

冷轧变形量对 Mn13 耐磨钢组织和性能的影响

张宇斌 张志波

(山西太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003)

摘要 采用拉力试验、金相检验、X-射线衍射分析(XRD)和透射电镜(TEM)研究了冷轧变形量(12.7%~38.3%)对耐磨钢 Mn13(成分:0.98C,0.45Si,13.1Mn,0.024P,0.002S,0.65Cr,0.06Mo,0.05V)7.0~10.0 mm 板力学性能、组织和相对导磁率的影响。结果表明,随着冷轧变形量增加,Mn13 钢的强度、表面硬度及屈服比等明显增加,当变形量由0增加至38.3%时,钢的抗拉强度、表面硬度(HB)值和屈服比分别由1 030 MPa,305 和0.50 提高至1 450 MPa,460 和0.79,同时伸长率由28%降至2.5%。加工硬化过程中,没有发生马氏体转变,形变孪晶的数量和位错密度增加,大量的形变孪晶、高密度位错是 Mn13 钢产生加工硬化的主要原因。

关键词 Mn13 耐磨钢 冷轧压下率 力学性能 变形孪晶

Effect of Percent Reduction of Cold-Rolling on Structure and Properties of Wear-Resistant Steel Mn13

Zhang Yubin and Zhang Zhibo

(Technology Center, Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The effect of percent reduction of cold-rolling (12.7%~38.3%) on mechanical properties, structure and relative permeability of 7.0~10.0 mm plate of wear-resistant steel Mn13 (composition: 0.98C, 0.45Si, 13.1Mn, 0.024P, 0.002S, 0.65Cr, 0.06Mo, 0.05V) has been studied by using tensile test, metallographic examination, X-ray diffraction analysis (XRD) and transmission electron microscope (TEM). Results show that with increasing percent reduction of cold-rolling the steel Mn13 tensile strength, surface hardness and yield strength to tensile strength ratio increase obviously, with increasing the percent reduction of cold-rolling from 0 to 38.3%, its tensile strength, HB value of surface hardness and ratio of yield strength to tensile strength increase respectively from 1 030 MPa, 305 and 0.50 to 1 450 MPa, 460 and 0.79, and the elongation decreases from 28% to 2.5%. During work-hardening process martensite transformation has not been occurred, the amount of deformation twins and the dislocation density increase, and the large amount deformation twins and high density dislocation are main cause led to work-hardening of steel Mn13.

Material Index Wear-Resistant Steel Mn13, Percent Reduction of Cold-Rolling, Mechanical Properties, Deformation Twins

Mn13 钢的主要特点是当表面经受较大应力、冲击力或摩擦力时,迅速产生加工硬化,表面硬度急剧升高^[1-3],目前已有多种解释高锰钢的加工硬化机制理论,如位错强化理论^[4]、形变孪晶硬化理论^[5]、动态应变时效硬化理论^[6]、形变诱发马氏体相变硬化理论^[6]、Fe-Mn-C 原子团硬化理论^[7]等。Mn13 钢广泛用作球磨机衬板、颚式破碎机齿板及履带板。

Mn13 钢在高速冲击载荷下所表现出的高耐磨性能,一般认为与高速冲击载荷下磨损表面形成的纳米晶和非晶态组织有关^[8],但在中低冲击载荷或磨粒磨损工况条件下,由于磨损接触面没有足够高的表面冲击能量,不能达到充分的加工硬化,使高锰钢未能表现出较高的耐磨性。

本文采用国内唯一的单机架2 300 mm 高强度宽幅冷轧机对固溶状态的 Mn13 热轧中板原料进行不同冷轧变形量轧制试验,研究不同冷轧变形量下 Mn13 钢的力学性能变化及组织演变规律。

1 试验材料及方法

试验材料化学成分为(成分):0.98C,0.45Si,13.1Mn,0.024P,0.002S,0.65Cr,0.06Mo,0.05V。原料厚度为11.35 mm,坯料经固溶处理、酸洗后,冷轧成厚度为10.0~7.0 mm 的冷轧板(表1)。

采用水切割试验机,把试验材料加工成拉伸、硬度、金相及磁导率试样。根据 GB/T228.1-2010《金属材料室温拉伸试验方法》、GJB937-1990《弱磁材

表1 Mn13 耐磨钢的成品规格和冷轧变形量
Table 1 Finishing production size and percent reduction of cold-rolling, wear-resistant steel Mn13

