

13 275-278

静磁场对 32CrMnNbV 淬透性及耐蚀性能的影响*

区定容 朱静 唐国翌 周惠华

(清华大学材料科学与工程研究院, 北京 100084)

摘要 研究了静磁场 (0—1.2 T) 对 32CrMnNbV 淬透性及耐蚀性能的影响. 实验中发现, 在连续冷却过程中加磁场, 可以使铁素体转变的 CCT 曲线左移, 淬透性下降; 在奥氏体化过程加磁场, 会降低奥氏体的稳定性, 造成冷却过程中 CCT 曲线的左移, 而且左移的趋势更明显. 当淬火时所加磁场的强度增加到 1.2 T, 马氏体组织明显细化. 此外, 磁场下淬火可以提高马氏体的耐蚀性. 随着外磁场的增加, 腐蚀速率下降.

关键词 磁场, 32CrMnNbV, CCT 曲线, 淬透性, 耐蚀性

中图分类号 TG113.23, TG144

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(2000)03-0275-04

低合金钢

EFFECT OF STATIC MAGNETIC FIELD ON THE HARDENABILITY AND THE CORROSION-RESISTANT OF 32CrMnNbV ALLOY

OU Dingrong, ZHU Jing, TANG Guoyi, ZHOU Huihua
School of Materials Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084
Correspondent: OU Dingrong, Tel: (010)62779015
Manuscript received 1999-09-15, in revised form 1999-12-03

TG142.33

ABSTRACT The effect of static magnetic field (0—1.2 T) on the hardenability and the corrosion-resistant of the 32CrMnNbV alloy was studied. It is found that the continuously cooling under magnetic field induces the CCT curve of the ferritic transformation moves to left and the hardenability is reduced, and the austenizing under magnetic field makes the stability of austenite drops down and the CCT curve shifts to much more left than quenching under magnetic field. In addition, quenching under magnetic field increases the corrosion-resistant of martensite, and the corrosion rate is reduced with increasing magnetic field.

KEY WORDS magnetic field, 32CrMnNbV alloy, CCT curve, hardenability, corrosion-resistant

对铁系合金, 外加磁场可以诱发马氏体转变, 使转变温度上升, 马氏体等温转变的 TTT (Temperature-Time-Transformation diagram) 曲线左移^[1-5], 磁场处理还可以改善铸铁的性能^[6]、促进贝氏体的等温转变^[7]及加速高速钢的回火析出^[8]. 然而过去的研究只涉及冷却过程中磁场的影响, 没有研究磁场对加热过程的影响. 而且磁场对冷却过程影响的研究也只是集中在马氏体转变温度及马氏体等温转变的 TTT 曲线上, 磁场对固态转变其它方面的影响仍不清楚.

本文分别探索了磁场加热和磁场淬火对低合金钢 32CrMnNbV 淬火组织及淬透性的影响规律, 并初步研究了磁场对材料耐蚀性的影响.

1 实验方法

实验材料选用低合金钢 32CrMnNbV, 原始组织是珠光体加铁素体. 处理工艺分两种, 一是“磁场淬火”, 即无磁场下加热 (奥氏体化), 不同磁场强度下淬火; 二是“磁场加热”, 即在不同的磁场下加热, 无磁场下淬火. 奥氏体化温度为 850 ℃, 外加磁场强度依次为 0 (无磁场), 0.4, 0.8 和 1.2 T, 淬火介质分别采用清水和 10%NaCl 溶液.

磁场发生装置是一对大电磁铁, 加热装置是内径 8 mm 的管式敞口炉, 试样尺寸为 5 mm×5 mm×8 mm, 观察面统一取平行于场强方向的水平面. 用 6301F 扫描电子显微镜和 200CX 透射电子显微镜进行组织观察. 试样经过组织观察后切出 1 mm 厚进行耐蚀性能的测定.

