热模拟工艺对 V 微合金化双相钢的相变 及组织影响

王银凤¹,何宜柱²,苏世怀³,胡学文³

(1. 安徽工程科技学院 机械工程系, 安徽 芜湖 241000; 2. 安徽工业大学 材料科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243000;3. 马鞍山钢铁股份有限公司, 安徽 马鞍山 243000)

摘 要:利用 Gleeble3500 热模拟试验机,结合光学显微镜,研究 V 微合金化热轧双相钢在不同控轧控冷条 件下的相变行为及组织演变规律。结果表明,变形温度为 850 °C、变形量为 50%时,不同冷却速度和保温温度下的 组织均由铁素体、贝氏体和马氏体组成。第二相的体积分数随冷却速度的增加而增加,随保温温度的升高而降低, 冷却速度的变化比保温温度的变化对第二相体积分数的影响大。最佳冷却速度应控制在 5 ~25 °C/s。

关键词:双相钢;微合金化;相变

中图分类号:TG146.4⁺13 文献标识码:A 文章编号:1001-3814(2009)18-0012-04

Effect of Thermal-mechanical Simulation Processing on Transformation and Microstructure of V Micro-alloyed Dual Phase Steel

WANG Yinfeng¹, HE Yizhu², SU Shihuai³, HU Xuewen³

(1. Deptartment of Mechanical Engineering, Anhui College of Technology and Science, Wuhu 241000, China; 2. College of Material Science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243000, China; 3. Maanshan Iron and Steel Co., Ltd., Maanshan 243000, China)

Abstract: Transformation and microstructure of V micro-alloyed dual phase steel under different process parameters were studied using Gleeble3500 thermal-mechanical simulation and optical microscope. The experimental results show that the microstructure with different cooling rates and holding temperature is all composed of ferrite, bainite and martensite when the deformation temperature is 850 °C and reduction of 50%. At the same holding temperature, the second-phase fraction increases with the increase of cooling rate. While at the same cooling rate, the second-phase fraction decreases with the increase of holding temperature. The influence of cooling rate is bigger than that of holding temperature. The best cooling rates should be controlled at 5 \sim 25 °C/s.

Key words: dual phase steel; micro-alloying; transformation

双相钢具有低屈强比、连续屈服、强度高、延 展性好等特点,已经成为高强度成型性好的新型 冲压用钢^[1-2]。双相钢的主要组成部分为铁素体+ 马氏体^[3],较新型的双相钢还有铁素体+贝氏体、 铁素体+贝氏体+少量马氏体组织^[4]。

热轧双相钢是通过控轧控冷的方式直接获得 双相组织,控轧控冷工艺是提高钢强度等力学性 能的重要途径^[5]。在低碳钢中添加微量 V、Ti、Nb 等微合金元素,有抑制多边形铁素体相变,在轧后 连续冷却时获得贝氏体组织的作用。这些微量元 素的碳氮化物的沉淀析出,起到了细化晶粒和沉 淀强化的效果⁽⁶⁾。

目前生产的热轧双相钢主要含有 Mo 和 Cr 等合金元素,但由于 Mo 的价格昂贵,添加 Mo 增 加了钢的成本。为了节约合金元素,降低钢的成 本,本文研究的实验钢为 V 微合金化热轧双相 钢。通过在实验室模拟 CSP 线对实验钢进行轧 制,利用 Gleeble3500 热模拟试验机,研究实验钢 在不同控轧控冷条件下的相变行为及组织演变规 律,为实际生产提供最佳的轧制工艺。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料

实验钢在马钢技术中心的 1t 中频炉中冶炼,

收稿日期:2009-03-09

基金项目:安徽省国际科技合作计划项目(07080703002);安徽工程 科技学院青年基金资助项目(2007YQ029)

作者简介:王银凤(1979-),女,安徽砀山人,讲师,硕士,主要从事材 料组织性能研究;电话:0553-2871253; E-mail:wyfxzf@sina.com

其化学成分 (质量分数,%)为:0.042C,0.46Si, 1.49Mn,0.014P,0.0056S,0.074V,0.000136N。采用扁 锭模浇注,扁锭模最终设计尺寸为 70 mm×220 mm× 450 mm。然后对实验钢钢锭进行锻造,先在箱式 炉中加热至 1100~1150 °C,再在 560 kg 的空气锤 上进行锻造,锻造成宽 120 mm、厚 15 mm 的钢 板。将钢板切至合适的大小,进行固溶处理,固溶 处理工艺为:1150 °C 保温 25 min,用 5%的盐水淬 火。固溶处理的目的是使合金元素固溶于基体中, 为热模拟试验做准备。将固溶处理后的钢板加工 成如图 1 所示的热模拟试样。



