

0.75C 共析钢压缩变形时的组织演变

张淑兰 孙新军 董瀚

(钢铁研究总院结构材料研究所,北京 100081)

摘要 通过 Gleeble 2000 和 1500 热模拟试验机,研究了 0.75C 共析钢珠光体和过冷奥氏体在压缩变形过程中的组织演变。试验结果表明,试样以 10 °C/s 加热至 700 °C 3 min 进行 60% 压缩变形,钢中珠光体片层发生断裂、破碎;试样加热至 1 150 °C 1 min 奥氏体化后以 20 °C/s 冷却至 700 °C,压缩变形 60%,在变形作用下,钢中部分过冷奥氏体转变成细片层珠光体。

关键词 共析钢 奥氏体 珠光体 变形

Structure Evolution of 0.75C Eutectoid Carbon Steel during Reduction Deformation

Zhang Shulan, Sun Xinjun and Dong Han

(Institute of Structure Materials, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The structure evolution of pearlite and overcooling austenite of 0.75C eutectoid carbon steel during compression has been studied by Gleeble 2000 and 1500 thermal simulation machines. The test results showed that as sample heated with 10 °C/s to 700 °C for 3 min than carried out 60% reduction, the lamellar pearlite in steel broke up and fractured; and as sample heated to 1 150 °C for 1 min for austenitization than cooled with 20 °C/s to 700 °C and reduced by 60%, the partial overcooling austenite in steel transformed to fine lamellar pearlite under effect of deformation.

Material Index Eutectoid Steel, Austenite, Pearlite, Deformation

共析碳钢良好的性能是通过铅浴淬火改善其微观组织而得到的,近几年的研究表明,拉伸变形可以改善材料的可拉伸性,增加总的变形量有利于省略铅浴淬火热处理,而钢丝的强度水平不会下降。

1 实验材料和方法

实验选用的材料为共析碳钢,材料成分为(%) : 0.75C、0.26Si、0.66Mn、0.002S、0.007P, Fe 为基体。共析钢经过退火后加工成直径为 8 mm、长度为 12 mm 的圆柱试样。通过使用 Thermal-Calc 软件计算得到的 A_1 点为 725 °C, A_3 点为 729 °C。通过 Gleeble 2000 试验机测出钢以 20 °C/s 冷却时的 Ar_3 点为 550 °C。在 Gleeble 1500D 试验机上进行热压缩实验,具体的实验方法为:

(1) 将钢以 10 °C/s 加热至 700 °C,保温 3 min,由于 A_1 点为 725 °C,所以此时得到的结构为珠光体,然后压缩变形 60%,研究高温珠光体结构在变形作用下的组织转变规律。

(2) 将试样加热至 1 150 °C,保温 1 min,奥氏体化后以 20 °C/s 冷却至 700 °C,由于 Ar_3 点为 550 °C,此时的结构为过冷的奥氏体;再进行压缩变形 60% 后淬火,研究过冷奥氏体微观组织在变形作用

下的变化。

将所有处理后的试样用线切割的方法沿圆柱中心的纵截面切开,研磨、抛光后在 3% 的硝酸酒精溶液中进行腐蚀,用扫描电镜观察微观组织,研究在变形作用下的微观结构转变过程。另外通过显微硬度实验测量不同微观组织的显微硬度,载荷为 100 g。

2 实验结果及分析

2.1 珠光体压缩变形时的组织变化

冷拔钢丝是珠光体钢的一个重要应用,许多学者对冷拔过程的微观结构演变过程和机理进行了研究^[1-5],结果发现渗碳体在变形的作用下能够溶解。共析钢在 700 °C 保温 3 min 后为珠光体组织,变形 60% 后的微观组织如图 1(a) 所示。发现珠光体片层发生了断裂,部分珠光体片层向同一个方向弯曲,弯曲的方向和外力作用的方向有关。另外还可以发现,渗碳体不仅仅发生了断裂,而且形成了细小球状渗碳体颗粒。从图 1(a) 可看出有些渗碳体颗粒达到了纳米级别。这类似于上面提到的冷拔钢丝中渗碳体分解^[5]的微观结构,但是所不同的是低温下珠光体中片层断裂需要较大的应变量和外力,而且实验大多数是在拉拔的情况下进行,需要较大的能量。

而本实验是在较高温度下进行的,也能够形成细小的渗碳体颗粒。

根据图 1(a)可以总结在变形的作用下球状渗碳体的形成有两个步骤,首先是在外力的作用下,渗碳体片层断裂,然后在外力的作用下尖角处渗碳体

的碳原子继续运动,在这个过程中片层结构逐渐消失,形成细小的结构,最后变为球状。可以推测,随着压下量的增大,将会有越来越多的渗碳体发生断裂,即片层状的渗碳体数量减小。

