



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104264064 B

(45) 授权公告日 2016.06.08

(21) 申请号 201410467565.0

(22) 申请日 2014.09.15

(73) 专利权人 江阴兴澄特种钢铁有限公司

地址 214434 江苏省无锡市江阴市滨江东路
297号

(72) 发明人 宁康康 方寿玉 周东辉 李科

(74) 专利代理机构 江阴市同盛专利事务所(普
通合伙) 32210

代理人 唐纫兰 隋玲玲

(51) Int. Cl.

C22C 38/54(2006.01)

C22C 33/04(2006.01)

审查员 于霞

权利要求书1页 说明书8页

(54) 发明名称

一种特厚规格 Q690 高强度结构钢板及其制
造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种特厚规格 Q690 高强度结构
钢板,该钢板的厚度为 160~180mm,钢板以 Fe
为基础元素并包含如下组分:按质量百分比计 C:
0.15~0.18%, Si:0.15~0.35%, Mn:1.00~1.20%,
P: ≤0.015%, S: ≤0.005%, Cr:1.00~1.20%, Mo:
0.54~0.60%, Ni:0.80~1.00%, Cu: ≤0.30%, Al:
0.02~0.04%, V:0.03~0.05%, Nb:0.02~0.04%, Ti:
0.01~0.02%, N: ≤0.005%, B:0.001~0.002% 及不
可避免的杂质元素;碳当量≤0.78。该钢板的制造
工艺包括坯料冶炼—坯料加热—高压水除鳞—轧
制—矫直—DQ+ACC 在线淬火—缓冷—回火,制得
的钢板最大厚度可达 180mm,且具有较高的淬透
性,各项机械性能均达到了行业水平。

1. 一种特厚规格Q690 高强度结构钢板的制造方法,其特征在于:工艺步骤如下:

1) 坯料冶炼:坯料的化学成分以Fe 为基础元素并由如下组分构成:按质量百分比计C :0.15 ~0.18%,Si :0.15 ~0.35%,Mn :1.00 ~1.20%,P : \leq 0.015%,S : \leq 0.005%,Cr :1.00~1.20%,Mo :0.54 ~0.60%, Ni :0.80 ~1.00%, Cu : \leq 0.30%,Al :0.02 ~0.04%, V :0.03 ~0.05%,Nb :0.02 ~0.04%,Ti :0.01~0.02%,N : \leq 0.005%,B :0.001 ~0.002% 及不可避免的杂质元素,碳当量 \leq 0.78;

2) 坯料加热:对坯料进行分段加热,加热总时间为12min/cm,其中预热段温度为650 ~ 850℃,一段加热温度为1050 ~ 1150℃,二段加热温度为1210 ~ 1250℃,均热段温度1190 ~ 1230℃且均热段加热时间控制在30min 以上,出钢温度控制在1130 ~ 1170℃ ;

3) 轧制:对步骤2)处理后的坯料进行高压水除鳞,之后进行两阶段轧制,第一阶段轧制为粗轧,开轧温度为1050 ~ 1150℃,轧制次数为5 ~ 7 道次,并控制粗轧后钢板的厚度与钢板成品厚度的比值为1.4 以上;第二阶段轧制为精轧,开轧温度为920 ~ 930℃,精轧采用多道次轧制直至获得预定厚度的钢板;

4) 矫直:对步骤3)获得的钢板进行矫直;

5) 在线淬火:利用DQ+ACC 冷却方式实现钢板的在线淬火,入水温度为900 ~ 910℃,终冷温度为150 ~ 200℃,冷却速率为0.6 ~ 0.75℃ /s ;

6) 缓冷和回火:对步骤5)处理后的钢板进行缓冷,缓冷后进行回火处理,回火温度为600 ~ 620℃,在炉时间为3 ~ 3.5min/mm,回火后即获得特厚规格Q690 高强度结构钢板成品,钢板的厚度为160 ~ 180mm。

