

MGH956 合金冷轧薄板的高温再结晶行为研究

Study on Recrystallization Behavior of MGH956 Alloy Cold Rolled Sheet

杨 峥, 田 耘, 柳光祖
(钢铁研究总院 高温材料研究所, 北京 100081)
YANG Zheng, TIAN Yun, LIU Guang-zu
(Central Iron & Steel Research Institute, Beijing 100081, China)

摘要: 研究了 MGH956 合金冷轧薄板在高温 (1300℃) 热处理中的再结晶过程和晶粒组织发展演化的情况, 认为 MGH956 合金冷轧薄板在 1300℃ 高温热处理过程中会发生再结晶, 高度变形的超细晶组织最终演变成为粗大的盘状晶粒组织; 并且这种再结晶过程应该属于一次再结晶的范畴, 而并非二次再结晶过程; 再结晶过程结束后, 继续延长热处理时间, 晶粒组织不发生明显的变化。
关键词: 氧化物弥散强化合金; MGH956; 再结晶
中图分类号: TG132.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2007)11-0011-04

Abstract: The recrystallization behavior and microstructure evolution of MGH956 alloy cold rolled sheet treated with high temperature were investigated. It was found that recrystallization would occur in MGH956 cold rolled sheet when treated at high temperature as 1300℃, and the highly deformed tiny cold rolled grain would turn to coarse pancake grain at last. It was concluded that this kind of recrystallization is not secondary but primary recrystallization. Once the recrystallization stopped, microstructure would not change during further heat treatment time.
Key words: oxide dispersion strengthened alloy; MGH956; recrystallization

MGH956(Incoloy MA956) 合金是一种典型的 Fe 基氧化物弥散强化 (Oxide Dispersion Strengthened, ODS) 高温合金。MGH956 合金冷轧薄板在 1300℃ 左右的高温热处理过程中, 会发生独特的再结晶行为, 形成十分粗大 (5mm 以上) 的盘状 (pancake) 晶粒, 对于这种再结晶行为, 以往一般认为是一种二次再结晶行为^[1]。本工作研究了 MGH956 合金冷轧薄板在高温热处理中的再结晶过程, 并认为这种再结晶过程应该属于一次再结晶的范畴。

1 实验方法

用机械合金化 (Mechanical Alloying, MA) 方法制备 MGH956 合金粉末, 合金名义成份为 Fe-20Cr-4.5Al-0.5Ti-0.5Y₂O₃; 合金粉末经过热等静压形成合金锭; 800~1200℃ 热锻开坯; 800~1200℃ 热轧, 热轧总变形量 60%~90%; 热轧板再经过 60% 以上的冷轧

变形, 得到 0.5~1mm 厚的冷轧薄板, 冷轧方向与热轧方向垂直; 冷轧薄板在 1300℃ 的高温下进行 0.5~4h 的等温热处理。
金相观察冷轧态和热处理态板材的板面和横截面, 金相浸蚀剂为: 10% HNO₃ + 10% HF + 80% H₂O (质量分数, 下同)。透射电镜观察冷轧态和热处理态板材的显微组织。

2 实验结果

图 1 为 MGH956 合金冷轧薄板冷轧态的金相组织照片; 图 2 是 MGH956 合金冷轧薄板 1300℃, 0.5h 退火后的金相组织照片; MGH956 合金冷轧薄板在 1300℃ 退火 1~4h, 金相组织基本相同, 如图 3 所示; 图 4 则分别是 MGH956 合金冷轧薄板的冷轧态、以及 1300℃, 0.5h 和 2.0h 处理后的 TEM 照片, 1300℃ 退火 1~4h 后的 TEM 组织特征也是基本相同的。

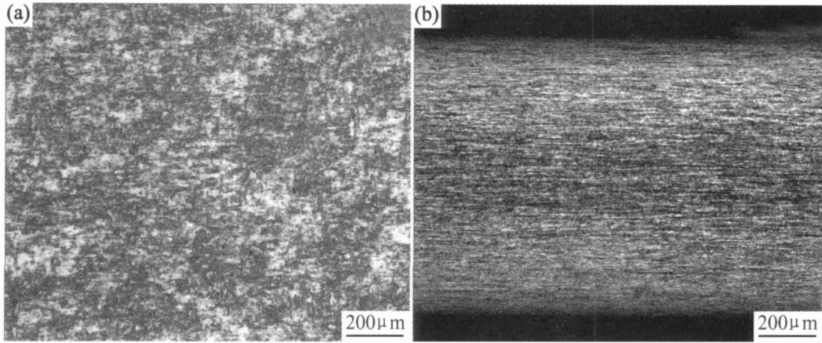


图 1 MGH956 合金冷轧薄板的金相组织 (a) 板面; (b) 纵截面

Fig. 1 Optical micrographs of MGH956 cold rolled sheet (a) sheet plane; (b) cross section

