

奥氏体304不锈钢微观组织变化与冷加工的关系

胡 钢^{1,2}, 许淳淳², 张新生²

(1. 黄冈师范学院 化学系, 湖北 黄冈 438000; 2. 北京化工大学 材料科学与工程学院, 北京 100029)

摘要:对奥氏体304不锈钢进行不同方式、不同程度的冷加工变形, 奥氏体组织会发生不同量的马氏体相变, 用铁素体测量仪测定了马氏体相变量与冷加工方式、形变量的关系, 通过金相显微镜、透射电子显微镜(TEM)观测, 探讨了该微观组织变化的规律和演化机制。

关键词:304不锈钢; 冷加工; 马氏体

中图分类号:TG142.71 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-8078(2002)03-0017-03

The relationship between the microstruture change of austenitic 304 stainless steel and cold-working

HU Gang^{1,2}, XU Chun-chun², ZHANG Xin-sheng²

(1. Dept. of Chem. Huanggang Normal University, Huangzhou 438000;

2. Faculty of Material Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029)

Abstract: With different ways of cold working, martensite phase transformation takes place in austenitic 304 stainless steel. Different degrees of cold working lead to different martensite contents. A ferrmagnetometer was used to determinate the relationship between martensite contents and cold-working ways and the relationship between martensite contents and deformation degrees. The regulation and mechanism of the microstruture change was studied with metallurgical microscopy and transmission electron microscopy (TEM) technology.

Key words: 304 stainless steel; cold-working; martensite

耐蚀性能良好的奥氏体304不锈钢在使用过程中经常发生孔蚀或应力腐蚀开裂现象, 给生产和人身安全带来危害。许多研究者在这方面进行了大量的研究工作^[1~4], 发现亚稳态的304不锈钢在加工过程中会诱发奥氏体向马氏体转变。如冷轧、冷拔、平整、及矫正等加工工艺, 会发生形变诱发马氏体相变; 焊接和其它热加工工艺, 会造成晶界贫铬, 促使马氏体相的生成; 在含氢介质中, 会产生氢致马氏体相变。马氏体相的存在改变了材料的电化学和耐蚀性能, 容易成为孔蚀源发生孔蚀, 进而产生应力腐蚀开裂^[5~7]。目前对各种加工方式与马氏体的关系进行全面、系统地研究的报道很少, 本文对常见的加工方式与马氏体相变的演化规律进行了探讨, 并讨论了该演化规律与相变机制的关系。

1 试验方法

试验材料采用厚度为3 mm的奥氏体304不锈钢, 其化学成分(mass, %)为: C 0.06, Si 0.55, Mn 0.9, S 0.017, P 0.028, Cr 18.46, Ni 8.06, Fe 余量。将不锈钢板材剪切成220 mm×25 mm×3 mm的条状试样, 在1050±10 °C进行固熔处理半小时, 水淬。在 INSTRON—1185型拉伸机上, 于不同温度(−70 °C、25 °C、180 °C), 以2 mm/min的速度拉伸, 通过不同程度的拉伸得到不同马氏体含量的试验材料; 弯曲试验采用110 mm×12 mm×3 mm的平板型试样, 在台钳上进行不同弧度的弯曲; 以轧钢机轧制变形。所有样品形变前后均用 TSJ—1A 型铁素体测量仪测定其马氏体相含量。

收稿日期: 2001-10-12.

作者简介: 胡钢(1971—)男, 湖北黄州人, 讲师, 主要从事金属材料 and 电化学研究。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划基金(G19990650)和湖北省教育厅重点科学研究基金(99A084)资助。

用金相显微镜观察不同拉伸形变试样的组织形貌,用透射电子显微镜(TEM)观察试样的微观组织形态、位错形貌。

2 结果与讨论

2.1 拉伸形变量与马氏体含量的关系

图1为不同温度、不同拉伸形变量与马氏体含量的关系。室温下(25℃)形变量小于10%时,304不锈钢仅有少量的马氏体相变,当形变量在10%~40%之间时,马氏体含量随形变量的增大而增加得较快,马氏体含量由0.7%增至6.8%。低温下(-70℃)马氏体转变随拉伸形变量增大而变化较大,形变量在6%以上时,马氏体含量就开始迅速增加。形变量为20%时,马氏体相变量已达到22%。同一形变量低温时产生的马氏体量要比室温时高得多,可见低温有利于形变诱发马氏体相变。材料经180℃下拉伸后,其马氏体含量没有变化,说明在这个温度下拉伸,304不锈钢不会产生形变诱发的马氏体相变。

