

终锻温度和锻压比对贝氏体非调质钢铁素体析出的影响

彭金明 汪宏斌 罗毅 吴晓春
(上海大学材料科学与工程学院, 上海 200072)

摘要 研究了终锻温度 810 ~ 960 °C 和锻压比 3 ~ 6 对贝氏体钢 (0.16C, 0.91Si, 1.98Mn, 1.03Cr, 0.17Mo, 0.065V, 0.001Ti) 铁素体析出的影响。结果表明, 贝氏体钢锻造过程中的变形提高了钢中奥氏体至铁素体相变的临界温度; 在终锻温度为 810 ~ 820 °C 时, 钢中产生变形诱导铁素体相变, 当锻压比由 3 增至 6 时, 铁素体的体积分数由 1.8% 增至 9.6%, 铁素体由针状趋于演变为块状; 终锻温度为 940 ~ 960 °C 时, 钢中铁素体主要为针状, 随着锻压比由 3 增至 6, 钢中铁素体体积分数由 3.0% 降至 0.6%

关键词 贝氏体钢 锻压比 铁素体 析出

Influence of Finishing Forging Temperature and Forging Ratio on Precipitation of Ferrite in Non-Quenched and Tempered Bainitic Steel

Peng Jinming, Wang Hongbin, Luo Yi and Wu Xiaochun
(School of Material Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072)

Abstract Influence of finishing temperature 810 ~ 960 °C and forging ratio 3 ~ 6 on precipitation of ferrite in bainitic steel- 0.16C, 0.91Si, 1.98Mn, 1.03Cr, 0.17Mo, 0.065V, 0.001Ti has been studied. Results showed that the critical temperature of phase transformation for austenite to ferrite increased by deformation of the bainitic steel during forging; with forging finishing at 810 ~ 820 °C the deformation induced ferrite precipitation occurred in steel and with increasing forging ratio from 3 to 6, the volume fraction of ferrite in steel increased from 1.8% to 9.6% accompanied acicular ferrite evolving to massive ferrite; and with forging finishing at 940 ~ 960 °C, most of ferrite in steel was acicular, with increasing forging ratio from 3 to 6 the volume fraction of ferrite in steel decreased from 3.0% to 0.6%.

Material Index Bainitic Steel, Forging Ratio, Ferrite, Precipitation

1 试验材料与方法

试验材料的化学成分 (%) 为: 0.16C, 0.91Si, 1.98Mn, 1.03Cr, 0.17Mo, 0.065V, 0.001Ti, 0.003S, 0.012P, 材料先后经过感应熔炼、电渣重熔、退火和锻造, 锻造工艺如表 1 所示。锻造完空冷后将各试样经研磨、抛光、腐蚀 (腐蚀液为 4% 硝酸酒精) 后进行金相组织观察, 采用金相网格法测定 6 种工艺下材料的铁素体体积分数。

表 1 终锻温度和锻压比对试验贝氏体钢中铁素体体积分数的影响

Table 1 Influence of forging finishing temperature and forging ratio on volume fraction of ferrite in test bainitic steel

试样号	温度/°C		锻压比	直径尺寸/mm		铁素体体积分数/%
	始锻	终锻		锻造前	锻造后	
FT-1	1 060	820	3	160 ~ 170	100	1.8
FT-2	1 060	810	4	160 ~ 170	80	2.3
FT-3	1 060	815	6	160 ~ 170	65	9.6
FT-4	1 060	940	3	160 ~ 170	100	3.0
FT-5	1 060	940	4	160 ~ 170	80	1.5
FT-6	1 060	960	6	160 ~ 170	65	0.6

2 试验结果

6 种工艺下试验钢都有铁素体析出, 有的沿原始奥氏体晶界析出, 也有沿晶内析出。铁素体在 FT-3 工艺的试样中的分布具有明显的方向性, 形状多为块状, FT-2 中方向性不是很明显。而其他 4 种工艺铁素体的析出没有方向性, 以针状为主。从图 1 中可以看出, 它们的组织都以粒状贝氏体和羽毛状上贝氏体为主, 再加上一定量的多边形铁素体在 FT-2 和 FT-3 工艺的试样中, 铁素体以块状大量析出, 宽度约为 10 μm, 且在 FT-3 中可见是由几个小颗粒晶界相互接触合并而成的铁素体颗粒, 而 FT-1 中以针状析出为主, 其宽度为 5 ~ 7 μm, 而 FT-4, FT-5 和 FT-6 中铁素体以针状析出为主, 且比前 3 种工艺下的铁素体细小。

