



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108286020 A

(43)申请公布日 2018.07.17

(21)申请号	201810229798.5	<i>G22C 38/44</i> (2006.01)
(22)申请日	2018.03.20	<i>G22C 38/46</i> (2006.01)
(71)申请人	江阴兴澄特种钢铁有限公司	<i>G22C 38/48</i> (2006.01)
地址	214429 江苏省无锡市江阴市滨江东路297号	<i>G22C 38/50</i> (2006.01)
(72)发明人	李红文 李经涛 常跃峰 刘海英 马菁 诸建阳	<i>G22C 33/04</i> (2006.01)
(74)专利代理机构	北京中济纬天专利代理有限公司 11429	<i>G21D 8/02</i> (2006.01)
代理人	赵海波 孙燕波	<i>G21D 9/00</i> (2006.01)
(51)Int.Cl.		<i>G21D 1/26</i> (2006.01)
	<i>G22C 38/02</i> (2006.01)	
	<i>G22C 38/04</i> (2006.01)	
	<i>G22C 38/06</i> (2006.01)	
	<i>G22C 38/42</i> (2006.01)	

权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种可用于制造大型结构部件的特厚高强高致密度钢板及其制造方法

(57)摘要

本发明涉及一种可用于制造大型结构部件的特厚高强高致密度钢板,其特征在于:钢板的厚度可达300mm,强度级别达到屈服强度550MPa级,超声波无损检验达到I级水平达到SEL072-77德国《厚钢板超声波检验供货技术条件》I级,达到GB/T 2970-2016《厚钢板超声波检测方法》I级。钢板低倍组织致密,完全消除了疏松,中心偏析 ≤ 0.5 级,一般偏析 ≤ 0.5 级。本发明钢板的制造方法为:特殊初炼、精炼、浇铸工艺生产波浪边扁钢锭,波浪边扁钢锭经特殊的锻造、轧制工艺生产出超厚钢板。具有特厚、高强度、高致密度等优点,可广泛应用于大型、特大型水电发电机组部件及其它高端大型结构部件的建造。

1. 一种可用于制造大型结构部件的特厚高强高致密度钢板,其特征在于:钢板的厚度可达300mm,强度级别达到屈服强度550MPa级,超声波无损检验达到I级水平达到SEL072-77德国《厚钢板超声波检验供货技术条件》I级,达到GB/T 2970-2016《厚钢板超声波检测方法》I级。

2. 根据权利要求1所述可用于制造大型结构部件的特厚高强高致密度钢板,其特征在于:钢板低倍组织致密,完全消除了疏松,中心偏析 ≤ 0.5 级,一般偏析 ≤ 0.5 级。

3. 根据权利要求1所述的可用于制造大型结构部件的特厚高强高致密度钢板,其特征在于:钢板的牌号为Q550D-Z35。

4. 根据权利要求1所述的可用于制造大型结构部件的特厚高强高致密度钢板,其特征在于:钢板主要是由以下质量百分比的组分熔炼而成:C:0.08%~0.25%,Si:0.05%~0.45%,Mn:0.90%~1.50%, $P \leq 0.010\%$, $S \leq 0.002\%$,Ni:1.00%~2.00%,Cr:0.40%~1.50%,Mo:0.40%~1.50%,Cu:0.03%~0.60%,Nb:0.010%~0.050%,Al: $\geq 0.030\%$,Ti:0.003%~0.030%,V:0.002%~0.060%,Ca:0.0010%~0.0030%,B:0.0001%~0.0030%,余量为Fe和不可避免的杂质。

5. 一种大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于,包括如下步骤

(1)、钢锭及锻坯尺寸确定

钢锭选择波浪边扁钢锭,根据目标钢板单重和厚度、宽度、长度尺寸,以及目标锻坯尺寸和锻造工艺要求,确定钢锭公称重量,确保达到目标钢板尺寸、重量,满足锻造工艺要求;

(2) 初炼

(3) 精炼

(4) 钢锭浇铸:

钢锭选择浪边扁钢锭,钢锭模使用前预热至80~150℃,采用低过热度浇铸、浇铸过热度30℃~55℃,钢锭本体浇铸速度1.6t/min~3.6t/min,帽口浇铸速度0.8t/min~2.4t/min,浇铸过程氩气保护钢流;铸毕加入保温剂12kg/t钢~25kg/t钢和适量发热剂,保证钢锭补缩充分,钢锭致密均匀;

(5) 锻造:

锻造的目的在于最大限度提高钢坯致密度、破碎粗大铸造组织,先进行墩粗,变形量不低于40%,然后是拔长平锻阶段,控制钢锭宽度方向、厚度方向两个方向的锻造交替进行,保证钢锭90°方向的变形量均不低于65%,最大压下量不低于350mm;

锻后钢坯进行去应力退火,退火后带温清理表面缺陷,控制锻造后钢坯厚度在600mm~1000mm;

(6) 轧板

锻坯重新加热,控制均热时间,达到锻坯断面温度均匀后开始轧板,轧板过程执行“大压下”工艺,结合大压下率道次和压下时机的匹配,达到钢坯心部变形渗透。

6. 根据权利要求5所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于:初炼在EAF电弧炉内进行,入炉原材料控制适当的料型比,即控制适当的I级废钢、II级废钢、生铁和轻薄料比例,其中I级废钢不少于80%,生铁保证钢液纯沸腾配碳量要求。

7. 根据权利要求5所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征

在于:初炼熔氧期控制吹氧量,大渣量操作,最大限度脱除钢液中的磷,并降低钢液氧含量,减少增氮,出钢前控制钢液碳含量不得低于0.04%,同时根据硅和锰的氧化情况,后期保证足够的纯沸腾时间来净化钢液。

8.根据权利要求5所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于:初炼完成之后,将盛放钢液的钢包烘烤至内壁温度 $>1000^{\circ}\text{C}$,出钢后大包二次测温温度 1550°C 以上,出钢随钢流预脱氧。

9.根据权利要求8所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于:出钢随钢流加入 $120\text{kg/t}\sim 300\text{kg/t}$ 钢水MnSi合金和铝预脱氧,出钢过程钢包底吹搅拌气体压力 $\geq 0.3\text{MPa}$ 。

10.根据权利要求5所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于:精炼包括LF精炼和VD真空精炼,LF精炼采用扩散脱氧与沉淀脱氧结合,合理造渣、快速变渣,保证扩散脱氧剂和沉淀脱氧剂用量,严格控制钢液温度;

VD真空精炼控制钢液面渣量、严格保证钢液温度,真空度,真空时间,搅拌气体流量,控制钢液钙处理时机,保证精炼后钢液[H]含量不超过 1.0ppm ,[O]含量不超过 10ppm 。

11.根据权利要求10所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于:LF精炼过程中渣量不低于 20kg/t 钢,钢液[AL]含量在 0.015% 以上。

12.根据权利要求10所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于:VD真空精炼过程钢液面渣量 $2.0\text{kg/t}\sim 3.5\text{kg/t}$ 钢,高真空度保持时间 $\geq 20\text{min}$,真空前 $10\sim 15$ 分钟氩气流量不得小于 60NL/min ,高真空后期为 $10\sim 50\text{NL/min}$ 软吹,保证钢液真空脱气效果和促进夹杂物上浮去除。

13.根据权利要求5所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于:步骤(6)轧板的加热采用阶梯加热,分别在 $650^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ 和 $900^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 设置两个保温平台,保温时间前者按 $5\text{mm/min}\sim 7\text{mm/min}$,后者按 $3\text{mm/min}\sim 4\text{mm/min}$, 1000°C 以上快速升温,升温速度按 $120^{\circ}\text{C/h}\sim 180^{\circ}\text{C/h}$,控制最高加热温度不超过 1290°C ,低温均热。

14.根据权利要求13所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于:所述的低温均热是指均热温度为 $1200\sim 1260^{\circ}\text{C}$ 。

15.根据权利要求5所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于:步骤(6)轧制是在奥氏体区进行,轧板开轧温度 $1000^{\circ}\text{C}\sim 1150^{\circ}\text{C}$,终轧温度 $980^{\circ}\text{C}\sim 850^{\circ}\text{C}$,保证压下率 $\geq 20\%$ 的轧板道次数不少于3道,具体根据锭型、钢板厚宽尺寸尽可能设置多道次;

控制大压下率压下时机,选择在钢坯尽量薄的时机大压下,优选在最终钢板厚度2.0倍左右时实施,轧制后以 $3^{\circ}\text{C/s}\sim 6^{\circ}\text{C/s}$ 的速度冷却到 700°C 左右,然后在缓冷坑中以 $10^{\circ}\text{C/h}\sim 25^{\circ}\text{C/h}$ 的速度冷却到室温。

16.根据权利要求5所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于:步骤(5)锻造后在 $600^{\circ}\text{C}\sim 680^{\circ}\text{C}$ 温度区间内,保温 $3.0\sim 8\text{min/mm}$ 退火,消除钢坯内部应力;去除氢。

