

退火温度对 0.2C-1.5Si-1.5Mn-(0.5Cu) TRIP 钢组织的影响

景财年 * 王作成 李长龙 罗 辉 李成美 刘一梅

(山东建筑工程学院材料系, 济南 250014; * 山东大学材料科学与工程学院, 济南 250061)

摘要 用彩色金相法、X-射线衍射、扫描电镜研究了成分(%)为 0.2C-1.5Si-1.5Mn 和 0.2C-1.5Si-1.5Mn-0.5Cu TRIP 钢 750~780 °C 不同退火温度对组织的影响。结果表明, 含 0.5% Cu TRIP 钢 750 °C、760 °C、780 °C 退火的残余奥氏体体积含量为 15.2%~17.2%, 770 °C 退火为 15.2%~15.7%; 不含 Cu TRIP 钢 760 °C 和 770 °C 退火的残余奥氏体体积含量分别为 12.5%~12.9% 和 14.6%~15.1%, 低于 750 °C 和 780 °C 退火的奥氏体量分别为 17.0%~17.5% 和 16.0%~16.4%。随退火温度由 750 °C 提高至 780 °C, 两种钢中的铁素体量由 ~70% 降至 ~50%, 贝氏体量由 ~10% 增至 ~30%。

关键词 TRIP 钢 退火温度 组织

Effect of Annealing Temperature on Structure of 0.2C-1.5Si-1.5Mn-(0.5Cu) TRIP Steel

Jing Cainian, * Wang Zuocheng, Li Changlong, Luo Hui, Li Chengmei and Liu Yimei

(Department of Materials, Shandong Institute of Architecture and Engineering, Jinan 250014;

* School of Materials Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061)

Abstract The effect of annealing temperature between 750 °C and 780 °C on structure of two TRIP steel - 0.2C-1.5Si-1.5Mn and 0.2C-1.5Si-1.5Mn-0.5Cu has been studied by color metallograph method, X-ray diffraction and scanning electron micrograph. The test results showed that for the TRIP steel containing 0.5Cu, the retained austenite volume fraction was 16.2%~17.2% when annealed at 750 °C, 760 °C and 780 °C and it was 15.2%~15.7% when annealed at 770 °C; and for free Cu TRIP steel, when annealed at 760 °C and 770 °C, the retained austenite volume fraction was 12.5%~12.9% and 14.6%~15.1% respectively which lower than that fraction - 17.0%~17.5% and 16.0%~16.4% when annealed at 750 °C and 780 °C respectively. With the annealing temperature increased from 750 °C to 780 °C the ferrite volume fraction in steel decreased from ~70% to ~50%, and the bainite volume fraction in steel increased from ~10% to ~30%.

Material Index TRIP Steel, Annealing Temperature, Structure

相变诱发塑性(TRIP)钢板由于组织中含有稳定的残余奥氏体,在变形过程中残余奥氏体向马氏体转变带来了相变强化和塑性增加,使其兼有高强度和高塑性的特点,应用前景广阔。将 TRIP 钢在临界区退火,并迅速冷却至贝氏体转变区等温,然后空冷至室温,可获得以铁素体为基体含有贝氏体和残余奥氏体的多相组织^[1,2]。

Girault^[3]等人使用 Lepera 试剂腐蚀试样区分出了各相组织,但要根据试样的化学成分调整 Lepera 试剂的成分和酸度,试剂在配制、浸蚀过程中要求十分严格,使用不方便。本试验以硫代硫酸钠为基的腐蚀剂对 TRIP 钢试样进行彩色金相制作,并结合 X 射线衍射、扫描电镜(SEM)等方法对其显微组织做出定量分析,从而得出不同的热处理工艺参数对各相组织体积含量的影响。

1 试验材料和方法

两种 TRIP 钢的临界转变温度由 Andrews^[4]公式算出,化学成分和临界转变温度如表 1 所示。钢材经真空熔炼,锻造后粗轧至 25 mm,在 900 °C 终轧温度热轧至 3 mm,热轧板经酸洗冷轧至 1 mm 厚的薄板。冷轧板用盐浴炉在两相区退火(750~780 °C 保温 5 min),然后快冷至贝氏体区(450 °C 保温 3 min)等温处理后空冷至室温。

