

室温等径角挤压后共析珠光体钢的组织特性

赵军 王宝忠 王振华 赵德利 傅万堂

(亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室,燕山大学材料科学与工程学院,秦皇岛 066004)

摘要 用扫描电镜(SEM)、透射电镜(TEM)和X-射线衍射(XRD)方法研究了0.78C-1.03Cr共析珠光体钢 $\Phi 8\text{ mm} \times 45\text{ mm}$ 试样两道次室温等径角挤压后所产生的显微组织变化。结果表明,一道次等径角挤压变形后,共析珠光体组织,由渗碳体不规则弯曲片层、直接剪断片层和局部变薄层组成。随变形道次增加,发生局部变薄与不规则弯曲珠光体片层比例加大,并且还引起渗碳体的部分溶解。

关键词 共析珠光体钢 等径角挤压 渗碳体

Feature of Structure of Eutectoid Pearlitic Steel After Equal Channel Angular Pressing at Ambient Temperature

Zhao Jun, Wang Baozhong, Wang Zhenhua, Zhao Deli and Fu Wantang

(State Key Laboratory of Metastable Materials Science and Technology, College of Materials Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

Abstract The evolution of structure of 0.78C-1.03Cr eutectoid pearlitic steel $\Phi 8\text{ mm} \times 45\text{ mm}$ sample with two pass equal channel angular pressing at ambient temperature has been studied by scanning, transmission electron microscope and X-ray diffraction method. Results showed that after one pass equal channel angular pressing, the deformed eutectoid pearlitic structure consisted of cementite irregularly bent lamellae, sheared breaking lamellae and locally thinned lamellae. With pass number increasing the proportion of locally thinned lamellae and irregularly bent lamellae increased, and partial cementite dissolved.

Material Index Eutectoid Pearlitic Steel, Equal Channel Angular Pressing, Cementite

近年来,已有不少有关共析珠光体钢超细化工艺的研究与应用^[1-5]。本试验着重研究室温等径角挤压变形(ECAP)对共析珠光体钢组织的影响,以开发基于等径角挤压及渗碳体活用的高性能共析钢加工技术。

1 试验材料与方法

试验钢经中频感应炉熔炼,其化学成分(%)为:0.78C,1.03Cr,0.34Mn,0.05Si,0.005S,0.008P。钢锭经850℃30min奥氏体化,炉冷至600℃,保温20min后空冷至室温,获得完全珠光体组织,再加工成 $\Phi 8\text{ mm} \times 45\text{ mm}$ 的等径角挤压试样。

等径角挤压试验在30t挤压机上进行(图1)。第1道次挤压后的试样沿其长轴顺时针旋转90°,再进行第2道次挤压。用MoS₂作润滑剂,挤压速度为0.12mm/s,每次挤压耗时约180s。

用D/max 2500型X射线衍射仪测定珠光体铁素体点阵常数,管电压为40kV,管电流为40mA,采用CuK_{α1}($\lambda = 0.15406\text{ nm}$)辐射,接收狭缝宽为2