17.根据权利要求5所述的大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,其特征在于:步骤(4)钢锭浇铸过程中,严格控制钢锭浇铸结束至完全凝固及冷至室温这一过程的

冷却速度,其中钢锭浇铸结束至完全凝固这一时段按 $t = \left(\frac{d}{k}\right)^2$ 控制控制冷却速度,其中d是钢锭厚度,根据锭型大小k取21~26mm/min控制,冷却方法包括空冷、风冷;钢锭完全凝固至冷却到室温这一过程要尽量慢,冷却方法包括空冷、坑冷、加热坑冷。

一种可用于制造大型结构部件的特厚高强高致密度钢板及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明属于冶金炼钢技术领域,具体涉及一种特厚、高强、高致密度钢板及其制备方法。

背景技术

[0002] 随着我国机水电发电机组制造技术的进步,逐步从行业追赶者变为行业领导者,水电装机容量也越来越大,部分大型、特大型水电建设项目达到了世界之最,相应对发电机组关键受力部位使用的建造钢板也提出前所未有的要求,朝向特厚、高强、高致密度的趋势发展。

[0003] 另外,在其它制械制造行业,在设备大型化趋势下,特厚、更高强度的钢板越来越成为应用的主流产品,同时,越是特厚、高强钢板,对钢板的质量要求越高。特厚钢板因其厚度大,受金属本身特性的影响,在成型环节必须要有所工艺突破,否则难以满足高的质量要求,行业对此类钢板的生产难度主要表现在:

[0004] (1)、钢板特厚,最厚达到300mm;

[0005] (2)、强度越来越高,达到屈服强度550MPa级;

[0006] (3)、内部质量要求特别高,超声波无损检验要达到I级水平。

[0007] 然而钢板厚度越大,钢板的致密度越难保证,对于常规钢板,厚度不大的情况下可以依靠设备进行保证致密度,但是对于大厚度钢板的生产,由于设备无法保证大厚度钢板的压下率,造成钢板的致密度无法满足生产要求。当然对于大厚度钢板来讲,影响致密度的不止有轧制工艺,钢水的冶炼,钢坯的浇铸等等都是关键工序。就目前为止,还没有出现能够满足本申请产拼要求的特厚钢板出现。

发明内容

[0008] 针对制造大型、特大型水电发电机组用部件及其它高端大型结构部件用钢板的技术难题,本发明提供一种特厚、高强度、高致密度钢板的制造方法,可适应但不限于钢种牌号Q550D-Z35的特厚钢板的生产,达到以下技术要求:

[0009] (1)、钢板最厚300mm;

[0010] (2)、强度级别达到屈服强度550Mpa级;

[0011] (3)、钢板高致密度,超声波无损检验达到I级水平,包括达到SEL072-77德国《厚钢板超声波检验供货技术条件》I级,达到GB/T 2970-2016《厚钢板超声波检测方法》I级。

[0012] 为了实现上述目的,本发明所采用的技术方案是:一种大型结构部件的特厚高强高致密度钢板的制造方法,具体步骤如下:

[0013] (1)、钢锭及锻坯尺寸确定

[0014] 钢锭选择波浪边扁钢锭,根据目标钢板单重和厚度、宽度、长度尺寸确定采用的钢锭公称重量,根据钢锭的高厚比、宽厚比、锥度、高度、形状等参数,提前设计锻造工艺,确定

锻坯(锻造后的钢坯)尺寸。

[0015] (2) 初炼

[0016] 初炼在EAF电弧炉内进行,要求炉况良好情况下冶炼本钢种。入炉原材料控制适当的料型比,即控制适当的I级废钢、II级废钢、生铁和轻薄料比例,其中I级废钢不少于80%,生铁保证钢液纯沸腾配碳量要求。

[0017] (3) 精炼

[0018] 精炼包括LF精炼和VD真空精炼,LF精炼采用扩散脱氧与沉淀脱氧结合,合理造渣、快速变渣,保证扩散脱氧剂和沉淀脱氧剂用量,严格控制钢液温度;

[0019] VD真空精炼控制钢液面渣量、严格保证钢液温度,真空度,真空时间,搅拌气体流量,钢液进行钙处理,保证精炼后钢液[H]含量不超过1.0ppm,[O]含量不超过10ppm。

[0020] (4) 钢锭浇铸:

