



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106583491 A

(43)申请公布日 2017.04.26

(21)申请号 201611204238.1

G22C 19/05(2006.01)

(22)申请日 2016.12.23

G22F 1/10(2006.01)

(71)申请人 山西太钢不锈钢股份有限公司

地址 030003 山西省太原市尖草坪区尖草
坪街2号

(72)发明人 聂飞 付俊生 巩非 张琳 李鹏
拓雷锋 范晔峰 程逸明 侯楠
梁祥祥

(74)专利代理机构 太原市科瑞达专利代理有限
公司 14101

代理人 申艳玲

(51)Int.Cl.

B21C 37/06(2006.01)

B21C 29/00(2006.01)

B21C 23/08(2006.01)

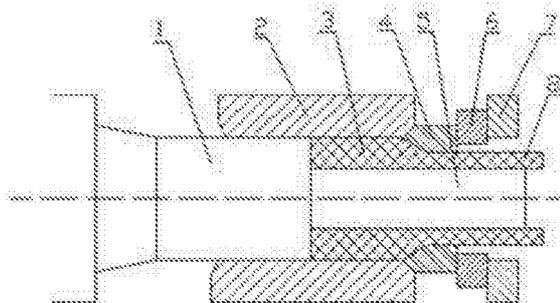
权利要求书2页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

一种Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法

(57)摘要

本发明公开了一种Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,包括(1)锻造管坯;(2)坯料准备;(3)热挤压;(4)冷加工;(5)热处理步骤。本发明针对锻造管坯,制定了该合金管热挤压、冷加工变形工艺参数,解决了钢管在冷、热轧制变形区开裂问题,特别是热挤压分层的问题;研究了该镍基合金组织转变规律,解决了该合金无缝管热处理金属间析出相问题。



1. 一种Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,包括热挤压、钢管冷加工、热处理工艺,其特征在于:包括以下步骤:

(1) 锻造管坯

管坯成分如下:

$0 < C \leq 0.015\%$, $0 < Si \leq 0.50\%$, $0 < Mn \leq 0.50\%$, $0 < P \leq 0.015\%$, $0 < S \leq 0.015\%$, $20.0\% \leq Cr \leq 23.0\%$, $3.15\% \leq Nb+Ta \leq 4.15\%$, $0 < Co \leq 1.0\%$, $0 < Al \leq 0.40\%$, $0 < Ti \leq 0.40\%$, $0 < Fe \leq 5.0\%$, $8.0\% \leq Mo \leq 10.0\%$, $Ni \geq 58\%$, 其余为微量其它杂质元素;

冶炼完毕模铸成圆坯;

(2) 坯料准备

将坯料分段锯切至500~1000mm,深孔钻加工 $\Phi 40 \sim \Phi 100$ mm中心通孔;

(3) 热挤压

①坯料预热:坯料在环形炉中预热,环形炉温度设置为900~1000℃,驻炉时间为1min/mm,随外径增加驻炉时间相应增加;

②一次感应加热:坯料放入中频感应炉感应加热,感应加热温度设定为 $1100 \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间为1~3min,加热功率为600~650kW,保温功率 ≤ 200 kW;

③玻璃粉润滑:坯料内、外壁使用高温下熔融态的玻璃粉进行润滑;

④扩孔:使用扩孔锥进行扩孔;

⑤二次感应加热:坯料放入中频感应炉感应加热,感应加热分为3段,加热目标温度设定为 $1180 \pm 10^\circ\text{C}$,加热过程避免直接设定目标温度,每段加热功率为600~650kW,保温功率 ≤ 200 kW;

⑥热挤压:采用热挤压工模具,断面收缩率不小于50%,不大于90%,挤压后30s内完成固溶;

热挤压后依次经矫直、锯切、酸洗转入冷加工工序;

(4) 冷加工

冷加工方式有两种:冷轧、冷拔;

①冷轧工艺参数设置:减径率:10~40%;减壁率:10~50%;送进量4~6mm/次;轧制次数20~60次/min;

