

Cu-Zn-Al 合金贝氏体相变的动力学特征^①

姜立新^② 吕伟^③ 江伯鸿^④ 徐祖耀^⑤

(上海交通大学)

摘 要

以膨胀及金相测定确立了 Cu-Zn-Al 合金由马氏体态加热和经高温母相冷却时, 其贝氏体形成的 TTT 图和动力学曲线。证明贝氏体相变的动力学特征符合 Austin-Rickett 方程, 由马氏体加热形成贝氏体时 n 值为 2.25, 经高温冷却时 n 为 1.80; 形成贝氏体的激活能约为 $110\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 与溶质原子的扩散激活能相当。

关键词: Cu-Zn-Al 合金, 贝氏体相变, 动力学

1 绪言

Takezawa K 和 Sato S^[1]发现在应力作用下, Cu-Zn-Al 合金自马氏体态加热形成贝氏体的动力学特征, 符合 Austin-Rickett 的扩散型形成方程, 其生长激活能与 Zn 原子的扩散激活能相当。Lee E-S 和 Kim Y G^[2]以电阻法测定 Cu-Zn-Al 自马氏体态上淬、形成贝氏体的动力学, 得到相同的结果。本文试图以膨胀法, 结合金相法研究 Cu-Zn-Al 合金自马氏体态加热、和经高温母相冷却, 形成贝氏体的动力学特征。

2 实验及结果

上淬试样采用 Cu-25.34Zn-3.88Al (wt.-%), 先经 500℃ 退火 2h, 炉冷至 200℃ 后空冷至室温, 再经 800℃ 母相化 (2mm 直径试样保温 5min)、淬入 150℃ 油浴中保温 15min, 淬入水中。然后将 18R 马氏体试样 ($M_s = 72^\circ\text{C}$) 放置于 LK-02 快速膨胀仪上,

以 $40^\circ\text{C}/\text{s}$ 速率加热至 $200\sim 300^\circ\text{C}$, 测得贝氏体相变的 TTT 图和相变分数-时间图分别如图 1 和图 2 所示, 其中相变量经金相验证。金相确定 $200\sim 300^\circ\text{C}$ 间所形成的相变产物为片状贝氏体。

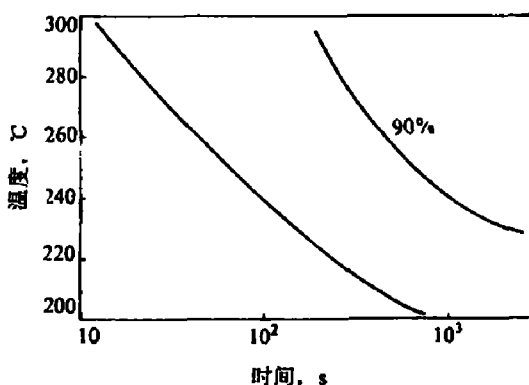


图 1 Cu-25.34Zn-3.88Al 合金自马氏体态上淬至不同温度的 TTT 图

自高温母相冷却形成贝氏体的试样采用 Cu-27.27Zn-3.73Al (wt.-%) 合金, 加工成 $12 \times 1 \times 2\text{mm}$, 经 550℃ 退火 1 h 炉冷至 200℃ 后空冷至室温, 然后将试样放置 LK-02 膨胀仪上, 以 $10^\circ\text{C}/\text{s}$ 的速率加热至 800°C , 保

①本文为国家自然科学基金资助项目, 于 1991 年 6 月 4 日收到

②研究生; ③助教; ④副教授; ⑤教授

温 10min, 以 $100\sim 120^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 速率冷至不同温度, 测得 TTT 图如图 3 所示。