2. 根据权利要求1 所述的特厚规格Q690 高强度结构钢板的制造方法,其特征在于:所述步骤1)中的坯料采用如下工艺制造:将冶炼原料依次经BOF 冶炼、LF 精炼、RH 精炼以获得高纯净度钢水,进而连铸出厚度在370mm 或以上的连铸坯,对连铸坯进行缓冷,缓冷后对连铸坯表面进行清理,按尺寸需要切割得到所述坯料。

3. 根据权利要求1 所述的特厚规格Q690 高强度结构钢板的制造方法,其特征在于:钢板以Fe 为基础元素并由如下组分构成:按质量百分比计C :0.16 ~0.17%,Si :0.25 ~0.3%,Mn :1.00 ~1.10%,P : \leq 0.015%,S : \leq 0.005%,Cr :1.00~1.20%,Mo :0.54 ~0.60%, Ni :0.80 ~0.90%, Cu : \leq 0.1%,Al :0.02 ~0.04%, V :0.035 ~0.04%,Nb :0.02 ~0.025%,Ti :0.01-0.02%,N : \leq 0.005%,B :0.0015 ~0.002% 及不可避免的杂质元素;碳当量 \leq 0.78。

4. 根据权利要求1 所述的特厚规格Q690 高强度结构钢板的制造方法,其特征在于:钢板的厚度为180mm,所述钢板以Fe 为基础元素并由如下组分构成:按质量百分比计C :0.17%,Si :0.25 %,Mn :1.0%,P :0.007%,S :0.002%,Cr :1.1%,Mo :0.55%,Ni :0.9%,Cu :0.02%,Al :0.04%, V :0.05%,Nb :0.04%,Ti :0.02%,N :0.005%,B :0.002% 及不可避免的杂质元素;碳当量=0.74。

5. 根据权利要求1 或3或4所述的特厚规格Q690 高强度结构钢板的制造方法,其特征在于:所述钢板的屈服强度 \geq 690MPa,抗拉强度为800~900MPa,延伸率 \geq 14%,0℃ 下钢板在1/4 厚度、3/4 厚度和1/2 厚度处夏比冲击功最小值 \geq 51J、冲击功平均值 \geq 54J。

一种特厚规格Q690高强度结构钢板及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种厚度为160~180mm特厚规格Q690高强度结构钢板及其制造方法,尤其涉及一种采用连铸坯制造该结构钢板的方法。

背景技术

[0002] 结构钢板是建设高层建筑的关键部件,为了保证高层建筑的安全可靠,要求结构钢板不仅具有高的强度、冲击韧性而且还要求具有优良的淬透性。通常,行业规定特厚规格Q690高强度结构钢板的屈服强度 $\geq 630\text{MPa}$,抗拉强度在710~900MPa的范围,延伸率 $\geq 14\%$,0℃下钢板在1/4、3/4和1/2厚度处夏比冲击功最小值 $\geq 33\text{J}$ 、冲击功平均值 $\geq 47\text{J}$ 以及高淬透性、大厚度断面性能均匀。根据高层建筑的建造高度不同,所需Q690高强度结构钢板通常在120mm到180mm的厚度范围。目前,大多数在建高楼要求结构钢板的厚度为160~180mm。在这样大的厚度下,要同时保证钢板在1/4厚度、3/4厚度和1/2厚度的拉伸性能以及0℃下的冲击韧性,满足特厚规格Q690高强度结构钢板的上述各项要求对于结构钢板的制造工艺是一件非常苛刻的事情。

