

Study on Microstructure and Mechanical Properties of Ultrafine-Grained 45 Steel

Xin Zhao

The Six Department, Zhengzhou Institute of Aeronautics, Zhengzhou
Email: zhaoxin@zzia.edu.cn

Received: Jun. 26th, 2014; revised: Jul. 7th, 2014; accepted: Jul. 14th, 2014

Copyright © 2014 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In order to produce ultrafine-grained steel, 45 steel was quenched and warm-rolled. The total reduction was 50%. The microstructural evolution during the process was studied by using an optical microscope and a transmission electron microscopy. The properties were investigated by using tensile tests. The starting microstructure was lath martensite with a small amount of flake martensite. The microstructure of the specimen compressed at 600°C - 700°C was nano-carbides + equiaxed ultrafine ferrite grains and a good combination of strength and ductility was obtained. The tensile strength and total elongation were 646 - 861 MPa and 21.51% - 9.1%, respectively.

Keywords

Ultrafine Grain, Steel, Microstructure, Mechanical Property

超细晶45钢的制备及其组织与力学性能的研究

赵 新

郑州航空工业管理学院六系, 郑州
Email: zhaoxin@zzia.edu.cn

收稿日期: 2014年6月26日; 修回日期: 2014年7月7日; 录用日期: 2014年7月14日

摘 要

为了制备超细晶粒钢, 将45钢淬火后进行了温轧。总变形量为50%。采用光学显微镜和透射电子显微镜

研究了这一过程中的微观组织演变。原始组织是板条马氏体组织 + 少量的片状马氏体。试样在600℃~700℃变形后的微观结构是纳米碳化物 + 等轴超细晶铁素体,具有良好的综合力学性能,强度和塑性分别达到了646~861 MPa和21.5%~19.1%。

关键词

超细晶, 钢, 微观组织, 力学性能

1. 引言

为了生产超细/纳米晶材料,前苏联学者 R.Z. Valiev 提出了剧烈塑性变形(SPD)技术,并给出了 SPD 应满足的主要条件:相对低的变形温度、大塑性变形量和变形体内承受高压。在此原则指导下,已开发了多种剧烈塑性变形工艺,如高压扭转,等通道角挤压,多向锻造和多重累积轧焊[1]-[3]。这些工艺均具有强烈的细化晶粒的能力,甚至可以将晶体加工成非晶体。然而,SPD 工艺通常是比较复杂的,所以它们很难被应用到实际生产中。最近,本作者发明一种简单的不需要 SPD 的方法——冷轧板条马氏体法生产纳米结构钢[4]。由于在室温下轧制板条马氏体变形抗力较大,冷轧有一定难度,因此考虑改进冷变形工艺为温变形。本文研究了新工艺制备的超细晶钢的微观组织和性能。

2. 材料与方法

45 钢的化学成分(质量百分数): 0.45%C, 0.24%Si, 0.60%Mn, 0.009%P 和 0.018%S, 其余为 Fe。在温变形之前,试样在 840℃的盐浴炉中保温 30 分钟,然后用盐水冷却到室温。一些淬火试样沿轴向剖切,利用光学显微镜(OM)和透射电子显微镜(TEM)观察组织特征。其余试样的轧制变形温度是 600℃, 650℃和 700℃。变形速率是 10^{-2} s^{-1} 。高度方向上压缩 50%。纵向切割被压缩的试样,然后在 H800 显微镜上观察组织,操作电压为 200 千伏。对于每一个试样,用截线法至少测量 TEM 暗场图像中 250 个晶粒。根据文献[5]设计的拉伸试样如图 1 所示,拉伸实验在在 Gleeble 3500 热模拟试验机上进行,变形速率为 $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。

3. 结果与讨论

图 2 显示了淬火态试样的微观组织。如图 2(a)所示,在光学金相照片中以板条马氏体为主,同时也可以观察到少量的片状马氏体。图 2(b)TEM 像表明宽度为 300 纳米的马氏体板条中含有大密度的位错。

图 3 显示了在 600℃下轧制试样的 TEM 微观组织。很明显这种显微结构不同于原始的结构。平均直径为 38 纳米的纳米碳化物均匀地析出在图 3 中。在大部分区域形成了回火马氏体如图 3(a)所示。有时也可观察到平均直径为 380 纳米的等轴超细铁素体晶粒(图 3(b))。清晰的晶界包围着超细晶粒。

