

304 不锈钢冷轧及退火工艺优化的实验研究

李慧琴, 张跃华, 毛洪明, 麻永林

(内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要:以 304 不锈钢为实验材料, 对其退火和冷轧后的性能和组织进行检测和观察, 分析了冷轧变形量和退火工艺对 304 不锈钢组织和性能的影响。结果表明: 增大冷轧压下量, 退火工艺为 $1100\text{ }^{\circ}\text{C} \times 5\text{ min}$ 时获得较高的 r 值。

关键词:304 不锈钢; 冷轧; 退火

中图分类号: TG156.21

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2010)08-0174-03

Experimental Study on Optimization of Cold-rolling and Annealing Process for 304 Stainless Steel

LI Huiqin, ZHANG Yuehua, MAO Hongming, MA Yonglin

(Material and Metallurgy School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: The microstructure and properties of 304 stainless steel as-annealed and cold-rolled were observed and measured. The influences of cold-rolling deformation and annealing process on the microstructure and properties of 304 stainless steel were analysed. The results show that higher r values are obtained by increasing cold-rolling reduction, annealing at $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 5 min.

Key words: 304 stainless steel; cold-rolled; annealing

不锈钢具有优良的品质和特征, 因而其应用范围越来越广, 并且世界范围内不锈钢的生产和需求都一直呈持续增长的趋势^[1-2]。作为通用型耐蚀材料的 304 不锈钢板材, 经冷轧后可得到高性能的产品, 可用于包括食品工业设备、厨房用器皿以及电子行业等多个领域^[3]。各个领域的用途不同, 对冷轧不锈钢 304 的性能要求也不一样, 特别是当不锈钢带的厚度较小时, 寻求其综合的冷加工性能极为重要。本文通过分析轧制、退火工艺对其性能和组织的影响, 研究生产工艺参数对其组织和性能的影响规律, 为现场优化生产、提高性能提供实验数据。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

实验材料为某厂生产的 304 不锈钢, 其化学成分(质量分数, %)为: 0.0528C, 0.5166Si, 0.03P, 1.1983Mn, 0.0016S, 17.016Cr, 8.0061Ni, 0.1989Cu, 0.083Mo, 0.0087Sn。

1.2 实验方法

收稿日期: 2009-09-29

作者简介: 李慧琴(1963-), 女, 内蒙古包头人, 教授, 硕士, 从事材料加工与控制研究; 电话: 13804770814;

E-mail: lihuiqin42@163.com

采用 SX13-BL 程序控制电阻炉进行不同温度(1060、1080 和 $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$)保温不同时间(2、5 和 8 min)的退火。在 Axiovert25 蔡司光学显微镜上对退火后的试样进行金相组织观察, 分析现场退火态的组织特征以及厚度为 0.60 mm 的冷轧态经实验室退火后的组织特征。在 Csm-88500 电子万能实验机上进行拉伸实验, 测定其强度和计算 n 值和 r 值; 并进行硬度测量。

2 实验结果及分析

2.1 冷轧工艺对组织和 r 值的影响

厚 2.0 mm 的热轧料, 经冷轧后, 厚度分别为 0.45 mm 和 0.38 mm, 对应的压下率分别为 77.5% 和 80%, 退火温度为 $1080\text{ }^{\circ}\text{C}$, 其组织如图 1 所示, 拉伸实验得到的性能如表 1 所示。

从图 1 可看出, 随冷轧压下量的增大, 晶粒有明显长大的趋势, 常规力学性能无明显变化。当变形率从 77.5% 增加到 80% 时, 抗拉强度仅降低了 5.3%, 而 r 值却增加了 12.4%。结合退火组织可以看出, 增大冷轧压下率, 晶粒明显长大, 这是由于提高了变形储存能, 使得再结晶驱动力变大, 促进了晶粒的长大^[4], 结果是有利于提高材料的冲压性能^[5]。