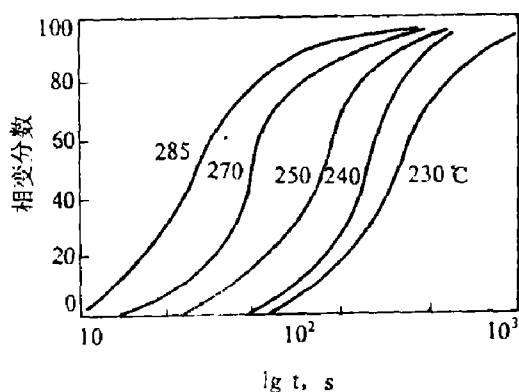


图 2 Cu-25.34Zn-3.88Al 合金自马氏体态上淬、形成贝氏体的相变分数-时间曲线

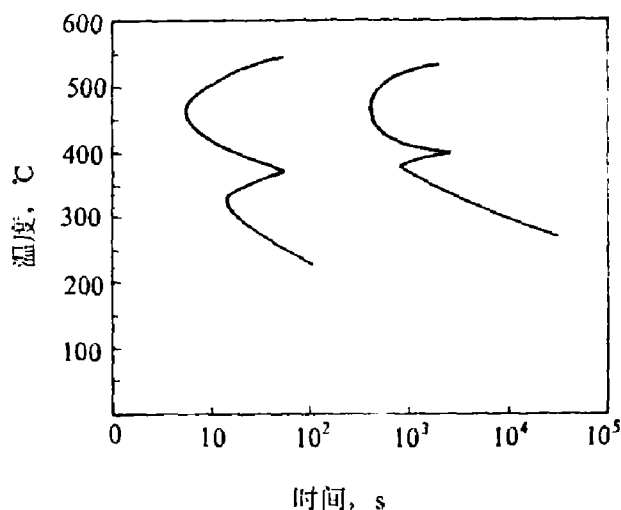


图 3 Cu-27.27Zn-3.73Al 合金自母相冷却的 TTT 图

金相测得 370°C 以上, 等温相变的产物为棒状组织, 在 370°C 以下为棒状和片状混合组织, $B_s \approx 370^{\circ}\text{C}$, 在 $300\sim 325^{\circ}\text{C}$ 间基本上为片状贝氏体, 其相变分数-时间曲线如图 4 所示。

3 讨论

膨胀及 X 射线衍射证明, 上淬试样先由 18R 马氏体转变为 DO_3 母相, 在等温过程中由 DO_3 母相转变为贝氏体。参考 Singh S C 等的工作结果^[3], 本文的 Cu-27.27Zn-3.73Al 合金母相中, $B2 \rightarrow \text{DO}_3$ 的温度约为 290°C ; 因此由高温母相淬至 $300\sim 325^{\circ}\text{C}$ 之间, 为 B2 转变为贝氏体的等温相变。

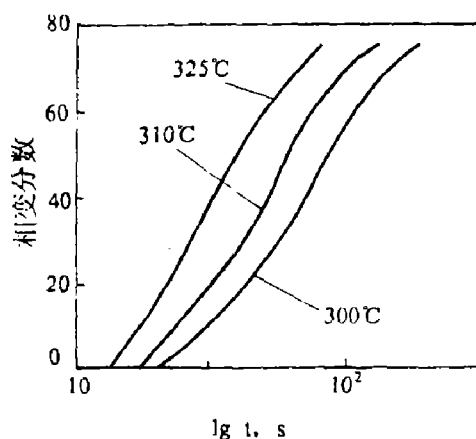


图 4 Cu-27.27Zn-3.73Al 合金贝氏体形成的相变分数-时间曲线

图 2 和图 4 的动力学曲线符合扩散型的 Austin-Rockett 方程^[4]:

$$dy/dt = Kn(1-y)^2(Kt)^{n-1}$$

其中 y 为相变分数、 t 为时间、 K 为与激活能有关的系数。求得上淬试样的 $n=2.25$ (如图 5), 由高温母相冷却形成贝氏体时, 其 $n=1.80$ (如图 6), 两者甚为接近。

