



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104372257 A

(43) 申请公布日 2015. 02. 25

(21) 申请号 201410665983. 0

(22) 申请日 2014. 11. 20

(71) 申请人 南京钢铁股份有限公司

地址 210035 江苏省南京市六合区卸甲甸 1 号

(72) 发明人 王同良 邓伟 李恒坤 崔强

(74) 专利代理机构 南京汇盛专利商标事务所  
(普通合伙) 32238

代理人 陈扬

(51) Int. Cl.

C22C 38/38(2006. 01)

C22C 38/28(2006. 01)

C21D 8/02(2006. 01)

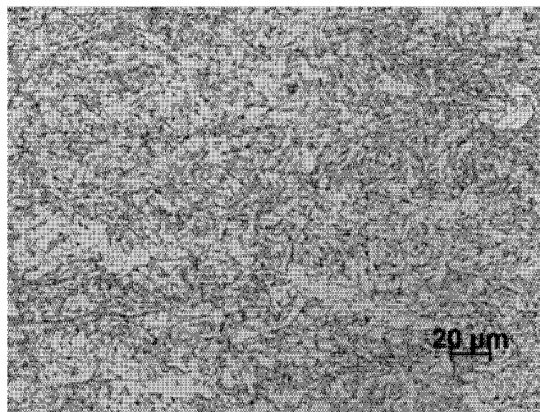
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

利用返红余热提高强韧性的低合金高强中厚板及其制法

(57) 摘要

本发明公开了一种利用返红余热提高强韧性的低合金高强中厚板及其制法,化学成分按重量百分比计,C :0. 03 ~ 0. 09%, Si :0. 10 ~ 0. 35%, Mn :0. 80 ~ 1. 7%, P :≤ 0. 015%, S :≤ 0. 0020%, Nb :0. 010 ~ 0. 050%, V :0. 010 ~ 0. 050%, Ti :0. 005 ~ 0. 030%, Cr :0. 15 ~ 0. 50%, Mo :0. 05 ~ 0. 20%, 余量为 Fe 及不可避免的杂质。制造方法 :通过合理的低碳成分设计,低硫磷冶炼工艺,配合其他的合金元素,提高中厚板淬透性,采用 TMCP 工艺轧制,通过控冷后合理的堆冷工艺,控制 V 的 C、N 化物析出,并且释放轧制应力。所获得的低合金高强钢板组织为针状铁素体 + 粒状贝氏体的混合组织,原始奥氏体晶粒均匀、细小。生产工艺稳定,可操作性强,低成本、高性能。



1. 一种利用返红余热提高强韧性的低合金高强中厚板,其特征在于:该低合金高强中厚板中钢的化学成分按重量百分比计,C:0.03~0.09%,Si:0.10~0.35%,Mn:0.80~1.7%,P: $\leq$ 0.015%,S: $\leq$ 0.0020%,Nb:0.010~0.050%,V:0.010~0.050%,Ti:0.005~0.030%,Cr:0.15~0.50%,Mo:0.05~0.20%,余量为Fe及不可避免的杂质。

2. 根据权利要求1所述的利用返红余热提高强韧性的低合金高强中厚板,其特征在于:该钢板组织为针状铁素体+粒状贝氏体的混合组织。

3. 一种权利要求1所述利用返红余热提高强韧性的低合金高强中厚板的制法,其特征在于该制法包括如下工序:

1) 冶炼工艺:采用转炉冶炼,通过顶吹,充分脱碳;采用RH或VD真空脱气处理以及LF处理,降低有害元素O、N、H、S、P含量,进行微合金化,然后铸坯,钢坯的化学成分按重量百分比计符合,C:0.03~0.09%,Si:0.10~0.35%,Mn:0.80~1.7%,P: $\leq$ 0.015%,S: $\leq$ 0.0020%,Nb:0.010~0.050%,V:0.010~0.050%,Ti:0.005~0.030%,Cr:0.15~0.50%,Mo:0.05~0.20%,余量为Fe及不可避免的杂质;

2) 轧制工艺:采用控轧控冷工艺,轧前连铸坯加热温度介于1180℃~1250℃,采用奥氏体再结晶区和奥氏体未再结晶区两阶段控制轧制,粗轧终轧温度1000~1100℃,粗轧成1.5~4.5倍成品厚度的中间坯;精轧开轧温度为840~900℃,轧后采用层流冷却,停冷温度350~450℃,返红温度为500~650℃,堆冷30~120min后拆垛空冷。