图 4 显示了在 650℃下轧制试样的 TEM 微观组织。纳米碳化物的平均粒径长大到 60 纳米。在图 4(a)中等轴超细铁素体晶粒的平均直径是 900 纳米。但是,晶粒的尺寸不均等。在图 4(b)中可以观察直径是 2.3 微米的晶粒。

如在图 1 中所示,本加工过程开始时微观组织主要是板条马氏体。板条马氏体是一种被若干大角度晶界分开的细粒度结构。它有三个层次结构的形态:1) 板条状,单晶马氏体,包括高密度的晶格缺陷;2) 块状,具有相同晶体取向的聚集板条(变体);3) 束状,具有相同的惯面的聚集块。以往的研究表明,83%的团块边界和马氏体束边界是大角度边界。因此,在奥氏体向马氏体的相变期间,奥氏体晶粒分为几个束,一束细分成若干块,这个过程可视作为一个快速晶粒细化的过程。

在温轧变形期间,塑性变形诱导马氏体之间小角度晶界成为大角度晶界。因此,轧制变形 50%后,

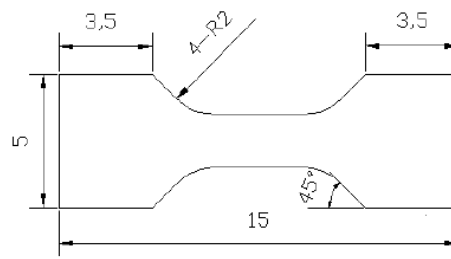


Figure 1. Dimension of the mini-specimen for tensile tests

图 1. 拉伸试样尺寸图

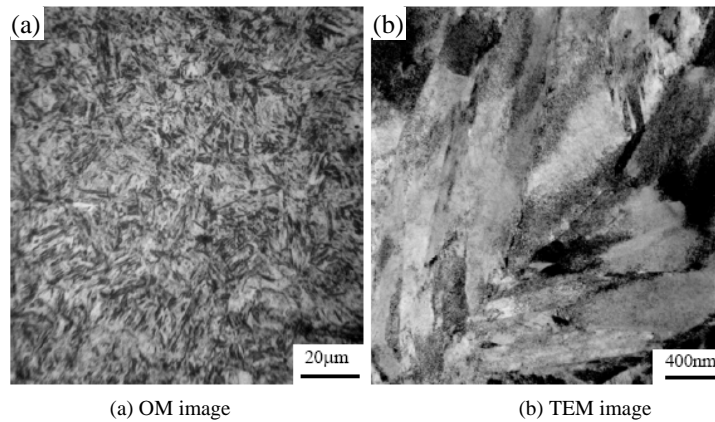


Figure 2. Microstructure of as-quenched 45 steel

图 2. 淬火态试样微观组织

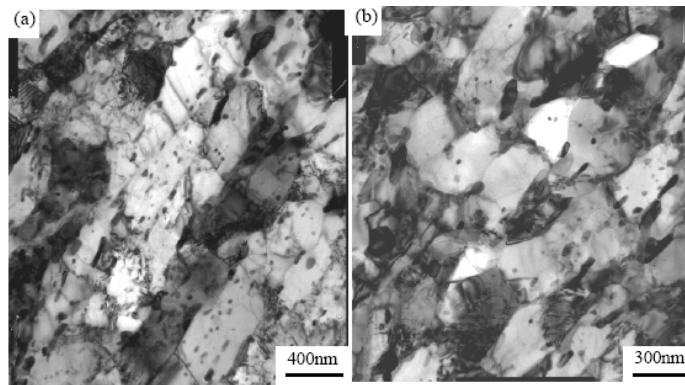


Figure 3. TEM microstructure of the specimen rolled at 600°C

图 3. 600°C 轧制试样的 TEM 微观组织

绝大多数马氏体边界变成了大角度晶界如图 2 所示。如果变形温度足够高，大角度晶界将会移动，发生动态再结晶如图 3 和图 4 所示。但是，轧制变形过程时间很短，动态再结晶来不及完成。因此，动态再结晶晶核来不及长大，保留下来形成超细晶组织。

图 5 是超细晶试样的拉伸曲线。与我们前期采用板条马氏体冷轧法制备的超细晶钢[6]相比，图 5 中的拉伸曲线具有明显的屈服平台和加工硬化现象。说明采用温轧工艺制备的超细晶粒钢具有较好的塑性。拉伸实验的具体结果列于表 1。从表中可以看出随着轧制温度上升，制备的超细晶试样的强度下降，而塑性增加。这是由于随着变形温度升高，制备试样的晶粒尺寸增大(如图 3 和图 4 所示)而引起的。

