

# 显示器荫罩用因瓦合金的高温变形行为与力学特性

## Elevated Temperature Deformation Behaviour and Mechanical Characteristics of Invar Alloy Used for Shadow Mask

南俊马, 李光新, 徐可为 (西安交通大学金属材料强度国家重点实验室, 西安 710049)

王宏兴, 宋利建, 窦秀英 (彩虹集团公司彩色显像管厂技术中心, 咸阳 712021)

NAN Jun-ma, LI Guang-xin, XU Ke-wei

(State key Laboratory for Mechanical Behavior of Materials,

Xi an Jiaotong University, Xi an 710049, China)

WANG Hong-xing, SONG Li-jian, DOU Xiu-ying

(Color Picture Tube Plant, IRICO Group Corporation, Xianyang 712021, China)

**摘要:** 因瓦合金因具有低的膨胀系数而用于制作显示器荫罩。为在 200 °C 成形条件下建立合理的加工工艺, 有必要研究它的高温响应。在加热炉内对试样进行拉伸试验, 并用应变计测量。结果表明, 对于 790 ~ 850 °C 退火试样, 变形抗力随加热温度从室温升至 180 °C 而明显下降, 此后在 180 ~ 220 °C 时屈服强度与抗拉强度分别稳定在 120 ~ 130 MPa 和 300 ~ 320 MPa 内, 且在试验条件下提高退火或加热温度, 延伸率增大, 但弹性模量基本不变化。

**关键词:** 因瓦合金; 荫罩; 高温力学特性

中图分类号: TG113.25 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381 (2001) 01-0019 -03

**Abstract:** Invar alloy is employed as the material of the shadow mask of a color picture or display tube because of its low coefficient of expansion being beneficial to the gain of high clarity. In order to provide the experimental basis for the formation of Invar alloy shadow mask at 200 °C, its responses at elevated temperature were observed in the conditions of the static load and uniaxial tension by means of strain gage. The results show that for various annealing treatments at 790 ~ 850 °C, the stresses is evidently dropped with increasing the heating temperature from about 20 to 180 °C, and thereafter is fluctuated in 120 ~ 130 MPa for the yielding strength and in 300 ~ 320 MPa for the ultimate strength. The specific elongation is increased with the rise of annealing and heating temperatures, but the elastic modulus is nearly unchanged.

**Key words:** Invar alloy; shadow mask; elevated-temperature mechanical behavior

荫罩作为显像管的一个关键器件, 其材料选择是否合适将直接影响清晰度的提高。长期以来, 铝镇静钢一直用作制造荫罩的材料, 但由于热膨胀系数大, 在电子轰击时易产生热拱现象, 导致电子束偏转, 降低分辨率。近年人们将注意力集中在因瓦合金上, 主要因为它的膨胀系数小, 从室温到 100 °C 约为  $1.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  [1~3], 仅是铝镇静钢的 1/10。对于因瓦合金荫罩的成形加工进行了应用基础方面的研究。

荫罩通常在 200 °C 下冲压成形。在此温度下坯料受冲压力作用容易产生变形, 当变形量恰到合适的程度, 才有可能在解除冲压力后恢复至室温设计要求的形状和尺寸, 最终成为合格的产品。可见冲压力是控制荫罩质量的一个重要工艺参数。如何确定这一参

数, 却依赖对因瓦钢的高温变形行为和力学性能, 尤其是屈服强度的研究。

室温通常采用引伸计测定屈服强度。本研究由于试样和加热炉结构的限制, 使用电阻应变计测量。用应变计进行材料弹塑性变形区的应力分析已有报道 [4,5], 我们也探讨过用其测量屈服强度的可行性 [6]。

本研究通过拉伸试验在加热炉条件下用应变计考察因瓦合金的高温变形行为, 并研究力学性能随加热温度的变化, 为荫罩的实际加工提供试验依据。

### 1 试验方法

试验采用因瓦合金。从 0.13 mm 厚冷轧薄板沿轧

制方向冲压拉伸试样, 在氢、氮气气氛保护下分别经 780, 800, 810 和 850 °C 退火 2.5h。

选用 BBI20-4AA250 型应变计, 其温度和应变极限分别为 250 和 15000 $\mu\epsilon$ 。用酚醛-环氧粘合剂将应变计粘贴在试样上, 并置于烘箱内加热固化。在试验期间, 将每一个试样安装在自制的加热炉内升至一定温度拉伸。加热炉的有效加热区为 90mm, 中心与两端的温差为 2 °C。载荷-应变曲线由通过应变计与应变计相连的记录仪绘出, 用以确定屈服强度和弹性模量等参量; 同时试验机记录仪绘出载荷-位移曲线, 从中可测定强度极限和延伸率。

