

研究简报

冷加工、预脱溶对铌钛合金 超导临界特性的影响*

赵毓玲 张国华 杨大宇 王文魁

(中国科学院物理研究所)

一、前言

铌钛超导合金具有较好的 $H-J_c$ (外磁场强度-临界电流密度) 特性, 便于加工, 机械强度好, 并可以获得较高的超导稳定性, 所以应用很普遍。

在超导合金的 T_c (临界温度), H_c (临界磁场强度) 和 J_c (或 $H-J_c$) 三个临界特性中, T_c 和 H_c 是组织不敏感或次敏感特性, $H-J_c$ 特性是组织敏感特性, 它受冷加工及脱溶的影响。因此, 对一定组分的合金, $H-J_c$ 特性是它的主要超导性能指标。

当电流超过 J_c 时, 磁通发生跳跃, 合金从超导态转变为正常态。冷加工及脱溶处理所产生的晶格缺陷及脱溶相, 都可能成为对磁通跳跃起钉扎作用的“钉扎中心”^[1,2]。因此, 选择适当的冷加工及脱溶热处理工艺可以得到最佳的钉扎效果。

本文报导了冷加工、预脱溶对 Nb (铌)-54 wt%¹⁾ Ti (钛) 合金及 Nb-58 wt% Ti 合金的 $H-J_c$ 超导特性的影响。结果表明, 决定 $H-J_c$ 特性的主要因素是脱溶相的数量、尺寸和分布; 而冷加工前的预脱溶处理, 对随后的脱溶处理所产生的脱溶相的数量、尺寸和分布, 有很大影响。

二、实验方法

以高纯铌、钛做原料, 用电弧炉及电子轰击炉熔炼成 Nb-54 wt% Ti 及 Nb-58 wt% Ti 的合金锭, 经过热锻并进行水冷淬火、空冷、高温退火等预脱溶处理后冷加工成 ϕ (直径) 0.25 毫米的线材, 然后进行脱溶热处理。根据不同需要, 取上述工艺过程的不同阶段的样品, 进行光学显微组织观察、电子显微镜组织观察, 显微硬度测量、X 光相分析以及 $H-J_c$ 特性等测试。

进行显微组织观察的样品, 经过机械抛光、化学抛光后, 在体积比为 1:2:10 的 (HF)、(H₂SO₄)、(H₂O) 的混合液中浸蚀后显示组织。电子显微镜观察样品为炭膜二级复型。X 光相分析用德拜法。 $H-J_c$ 特性是小线圈的数据 (线长约 200 米, 线圈内径 1 厘米), 在 4.2K 下测量, 磁场由自身场或背景场提供, 用探测线圈测量达到 J_c 的场强。

* 1973 年 3 月 8 日收到。

1) wt% 为重量百分比。

三、实 验 结 果

1. 冷加工影响 表 1 为冷加工对 $H-J_c$ 特性的影响, 它表明即使进行强冷加工, $H-J_c$ 特性仍很差¹⁾.

表 1 冷加工对 $H-J_c$ 特性的影响(小线圈数据)

样 品	H (千高斯)	$J_c(10^4 \text{ 安/厘米}^2)$
热锻、空冷后冷加工成 $\phi 0.25$ 毫米线	22.8	3
850°C 退火后冷加工成 $\phi 0.25$ 毫米线	16.4	3

2. 冷加工前预脱溶的影响 冷加工前热锻后进行了 1000°C 水淬, 即固溶化处理、空冷及 850—1000°C 退火等三种预脱溶处理, 其显微组织分别如图 1—3 所示. 图 1 是单一 β 相组织, 图 2 表明在空冷过程中有少量的脱溶相沿着晶界等位置脱溶的迹象. 经高温退火的组织如图 3 所示, 晶界等处有脱溶相脱溶. X 光相分析结果证实退火样品有 α 相衍射线. 样品经过这三种预脱溶处理后的显微硬度如表 2 所示. 空冷及高温退火样品

表 2 预脱溶后样品的显微硬度

样 品	显 微 硬 度 (千克/毫米 ²)
固溶化预脱溶	170
空 冷 预 脱 溶	178
退 火 预 脱 溶	200

表 3 脱溶对不同预脱溶样品 $H-J_c$ 特性的影响(小线圈数据)

样 品	H (千高斯)	$J_c(10^4 \text{ 安/厘米}^2)$
固溶化后冷加工		
固溶化后冷加工、脱溶	50.9	9.9
空冷后冷加工	22.8	3
空冷后冷加工、脱溶	50.9	9.4
退火后冷加工	16.4	3
退火后冷加工、脱溶	20.7	5.7
Nb-58 wt% Ti 合金固溶化后冷加工、脱溶	55	8.9

因脱溶强化而有较高的硬度值, 退火样品硬度最高.

空冷及高温退火预脱溶样品中的脱溶相在后来的加工过程中被破碎, 图 4—5 分别为空冷及高温退火样品冷加工成 $\phi 5$ 毫米棒的电子显微镜组织. 照片表明脱溶相沿冷加工

1) 凡未注明者, 均指 Nb-54 wt% Ti 合金的数据.