[0003] 制造符合上述各项性能要求的Q690高强度结构钢板的关键是保证结构钢板具有较高的淬透性。目前,国内各大钢厂在生产此类钢板时为了提高淬透性基本都是走成本昂贵且工序时间长的离线淬火加回火路线,如中国专利申请《一种80~120mm特厚高强度钢板及其利用连铸坯生产的方法》(公开号CN103276312)公开了一种特厚调质高强度钢板及其制造方法,由该方法制造的最厚钢板(120mm)达到了高强度结构钢板的性能要求,同时采用连铸坯直接生产80~120mm特厚钢板简化了工艺流程,充分发挥高温阶段压下制度对心部组织的改善作用,提高了热处理后的钢板性能,一定程度上有利于淬透性的提高,从而保证了结构钢板大厚度断面性能均匀。然而,实践中发现利用前述专利申请公开的工艺制造的更高厚度(160~180mm)的Q690高强度结构钢板难以实现高的淬透性而无法保证Q690高强度结构钢板的各项性能要求。综上,为了制造符合各项性能要求且具有更高厚度(160~180mm)的Q690高强度结构钢板需要本领域技术人员对现有的结构钢板制造工艺做出进一步改进。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是针对上述现有技术提供一种厚度在160~180mm的特厚规格Q690高强度结构钢板,该钢板具有较高的淬透性,能够满足作为高层建筑建材的各项性能要求。

[0005] 本发明所要解决的另一技术问题是提供一种厚度在160~180mm且具有较高淬透性的特厚规格Q690高强度结构钢板的制造方法。

[0006] 本发明解决上述问题所采用的技术方案为:一种特厚规格Q690高强度结构钢板,所述钢板的厚度为160~180mm,钢板以Fe为基础元素并包含如下组分:按质量百分比计C:0.15 ~ 0.18%,Si:0.15 ~ 0.35%,Mn:1.00 ~ 1.20%,P: $\leq 0.015\%$,S: $\leq 0.005\%$,Cr:1.00

~ 1.20%, Mo: 0.54 ~ 0.60%, Ni: 0.80 ~ 1.00%, Cu: ≤ 0.30%, Al: 0.02 ~ 0.04%, V: 0.03 ~ 0.05%, Nb : 0.02 ~ 0.04%, Ti: 0.01 ~ 0.02%, N: ≤ 0.005%, B: 0.001 ~ 0.002%及不可避免的杂质元素;碳当量 ≤ 0.78。

[0007] 优选地,所述钢板的厚度为160~180mm,钢板以Fe为基础元素并包含如下组分:按质量百分比计C:0.16 ~ 0.17%, Si:0.25 ~ 0.3%, Mn:1.00 ~ 1.10%, P: ≤ 0.015%, S: ≤ 0.005%, Cr:1.00 ~ 1.20%, Mo:0.54 ~ 0.60%, Ni:0.80 ~ 0.90%, Cu: ≤ 0.1%, Al:0.02 ~ 0.04%, V:0.035 ~ 0.04%, Nb :0.02 ~ 0.025%, Ti:0.01-0.02%, N: ≤ 0.005%, B: 0.0015 ~ 0.002%及不可避免的杂质元素;碳当量 ≤ 0.78。通过进一步限定Nb、V等微量合金元素的含量,在保证钢板成品的各项机械性能(强度、韧性和焊接性能等)符合行业要求的同时降低添加成本。

[0008] 优选地,所述钢板的厚度为180mm,所述钢板以Fe为基础元素并包含如下组分:按质量百分比计C:0.17%, Si:0.25 %, Mn:1.0%, P:0.007%, S:0.002%, Cr:1.1%, Mo:0.55%, Ni: 0.9%, Cu:0.02%, Al:0.04%, V:0.05%, Nb:0.04%, Ti:0.02%, N:0.005%, B:0.002%及不可避免的杂质元素;碳当量=0.74。大量试验发现,具有该成分组成的Q690高强度结构钢板不仅在钢板厚度上达到了行业需求的较大值180mm,而且制造出的钢板具有较高的淬透性,钢板性能检验显示,钢板在1/4板厚、1/2板厚和3/4板厚处的屈服强度分别为724MPa、721 MPa和740 MPa,抗拉强度分别为851 MPa、846 MPa和868 MPa,延伸率分别为16.6%、16.4%和15.3%,在0℃时的夏比冲击功平均值分别为60J、62J和61J,这些数据显示,该钢板整体上不仅符合行业对钢板屈服强度、抗拉强度、延伸率和韧性的各项要求,而且钢板心部性能优良,大厚度断面性能均匀,具有较高的淬透性,与现有生产的80~120mm厚度的特厚高强度钢板相比,不仅在钢板厚度上增厚了50%以上,而且保证了钢板仍具有较高的淬透性和优良的机械性能。