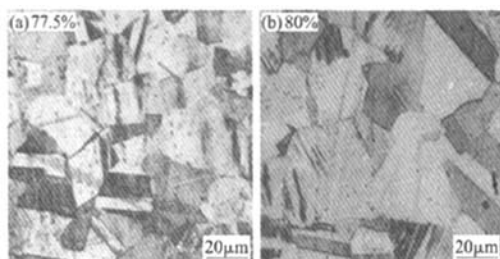


图1 不同压下率下的退火组织
Fig.1 The annealing microstructure under different reduction ratio

表1 304 不锈钢退火后的性能
Tab.1 The properties of 304 stainless steel after annealing

压下率(%)	ε (%)	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	r	n
77.5	29.39	181	359	1.05	0.21
80	31.98	186	340	1.18	0.25

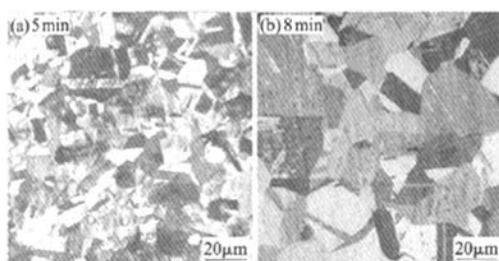


图2 1060 °C退火不同时间的组织
Fig.2 The microstructure of sample annealed at 1060 °C for different time

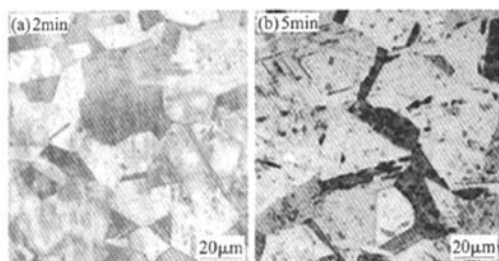


图4 1100 °C退火不同时间的组织
Fig.4 The microstructure of sample annealed at 1100 °C for different time

表2 不同退火工艺下的力学性能和 r 值
Tab.2 The mechanical properties and r value under different annealing process

温度/°C	1060			1080			1100		
时间/min	2	5	8	2	5	8	2	5	8
r 值	1.113	1.113	1.078	1.164	1.215	1.139	1.146	1.391	1.156
伸长率(%)	29	62.2	54.8	56.2	62	17.4	55.6	66.6	58.3
屈服比	0.877	0.442	0.506	0.525	0.428	0.429	0.479	0.36	0.382

1060 和 1080 °C变化趋势小;而在 1100 °C时变化程度较大,退火时间为 2~5 min 时,屈服比减小, r 逐

2.2 退火工艺对组织和性能的影响

2.2.1 退火工艺对组织的影响

现场取冷轧后的 0.6 mm 材料,在实验室经不同温度(1060、1080 和 1100 °C)保温不同时间(2、5 和 8 min)的退火后,其组织如图 2~图 4 所示。可以看出,在相同退火温度条件下,随退火时间延长,其晶粒长大;在相同退火时间(5 min)条件下,随退火温度的升高,其晶粒逐渐长大。由此可知,退火过程中,升高退火温度和延长退火时间,晶粒有长大的趋势,可以获得较高的 r 值,对提高冲压性能是有利的。

2.2.2 退火工艺对力学性能和 r 值的影响

对冷轧后的厚 0.6 mm 的材料退火后进行拉伸试验,结果见表 2, r 的变化规律如图 5、图 6 所示。可看出,随退火时间的延长, r 值有减小的趋势。在

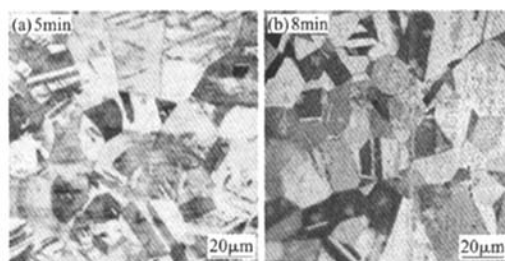


图3 1080 °C退火不同时间的组织
Fig.3 The microstructure of sample annealed at 1080 °C for different time

