

Ni-W 合金基带的织构

李眉娟¹, 刘丹敏², 勾成¹, 陈东风¹, 刘蕴韬¹

(1. 中国原子能科学研究院核物理研究所, 北京 102413; 2. 北京工业大学, 北京 100022)

摘要: Ni-W 合金是制备 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 高温超导线(带)材的优良基带材料, 对 Ni-W 基带要求是具有强的立方织构(100)⟨001⟩。本工作采用放电等离子体烧结方法制备 Ni-W 合金, 利用轧制辅助双轴织构基带技术(RABiTS)制备 Ni-W 合金基带。利用 X 射线衍射方法研究基带冷轧织构与 W 含量的关系, 系统地研究了 Ni-5%W 基带的再结晶织构。研究表明: Ni-5%W 基带是一较好的组分, 通过大的冷轧形变量、较高的退火温度和两步退火的方式, 有利于在 Ni-5%W 基带中形成单一的、强的立方织构。

关键词: 放电等离子体烧结; Ni-W 基带; 冷轧织构; 再结晶织构

中图分类号: TG132.26 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2007)02-0137-05

Substrates Texture of Ni-W Alloys

LI Mei-juan¹, LIU Dan-min², GOU Cheng¹, CHEN Dong-feng¹, LIU Yun-tao¹

(1. China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-30, Beijing 102413, China;

2. Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: Ni-W alloys are the most excellent substrate materials for high temperature superconducting $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. In order to obtain high current density, strong cube texture must be formed in Ni-W substrates. Ni-W alloys were fabricated by spark plasma sintering system. The Ni-W substrates were obtained by the method of rolling assisted biaxially textured substrates(RABiTS). Cold rolling and recrystallisation textures were studied systematically by X-ray. The results show that the heavier cold rolling reduction, higher temperature of annealing and a two-step recrystallisation annealing are beneficial to forming of cube texture in Ni-W substrates.

Key words: spark plasma sintering; Ni-W substrates; cold rolling textures; recrystallisation textures

通过在基带上外延生长高温超导涂层是实现高温超导带(线)材大规模生产和利用的有效途径。为了得到高临界电流密度、低损耗和高

机械强度的 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 带(线)材, 要求基带材料具有强立方织构、低磁滞损耗和良好的力学性能。研究^[1,2]表明, Ni-W 合金通过冷轧和再

结晶退火后,立方织构较强;与 Ni 基带相比,材料强度得到了提高,机械性能更好;比其他 Ni 合金(如 Ni-Cr, Ni-V, Ni-Fe 等)有更好的抗氧化性;与 Ni 基带相比,磁耗损降低。因此, Ni-W 合金是 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 带(线)材的 1 种良好的基带材料。

目前,对 Ni-W 基带的研究还存在一些问题,采用传统的熔炼法制备 Ni-W 合金时, W 不容易在 Ni 中形成均匀分布,而粉末冶金法工艺相对较为复杂,制备周期长,容易在晶粒内部形成粗大的晶粒,不利于最终再结晶立方织构的形成;基带的综合性能没有得到充分优化,最佳的 Ni-W 组分还需进一步探索,以获得既满足强立方织构,又有较高强度、磁损大为降低,各方面性能相对较好的 Ni-W 基带;冷轧形变量、退火温度和退火方式等许多因素对最终再结晶立方织构形成影响的研究还不充分。

本工作尝试采用放电等离子体烧结技术^[3,4]制备 Ni-W 合金,以获得一系列高致密度、分布均匀的 Ni-W 合金。利用轧制辅助双轴织构基带技术(RABITS)^[5,6],制备 Ni-W 合金基带。研究 W 含量对冷轧织构的影响,以确定 Ni-W 基带的优化组分,研究各种因素对基带再结晶织构的影响。

1 实验方法

实验所采用 Ni 粉和 W 粉纯度为 99.9%, Ni 粉粒度为 4~6 μm , W 粉粒度为 3 μm 。将混合均匀的 Ni 粉和 W 粉利用放电等离子体烧结方法制备成纯 Ni、Ni-3% W、Ni-5% W、Ni-7% W 和 Ni-9.5% W 合金块材,根据 W 含量的不同,烧结温度取为 800~950 $^{\circ}\text{C}$,压强取为 30 MPa。将烧结好的 Ni-W 合金进行不同大形变量的冷轧,每道次的形变量在 10% 左右,总的形变量大于 95%。在 Ar+4% H_2 气氛下,采用不同的退火温度(900~1 200 $^{\circ}\text{C}$)和退火方式(一步退火和两步退火)对冷轧 Ni-W 基带进行再结晶退火处理。采用 Bruker D8 Discover X 射线面探衍射仪进行织构测量和分析。