②冷拔分扩径和减径两种:通常扩径为10~40mm/道次,壁厚减薄0.2~0.5mm;减径为5~10mm/道次,壁厚减薄1~1.5mm;

冷加工后依次经脱脂、热处理、矫直、锯切、酸洗转入成品工序或下道次冷加工工序;

(5) 热处理

冷加工后的钢管均需进行热处理,热处理分为半成品与成品两种热处理工艺;热处理后20s内完成固溶。

2. 根据权利要求1所述的Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,其特征在于:所述步骤(1)管坯的直径为219~400mm,锻造比2以上。

3. 根据权利要求1所述的Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,其特征在于:所述步骤(2)的二次感应加热过程中,第一段加热目标温度设定 $1120 \pm 10^\circ\text{C}$,加热完毕在炉内停留1min;第二段加热目标温度设定为 $1150 \pm 10^\circ\text{C}$,加热完毕在炉内停留1min;第三段加热设定为 $1180 \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间为1min。

4. 根据权利要求1所述的Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,其特征在于:步骤(3)热挤压过程中,所述熔融态玻璃粉的温度为1100~1250℃。

5. 根据权利要求1所述的Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,其特征在于:步骤(3)热挤压过程中,设置环形炉温度为:1000±10℃;采用的扩孔锥为:Φ80~250mm;采用的热挤压模具为:Φ114×10~Φ325×40mm,断面收缩率不小于50%,不超过90%;热挤压后钢管的外径范围为Φ114~325mm,公差为±2mm;壁厚范围为10~40mm,壁厚公差±1mm。

6. 根据权利要求1所述的Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,其特征在于:步骤(5)热处理过程中,半成品的热处理温度为1160~1180℃,保温时间3min/mm;成品热处理温度为1100~1150℃,保温时间2min/mm。

7. 根据权利要求1所述的Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,其特征在于:步骤(4)和(5)中所述的冷加工和热处理工艺步骤,交替进行多次,即包括第一次半成品冷轧、第一次半成品热处理、第二次半成品冷轧、第二次半成品热处理……第n次成品热处理;其中n为大于1的正整数。

8. 根据权利要求1所述的Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,其特征在于:步骤(4)和(5)中所述的冷加工和热处理工艺步骤,交替进行多次,且每次冷加工和热处理后,还包括冷扩孔工艺步骤。

一种Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,属于镍基合金制备技术领域。

背景技术

[0002] 随现代工业的发展,对材料的需求日趋苛刻,传统的不锈钢(304、316)及铁镍基耐蚀合金(N08020、N08028、N08825等)已经无法满足生产需求。为此,增加耐蚀合金元素含量以提高耐蚀及高温性能。通常Ni、Cr、Mo、Nb是通常加入的合金元素。本专利所涉及的耐蚀合金是一种Ni、Cr、Mo、Nb合金含量都很高的合金,合金元素所占的比例达到了90%以上。准确地讲,该合金是典型的高温镍基耐蚀合金N06625。

[0003] N06625合金Mo含量达到了8%以上,Nb元素也达到了4%以上,Mo和Nb是强烈的第二相形成元素,会导致合金中产生大量的金属间相,一方面该合金的热变形抗力很大,是普通不锈钢的二倍以上,另一方面,大量的合金元素降低了材料的塑形,使材料的冷热加工性能较不锈钢有很大差异。

[0004] 对于该合金而言,制管的过程通常需要为大吨位的挤压机生产。以前,该合金的使用通常都是进口。近年来,国内企业先后购入了6000吨以上的卧式挤压机3台,为生产该合金提供了设备保障。然而,热挤压过程的问题很多。主要表现在挤压闷车多、分层现象多(目前国内外尚未形成一致的意见及解决办法),困扰着该合金的各项技术性能指标。

发明内容

[0005] 本发明旨在提供一种Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,针对该合金生产常见的问题进行了细致的研究与改进,制定了从热加工到冷加工的全套的工艺技术,确保了该合金的顺利生产。