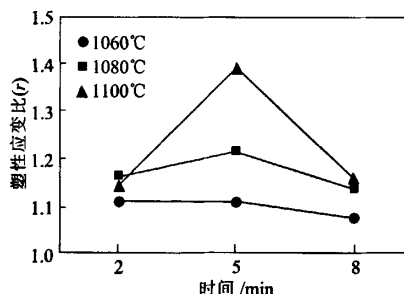


图5 退火时间对 r 值的影响
Fig.5 The effects of annealing time on r value

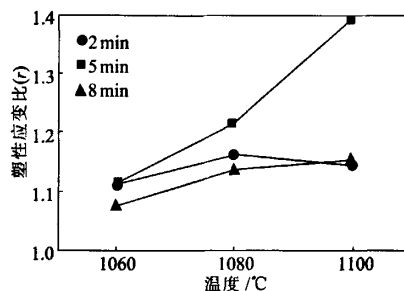


图6 退火温度对 r 值的影响
Fig.6 The effects of annealing temperature on r value

渐增大,可使冲压性能提高;而退火时间为 5~8 min 时,屈服比提高, r 值逐渐减小,不利于冲压性能的提高。退火时间为 5 和 8 min 时,随退火温度的升高 r 逐渐增大。综合组织特征和性能变化分析,当温度为 1100℃、时间为 5 min 时,晶粒较粗大且较均匀, r 值最大,达到 1.39,屈服比最小,为 0.36,可提高冲压性能,满足材料性能要求。

2.2.3 硬度试验

304 不锈钢硬度测试结果如表 3 所示。可看出,随退火温度升高和退火时间的延长,材料的硬度降低。从金相照片分析可知,随退火温度升高和退火时间的延长,晶粒粗大,因而硬度降低,而 1100℃×5 min 退火后晶粒较大,并且均匀,因而硬度最小,而 r 值最大。

表 3 热处理后的硬度(HV)
Tab.3 The hardness after heat treatment

	2 min	5 min	8 min
1060℃	579	513	445
1080℃	435	420	423
1100℃	480	230	420

(上接第 173 页)

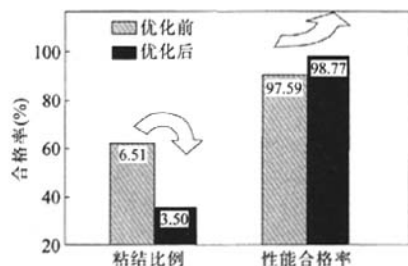


图 5 退火工艺优化前后粘结及性能合格率

Fig.5 The bonding and qualifying rate of properties before and after annealing process optimization

6 结论

(1) 退火过程中,对不同厚度钢卷制定出不同的退火温度和退火时间,对 1.2 mm 以下钢卷在 620℃ 增加 2 h 均温平台,并且控制冷却速度,使粘结缺陷得到很好地控制。

(2) 620℃ 以前全速加热,此后以 25℃/h 的速

3 结论

(1) 随冷轧压下率的增大,晶粒变大, r 值增大。所以增加冷轧压下率可以改善材料的深冲性能。

(2) 随退火温度的升高和保温时间的延长,晶粒增大,屈服比减小,且晶粒大小均匀,有助于增强材料的深冲性能。

(3) 通过本实验的分析结果可知,在不损失其他性能的前提下,为获得较高的 r 值,生产中较为合适的退火工艺为 1100℃×5 min。

参考文献:

- [1] 胡宾宾,涂道遂. 我国“十一五”不锈钢市场分析[J]. 钢铁技术,2008,(6):24-26.
- [2] 丁键刚,胡保全,高小芬. 冷轧不锈钢生产过程的质量控制[J]. 轧钢,2001,18(4):43-46.
- [3] 李维东,马金达. 冷变形对 304 不锈钢组织和性能影响的探讨[J]. 理化检验—物理分册,2002,38(11):507-509.
- [4] 崔忠圻. 金属学与热处理 [M]. 北京:机械工业出版社,1989. 205-215.
- [5] 王占学. 塑性加工金属学 [M]. 北京:冶金工业出版社,1991. 204-206. [2]

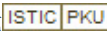
度加热,同时延长保温时间 1 h,使钢卷在均温充分的同时晶粒充分长大,提高伸长率、降低抗拉强度。

(3) 根据装炉量的大小增(减)保温时间,对不同原料采用不同的退火温度和时间,提高了性能,满足了用户的要求。

参考文献:

- [1] 李佩璋,马小可,刘国刚,等. SPCC 冷轧薄板质量事故的分析研究[J]. 稀土,2008,29(1):76-80.
- [2] 齐建群,韩冰,弓俊杰,等. 唐钢 SPCC 冷轧板的工艺优化与性能分析[J]. 轧钢,2008,25(5):58-60.
- [3] 罗裕厚. 冷轧钢卷产生粘结的机理及控制措施[J]. 钢铁钒钛,2002,23(2):29-33.
- [4] 王泽林. 冷轧钢板实际退火中的有关问题 [J]. 鞍钢技术,2001,(2):37-38.
- [5] 牟浩,刘劭. 浅析冷轧带钢在罩式炉退火中产生的粘结[J]. 工业炉,2003,(2):40-42.
- [6] 李小权,张磊,栾彩霞. 退火工艺对冷轧钢板力学性能和显微组织的影响[J]. 山东冶金,2008,30:59-60. [2]

304不锈钢冷轧及退火工艺优化的实验研究

作者: [李慧琴](#), [张跃华](#), [毛洪明](#), [麻永林](#), [LI Huiqin](#), [ZHANG Yuehua](#), [MAO Hongming](#),
[MA Yonglin](#)
作者单位: [内蒙古科技大学, 材料与冶金学院, 内蒙古, 包头, 014010](#)
刊名: [热加工工艺](#) 
英文刊名: [HOT WORKING TECHNOLOGY](#)
年, 卷(期): 2010, 39(8)
被引用次数: 0次

参考文献(5条)

1. [胡宾宾, 涂道遂](#) [我国“十一五”不锈钢市场分析](#) 2008(6)
2. [丁键刚, 胡保全, 高小芬](#) [冷轧不锈钢生产过程的质量控制](#) 2001(4)
3. [李维东, 马金达](#) [冷变形对304不锈钢组织和性能影响的探讨](#) 2002(11)
4. [崔忠圻](#) [金属学与热处理](#) 1989
5. [王占学](#) [塑性加工金属学](#) 1991

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [雷君相, 康永林, 宋仁伯, 杨雄飞, 王志军](#) [304不锈钢冷轧卷连续钝化工艺参数的正交试验](#) -[特殊钢](#) 2004, 25(2)

用CIE1976L*a*b*色空间中的白度HW*作为不锈钢冷轧卷钝化后表面质量的评价指标, 对304(18-8)奥氏体不锈钢板材的钝化工艺参数(HNO₃ 10%~20%, HF 0.8%~2.5%, 钝化温度40~70℃, 钝化时间1.0~3.0 min)进行了正交试验和方差分析. 试验和分析结果得出, 不同炉批304不锈钢冷轧卷材, 因成分和工艺差异, 使板材最佳钝化工艺参数稍有不同, 但从整体来看, 304不锈钢卷材钝化的最佳工艺参数为: HNO₃ 10%~12%, HF 2.0%~2.5%, 钝化温度40~50℃, 钝化时间2.0~2.5 min.

