



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108203788 B

(45)授权公告日 2019.10.22

(21)申请号 201810081918.1

G22C 38/04(2006.01)

(22)申请日 2018.01.29

G22C 38/06(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

G22C 38/12(2006.01)

申请公布号 CN 108203788 A

G22C 38/14(2006.01)

(43)申请公布日 2018.06.26

G21D 8/12(2006.01)

G21D 1/26(2006.01)

(73)专利权人 东北大学

(56)对比文件

地址 110169 辽宁省沈阳市浑南区创新路
195号

CN 104762551 A,2015.07.08,

CN 105063473 A,2015.11.18,

(72)发明人 焦海涛 许云波 徐海洁 程思飞
曹光明 李成刚 李建平

CN 107245647 A,2017.10.13,

EP 0047129 A1,1982.03.10,

(74)专利代理机构 沈阳优普达知识产权代理事
务所(特殊普通合伙) 21234

CN 103290190 A,2013.09.11,

CN 107385335 A,2017.11.24,

代理人 张志伟

审查员 蔡灿

(51)Int.Cl.

G22C 38/02(2006.01)

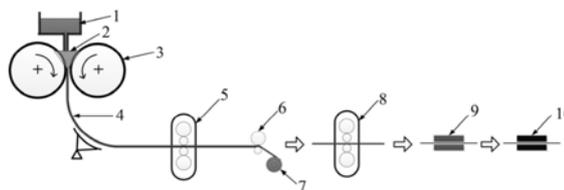
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的
制备方法

(57)摘要

本发明属于冶金技术领域,特别涉及一种薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的制备方法。无取向硅钢的成分按照质量百分比为: $C \leq 0.004\%$, $Si 1.4 \sim 2.0\%$, $Mn 0.05 \sim 0.2\%$, $Al 0.1 \sim 0.4\%$, $S \leq 0.005\%$, $N \leq 0.005\%$, $Sn \leq 0.05\%$, $P \leq 0.01\%$, $Nb+V+Ti \leq 0.008\%$,余量为铁。其制备方法为:冶炼钢水并薄带连铸获得1.5~2.5mm铸带,铸带出辊后进行在线热轧,热轧总压下量为50~65%,然后进行卷曲。热轧带酸洗后进行冷轧,压下量为45~60%。将冷轧板在800~1000℃退火4~8min,然后以小于50℃/s的速度冷至室温并进行涂层处理,得到周向平均磁感值 $\geq 1.70T$ 、各向异性小于5%的薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢。



1. 一种薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的制备方法,其特征在于,按以下步骤进行:

(1) 冶炼和薄带连铸得到1.5~2.5mm厚的铸带,其化学元素质量百分比为 $C \leq 0.004\%$,
Si 1.7~2.0%, Mn 0.05~0.2%, Al 0.1~0.4%, $S \leq 0.005\%$, $N \leq 0.005\%$, $Sn \leq 0.05\%$, $P \leq 0.01\%$,
 $Nb+V+Ti \leq 0.008\%$,余量为Fe;冶炼过程中控制钢液过热度为40~70℃,薄带连铸过程中铸辊采用铜辊;

(2) 铸带出辊后进行在线热轧,热轧开轧温度1000~1200℃,热轧总压下量为50~65%,然后进行卷曲;

(3) 将热轧后的铸带进行酸洗,去除氧化铁皮;

(4) 将酸洗后的铸带冷轧,冷轧压下量为45~60%;

(5) 将冷轧板在体积比60~40% N_2 +40~60% H_2 的气氛中进行退火,退火温度为800~1000℃,保温时间为4~8min;然后以小于50℃/s的速度冷至室温并进行涂层处理,得到无取向硅钢成品;

所述的铸带热轧后的卷曲温度 $\leq 500^\circ C$;

所述的冷轧板退火时施加1.5~3.5MPa的张力,露点为 $\leq -5^\circ C$;

所述的无取向硅钢成品板周向平均磁感值 $\geq 1.70T$,各向异性小于5%。

一种薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于冶金技术领域,特别涉及一种薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的制备方法。

背景技术

[0002] 无取向硅钢是一种重要的软磁材料,主要用于各种电机及发电机的铁芯制备。电机是在运转状态下工作,为了减少工作过程中的能量损耗,要求硅钢板磁性能优异且磁各向同性。但是,在实际产品中总会存在一定的磁各向异性,这将可能增加电机工作时的能量损耗或者导致错误的警报。

