

变形与热处理对 Invar 合金组织及性能的影响

袁均平, 易丹青, 余志明, 黄正成, 吴伯涛, 张霞

(中南大学材料科学与工程学院, 湖南长沙 410083)

摘要:针对实际生产中 Invar 合金抗跌落性能差的问题,对 Invar 合金试样进行了不同温度(800、900、1000)的退火、不同变形量的冷变形及不同温度(500、600)的二次退火试验,并进行了显微组织观察和力学性能试验,分析各种工艺参数对 Invar 合金的组织及性能的影响。结果表明,经 800 退火 + 23% 变形 + 500 二次退火处理的 Invar 合金具有最佳综合性能。

关键词: Invar 合金;退火;二次退火;冷变形;显微组织;力学性能

中图分类号: TG132.1; TG156.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254-6051(2005)02-0050-04

Influence of the Deformation and Heat Treatment on the Microstructures and Properties of Invar Alloy

YUAN Jun-ping, YI Dan-qing, YU Zhi-ming, HUANG Zheng-cheng, WU Bo-tao, ZHANG Xia

(School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha Hu'nan 410083, China)

Abstract: Some experiments with different annealing temperature (800、900、1000), different deformation and different secondary annealing temperature (500、600) were carried out on the invar alloy. The microstructure and mechanical properties were observed and tested respectively, and the influence of the process parameters on them was analyzed. The results show that annealed at 800, deformed with 23% and secondary annealed at 500, the invar alloy has the best comprehensive properties.

Key Words: invar alloy; annealing; second annealing; cold deformation; microstructure; mechanical properties

Invar 合金(俗称殷钢)即 Fe₆₃Ni₃₆ 铁镍合金,具有热膨胀系数小(从室温到 100, 合金的热膨胀系数约为 $1.1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, 仅为铝镇静钢(即 AK 材)的 1/10, 在 400 温度范围内体积不变)、良好的尺寸稳定性和容易消磁等特点^[1~10]。在实际工程应用中, Invar 合金主要应用于温度不太高,但要求热膨胀系数很低的领域——精密仪器仪表的元件:如精密天平的臂、标准钟的摆杆、摆轮、钟表的外补偿等;长度标尺和大地测量基准尺;谐振腔、微波通讯的波导管、标准频率发生器等;液态气体如天然气、氢、氧等储存和运输液化气的罐和管道;架空电线的芯材;彩色电视机荫罩钢带和热双金属及一些复合材料的组元层^[11]。殷瓦合金是瑞士物理学家古劳米(C. E. Guillaume)于 1897 年在为大地测量寻找一种长度不受温度波动而变化的金属材料发现的。这种合金在室温条件下为奥氏体结

构^[10]。用 Invar 合金制作 CRT 中的荫罩可以基本消除荫罩在工作时因受热而产生的热拱现象,抑制电子束偏转,可以有效地解决彩色显像管色纯漂移的问题,提高彩色显像管的内在品质,所以被广泛应用于制作显示器的荫罩^[5,12]。

过去人们研究 Invar 合金主要集中在其物理性能及热膨胀系数稳定性方面,有关 Invar 合金的显微组织及力学性能的研究报导很少。本文针对某彩管行业荫罩出现的抗跌落性能差的问题,模拟现场加工工艺路线。通过对经不同条件处理的 Invar 合金的组织及性能的研究,力求找到一条最佳的加工工艺路线,解决荫罩抗跌落性能差的问题。

1 试验材料及方法

试验所用材料是由某彩管公司提供的 Invar 合金板,厚度为 0.2mm,其化学成分见表 1。

表 1 Invar 合金化学成分(质量分数, %)

Table 1 Chemical composition of the tested invar alloy (wt %)

Ni	Mn	Cr	Si	C	P	S	Al	Fe
35.5~36.5	0.4	0.1	0.05	0.01	0.005	0.005	0.0025	余

作者简介:袁均平(1979.02—),男,江西人,硕士研究生,主要从事有关低膨胀合金的研究。联系电话:0731-8830263, 13787296457 传真:0731-8836320 E-mail: yuanjunping12345@163.com

收稿日期: 2004-05-09

[5] 司乃潮. CuZnAl (RE) 形状记忆合金马氏体稳定化研究[J]. 材料研究学报, 1999, 13(5): 558-560.