2. 期刊论文 [方晓英, 王卫国, 郭红, 张欣, 周邦新, FANG Xiaoying, WANG Weiguo, GUO Hong, ZHANG Xin, ZHOU Bangxin](#) [304不锈钢冷轧退火 \$\Sigma\$ 3n特殊晶界分布研究](#) -[金属学报](#)2007, 43(12)

采用电子背散射衍射(EBSD)技术研究了固溶处理的304不锈钢经6%~50%冷轧变形后在1173 K下进行长时间(24~96 h)退火后的晶界特征分布(GBCD). 结果表明, 经小变形(约6%)冷轧退火后的样品出现了较多的 Σ 3n(n=1, 2, 3)特殊晶界, 较好地隔断了大角度晶界网络的连通性. 通过基于EBSD的单一截面迹线法对共格和非共格 Σ 3晶界进行了区分测定, 显示被优化的晶界特征分布中, 非共格 Σ 3晶界是其主要部分. 进一步分析指出, 非共格 Σ 3晶界的迁移和反应与基于退火孪晶的中低层错能金属材料GBCD优化密切相关.

3. 学位论文 [张献东](#) [冷轧及退火工艺对304不锈钢组织性能影响](#) 2009

本文针对304和301冷轧板带材出现性能不稳定等问题, 通过成分、轧制工艺、退火工艺分析以及组织观测, 了解造成性能不稳定的原因, 并提出改进措施.

采用BP神经网络理论, 建立输入量为304不锈钢化学成分, 轧制和热处理工艺参数, 输出量为304不锈钢的材料性能的BP网络模型, 在大量学习样本的基础上, 结果表明该模型能够快速、准确、可靠地预测材料性能. 将该模型应用于实践, 能够很好的反映304不锈钢材料成分、冷轧和热处理工艺参数与其材料性能之间的关系, 以及各参数对材料性能的影响情况.

对一定厚度的304奥氏体不锈钢进行固溶退火, 通过对硬度、延伸率、屈服强度、抗拉强度、屈服比的测量, 以及金相组织的观测, 寻求最佳的退火工艺, 为实际生产提供依据.

4. 期刊论文 [季灯平, 毕洪运, Ji Dengping, Bi Hongyun](#) [304不锈钢中的夹杂物及其冷轧变形行为](#) -[宝钢技术](#) 2008, ""(3)

非金属夹杂物是引起冷轧板坯表面缺陷的主要原因. 分析了304不锈钢热轧板坯中非金属夹杂物的成分、形貌及尺寸. 对304热轧板坯进行不同压下量的轧制, 分析不同厚度冷轧板坯中的夹杂物形状和尺寸, 研究非金属夹杂物在板坯冷轧过程中的变形行为. 结果表明: 304热轧板坯中的夹杂物主要组成为CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃的复合氧化物, 为脆性夹杂物; 冷轧过程中, 夹杂物的塑性变形不明显, 随着冷轧压下量的增加, 大颗粒的夹杂物不断被轧碎, 板坯中夹杂物的平均尺寸逐渐减小.

5. 期刊论文 [王立新, Wang Lixin](#) [冷轧不锈钢-碳钢复合板弯曲裂纹的分析](#) -[特殊钢](#)2005, 26(4)

通过“爆炸+轧制”法生产的0.80~1.20 mm的304不锈钢-碳钢(Q235A, 08A1)-304不锈钢复合板的厚度比例为1:10:1, 该板在建筑门窗幕墙和日用炊具领域有广泛应用前景. 冷弯试样产生裂纹的分析结果表明, 基板含碳量高的Q235A钢(0.16%)比基板含碳量低的08A1钢(0.06%)出现裂纹的几率大, 并且钢中夹杂物、钢的晶粒度和热处理工艺均影响冷轧复合板的弯曲性能. 通过选择08A1钢为基层板, 控制1050℃热处理工艺, 使晶粒度级别≤8级, 可明显改善冷轧复合钢板的弯曲性能.