[0003] 对于多晶材料而言,其在变形及再结晶过程中会展现出一定的织构,从而使得材料在横、纵向的磁性能具有一定的差异,硅钢的磁性能是磁晶各向异性有关。众所周知,体心立方单晶中 $\langle 001 \rangle$ 轴是易磁化方向, $\langle 111 \rangle$ 轴是难磁化方向,而 $\langle 110 \rangle$ 轴则介于二者之间。因此,减少退火板中的 $\{111\} \langle uvw \rangle$ 、增强 $\{100\} \langle 0vw \rangle$ 织构是减小各向异性、提高无取向硅钢磁性能并改善电机效率的重要措施之一。

[0004] 无取向硅钢的常规生产流程一般要经过连铸、热轧、常化、冷轧、退火等工艺。为了获得满足高效化、节能化要求的无取向硅钢,人们对无取向硅钢的成分、制造工艺进行许多研究,试图开发出磁性优异的无取向硅钢。专利公开号CN104152800A提供一种通过控制Si、Al、Mn、C、P、S含量,再添加合适的微量元素Mo、Cr和Ce的方法来降低无取向硅钢磁化时的磁各向异性常数,从而改善钢板组织织构、降低无取向硅钢板磁各向异性。但是此方法仍只能使纵横向铁损差值小于8%、磁感差值小于9%。专利公开号CN103849810A通过控制钢水温度及碳、氧含量,并采用低温张力短时退火,制备各向异性优异的无取向硅钢,此方法只提到将铁损异性控制到10%以下,并未提及磁感。日本川崎公司在中国的专利CN1094523则提供一种通过优化热轧工艺来增强退火板中 $\{100\} \langle 001 \rangle$ 、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ 织构的强度,减弱 $\{111\}$ 织构强度的方法,并获得横纵向铁损差值小于8%,磁感差值小于5%的低铁损、高磁感无取向硅钢。以上的方法虽然对无取向硅钢的磁各向异性有所改善,但离我们所要求的各向同性还有一定的差距。

[0005] 双辊薄带连铸是一种典型的近终成型技术,其流程是将钢液直接浇注到由两个旋转的铸辊及侧封板组成的熔池内,在快速冷却条件下直接凝固形成1~5mm的薄带,可以省去常规的铸坯加热及热轧等工艺,具有节能、环保等特点。此外,其在无取向硅钢组织及织构控制方面也有一定的优势。相关的研究表明,利用薄带连铸生产的无取向硅钢磁感值比常规流程普遍提高0.04T以上,主要原因是退火板中存在更强的 $\{100\} \langle 001 \rangle$ 织构。因此,开发薄带连铸条件下的低磁各向异性无取向硅钢是非常有意义的。专利CN102049479B及CN102069165B给出一种通过调整钢液过热度来分别获得全柱状晶与全等轴晶组织的薄带坯的方法。专利CN102274936B通过控制铸带温轧及冷轧板退火工艺,获得一种高磁感无取向硅钢。专利CN102936644B则提供一种通过控制铸带热轧温度及压下率来提高铸轧无取向硅钢磁感、降低铁损的方法。上述技术虽然均在不同程度上提高无取向硅钢的磁性能,但它

们均没有涉及磁性能各向异性,而硅钢性能各向异性将会影响电机的转动损耗,是电动设备能否获得优异特性的关键因素之一。因此,开发薄带连铸条件下具有高磁感且低磁各向异性的无取向硅钢具有重要的意义。本专利申请是在国家自然科学基金项目(51674080)资助下完成的。

发明内容

[0006] 针对现有无取向硅钢在制备方法及性能方面存在的上述问题,本发明提供一种薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的制备方法,通过控制连铸、轧制及退火工艺,获得一种磁性能优异且具有低各向异性的无取向硅钢板。

[0007] 本发明的技术方案是:

[0008] 一种薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的制备方法,按以下步骤进行:

[0009] (1) 冶炼和薄带连铸得到1.5~2.5mm厚的铸带,其化学元素质量百分配比为 $C \leq 0.004\%$, $Si 1.4 \sim 2.0\%$, $Mn 0.05 \sim 0.2\%$, $Al 0.1 \sim 0.4\%$, $S \leq 0.005\%$, $N \leq 0.005\%$, $Sn \leq 0.05\%$, $P \leq 0.01\%$, $Nb+V+Ti \leq 0.008\%$, 余量为Fe;冶炼过程中控制钢液过热度为40~70℃,薄带连铸过程中铸辊采用铜辊;