表 1 3 mm TRIP 钢板的化学成分和临界点温度
Table 1 Chemical compositions and critical point of 3 mm TRIP steel sheet

钢号	成分/%				临界点/°C		
	C	Si	Mn	Cu	Ac ₁	Ac ₃	Ms
钢 1	0.2	1.5	1.5	0	750	886	410
钢 2	0.2	1.5	1.5	0.5			

彩色金相腐蚀剂用 24 g 硫代硫酸钠、2 g 氯化镉、3 g 柠檬酸在 100 ml 水中配成,先用 4% 硝酸酒精进行预腐蚀,再用彩色金相腐蚀剂浸蚀后在金相显微镜上观察并拍照,选取 20 个视场,用计点法确定试样各相显微组织的含量。扫描电镜试样用 4% 硝酸酒精浸蚀后观察。测量残余奥氏体的试样为防止表层组织影响测量结果,用砂轮将其打去,经金相砂纸磨光后抛光,用 10% 氢氟酸的双氧水溶液浸蚀后,在 X 射线衍射仪上用 Mo 靶测量残余奥氏体的含量。

2 试验结果讨论

室温下的 TRIP 钢以铁素体为基体,同时含有贝氏体和残余奥氏体^[5]。

采用本试验中的腐蚀剂时,硫代硫酸钠与氯化镉作用生成镉的硫酸盐,金属试样表面与硫代硫酸钠及柠檬酸反应产生金属离子和硫,试样金

属离子与硫代硫酸镉作用释放出镉离子,镉离子与硫结合在试样表面形成硫化物薄膜,通过这一系列的反应在试样表面产生了一定厚度的干涉膜,利用光的薄膜干涉效应,通过亮度差、色调差和颜色饱和度的差别来辨识不同组织,同时配合组织形貌可以精确地对铁素体、贝氏体和残余奥氏体进行鉴别,如图 1 所示。

图 1(a)为不含铜 1 号钢 750 °C 退火,大块铁素体基体为淡蓝色,亮黄色岛状组织为贝氏体,而分布于铁素体之间及之内的一些细小红褐色组织为残余奥氏体;图 1(b)为含 0.5% 铜 2 号钢 780 °C 退火,图中淡黄色为铁素体基体,暗黄色密集小岛为贝氏体团,分布于铁素体之间或在铁素体内的条状及团状组织为蓝色的残余奥氏体。对比两图可清楚的看出在 750 °C 退火时铁素体成大块且连续,随退火温度的提高,在 780 °C 退火时贝氏体数量增多,铁素体已被贝氏体分割,晶粒变小。

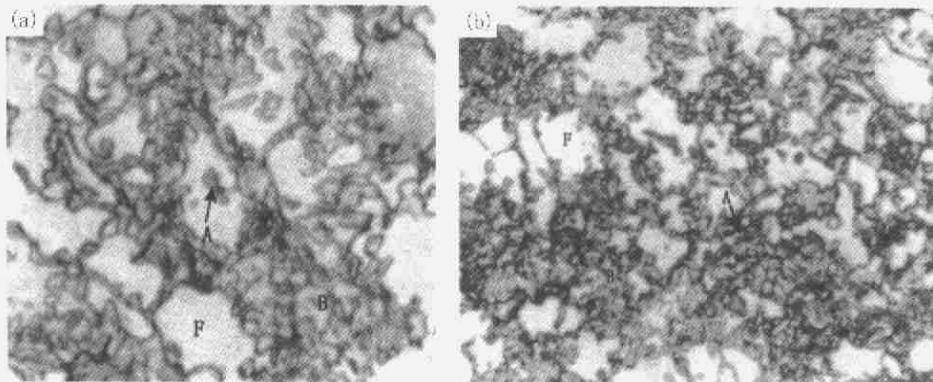


图 1 彩色金相法显示的 TRIP 钢板组织 $\times 1000$: (a) 钢 1 (不含 Cu) 750 °C 退火; (b) 钢 2 (含 0.5% Cu) 780 °C 退火; A- 残余奥氏体, B- 贝氏体, F- 铁素体