## 利用返红余热提高强韧性的低合金高强中厚板及其制法

### 技术领域

[0001] 本发明属于冶金领域,涉及一种低合金高强高韧中厚板及其生产方法,具体地说是一种利用返红余热提高强韧性的低合金高强中厚板及其制法。

### 背景技术

[0002] 中厚板产品(如压力容器、锅炉、桥梁、舰船、海上平台、高层建筑及管线等)是各个国家城市、工业和经济发展重要的钢铁材料。中厚板产品的开发水平和生产是一个国家钢铁工业发展的标志。焊接结构用中厚钢板产品几乎占扁平材钢铁产品的一半,并认为是当今压力容器、锅炉、桥梁、船舶、海洋平台、高层建筑及管线领域用钢的主导产品,并且这些领域对结构轻量化、低制造成本、高结构安全性等技术指标的不断最求,带动了世界范围内的中厚板产品开发及工程应用。

[0003] 中厚板钢铁产品如何兼具高强度、高韧性及优良焊接性匹配是该领域学者们共同研究的方向。其中提高钢板强度是实现钢板轻量化的有效途径之一,但依据传统的冶金学原理,提高钢板强度的必然以损害韧性和焊接性为前提,这很难满足高结构安全性和低制造成本的技术要求,并且减小晶粒尺寸是实现钢板具有高强度高韧性良好匹配的唯一途径。

[0004] 通常来说,工程材料一般通过综合强化效应达到较好的综合力学性能,具体方法有固溶强化、析出强化、位错强化、细晶强化和第二相强化等。钢的强度越高,塑性与低温韧性越难提高。为了大幅度提高钢材的强度和加工性能,同时得到高强度钢材与相匹配的良好韧性和塑性,需要合理的利用合金化,通过冶炼工艺,轧制工艺及热处理工艺,使钢材获得理想的组织形态,满足构件的加工制作要求。

[0005] 现有的涉及在**高强高韧中厚钢板**的生产方法的专利,主要是通过控轧控冷或热处理方法获得**高强度钢板**,具体生产方法如下:

中国专利 CN201110176684.7 提供了一种 Q690D 优质结构钢中厚板及其生产方法,该钢通过调整 Q690D 中 C、Mn、Nb、V、Ti、Mo 合金元素的含量和比例,严格控制 P、S 含量,通过奥氏体再结晶区轧制和奥氏体未再结晶区轧制,控制轧后 ACC 冷速  $5\sim 30^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ,返红温度在  $450\sim 550^{\circ}\text{C}$  之间,可以得到 Q690D 优质结构钢。但是,该钢添加了 0.05~0.15% 的 B,焊接热影响区冲击功波动比较大,不能达到匹配良好的焊接性能。

[0006] 中国专利 CN201410240035.2 提供了一种大壁厚海底管线用中厚板及生产方法,该钢通过铸造 300、400mm 厚连铸坯,经步进式加热炉加热至  $1170\sim 1220^{\circ}\text{C}$  保温  $280\sim 450\text{min}$ ,出炉后进 4300mm 轧机,采用再结晶和未再结晶区两阶段轧制,其中二阶段开轧温度  $760\sim 820^{\circ}\text{C}$ ,终轧温度  $750\sim 800^{\circ}\text{C}$ ,控轧后 ACC 层流冷却速度控制在  $7\sim 20^{\circ}\text{C}/\text{s}$  之间,返红控制在  $400\sim 500^{\circ}\text{C}$  之间。但是该钢坯料厚度要求 300、400mm,且二阶段轧制温度较低,在  $750\sim 820^{\circ}\text{C}$  之间,对连铸机和轧机设备能力要求较高。

### 发明内容

[0007] 鉴于以上现有技术的不足,综合考虑到低合金高强高韧钢板的高强度、高韧性及可焊性,本发明的目的是提供一种利用返红余热提高强韧性的低合金高强中厚板及其制法,该方法通过合理的化学成分设计,轻压下技术,严格控制 S、P 等有害元素,减轻中心偏析程度,通过 TMCP 工艺,利用返红余热便可获得了性能稳定的低合金高强度中厚板。

[0008] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:

一种利用返红余热提高强韧性的低合金高强中厚板,其特征在于:该低合金高强中厚板中钢的化学成分按重量百分比计,C :0.03 ~ 0.09%,Si :0.10 ~ 0.35%,Mn :0.80 ~ 1.7%,P : $\leq$  0.015%,S : $\leq$  0.0020%,Nb :0.010 ~ 0.050%,V :0.010 ~ 0.050%,Ti :0.005 ~ 0.030%,Cr :0.15 ~ 0.50%,Mo :0.05 ~ 0.20%,余量为 Fe 及不可避免的杂质。该钢板组织为针状铁素体 + 粒状贝氏体的混合组织。

[0009] 由于钢的化学成分是影响连铸坯内部质量与高强高韧厚板性能的关键因素之一,本发明为了使所述钢获得优异的综合性能,对所述钢的化学成分进行了限制,原因在于:

C:碳是影响超强度钢力学性能的主要元素,当碳含量低于 0.03 则强度低,含量高于 0.09% 时,则存在韧性和可焊性变差的缺点。最适宜的区间在 0.03 ~ 0.09%。

[0010] Si:硅是炼钢脱氧的必要元素,也具有一定的固溶强化作用,但硅含量过高,则不利于钢板低温韧性和表面质量,固本发明中将硅限定在 0.10 ~ 0.35% 的范围内。

[0011] Mn:锰在所述钢中具有细化组织、提高强度和韧性的作用,Mn 含量过高,则会引起连铸坯偏析、韧性差和可焊性降低等问题,故本发明中锰含量控制在 0.80 ~ 1.70% 的范围内。

[0012] Nb、Ti:铌、钛即是固溶强化元素,有是强碳化物形成元素,在钢坯加热及轧制过程中,钉扎奥氏体晶界并组织原始奥氏体晶粒的长大,但其含量过高会影响韧性和焊接性。因此,铌含量应控制在 0.010 ~ 0.050% 的范围内,Ti 含量控制在 0.005 ~ 0.030% 的范围内。

[0013] V:钒的碳氮化物能够在较低温度析出,厚板中加入钒可以提高强度。在回火时或焊接后冷却时析出碳化物,增加强度。添加量小于 0.010% 时效果不明显,大于 0.050% 时,钢的韧性与可焊接性降低。

[0014] Cr:铬是提高钢淬透性的元素,能够抑制多边形铁素体和珠光体的形成,促进中温组织的转变,提高钢的强度。但 Cr 含量过高将影响钢的韧性,本发明中铬含量控制在 0.15 ~ 0.50%。

[0015] Mo:钼能显著促进贝氏体相变,大量添加时会增加成本,并降低韧性和可焊性,限制在 0.20% 以下。一般限制在 0.05 ~ 0.20%。

[0016] 钢中的杂质元素,如 S、P 等,会增加连铸坯偏析程度,严重损害所述钢和焊接热影响区的低温韧性。因此,硫、磷含量应分别控制在 $\leq$  0.0020% 和 $\leq$  0.015% 以下。

[0017] 一种利用返红余热提高强韧性的低合金高强中厚板的制法,其特征在于该生产方法包括如下工序:

1) 冶炼工艺:采用转炉冶炼,通过顶吹,充分脱碳;采用 RH 或 VD 真空脱气处理以及 LF 处理,降低有害元素 O、N、H、S、P 含量,进行微合金化,然后铸坯,钢坯的化学成分按重量百分比计符合,C :0.03 ~ 0.09%,Si :0.10 ~ 0.35%,Mn :0.80 ~ 1.7%,P : $\leq$  0.015%,S : $\leq$  0.0020%,Nb :0.010 ~ 0.050%,V :0.010 ~ 0.050%,Ti :0.005 ~ 0.030%,Cr :0.15 ~ 0.50%,Mo :0.05 ~ 0.20%,余量为 Fe 及不可避免的杂质;

2) 轧制工艺:采用控轧控冷工艺,轧前连铸坯加热温度介于 1180℃~1250℃,采用奥氏体再结晶区和奥氏体未再结晶区两阶段控制轧制,粗轧终轧温度 1000~1100℃,粗轧成 1.5~4.5 倍成品厚度的中间坯;精轧开轧温度为 840~900℃,轧后采用层流冷却,停冷温度 350~450℃,返红温度为 500~650℃,堆冷 30~120min 后拆垛空冷。