2 实验结果

2.1 W 含量对冷轧织构的影响

图 1 示出通过极图得到的 Copper $\{112\} \langle 111 \rangle$ 、Brass $\{011\} \langle 211 \rangle$ 、S $\{123\} \langle 634 \rangle$ 和

Goss $\{011\} \langle 100 \rangle$ 4 种典型面心立方金属冷轧织构组分的体积分数与 W 含量的关系。由图 1 可见,当 W 含量小于 5% 时, Copper、S 和 Brass 取向的体积分数随 W 含量的增加而减少, Goss 取向变化不大。当 W 含量大于 5% 时, Copper 取向迅速减少,从最强的织构组分最终变成最弱的组分; Brass 取向则快速增加,成为最强的织构组分; Goss 取向先是迅速增加,后又有所减少; S 取向变化不很大。当 W 含量等于 5% 时, Copper 取向和 S 取向减少的不甚明显,此时, Brass 取向和 Goss 取向所占体积分数较少。相应研究表明, Copper 和 S 取向通过再结晶退火后易于转变成立方织构, Brass 和 Goss 取向通过再结晶退火后易于转变成其它的织构成分。综合考虑基带的织构、强度和磁滞损耗等因素, Ni-5% W 是一组分相对较优化的合金。

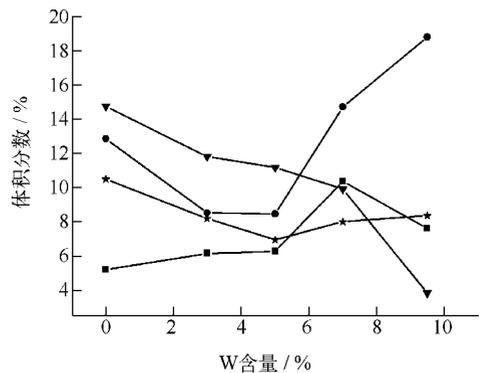


图 1 Copper、S、Brass 和 Goss 取向的体积分数与 W 含量之间的关系

Fig. 1 Volume fraction of rolling texture components as function of W content

■——Goss; ●——Brass; ▼——Copper; ★——S

冷轧织构组分的体积分数随 W 含量的变化之所以出现上述趋势,与金属的层错能有关。随着 Ni 中 W 含量的增加, Ni 合金的层错能不断降低^[7,8]。研究表明,当层错能较高时,变形仅以滑移方式进行,此时, Copper 与 Brass 取向均为稳定取向。晶粒取向在轧制变形过程中不断流向这两个取向。由于晶粒向 Brass 取向流动将造成较大的绕法线的切应变,这种切变很难实现,所以,更多的流向 Copper 取向^[9]。因此,当 W 含量小于 5% 时, Copper 取向一直

占主导地位,而 Brass 取向次之。

随着 W 含量的进一步增加,当金属的层错能降低使孪晶机制出现时,晶粒取向在 Copper 取向上的聚集将受到干扰。由于 Brass 取向的特殊对称位置,有 Brass 取向的晶粒孪晶后的取向或在 Brass 取向的另一个对称位置,或落入其它不稳的位置并最终又回到 Brass 取向。随着 W 含量的增加,流向 Goss 及位于 Brass 与 Goss 之间的 B-G 组分不断增加,使得 Goss 组分有所上升,但随着 W 含量的进一步增加,流入 Goss 的取向流减小,且取向不断由 Goss 向 Brass 流动,使 Goss 组分又逐渐减少。

2.2 退火温度对再结晶织构的影响

图 2 所示为冷轧形变量为 96.43% 的 Ni-5%W 基带经不同温度退火后再结晶织构的 (111) 和 (200) 极图。从图 2 可看出,随着退火温度从 900 °C 升高到 1 200 °C,立方织构的强度不断增大,漫散度逐渐减小,立方织构的孪晶取向和其他的取向逐渐减弱;当退火温度为 1 200 °C 时,立方织构最强。这主要是由于提高退火温度在一定程度上抑制了立方织构孪晶的形成,从而使立方织构增强。