[0021] 钢锭选择波浪边扁钢锭,钢锭模使用前预热至80~150℃,采用低过热度浇铸、浇铸过热度30℃~55℃,钢锭本体浇铸速度1.6t/min~3.6t/min,帽口浇铸速度0.8t/min~2.4t/min,浇铸过程氩气保护钢流;铸毕加入保温剂12kg/t钢~25kg/t钢和发热剂,保证钢锭补缩充分,钢锭致密均匀。

[0022] 在浇铸钢锭过程中,钢锭浇铸结束至完全凝固及冷至低温这一过程是钢锭质量控制的重要阶段,根据钢锭凝固收缩原理,冷却速度直接影响钢锭内部疏松、缩孔、偏析、裂纹的产生和扩大,并影响最终钢板的超声波无损检验质量。其中钢锭浇铸结束至完全凝固这一时期要控制适当的冷却速度,一般按 $t = \left(\frac{d}{k}\right)^2$ 控制冷却速度,其中d是钢锭厚度,根据锭型

大小k取21~26mm/min,冷却过快或过慢,都将造成钢锭内部缺陷包括疏松、缩孔、偏析、裂纹等,严重影响轧成钢板后的探伤质量,冷却方法包括空冷、风冷。钢锭完全凝固至冷却到室温这一过程要尽量慢,否则产生内部裂纹,根据锭型大小,一般控制冷却时间在48h~96h,冷却方法包括空冷、坑冷、加热坑冷。

[0023] (5) 锻造:

[0024] 锻造的目的在于最大限度提高钢坯致密度、破碎粗大铸造组织,先进行墩粗,变形量不低于40%,然后是拔长平锻阶段,控制钢锭宽度方向、厚度方向两个方向的锻造交替进行,保证钢锭90°方向的变形量均不低于65%,并保证对焊合铸造缺陷,提高致密度起到效果,最大压下量不低于350mm;

[0025] 锻后钢坯进行退火:锻后钢坯在600℃~680℃,保温3.0min/mm~8min/mm进行退火,退火的目的主要包括两部分,一是消除钢坯内部应力,避免在随后的轧钢加热过程产生内部裂纹缺陷而影响轧成钢板后的超声波无损检验质量;另外是去除氢,防止钢坯在高致密度情况下因氢造成内部裂纹,退火后带温清理表面缺陷,控制锻造后钢坯厚度在600mm~1000mm;

[0026] (6) 轧板

[0027] 锻坯(锻造后钢坯)重新加热,控制均热时间,达到锻坯断面温度均匀后开始轧板,轧板过程执行“大压下”工艺,轧制在奥氏体区进行,开轧温度1000℃~1150℃,终轧温度980℃~850℃,保证压下率≥20%的轧板道次数不少于3道,轧板总道次尽量多,具体根据锭型、钢板厚宽尺寸确定,控制大压下率压下时机:控制大压下率压下时机,在钢坯尽量薄

的时机大压下,一般在最终钢板厚度2.0倍左右时实施,结合大压下率道次和压下时机的匹配,达到钢坯心部变形渗透。轧制后以 $3^{\circ}\text{C}/\text{s}\sim 6^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的速度冷却到 700°C 左右,然后,在缓冷坑中以 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}\sim 25^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度冷却到室温。从而实现最终钢板高致密度。

[0028] 优选地,初炼熔氧期控制吹氧量,大渣量操作,最大限度脱除钢液中的磷,并降低钢液氧含量,减少增氮,出钢前控制钢液碳含量不得低于 0.04% ,同时根据硅和锰的氧化情况,后期保证足够的纯沸腾时间来净化钢液。

[0029] 优选地,初炼完成之后,将盛放钢液的钢包烘烤至内壁温度 $>1000^{\circ}\text{C}$,出钢后大包二次测温温度 1550°C 以上。出钢随钢流预脱氧:出钢随钢流加入 $120\text{kg}/\text{t}\sim 300\text{kg}/\text{t}$ 钢水MnSi合金和铝预脱氧,出钢过程钢包底吹搅拌气体压力 $\geq 0.3\text{MPa}$ 。

[0030] 具体地,LF精炼过程中渣量不低于 $20\text{kg}/\text{t}$ 钢,钢液[AL]含量在 0.015% 以上。VD真空精炼过程钢液面渣量 $2.0\text{kg}/\text{t}\sim 3.5\text{kg}/\text{t}$ 钢,高真空度保持时间 $\geq 20\text{min}$,真空前10-15分钟氩气流量不得小于 $60\text{NL}/\text{min}$,高真空后期为 $10\sim 50\text{NL}/\text{min}$ 软吹,保证钢液真空脱气效果和促进夹杂物上浮去除。

