

基于电子背散射衍射技术的低碳钢原奥氏体晶界的显示技术探讨

崔桂彬, 鞠新华, 尹立新, 孟 杨, 温 娟

(首钢集团有限公司技术研究院, 北京 100043)

摘要:常规对原奥氏体晶界的显示均采用晶界腐蚀法,但是该方法成功率不高,具有一定的局限性,且所使用的苦味酸溶液属于危险品,因此,为了更好地显示出原奥氏体晶界,实验借助电子背散射衍射技术(EBSD)对低碳钢原奥氏体晶界的显示方法进行了详细研究。结果表明,与常规的晶界腐蚀法相比,借助 EBSD 技术可以显示原奥氏体晶界,其最佳晶界取向差在 $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 之间,且该低碳钢原奥氏体平均晶粒尺寸为 $40.02 \mu\text{m}$,与晶界腐蚀法统计的结果基本一致,但是对于经过大变形的原奥氏体晶界,实验方法并不适用,这可能与变形后马氏体变体之间的取向差随之变化有关。

关键词:低碳钢;奥氏体晶界;电子背散射衍射技术(EBSD)

中图分类号:O657.63;TF801+.3

文献标志码:A

文章编号:1000-7571(2019)07-0001-07

钢中原奥氏体晶粒大小对其强韧性等力学性能的优化起着非常重要的作用,对于研究钢在热处理工艺过程中组织的相变规律、以及组织演变与力学性能的关系均具有重要作用,因此原奥氏体晶粒大小的检测有着举足轻重的地位^[1-4]。原奥氏体晶界的显示方法有很多种^[5-6],如氧化法、网状渗碳体法、晶界腐蚀法等,其中效果较好的是晶界腐蚀法。晶界腐蚀法使用最多的腐蚀剂是饱和苦味酸水溶液或酒精溶液,此外,还可加入一些表面活性剂如洗洁精等增强腐蚀效果。然而原奥氏体晶界能否被清晰地显示出来除了跟样品本身的化学成分、热处理状态等有关外,还与浸蚀时间、浸蚀条件等有关,因此实际操作中,往往需要反复尝试,多次重复改变浸蚀参数,否则成功率不高。另外,苦味酸属于强酸,具有危险性,易爆炸,很多研究机构已禁止使用。因此本研究借助电子背散射衍射技术(EBSD)尝试探索显示奥氏体晶界的方法,该方法对于研究该钢种的相变过程具有非常重要的作用。

1 实验方法

试验材料为低碳含铌钢,其化学成分(质量分数)如表 1 所示。

将低碳含铌钢样品经热处理获得板条马氏体组

表 1 实验材料的化学成分

Table 1 Chemical composition of the material

							w/%	
C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Nb	
0.08~	0.11	1.15	0.007	0.003	0.052	0.011	0.04~	
0.1							0.05	

织,热处理工艺为 1200°C 保温 10 min 后水冷。再借助光学显微镜(OM)、场发射扫描电镜(FEG-SEM)和电子背散射衍射(EBSD)对淬火态样品进行组织观察和取向分析。

2 实验结果

2.1 晶界腐蚀法

对于大多数低碳钢来讲,奥氏体晶粒的显示主要是晶界腐蚀法,即通过采取苦味酸+其他溶液,以一定的配比混合,高温或室温下浸蚀的方法实现的。查阅相关文献资料^[7],浸蚀奥氏体晶粒的方法如表 2 所示。表 2 给出了两种显示奥氏体晶粒的浸蚀溶液成分、配比,以及具体的腐蚀方法,由此方法可以获得奥氏体晶粒的金相组织,经金相显微镜可以观察奥氏体晶粒尺寸、大小、形态等。

采用第 1 种浸蚀溶液对淬火态样品进行浸蚀,相

表 2 奥氏体晶粒显示用浸蚀溶液及腐蚀方法

Table 2 Corrosion solution and corrosion method for austenite grain display

序号 No.	用途 Application	成分及配比 Composition and ratio	腐蚀方法 Corrosion method
1	大多数钢淬火后的奥氏体晶界显示	① 5g 苦味酸; ② 4g 12 烷基苯磺酸钠; ③ 100mL 水; ④ 0.1g 钢片; ⑤ 5 滴双氧水。	将前 3 项①②③放入烧杯中加热至沸腾, 然后加入⑤双氧水, 再加入④钢片煮沸 2 min, 试样在 80~100 °C 热蚀, 时间为 40~50 s。
2	大多数钢	① 4g 苦味酸; ② 0.2g 氯化钠; ③ 50mL 水; ④ 2mL 四氯化碳; ⑤ 10mL 海鸥洗涤剂。	将④四氯化碳与⑤洗涤剂搅拌在一起, 再加入③水继续搅拌, 然后加入其他几项①②, 室温浸蚀, 并擦拭干净。