形变方向碎化, 高温退火样品碎化的脱溶相尺寸大而且更不均匀。

预脱溶样品冷加工到 $\phi 2.5$ 毫米后进行 430°C , 2 小时的脱溶处理。表 3 表示脱溶处理对不同预脱溶处理样品 $H-J_c$ 特性的影响。固溶化、空冷两种预脱溶样品进行脱溶处理使 $H-J_c$ 特性有很大提高, 经固溶化预脱溶的富 Ti 合金的性能和国外数据相比也很好^[3]。但是, 脱溶对高温退火预脱溶样品 $H-J_c$ 的影响不大。

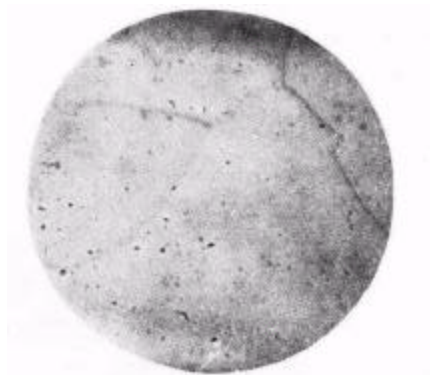


图 1 固溶化预脱溶处理的显微组织 $\times 500$

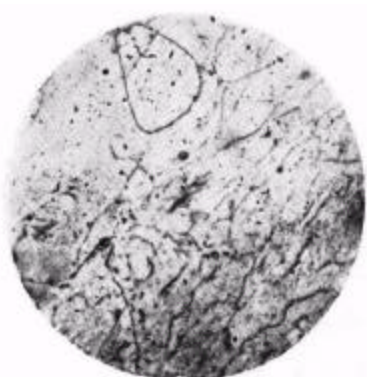


图 2 空冷预脱溶处理的显微组织 $\times 500$

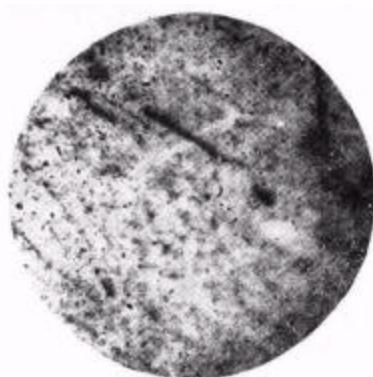


图 3 退火预脱溶处理的显微组织 $\times 500$



图 4 空冷预脱溶后冷加工组织 $\times 20,000$



图 5 高温退火预脱溶后冷加工组织 $\times 20,000$

四、讨 论

实验结果表明,冷加工产生的晶格缺陷可以对磁通起钉扎作用;但 Nb-54 wt% Ti 及 Nb-58 wt% Ti 合金中起主要钉扎作用的“钉扎中心”,是弥散分布的脱溶相。

实验结果还表明,冷加工前的预脱溶,对随后的脱溶效果有很大影响。

固溶化预脱溶样品是过饱和的 β 相组织,它可能有溶质原子的富聚,但不形成脱溶相;在冷加工中产生的位错等晶格缺陷,是随后脱溶处理时进行脱溶的有利位置,因而可以得到弥散分布的脱溶相,具有较好的钉扎效果。富 Ti 合金固溶化效果更显著,是因为随着合金中 Ti 含量的增加,脱溶较冷加工对提高 $H-J_c$ 特性起更大作用^[4]。

空冷样品在空冷过程中有一定数量的脱溶相脱溶;但因冷却速度较快,脱溶相的数量不多,尺寸也不大,这些脱溶相在冷加工中可以被破碎成较小的尺寸。而且,空冷是不充分的预脱溶,母相仍保持较大的过饱和状态,使在随后脱溶处理时也可以脱溶出弥散分布的脱溶相。这样,被破碎为弥散分布的预脱溶相与随后脱溶的可能是弥散分布的 α 相和 ω 相,共同构成了有效的“钉扎中心”,也得到了很好的 $H-J_c$ 特性。

高温退火是较充分的预脱溶,退火缓冷中脱溶相大量脱溶, β 相失去了 Ti 原子的过饱和态,随后脱溶处理就不会有多大效果。而且,冷加工也很难使大尺寸的预脱溶相被碎化为弥散分布状态,所以它的 $H-J_c$ 特性较差。

赵伯儒、于鲲等同志参加了部分工作。

本溪合金厂为本工作提供了部分样品。管惟炎同志进行了有益的指导。彭瑞平、马晓华等同志测量了超导性能数据。何毅等同志参加了讨论。在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] I. Pfeiffer and H. Hillmann, *Acta Metallurgica*, **16** (1968), 1429.
- [2] D. F. Neal *et al.*, *Acta Metallurgica*, **19** (1971), 143.
- [3] A. C. Prior, *Cryogenics*, **7** (1967), 131.
- [4] D. Kramer and C. G. Rhodes, *Trans. Metall. Soc. A.I.M.E.*, **236** (1967), 1612.

THE INFLUENCE OF COLD-WORK AND HEAT TREATMENT ON THE SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF THE Nb-Ti ALLOY

CHAO YU-LIN CHANG GUO-HUA YANG TA-YU WANG WEN-KWEI

(Institute of Physics, Academia Sinica)