[0009] 本发明特厚Q690高强度结构钢板中的主要合金成分和含量的说明如下:

[0010] 以下对本发明中所含组分的作用及用量选择作具体说明:

[0011] C:是确保钢板强度所必须的元素,提高钢中的碳含量将会增加它的马氏体转变能力,从而提高它的强度。但过高的C 含量对钢的延性、韧性不利。另外,过高的C 含量也会导致更严重的中心C偏析从而影响钢板的心部性能。本发明控制其含量为0.15 ~ 0.18%。

[0012] Si:是钢中的脱氧元素,并以固溶强化形式提高钢的强度。Si 含量低于0.10%时,脱氧效果较差,Si 含量较高时降低韧性。本发明Si 含量控制为0.15 ~ 0.35%。

[0013] Mn:是提高淬透性和强度的元素,并起固溶强化作用以弥补钢中因C 含量降低而引起的强度损失。当钢中Mn含量低于0.8%时,无法充分发挥强度确保的作用,但当Mn 含量过高时则会增加其碳当量从而损坏焊接性能。另外,Mn易在钢板中心产生偏析,降低钢板中心部位的冲击韧性。因此,本发明Mn 含量控制为1.00 ~ 1.20%。

[0014] Ni:是提高钢板的淬透性并可以显著改善其低温韧性的元素,对冲击韧性和韧脆转变温度具有良好的影响。但Ni 含量太高时,板坯表面易生成黏性较高的氧化铁皮,难以去除,影响钢板的表面质量。另外,Ni 也是贵金属,含量过高会增加成本。因此,本发明将其含量控制在0.80 ~ 1.00%,有利于达到最优的性价比。

[0015] Cr:是提高钢的淬透性而有助于强度提高的元素。在C 含量较低的情况下,添加适量的Cr,可以保证钢板达到所需的强度,但是若添加过量,则将降低材料的韧性同时也降低

材料的焊接性能,因此,本发明将其含量控制在1.00 ~ 1.20%。

[0016] Mo:可以显著提高钢的淬透性和强度。在低合金钢中添加少量的Mo 还能起到克服热处理过程中的回火脆性以改善热处理性能,但Mo也是贵金属,含量过高会增加成本同时也降低材料的焊接性能。本发明中Mo 的含量控制在0.54 ~ 0.60%。

[0017] Cu:可提高钢板的淬透性和耐大气腐蚀和耐海水腐蚀性能,降低钢的氢致裂纹敏感性。但过高的Cu 含量不利于钢板的焊接性能,而且也易产生铜脆现象,恶化钢板的表面性能。因此本发明控制Cu 含量为 $\leq 0.30\%$ 。

[0018] V:是使V(C,N) 析出的元素,能以弥散析出的形式显著提高钢的强度。但若添加量过高,则将降低钢板的韧性和焊接性能。因此,本发明控制其含量在0.03 ~ 0.05%。

[0019] Nb:是一种在轧制过程中对晶粒细化起显著作用的元素。在再结晶轧制阶段,Nb通过应变诱导析出抑制奥氏体再结晶从而细化晶粒,这就为大厚度的钢板在调质处理后仍然具有细小的组织提供了基础,有利于提高其淬透性和韧性。但受C 含量的限制及加热温度的影响,过高的Nb 无法固溶,同样发挥不了作用而且增加成本,此外,过高的Nb对焊接性能有不利的影晌。因此,本发明控制其含量 Nb :0.02 ~ 0.04%。

[0020] Al:主要是起固氮和脱氧作用。Al与N 接合形成的AlN可以有效地细化晶粒,但含量过高会损害钢的韧性。因此,本发明控制其含量在0.02 ~ 0.04%。

[0021] B:是提高钢的淬透性最为显著的元素,B和Nb共存的条件将显著提高钢板的淬透性,B含量过低或过高均对淬透性不利,过高的B将增大焊接裂纹敏感性从而使钢板的焊接性能降低。因此,本发明控制其含量在0.001~0.002%。