[6] Adiguzel O. Martensite ordering and stabilization in copper based

shape memory alloys[J]. Materials Research Bulletin, 1995, 30(6): 755-760.

根据某彩管行业现场加工工艺路线,先将 Invar 合金板退火,然后将退火后的合金板进行冷加工轧制变形,最后将变形后的合金板进行二次退火处理。在氩气保护下分别在 800、900、1000 进行一次退火,保温时间 15~20min,空冷。将退火后的合金板加热至 200,再进行不同变形量的轧制变形。然后在箱式退火炉中进行二次退火,温度分别为 500、600,保温时间 20min,空冷。将经不同条件处理的合金板制成金相试样,用浓 HNO₃ 和浓 HCl 按 1:3 的比例配成侵蚀液进行侵蚀,在光学显微镜下对其显微组织进行观察;并用 SHIMADZU HMV 硬度计测量其显微硬度,采用维氏 136 锥形压头,载荷砝码 50g,加载时间 10s,放大倍数 400 倍。将试样制成如图 1 所示的拉伸试样,在电子万能拉伸试验机上测量其抗拉强度和伸长率,拉伸速度为 2.0mm/min。

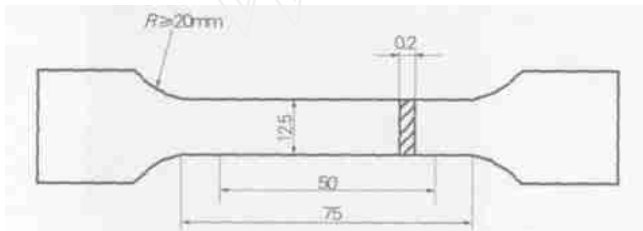


图 1 拉伸试样尺寸示意图

Fig. 1 Schematic of the tensile sample

2 试验结果及讨论

2.1 Invar 合金的显微组织

根据图 2 的 Fe-Ni 二元合金相图^[13],可知在 Ni 含量约为 36%、Fe 含量约为 63% 时,合金在 450 温度以上处于单相区,且组织很稳定。

未经退火处理及分别经 800、900、1000 退火后合金的金相组织见图 3 和图 4。从图 3、4 中可以看出 Invar 合金的组织都为单一的奥氏体,且为等轴晶,随着退火温度的升高晶粒逐渐长大,并有少量孪晶出现,出现孪晶是因为相的层错能较低。

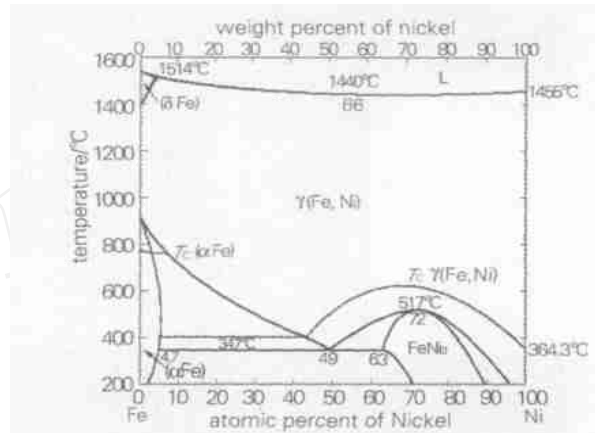


图 2 Fe-Ni 二元合金相图

Fig. 2 The Fe-Ni binary alloy phase diagram



图 3 Invar 合金的原始组织

Fig. 3 The original microstructure of the invar alloy



图 4 经不同温度退火后 Invar 合金的显微组织

Fig. 4 Microstructures of the invar alloy annealed at different temperature

(a) 800 (b) 900 (c) 1000

合金经退火及变形后再经二次退火后的金相组织见图 5。从图 5 可以看出,金相组织为单一的奥氏体且为等轴晶。随着二次退火温度的升高,经轧碎后的晶粒再次长大,发生再结晶,且有少量的孪晶出现。