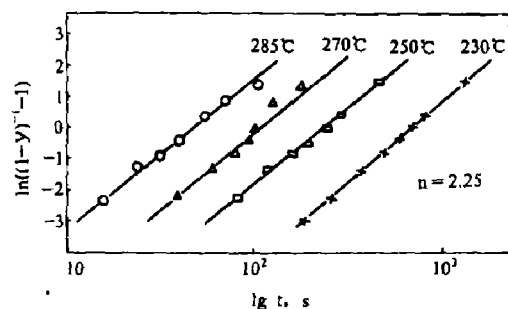


图 5 Cu-25.34Zn-3.88Al 合金上淬试样形成贝氏体时 $\ln[(1-y)^{-1}-1]$ 与 $\lg t$ 的关系

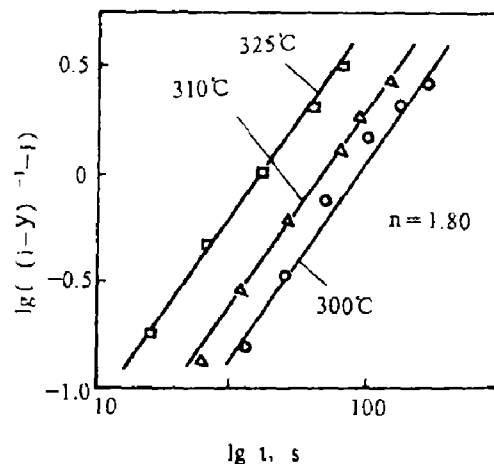


图 6 Cu-27.7Zn-3.73Al 合金自高温母相冷却形成贝氏体时, $\lg[(1-y)^{-1}-1]$ 与 $\lg t$ 的关系

由高温母相冷却至 300℃ 以下形成贝氏体时, 包括 $B2 \rightarrow$ 贝氏体和 $DO_3 \rightarrow$ 贝氏体, 其动力学就不符合 Austin-Rockett 方程。图 2 和图 4 都不符合 Avrami 方程, 可见 Cu-Zn-Al 合金形成贝氏体时, 贝氏体晶粒长大中同时进行硬碰撞和结合扩散的软碰遇。

用 $y=0.5$ 的时间实验数据, 由 Arrhenius 方程分别求得由 DO_3 形成贝氏体和自高温母相由 $B2$ 形成贝氏体的激活能为 $110\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (如图 7) 及 $109\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (如图 8), 两者甚一致。

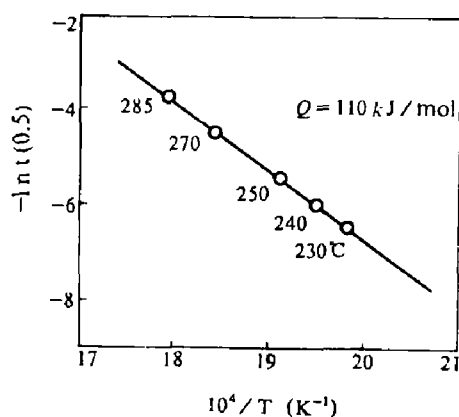


图 7 Cu-25.34Zn-3.88Al 合金上淬试样中贝氏体形成时 $-\ln t$ ($y=0.5$) 和 $1/T$ 的关系

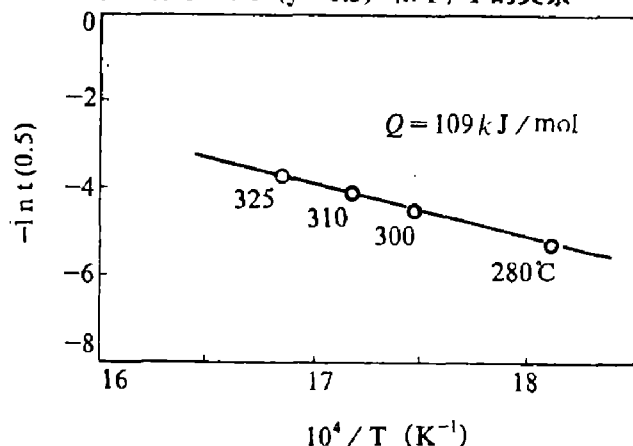


图 8 Cu-27.7Zn-3.73Al 合金自高温母相冷却形成贝氏体时的 $-\ln t$ ($y=0.5$) 和 $1/T$ 的关系

参照 Zn 在有序 $\beta\text{Cu-Zn}$ 中的扩散激活能数据 $150\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ [5,6] 及 $135\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ [7], 本文所得 $110\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 可合理地认为是溶质原子在 $\beta\text{Cu-Zn-Al}$ 中的扩散激活能。贝氏体形成的激活能与此相当。

4 结论

Cu-Zn-Al 合金不论由马氏体态上淬 (母相为 DO_3) 或自高温母相冷却 (母相为 $B2$) 形成贝氏体, 其相变动力学都符合 Austin-Rickett 方程, n 值接近于 2, 贝氏体形成的激活能与溶质原子在有序母相中的扩散激活能相当。可见 Cu-Zn-Al 合金贝氏体相变的动力学特征, 符合扩散型相变, 与热力学研究的结果一致。

参 考 文 献

- 1 Takezawa K, Sato S. Tran. Jap. Inst. Metals. 1988, 29: 894
- 2 Lee Eon-Sik, Kim Y G. Acta Metall. Mater.. 1990, 38: 1669
- 3 Singh S C, Morakami Y, Delaey L. Scripta Metall.. 1978, 12: 435
- 4 Austin J B, Rickett R L. Trans. Am. Inst. Min. Engr.. 1939, 135: 396
- 5 Kuper A B, Lazarus D, Manning J R, Tomizuka C T. Phys. Rev. 1956, 104: 1536
- 6 Ugaste Y E, Pimenov V N. Fizika Metall.. 1968, 31: 363
- 7 Camagni P. In: Proc. 2nd Geneva Conf. Atomic Energy, Geneva. 1958: 1365