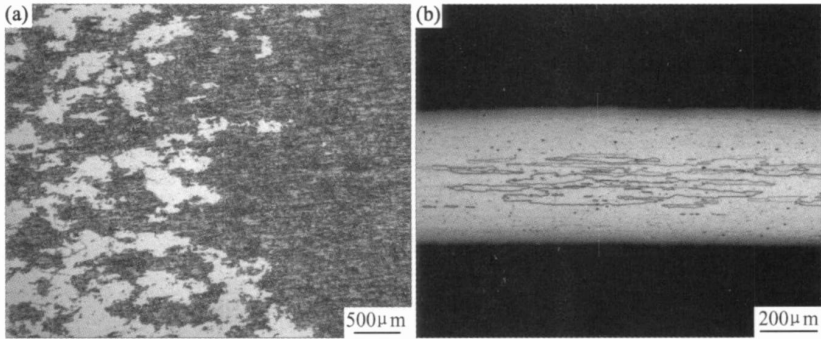


图 2 MGH956 合金冷轧薄板 1300℃/0.5h 处理后的金相组织 (a) 板面; (b) 纵截面

Fig. 2 Optical micrographs of MGH956 cold rolled sheet annealed at 1300℃ for 0.5h (a) sheet plane; (b) cross section

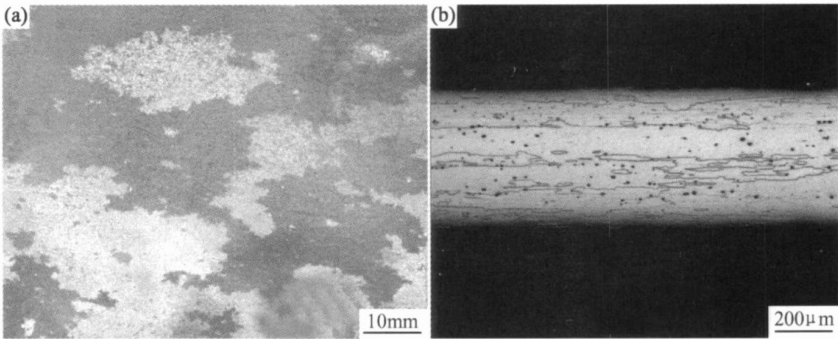


图 3 MGH956 合金冷轧薄板 1300℃/4h 处理后的金相组织 (a) 板面; (b) 纵截面

Fig. 3 Optical micrographs of MGH956 cold rolled sheet annealed at 1300℃ for 4h (a) sheet plane; (b) cross section

3 分析和讨论

可以看到 MGH956 合金冷轧薄板的金相组织表现为典型的“冷加工态”的特征: 金相上晶粒难以分辨; 与轧制方向平行的纵向截面上呈现出明显的流线; 由于采用了交叉轧制, 板面上呈现出近似围绕板面中心回旋的流线; TEM 照片显示, MGH956 合金冷轧态的晶粒大小大约 0.5μm; 晶界不是平直、整齐的晶界, 而是大量位错聚集形成的位错胞壁, 位错胞壁在剧烈的变形下呈现出弯曲的形态, 使位错胞扭转, 在一些局部

地方, 胞壁厚度很宽, 甚至与位错胞内部宽度相当; 晶粒内部同样存在着大量的位错, 位错的形态也是弯曲的, 并且越靠近晶界, 位错越浓密, 有些地方, 浓密的位错使晶粒无法显现。因此, MGH956 合金冷轧薄板组织是极为剧烈的冷变形组织。

1300℃/0.5h 处理后, 合金中个别位置, 尤其是板厚中心位置附近, 一些晶粒已经发生急剧的长大, 形成了沿着板面大而沿着板厚小的盘状形态, 将周围小晶粒吞噬, 大晶粒内部是明显的再结晶组织, 位错密度很低。但周围其他的小晶粒组织并没有发生明显变化,

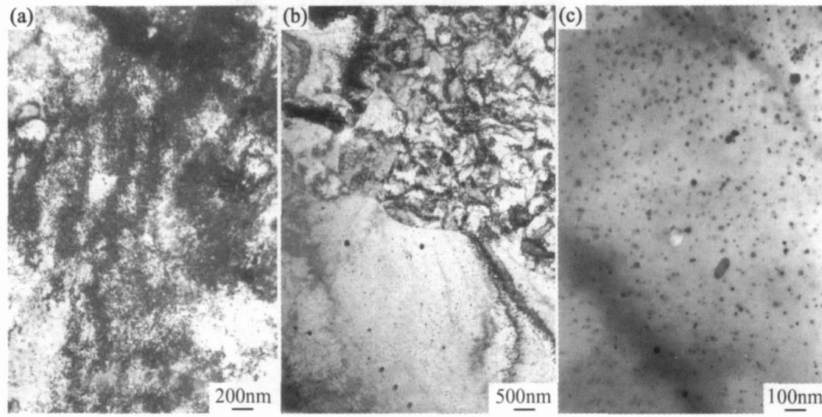


图4 MGH956 合金冷轧薄板的 TEM 照片 (a) 冷轧态; (b) 1300℃/0.5h; (c) 1300℃/2h

Fig. 4 TEM microstructure of MGH956 cold rolled sheet (a) as rolled; (b) 1300℃/0.5h; (c) 1300℃/2h