[0022] S、P:为钢中的有害杂质元素,易形成偏析、夹杂等缺陷。作为杂质元素会给钢板的韧性和焊接热影响区的韧性带来不利的影晌,应尽量地减少其含量。本发明控制P $\leq 0.015\%$ 、S $\leq 0.005\%$ 。

[0023] 本发明解决另一技术问题的方法为,

[0024] 一种制造上述各方案中的特厚规格Q690高强度结构钢板的方法,工艺步骤如下:

[0025] 1)坯料冶炼:坯料冶炼:控制坯料的化学成分与钢板成品的化学成分相符合;

[0026] 2)坯料加热:对坯料进行分段加热,加热总时间为12min/cm,其中预热段温度为650~850℃,一段加热温度为1050~1150℃,二段加热温度为1210~1250℃,均热段温度1190~1230℃且均热段加热时间控制在30min以上,出钢温度控制在1130~1170℃;

[0027] 3)轧制:对步骤2)处理后的坯料进行高压水除鳞,之后进行两阶段轧制,第一阶段轧制为粗轧,开轧温度为1050~1150℃,轧制次数为5~7道次,并控制粗轧后钢板的厚度与钢板成品厚度的比值为1.4以上;第二阶段轧制为精轧,开轧温度为920~930℃,精轧采用多道次轧制直至获得预定厚度的钢板;

[0028] 4)矫直:对步骤3)获得的钢板进行矫直;

[0029] 5)在线淬火:利用DQ+ACC冷却方式实现钢板的在线淬火,入水温度为900~910℃,终冷温度为150~200℃以获得平整的钢板板形及钢板通条性能均一,冷却速率为0.6~0.75℃/s;通过直接淬火和快速冷却的在线淬火方式有利于较厚钢板的生产加工,快速冷却的目的是在轧制完成后抑制晶粒组织的增大,以提高淬透性,直接淬火是为了提高钢板的抗拉强度,通过相转变实现硬化而不必进行离线淬火。

[0030] 6)缓冷和回火:对步骤5)处理后的钢板进行缓冷,缓冷后进行回火处理,回火温度

为600~620℃,在炉时间为3~3.5min/mm,回火后即获得特厚规格Q690高强度结构钢板成品。

[0031] 作为改进,坯料采用连铸坯制造,具体工艺为,将冶炼原料依次经BOF冶炼、LF精炼、RH精炼以获得化学成分与钢板成品的化学成分相符合的钢水,进而连铸出厚度在370mm或以上的连铸坯,对连铸坯进行缓冷,缓冷后对连铸坯表面进行清理,按尺寸需要切割得到所述坯料。

[0032] 采用上述制造工艺生产出的钢板的屈服强度 $\geq 690\text{MPa}$,抗拉强度为800~900MPa,延伸率 $\geq 14\%$,0℃下钢板在1/4厚度、3/4厚度和1/2厚度处夏比冲击功最小值 $\geq 51\text{J}$ 、冲击功平均值 $\geq 54\text{J}$,均达到了行业水平,且钢板的厚度能够达到160~180mm的特厚级,能够作为高楼广厦的可靠建材。

[0033] 当需要制造更厚的高强度钢板时,传统工艺中的离线淬火和回火方式已很难保证高的淬透性,且一般的改进之处也集中在提高钢板中有利于提供淬透性的元素如Nb、B、V、Mo等的含量上,此类改进不仅增加了制造成本而且相应元素含量的改变也可能造成钢板的机械性能的改变,比如当B、V、Mo的含量过高后会降低钢板的焊接性能和韧性,实践中需要反反复复试验检验,因此改进工艺非常困难。相较而言,在不对钢板中微量合金元素的含量做大的调整的基础上,采用直接淬火+快速冷却(DQ+ACC)的在线淬火工艺巧妙地实现了特厚钢板(特别是160mm~180mm厚)的淬透性的提高,从而制造出符合行业要求、具有较高淬透性的厚度在160~180mm的特厚Q690高强度结构钢板。