序号	原规格/mm	成品规格/mm	变形量(ϵ)/%
1	11.35	7.0	38.3
2	11.35	7.5	33.9
3	11.35	8.0	29.5
4	11.35	8.5	25.1
5	11.35	9.0	20.8
6	11.35	9.5	17.0
7	11.35	10.0	12.7

料磁导率的测量方法》和 GB/T231.1-2009《金属布氏硬度试验方法》等标准要求,在 ZWICK/FOE-LL300KN 电子拉伸试验机、NM2000ES 弱磁钢测量仪及 HB-3000 布氏硬度计等设备上分别进行了力学性能、硬度及磁导率性能检测。

将金相试样磨平抛光后采用 4% 硝酸酒精溶液腐蚀后在莱卡 DM4000 金相显微镜下观察了试样的组织;同样方法取样,经机械减薄并电解双喷后获得金属薄膜样品在 JEM2100 透射电镜下观察微观形貌;并利用金相试样在 Ray-12X(Co 靶)光衍射仪下测试了钢中的马氏体含量。

2 试验结果及讨论

2.1 冷轧变形量对 Mn13 钢性能的影响

对试样进行力学和工艺性能检测,结果如图 1 所示。

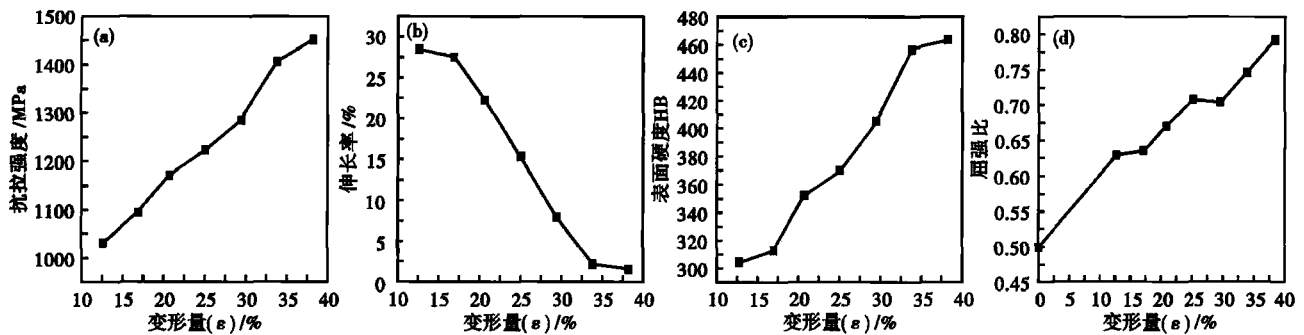


图1 变形量对 Mn13 耐磨钢抗拉强度(a),伸长率(b),表面硬度(c)和屈服比(d)的影响

Fig.1 Effect of deformation on tensile strength (a), elongation (b), surface hardness (c) and ratio of yield strength to tensile strength (d) of wear-resistant steel Mn13

Mn13 热轧板经固溶处理后,组织为单一的奥氏体(图 2a),表面硬度基本保持在 HB190 左右,屈服比接近 0.50,断后伸长率均在 50% 以上。随着冷轧变形量增加,硬度与强度呈现明显提高、伸长率呈现明显降低的趋势。当变形量接近 30% 时,伸长率降低到 10% 以下,此时硬度值提高到 HB400 以上。从变化趋势来看,当形变量接近 35% 时,表面硬度 HB 变化趋于缓慢,变形量对表面硬度的影响减弱。另外,随着变形量的增加,屈服比($R_{p0.2}/R_m$)呈现逐渐增加趋势,由热轧板时的接近 0.50 提高到 0.79,表明钢中变形组织对性能的影响越来越大。