晶粒大小仍然是 $0.5\mu\text{m}$ 左右, 并未长大, 晶界仍然呈现出扭曲缠结的形态, 位错密度十分高, 某些局部地方, 浓密的位错将晶界遮挡, 使晶粒无法显现。位错的胞状结构仍十分发达, 胞壁厚度很宽, 未被大晶粒吞噬的小晶粒仍然显现出明显的强烈冷变形特征。由于出现了再结晶晶粒, 可以判断 1300℃/0.5h 退火后, MGH956 合金冷轧薄板已经开始发生再结晶, 所以再结晶的孕育期小于 0.5h, 而且在这个阶段冷变形态晶粒组织仍未被完全消耗, 说明 1300℃退火到 0.5h 的时候, 发生的是一次再结晶, 并且一次再结晶过程仍未结束。

1300℃/1h 处理后, 冷轧薄板原有的细小晶粒就已经完全消失, 沿着板厚方向, 晶粒的厚度大约为 $50 \sim 100\mu\text{m}$, 而在板面上, 晶粒的长度和宽度达到了 10mm 以上, 晶粒在沿着板面的各个方向上直径基本相当。晶粒呈现出一种十分粗大的扁而平的盘状 (Pan-Cake) 形态。TEM 照片中可以看到, 由于晶粒尺寸十分大, TEM 视场中很难看到晶界。晶内也几乎发现不了位错的存在。正因为如此, 晶内的纳米强化颗粒显现得十分清楚, 小于 30nm 的强化颗粒均匀地分布在晶粒内部。

与 1300℃/0.5h 退火后的组织相比, 1300℃/1h 退火后的再结晶晶粒形态是相似的, 只是存在大小的区别; 退火 0.5h 后变形态组织所占的比例仍然较大, 而退火 1h 后变形态组织则完全消失。由此推断在这一段较短的时间内, 仅仅发生了一次再结晶完成的过程, 也就是说退火 1.0h 后的粗大盘状再结晶晶粒是由 0.5h 退火后已形成的再结晶形核核心, 以及这段时间内新形成的形核核心, 直接消耗变形态组织而长成的, 二次再结晶并未发生。二次再结晶是在一次再结晶结束后, 由于晶粒的正常长大受到抑止而发生的异常长

大行为, 通常在一次再结晶结束后需要较长的孕育期^[2]。本实验中从退火 0.5h 到 1h 较短的时间内, 不大可能连续发生了初次再结晶的完成、二次再结晶孕育期和二次再结晶三个过程。另外 1300℃/0.5h 退火后形成的初次再结晶形核核心的直径已经达到了 $300\mu\text{m}$, 可以推断一次再结晶结束后的再结晶晶粒尺寸是比较大的, 而本实验研究中, 并未发现一个“个别超级大晶粒不断生长, 而大量一次再结晶晶粒不长大也不缩小, 直到被超级大晶粒吞噬”的二次再结晶过程^[3]。因此判断 1300℃/1h 退火后, 一次再结晶过程完成, 并未发生二次再结晶。

1300℃退火从 1h 到 4h, MGH956 合金冷轧薄板的金相和 TEM 组织基本一致, 未发现晶粒大小、形态以及内部结构等方面发生明显的改变, 说明延长退火时间, 异常的晶粒长大过程即二次再结晶并未发生, 正常晶粒长大过程即使发生, 也进行得十分缓慢。

因此, MGH956 合金冷轧薄板在高温热处理过程中, 首先经过一个孕育期, 这个孕育期时间很短, 小于 0.5h; 之后再结晶形核核心先在冷轧薄板厚度方向中心位置形成, 接着厚度方向上其它位置也逐步形核, 但是, 形核核心的数目相对其它合金的再结晶过程而言是很少的^[4]; 形核核心逐步长大, 但是不同方向上晶界的迁移速率不同, 沿着板面的长大速度快, 而沿着板厚度方向上的长大速度很慢; 首先在板厚中心形核的核心, 迅速发生沿着板面方向的长大, 这些再结晶核心沿着板厚度方向的长大较慢, 中心区域再结晶核心长大后, 其他靠近板面表层位置上的形核核心才逐渐形成并长大, 因此表层再结晶晶粒常常比中心区域小; 当再结晶晶粒相遇, 再结晶过程就停止, 最终形成了粗大的盘状晶粒组织; 再结晶过程结束后, 继续延长热处理时间, 晶粒组织未见发生明显的变化。