Fig. 1 Structure of TRIP steel sheet revealed by color metallograph method $\times 1000$: (a) steel No. 1 (free Cu), annealed at 750 °C, (b) steel No. 2 (containing 0.5% Cu), annealed at 780 °C; A- retained austenite, B- bainite, F- ferrite

从两试样的扫描电镜图 2 中,可见铁素体以块状为主,也有少量条状铁素体存在,薄膜状残余奥氏体在条状铁素体之间,大多数残余奥氏体以小岛状和铁素体及贝氏体共存,少数分布在铁素体基体中,贝氏体大多成圆粒状。经 X 射线衍射和彩色定量金相法测定的两钢板中残余奥氏体中的含量见表 2,对比两组数据可知定量金相法的结果同 X 射线衍射的结果相符,可以用定量金相法来研究 TRIP 钢中各相的含量。

退火温度影响碳元素和其它溶质元素的再分配,同时也影响奥氏体的稳定性^[6]。

钢板中铁素体和贝氏体体积含量随临界退火

温度的变化如图 3。两试样中铁素体的含量都在 750 °C 有最大值,随退火温度的升高铁素体含量逐渐降低,在 780 °C 达到最小值。贝氏体的含量随退火温度的变化同铁素体相反,随温度的升高而升高,在 780 °C 达到最大值。在 750 °C 退火时,处于临界温度,铁素体的含量多,碳在奥氏体中的聚集度大,在相同的贝氏体等温处理时形成较少的贝氏体含量;在 780 °C 退火时,温度已在两相区,奥氏体的含量升高,同时奥氏体的稳定性降低,在贝氏体等温处理时形成较多的贝氏体,结果是铁素体含量随退火温度的升高而减少,贝氏体量随退火温度的升高而增加。

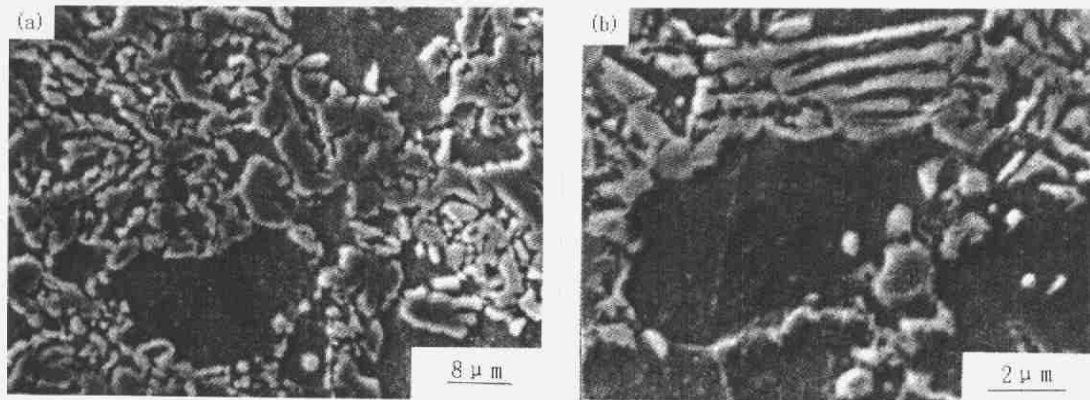


图 2 TRIP 钢板显微组织的 SEM 形貌:(a) 钢 1(不含 Cu)750 °C 退火,(b) 钢 2(含 0.5% Cu)780 °C 退火;A-残余奥氏体,B-贝氏体,F-铁素体

Fig.2 Morphology of structure of TRIP steel sheet, SEM: (a) steel No1 (free Cu), annealed at 750 °C, (b) steel No2 (contained 0.5Cu), annealed at 780 °C; A- retained austenite, B- bainite, F- ferrite