6. 会议论文 [季灯平, 雷锐戈, 季思凯, 毕洪运](#) [304不锈钢冷轧板山形鳞折缺陷的形成及分析](#) 2006

304不锈钢冷轧表面常出现山形“鳞折”缺陷, 严重影响了不锈钢产品的表面质量. 本文利用扫描电镜对缺陷部位进行了形貌和能谱分析. 结果表明: 氧化物的压入是该缺陷形成的主要原因. 通过调整和改进工艺, 大大降低了山形“鳞折”的发生率.

7. 学位论文 [罗鑫](#) [304不锈钢的晶界特征分布及其对应力腐蚀开裂的影响](#) 2009

304不锈钢材料的应力腐蚀开裂(StressCorrosionCrackingSCC)是该材料的主要失效形式之一, 可以通过改进结构设计、优化材料的热处理和控制环境介质等方法来解决这一难题. 但是, 当材料的使用环境和受力状态不能改变时, 如何从改变材料自身的显微组织来提高其抗SCC能力越来越受到人们的关注. 其中, 优化材料中的晶界特征分布能够发挥重要作用, 这也是提高结构件安全系数和增长使用寿命的另一途径.

包括304不锈钢在内的绝大部分工程材料都是多晶体. 多晶材料的很多性能与其显微组织及晶界特性有着非常紧密的联系, 如晶间腐蚀、断裂、合金及杂质元素的偏聚、蠕变等问题, 都会受到晶界结构特征的影响. 1984年Watanabe提出了晶界设计这种概念, 继而在上世纪90年代形成了“晶界工程

(GrainBoundaryEngineeringGBE)”这一研究领域。通过合适的形变及退火工艺，可以明显提高材料中的低 Σ CSL(CSL是“CoincidenceSiteLattice”的缩写，即重位点阵。低 Σ CSL是指 $\Sigma \leq 29$)晶界比例，优化其分布，就可以改善材料与晶界有关的多种性能。本研究通过控制304不锈钢材料的晶界特征分布(GrainBoundaryCharacterDistribution, GBCD)来提高该材料的抗SCC性能。

本工作应用光学显微镜(OpticalMicroscopeOM)、扫描电子显微镜(ScanningElectronMicroscopeSEM)、电子背散射衍射(ElectronBackscatterDiffractionEBSD)和取向成像显微技术(OrientationImagingMicroscopyOIM)研究了冷轧变形和热处理工艺对304不锈钢GBCD的影响，并仔细分析了显微组织特征。采用C型环恒定加载试样研究了晶界特征分布对该材料抗SCC性能的影响。

在低层错能面心立方金属304不锈钢中，低 Σ CSL晶界比例的提高是基于退火孪晶($\Sigma 3$)的形成，退火前的冷轧形变量在调整晶界特征分布中起关键作用。冷轧5%后再在1100℃退火5min可使304不锈钢的低 Σ CSL晶界比例提高到75%以上(按Palumbo-Aust标准统计)，这时形成了数百微米尺寸的“互有 $\Sigma 3n$ 取向关系晶粒的团簇”是其显微组织的重要特征($n=1, 2, 3, \dots$)。这种晶粒团簇的尺寸和内含 $\Sigma 3n$ 晶界的数量随冷轧形变量的增加而下降。再结晶形核密度和多重孪晶的发展是控制304不锈钢晶界特征分布的关键因素。形变量小，形核密度低致使再结晶晶核有充分的空间发展，再结晶晶核与形变基体之间的随机晶界有较长的迁移距离，在不断迁移的过程中就能不断产生退火孪晶，发生多重孪晶，从而发展出很长的孪晶链，形成了大尺寸的晶粒团簇，同时也提高了 $\Sigma 3n$ 晶界的比例。因此，小形变量冷轧后再在高温短时间再结晶退火可以明显提高低 Σ CSL晶界比例。形变量越大，形核密度就越高，使得晶粒团簇尺寸小， $\Sigma 3n$ 晶界比例也就低。