1.2 实验方法

利用 Gleeble3500 热模拟试验机,对实验钢 在压缩变形量为 50%时,以不同的速度冷却到不 同温度下保温(卷取)时的相变行为及组织演变规 律进行研究。用 JMaTPro 软件计算热轧的温度参 数,确定开轧温度应该控制在 1070℃,终轧温度 控制在 850℃。热模拟工艺如图 2 所示。试样编号 如表 1 所示。





Tab.1 The sample No. of thermal-mechanical simulation

试样	变形量 (%)	保温温度 /℃	冷却速度 /(℃・s ⁻¹)	试样	变形量 (%)	保温温度 /℃	冷却速度 /(℃·s ⁻¹)
1#	50	400	5	6#	50	500	25
2#	50	450	5	7#	50	400	50
3#	50	500	5	8#	50	450	50
4#	50	400	25	9#	50	500	50
5#	50	450	25				

2 实验结果

图 3 为变形温度 850 ℃、变形量 50%、冷却 速度 5 ℃/s、不同保温温度下相变的金相组织形 貌。可以看出,不同的保温温度下都得到了铁素 体、马氏体、贝氏体组织,为了计算方便在进行第 二相体积分数统计时把非铁素体组织都归为第二 相,经统计计算,1[#]、2[#]、3[#]试样中第二相的体积分



图 3 在 850 ℃变形 50 %、冷速为 5 ℃/s、不同保温温度下相变组织形貌 Fig.3 Optical microstructure under different holding temperature at 850 ℃reduction of 50 % and cooling rate of 5 ℃/s 数分别为 8.9%、7.4%、5.7%。

图 3(a)、(b)、(c)为 4%硝酸酒精腐蚀的金相组 织形貌,图 3(d)、(e)、(f)为 Lepera 试剂腐蚀的金相 组织形貌。通过对比图 3 中不同试剂腐蚀的照片 可以发现,硝酸酒精腐蚀的照片中,只显示了黑白 两种颜色,黑色的组织往往被误认为是珠光体,但 经 Lepera 试剂金相腐蚀后发现,黑色组织实际上 是贝氏体和马氏体的混合组织,且 1[#]试样中的贝 氏体居多,3[#]试样中的马氏体居多。 图 4 为变形温度 850 ℃、变形量 50%、冷却 速度25℃/s、不同保温温度下相变的金相组织形 貌。可以看出,冷却速度为 25℃/s 时,不同的保温 温度下相变的组织均由铁素体、贝氏体和少量的 马氏体组成,其第二相的含量随保温温度的升高 而减少,4[#]、5[#]、6[#] 试样中第二相的体积分数分别为 35.7%、30.6%、23.3%。

图 5 为变形温度 850 ℃、变形量 50%、冷却速度 50 ℃/s、不同保温温度下相变的金相组织形



Fig.4 Optical microstructure under different holding temperature at 850°C reduction of 50% and cooling rate of 25°C/s



图 5 在 850℃变形 50%、冷速为 50℃/s、不同保温温度下相变组织形貌 Fig.5 Optical microstructure under different holding temperature at 850℃ reduction of 50% and cooling rate of 50℃/s

貌。可以看出,当冷却速度为 50 ℃/s 时,不同的保 温温度下相变的组织均由铁素体、贝氏体和少量 的马氏体组成,7[#]、8[#]、9[#]试样第二相的体积分数分 别为 64.5%、62.1%、41.7%。

3 结果分析

双相钢的组织是在软的铁素体基体上分布着 硬质的岛状第二相(贝氏体/马氏体)。贝氏体/马 氏体赋予材料强度,铁素体赋予材料塑性和韧性, 其特点是具有高的抗拉强度,低的屈强比,无屈服 点延伸,高塑性,优良的深冲性能,良好的成型性 和高的加工硬化能力。要使双相钢具有上述优良 的性能,第二相的体积分数应该在 5%~30%^[7]。

由图 6 可看出,变形温度为 850 ℃、变形量为 50%时,在相同的保温温度下,第二相的体积分数

随冷却速度的增加而增加;在相同的冷却速度下, 第二相的体积分数随保温温度的升高而降低。

从图 6 还可看出,冷却速率的变化比温度的变 化对第二相体积分数的影响更大。冷却速度为 5 ℃/s 时,保温温度 400 ℃时的第二相体积分数比保温





温度 500℃时增加了 3.2%; 冷却速度为 25℃/s 时,保温温度 400℃时的第二相体积分数比保温 温度 500℃时增加了 12.4%; 冷却速度为 50℃/s 时,保温温度 400℃时的第二相体积分数比保温 温度 500℃时增加了 22.8%。而保温温度400℃时, 冷却速度为 50℃/s 时的第二相体积分数比 5℃/s 时增加了 55.6%;保温温度 450℃时,冷却速度为 50℃/s 时的第二相体积分数比 5℃/s 时增加了 54.7%;保温温度 500℃时,冷却速度为50℃/s 时 的第二相体积分数比 5℃/s 时增加了 36%。这说 明实际生产时只要选择合适的冷却速度,保温(卷 取)温度可在较大范围内波动。