2.3 退火方式对再结晶织构的影响

图 3 示出不同冷轧形变量的 Ni-5%W 基带分别经一步(将样品随炉直接加热到 1 200 °C,保温 2 h)和两步方式(将样品随炉加热到 700 °C,保温 0.5 h,再加热到 1 200 °C,保温 1 h)退火后得到的 (200) 极图。从图 3 可见,

不管是一步退火还是两步退火,在 Ni-5%W 基带中均形成了强的立方织构。但经两步退火后,得到的再结晶织构中立方织构强度明显增强,漫散度减小,杂取向大幅减小。

退火方式对再结晶立方织构的形成影响较为明显,这可从立方织构的形核和长大机理得以说明。在具有较高和中等层错能的面心立方金属和合金中,再结晶立方织构的起源是由于变形织构中 Copper 取向和 S 取向组分占主导地位。在退火过程中,低温下立方织构会迅速形核,且所占体积分数将超过其它组分的织构,因此,在低温时,几乎只有立方织构形核。随着退火温度升高,形核的取向变得更加随机。高温有利于具有立方取向晶粒的长大,这是由于再结晶立方取向的晶粒与变形基体 S 取向之间具有 $40^\circ \langle 111 \rangle$ 方向的关系,与变形基体的主要取向满足此取向关系的晶核能够迅速生长^[10]。因此,通过大体积分数立方取向晶粒的形核,而这些具有立方取向的形核的晶粒在高温下长大,这些条件在两步退火中可以实现,退火的第 1 步有助于立方织构的形核,第 2 步有利于具有立方取向晶粒的长大。

2.4 冷轧形变量对再结晶织构的影响

图 4 示出不同冷轧形变量 Ni-5%W 基带经同一温度(1 200 °C, 2 h)退火后再结晶织构的 (200) 极图和 (111) 极图。从图 4 可见,随着冷轧形变量的增加,立方织构强度不断增加,漫散度逐渐减小。从 (200) 极图

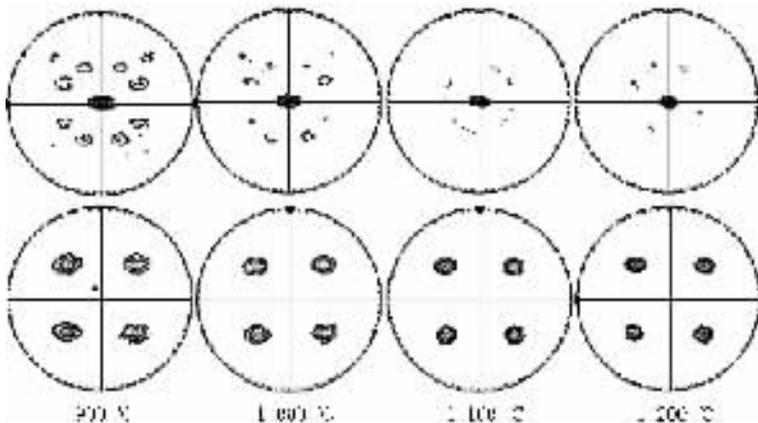


图 2 Ni-5%W 基带经不同温度退火后的 (111) 和 (200) 极图

Fig. 2 Pole figures of Ni-5%W substrates after annealed at different temperatures