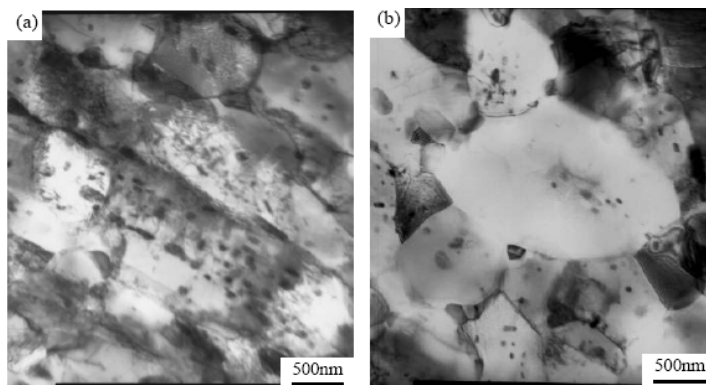


Figure 4. TEM microstructure of the specimen rolled at 650°C
图 4. 650°C 轧制试样的 TEM 微观组织

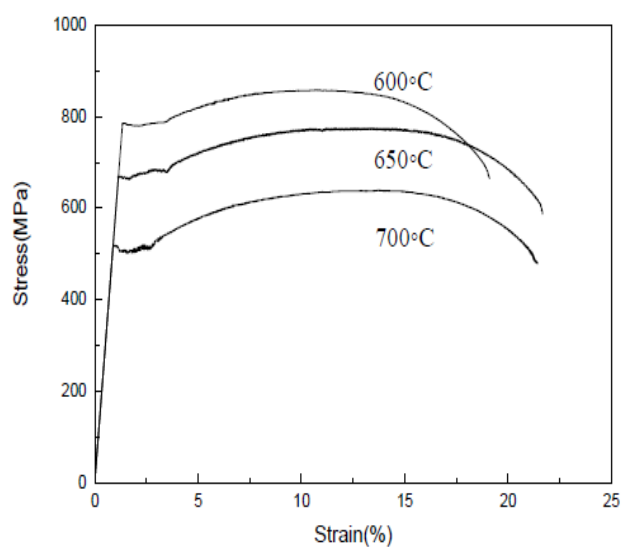


Figure 5. Stress-strain curves of the specimens rolled at various temperatures
图 5. 超细晶试样的拉伸曲线

Table 1. Mechanical properties of ultrafine-grained 45 steel
表 1. 超细晶 45 钢的力学性能

试样制备温度	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ (%)
600°C	861.2	777.3	19.1
650°C	775.0	687.5	21.3
700°C	646.3	503.7	21.5

4. 结论

1) 在 600°C~700°C 制备试样的微观组织是等轴超细铁素体晶粒 + 纳米碳化物, 这两相的尺寸随变形温度的提高而增大。晶粒细化的机制是不完全的动态再结晶。

2) 在 600°C 制备的超细晶 45 钢具有最佳的综合力学性能, 抗拉强度和伸长率分别为 861.2 MPa 和 19.1%。

基金项目

国家自然科学基金钢铁联合基金资助项目(50271060, 50371074)。

参考文献 (References)

- [1] Estrin, Y. and Vinogradov, A. (2013) Extreme grain refinement by severe plastic deformation: A wealth of challenging science. *Acta Materialia*, **61**, 782-817.
- [2] Lin, Z.J., Wang, L.Q., Xue, X.B., et al. (2013) Microstructure evolution and mechanical properties of a Ti-35Nb-3Zr-2Ta biomedical alloy processed by equal channel angular pressing (ECAP). *Materials Science and Engineering: C*, **33**, 4551-4561.
- [3] Alizadeh, M., Paydar, M.H., Terada, D., et al. (2012) Effect of SiC particles on the microstructure evolution and mechanical properties of aluminum during ARB process. *Materials Science and Engineering: A*, **540**, 13-23.
- [4] Zhao, X., Jing, T.F., Gao, Y.W., et al. (2005) Annealing behavior of nano-layered steel produced by heavy cold-rolling of lath martensite. *Materials Science and Engineering: A*, **397**, 117-121.
- [5] 初瑞清, 董翰 (2000) 微型拉伸试样的设计及其在高性能管线钢研究中的应用. *金属学报*, **6**, 626-629.
- [6] Jing, T.F., et al. (2006) Nanocrystalline steel processed by severe rolling of lath martensite. *Materials Science and Engineering: A*, **432**, 216-220.