4 结论

- (1) MGH956 合金冷轧薄板在 1300℃高温热处理过程中会发生再结晶, 高度变形的超细晶组织最终演变成粗大的盘状晶粒组织。
- (2) MGH956 合金冷轧薄板形成粗大盘状晶粒组织的再结晶过程是一个一次再结晶过程, 而不是二次再结晶过程。
- (3) 再结晶过程结束后, 继续延长热处理时间, 晶粒组织未见发生明显的变化。

参考文献

[1] HACK G A J. Fundamentals of mechanical alloying, frontiers of high temperature materials II[A]. JOHN S BENJAMINE , RAYMOND C BENN. Proceedings of the Second International Conference on Oxide Dispersion Strengthened Superalloys by Me-

chanical Alloying[C]. London: 1983.

[2] CAHN R W, HAASEN P. Physical Metallurgy[M]. 3rd edition. New York: Elsevier Science Publishers, 1983.

[3] 毛为民, 赵新兵. 金属的再结晶与晶粒长大[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994.

[4] NUTTING J, UBHI S, HUGHEST A. The development of microstructure in incoloy MA956, frontiers of high temperature materials[A]. JOHN S BENJAMINE. Proceedings of an International Conference on Oxide Dispersion Strengthened Superalloys by Mechanical Alloying [C]. New York City: 1981.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50301006)
收稿日期: 2006-10-23; 修订日期: 2006-12-25
作者简介: 杨峥(1974-), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向: 高温合金,
联系地址: 北京市学院南路 76 号, 钢铁研究总院高温材料研究所
(100081)。E-mail: 505ods@sohu.com

荷兰发明家研制飞机环保新材料

近年来, 科研人员都在研究, 如何在保证飞行安全的前提下, 降低飞机的自重。因为飞机的自重越小, 消耗的油料越少, 二氧化碳排放量就越低。耗油量少就意味着飞机的飞行成本降低, 航空公司高兴, 环保组织也满意。

不过如何才能找到降低飞机自重的方法呢? 荷兰发明家将目光对准了制造飞机机翼的材料上。

飞机机翼的材质与其他部位材质的要求不同。由于要频繁起落, 机翼材质往往更容易产生“金属疲劳”, 也就是更容易出现裂痕。而裂痕的出现往往会导致飞行事故。为了确保安全, 现在飞机制造中, 机翼部分往往使用最厚重的铝制复合材料。

不过荷兰发明家罗布伊克相信, 他发明的这种新型材质可以将“安全”和“轻巧”和谐统一起来。

这种新型材质名为“增强型铝基复合材料”(Central Reinforced Aluminium), 就像夹心饼干一样, 由一层纤维金属板和几层高强度的铝板复合而成。添加铝板的多少可以根据材质强度的不同要求而定。

发明家罗布伊克表示, 他的这项发明还是受空客 A380 的启发。A380 的制造者为了减轻飞机自重, 使用了一种名为“眩目”的新型复合材料来制造机身。“眩目”是由铝和玻璃纤维层压形成的复合材料, 但是它由于非常薄, 只能制造机身, 不能用于机翼。罗布伊克借用了“眩目”的“层压”理念, 将玻璃纤维换成了“纤维金属板”, 并取得了成功。

用这种新型材质打造机翼的飞机具有机身更轻、更节能环保的特点, 据测算, 这项发明将给全球航空业带来 750 亿欧元的收益。但这种新型材料比传统材料要贵一些。

发明家表示, 保护地球环境任重道远, 采取节能措施人人有责。他的这项发明也许只是在正确的道路上向前迈了一小步, 他希望航空公司能够承担起相应的责任。

美研制出新型复合材料: 薄如纸片坚如钢筋

美国密歇根大学的科研人员近日以黏土和不含毒素的胶水, 研发一种薄如纸片、强度如钢筋的透明材料。这类复合材料不需要花费太多的能量生产, 而且能够降解, 非常环保。

据报道, 新型材料可以减少化工厂分隔气体时所需的能源、改善芯片或生物传感器等显微技术, 甚至可能为军人或警察生产更轻、硬度更强的军装和军车。

负责领导科研小组的科托夫表示, 他们已经在研究新型塑料的实际用途, 并可能在未来一至两年内推出市场。科研人员一直以来面对的一个问题是, 在纳米砌块的基础上生产复合材料时, 如何保持其强度。科托夫仿效在贝壳中发现的砖和灰浆的结构, 成功解决这个问题。