晶间腐蚀实验表明低 Σ CSL晶界比例较高的试样耐晶间腐蚀性能优于低 Σ CSL晶界比例较低的试样。采用C型环试样恒定加载，在酸化后沸腾的25%NaCl溶液中进行应力腐蚀的实验表明，低 Σ CSL晶界比例约为75%的样品在浸泡120h内没有发生应力腐蚀开裂，而低 Σ CSL晶界比例为47%的试样在浸泡24h后就产生了应力腐蚀裂纹。由断口形貌观察及EBSD分析表明，开始发生的晶间腐蚀会成为后来应力腐蚀开裂的裂纹源，应力腐蚀开裂由最初的沿晶转变为穿晶形式。低 Σ CSL晶界比例提高后的试样因其抗晶间腐蚀性能较好而抑制了应力腐蚀裂纹的萌生，使其抗应力腐蚀性能得到提高。

8. 期刊论文 [夏爽, 罗鑫, 周邦新, 陈文觉, 李慧, XIA Shuang, LUO Xin, ZHOU Bang-xin, CHEN Wen-jue, LI Hui](#) 304不锈钢中“晶粒团簇”显微组织的特征与晶界特征分布的关系 -电子显微学报2010, 29(1)

采用电子背散射衍射(EBSD)及取向成像显微(OIM)技术研究了冷轧变形量对再结晶后304不锈钢显微组织及晶界特征分布(GBCD)的影响。结果表明, 经过冷轧变形5%及高温(1 100℃)短时间(5 min)再结晶退火可将304不锈钢的低 Σ CSL($\Sigma \leq 29$)晶界比例提高到75%(Palumbo-Aust标准)以上, 并形成了大尺寸“互有 $\Sigma 3$ 取向关系晶粒的团簇”。这是提高低 Σ CSL晶界比例后显微组织的重要特征。对晶粒团簇中的晶粒进行孪晶链及取向孪晶链的分析, 可以确定晶粒团簇内任何两个晶粒之间的多重孪晶阶次。在一个被分析的团簇内, 观察到两个晶粒之间最高为 $\Sigma 38$ 取向关系。随着再结晶退火前冷轧变形量的增加, 晶粒团簇的尺寸减小, 同时低 Σ CSL晶界的比例也下降。

9. 期刊论文 [滕涛, 陈银莉, 赵爱民, 周欢, 汪淑英, Teng Tao, Chen Yinli, Zhao Aimin, Zhou Huan, Wang Shuying](#) 304不锈钢冷轧薄板表面线缺陷的形貌 -钢铁钎钛2007, 28(3)

研究了304不锈钢冷轧薄板表面出现的线缺陷的形貌, 采用光学显微镜和扫描电镜观察连铸板坯、热轧板带和冷轧板的微观组织, 分析冷轧板上线缺陷的微观形貌。结果表明, 冷轧304不锈钢板的线缺陷是一种微观“沟槽”, 在线缺陷沟槽边缘存在氧化膜, 有的氧化膜呈多层台阶式结构, 主要是铬和铁的氧化物, 某些氧化膜的边缘存在Mg、Ca、Al等元素。

10. 会议论文 [滕涛, 赵爱民, 李具仓, 胡玉亭, 汪淑英](#) 304不锈钢冷轧薄板表面线缺陷的形貌分析 2006

本文研究了304不锈钢冷轧薄板表面出现的线缺陷的形貌, 采用光学显微镜和扫描电镜观察连铸板坯、热轧板带和冷轧板的微观组织, 分析冷轧板上线缺陷的微观形貌, 结果表明, 冷轧304不锈钢板的线缺陷是一种微观“沟槽”, 在线缺陷沟槽边缘存在氧化膜, 有的氧化膜呈多层台阶式结构, 主要氧化铬和氧化铁, 某些氧化膜的边缘存在含Mg、Ca、Al等元素。

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_rjgg201008053.aspx
授权使用: 辽宁科技大学图书馆(lnkjts), 授权号: bd4cc726-3b2a-42d2-8b56-9e11015e9e0c
下载时间: 2010年10月16日