2.2 退火温度对 Invar 合金的力学性能的影响

冷变形前退火能明显改变 Invar 合金的力学性能。

从合金的金相照片中可以看出,退火后合金晶粒明显比原始态的粗,以致于经退火后合金的抗拉强度、显微硬度显著降低,而伸长率显著升高,见图 6。随着退火温度的升高,合金的晶粒越来越大,其抗拉强度、显微硬度均降低;而其伸长率在退火温度为 800 时达到最大,随着退火温度的进一步升高,其伸长率反而降低。



图 5 殷瓦合金在不同处理条件下的显微组织

Fig. 5 Microstructures of the invar alloy treated with different process

(a ₁) 800 + 23 % + 500	(b ₁) 900 + 23 % + 500	(c ₁) 1000 + 23 % + 500	(a ₂) 800 + 23 % + 600
(b ₂) 900 + 23 % + 600	(a ₃) 800 + 36 % + 500	(b ₃) 900 + 36 % + 500	(c ₃) 1000 + 36 % + 500
(a ₄) 800 + 36 % + 600	(b ₄) 900 + 36 % + 600	(c ₄) 1000 + 36 % + 600	

从以上分析可知,退火温度的高低,影响 Invar 合金的显微组织、显微硬度、抗拉强度及伸长率等特性,这将直接影响到 Invar 合金板的成型性能。退火温度不宜过高,温度过高不仅耗电而且容易造成用 Invar 合金板做成的荫罩孔延伸不匀,退火后还会出现粘连;退火温度过低成型时容易发生荫罩压裂和变形。经 800 退火处理的 Invar 合金的力学性能优于其它温度下处理的合金,且合金的晶粒大小比较均匀。所以在冷变形前进行 800 退火,有利于下一步冷加工。

2.3 冷变形及二次退火对 Invar 合金的力学性能的影响

图 7 为不同加工工艺对 Invar 合金力学性能的影响。

比较图 6 与图 7 中各个大小 a 曲线可知,冷变形能明显提高 Invar 合金的抗拉强度和显微硬度,而伸长率急剧下降。这是因为合金在轧制过程中,位错的运动产生形变,晶粒的形状发生变化,晶粒内部位错密度增大,位错周围存在应力场,因此,当运动中的位错彼此相遇,就会发生位错的交割或位错反应时,位错运动的阻力就会急剧增加,导致强度和硬度急剧上升,而伸长率急剧下降。随着变形程度的增加,位错运动的阻力就会更加突出,导致强度及硬度进一步提高。

二次退火可使 Invar 合金的力学性能得到进一步改善,合金的抗拉强度和显微硬度虽然有所降低,但其伸长率得到迅速提高,这有利于后续加工成型和使用。

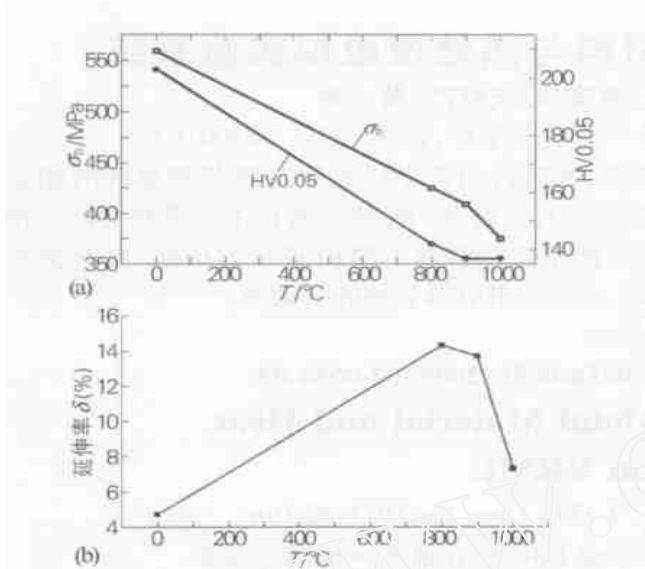


图6 退火温度对 Invar 合金力学性能的影响

Fig.6 Influence of annealing temperature on mechanical properties of the invar alloy

