

轧制工艺对微合金钢 EH420 变形奥氏体中碳氮化物析出的影响

王 洪^{1,2} 张艳艳¹ 刘小林² 蔡庆伍¹

(1 北京科技大学高效轧制国家工程研究中心, 北京 100083; 2 新余钢铁有限责任公司, 新余 338001)

摘 要 采用电子显微分析和物理化学相定量分析技术, 研究了在 900 ~ 1 000 °C 变形量 40% ~ 60% 轧制后 Nb-V-Ti-B 和 Nb-V-Ti 微合金化钢 EH420 中碳氮析出物的大小、数量和形貌。试验结果表明, 900 °C 轧制时, 钢中析出碳氮化物数量较 1 000 °C 轧制时多; 变形量由 40% 增至 60% 时, 析出碳氮化物数量增加, 平均尺寸减小; Ti、Nb 碳氮化物在整个轧制过程均有析出, V 的碳氮化物只存在较低温度变形时析出。

关键词 微合金船板钢 轧制 碳氮化物 析出

Effect of Rolling Process on Carbo-Nitride Precipitation of Microalloy Steel EH420

Wang Hong^{1,2}, Zhang Yanyan¹, Liu Xiaolin² and Cai Qingwu¹

(1 National Engineering Research Center for Advanced Rolling Technology, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Xinyu Iron and Steel Co Ltd, Xinyu 338001)

Abstract The size, amount and morphology of carbo-nitride precipitated in Nb-V-Ti-B and Nb-V-Ti microalloy steel EH420 rolling at 900 ~ 1 000 °C with deformation 40% ~ 60% by electron microanalysis and physical-chemistry phase analysis technique. The test results showed that the amount of carbo-nitride precipitated in steel rolling at 900 °C was more than that rolling at 1 000 °C; with degree of deformation increased from 40% to 60%, the precipitated carbo-nitride amount increased while average size decreased; and Ti-Nb carbo-nitride precipitated at whole rolling course, but V carbo-nitride precipitated only at lower rolling temperature.

Material Index Microalloy Steel for Ship Plate, Rolling, Carbo-Nitride, Precipitation

对于冶金质量及化学成分一定的坯料, 在一定的设备条件下进行热轧形变, 变形温度和变形量将直接影响着微合金元素碳氮化物的析出形核、微合金元素在奥氏体中的扩散速度、碳氮化物在奥氏体中的溶解度以及奥氏体中的畸变能等, 从而将直接影响微合金元素碳氮化物在奥氏体中的析出行为^[1-3]。本实验研究了轧制时变形温度和变形量对微合金钢 EH420 碳氮化物析出尺寸和数量的影响。

1 实验材料的制备与实验方案

本实验用钢是由新余钢铁有限责任公司(新钢)炼钢厂连铸成的断面为 210 mm × 1 400 mm 的铸坯, 再经新钢中板厂粗轧机粗轧成 103 mm 厚的

中间坯, 并用火焰切割成长度 200 mm, 宽度 100 ~ 120 mm 的小块料。再经粗轧机轧制, 然后加工成 60 mm × 20 mm × 13.3 mm 和 60 mm × 20 mm × 20 mm 的两台阶梯试样, 在试样的端部加工有直径 6 mm、深 15 mm 的小圆孔, 用于焊接测温热电偶。通过一道次将此两台阶梯试样轧制至 8 mm 厚度。实验用钢的成分见表 1。

该热轧实验是在北京科技大学轧制中心实验室热轧机上进行, 轧机为 Φ350 mm 二辊可逆轧机。试样加热采用碳-硅棒电阻式加热炉, 将试样端部焊接镍-铬热电偶并外接计算机进行数据采集、测量和监控试样的加热温度及开轧温度。阶梯试样加热温度为 1 200 °C, 保温 10 min, 开轧温

表 1 试验微合金船板钢的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of test microalloy steels for ship plate/%

钢号	C	Si	Mn	S	P	Nb	V	Ti	Al	Mo	Ni	Cu	B	N
X1	0.05	0.22	1.56	0.004	0.015	0.055	0.054	0.013	0.034	0.27	0.27	0.200	0.000 9	0.003 9
X2	0.14	0.35	1.49	0.009	0.014	0.034	0.060	0.020	0.020	-	-	0.034	-	0.008 2

度分别为1 000 ℃和900 ℃,终轧温度在850 ℃左右,成品厚度为8 mm,沿板坯高度方向可同时获得40%和60%的不同变形量,轧后立即在冰盐水中淬火。

实验采用透射电镜金属膜样观察微合金碳氮化物在钢中的析出情况。在H-800透射电镜上观察析出相形貌和分布,用电子衍射法确定析出相的结构。

2 变形温度对析出物大小及数量的影响

对实验钢 X1、X2 在1 000 ℃和900 ℃、变形40%的金属薄膜样各选定3个具有一定代表性的视场,进行析出物大小及数量的统计分析,析出物粒度分布统计分析结果见表2,数量的统计分析结果见表3。