[0034] 与现有技术相比,本发明的优点在于:针对目前高层建筑行业的需求,提供了一种最大厚度达到180mm的特厚规格Q690高强度结构钢板,该钢板的强度、韧性及焊接性能等机械特性均符合行业要求,尤其具有较高的淬透性。此外,本发明还提供了前述特厚规格Q690高强度结构钢板的制造方法,该方法中的在线淬火工艺能够很好的提高淬透性,使得钢板大厚度断面性能均匀,采用在线淬火代替离线淬火有效地确保了在增加钢板厚度的同时提高钢板的淬透性,从而获得性能优异的特厚级钢板,而且,可以大大提高钢板的生产效率、一定程度上降低了生产成本以及有利于节能减排。

具体实施方式

[0035] 以下结合实施例对本发明作进一步详细描述。

[0036] 实施例1

[0037] 本实施例特厚规格Q690高强度结构钢板的厚度为160mm,其成分按质量百分比计为:C:0.16%,Si:0.28%,Mn:1.08%,P:0.013%,S:0.004%,Cr:1.12%,Mo:0.57%,Ni:0.89%,Cu:0.04%,Al:0.029%,V:0.037%,Nb:0.022%,Ti:0.01%,N:0.004%,B:0.0016%,余量为Fe及不可避免的杂质元素,碳当量 $CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15 = 0.75$ 。

[0038] 该160mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板采用如下工艺制备:

[0039] 1)坯料冶炼:将冶炼原料依次经BOF冶炼、LF精炼、RH精炼以获得高纯净度钢水,进而通过板坯连铸机生产出370mm厚的连铸坯,将连铸坯装入缓冷坑缓冷,缓冷后对连铸坯表面进行清理,按尺寸需要切割得到坯料,控制坯料的化学成分与钢板成品的化学成分相符合;

[0040] 2) 坯料加热:对370mm厚的坯料进行分段加热,加热总时间为12min/cm,其中预热段温度为650℃,一段加热温度为1050℃,二段加热温度为1250℃,均热段温度1200℃且均热段加热时间控制在30min,出钢温度控制在1130℃;

[0041] 3) 热轧制:对步骤2)加热后的坯料进行高压水除鳞,除鳞系统压力为20MPa,之后进行两阶段轧制,第一阶段轧制为粗轧,开轧温度为1050℃,轧制次数为7道次,并控制粗轧后钢板的厚度与钢板成品厚度的比值为1.4以上;第二阶段轧制为精轧,开轧温度为930℃,经7道次精轧获得预定厚度的钢板;

[0042] 4) 矫直:对步骤3)获得的钢板进行矫直;

[0043] 5) 在线淬火:利用DQ+ACC冷却方式实现钢板的在线淬火,入水温度为900℃,终冷温度为150℃,冷却速率为0.75℃/s;

[0044] 6) 缓冷和回火:对步骤5)处理后的钢板进行缓冷,缓冷后进行回火处理,回火温度为610℃,在炉时间为3.5min/mm,回火后即获得160mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板成品。

[0045] 经由上述工艺制造的160mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板成品具有优良的强度和冲击韧性以及较高的淬透性,综合性能优异符合行业使用要求,其力学性能见表1所示。

[0046] 表 1 实施例1制造的Q690高强度结构钢板的力学性能

[0047]

板厚(mm)	取样位置	屈服强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	延伸率(%)	夏比冲击性能				
					温度(℃)	冲击功(J)			平均值(J)
160	1/4厚板	741	884	16.6	0	55	61	57	58
	1/2厚板	729	867	14.9	0	62	66	59	62
	3/4厚板	756	892	15.4	0	56	64	68	63

[0048] 实施例2

[0049] 本实施例特厚规格Q690高强度结构钢板的厚度为180mm,其成分按质量百分比计为:C:0.17%,Si:0.25%,Mn:1.0%,P:0.007%,S:0.002%,Cr:1.1%,Mo:0.55%,Ni:0.9%,Cu:0.02%,Al:0.04%,V:0.05%,Nb:0.04%,Ti:0.02%,N:0.005%,B:0.002%,余量为Fe及不可避免的杂质元素,碳当量 $CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15 = 0.74$ 。