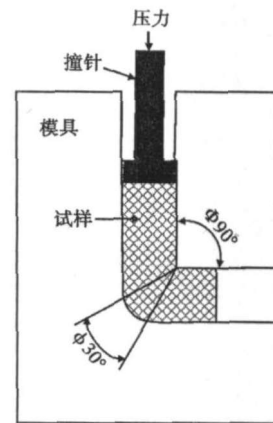


图1 等径角挤压模具示意图

Fig. 1 Schematic of equal channel angular pressing die

mm,各衍射峰的准确位置用半高宽定峰方法确定。

2 试验结果及讨论

2.1 室温等径角挤压试验

从图2可见,试样端部经挤压,形状已由圆形演变成马蹄形,但横截面尺寸在变形前后基本上没有

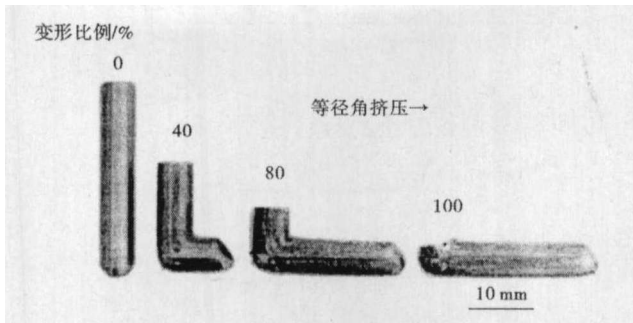


图2 等径角挤压不同阶段试样外貌

Fig.2 Morphology of sample at different stages in equal channel angular pressing

改变。公式(1)为多道次等径角挤压后等效应变 ϵ_N 的计算公式^[6]。

$$\epsilon_N = \frac{N}{\sqrt{3}} \left[2 \cot \left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\varphi}{2} \right) + \varphi \operatorname{cosec} \left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\varphi}{2} \right) \right] \quad (1)$$

式中: N -挤压道次; Φ 和 φ -分别为模具通道内交角与外交角。

将本试验模具的通道角参数代入式(1),算得1道次应变为1.02,2道次应变为2.04。根据Lee等的研究^[7],真应变1.02的变形量相当于冷轧57%的变形量,真应变2.04的变形量相当于冷轧83%的变形量。因此本试验单道次等径角挤压获得的变形量,与大压下量冷轧(57%)变形量相当。

2.2 室温等径角挤压前后珠光体组织变化

等径角挤压前,试验用钢的显微组织为片层状珠光体(图3),平均片层间距约为0.5 μm 。

等径角挤压处理使珠光体片层发生塑性变形和不规则弯曲(图4)。1道次等径角挤压变形后的珠光体具有以下3个特征:(1)直接剪断,即平行排列的渗碳体片在接近垂直于自身的剪切应力作用下被剪断(图4a);(2)局部变薄,即在剪切变形中局部区域的渗碳体片被拉薄(图4b),类似于拉伸过程中的集中变形(颈缩);(3)不规则弯曲,渗碳体片发生

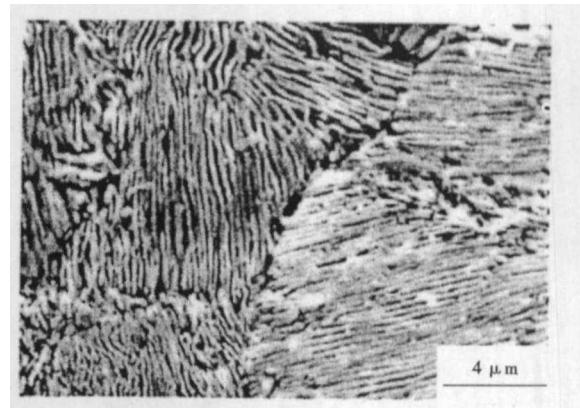


图3 原始珠光体组织形貌,SEM

Fig.3 Morphology of initial pearlite structure, SEM

波纹状不规则弯曲变形,而且层与层之间基本保持协同变形(图4c)。2道次等径角挤压变形后的珠光体,仍保持着与1道次变形大体相近的组织特征,且局部变薄与不规则弯曲特征更加突出(图4d)。此外,经过2道次ECAP处理,局部变薄的渗碳体片比例加大,但珠光体形貌仍保持着与1道次变形大体相近的组织特征。

重度冷轧后的珠光体变形不够均匀,既有不规则弯曲,又有局部发生剪切变形,还有片层更加致密,而且随着轧制压下率的提高,精细片层型的珠光体组织不断增多。然而室温等径角挤压过程属于纯剪切变形^[8],尽管珠光体并没有出现类似精细片层型组织,但两种变形中渗碳体均表现出非常好的塑性变形能力。

2.3 室温 ECAP 变形过程中珠光体组织的微细变化

由图5可见,与未变形的试样相比,等径角挤压变形态试样的铁素体峰位明显左移(图5a),这与Dong Hyuk Shin等^[9]的研究结果相一致。图5(a)表明,珠光体中铁素体因固溶碳含量增加而点阵常数增大。经计算,当变形量达到2.04时,铁素体点阵常数达到0.28708 nm,该值与用Fasiska和