试验在 Instron1195 型试验机上以静载、单向拉伸条件进行。拉伸速率为 1mm/min, 测量精度为 0.5%。

## 2 试验结果及讨论

### 2.1 变形特征与延伸率

冷轧薄板由于延性耗竭而不能直接用于荫罩的模压成形, 因此退火处理成为降低强度恢复塑性所必需的一道工序。此外从控制硬度、晶粒度及组织结构等要求上为荫罩加工作准备。退火试样经拉伸测得的应力-应变曲线如图 1。从图中看出在室温和高温条件

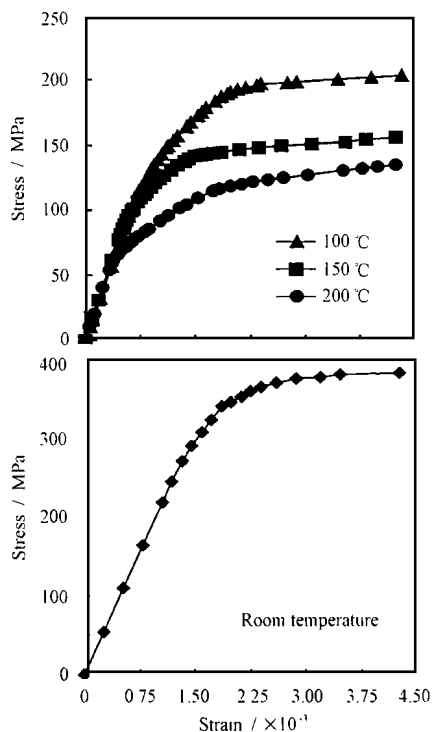


图 1 800 °C 退火试样的应力-应变曲线

Fig. 1 Stress-strain curves measured for specimens annealed at 800 °C

下, 曲线上均无明显的物理屈服现象出现, 变形经历弹性变形和均匀塑性变形两个阶段, 且有明确的区分标志。图 2 示出延伸率随退火和加热温度的变化规律。显然其值当温度升高时增大, 这与通过退火或加热产生的软化行为有关。通常随着温度升高, 材料的变形能力增强; 除此之外, 对于因瓦钢当加热温度升高到 150 °C 以上, 膨胀系数显著增大<sup>[1, 7, 8]</sup>, 这些均有助于提高延伸率。从荫罩在 200 °C 时的成形要求看, 低温退火对于获得强度、延性及晶粒度等良好的配合比高温退火有利。根据试验测定的延伸率和弹性模量值, 大体上可估算荫罩受冲压力时的总变形量, 再通过实际生产考察冲压力这一工艺参数的合理性。

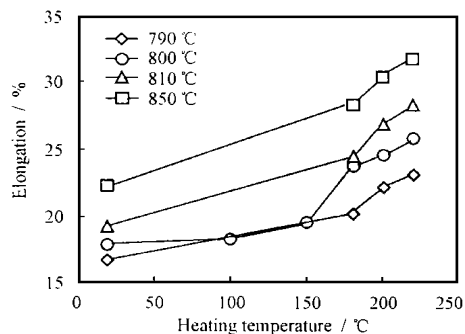


图 2 延伸率与退火和加热温度的关系

Fig. 2 Dependence of elongation on annealing and heating temperatures

### 2.2 高温力学性能及其变化规律

冷轧薄板虽不能直接用于荫罩成形, 但经退火后也不是一种理想的状态。因为即使在变形期间不产生裂纹, 高的塑性变形抗力要求模压机具有大的承载能力, 容易在荫罩体内引入残余应力, 因此需要特别重视因瓦合金的高温屈服行为。图 3 给出在不同退火状态下用应变计测定的变形抗力和加热温度的关系, 其规律可归纳如下。

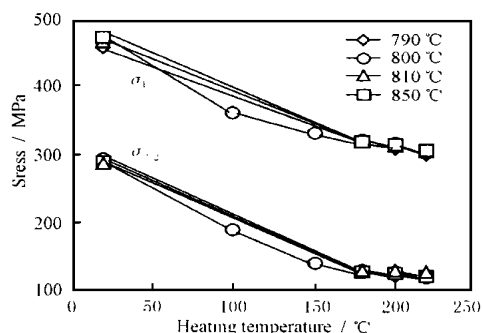


图 3 不同退火处理试样的应力随加热温度的变化

Fig. 3 Variations of stresses with heating temperature for specimen of different annealing treatments

对于同一退火处理状态, 当加热温度从室温升高到 180 时, 试样的变形抗力明显下降, 其中屈服强度下降约 55%, 抗拉强度下降约 30%; 超过 180 , 变形抗力缓慢减小, 最后趋于稳定。在 180~220 内, 屈服强度和抗拉强度分别在 120~130MPa 和 300~320MPa 内波动。从以上结果可确定模压机对荫罩施加冲压力的大小。应当指出当模具受热时, 温度并不是均匀地分布在荫罩的整个表面上, 但在不同部位上的温度应处在 180~220 范围内, 故可采用统一的冲压力, 并期望获得均匀的变形。

