

50W600 冷轧无取向电工钢退火过程组织和织构取向的演变

张红杰 金自力 王玉峰

(内蒙古科技大学材料与冶金学院, 包头 014010)

摘要 通过金相和电子背散射衍射法(EBSD)研究50W600冷轧无取向电工钢(0.003%~0.008% C、0.3% Si)在700~760℃ 3~360 s退火水冷时的组织和织构取向演变。结果表明,随退火温度的提高,钢的再结晶率和晶粒尺寸增大,740℃退火时,当保温时间由10 s增加至360 s,再结晶率由22.5%提高到100%,平均晶粒尺寸由3.08 μm增大至17.17 μm。同时再结晶织构α线的取向密度下降,在15 s时{001}<110>、{112}<110>、{111}<110>、{110}<110>的取向密度均为1.5左右,γ线上{111}<011>和{111}<112>的取向密度稳定在0.25左右。

关键词 50W600 冷轧无取向电工钢 退火 再结晶 织构

Evolution of Structure and Texture Orientation of 50W600 Cold Rolled Non-Orientation Electrical Steel during Annealing

Zhang Hongjie, Jin Zili and Wang Yufeng

(Faculty of Materials Science and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010)

Abstract Structure and texture orientation of 50W600 cold rolled non-orientation electrical steel (0.003~0.008C, 0.3Si) during annealing at 700~760℃ for 3~360 s, water cooling have been studied by metallography and electron back-scattering spectrum diffraction analysis. Results showed that increasing annealing temperature the rate of recrystallization and grain size increased; during annealing at 740℃, as annealing time increased from 10 s to 360 s, the rate of recrystallization increased from 22.5% to 100% and average grain size increased from 3.08 μm to 17.17 μm, and the density of recrystallization texture at α-fibre decreased, as annealing for 15 s the density of {001}<110>, {112}<110>, {111}<110> and {110}<110> was about 1.5 and the density of {111}<011> and {111}<112> at γ-fibre was steadily about 0.25.

Material Index 50W600 Cold Rolled Non-orientation Electrical Steel, Annealing, Recrystallization, Texture

1 试验材料和方法

试验材料50W600为太原钢铁公司生产的压下率为81%、厚度为0.5 mm的低碳低硅钢,其成分(%)为:0.003~0.008C、0.3Si、≤0.4Mn、0.32Al、0.08P、0.007S。

将20 mm × 15 mm的试样置于35% NaCl和65% BaCl₂的盐浴炉中分别在700, 720, 740, 760℃进行连续退火,退火时间为3~360 s水冷。使用图像处理装置测定晶粒的尺寸及再结晶面积,计算出再结晶率。用EBSD观测其微观取向的演变。

2 结果与讨论

2.1 退火温度和保温时间对50W600钢组织的影响

开始再结晶时间从700℃的10 s提前到760℃的4 s。再结晶率由700℃ 10 s的5%提高到740℃ 10 s的22.5%,平均晶粒尺寸由700℃ 10 s的1.97 μm增大到740℃ 10 s的3.08 μm。

在740℃ 4 s退火,没有观察到再结晶晶粒的生成,此时组织中有大量的畸变能,组织不稳定^[1]。740℃ 6 s的试样某些区域开始形核(图1a),保温

10 s,再结晶晶粒明显增多,晶粒开始长大(图1b),360 s时晶粒完全长大为没有畸变(或畸变很小)的等轴晶粒(图1c),变形组织完全被再结晶晶粒取代^[2]。再结晶率由740℃ 10 s的22.5%提高到740℃ 360 s的100%;平均晶粒尺寸由740℃ 10 s的3.08 μm增大到740℃ 360 s的17.17 μm。

在变形金属再结晶的开始阶段,变形基体会出

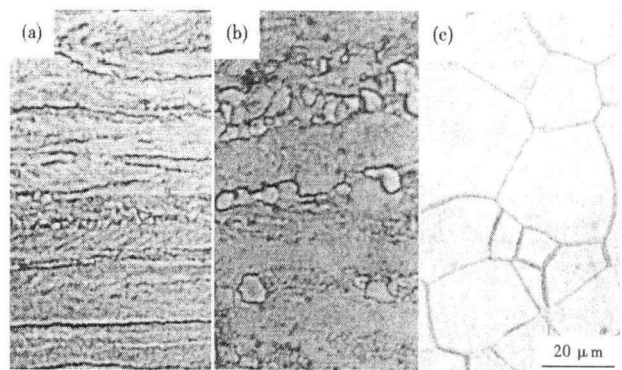


图1 50W600冷轧无取向电工钢740℃退火的组织形貌:
(a) 6 s; (b) 10 s; (c) 360 s

Fig. 1 Morphology of structure of 50W600 cold rolled non-orientation electrical steel annealed at 740℃ for 6 s (a), 10 s (b) and 360 s (c)

现某种经回复造成的低缺陷密度的亚结构,并成为潜在的再结晶核。如果这些亚结构的取向在聚集区附近,则亚结构与变形基体之间的晶界不是可动性较高的大角度晶界,不易作为再结晶核而长大,因为这里的取向梯度小。如果这些亚结构的取向位于上述过渡带内的离散区附近,则亚结构附近的取向梯度较大,亚结构与变形基体取向差大,因而可形成可动性较高的大角度晶界。这样的亚结构可以很快转变成再结晶核^[3]。这说明再结晶的形核是沿着可动性较高的大角度晶界进行的,这种再结晶核的生长决定了随后的再结晶过程及相应的再结晶织构。