表2 变形量为40%时变形温度对X1和X2实验微合金船板钢奥氏体中析出物粒度分布的影响

Table 2 Effect of deformation temperature on distribution of size of precipitated particle in austenite of test microalloy steel X1 and X2 for ship plate with deformation 40%

直径/ nm	不同变形温度下奥氏体析出物粒度分布/%			
	X1 钢		X2 钢	
	1 000 ℃	900 ℃	1 000 ℃	900 ℃
1~10	5.4	15.7	3.2	13.2
10~20	10.8	23.6	9.7	15.8
20~40	13.5	40.4	16.1	19.7
40~60	35.1	12.4	29.0	38.2
60~100	27.0	4.5	35.5	9.2
100~150	8.1	3.4	6.5	3.9

表3 变形量40%时变形温度对实验微合金船板钢 X1、X2 奥氏体中析出物数量的影响

Table 3 Effect of deformation temperature on amount of precipitated particle in austenite of test microalloy steel X1 and X2 for ship plate with deformation 40%

实验钢	轧制温度/℃	析出颗粒/个
X1	1 000	37
	900	89
X2	1 000	31
	900	76

由表2可以看出,实验钢 X1 在1 000 ℃变形40%时,奥氏体中40~100 nm析出物约占析出物总数的62.1%;在900 ℃变形40%时,奥氏体中10~40 nm析出物约占析出物总数的64.0%。实验钢 X2 在1 000 ℃变形40%时,奥氏体中40~100 nm析出物约占析出物总数的64.5%;在900 ℃变形40%时,奥氏体中20~60 nm析出物约占

析出物总数的57.9%。这说明同一变形量下,变形温度越低,奥氏体中析出物平均尺寸越小。

表3说明了实验钢 X1、X2 在1 000 ℃和900 ℃变形40%时,奥氏体中析出物数量的变化情况。可以看出,两实验钢在900 ℃变形40%时奥氏体中析出物数量大约是在1 000 ℃变形40%时奥氏体中析出物数量的2~3倍。这说明同一变形量下,变形温度越低,析出物颗粒数量越多。这是因为同一变形量下,变形温度越低,一方面,奥氏体回复、再结晶能力越小,奥氏体中位错等缺陷就越多,析出物在奥氏体中形核场所也越多,越有利于形核;另一方面,微合金碳氮化物在奥氏体中的溶解度越小,固溶在奥氏体中的微合金元素过饱和就越大,微合金碳氮化物析出驱动力也就越大。这样析出反应将更加弥散发生,因而析出物平均尺寸越小,数量也越多。

从表3还可以看出,无论1 000 ℃还是900 ℃变形40%时,实验钢 X1 中析出物数量相对地都高于实验钢 X2 中的数量。这是因为两实验钢中的碳、氮含量不同,增加碳、氮含量,将阻碍化合物的溶解,固溶量的减少则势必导致最后的有效沉淀析出量减少。

3 变形量对析出物大小及数量的影响

在1 000 ℃经60%和40%变形后,实验钢 X1 中析出物粒度分布统计结果见图1。

图1显示实验钢 X1 在1 000 ℃变形60%时,奥氏体中主要析出10~60 nm的析出物,约占析出物总数的75.6%;而在1 000 ℃变形40%时,奥

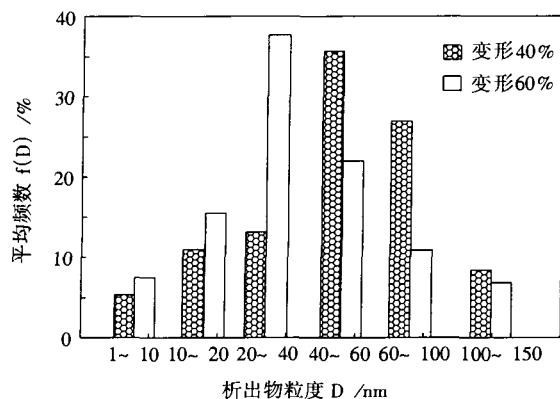


图1 1 000 ℃轧制时相对变形量对实验微合金船板钢 X1 奥氏体中析出物粒度分布的影响

Fig.1 Effect of relative degree of deformation on distribution of precipitated particle in austenite of test microalloy steel X1 for ship plate rolling at 1 000 ℃

氏体中主要析出 20~100 nm 的析出物,约占析出物总数的 75.6%。这说明同一变形温度下,变形量越大,奥氏体中析出物平均尺寸越小。实验钢 X1 在 1000 °C 变形 60% 时,奥氏体中析出物总数为 52 个,而 1000 °C 变形 40% 时,奥氏体中析出物总数只有 37 个。这说明同一变形温度下,变形量越大,奥氏体中析出物数量越多。这是因为同一变形温度下,变形量越大,奥氏体中位错密度越大,一方面,奥氏体中析出物的形核场所越多,有利于析出物形核;另一方面,固溶在奥氏体中的微合金元素及碳、氮的扩散速度变大,因而析出速度