[0018] 本发明通过合理的低碳设计,低硫磷冶炼工艺,加入适量的 Mn 配合 Cr、Mo 等合金元素提高中厚板淬透性,并辅以 Nb、V、Ti 等微量元素,充分发挥固溶强化、细晶强化、析出强化和相变强化作用提高中厚板强度,通过细化晶粒提高中厚板韧性。通过优化的合金元素组合和合理的坯料设计,采用严格的坯料加热制度,控制轧制使钢板变形均匀,铸坯奥氏体晶粒充分再结晶,二阶段轧制时尽量采用大压下工艺,累积形变能,采用精准的弛豫控制,控制弛豫析出并在适当的温度开始冷却,提高奥氏体的过冷度,促进铁素体形核以细化晶粒,再控制钢板停冷温度为 300~450℃,由于钢板超快冷后心部与表面温差较大,心部温度传递到表面,使表面温度上升 50~300℃至 500~600℃,而 V 的 C、N 化物析出峰值温度恰好在这温度区间,并将钢板下线后堆冷,此时钢板冷速很慢,从而模拟回火保温过程,给 V 的 C、N 化物析出提供了足够的时间,依靠 V 的析出强化弥补了中厚板 1/4 处和心部由于冷却强度较低导致的强度损失,并在保温过程中轧制应力得到释放,提升了构件安全性。

[0019] 本发明通过简单的成分控制,利用 TMCP 技术获得了一种高强度高韧性的中厚板,组织为针状铁素体和粒状贝氏体的混合组织,原奥氏体晶粒以及铁素体基体晶粒尺寸细小,均匀。本发明钢板塑性良好,具有优良的冷弯成型性能、低温韧性优异、强度高。通过本发明获得的高强高韧中厚板具体性能为:材料的屈服强度为 510~600MPa,抗拉强度为 630~750MPa,延伸率为 20~25%, -40℃低温冲击 $\geq$ 200J。具有生产工艺稳定,可操作性强,以及低成本、高性能等特点。

## 附图说明

[0020] 图 1 为本发明实施例 3 中 56mm 厚高强高韧中厚板板厚 1/4 处轧态试样金相组织形貌,图中为针状铁素体+粒状贝氏体的混合组织。

## 具体实施方式

### [0021] 实施例 1

本实施例的高强高韧中厚板的化学成分按重量百分比计, C :0.08%, Si :0.28%, Mn :1.50%, P :0.0070%, S :0.0010%, Nb :0.035%, Ti :0.015%, V :0.022%, Cr :0.25%, Mo :0.08%, 余量为 Fe 及不可避免的杂质。

[0022] 其中,杂质元素含量控制在  $N \leq 0.0090\%$ ,  $H \leq 0.0002$ ,  $O \leq 0.0015\%$ ,  $As \leq 0.010\%$ ,  $Sn \leq 0.010$ ,  $Sb \leq 0.010\%$ ,  $Pb \leq 0.010\%$ 。

[0023] 制备时,采用低碳低硫磷冶炼工艺,配合其他合金元素,有效的增强钢的淬透性。利用控轧控冷工艺以及合理的堆冷,保证中温铁素体的转变以及 V 的 C、N 化物析出,获得强韧性匹配优良的中厚板。主要工艺路线为铁水脱硫预处理 $\rightarrow$ 转炉冶炼 $\rightarrow$ LF 精炼 $\rightarrow$ RH 精炼 $\rightarrow$ 连铸 $\rightarrow$ 铸坯检验、判定 $\rightarrow$ 铸坯验收 $\rightarrow$ 钢坯加热 $\rightarrow$ 除鳞 $\rightarrow$ 轧制 $\rightarrow$ 冷却 $\rightarrow$ 堆冷 $\rightarrow$ 探伤 $\rightarrow$ 切割、取样 $\rightarrow$ 喷印标识 $\rightarrow$ 入库。

[0024] 采用奥氏体再结晶和未再结晶区两阶段控制轧制技术,粗轧采用道次大压下破碎

铸坯奥氏体晶粒,粗轧过程温度区间为 1000~1100℃,钢坯纵轧总压下量 $\geq 60\%$ ;精轧开轧温度为 830~870℃;轧后控制冷却,停冷温度在 450℃,返红温度 550℃,堆冷 60min 后开垛空冷到室温。控轧控冷工艺详细参数见表 2。