[0031] 步骤(6)轧板的加热采用阶梯加热,升温控制速度: 1000°C 以下升温速度 $\leq 150^{\circ}\text{C}/\text{h}$,分别在 $650^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ 和 $900^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 设置两个保温平台,保温时间前者按 $5\text{mm}/\text{min}\sim 7\text{mm}/\text{min}$,后者按 $3\text{mm}/\text{min}\sim 4\text{mm}/\text{min}$, 1000°C 以上快速升温,快速升温速度按 $120^{\circ}\text{C}/\text{h}\sim 180^{\circ}\text{C}/\text{h}$,控制最高加热温度不超过 1290°C ,均热温度为 $1200\sim 1260^{\circ}\text{C}$ 。

[0032] 本申请设计的关键技术如下:

[0033] 本发明特厚、高强、高致密度钢板制造方法的关键在于波浪边扁钢锭制造和锻造步骤。

[0034] 步骤(1)重点是波浪边扁钢锭的选择和浇铸工艺控制,实现钢锭顺序凝固、充分补缩,获得致密均匀的钢锭。另外,经过计算、分析,提高各阶段利用率并为锻造工艺创造基础条件。

[0035] 步骤(2)严格控制钢液过氧化,最大限度的脱P,降低含氧量,大渣量扒渣,进行钢水预脱氧,为钢液精炼创造良好的条件。

[0036] 步骤(3)重点是扩散脱氧与沉淀脱氧用量和使用次序,温度保证,高真空条件下脱气和保证净化效果。

[0037] 步骤(4)关键是波浪边扁钢锭选择,钢锭浇铸工艺控制,保护浇铸避免钢液氧化造成二次污染。

[0038] 步骤(5)通过锻造比和压下量控制、锻造工艺控制,保证钢坯内部组织致密,最大程度破碎铸造组织,为钢板超声波无损检验提供了良好的组织保证。

[0039] 步骤(6)通过加热控制,为成材轧板提供良好条件,“大压下”轧制工艺,控制温度、压下率、大压下率压下时机达到钢坯心部变形渗透。轧制后以 $3^{\circ}\text{C}/\text{s}\sim 6^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的速度冷却到 700°C 左右,然后,在缓冷坑中以 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}\sim 25^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度冷却到室温。实现最终钢板高致密度。

[0040] 与现有技术相比,本发明的优点在于:针对制造大型、特大型水电发电机组部件及其它高端大型结构部件用特厚钢板的这些质量技术难题,发明了一种特厚、高强度、高致密度钢板的制造方法。通过波浪边扁钢锭的选择,严格合理的炼钢工艺、钢锭浇铸工艺、钢锭锻造工艺、钢板轧制工艺,在达到特厚和高强度要求的基础上,保证高致密度,经超声波无

损检验满足I级要求。本钢板的成功研制,对于该级别钢板的国产化及进一步推广应用都具有重要意义。

附图说明

[0041] 图1~图3为300mmQ550D-Z35全厚度低倍组织

具体实施方式

[0042] 以下结合实施例对本发明作进一步详细描述,本申请的生产工艺可针对钢种牌号Q550D-Z35,但不限于前述牌号。

[0043] 实施例1

[0044] 本实施例钢板由以下质量百分数的组分熔炼而成,C:0.10%,Si:0.09%,Mn:1.15%,P:0.008%,S:0.001%,Ni:1.38%,Cr:0.52%,Mo:0.48%,Cu:0.12%,Nb:0.026%,Al:0.036%,Ti:0.019%,V:0.042%,Ca:0.0019%,B:0.0003%,余量为Fe和不可避免的杂质。钢板厚度300mm,钢板单重28t,钢板制造方法的具体步骤如下:

[0045] 步骤(1)钢锭及锻坯尺寸确定,钢锭选择波浪边扁钢锭,钢锭公称重量45t,锻造后钢坯厚度750mm。

[0046] 步骤(2)初炼,初炼在EAF电弧炉内进行,配料I级废钢85%,生铁10%。初炼渣量69kg/t钢,出钢前钢液碳含量0.04%,后期纯沸腾时间16min,盛放钢液的钢包烘烤至内壁温度1050℃,出钢后大包二次测温温度1595℃。出钢随钢流加入MnSi合金和铝线共230kg/t钢水预脱氧,出钢过程钢包底吹Ar气压力0.4MPa。

