低，最后亲自固区位置越靠近制件下部。

参考文献

- 1 J. A. Cornie, et al. Microstructure and Properties of Zinc Alloy Matrix Composite Materials, Proc. of the Int. Symp. On Adv. In Cast Reinforced Metal Composites, 1988, 155
- 2 齐乐华等. 液态模锻工艺参数对锌合金性能影响的研究. 热加工工艺, 1995, (2): 21
- 3 Li Hejun, Luo Shoujing, Qi Lehua. Eliminating Defects of Zn-Al Alloy by Squeeze Casting and Liquid Extrusion, J Materials Processing Technology, 1992, 32: 489
- 4 Qi Lehua. Research on the Characteristics of the Pressure and Deformation in Liquid Metal Forging Process, 4th Int. Conf. on the Tech. of Plast., Beijing, Sept, 1993, 5~12
- 5 罗守靖等. 钢质液态模锻. 哈尔滨工业大学出版社, 1990
- 6 大中逸雄. 计算机传热凝固解析入门. 机械工业出版社, 1988