[0025] 按照本发明轧态钢板拉伸性能如表 3 所示,-40℃低温韧性如表 4 所示。本发明实施例钢板力学性能良好,屈服强度 $\geq 500\text{MPa}$ ,抗拉强度 $\geq 610\text{Mpa}$ ,延伸率 $\geq 20\%$ ,-40℃纵向冲击功 $\geq 200\text{J}$ ,兼具高强度和优异的低温韧性,生产工艺稳定,可操作性强。

[0026] 生产该强度级别中厚,省去调质热处理工艺,吨钢节约成本约 600 元。

[0027] 实施例 2

本实施例的高强高韧中厚板的化学成分按重量百分比计,C:0.06%,Si:0.24%,Mn:1.60%,P:0.0065%,S:0.0010%,Nb:0.045%,Ti:0.015%,V:0.031%,Cr:0.30%,Mo:0.14%,余量为 Fe 及不可避免的杂质。

[0028] 其中,杂质元素含量控制在 $N \leq 0.0090\%$ , $H \leq 0.0002$ , $O \leq 0.0015\%$ , $As \leq 0.010\%$ , $Sn \leq 0.010$ , $Sb \leq 0.010\%$ , $Pb \leq 0.010\%$ 。

[0029] 制备时,采用低碳低硫磷冶炼工艺,配合其他合金元素,有效的增强钢的淬透性。利用控轧控冷工艺以及合理的堆冷,保证中温铁素体的转变以及 V 的 C、N 化物析出,获得强韧性匹配优良的中厚板。主要工艺路线为铁水脱硫预处理 $\rightarrow$ 转炉冶炼 $\rightarrow$ LF 精炼 $\rightarrow$ RH 精炼 $\rightarrow$ 连铸 $\rightarrow$ 铸坯检验、判定 $\rightarrow$ 铸坯验收 $\rightarrow$ 钢坯加热 $\rightarrow$ 除鳞 $\rightarrow$ 轧制 $\rightarrow$ 冷却 $\rightarrow$ 堆冷 $\rightarrow$ 探伤 $\rightarrow$ 切割、取样 $\rightarrow$ 喷印标识 $\rightarrow$ 入库。

[0030] 采用奥氏体再结晶和未再结晶区两阶段控制轧制技术,粗轧采用道次大压下破碎铸坯奥氏体晶粒,粗轧过程温度区间为 1000~1100℃,钢坯纵轧总压下量 $\geq 60\%$ ;精轧开轧温度为 830~870℃;轧后控制冷却,停冷温度在 403℃,返红温度 558℃,堆冷 60min 后开垛空冷到室温。控轧控冷工艺详细参数见表 2。

[0031] 按照本发明轧态钢板拉伸性能如表 3 所示,-40℃低温韧性如表 4 所示。本发明实施例钢板力学性能良好,屈服强度 $\geq 500\text{MPa}$ ,抗拉强度 $\geq 610\text{Mpa}$ ,延伸率 $\geq 20\%$ ,-40℃纵向冲击功 $\geq 200\text{J}$ ,兼具高强度和优异的低温韧性,生产工艺稳定,可操作性强。

[0032] 生产该强度级别中厚板,省去调质热处理工艺,吨钢节约成本 600 元。

[0033] 实施例 3

本实施例的高强高韧中厚板的化学成分按重量百分比计,C:0.05%,Si:0.22%,Mn:1.70%,P:0.0060%,S:0.0010%,Nb:0.041%,Ti:0.017%,V:0.040%,Cr:0.37%,Mo:0.16%,余量为 Fe 及不可避免的杂质。

[0034] 其中,杂质元素含量控制在 $N \leq 0.0090\%$ , $H \leq 0.0002$ , $O \leq 0.0015\%$ , $As \leq 0.010\%$ , $Sn \leq 0.010$ , $Sb \leq 0.010\%$ , $Pb \leq 0.010\%$ 。