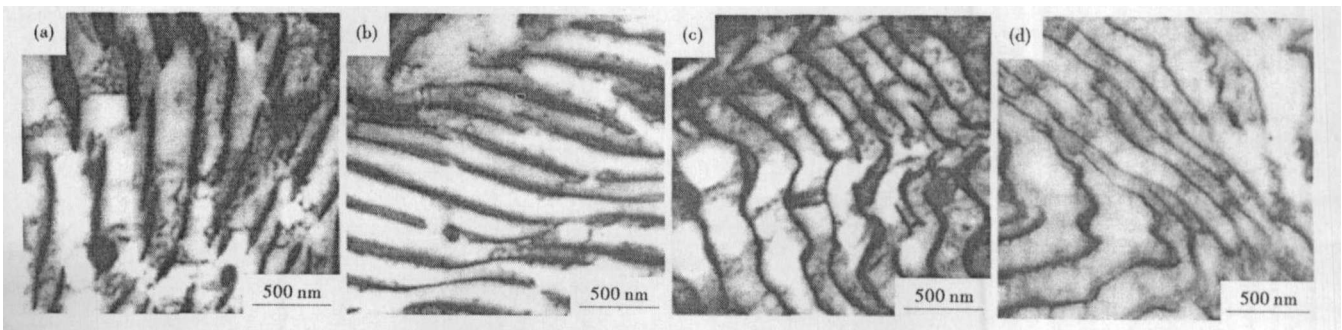


图4 等径角挤压后的珠光体形貌,TEM:1道次-(a)、(b)和(c);2道次-(d)

Fig.4 Morphology of pearlite after equal channel angular pressing, TEM: (a), (b), (c) after one pass; (d) after two pass

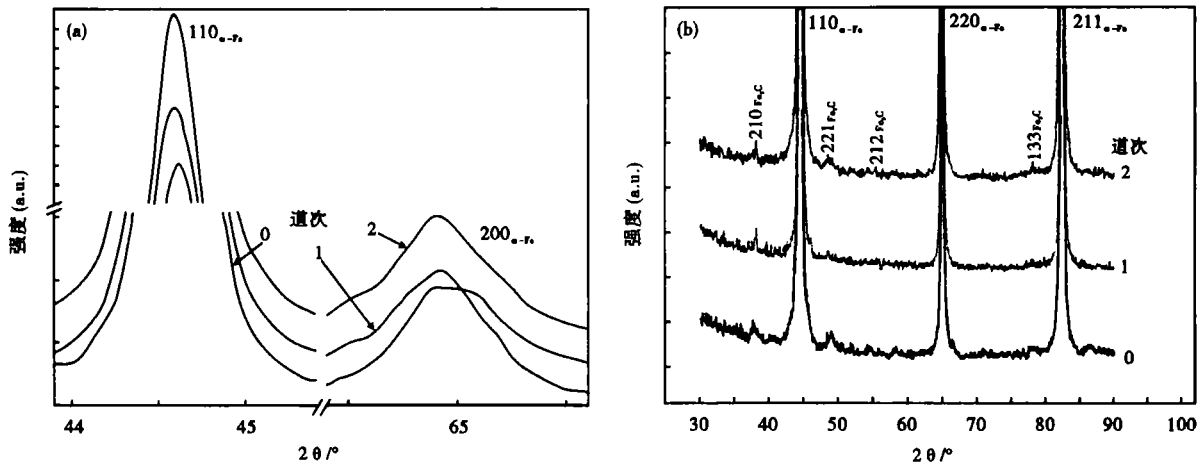


图 5 等径角挤压引起 α -Fe XRD 峰位置(a)和 Fe_3C XRD 峰强度(b)的变化

Fig. 5 Change of XRD peak position of α -Fe (a) and peak intensity of Fe_3C (b) induced by equal channel angular pressing

Wagenblast^[10] 给出的关系计算的铁素体中含有 0.14% (质量分数) 的碳基本一致, 这与珠光体钢板重度冷轧过程及珠光体钢丝的重度冷拔过程相似, 而且随着变形量的增加, 变形珠光体中渗碳体的溶解量也增多, 故多道次等径角挤压变形不但能引起渗碳体的溶解, 且其溶解程度直接影响到随后热处理过程中这类钢的力学性能。