从表 1 中 6 种工艺下铁素体体积分数可见在低终锻温度下, 随着变形量 (锻压比) 的增大而增大, 而在高终锻温度下, 铁素体体积分数的变化趋势则相反。

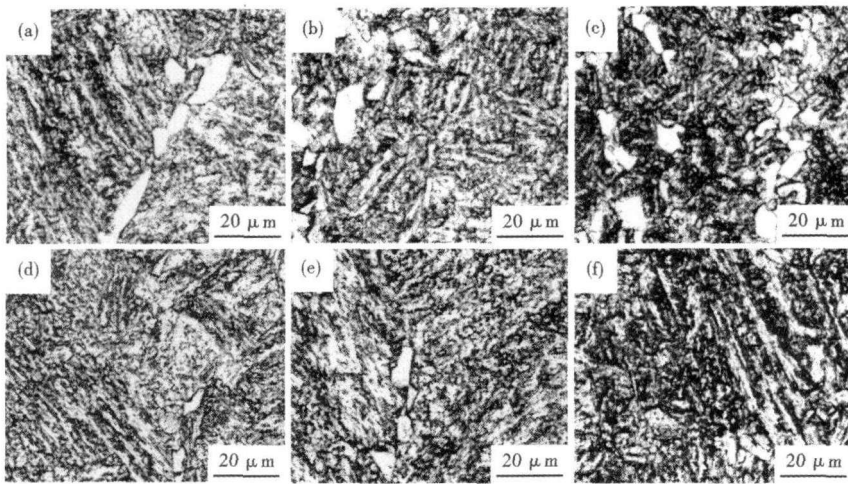


图 1 试验贝氏体钢金相组织:温度-锻压比(a)820 °C-3, FT-1;(b)810 °C-4, FT-2;(c)815 °C-6, FT-3;(d)940 °C-3, FT-4;(e)940 °C-4, FT-5;(f)960 °C-6, FT-6

Fig. 1 Metallographic structure of test bainitic steel with forging finishing temperature- forging ratio 820 °C-3, FT-1 (a), 810 °C-4, FT-2 (b), 815 °C-6, FT-3 (c), 940 °C-3, FT-4 (d), 940 °C-4, FT-5 (e) and 960 °C-6, FT-6 (f)

3 讨论

3.1 热力学分析

根据未形变的奥氏体发生铁素体相变驱动力分析¹⁻⁵¹,得出变形量的增大可以提高变形储存能,从而降低了相变驱动力,促进 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变,其趋势如图 2 所示。

从图 2 中可以看出,无热变形时 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变临界温度为 $T_0(Ae_3)$,在一定的变形条件下,铁素体析出临界温度提高,并且变形量越大, $\gamma \rightarrow \alpha$ 的相变临界温度也越高。而试验钢采用 Thermo-calc 软件计算得到铁素体析出临界温度为 817 °C,和本文试验用钢低终锻温度基本一致,而锻造变形使得铁素体析出临界温度提高而产生变形诱导铁素体相变;但是锻造变形对铁素体析出临界温度的提高是有限

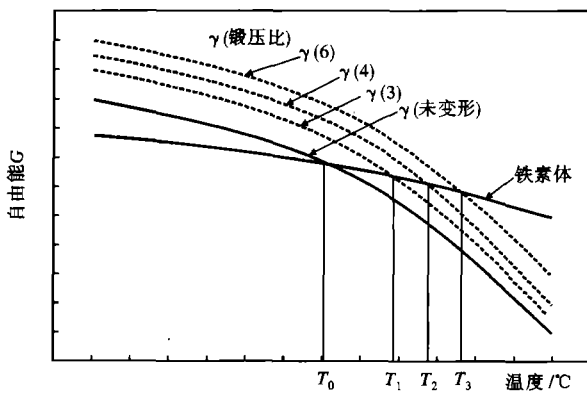


图 2 变形量(锻压比)对钢中奥氏体自由能的影响

Fig. 2 Influence of deformation (forging ration) on free energy of austenite in steel

的,高终锻温度时铁素体的析出位置是任意的,说明高终锻温度时铁素体在再结晶完成后才析出,属于先共析铁素体。

3.2 动力学分析

在试验钢低终锻温度组试样中,由于铁素体在变形过程中即开始析出,析出温度较高, γ/α 晶界移动性越好,长大速率较快,而变形量的增加增大了形核率,提高了 α 临界析出温度,所以变形量越大, α 析出量越大,颗粒则越大。而对于高终锻温度组试样,锻造完成后的冷却过程中由于棒料截面的不同导致空

冷时散热能力不同,因而冷却速度不同。变形量越大,截面越小,冷速越大,于是铁素体量越少。

4 结论

贝氏体型空冷非调质钢锻造过程中的变形提高了 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变的临界温度,在终锻温度约 820 °C 时产生了变形诱导铁素体相变,此时变形量越大,体积分数越大,变形量为 6 时,铁素体呈块状沿一定方向析出;而在终锻温度约 950 °C 时,得到的为先共析铁素体,冷却速度越大,铁素体体积分数则越小。

先进钢铁材料国家研究中心课题资助项目(D. 09-0110-07-002)

参考文献

- 董瀚,孙新军,刘清友,等. 变形诱导铁素体相变现象与理论. 钢铁, 2003, 38(10): 56
- 杨忠民. 形变诱导铁素体的形成机制. 金属学报, 2000, 36(8): 818
- 夏卿坤,胡冠昱. 形变诱导铁素体相变技术. 长沙大学学报, 2005, 19(2): 15
- Dong Han, Sun Xinjun. Deformation Induced Ferrite Transformation in Low Carbon Steels. Current Opinion in Solid State and Materials Science, 2005, 9(6): 269
- Gamsjäger E, Svoboda J, Fischer F D. Austenite-to-ferrite Phase Transformation in Low-alloyed Steels. Computational Materials Science, 2005, 32: 360

彭金明(1983-),男,硕士研究生,2006年湖北工业大学毕业,贝氏体非调质钢的研究

收稿日期:2008-07-16