就越大。这样析出物平均尺寸就越小,数量也就越多。

4 奥氏体中析出物形貌与类型

在透射电镜下观察发现,实验钢 X1 在 1000 °C 下变形时,奥氏体中析出物形貌主要有:球形和方形,见图 2(a),而在 900 °C 下变形时,奥氏体中析出物形貌主要有:球形,见图 2(b)。实验钢 X2 在 1000 °C 下变形时,奥氏体中析出物形貌主要有:球形、饼形,见图 2(c),而在 900 °C 下变形时,奥氏体中析出物形貌主要有:圆饼形,见图 2(d)。

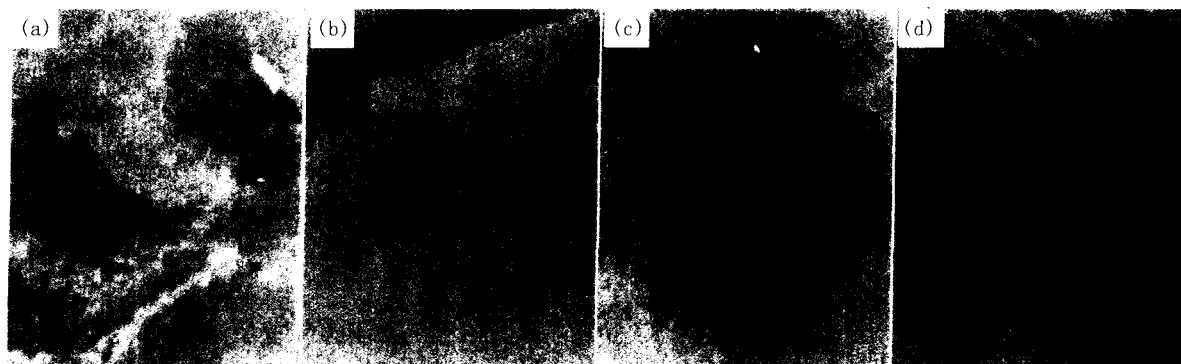


图 2 析出物形貌:(a) 钢 X1, 1000 °C 轧制;(b) 钢 X1, 900 °C 轧制;(c) 钢 X2, 1000 °C 轧制;(d) 钢 X2, 900 °C 轧制

Fig.2 Morphology of precipitated particle: (a) steel X1, rolling at 1000 °C; (b) steel X1, rolling at 900 °C; (c) steel X2, rolling at 1000 °C; (d) steel X2, rolling at 900 °C

通过电子衍射分析来研究析出物类型,根据电子衍射基本公式 $d = \lambda V/R^{[4]}$,对各电子衍射花样进行分析,得出图 2(a)、(c) 中存在铌和钛的碳氮化物析出物;图 2(b)、(d) 中存在铌、钒、钛 3 者的碳氮化物析出物。这说明 Ti 和 Nb 的碳、氮化物在整个轧制过程中都会析出,而 V 的析出物只在较低温度变形时析出。这主要是因为各微合金元素的碳、氮化物在奥氏体中完全固溶的温度不同,其中 V 的碳化物完全固溶的温度相对最低。

5 结论

(1) 对同一实验钢,变形量一定时,变形温度越低,其析出物数量越多,且析出物平均尺寸越小。

(2) 对同一实验钢,变形温度一定时,变形量越大,其析出物数量越多,且析出物平均尺寸越小。

(3) 实验钢 X1 在 1000 °C 下变形时,奥氏体中析出物形貌主要为球形和方形,在 900 °C 下变形时,奥氏体中析出物形貌主要为球形。而实验钢 X2 在 1000 °C 下变形时,奥氏体中析出物形貌

主要为球形、饼形,在 900 °C 下变形时,奥氏体中析出物形貌主要为圆饼形。

(4) Ti 和 Nb 的碳、氮化物在整个轧制过程中都会析出,而 V 的析出物只在较低温度变形时析出。

参考文献

- 1 王有铭,李曼云,韦光. 钢材的控制轧制与控制冷却. 北京:冶金工业出版社,1993:53
- 2 赵明纯,单以银. 管线钢中针状铁素体的形成及其强韧性分析. 材料科学与工艺,2001,9(4):27
- 3 Yoshie A, Fujioka M, Watanabe Y, et al. Modelling of Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Steel Plates Produced by Thermo-mechanical Control Process ISIJ Int, 1992, 323:395
- 4 洪班德,崔约贤. 材料电子显微分析实验技术. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1990:26

王洪(1961-),男,教授级高级工程师,1983年江西冶金学院毕业,北京科技大学博士生,中厚板产品开发和工艺研究。

收稿日期:2006-01-16