[0010] (2) 铸带出辊后进行在线热轧,热轧开轧温度1000~1200℃,热轧总压下量为50~65%,然后进行卷曲;

[0011] (3) 将热轧后的铸带进行酸洗,去除氧化铁皮;

[0012] (4) 将酸洗后的铸带冷轧,冷轧压下量为45~60%;

[0013] (5) 将冷轧板在体积比60~40% N_2 +40~60% H_2 的气氛中进行退火,退火温度为800~1000℃,保温时间为4~8min;然后以小于50℃/s的速度冷至室温并进行涂层处理,得到无取向硅钢成品。

[0014] 所述的铸带热轧后的卷曲温度 $\leq 500^\circ C$ 。

[0015] 所述的冷轧板退火时施加1.5~3.5MPa的张力,露点为 $\leq -5^\circ C$ 。

[0016] 所述的无取向硅钢成品板周向平均磁感值 $\geq 1.70T$,各向异性小于5%。

[0017] 与现有技术相比,本发明的特点和有益效果是:

[0018] (1) 本发明通过大压下热轧+小压下冷轧的工艺减少冷轧板中剪切带组织,从而减少容易引起各向异性的{110}<001>织构的形核。此外,增加冷轧板中{100}织构的保留,促进全{100}织构的形核。

[0019] (2) 本发明通过铸带在高温区大压下热轧,在改善铸带板形和塑性的同时,降低冷轧机负荷。

[0020] (3) 本发明生产流程短、绿色环保,生产成本低,而且产品磁感高、各向异性低。

附图说明

[0021] 图1为本发明的低磁各向异性无取向硅钢的制备方法流程图,其中:1中间包;2侧封板;3铸辊;4铸带;5热轧机组;6卷取机;7带卷;8酸洗、冷轧机组;9退火机组;10涂层机组。

[0022] 图2为本发明实施例1中的热轧板组织图;

[0023] 图3为本发明实施例1中的热轧板宏观织构图;

- [0024] 图4为本发明实施例1中的退火板显微组织图；
 [0025] 图5为本发明实施例1中的退火板宏观织构图；
 [0026] 图6为本发明对比例1中的退火板宏观织构图。

具体实施方式

[0027] 在具体实施过程中,如图1所示,本发明薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的制备方法流程如下:中间包1→侧封板2→铸辊3→铸带4→热轧机组5→卷取机6→带卷7→酸洗、冷轧机组8→退火机组9→涂层机组10。冶炼钢水并薄带连铸获得1.5~2.5mm铸带,铸带出辊后进行在线热轧,热轧总压下量为50~65%,然后进行卷曲。热轧带酸洗后进行冷轧,压下量为45~60%(热轧总压下量高于冷轧总压下量)。将冷轧板在800~1000℃退火4~8min,然后以小于50℃/s的速度冷至室温并进行涂层处理,得到周向平均磁感值 $\geq 1.70\text{T}$ 、各向异性小于5%的薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢。

[0028] 本发明实施例中,观测铸带及退火板组织采用的设备为Leica Q550IW金相显微镜,织构测量采用Philip PW3040/60型X射线衍射仪,取样尺寸为22mm(轧向) \times 20mm(横向)。

[0029] 下面,通过实施例对本发明进一步详细阐述。

[0030] 实施例1

[0031] 本实施例中,薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的制备方法,按以下步骤进行:

[0032] 按照化学成分(质量百分比)C 0.004%,Si 1.4%,Mn 0.10%,Al 0.4%,S 0.003%,N 0.003%,Sn 0.03%,P 0.008%,Nb+V+Ti \leq 0.008%,其余为Fe。冶炼钢水,钢液过热度55℃,利用薄带连铸机铸轧成1.70mm的铸带,铸轧过程中铸辊采用铜辊。

[0033] 铸带出辊后进行在线热轧,热轧开轧温度1020℃,热轧总压下量为55%,在450℃卷曲后冷却至室温。图2为铸带热轧板的金相组织,图3为铸带热轧板的宏观织构,可以看出铸带热轧板平均晶粒尺寸约为210 μm ,织构强点为{113}<110>,但仍存在全的{100}织构。