2.2 冷轧变形量对 Mn13 钢组织的影响

Mn13 钢热轧板固溶态组织为典型的奥氏体组织形态,晶界平直且清晰(图 2a)。随着冷轧变形量的增加,奥氏体晶粒的变形程度逐步加大,晶粒边界

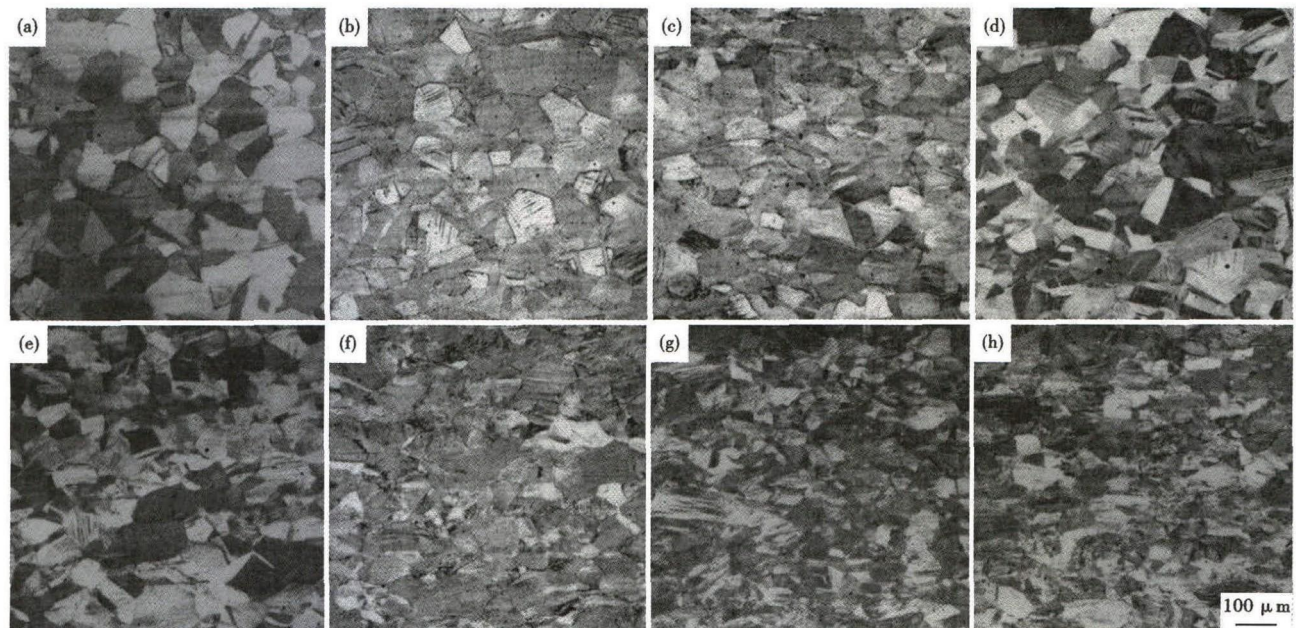


图2 冷轧变形量(/%):0(a),12.7(b),17(c),20.8(d),25.1(e),29.5(f),33.9(g),38.3(h)时 Mn13 钢板的组织形貌

Fig.2 Morphology of structure of steel Mn13 plate with percent reduction of cold-rolling (/%):0(a),12.7(b),17(c),20.8(d),25.1(e),29.5(f),33.9(g),38.3(h)

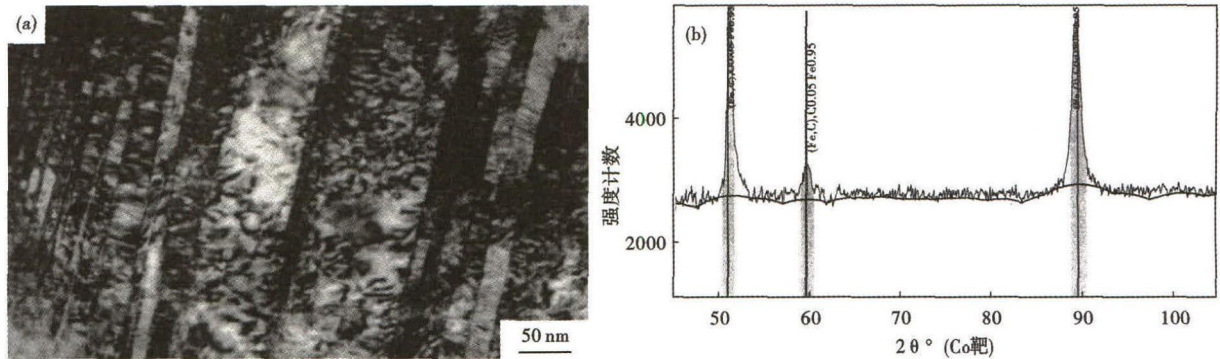


图 3 冷轧变形量 ε 为 38.3% Mn13 钢板的组织形貌,TEM(a)和 X-射线衍射图谱(b)

Fig. 3 Morphology of structure of steel Mn13 plate with 38.3% cold-rolling reduction ε , TEM (a) and X-ray diffraction diagram (b)

变的不规则,界面增多,已看不到完整的奥氏体晶粒,晶粒沿轧向拉扁拉长呈现出明显的方向性[图 2(b)~(h)]。

图 3(a)为冷轧变形量 ε 为 38.3% 下的透射电镜(TEM)形貌。组织中出现了许多平直的形变孪晶,孪晶束之间存在大量的位错,由此可见,形成大量的形变孪晶及高密度的位错是 Mn13 钢产生加工硬化的主要原因^[11]。