[0047] 步骤(3)精炼,LF精炼炉过程钢液中[AL]含量在0.016%~0.039%,渣量23kg/t钢,精炼前、中、后期精炼渣流动性良好。VD真空过程钢液面渣量2.6kg/t钢,高真空度保持时间25min,真空前23分钟氩气流量80NL/分钟以上,真空后期氩气流量20NL/分钟软吹,真空后用德国贺利士定氢仪测钢液[H]含量0.9ppm,最终钢中[O]含量9ppm。

[0048] 步骤(4)钢锭浇铸,钢锭模使用前温度135℃,开浇过热度32℃,钢锭本体浇铸2.3t/min,帽口浇铸1.1t/min。帽口浇满后加入保温剂20kg/t钢和适量发热剂,钢锭在缓冷坑中冷却至温度200℃时送去锻造。

[0049] 钢锭在有加热功能的缓冷坑中冷却,缓冷坑温度800℃时钢锭进入缓冷坑,随缓冷坑一同降温。

[0050] 步骤(5)锻造,三火成材,经过墩粗和拔长平锻阶段,墩粗变形量45%,拔长平锻阶段钢锭宽度方向、厚度方向交替锻造,累计变形量67%,最大压下量420mm,锻坯厚度750mm。锻后钢坯退火,退火温度650℃、保温时间72h以上,退火后清理表面缺陷。

[0051] 步骤(6)轧板,锻造后的钢坯在均热炉加热,1000℃以下升温速度不超过150℃/h,设两个保温平台,最高加热温度不超过1270℃,均热温度1200℃~1250℃,开轧温度1080℃,终轧温度910℃,压下率≥20%的轧板道次数4道,轧后钢板以4.5℃/s的速度冷却到700℃左右,然后,在缓冷坑中以18℃/h的速度冷却到室温。

[0052] 本实施例特厚、高强、高致密度Q550D-Z35钢板质量如下:

[0053] (1) 钢板实际屈服强度615MPa,抗拉强度690MPa。

[0054] (2)、超声波无损检验,达到SEL072-77德国《厚钢板超声波检验供货技术条件》I

级,达到GB/T 2970-2016《厚钢板超声波检测方法》I级;

[0055] (3)、钢板组织,钢板低倍组织致密,完全消除了疏松,偏析程度得到大幅度改善,低倍组织形貌,钢板低倍组织致密,完全消除了疏松,中心偏析0.5级,一般偏析0.5级,低倍组织形貌如图1所示。

[0056] 实施例2

[0057] 本实施例的钢种牌号Q550D-Z35,其是由以下质量百分数的组分熔炼而成,C:0.13%,Si:0.21%,Mn:1.02%,P:0.009%,S:0.001%,Ni:1.27%,Cr:0.58%,Mo:0.42%,Cu:0.05%,Nb:0.022%,Al:0.033%,Ti:0.010%,V:0.049%,Ca:0.0013%,B:0.0002%,余量为Fe和不可避免的杂质。钢板厚度270mm,钢板单重26t,钢板制造方法的具体步骤如下:

[0058] 步骤(1)钢锭及锻坯尺寸确定,钢锭选择波浪边扁钢锭,钢锭公称重量45t,锻造后钢坯厚度720mm。

[0059] 步骤(2)初炼,初炼在EAF电弧炉内进行,配料I级废钢90%,生铁10%。初炼渣量62kg/t钢,出钢前钢液碳含量0.05%,后期纯沸腾时间21min,盛放钢液的钢包烘烤至内壁温度1050℃,出钢后大包二次测温温度1605℃。出钢随钢流加入MnSi合金和铝线共220kg/t钢水预脱氧,出钢过程钢包底吹Ar气压力0.4MPa。

[0060] 步骤(3)精炼,LF精炼炉过程钢液中[AL]含量在0.018%~0.042%,渣量21kg/t钢,精炼前、中、后期精炼渣流动性良好。VD真空过程钢液面渣量2.7kg/t钢,高真空度保持时间25min,真空前22分钟氩气流量80NL/分钟以上,真空后期氩气流量20NL/分钟软吹,真空后用德国贺利士定氢仪测钢液[H]含量0.8ppm,最终钢中[O]含量8ppm。

[0061] 步骤(4)钢锭浇铸,钢锭模使用前温度120℃,开浇过热度34℃,钢锭本体浇铸2.3t/min,帽口浇铸1.15t/min。帽口浇满后加入保温剂20kg/t钢和适量发热剂,钢锭有加热功能的缓冷坑中冷却,缓冷坑温度750℃时钢锭进缓冷坑,随缓冷坑一同降温至温度200℃时送去锻造。