Nam 等^[11] 用 Mössbauer 谱方法测定了 0.81C-0.4Mn-0.2Si 钢中珠光体渗碳体的体积分数随拔制应变的变化关系, 根据他们的试验结果, 拔制真应变为 0.91 和 2.32 时, 所对应的渗碳体体积分数分别约为 9.6% 和 8.5%。假定在拔制变形引起渗碳体溶解后, 这些碳原子都随机地分布到铁素体中, 那么可以计算出, 经上述冷拔变形后铁素体中的平均碳含量(质量分数)将分别达到 0.81% 和 0.28%。显

然, 冷拔变形后珠光体铁素体中的碳含量已经过饱和。在本研究中, 0.91 和 2.32 的冷拔真应变分别与 1、2 道次等径角挤压取得的真应变相近, 这也从另一角度进一步证实室温等径角挤压变形能够引起渗碳体的溶解, 而由此造成的铁素体碳含量过饱和将对共析珠光体钢产生强烈的固溶强化效应。

3 结论

室温等径角挤压变形后, 共析珠光体钢的组织不够均匀, 主要由不规则弯曲片层、直接剪断片层以及局部变薄片层组成。而且, 随着变形量的增大, 发生局部变薄及不规则弯曲片层变形区域比例加大。此外, 两道次室温等径角挤压变形, 不但使珠光体中渗碳体产生严重塑性变形, 而且还使其发生部分分解。

国家自然科学基金资助项目(50471102)

参考文献

- 1 Sun Shuhua, Xiong Yi, Fu Wantang, et al. Microstructure Changes of Eutectoid Pearlitic Steel during Cold Rolling. *Acta Metallurgica Sinica*, 2005, 41(3):267
- 2 Maki T. Microstructure and Tensile Property of Ultra-fine (Ferrite + Cementite) Structure in High Carbon Steels. *CAMP-ISIJ*. 2001, 14:550
- 3 Fu Wantang, Xiong Yi, Zhao Jun, et al. Microstructural Evolution of Pearlite in Eutectoid Fe-C Alloys during Severe Cold Rolling. *J. Mater. Sci. Technol.* 2005, 21(1):25
- 4 Furuhashi T, Mizoguchi T, Maki T. Ultra-fine ($\alpha + \theta$) Duplex Structure Formed by Cold Rolling and Annealing of Pearlite. *ISIJ International*, 2005, 45(3):392
- 5 Wang Jingtao, Huang Junxia, De Zhongze, et al. Ultrafine Grained Materials III Edited by Zhu Y T, Langdon T G, Valiev R Z, et al. *TMS (The Minerals, Metals & Materials Society)*, 2004:673
- 6 Yoshinori Iwahashi, Wang Jingtao, Zenji Horita, et al. Principle of Equal Channel Angular Pressing for the Processing of Ultra-fine Grained Materials. *Scripta Materialia*, 1996, 35(2):143
- 7 Lee J C, Seok H K, Suh J Y. Microstructural Evolutions of the Al Strip

- Prepared by Cold Rolling and Continuous Equal Channel Angular Pressing. *Acta Materialia*. 2002(50):4005
- 8 Segal V M. *Materials Processing by Simple Shear*. *Materials Science and Engineering A*. 1995(197):157
- 9 Dong Hyuk Shin, Inyoung Kim, Jongryoul Kim, et al. Grain Refinement Mechanism during Equal Channel Angular Pressing of a Low Carbon Steel. *Acta Mater.* 2001(49):1285
- 10 Fasiska E J, Wagenblast H. *Trans TMS-AIME*, 1967, 239:1818
- 11 Wong Jong Nam, Chul Min Bae, Sei J Oh, et al. Effect of Interlamellar Spacing on Cementite Dissolution during Wire Drawing of Pearlitic Steel Wires. *Scripta Materialia*, 2000, 42:457

赵 军(1975-), 男, 博士研究生, 从事金属材料加工工艺与组织性能控制方面研究。

收稿日期: 2007-05-28