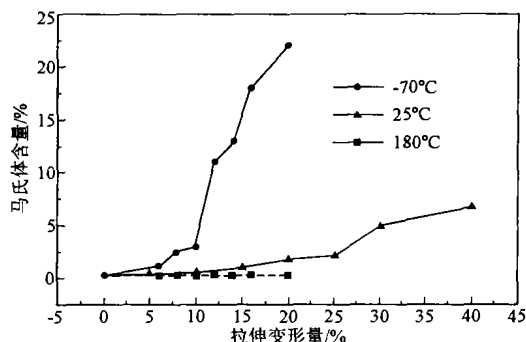


图1 马氏体含量与拉伸形变量的关系

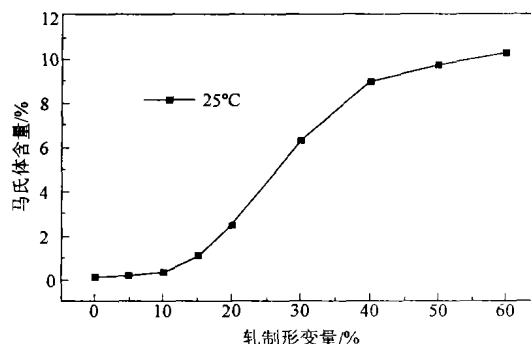


图2 马氏体含量与轧制形变量的关系

2.2 轧制形变量与马氏体含量的关系 如图2所示,室温轧制试验与室温拉伸试验形变量与马氏体含量的关系相似,但相同轧制形变诱发的马氏体相变量略多于拉伸形变产生的马氏体量。

2.3 弯曲形变量与马氏体含量的关系 由图3所示,弯曲半径越小得到的马氏体含量越多,在弯曲弧度相同的条件下,

由于材料内侧弯曲的曲率大于外侧的曲率,并且内侧受到压应力,所以内侧马氏体转变量较外侧的大。钢在奥氏体化后经过一定的冷却速度 V_c ,抑制其扩散性分解,在较低的温度下发生的无扩散型相变为马氏体转变。马氏体转变符合一般相变的规律,遵循相变的热力学条件。马氏体相变的驱动力为新相与母相的化学自由能差。马氏体相变有其固定的转变开始温度 M_s 点,即奥氏体在冷却时自发转变为马氏体的温度,当 $T \leq M_s$ 时,才能发生马氏体相变。AISI304不锈钢的 M_s 为-17℃,由于发生马氏体相变时,基体要产生均匀的切变,外加应力(或应变)将有助于马氏体的形变,通过冷加工能诱发产生马氏体相的最高温度称为 M_d 点,它一般比 M_s 温度高。从镍当量的角度考虑不锈钢 AISI 304(1Cr18Ni9)的稳定性,公式为:

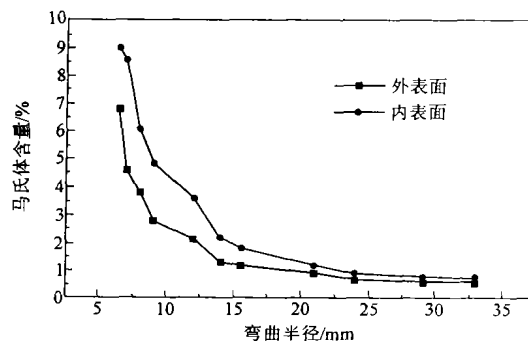


图3 马氏体含量与弯曲半径的关系

镍当量(%) = $Ni + 0.65Cr + 0.98Mo + 1.05Mn + 0.35Si + 12.6C + 0.03(T - 300) - \{2.3 \log[100/(100 - R)] + 2.9\}$
式中: T 为温度(K); R 为形变量。

据报导,镍当量在25.5%~26.0%以上时,1Cr18Ni9在室温下塑性变形不能诱发马氏体相变,但是,镍当量在20.5%~25.5%之间时,室温下形变就能诱发马氏体相变,镍当量愈低,马氏体含量则愈多,利用以上公式对室温未变形的1Cr18Ni9不锈钢计算,得出镍当量的值为21.95%,说明室温形变时,可以产生马氏体相变,即室温下1Cr18Ni9不锈钢为亚稳态。

以上实验证明在室温(+25℃)和低温(液氮,-70℃)条件下形变,亚稳态304不锈钢都可以产生形变诱发马氏体,说明实验温度低于 M_d 温度。随着形变量的增加,形变诱发马氏体相的含量也增加。形变量相同时,低温形变产生的马氏体相变量要比室温形变产生的要大得多。由上述公式可知,低温条件下304不锈钢的镍当量远远低于室温条件下的镍当量,这与实验结果相符。此外,在高温(+180℃)条件下拉伸,亚稳态304不锈钢几乎不产生形变诱发马氏体,说明实验温度高于 M_d 温度。实验结果与上述公式计算结果基本吻合。

2.4 马氏体相变与材料组织结构的变化

金相观察结果证明304不锈钢形变诱发产生了马氏体相变。图4中:(a)图是未经形变的304不锈钢组织,晶粒为均匀的奥氏体组织。(b)图是形变后材料的组织结构,可以看到形变后伴随晶粒取向的变化,有大量的板条状 α' -马氏体的