双相钢中,最佳第二相的体积分数为 5%~ 30%^[7],图 6 中的阴影部分示意了其区域范围,冷 却速度为 5 $^{\circ}C/s$,不同保温温度下的第二相体积 分数均满足要求,但趋于下限,对提高强度不利, 冷却速度为 25、50 $^{\circ}C/s$ 时,第二相的体积分数偏 大,对降低屈强比不利。因此冷却速度应该控制在 5~25 $^{\circ}C/s$ 。

4 结论

(1) 变形温度为 850 ℃、变形量为 50%时, 不同冷却速度和保温温度下的组织均由铁素体、 贝氏体和马氏体组成。

(2) 在相同的保温温度下,第二相的体积分数随冷却速度的增加而增加;在相同的冷却速度下,第二相的体积分数随保温温度的升高而降低。

(上接第11页)C方式的 ECAP 变形,累积等效真 应变达到4,获得了平均晶粒尺寸约为0.3μm的大 角度晶界超细晶铁素体组织。C方式 ECAP 变形 时,第1道次的组织细化和强化效果最为显著,随 变形道次的增加晶粒的取向差增大。

(2) 实验用钢经 4 道次 ECAP 变形后的抗拉 强度达到 895 MPa,比原始试样的抗拉强度提 高 60%,并保持了较好的塑性,其伸长率达到 12.4%。

参考文献:

 Ferrasse S, Segal V M, Hartwig K T, et al. Development of a submicrometer grained microstructure in aluminum 6061 冷却速率的变化比保温温度的变化对第二相体积 分数的影响更大。

(3) 变形温度 850 ℃、变形量 50%的情况下, 当冷却速度为 5 ℃/s 时,不同保温温度下的第二 相体积分数均满足要求,但趋于下限,对提高强度 不利;当冷却速度为 25、50 ℃/s 时,第二相的体积 分数偏大,对降低屈强比不利。因此冷却速度应该 控制在 5~25 ℃/s。

参考文献:

- Fallahi A. Microstructure-properties correlation of dual phase steels produced by controlled rolling process [J]. Journal of Materials Technology, 2002, 18:451-454.
- [2] Al-Abbasi F M, Nemes J A. Micromechanical modeling of dual phase steels [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2003, 45: 1449-1465.
- [3] Rocha R O, Melo T M F, Pereloma E V, et al. Microstructural evolution at the initial stages of continuous annealing of cold rolled dual-phase steel [J]. Materials Science and Engineering, 2005, A391:296-304.
- [4] Tiwary S K. 塔塔钢公司热轧双相钢的开发 [J]. 鞍钢技术,2004,5:63-66.
- [5] 胡燕慧,杜林秀,高彩茹,等. 500 MPa 级超级钢工业实验[J]. 钢铁,2004,39(10):54-58.
- [6] 吴红艳,杜林秀,薛文颖,等. 变形工艺对 V、Ti 微合金钢
 连续冷却相变的影响[J]. 钢铁钒钛,2006,27(1):6-11.
- [7] De Cosmo M, Galantucci L M, Tricarico L. Design of process parameters for dual phase steel production with strip rolling using the finite-element method [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1999, 92-93;486-493. III

using equal channel angular extrusion [J]. J. Mater. Res., 1997, 12:1253-1261.

- [2] Shin H D, Pak J J, Kim Y K, et al. Effect of pressing temperature on microstructure and tensile behavior of low carbon steels processed by equal channel angular pressing [J]. Mater. Sci. Eng., 2002, A323:409-415.
- [3] Shih M H, Yu C Y, Kao P W. Microstructure and flow stress of copper deformed to large plastic strains[J]. Scripta. Mater., 2001, 45(7):793-799.
- [4] Zhang K, Alexandrov I V, Valiev R Z, et al. Structural characterization of nanocrystalline copper by means of X-ray diffraction[J]. J. Appl. Phys., 1996,80(10):567-568.
- [5] 冯广海. 45 钢 ECAP 变形及组织细化研究[D]. 西安:西 安建筑科技大学硕士研究生论文,2004. 🔣