应的奥氏体晶界的显示效果如图 1 所示。图 1 中奥氏体晶界能够清晰的显示出来, 形成若干个完整的晶粒, 从而可以进一步计算奥氏体晶粒尺寸。但是在实际操作过程中, 往往需要反复尝试, 多次重复改

变浸蚀参数, 成功率并不高。另外, 苦味酸属于强酸, 危险易爆, 需要严格的储藏条件, 很多企业、高校已明令禁止使用。

2.2 原奥氏体晶界的显示

为了更好地将奥氏体晶界清晰显示出来, 借助 EBSD 技术对原奥氏体晶界与马氏体板条间的取向差分别进行了测量。图 2 为淬火态样品的 EBSD 取向分布图, 对照图 2(a) 和 (b), 可以清晰地看到马氏体切变后的板条组织, 以及奥氏体边界轮廓, 尤其是花样质量图中的奥氏体边界更为清晰, 然后利用 EBSD 后处理软件分别测量原奥氏体晶界与马氏体板条间的取向差。测量方法是在奥氏体晶内画一条线段(图 2(b) 中白色线段), 对应的马氏体板条之间的取向差即可读出, 如图 2(c) 所示; 同样, 利用相同的方法测出奥氏体边界的取向差, 并对这些取向差进一步数据统计分析, 如表 3 所示。

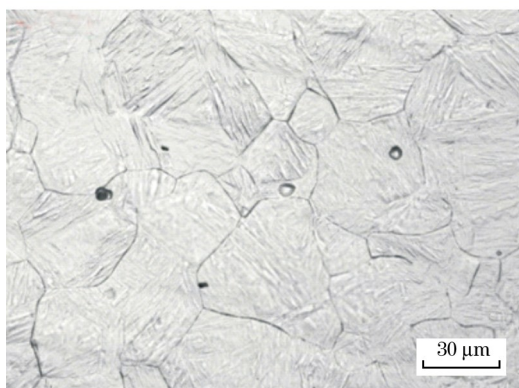
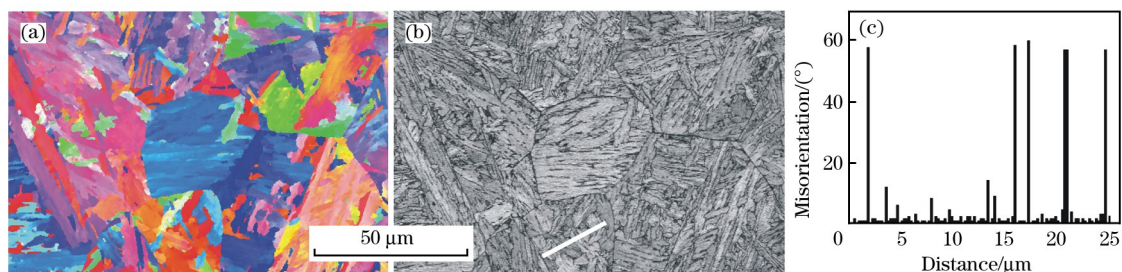


图 1 奥氏体晶界显示的金相照片

Fig. 1 OM image for austenite grain boundary displayed



(a) EBSD 取向图; (b) 花样质量图; (c) 马氏体板条间取向差。

图 2 淬火态样品的 EBSD 取向分布图

Fig. 2 EBSD orientation distribution of as-quenched samples

表 3 原奥氏体晶界与马氏体板条间的取向差

Table 3 Misorientation between the prior austenite grain boundary and the martensite laths

原奥氏体晶界取向差 Misorientation between prior austenite grain boundary						马氏体板条间取向差 Misorientation between martensite laths					
编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)	编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)	编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)	编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)	编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)	编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)
1#	40	35#	19.5	68#	50	1#	59	35#	58	68#	60
2#	36	36#	45	69#	39	2#	58	36#	57	69#	59.5
3#	41	37#	45.5	70#	26	3#	57.5	37#	7	70#	60