2.2 740 °C 不同保温时间对微区取向演变的影响

由图 2 可见,随着保温时间的延长,α 取向线上的取向密度 f(g) 显著下降,只有当保温 90 s 时, {111} <110> 出现了最高点取向密度达到 3.0, {001} <110> 和 {110} <110> 取向出现最低点后又长起来,这可能是由于在 15 s 时再结晶完全,形成的是细小的等轴晶粒,各织构的取向密度 f(g) 都在 1.5 左右,相差不大。保温 90 s 是再结晶完全后长大的过程,这可以定性的认为, {111} <110> 取向更容易长大, {001} <110> 和 {110} <110> 取向的等轴晶粒在转变成 {111} <110> 取向。γ 取向线上的 {111} <011> 取向密度在部分再结晶阶段显著增加,但从 10 s 后的晶粒长大阶段,就是一直在减小的,这可能是由于长大阶段 {111} <011> 取向被消耗,转变成别的取向。而 {111} <112> 取向是在刚开始的形核阶段减少的,而过了 10 s 长大阶段是先增加到保温 90 s 后又减少的趋势。最后 γ 取向线上 {111} <011> 和 {111} <112> 的取向密度都稳定在 0.25

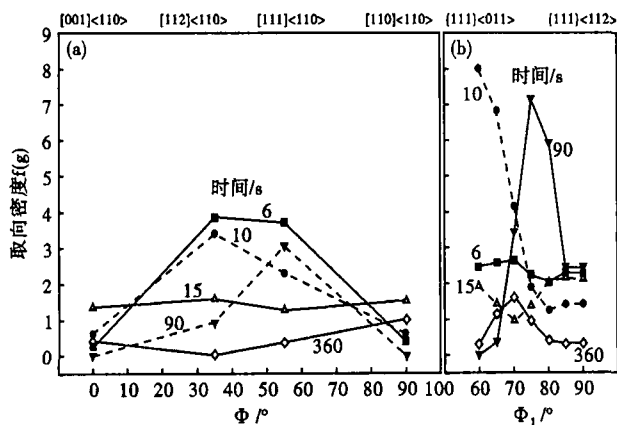


图 2 50W600 冷轧无取向电工钢 740 °C 退火时 α 取向线 (a) 和 γ 取向线 (b) 上的取向密度 f(g)

左右。{111} <UVW> 取向密度大,产品的深冲性能好, {100} <UVW> 取向密度大,产品的磁性能好。

2.3 740 °C 不同退火时间的各类取向组分的分析

由图 3 可见, {111} <112> 在 90 s 所占比例最多 44.3%, 6 s 最少 6.04%; {111} <110> 在 90 s 所占比例最多 18.8%, 360 s 最少 6.53%; {001} <100> 在 15 s 所占比例最多 9.06%, 90 s 最少 0.71%; {001} <110> 在 10 s 所占比例最多 25.2%, 360 s 最少 3.03%。{111} 取向深冲性能好, {001} 取向的磁性能最好。可推断出 90 s 深冲性能最好, 10 s 磁性能最好。

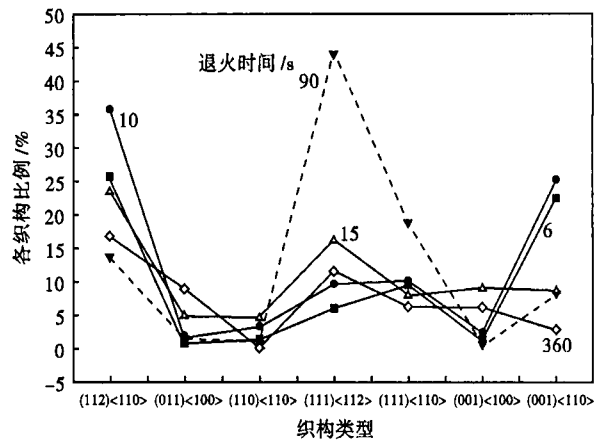


图 3 740 °C 6 ~ 360 s 退火的 50W600 冷轧无取向电工钢各织构的比例

3 结论

50W600 钢退火温度由 700 °C 提高到 760 °C 时开始再结晶时间从 10 s 降低到 4 s, 再结晶率和晶粒尺寸增大。740 °C 360 s 退火后钢的再结晶率为 100%, 平均晶粒尺寸 17.17 μm。740 °C 90 s 退火后 {111} <110> 比例最大, 达 18.8%, 10 s 退火后 {001} <110> 比例最大, 达 25.2%。

内蒙古自然科学基金资助项目(200308020202)

参考文献

- Jang-Tae Park, Jerzy A, Szpunar. Evolution of Recrystallization Texture in Non-oriented Electrical Steels. Acta Materialia, 2003, 51 (11): 3037
- 金自力, 任慧平, 王玉峰, 等. 冷轧无取向硅钢的织构和组织性能分析. 特殊钢, 2004, 25 (1): 32
- 毛为民. 金属材料的晶体学织构与各向异性. 北京: 科学出版社, 2002

张红杰(1980-), 女, 硕士研究生, 沈阳理工大学毕业, 先进材料组织、织构和性能研究。

收稿日期: 2007-09-13