试样抛光后用 4% 硝酸酒精溶液进行腐蚀, 在扫描电镜上观察二次电子像. 由于不同的组织腐蚀深度不同, 在图上显示出不同的衬度. 在不同组织的交界处, 由于有较大的高度差, 会显示较宽的亮边, 而同一组织内腐蚀深度变化较

* 收到初稿日期: 1999-09-15, 收到修改稿日期: 1999-12-03

作者简介: 区定容, 女, 1975 年生, 博士生

小、产生的亮边较细。

2 实验结果及讨论

2.1 磁场对淬火组织的影响

图 1 是磁场淬火 (清水淬) 得到的组织, 不加磁场 (图 1a) 下淬火得到的组织为混合马氏体 (板条马氏体与片状马氏体); 磁场 1.2 T (图 1b) 淬火出现一些先共析相, 先共析相呈不规则小块状, 分布比较均匀, 如图上箭头所指 (在图上为黑色小块, 边缘有宽的亮边), 图 1 省略了 0.4 T, 0.8 T 下的组织照片, 这两种条件下处理的组织介于 0 与 1.2 T 之间, 磁场加热后清水淬得到的组织, 不加磁场和 0.8 T (图 2a) 下有少量先共析相出现, 1.2 T 下先共析相变成大块状 (图 2b)。

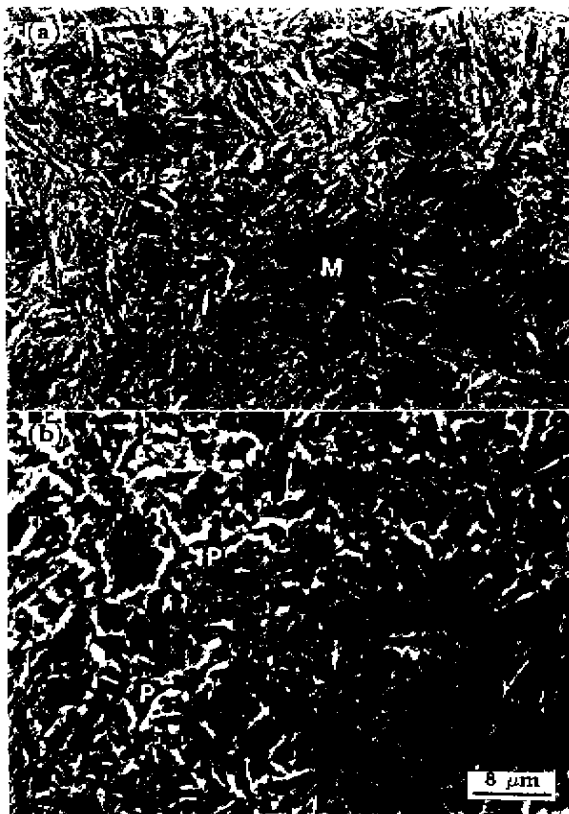


图 1 无磁场加热磁场淬火 (清水淬) 试样的组织
 Fig.1 SEM micrographs of the specimens cooling under magnetic field (quenching in water)
 M-martensite P-proeutectoid phase
 (a) 0 T (b) 1.2 T

在透射电镜观察过程中, 即使倾动样品, 先共析相衬度仍然不变, 且位错很少, 很容易与周围的马氏体区分开 (图 3a), 对先共析相进行选区衍射可得到接近 $\alpha\text{-Fe}[111]$ 晶带轴的衍射图 (图 3b), 可确定先共析相为先共析铁素体。