珠光体中片层的渗碳体相对于球状的渗碳体来

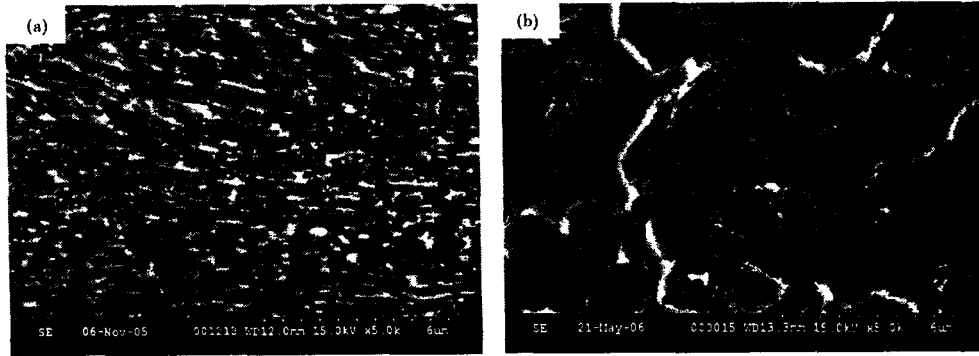


图 1 共析钢组织形貌,SEM:珠光体在 700 °C 变形 60% 后淬水(a);过冷奥氏体在 700 °C 变形 60% 后淬水(b)

Fig. 1 Structure morphology of eutectoid steel, SEM: (a) pearlite deformed at 700 °C with 60% reduction and quenched; (b) overcooling austenite deformed at 700 °C with 60% reduction and quenched

说为亚稳结构,在 A_1 温度附近长时间保温就会使片层状的渗碳体转变为球状渗碳体。从本实验的结果也可以看出,在高温下变形也可以使渗碳体达到近似于球化的效果,而且有些渗碳体颗粒非常细小,这减少了长时间退火的工序,节约了能量。另外,球状渗碳体的形成有利于提高共析钢的超塑性性能,关于这方面的研究还有待深入。

2.2 过冷奥氏体组织在外力作用下的转变

试样自 1 150 °C 奥氏体化后以 20 °C/s 冷却至 700 °C,微观组织为过冷的奥氏体,即奥氏体还没有发生相变,压缩变形 60% 后,试样内部变形后的微观组织如图 1(b)所示,可以看出变形后产生了一些新相,新相为类似于片层状珠光体。但是某些部位的片层还不是很清晰,这是因为碳原子扩散很不充分所致。而有些部位的片层形状很不规则,这可能是由于淬水造成的,因而可以推断在变形过程中发生了珠光体相变。在无变形的作用下,共析钢过冷奥氏体淬水后的试样应为马氏体,而在变形的作用下,在淬水后冷却的微观组织中观察到了珠光体相的存在,它类似于变形诱导铁素体相变^[6-9]。在变形的过程中产生相变,变形为相变提供驱动力,促进相变的发生。而且在变形的作用下形成的珠光体片层间距较小。

因为在 700 °C 变形后产生的珠光体相的数量还比较少,大量的过冷奥氏体还没有发生相变,而在生

产实际中需要得到全部的珠光体组织。因而本实验研究了变形后冷却过程中微观组织的变化。

根据变形诱导相变理论,变形温度越高,在等变形量的变形过程中,产生相的数量就越少,所以本实验方案为 1 150 °C 奥氏体化后以 20 °C/s 冷却至 750 °C 和 800 °C 变形 60%,变形后以 20 °C/s 冷却至 400 °C,观察在变形过程中基本不发生相变的情况下,变形对冷却过程中相变的影响。

得到的组织如图 2 所示,由图 2 可见,在冷却至 400 °C 后,奥氏体均发生了相变,没有观察到马氏体相的存在,已经发生完全相变。变形温度越低的样品(750 °C)冷却后的珠光体领域越小,而且有些部位形成了细小的渗碳体颗粒如图 2(a)中箭头处所示。低温变形产生的珠光体领域较小与变形过程中产生的亚结构有关,因为变形温度越低,变形应力越大,亚结构的尺寸就越小,因而冷却过程中,在亚结构处形核使得珠光体领域的大小有差异。细小的渗碳体颗粒形成,可能是因为在变形过程中发生了珠光体相变。形变诱导生成的珠光体不稳定,在冷却过程中就演变为粒状的渗碳体加铁素体微观结构。另外在 800 °C 变形后形成的珠光体的片层相对较为平直。