上排为 (200) 极图;下排为 (111) 极图

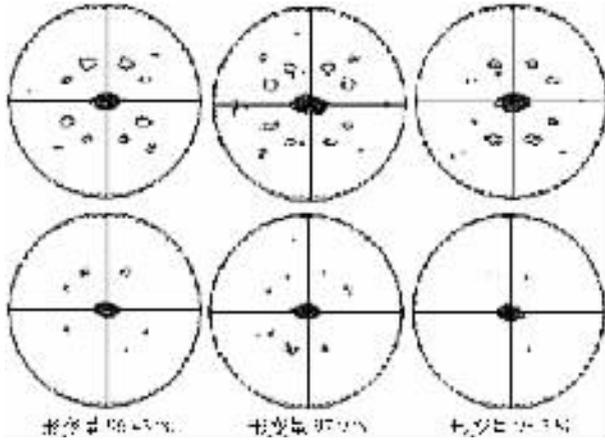


图3 Ni-5%W基带分别经一步和两步方式退火后的(200)极图

Fig. 3 (200) pole figures of Ni-5%W substrates annealed by different ways

上图为一步退火;下图为两步退火

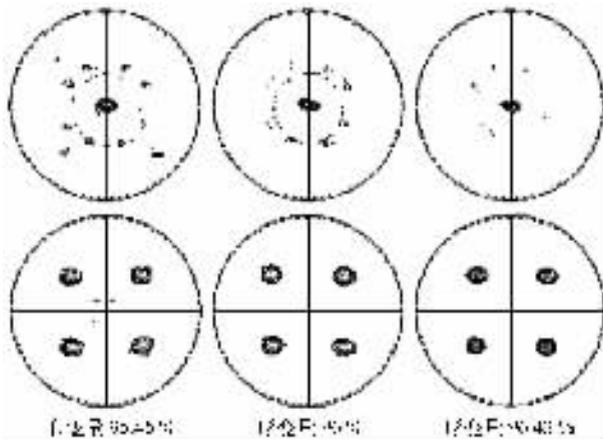


图4 不同冷轧形变量的 Ni-5%W基带经同一温度退火后的(200)极图和(111)极图

Fig. 4 (200) and (111) pole figures of Ni-5%W substrates

with different rolling reduction annealed at same temperature

上图为(200)极图;下图为(111)极图

上可见,随形变量的增加,杂取向数量和强度均逐渐减小,形变量为96.43%时,杂取向变得非常少。图4显示,冷轧变形量为96.43%的Ni-5%W基带,经过1200℃退火后,内部形成了很强的立方织构,这与对冷轧织构研究的结果较为一致。对冷轧织构与冷轧形变量的关系研究表明,大的冷轧形变量更有利于在冷轧时形成Copper和S取向的织构,而这两种织构组分经过再结晶退火后易于转变成立方织构^[11]。

3 结论

采用放电等离子体烧结技术成功制备出了一系列高致密度、分布均匀的Ni-W合金块材。通过优化冷轧和退火工艺,在Ni-5%W基带内部形成了单一的、非常强的立方织构。对基带再结晶织构的研究表明,较高的退火温度、大的冷轧形变量和两步退火的方式有利于形成再结晶立方织构。

感谢张百生研究员给予的指导和有益的讨论。

参考文献:

- [1] KIM K T, LIM J H, KIM J H, et al. Development of cube-textured Ni-W alloy substrates for YBCO-coated conductor[J]. *Physica*, 2004, C412-414: 859-863.
- [2] CELENTANO G, VARESI E, PETRISOR T, et al. Influence of the substrates microstructure on the superconducting properties of YBCO coated conductors[J]. *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*, 2003, 13 (2): 2 591-2 594.
- [3] FENG Haibo, MENG Qingchang, ZHOU Yu, et al. Spark plasma sintering of functionally graded material in the Ti-TiB₂-B system[J]. *Materials Science and Engineering*, 2005, A397: 92-97.
- [4] YAMAMOTO S, HORIE S, TANAMACHI N, et al. Fabrication of high-permeability ferrite by spark-plasma-sintering method [J]. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2001, 235: 218-222.
- [5] EICKEMEYER J, SELBMANN D, OPITZ Z, et al. Highly cube textured Ni-W-RABITS tapes for YBCO coated conductors[J]. *Physica*, 2002, C372-376: 814-817.
- [6] BONG K J, LEE Dong-Wook, KIM Min-Woo, et al. Processing condition for the development of cube texture in Ni and Ni alloy tapes fabricated by powder metallurgy process[J]. *Physica*, 2004, C412-414: 853-858.
- [7] SARMA V S, EICKEMEYER J, MICKEL C, et al. On the cold rolling textures in some f_{cc} Ni-W alloys [J]. *Materials Science and Engineering*, 2004, A380: 30-33.
- [8] RAY R K. Rolling textures of pure nickel, nickel-iron and nickel-cobalt alloys[J]. *Acta Metal Mater*, 1995, 43(10): 3 861-3 872.
- [9] 毛卫民, 张新明. 晶体材料织构定量分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995: 110-114.
- [10] SARMA V S, EICKEMEYER J, SCHULTZ L, et al. Recrystallisation texture and magnetization behaviour of some FCC Ni-W alloys[J]. *Scripta Materialia*, 2004, 50: 953-957.
- [11] VARESI E, BOFFA V, CELENTANO G, et al. Biaxial texturing of Ni alloy substrates for YBCO coated conductors [J]. *Physica*, 2002, C372-376: 763-766.