比较图 1 和图 2 看出, 虽然磁场上淬火与磁场上加热都会降低材料的淬透性, 但磁场上加热下得到的先共析相更多。

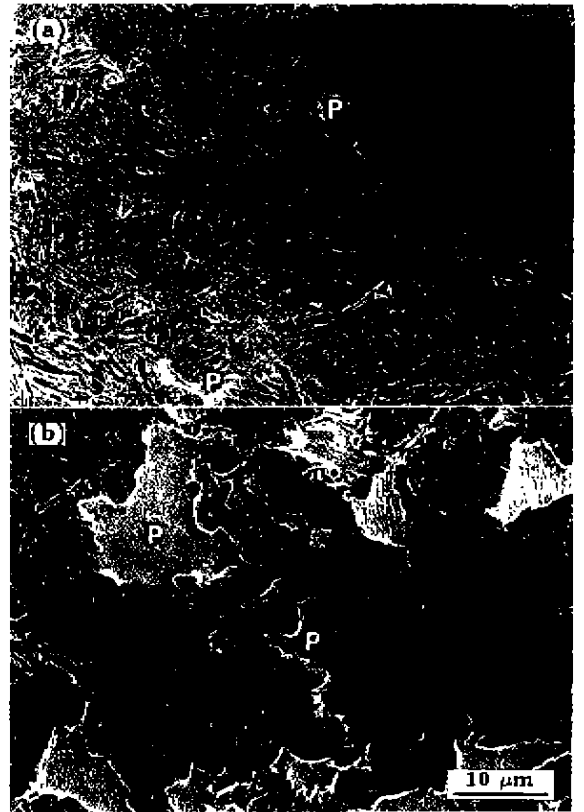


图 2 磁场加热无磁淬火 (清水淬) 试样的组织
 Fig.2 SEM micrographs of the specimens austenizing under magnetic field (quenching in water)
 P-proeutectoid phase
 (a) 0.8 T (b) 1.2 T

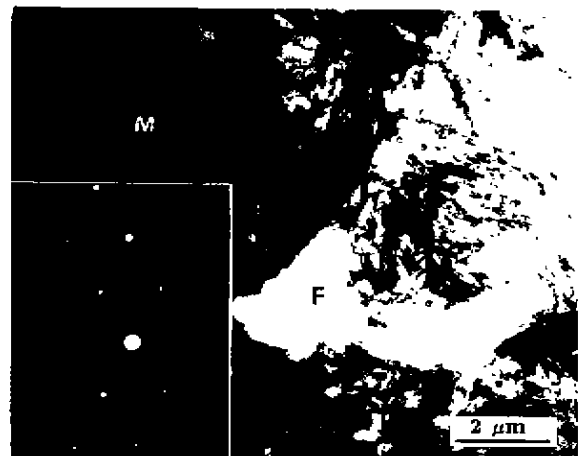


图 3 先共析相的 TEM 照片及电子衍射图
 Fig.3 TEM micrograph and diffraction pattern of the proeutectoid phase
 M-martensite F-ferrite
 (a) TEM micrograph of the proeutectoid phase
 (b) diffraction pattern

说明磁场加热使 CCT(连续冷却转变曲线) 曲线左移的趋势更明显。

将淬火介质改为 10%NaCl 溶液后重复上述实验, 磁场淬火得到的组织全部为马氏体 (图 4a), 而磁场加热得到的组织, 0.4 T 下全部为马氏体, 0.8 T 开始有少量铁素体, 1.2 T 铁素体量变多, 其规律与清水淬的试样完全相同, 但铁素体的量比清水淬的少 (图 4b), 说明铁素体的形成受冷却速度控制, 从而证实了铁素体是在淬火过程中形成的, 磁场使 CCT 曲线左移, 淬透性下降。