续表 3

原奥氏体晶界取向差 Misorientation between prior austenite grain boundary						马氏体板条间取向差 Misorientation between martensite laths					
编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)	编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)	编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)	编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)	编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)	编号 No.	取向差 Misorientation/ (°)
4 #	29	38 #	41	71 #	22	4 #	60.5	38 #	6	71 #	6.5
5 #	44	39 #	32	72 #	42	5 #	60	39 #	5.5	72 #	7.5
6 #	43	40 #	32	73 #	35	6 #	2.5	40 #	2	73 #	6.5
7 #	33.5	41 #	41	74 #	25	7 #	2	41 #	57	74 #	6
8 #	39.5	42 #	40	75 #	18	8 #	4	42 #	60	75 #	6
9 #	39	43 #	47	76 #	45	9 #	2	43 #	6	76 #	4
10 #	45	44 #	25	77 #	50	10 #	7.5	44 #	6.5	77 #	2
11 #	30.5	45 #	54	78 #	60	11 #	5.2	45 #	58	78 #	9.5
12 #	22.5	46 #	34	79 #	45	12 #	5.5	46 #	60	79 #	7.2
13 #	35	47 #	29	80 #	44	13 #	6.5	47 #	59.5	80 #	3.5
14 #	30.5	48 #	40	81 #	42	14 #	6.8	48 #	59	81 #	2.5
15 #	32.5	49 #	46	82 #	44	15 #	2	49 #	54	82 #	1.5
16 #	38	50 #	36	83 #	39.5	16 #	2.5	50 #	8	83 #	2.2
17 #	37	51 #	38	84 #	34	17 #	3	51 #	55.5	84 #	55
18 #	35	52 #	30	85 #	42	18 #	28	52 #	56.5	85 #	58
19 #	47	53 #	47	86 #	44	19 #	7	53 #	5	86 #	2.2
20 #	43	54 #	48	87 #	22	20 #	5	54 #	2	87 #	4.2
21 #	41	55 #	41	88 #	45	21 #	4	55 #	3	88 #	2.5
22 #	27	56 #	41	89 #	34	22 #	2	56 #	4	89 #	3
23 #	28.5	57 #	38	90 #	28	23 #	2	57 #	2	90 #	1
24 #	32	58 #	36	91 #	42	24 #	57	58 #	5	91 #	3
25 #	43	59 #	38	92 #	29	25 #	56.5	59 #	1	92 #	2
26 #	40	60 #	36	93 #	44	26 #	59	60 #	3	93 #	3
27 #	36	61 #	29	94 #	28.5	27 #	5	61 #	1	94 #	60.5
28 #	43	62 #	31	95 #	47	28 #	2	62 #	4	95 #	58
29 #	43	63 #	20.5	96 #	46	29 #	2	63 #	2	96 #	60
30 #	34	64 #	16	97 #	22	30 #	2	64 #	5	97 #	6
31 #	47	65 #	26	98 #	45.5	31 #	2	65 #	2	98 #	7
32 #	45	66 #	24	99 #	33	32 #	6	66 #	2	99 #	3
33 #	32	67 #	34	100 #	23	33 #	5	67 #	2	100 #	2
34 #	43					34 #	55				

表 3 为原奥氏体晶界与马氏体板条间的取向差,表中分别给出了原奥氏体晶界与马氏体板条间取向差的 100 个测量数据。对这 100 个数据进行绘图分析,如图 3 所示。