变形后冷却过程中产生的细小的珠光体片层结构是变形后的残余能量和较高的冷却速率所导致的。因为在变形过程中或残余能量促进相变的过程

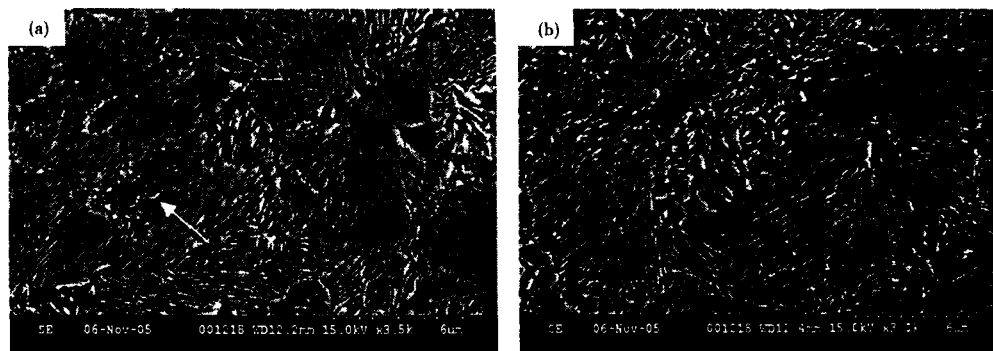


图 2 共析钢过冷奥氏体 750 °C (a) 和 800 °C (b) 变形 60% 后以 20 °C/s 冷却至 400 °C 的组织形貌, SEM
Fig. 2 Structure morphology of eutectoid steel, SEM: overcooling austenite deformed at 750 °C (a) and 800 °C (b) with 60% reduction then cooled with 20 °C/s to 400 °C

中,相变的速度非常快,碳原子不能进行长程扩散,因而导致了细片层珠光体的产生。

由上面的分析可得,变形能够促进相变,变形温度越低,变形过程中储存的能量越大,发生相变的数量越多。从变形后冷却的照片也可以看出,变形过程中产生的珠光体,在冷却相变过程中还有可能形成细小颗粒状的渗碳体。变形温度越低,形成的颗粒状渗碳体的数量越多。变形作用下形成的珠光体片层间距较小,这有利于其强度的提高。对于高碳钢,材料的强度可以用下式来评估:

$$\sigma = \sigma_0 + K_y S_0^{-1/2}$$

式中: S_0 -高碳钢的珠光体的真实片层间距; σ_0 -摩擦应力; K_y -Hall-Petch 参数。

由上式可见,珠光体片层间距减小,强度能够得到提高。实际的显微硬度实验结果表明,原始的无变形的珠光体的 HV 硬度值为 236,经变形的图 1 (a) 组织 HV 值为 366,图 1 (b) 为 782,图 2 为 373。

参考文献

- Hono K, Ohnuma M, Murayama M, et al. Cementite Decomposition in Heavily Drawn Pearlite Steel Wire. *Scripta Materialia*, 2001, 44: 977
- Michael Z. Microstructure Evolution in Pearlitic Steels during Wire Drawing. *Acta Materialia*, 2002, 50: 4431
- Tomota Y, Suzuki T, Kanie A, et al. In Situ Neutron Diffraction of Heavily Drawn Steel Wires With Ultra-high Strength under Tensile Loading. *Acta Materialia*, 2005, 53: 463
- Sauvage X, Guelton N, Blavette D. Microstructure Evolutions during Drawing of a Pearlitic Steel Containing 0.7 at. % Copper. *Scripta Materialia*, 2002, 46: 459
- Gavriljuk V G. Decomposition of Cementite in Pearlitic Steel Due to Plastic Deformation. *Material Science and Engineering A*, 2003, 345: 81
- Hickson M R, Gibbs R K, Hodgson P D. The Effect of Chemistry on the Formation of Ultra-fine Ferrite in Steel. *ISIJ International*, 1999, 39: 1176
- Yang Z M, Wang R Z. Formation of Ultra-fine Grain Structure of Plain Low Carbon Steel Through Deformation Induced Ferrite Transformation. *ISIJ International*, 2003, 43: 761
- Hodgson P D, Hickson M R, Gibbs R K. Ultra-fine Ferrite in Low Carbon Steel. *Scripta Materialia*, 1999, 40: 1179
- Hurley P J, Hodgson P D, Muddle B C. Analysis and Characterisation of Ultra-fine Ferrite Produced during a New Steel Strip Rolling Process. *Scripta Materialia*, 1999, 40: 433

此结果表明,变形使得微观组织的硬度显著提高,片层珠光体组织的显微硬度大于粒状的珠光体。因为图 1 (b) 中的马氏体较多,影响显微硬度的测量,造成结果偏高。但是通过对其它材料的研究结果表明,变形后淬火的组织硬度要大于变形后冷却的组织硬度,即变形诱导珠光体的硬度要大于在变形后冷却产生的片层状珠光体组织的硬度。

3 结论

(1) 珠光体在变形的作用下片层发生了断裂,分析表明这与变形过程中位错的产生以及碳原子的运动有关。

(2) 塑性变形加速了奥氏体的相变,使得相变能够在变形过程中发生。温度越低,相变的数量越多,而且产生了粒状和弯曲的珠光体。

(3) 变形诱导转变成的珠光体领域较小,而且片层间距也比较小,这有益于其强度的提高。硬度实验结果表明,变形诱导片层状的珠光体组织硬度最高。

张淑兰(1978-),女,博士研究生,2001 年华北工学院毕业,从事结构材料研究。

收稿日期:2006-06-30