[0062] 步骤(5)锻造,三火成材,经过墩粗和拔长平锻阶段,墩粗变形量40%,拔长平锻阶段钢锭宽度方向、厚度方向交替锻造,累计变形量69%,最大压下量400mm,锻坯厚度720mm。锻后钢坯退火,退火温度650℃、保温时间72h以上,退火后清理表面缺陷。

[0063] 步骤(6)轧板,锻造后的钢坯在均热炉加热,1000℃以下升温速度不超过140℃/h,设两个保温平台,最高加热温度不超过1270℃,均热温度1220℃~1240℃,开轧温度1050℃,终轧温度900℃,压下率≥20%的轧板道次数4道,轧后钢板以4.9℃/s的速度冷却到700℃左右,然后,在缓冷坑中以17℃/h的速度冷却到室温。

[0064] 本实施例特厚、高强、高致密度Q550D-Z35钢板质量如下:

[0065] (1) 钢板实际屈服强度590MPa,抗拉强度672MPa

[0066] (2)、超声波无损检验,达到SEL072-77德国《厚钢板超声波检验供货技术条件》I级,达到GB/T 2970-2016《厚钢板超声波检测方法》I级;

[0067] (3)、钢板组织,钢板低倍组织致密,完全消除了疏松,中心偏析0.5级,一般偏析0.5级,低倍组织形貌,如图2所示。

[0068] 实施例3

[0069] 本实施例的钢种牌号Q550D,其是由以下质量百分数的组分熔炼而成,C:0.14%,

Si:0.13%,Mn:1.01%,P:0.007%,S:0.001%,Ni:1.30%,Cr:0.62%,Mo:0.41%,Cu:0.03%,Nb:0.031%,Al:0.040%,Ti:0.015%,V:0.053%,Ca:0.0012%,B:0.0002%,余量为Fe和不可避免的杂质。钢板厚度230mm,钢板单重27t,钢板制造方法的具体步骤如下:

[0070] 步骤(1)钢锭及锻坯尺寸确定,钢锭选择波浪边扁钢锭,钢锭公称重量45t,锻造后钢坯厚度720mm。

[0071] 步骤(2)初炼,初炼在EAF电弧炉内进行,配料I级废钢82%,生铁15%。初炼渣量64kg/t钢,出钢前钢液碳含量0.04%,后期纯沸腾时间23min,盛放钢液的钢包烘烤至内壁温度1000℃,出钢后大包二次测温温度1600℃。出钢随钢流加入MnSi合金和铝线共200kg/t钢水预脱氧,出钢过程钢包底吹Ar气压力0.4MPa。

[0072] 步骤(3)精炼,LF精炼炉过程钢液中[AL]含量在0.016%~0.047%,渣量22kg/t钢,精炼前、中、后期精炼渣流动性良好。VD真空过程钢液面渣量2.6kg/t钢,高真空度保持时间25min,真空前24分钟氩气流量80NL/分钟以上,真空后期氩气流量20NL/分钟软吹,真空后用德国贺利士定氢仪测钢液[H]含量0.9ppm,最终钢中[O]含量9ppm。

[0073] 步骤(4)钢锭浇铸,钢锭模使用前温度116℃,开浇过热度38℃,钢锭本体浇铸2.4t/min,帽口浇铸1.15t/min。帽口浇满后加入保温剂21kg/t钢和适量发热剂,钢锭有加热功能的缓冷坑中冷却,缓冷坑温度700℃时钢锭进缓冷坑,随缓冷坑一同降温至温度200℃时送去锻造。

[0074] 步骤(5)锻造,三火成材,经过墩粗和拔长平锻阶段,墩粗变形量43%,拔长平锻阶段钢锭宽度方向、厚度方向交替锻造,累计变形量74%,最大压下量410mm,锻坯厚度720mm。锻后钢坯退火,退火温度650℃、保温时间72h以上,退火后清理表面缺陷。

[0075] 步骤(6)轧板,锻造后的钢坯在均热炉加热,1000℃以下升温速度不超过120℃/h,设两个保温平台,最高加热温度不超过1280℃,均热温度1220℃~1250℃,开轧温度1000℃,终轧温度890℃,压下率≥20%的轧板道次数5道,轧后钢板以5.1℃/s的速度冷却到700℃左右,然后,在缓冷坑中以19℃/h的速度冷却到室温。

[0076] 本实施例特厚、高强、高致密度Q550D钢板质量如下:

[0077] (1) 钢板实际屈服强度602MPa,抗拉强度694MPa

[0078] (2)、超声波无损检验,达到SEL072-77德国《厚钢板超声波检验供货技术条件》I级,达到GB/T 2970-2016《厚钢板超声波检测方法》I级;

[0079] (3)、钢板组织,钢板低倍组织致密,完全消除了疏松,中心偏析0.5级,一般偏析0级,低倍组织形貌,如图3所示。

[0080] 除上述实施例外,本发明还包括有其他实施方式,凡采用等同变换或者等效替换方式形成的技术方案,均应落入本发明权利要求的保护范围之内。

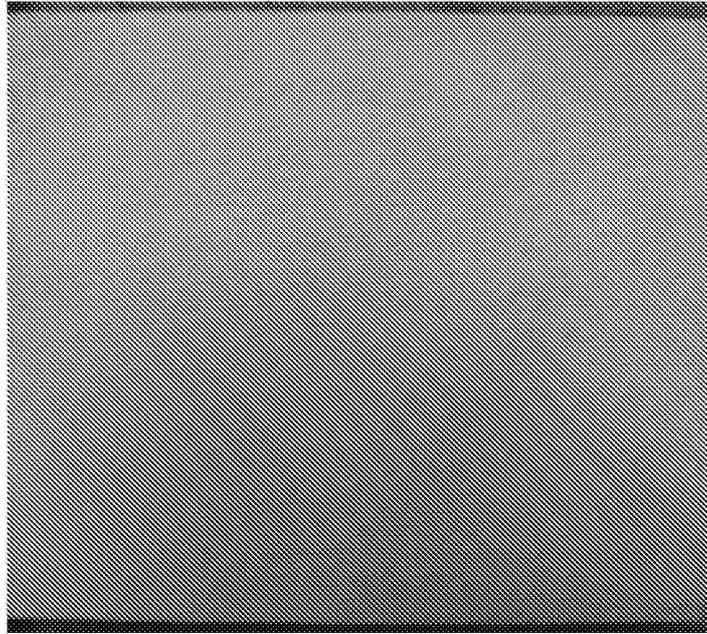


图1

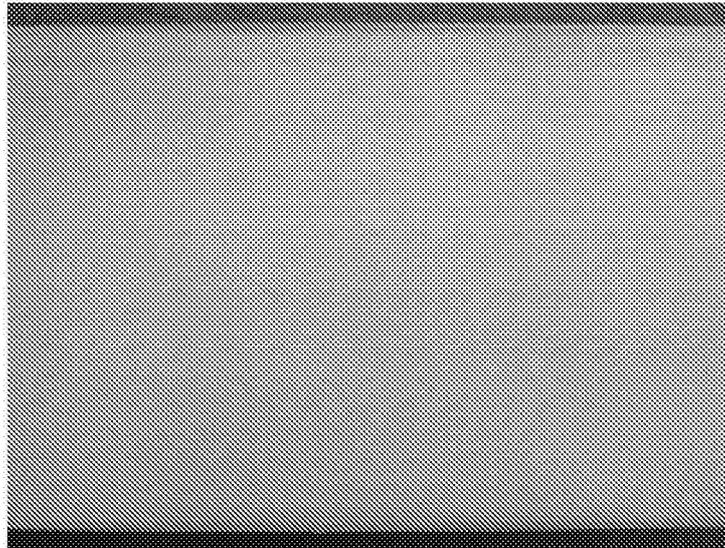


图2

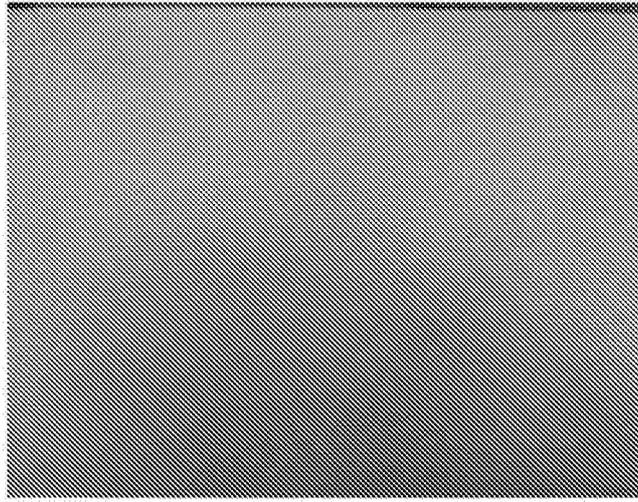


图3