[0034] 将热轧的铸带进行酸洗,去除氧化铁皮,然后冷轧至0.35mm,冷轧压下量为54%。

[0035] 将冷轧板在60%N₂+40%H₂(体积比)的气氛中进行退火,退火温度为950℃,时间为5min,张力为1.7MPa,露点为-15℃。然后以30℃/s的速度冷至室温并进行涂层处理,得到无取向硅钢成品。

[0036] 图4为其成品板组织,图5为其宏观织构,可以看出其平均晶粒尺寸约为40 μm ,再结晶织构为全的{100}织构和弱的{110}<001>织构。

[0037] 所得的无取向硅钢成品板的磁性能见表1。其轧向磁感值最大,为1.768T,45°方向磁感值最小,为1.685T,周向平均磁感值1.724T,各向异性4.8%。

[0038] 表1:磁性能结果

[0039]

与轧向的角度	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
磁感值B50 (T)	1.768	1.735	1.715	1.685	1.702	1.725	1.736

[0040] 对比例1

[0041] 本对比例中,无取向硅钢的制备方法,按以下步骤进行:

[0042] 按照化学成分(质量百分比)C 0.004%,Si 1.4%,Mn 0.10%,Al 0.4%,S

0.003%, N 0.003%, Sn 0.03%, P 0.008%, Nb+V+Ti ≤ 0.008%, 其余为Fe。冶炼钢水, 钢液过热度55℃, 利用薄带连铸机铸轧成1.70mm的铸带, 铸轧过程中铸辊采用铜辊。

[0043] 铸带出辊后冷却至450℃进行卷曲, 然后冷却至室温。

[0044] 将铸带进行酸洗, 去除氧化铁皮, 然后冷轧至0.35mm, 冷轧压下量为79%。

[0045] 将冷轧板在60%N₂+40%H₂ (体积比) 的气氛中进行退火, 退火温度为950℃, 时间为5min, 张力为0.8MPa, 露点为5℃。然后以30℃/s的速度冷至室温并进行涂层处理, 得到无取向硅钢成品。

[0046] 如图6所示, 从成品板的宏观织构可以看出, 其再结晶织构为强的{110} <001>和{100} <001>织构, 这种单一的织构组合容易引起大的各向异性。

[0047] 所得的无取向硅钢成品板的磁性能见表2, 可以看出其在45°方向的磁感值较低, 仅为1.647T, 比同一成分的实施例1的产品小0.038T。周向平均磁感值1.718T, 各向异性8.3%。

[0048] 表2: 磁性能结果

[0049]

与轧向的角度	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
磁感值B50 (T)	1.795	1.765	1.695	1.647	1.670	1.710	1.746

[0050] 实施例2

[0051] 本实施例中, 薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的制备方法, 按以下步骤进行:

[0052] 按照化学成分(质量百分比) C 0.004%, Si 2.0%, Mn 0.2%, Al 0.4%, S 0.004%, N 0.003%, Sn 0.05%, P 0.01%, Nb+V+Ti ≤ 0.008%, 其余为Fe。冶炼钢水, 钢液过热度70℃, 利用薄带连铸机铸轧成2.5mm的铸带, 铸轧过程中铸辊采用铜辊。

[0053] 铸带出辊后进行在线热轧, 热轧开轧温度1180℃, 热轧总压下量为64%, 在500℃卷曲后冷却至室温。

[0054] 将热轧的铸带进行酸洗, 去除氧化铁皮, 然后冷轧至0.50mm, 冷轧压下量为59%。

[0055] 将冷轧板在50%N₂+50%H₂ (体积比) 的气氛中进行退火, 退火温度为1000℃, 时间为4min, 张力为2.1MPa, 露点为-10℃。然后以35℃/s的速度冷至室温并进行涂层处理, 得到无取向硅钢成品。

[0056] 所得的无取向硅钢成品板的磁性能见表3。周向平均磁感值1.704T, 各向异性4.9%。

[0057] 表3: 磁性能结果

[0058]

与轧向的角度	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
磁感值B50 (T)	1.742	1.727	1.685	1.657	1.678	1.711	1.728

[0059] 实施例3

[0060] 本实施例中, 薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的制备方法, 按以下步骤进行:

[0061] 按照化学成分(质量百分比) C 0.003%, Si 1.7%, Mn 0.06%, Al 0.3%, S 0.003%, N 0.003%, Sn 0.03%, P 0.005%, Nb+V+Ti ≤ 0.008%, 其余为Fe。冶炼钢水, 钢液过热度40℃, 利用薄带连铸机铸轧成2.0mm的铸带, 铸轧过程中铸辊采用铜辊。

[0062] 铸带出辊后进行在线热轧, 热轧开轧温度1100℃, 热轧总压下量为52%, 在480℃

卷曲后冷却至室温。

[0063] 将热轧的铸带进行酸洗,去除氧化铁皮,然后冷轧至0.50mm,冷轧压下量为48%。

[0064] 将冷轧板在40%N₂+60%H₂(体积比)的气氛中进行退火,退火温度为800℃,时间为8min,张力为3.2MPa,露点为-10℃。然后以20℃/s的速度冷至室温并进行涂层处理,得到无取向硅钢成品。

[0065] 所得的无取向硅钢成品板的磁性能见表4。周向平均磁感值1.719T,各向异性4.4%。

[0066] 表4:磁性能结果

[0067]

与轧向的角度	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
磁感值B50 (T)	1.759	1.738	1.712	1.682	1.697	1.715	1.731

[0068] 实施例4

[0069] 本实施例中,薄带连铸低磁各向异性无取向硅钢的制备方法,按以下步骤进行:

[0070] 按照化学成分(质量百分比)C 0.004%,Si 1.5%,Mn 0.1%,Al 0.15%,S 0.003%,N 0.003%,Sn 0.03%,P 0.008%,Nb+V+Ti≤0.008%,其余为Fe,冶炼钢水。钢液过热度60℃,利用薄带连铸机铸轧成1.8mm的铸带,铸轧过程中铸辊采用铜辊。

[0071] 铸带出辊后进行在线热轧,热轧开轧温度1000℃,热轧总压下量为60%,在450℃卷曲后冷却至室温。

[0072] 将热轧的铸带进行酸洗,去除氧化铁皮,然后冷轧至0.35mm,冷轧压下量为51%。

[0073] 将冷轧板在50%N₂+50%H₂的气氛中进行退火,退火温度为1000℃,时间为4min,张力为2.4MPa,露点为-25℃。然后以20℃/s的速度冷至室温并进行涂层处理,得到无取向硅钢成品。

[0074] 所得的无取向硅钢成品板的磁性能见表5。周向平均磁感值1.730T,各向异性4.8%。

[0075] 表5:磁性能结果

[0076]

与轧向的角度	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
磁感值B50 (T)	1.778	1.742	1.724	1.692	1.708	1.721	1.748