生成。(c)图中可以发现在大量的板条状 α' -马氏体中,仍可看到部分网格状的 ϵ -马氏体存在,这是形变 γ -奥氏体转变为 α' -马氏体的中间相。

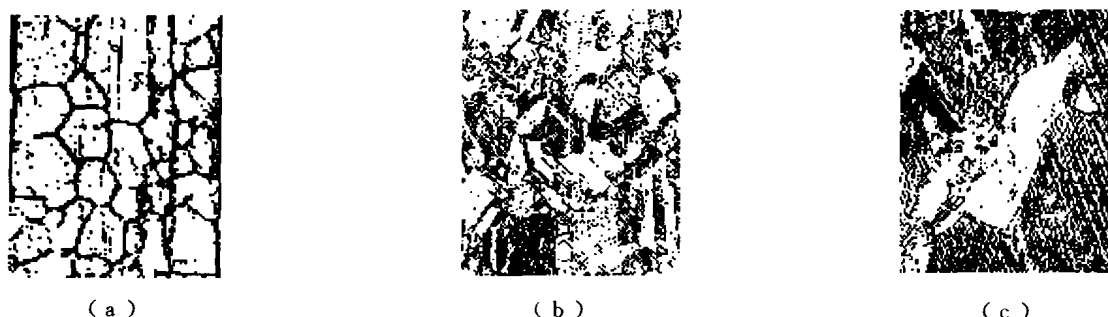


图 4 不同马氏体含量试样的金相组织(200 \times)

2.5 TEM 检测结果

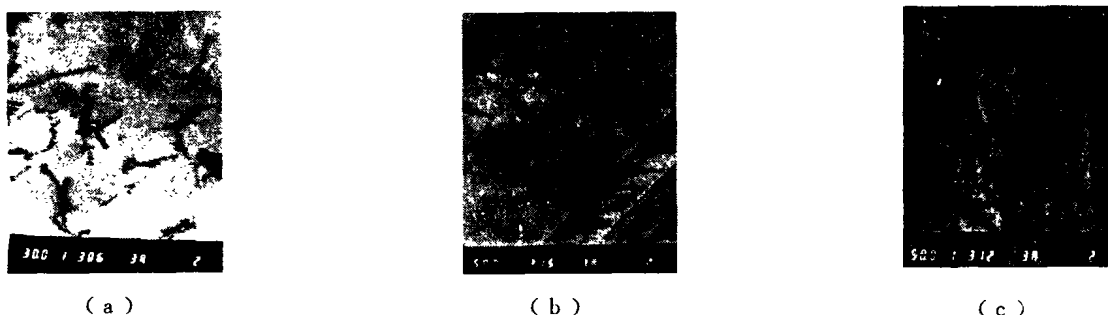


图 5 不同马氏体含量试样的 TEM 显微结构

由图 5 可见,(a)中未经形变材料中存在少量的位错线,(b)中可见形变后出现了板条状 α' -马氏体,而且大量的位错线集中在马氏体中,(c)图表示形变量很大的情况下,大量的位错线缠集,说明马氏体中存在高密度的位错。

马氏体转变符合一般相变的规律,遵循相变的热力学条件,马氏体相变的驱动力为新相与母相的化学能之差。在塑性形变的过程中,给体系增加的自由能可以克服两相转变间的自由能之差,从而导致材料组织结构的变化,从晶体学角度而言马氏体相变是一种实际上没有扩散的点阵畸变的组织转变,它的切变分量和最终的形状变化应当使转变过程中动力学及形态受应变能控制,母相与新相之间具有明显的晶体学取向关系。

3 结论

- (1) 奥氏体 304 不锈钢在室温或更低的温度下进行不同形式的冷加工形变均会产生马氏体相变;
- (2) 相同的冷加工方式,随着形变量的增大,马氏体相变量增加;
- (3) 形变诱发马氏体相变中存在高密度的位错,得到的马氏体组织以板条马氏体为主。

参考文献:

1. Hanninen H E. Influence of Metallurgical Variables on Enviromentsensitive Cracking of Austenitic Alloys[J]. Metals Review, 1979, 24: 85~88.
2. Cigada A, Mazza B, Pedferri P, et al, Stress Corrosion Cracking of Cold-working Austenitic Stainless Steels, Corrosion Science, 1982, 22(6):558~560.
3. 丁宝峰,吴荫顺,Abubakir 等. AISI304 奥氏体不锈钢的形变诱发马氏体相变及其电化学行为的研究[M]. 腐蚀科学与防腐蚀工程技术新进展[M]. 北京:化学工业出版社,1999.
4. 方智,吴荫顺,张 琳等. 形变诱发马氏体相变对 304 不锈钢在活化状态下电化学行为的影响[J]. 腐蚀科学与防护技术,1997,9(1):75~76.
5. 许淳淳,徐瑞芬,欧阳维真等. 用交流阻抗法研究形变诱发马氏体相变的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢在酸性 NaCl 溶液中的孔蚀敏感性[J]. 腐蚀科学与防护技术,1997,9(2):95~97.
6. 徐瑞芬,许淳淳,薛慧勇等. 奥氏体不锈钢中马氏体含量对其钝化膜稳定性的影响[J]. 材料保护,1998,31(9): 7~8.