图 3 为原奥氏体晶界与马氏体板条间取向差的

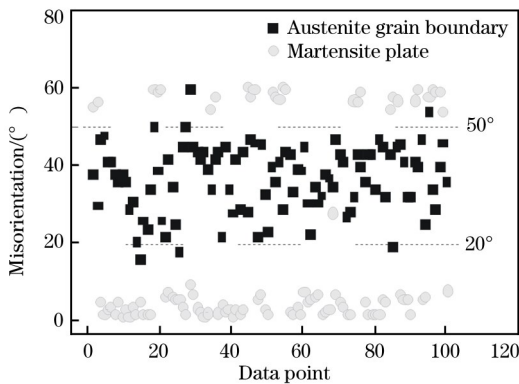
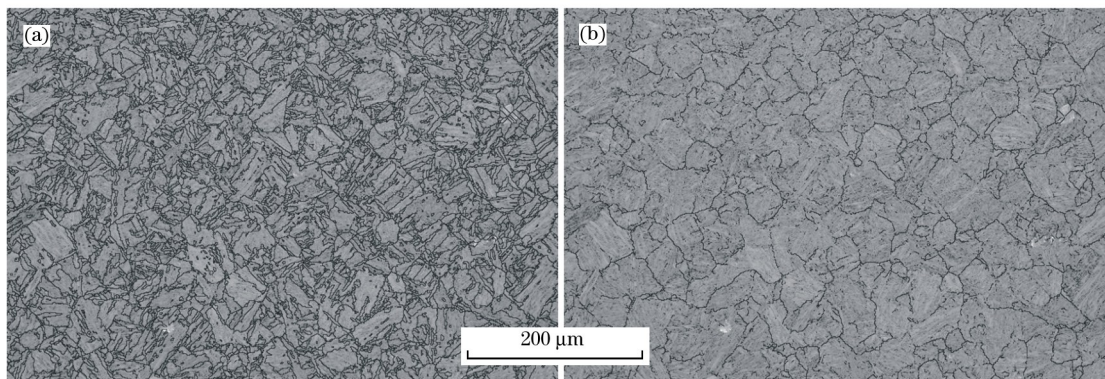


图 3 原奥氏体晶界与马氏体板条间取向差的分布图
Fig. 3 Distribution map of misorientation between the prior austenite grain boundary and the martensite lath

分布图。图中黑色数据点为原奥氏体晶界取向差,灰色数据点为原奥氏体晶内马氏体板条间的取向差,从图中不难发现,大多数奥氏体晶界的取向差与马氏体板条间取向差存在着一定的规律,即奥氏体晶界的取向差在 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 范围内,而马氏体板条间的取向差在此范围之外。由此可知,可以通过只将奥氏体晶界显示出来,进而勾勒出奥氏体晶粒的轮廓,以此绘制奥氏体晶界分布图,如图 4 所示。图 4(a) 为显示大于 15° 大角度晶界的原奥氏体晶界分布图,图中原奥氏体晶界与马氏体板条边界混淆在一起,难以分辨。图 4(b) 为显示 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 之间的奥氏体晶界分布图,与前者相比,可以相对清晰地分辨出奥氏体晶界的轮廓,以及晶粒的大小和形态。

2.3 与晶界腐蚀法比较

为了进一步验证 EBSD 数据处理结果的准确性,进行了 EBSD 与晶界腐蚀法的数据结果对比试验。选取相同扫描面积的照片分别进行奥氏体晶粒尺寸的测量,采用截点法,即水平方向拉水平等间距



(a) 晶界取向差大于 15°; (b) 晶界取向差 20°~50°之间。

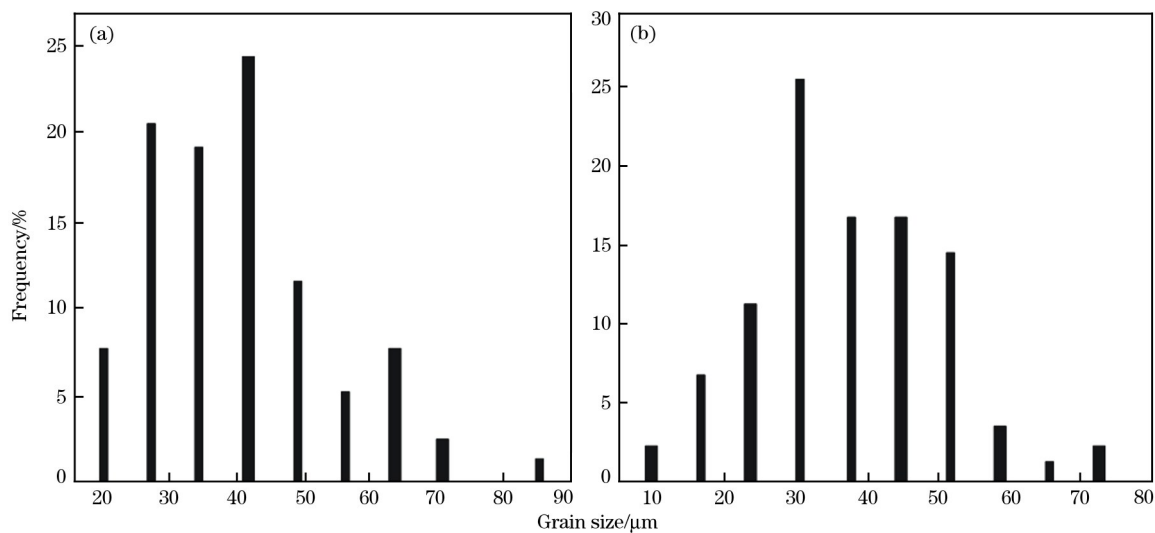
图 4 在不同晶界取向差下的奥氏体晶界显示的效果图

Fig. 4 Image of austenite grain boundary displayed under different grain boundary misorientation