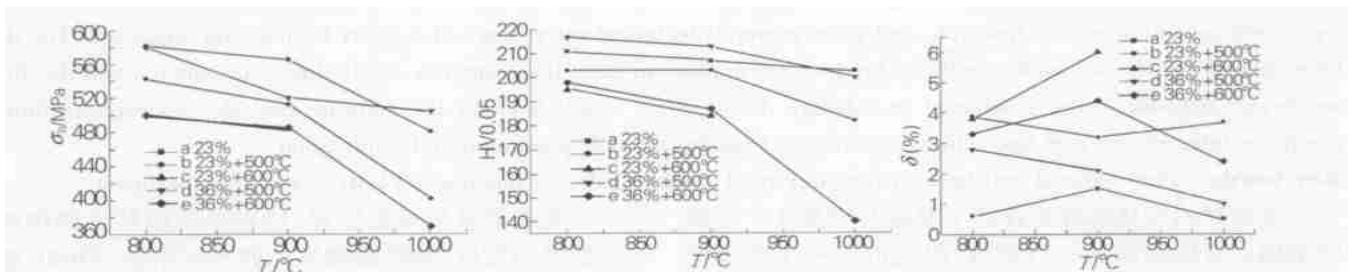


图7 不同加工工艺对 Invar 合金力学性能的影响

Fig.7 Influence of the treating process on mechanical properties of the invar alloy

合金具有较高的强度、硬度和塑性,有利于合金进行下一步焊接成形。

(4) 根据试验结果可知,Invar 合金的最佳加工工艺为“800 退火 + 23 %冷变形 + 500 二次退火”。

参考文献:

[1] 窦秀英,刘爱芳. 殷钢荫罩退火技术研究[J]. 彩色显像管,2001,(1):3-6.
 [2] 陈复民,李国俊,苏达德. 弹性合金[M]. 上海:上海科技出版社,1986:642.
 [3] 南俊马,李光新,窦秀英. 显示荫罩用因瓦合金的高温变形行为与力学特性[J]. 材料工程,2001,(1):19-21.
 [4] Nan Junma, Li Guangxin. Yielding behavior of low expansion invar alloy at elevated temperature[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 14:36-40.
 [5] 王建平. 殷钢荫罩加工工艺[J]. 真空电子技术,1999,(4):54-56.
 [6] Ampere A, Tseng, Jurgen Muller and Young-Ho Hahn. Mechanical and bending characteristics of invar sheets[J]. Department of

当二次退火温度为 500 时,从金相照片中可以看出合金的显微组织为完全再结晶组织且为等轴晶;二次退火温度为 600 时,合金的显微组织为再结晶组织,较粗大,合金已完全恢复塑性。由此可以看出 Invar 合金的再结晶温度为 500 至 600 之间。

比较图 7 中的各组曲线可知,经 800 退火 + 23 %的冷变形处理 + 500 二次退火,Invar 合金的综合性能最好。

3 结论

(1) Invar 合金经 800 退火处理后晶粒大小比较均匀,显微硬度、抗拉强度及伸长率高,塑性好,有利于合金进行下一步加工。

(2) 经变形量为 23 %的冷加工的 Invar 合金的力学性能优于其它变形量处理的。

(3) 经 500 二次退火的 Invar 合金的力学性能优于其它退火温度处理的。在此温度下退火的 Invar

Mechanical Engineering and Mechanics, 1996, 17(2):89-96.

[7] Rajanna K, Nsusk M M. Strain sensitivity and temperature behavior of invar alloy films[J]. Materials Science and Engineering, 2000, B77:288-292.
 [8] Jose L Corbacho, Juan C Suarez, and Francisco Molleda. Grain coarsening and boundary migration during welding of invar Fe-36Ni alloy[J]. Materials Characterization, 1998, 41:27-34.
 [9] 王琼礼. 彩色显像管的荫罩板材料[J]. 机械工程材料, 1994, 18(3):53-55.
 [10] 谢斌,陈允鸿. 因瓦合金纳米微粉的恒磁导率及其压力、频率特性和压力相变[J]. 高压物理学报, 1996, 10(1):24-28.
 [11] 陶志刚. 低膨胀合金的应用前景[J]. 首钢科技, 1994, (8):46-48.
 [12] 连奇方. 荫罩用铁镍合金[J]. 金属材料研究, 1996, 22(1):63-64.
 [13] 虞觉奇,易文质,等. 二元合金状态图集[M]. 上海:上海科技出版社,1987. 10:368-369.