固定加热温度, 当退火温度在 790~850 内变化时, 屈服强度基本上不发生变化, 抗拉强度亦是如此。一般提高退火温度, 材料的变形抗力下降。本试验未获得类似的规律, 是因为退火温度改变不大, 只有 60 增加量, 不足以对力学性能产生明显影响。即便是有减小的趋势, 也可能被试验中出现的随机误差所埋没。这一结果表明在 790~850 内的任何温度下退火, 均可满足荫罩的实际加工对强度和变形的要求。但从成形前对硬度、晶粒度和组织结构等要求出发, 采用 790 的退火将更趋合理。

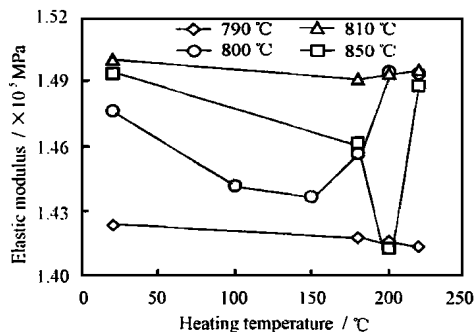


图 4 加热温度对弹性模量的影响

Fig. 4 Influence of heating temperature on elastic modulus for various annealing treatments

图 4 是对不同退火试样的弹性模量随加热温度的变化。可以看出改变退火或加热温度对弹性模量影响不大, 其值为  $(1.41 \sim 1.49) \times 10^5$  MPa, 与文献报道的  $(1.34 \sim 1.47) \times 10^5$  MPa 基本一致<sup>[1, 3, 8]</sup>。弹性模量作为表征金属键结合力大小的一个力学参量, 只与其原子本身的属性如半径、间距及结合力等有关, 对材料成分和组织结构的变化不十分敏感, 因而是一个相对稳定的量。通常认为弹性模量总是随温度升高而减小, 但就工程应用而言, 这种改变相对较小, 如铁每升高 100 , 弹性模量降低约 4%<sup>[9]</sup>。从这一点看, 在实际计算荫罩的弹性变形时, 可不计温度对弹性模量的影响而将其取为常数。

### 3 结论

(1) 荫罩用因瓦合金在本试验条件下, 经退火后其变形抗力随加热温度在 20~180 内变化时显著下降, 在 180~220 内基本不变化, 屈服强度和抗拉强度分别稳定在 120~130MPa 和 300~320MPa 范围内。根据屈服强度可初步确定冲压力这一工艺参数。

(2) 在同一加热温度下, 不同退火处理对应的变形抗力大致相同。这为荫罩成形前的退火工艺从 790 到 850 提供了较宽的选择范围。

(3) 弹性模量基本上不受试样状态和加热温度的影响, 其值保持在  $(1.41 \sim 1.49) \times 10^5$  MPa。

(4) 延伸率值随退火或加热温度的升高而增大。但采用较低温度的退火处理将有助于获得强度、延性和晶粒度等的良好结合, 以满足荫罩在 200 下成形时的要求。

### 参考文献

- [1] D Wenschol. Metals Handbook. 9th ed, Edited by D Benjamin, ASM, 1980: 792
- [2] 陈复民, 李国俊, 苏达德. 弹性合金 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986: 642
- [3] 莫洛季洛娃. 精密合金手册 [M]. 简光沂译. 北京: 北京科学技术出版社, 1989: 227
- [4] S Keil, O Benning. Exper Mech, 1979; 19 (8): 265
- [5] V Dolhof. Proc of the 8th Inter Conf on Exper Stress Analysis [C], the Netherlands, Martins Nijhoff Publishers, 1986: 429
- [6] 南俊马, 李光新, 徐可为. 材料工程. 1997; (6): 43
- [7] 刘振兴, 吴金声, 刘克佩. 膨胀合金手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1979: 23~35
- [8] 黄明志, 石德珂, 金志浩. 金属力学性能 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1986: 3

收稿日期: 1999-01-08

作者简介: 南俊马 (1957-), 男, 曾参与材料强度、表面强化和等离子体化学气相沉积工艺技术的研发, 现在主要从事超硬磨料工具的钎焊制造技术开发。联系地址: 西安交通大学材料科学与工程学院 (710049)。

本文编辑: 全宏声

### 金属基复合材料的耐腐蚀性研究

金属基复合材料已经显露出了一些具较差耐腐蚀性的例子。美国海军航空研制中心 (Naval Air Development Center) 进行了一项关于材料加工对金属基复合材料耐腐蚀性影响的研究工作。研究发现, 对融合基体合金, 防止合金元素偏析, 消除基体中孔隙的关注程度均影响金属基复合材料的耐腐蚀性。金属基复合材料在承受 510 的温度达 2 小时的固溶热处理然后时效处理时, 可以大大提高耐腐蚀性。