直线,根据标尺计算奥氏体边界与直线交点的线段长度,用专业的数据处理软件(如 Image Tool)测量线段长度,再取平均值,测量结果分别如图 5 所示。

图 5 为 EBSD 和晶界腐蚀法对奥氏体晶粒尺寸进行统计分析后得到的结果。从图 5(a)中可知,对 EBSD 分析获得的花样质量图中的 78 个奥氏体晶

粒测量其尺寸,其平均尺寸为 40.02 μm,最大为 88.22 μm,最小为 16.11 μm;同样对晶界腐蚀法获得的照片中 100 个奥氏体晶粒进行尺寸测量,其平均尺寸为 38.41 μm,最大为 89.67 μm,最小为 6.61 μm。上述分析可知,两种方法获得的奥氏体晶粒尺寸基本一致,其平均晶粒尺寸仅相差约 1.6 μm。



(a) EBSD 数据结果; (b) 晶界腐蚀法的数据结果。

图 5 奥氏体晶粒尺寸分布图

Fig. 5 Distribution of austenite grain size

3 讨论

以往的研究表明^[8-11],在马氏体相变过程中,马氏体相与母相奥氏体存在着严格的取向关系,钢中比较常见的取向关系有 K-S 关系和 N-W 关系, K-S 关系可表示为 $\{111\}_\gamma // \{110\}'_\alpha$, $\langle 110 \rangle_\gamma // \langle 111 \rangle'_\alpha$ 。N-W 关系可表示为: $\{111\}_\gamma // \{110\}'_\alpha$, $\langle 112 \rangle_\gamma //$

$\langle 110 \rangle'_\alpha$ 。按照 K-S 关系,在立方点阵中 $\{111\}_\gamma$ 晶面族有 4 组不同晶面,每组晶面有 6 种不同的取向,所以共有 24 种马氏体取向,即有 24 种变体 ($V_n, n = 1 \sim 24$),列于表 4 中。同样,将 N-W 关系的 12 种变体列于表 5 中。

从表 4 和表 5 中不难发现,马氏体不同变体间有明显的取向差,将这些取向差进行数据统计分析

表 4 满足 K-S 关系的 24 种变体(V1-V24)

Table 4 The 24 variants for the K-S orientation relationship (V1-V24)

变体 Variants	位向关系 Orientation relationship	和变体 V1 的转角关系 Angular relationship of the variant V1/(°)	
V1	$[\bar{1}01]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$		
V2	$[\bar{1}01]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	60	
V3	$(111)_{\gamma} // [01\bar{1}]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	60	
V4	$(110)_{\alpha'}$	$[01\bar{1}]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	10.53
V5	$[\bar{1}10]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	60	
V6	$[\bar{1}10]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	49.47	
V7	$[\bar{1}0\bar{1}]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	49.47	
V8	$[\bar{1}0\bar{1}]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	10.53	
V9	$(\bar{1}\bar{1}1)_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}0]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	50.51	
V10	$(110)_{\alpha'}$	$[\bar{1}\bar{1}0]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	50.51
V11	$[011]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	14.88	
V12	$[011]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	57.21	
V13	$[0\bar{1}\bar{1}]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	14.88	
V14	$[0\bar{1}\bar{1}]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	50.51	
V15	$(\bar{1}\bar{1}1)_{\gamma} // [\bar{1}0\bar{1}]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	57.21	
V16	$(110)_{\alpha'}$	$[\bar{1}0\bar{1}]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	20.61
V17	$[\bar{1}10]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	51.73	
V18	$[\bar{1}10]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	47.11	
V19	$[\bar{1}\bar{1}0]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	50.51	
V20	$[\bar{1}\bar{1}0]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	57.21	
V21	$(11\bar{1})_{\gamma} // [0\bar{1}\bar{1}]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	20.61	
V22	$(110)_{\alpha'}$	$[0\bar{1}\bar{1}]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	47.11
V23	$[101]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	57.21	
V24	$[101]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$	21.06	