[0050] 该180mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板采用如下工艺制备:

[0051] 1) 坯料冶炼:将冶炼原料依次经BOF冶炼、LF精炼、RH精炼以获得高纯净度钢水,进而通过板坯连铸机生产出370mm厚的连铸坯,将连铸坯装入缓冷坑缓冷,缓冷后对连铸坯表

面进行清理,按尺寸需要切割得到坯料,控制坯料的化学成分与钢板成品的化学成分相符合;

[0052] 2)坯料加热:对370mm厚的坯料进行分段加热,加热总时间为12min/cm,其中预热段温度为850℃,一段加热温度为1150℃,二段加热温度为1210℃,均热段温度1190℃且均热段加热时间控制在30min,出钢温度控制在1150℃;

[0053] 3)热轧制:对步骤2)加热后的坯料进行高压水除鳞,除鳞系统压力为20MPa,之后进行两阶段轧制,第一阶段轧制为粗轧,开轧温度为1150℃,轧制次数为5道次,并控制粗轧后钢板的厚度与钢板成品厚度的比值为1.4以上;第二阶段轧制为精轧,开轧温度为920℃,经7道次精轧获得预定厚度的钢板;

[0054] 4)矫直:对步骤3)获得的钢板进行矫直;

[0055] 5)在线淬火:利用DQ+ACC冷却方式实现钢板的在线淬火,入水温度为910℃,终冷温度为180℃,冷却速率为0.75℃/s;

[0056] 6)缓冷和回火:对步骤5)处理后的钢板进行缓冷,缓冷后进行回火处理,回火温度为620℃,在炉时间为3.5min/mm,回火后即获得180mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板成品。

[0057] 经由上述工艺制造的180mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板成品具有优良的强度和冲击韧性以及较高的淬透性,综合性能优异符合行业使用要求,其力学性能见表2所示。

[0058] 表 2 实施例2制造的Q690高强度结构钢板的力学性能

[0059]

板厚(mm)	板位	屈服强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	延伸率(%)	夏比冲击性能				
					温度(℃)	冲击功(J)			平均值(J)
180	1/4板	724	851	16.6	0	37	58	64	60
	1/2板	695	846	16.4	0	50	67	60	62
	3/4板	740	868	15.3	0	58	61	65	61

[0060] 实施例3

[0061] 本实施例特厚规格Q690高强度结构钢板的厚度为175mm,其成分按质量百分比计为:C:0.18%,Si:0.35%,Mn:1.2%,P:0.015%,S:0.005%,Cr:1.2%,Mo:0.6%,Ni:0.8%,Cu:0.3%,Al:0.02%,V:0.03%,Nb:0.02%,Ti:0.01%,N:0.003%,B:0.001%,余量为Fe及不可避免的杂质元素,碳当量 $CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15 = 0.78$ 。

[0062] 该175mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板采用如下工艺制备：

[0063] 1) 坯料冶炼：将冶炼原料依次经BOF冶炼、LF精炼、RH精炼以获得高纯净度钢水，进而通过板坯连铸机生产出370mm厚的连铸坯，将连铸坯装入缓冷坑缓冷，缓冷后对连铸坯表面进行清理，按尺寸需要切割得到坯料，控制坯料的化学成分与钢板成品的化学成分相符合；

[0064] 2) 坯料加热：对370mm厚的坯料进行分段加热，加热总时间为12min/cm，其中预热段温度为700℃，一段加热温度为1050℃，二段加热温度为1250℃，均热段温度1230℃且均热段加热时间控制在30min，出钢温度控制在1170℃；

[0065] 3) 热轧制：对步骤2)加热后的坯料进行高压水除鳞，除鳞系统压力为20MPa，之后进行两阶段轧制，第一阶段轧制为粗轧，开轧温度为1050℃，轧制次数为6道次，并控制粗轧后钢板的厚度与钢板成品厚度的比值为1.6；第二阶段轧制为精轧，开轧温度为930℃，经6道次精轧获得预定厚度的钢板；