2.3 变形量 $\varepsilon = 38.3\%$ 下钢中马氏体含量测试及相对导磁率性能

通常认为,Mn13 钢加工硬化过程伴随诱发马氏体转变^[9-10]。对冷轧变形量 $\varepsilon = 38.3\%$ 的试样,利用

表 2 磁场强度 16 000 A/m 时 Mn13 耐磨钢冷轧板的导磁率
Table 2 Relative permeability of wear-resistant steel Mn13 cold-rolled plate with magnetic field strength 16 000 A/m

序号	规格/mm	变形量(ε)/%	相对导磁率/ μ_r
1	7.0	38.3	1.10
2	7.5	33.9	1.09
3	8.0	29.5	1.09
4	8.5	25.1	1.09
5	9.0	20.8	1.08
6	9.5	17.0	1.09
7	10.0	12.7	1.07

参考文献

- [1] 赵振东. 浅论高锰钢的硬化及其性能改善[J]. 建筑机械, 1998(9): 35-37.
- [2] 石德珂, 刘军海. 高锰钢的变形与加工硬化[J]. 金属学报, 1989, 25(6): 282-285.
- [3] 杨芳, 丁志敏. 耐磨高锰钢的发展现状[J]. 机车车辆工艺, 2006(6): 6-9.
- [4] 许云华, 袁善良, 罗勤业, 等. 高能量冲击接触载荷下高锰钢磨损机理的研究[J]. 热加工工艺, 2000(1): 10-12.
- [5] 张旺峰, 陈瑜眉. 低层错能奥氏体钢的变形硬化特点[J]. 材料工程, 2000, 14(6): 25-27.
- [6] Shun T, Wan C M, Byrne J G. A Study of Work Hardening in Austenitic Fe-Mn-C and Fe-Mn-Al-C Alloys[J]. Acta Metallurgica Et Materialia, 1992, 40(12): 3407-3412.
- [7] Somekawa H, Osawa Y, Mukai T. Effect of Solid-Solution Strengthening on Fracture Toughness in Extruded Mg-Zn Alloys[J]. Scripta Materialia, 2006, 55(7): 593-596.
- [8] 许云华, 熊建龙, 武宏, 等. 高能量冲击载荷下高锰钢的耐磨性[J]. 材料研究学报, 2000, 14(6): 665-669.
- [9] 赵欣, 张恒, 王庆良, 等. 热轧高锰钢 Mn13 的冲击磨料磨损性能研究[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2014, 29(4): 61-66.
- [10] 储凯, 傅建. ZGMn13 钢形变诱发马氏体相变及在锤击件上的应用[J]. 机械工程材料, 2000, 24(5): 52-53.
- [11] 武宏, 许云华, 霍群英, 等. 轧制变形对 Mn13 组织及性能的影响[J]. 热加工工艺, 2006, 35(22): 20-22.

X 光衍射仪测试了钢中马氏体含量(图 3b)。同时, 对不同冷轧变形量的试样测试了磁场强度 A 为 16 000 A/m 下的相对导磁率性能(表 2)。

测试结果为:(1)钢中不含马氏体相;(2)相对导磁率值较低,符合顺磁性材料的磁性特征。表明 Mn13 钢在变形量 ε 接近 40% 的冷加工硬化过程中,没有诱发马氏体转变。

3 结论

(1)随着冷轧变形量的增加,表面硬度与强度均呈现明显提高,伸长率呈现明显降低的趋势。当变形量接近 30% 时,表面硬度 HB 值可提高到 HB400 以上。当形变量接近 35% 时,变形量对表面硬度的影响减弱。另外,随着冷轧变形量的增加,屈强比($R_{p0.2}/R_m$)明显增加,钢中变形组织对性能的影响越来越大。

(2)随着冷轧变形量增加,奥氏体组织形态由原来的晶界平直且清晰逐渐变得不规则、界面增多,形变孪晶数量及位错密度增加。在变形量 ε 接近 40% 的冷加工硬化过程中,没有诱发马氏体转变。大量的形变孪晶、高密度位错是 Mn13 钢产生加工硬化的主要原因。

张宇斌(1972-),男,工程师,1996 年太原理工大学(本科)毕业,高锰钢工艺研究。E-mail: zhangyb@tisco.com.cn

收稿日期:2016-01-13