表 5 满足 N-W 关系的 12 种变体(V1-V12)

Table 5 The 12 variants for the N-W orientation relationship (V1-V12)

变体 Variants	位向关系 Orientation relationship	和变体 V1 的转角关系 Angular relationship of the variant V1/(°)	
V1	$[2\bar{1}\bar{1}]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$		
V2	$(111)_{\gamma} // [\bar{1}2\bar{1}]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$	60	
V3	$(011)_{\alpha'}$	$[\bar{1}\bar{1}2]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$	60
V4	$[\bar{2}\bar{1}\bar{1}]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$	19.47	
V5	$(\bar{1}\bar{1}1)_{\gamma} // [12\bar{1}]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$	53.69	
V6	$(011)_{\alpha'}$	$[\bar{1}\bar{1}2]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$	53.69
V7	$(011)_{\alpha'}$	$[21\bar{1}]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$	13.76
V8	$(111)_{\gamma} // [\bar{1}\bar{2}\bar{1}]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$	53.69	
V9	$(011)_{\alpha'}$	$[\bar{1}\bar{1}2]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$	50.05
V10	$(011)_{\alpha'}$	$[\bar{2}\bar{1}\bar{1}]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$	13.76
V11	$(\bar{1}\bar{1}1)_{\gamma} // [\bar{1}\bar{2}\bar{1}]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$	50.05	
V12	$(011)_{\alpha'}$	$[\bar{1}12]_{\gamma} // [0\bar{1}1]_{\alpha'}$	53.69

如图 6 所示。从图 6 中可知,无论是 K-S 关系的 24 种变体的取向差,还是 N-W 关系的 12 种变体的取向差,多数分布在 20°~50°范围之外,这与前面的实验结果基本吻合。

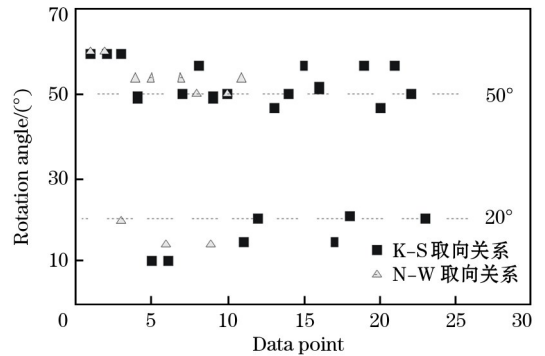


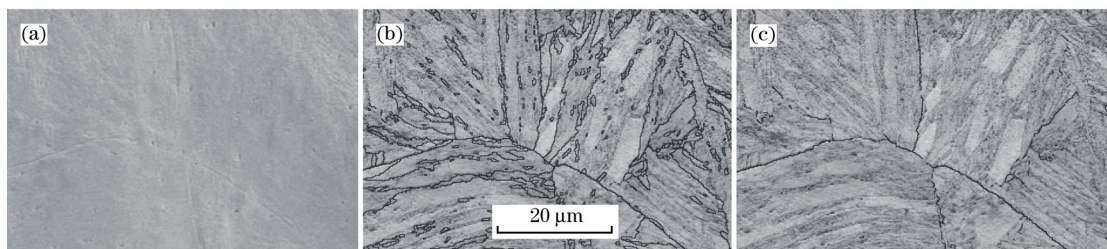
图 6 K-S 关系与 N-W 关系的马氏体不同变体间的取向差分布

Fig. 6 Misorientation distribution of different variants of martensite for the K-S and N-W orientation relationship

为了进一步验证实验结果的可靠性,进行了 EBSD 原位分析。将淬火态样品首先采用晶界腐蚀法,即借助苦味酸溶液浸蚀出奥氏体晶界,然后再利用电解抛光去除表面应力进行 EBSD 原位分析,如图 7 所示。图 7(a)为经苦味酸溶液浸蚀出奥氏体晶界的扫描电镜照片,从图中可以清晰地看到原奥氏体晶界的轮廓线,在该位置进行 EBSD 面扫描分析,获得图 7(b)对应的晶界取向差大于 15°的花样质量图,但从图中还无法分辨原奥氏体晶界和亚晶界,因此,需要经过数据处理,将原奥氏体晶界取向差进行测量并统计,如图 8 所示,发现晶界取向差依然在 20°~50°范围内。