[0035] 制备时,采用低碳低硫磷冶炼工艺,配合其他合金元素,有效的增强钢的淬透性。利用控轧控冷工艺以及合理的堆冷,保证中温铁素体的转变以及 V 的 C、N 化物析出,获得强韧性匹配优良的中厚板。主要工艺路线为铁水脱硫预处理 $\rightarrow$ 转炉冶炼 $\rightarrow$ LF 精炼 $\rightarrow$ RH 精炼 $\rightarrow$ 连铸 $\rightarrow$ 铸坯检验、判定 $\rightarrow$ 铸坯验收 $\rightarrow$ 钢坯加热 $\rightarrow$ 除鳞 $\rightarrow$ 轧制 $\rightarrow$ 冷却 $\rightarrow$ 堆冷 $\rightarrow$ 探伤 $\rightarrow$ 切割、取样 $\rightarrow$ 喷印标识 $\rightarrow$ 入库。

[0036] 采用奥氏体再结晶和未再结晶区两阶段控制轧制技术,粗轧采用道次大压下破碎铸坯奥氏体晶粒,粗轧过程温度区间为 1000~1100℃,钢坯纵轧总压下量 $\geq 60\%$ ;精轧开轧

温度为 830~870℃；轧后控制冷却，停冷温度在 380℃，返红温度 550℃，堆冷 50min 后开垛空冷到室温。控轧控冷工艺详细参数见表 2。

[0037] 按照本发明轧态钢板拉伸性能如表 3 所示，-40℃低温韧性如表 4 所示。本发明实施例钢板力学性能良好，屈服强度 $\geq 500\text{MPa}$ ，抗拉强度 $\geq 610\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 20\%$ ，-40℃纵向冲击功 $\geq 200\text{J}$ ，兼具高强度和优异的低温韧性，生产工艺稳定，可操作性强。

[0038] 生产该强度级别中厚板，省去调质热处理工艺，吨钢节约成本 600 元。

[0039] 表 1 本发明实施例的主要化学成分 (wt. %)

实施例	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	V	Cr	Mo
实施例 1	0.08	0.28	0.15	0.0070	0.0010	0.035	0.015	0.022	0.25	0.08
实施例 2	0.06	0.24	0.16	0.0065	0.0010	0.045	0.015	0.031	0.30	0.14
实施例 3	0.05	0.22	0.17	0.0060	0.0010	0.041	0.017	0.040	0.37	0.16

表 2 本发明实施例控轧控冷实际工艺参数

实施例	规格/mm	粗轧终轧温度/℃	精轧开轧温度/℃	精轧终轧温度/℃	停冷温度/℃	返红温度/℃	堆冷时间/min
实施例 1	32	1011	875	850	450	550	60
实施例 2	40	1024	870	860	403	558	60
实施例 3	56	1015	850	850	380	550	50

表 3 本发明实施例钢板拉伸性能

实施例	规格/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%
实施例 1	32	551	663	22
实施例 2	40	523	655	23
实施例 3	56	534	656	23

表 4 本发明实施例钢板低温冲击韧性

实施例	规格/mm	冲击韧性				
		方向	温度/℃	KV2/J		
实施例 1	32	纵向	-40	321	309	240
实施例 2	40	纵向	-40	273	279	288
实施例 3	56	纵向	-40	324	309	271

除上述实施例外，本发明还可以有其他实施方式。凡采用等同替换或等效变换形成的技术方案，均落在本发明的保护范围。

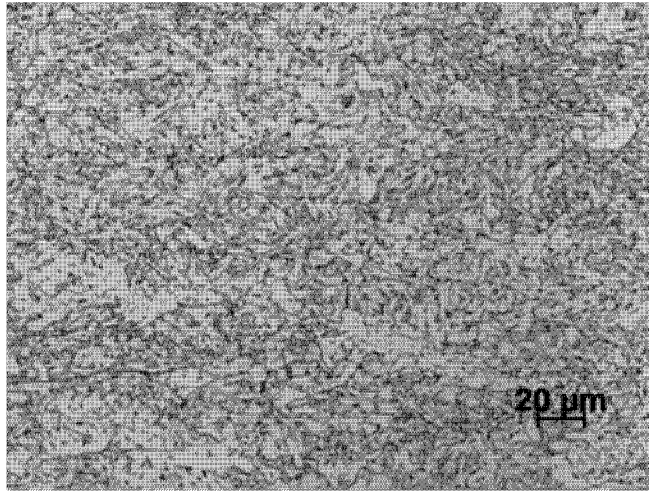


图 1