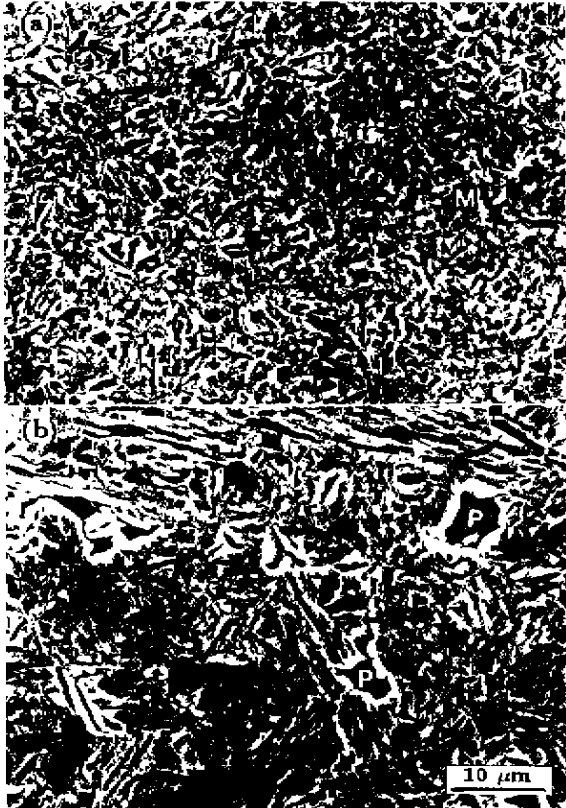


图 4 10%NaCl 溶液淬试样的组织

Fig.4 SEM micrographs of the specimens quenching in 10%NaCl solution

M-martensite P-proeutectoid phase

(a) cooling under 1.2 T (b) austenizing under 1.2 T

实验中还发现, 与无磁场淬火的组织相比, 0.4 T, 0.8 T 场强下淬火得到的马氏体尺寸略有变大, 而且针状马氏体变多; 但是当磁场强度增强到 1.2 T, 马氏体组织明显变细 (图 1b, 图 3a), 马氏体尺寸明显变小显然是因为在较强的磁场下形核点增多, 组织变细。但对于 0.4 T, 0.8 T 下淬火马氏体尺寸略有变大, 针状马氏体变多的现象, 还没有一个较好的解释, 可能是由于磁场能促进马氏体的生长, 而在较弱的磁场下形核点增加又不太多, 因此马氏体组织变粗大。

2.2 磁场对淬透性影响的热力学解释

Kakeshita 等研究了磁场对马氏体转变的影响, 认为磁

场下由于马氏体能量下降产生附加的驱动力, 使马氏体转变温度升高, 等温马氏体转变 TTT 曲线左移^[1-5], 铁素体也是铁磁相, 因此磁场下冷却可以促进铁素体的生成, 磁场下加热会阻碍奥氏体 (顺磁相) 的形成及均匀化过程, 使奥氏体的稳定性下降, 随后的冷却过程中淬透性下降。

将淬火时由于磁场处理产生的铁素体转变的附加驱动力记为 $\Delta G_H (\Delta G_H > 0)$, 对于磁场淬火, ΔG_H 是磁场下铁素体的能量下降; 对于磁场加热, ΔG_H 是由于奥氏体稳定性下降引起的母相能量的上升。

磁场下铁素体转变的临界形核半径 r^* 及临界形核功 G^* 为

$$r^* = \frac{2\Delta G_A}{\Delta G_V + \Delta G_H - U}$$

$$G^* = \frac{16\pi}{3} \frac{\Delta G_A^3}{(\Delta G_V + \Delta G_H - U)^2}$$

其中 ΔG_V 是无磁场下相变前后单位体积自由能变化的绝对值, ΔG_A 是形核时单位面积表面能的增加, U 是由于相变时体积变化而产生的单位体积应变能, 由于 ΔG_H 项的引入, 驱动力变大, r^* 与 G^* 均下降, 如图 5 (图中 V 是晶核的体积, A 是晶核的表面积)。

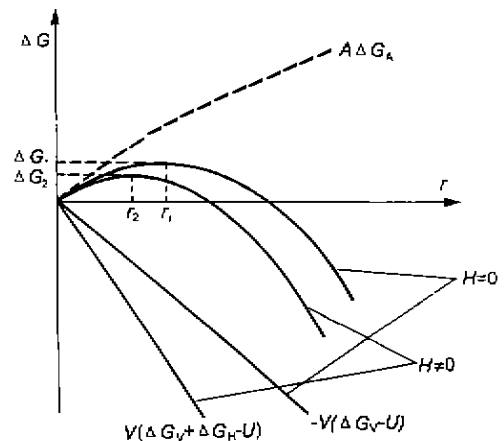


图 5 能量变化 ΔG 与铁素体核尺寸 r 的关系

Fig.5 Relations between energy change ΔG and radius of ferrite nucleus r

粒子越过能垒 G^* 的几率为 $\exp(-G^*/RT)$, 形核率 $N \propto \exp(-G^*/RT)$, 而孕育期 $\tau \propto 1/N \propto \exp(G^*/RT)$, 由于 G^* 下降, 形核率 N 上升, 孕育期 τ 缩短, 因此 CCT 曲线左移, 淬透性下降。