对于经过大变形的奥氏体是否也可以用此方法来分辨原奥氏体晶界,同样进行了 EBSD 分析。热模拟工艺是将样品在 1200℃保温 10 min,然后降至 1000℃,压缩变形 50%,然后水冷,最终获得马氏体组织,然后将样品进行 EBSD 分析,并且以晶界取向差 20°~50°来显示原奥氏体晶界轮廓,如图 9 所示。从显示效果来看,奥氏体晶界显示的效果并不理想,很难分辨奥氏体的边界轮廓和形态。

结合晶界腐蚀法与 EBSD 的实验结果,对于等轴的或是完全再结晶的原奥氏体晶界选择取向差在 20°~50°之间更为符合,可以将大部分奥氏体晶界显示出来,但也有少数晶界不在该范围内。而对于经过大变形的或被压扁的奥氏体晶界,该取值范围



(a) 奥氏体晶界; (b) 大于 15°晶界; (c) 20°~50°晶界。

图 7 淬火态样品奥氏体晶粒的原位 EBSD 分析

Fig. 7 In-situ EBSD analysis of austenite grains in as-quenched samples

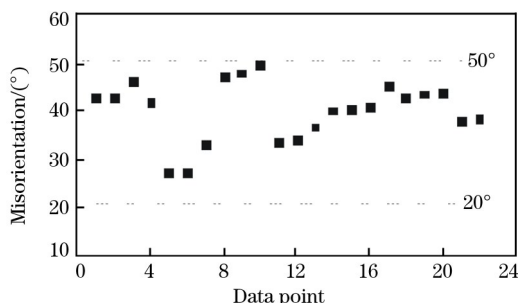


图 8 图 7(c)奥氏体晶界取向差分布

Fig. 8 Misorientation distribution of austenite grain boundary in Fig. 7(c)

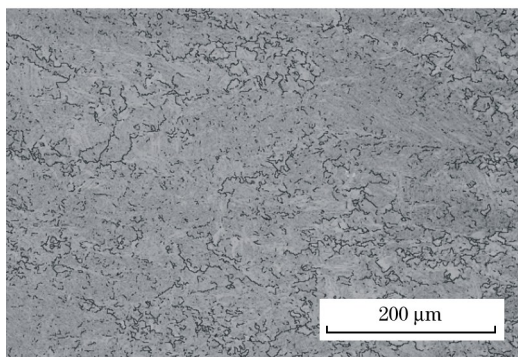


图 9 经过变形的奥氏体晶界分布图

Fig. 9 Distribution map of austenite grain boundary deformed

不再适用,这可能与变形后马氏体变体之间的取向差随之变化有关。

4 结语

利用光学显微镜(OM)和电子背散射衍射技术(EBSD)对低碳钢原奥氏体晶界的显示方法进行了详细研究。试验研究表明 EBSD 技术可以显示原奥氏体晶界,其最佳晶界取向差在 20°~50°之间。与晶界腐蚀法相比,结果基本一致,但是对于经过大变形的原奥氏体晶界难以显示清晰,该方法并不适用,

这可能与变形后马氏体变体之间的取向差也随之变化有关。

参考文献:

- [1] 梁宇,向嵩,梁益龙,等.原奥氏体晶粒尺寸对珠光体钢组织及韧性的影响[J].材料导报,2017,31(1):77-81.
LIANG Yu, XIANG Song, LIANG Yi-long, et al. Effect of prior austenite grain size on microstructure and toughness of pearlitic steel[J]. Materials Review, 2017, 31(1): 77-81.
- [2] 赵西成,霍群英.热轧工艺对 20MnMoB 钢奥氏体晶粒度的影响[J].金属热处理,2001,26(12):34-36.
ZHAO Xi-cheng, HUO Qun-ying. Influence of hot rolling technology on austenite grain size of 20MnMoB steel[J]. Heat Treatment of Metals, 2001, 26(12): 34-36.
- [3] 于庆波,张仲波,李子林,等.Nb 对低碳钢奥氏体晶粒长大的影响[J].钢铁,2006,41(12):70-74.
YU Qing-bo, ZHANG Zhong-bo, LI Zi-lin, et al. Effect of Nb on austenite grain growth of low carbon steel[J]. Iron and Steel, 2006, 41(12): 70-74.
- [4] 杨跃辉.高铌低碳贝氏体钢奥氏体晶粒的长大行为[J].机械工程材料,2016,40(6):106-110.
YANG Yue-hui. Austenite grain growth behavior of low carbon bainite steel with high Nb content[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2016, 40(6): 106-110.
- [5] 何健楠,刘金源,梅娜,等.奥氏体晶粒氧化显示浸蚀方法的改进[J].江西冶金,2015,35(3):5-7.
HE Jian-nan, LIU Jin-yuan, MEI Na, et al. Improving etching method to show austenite grain oxidation[J]. Jiangxi Metallurgy, 2015, 35(3): 5-7.
- [6] 向嵩,孙玉玲,梁益龙,等.SWRS82B 盘条钢原奥氏体晶界显示技术[J].热加工工艺,2011,40(14):29-31.
XIANG Song, SUN Yu-ling, LIANG Yi-long, et al. Revealing techniques of austenite grain boundary in SWRS82B wire rod steel[J]. Hot Working Technology, 2011, 40(14): 29-31.

- [7] 王维发,王星,王培科,等.ZG25MnF8 钢调质组织原奥氏体晶粒的显示方法[J].理化检验:物理分册,2016,52(1):25-35.
WANG Wei-fa, WANG Xing, WANG Pei-ke, et al. A method to display the original austenite grain of conditioning structure of ZG25MnF8 steel[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part A: Physical Testing, 2016, 52(1): 25-35.
- [8] 张美汉,许为宗,郭正洪,等.EBSD 在马氏体变体间位向关系测定中的应用[J].电子显微学报,2010,29(1):63-68.
ZHANG Mei-han, XU Wei-zong, GUO Zheng-hong, et al. Study on the orientational relationship between martensite variants by EBSD[J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2010, 29(1): 63-68.
- [9] 王申存,李志成,易丹青,等.低温回火马氏体取向关系的电子背散射衍射研究[J].中南大学学报,2011,42(9):2620-2627.
WANG Shen-cun, LI Zhi-cheng, YI Dan-qing, et al. Ori-
- entation relationship of low temperature tempered martensite investigated by electron back scattered diffraction [J]. Journal of Central South University, 2011, 42(9): 2620-2627.
- [10] 秦兆慧,胡建民,王月媛,等.立方晶系中同指数晶列与晶面的空间取向关系[J].大学物理,2017,36(9):24-26.
QIN Zhao-hui, HU Jian-min, WANG Yue-yuan, et al. The relationship of the spatial orientation between the crystal columns and the crystal surface of the same exponential in cubic crystal[J]. University Physics, 2017, 36(9): 24-26.
- [11] 王瑞军,赵素英,张礼刚,等.马氏体相变的取向关系及变体[J].河北师范大学学报:自然科学版,2009,33(4):482-490.
WANG Rui-jun, ZHAO Su-ying, ZHANG Li-gang, et al. Study on the orientation relationships and the variants of the martensite[J]. Journal of Hebei Normal University: Natural Science Edition, 2009, 33(4): 482-490.

Discussion of display technology for the prior austenite grain boundary in low-carbon steel based on electron backscatter diffraction

CUI Gui-bin, JU Xin-hua, YIN Li-xin, MENG Yang, WEN Juan

(Shougang Group Company Limited Research Institute of Technology, Beijing 100043, China)

Abstract: The display of the prior austenite grain boundary usually adopts grain boundary corrosion method. However, the success rate of this method is not high with certain limitation. Moreover, the picric acid solution used belongs to dangerous goods. In order to better display the prior austenite grain boundary, the display technology for the prior austenite grain boundary in low-carbon steel was systemically investigated based on electron backscatter diffraction (EBSD). The experimental results showed that the prior austenite grain boundary could be displayed by EBSD technology compared to the conventional boundary corrosion method. The optimal grain boundary disorientation was in range of 20° - 50° . Moreover, the average grain size of prior austenite in this low-carbon steel was $40.02\ \mu\text{m}$, which was basically consistent with the statistical results by boundary corrosion method. However, the experimental method was not applicable for the prior austenite grain boundary after large deformation, which was possibly due to the change of disorientations among the deformed martensite variant after deformation.

Key words: low-carbon steel; austenite grain boundary; electron backscatter diffraction (EBSD)