表 2 不含 Cu(钢 1)和含 0.5% Cu(钢 2) TRIP 钢板中残余奥氏体的含量/%

Table 2 Volume fraction of retained austenite in free Cu (Steel 1) and 0.5Cu (Steel 2) TRIP steel sheet /%

钢号	测试方法	750 °C	760 °C	770 °C	780 °C
钢 1	X 射线衍射	17.5	12.5	14.6	16.0
	定量金相	17.0	12.9	15.1	16.4
钢 2	X 射线衍射	16.7	17.0	15.2	16.8
	定量金相	16.2	16.6	15.7	17.2

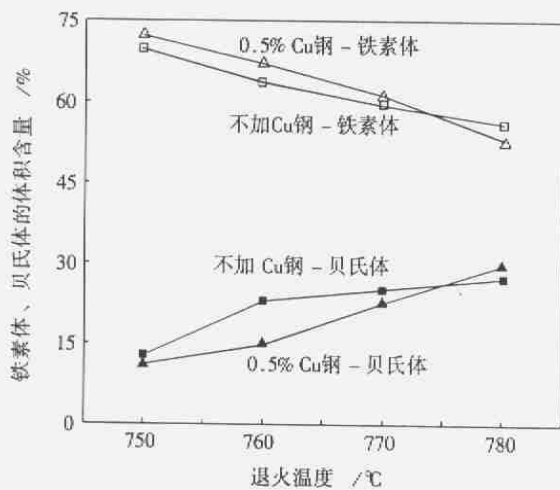


图 3 退火温度对 TRIP 钢板中铁素体、贝氏体体积分量的影响

Fig.3 Effect of annealed temperature on volume fraction of ferrite and bainite in TRIP steel sheet

要获得性能优异的 TRIP 钢板必须使钢板中的组织含量得到合理配比,研究临界退火温度对 TRIP 钢中各相组织的影响,确定各相组织随退火温度的变化规律,用以制定正确的工艺参数以获得合格的产品。

3 结论

(1) 用彩色金相法,以硫代硫酸钠为基的侵蚀剂可清晰的分辨 TRIP 钢中的铁素体、贝氏体和残余奥氏体,是研究多相组织的一种有效方法。

(2) 对于冷轧热处理 TRIP 钢,钢板中铁素体的体积含量随临界退火温度的升高而降低,贝氏体和残余奥氏体的含量随退火温度的升高而升高,但残余奥氏体的升高幅度不大。

参考文献

- 1 Fischer F D, Reisner G, Werner E, et al. A New View on Transformation Induced Plasticity (TRIP). International Journal of Plasticity, 2000(16): 723
- 2 Jacques P, Girault E, Catlin T, et al. Bainite Transformation of Low Carbon Mn-Si TRIP-Assisted Multiphase Steels: Influence of Silicon Content on Cementite Precipitation and Austenite Retention. Materials Science and Engineering, 1999, A(273-275): 475-479
- 3 Girault E, Jacques P, Harlet P. Metallographic Methods for Revealing the Multiphase Microstructure of TRIP-Assisted Steels. Materials Characterization, 1998(40): 111
- 4 Andrew K W. Empirical Formulae for the Calculation of Some Transformation Temperature. Journal of the Iron and Steel Institute, 1965, 203: 721
- 5 Kim S J, Lee C G, Chol I, et al. Effects of Heat Treatment and Alloying Elements on the Microstructures and Mechanical Properties of 0.15 Wt Pct C Transformation-induced Plasticity-Aided Cold-Rolled Steel Sheets. Metallurgical and Materials Transactions A, 2001(32A): 505
- 6 Zhao L, Moreno J, Kruijver S, et al. Influence of Intercritical Annealing Temperature on Phase Transformations in a High Aluminium TRIP Steel. De Cooman B C. Int. Conf. on TRIP-Aided High Strength Ferritic Alloys. Aachen: WMG, 2001: 141

景财年,男,31岁,讲师,博士研究生。主要从事新钢种的开发和研究工作。

收稿日期:2004-10-11