[0066] 4) 矫直：对步骤3)获得的钢板进行矫直；

[0067] 5) 在线淬火：利用DQ+ACC冷却方式实现钢板的在线淬火，入水温度为900℃，终冷温度为200℃，冷却速率为0.6℃/s；

[0068] 6) 缓冷和回火：对步骤5)处理后的钢板进行缓冷，缓冷后进行回火处理，回火温度为600℃，在炉时间为3min/mm，回火后即获得175mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板成品。

[0069] 经由上述工艺制造的175mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板成品具有优良的强度和冲击韧性以及较高的淬透性，综合性能优异符合行业使用要求，其力学性能见表3所示。

[0070] 表 3 实施例3制造的Q690高强度结构钢板的力学性能

[0071]

板厚(mm)	取样位置	屈服强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	延伸率(%)	夏比冲击性能				
					温度(℃)	冲击功(J)			平均值(J)
175	1/4厚板	749	870	15.6	0	59	58	64	60
	1/2厚板	761	866	16.9	0	54	59	60	57
	3/4厚板	740	858	15.3	0	57	62	63	61

[0072] 实施例4

[0073] 本实施例特厚规格Q690高强度结构钢板的厚度为170mm，其成分按质量百分比计

为:C:0.15%,Si:0.15%,Mn:1.1%,P:0.012%,S:0.002%,Cr:1.0%,Mo:0.54%,Ni:1.0%,Cu:0.3%,Al:0.03%,V:0.03%,Nb:0.04%,Ti:0.02%,N:0.0039%,B:0.002%,余量为Fe及不可避免的杂质元素,碳当量 $CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15 = 0.75$ 。

[0074] 该170mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板采用如下工艺制备:

[0075] 1) 坯料冶炼:将冶炼原料依次经BOF冶炼、LF精炼、RH精炼以获得高纯净度钢水,进而通过板坯连铸机生产出370mm厚的连铸坯,将连铸坯装入缓冷坑缓冷,缓冷后对连铸坯表面进行清理,按尺寸需要切割得到坯料,控制坯料的化学成分与钢板成品的化学成分相符合;

[0076] 2) 坯料加热:对370mm厚的坯料进行分段加热,加热总时间为12min/cm,其中预热段温度为650℃,一段加热温度为1050℃,二段加热温度为1200℃,均热段温度1210℃且均热段加热时间控制在30min,出钢温度控制在1130℃;

[0077] 3) 热轧制:对步骤2)加热后的坯料进行高压水除鳞,除鳞系统压力为20MPa,之后进行两阶段轧制,第一阶段轧制为粗轧,开轧温度为1150℃,轧制次数为7道次,并控制粗轧后钢板的厚度与钢板成品厚度的比值为1.4;第二阶段轧制为精轧,开轧温度为925℃,经7道次精轧获得预定厚度的钢板;

[0078] 4) 矫直:对步骤3)获得的钢板进行矫直;

[0079] 5) 在线淬火:利用DQ+ACC冷却方式实现钢板的在线淬火,入水温度为910℃,终冷温度为180℃,冷却速率为0.75℃/s;

[0080] 6) 缓冷和回火:对步骤5)处理后的钢板进行缓冷,缓冷后进行回火处理,回火温度为600℃,在炉时间为3.5min/mm,回火后即获得170mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板成品。

[0081] 经由上述工艺制造的170mm厚的特厚规格Q690高强度结构钢板成品具有优良的强度和冲击韧性以及较高的淬透性,综合性能优异符合行业使用要求,其力学性能见表4所示。

[0082] 表 4 实施例4制造的Q690高强度结构钢板的力学性能

[0083]

板厚(mm)	取样位置	屈服强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	延伸率(%)	夏比冲击性能				
					温度(℃)	冲击功(J)			平均值(J)
170	1/4板厚	761	881	16.1	0	54	59	63	59
	1/2板厚	753	867	15.3	0	51	53	57	54
	3/4板厚	766	878	15.9	0	57	62	63	61