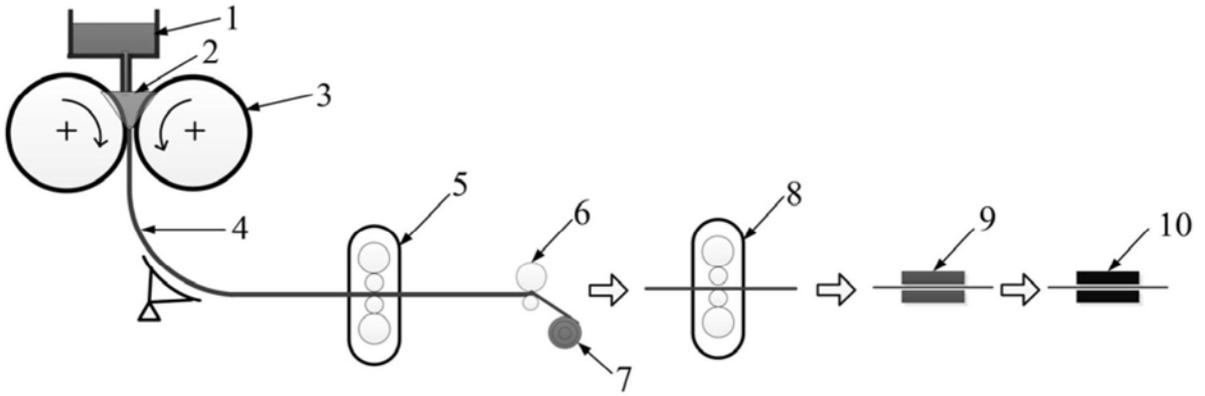


图1

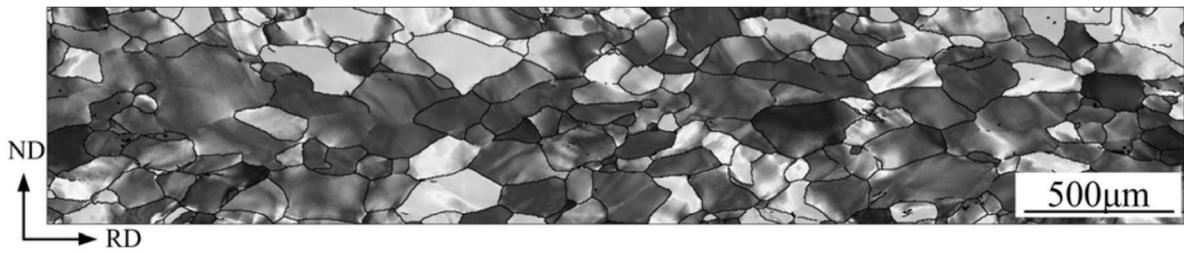


图2

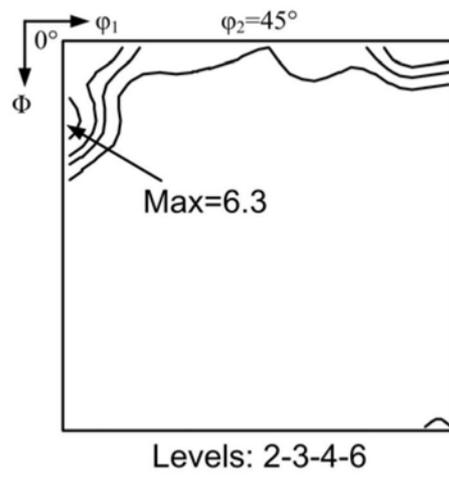


图3

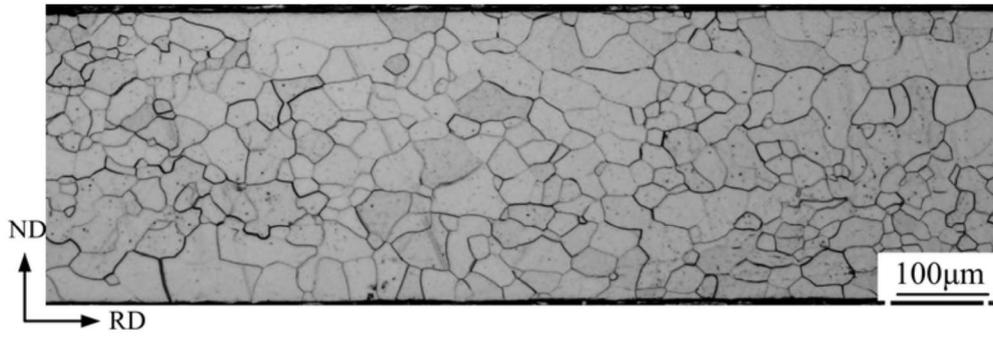


图4

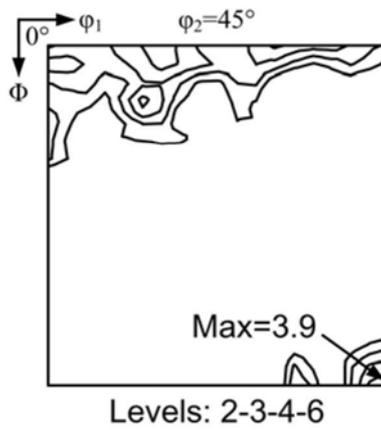


图5

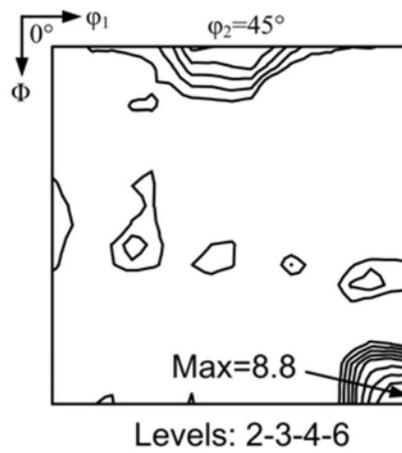


图6