2.3 磁场对耐蚀性能的影响

图 6 是用减重法测得的磁场淬火试样的单位面积腐蚀速度变化曲线, 腐蚀液为 10% 硝酸酒精溶液, 腐蚀时间为 1 h。

无磁加热磁场淬火试样的腐蚀速度随磁场增强而下降, 而且磁场越强, 下降越快, 1.2 T 时下降近 20%。盐水

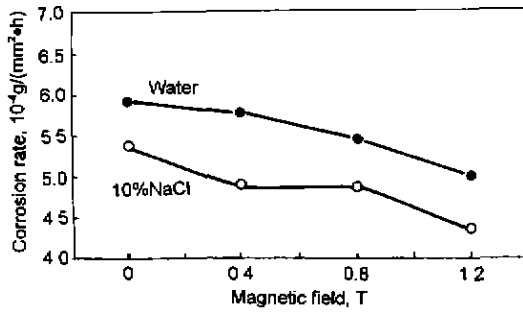


图6 磁场淬火试样的单位面积腐蚀速率曲线

Fig.6 The corrosion rate curve of the specimens cooling under magnetic field

淬比清水淬的耐蚀性能要好, 因为盐水淬时马氏体的转变量较大, 残余奥氏体减少, 而相变过程中杂质元素容易富集在残余奥氏体上, 使材料的耐蚀性降低. 磁场下淬火使耐蚀性提高与磁场下马氏体转变量增多、残余奥氏体减少关系不大, 因为硬度测试表明, 0—1.2 T 的磁场对马氏体的硬度基本没有影响, 说明马氏体转变量增加不多. 磁场对耐蚀性能的作用机制还需要进一步研究.

3 结论

(1) 随着磁场的增强, 无磁场加热、磁场下淬火的试样淬透性下降, 先共析铁素体量增多, 使铁素体转变的 CCT

曲线左移.

(2) 磁场下加热降低了奥氏体的稳定性, 使冷却转变的 CCT 曲线左移, 且比磁场下淬火对 CCT 曲线左移的影响更明显.

(3) 磁场有细化组织的作用. 当淬火过程所加磁场的强度增加到 1.2 T 时, 得到的马氏体明显细化.

(4) 磁场对材料的耐蚀性有影响. 随着磁场强度的增大, 淬火试样的腐蚀速率下降, 耐蚀性增加.

参考文献

- [1] Kakeshita T, Shimizu K, Ono M, Date M. *J Magn Magn Mat*, 1990; 90-91: 34
- [2] Kakeshita T, Kuroiwa K, Shimizu K, Ikeda T, Yamagishi A, Date M. *Mater Trans JIM*, 1993; 34: 415
- [3] Kakeshita T, Yamamoto T, Shimizu K, Sugiyama K, Endo S. *Mater Trans JIM*, 1995; 36: 1018
- [4] Kakeshita T, Saburi T, Kindo K, Endo S. *Jpn J Appl Phys*, 1997; 36: 7083
- [5] Kakeshita T, Fukuda T, Saburi T, Kindo K, Endo S. *J Phys*, 1997; 237-238B: 603
- [6] Sun Z J. *Heat Treat Met*, 1981; 1: 33
(孙中继. 金属热处理, 1981; 1: 33)
- [7] Ren F D, Xu B J, Peng H F, Gu N J. *Heat Treat Met*, 1993; 5: 23
(任福东, 许伯钧, 彭会芬, 谷南驹. 金属热处理, 1993; 5: 23)
- [8] Xu B J, Gu N J, Yan D R, Yin F X. *Acta Metall Sin*, 1989; 25: A352
(许伯钧, 谷南驹, 阎殿然, 殷福星. 金属学报, 1989; 25: A352)