[0006] 本发明提供了一种Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,针对锻造管坯,制定了该合金管热挤压、冷加工变形工艺参数,解决了钢管在冷、热轧制变形区开裂问题,特别是热挤压分层的问题;研究了该镍基合金组织转变规律,解决了该合金无缝管热处理金属间析出相问题。本制造工艺的流程及参数是生产该合金管材的关键技术,是需要进行保护的。

[0007] 本发明研究了N06625镍基合金管热挤压、钢管冷加工、热处理工艺,关键工艺参数如下:

热加工:挤压温度、挤压比、挤压速度、感应炉加热工艺;

冷加工:变形量、轧制速度、送进量或冷轧、冷拔;

热处理:温度、保温时间、冷却方式;

通过研究上述工艺的关键参数,最终解决了该镍基合金全线生产工艺难题,完成了品种的系列化生产,产品外径范围为19~426mm,性能满足无缝管标准要求。

[0008] 本发明提供了一种Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管的制造方法,包括下述依次步

骤:

(1) 锻造管坯

管坯成分如下:

$0 < C \leq 0.015\%$, $0 < Si \leq 0.50\%$, $0 < Mn \leq 0.50\%$, $0 < P \leq 0.015\%$, $0 < S \leq 0.015\%$, $20.0\% \leq Cr \leq 23.0\%$, $3.15\% \leq Nb+Ta \leq 4.15\%$, $0 < Co \leq 1.0\%$, $0 < Al \leq 0.40\%$, $0 < Ti \leq 0.40\%$, $0 < Fe \leq 5.0\%$, $8.0\% \leq Mo \leq 10.0\%$, $Ni \geq 58\%$, 其余为微量其它杂质元素;

冶炼完毕模铸成圆管坯;管坯的直径为219-400mm,锻造比2以上。

[0009] (2) 坯料准备

将坯料分段锯切至500~1000mm,深孔钻加工 $\Phi 40 \sim \Phi 100$ mm中心通孔;

(3) 热挤压

①坯料预热:坯料在环形炉中预热,环形炉温度设置为900~1000℃,驻炉时间为1min/mm,随外径增加驻炉时间相应增加;

②一次感应加热:坯料放入中频感应炉感应加热,感应加热温度设定为 $1100 \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间为1~3min,加热功率为600~650kW,保温功率 $\leq 200\text{kW}$;

③玻璃粉润滑:坯料内、外壁使用高温下熔融态的玻璃粉进行润滑;

④扩孔:使用扩孔锥进行扩孔;

⑤二次感应加热:二次感应是关键加热工序,加热效果与否直接关系着挤压管材的质量水平。坯料放入中频感应炉感应加热,感应加热分段为3次,加热目标温度设定为 $1180 \pm 10^\circ\text{C}$ (第一段加热目标温度设定 $1120 \pm 10^\circ\text{C}$,加热完毕在炉内停留1min;第二段加热目标温度设定为 $1150 \pm 10^\circ\text{C}$,加热完毕在炉内停留1min;第三段加热设定为 $1180 \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间为1min),加热过程避免直接设定目标温度(消除大功率加热的热惯性),每段加热功率为600~650kW,保温功率 $\leq 200\text{kW}$;

⑥热挤压:采用合适尺寸的热挤压工模具,断面收缩率不小于50%,不大于90%,挤压后30s内完成固溶;

热挤压后依次经矫直、锯切、酸洗转入冷加工工序;

挤压比由坯料尺寸、挤压针尺寸、挤压模尺寸决定;需根据成品管材的尺寸要求,选择坯料规格及工模具尺寸。

[0010] 热挤压后依次经矫直、锯切、酸洗转入冷加工工序;

(4) 冷加工

冷加工方式有两种:冷轧、冷拔;

①冷轧工艺参数设置:减径率:10~40%;减壁率:10~50%;送进量4~6mm/次;轧制次数20~60次/min。

[0011] ②冷拔分扩径和减径两种:通常扩径为10~40mm/道次,壁厚减薄0.2~0.5mm;减径为5~10mm/道次,壁厚减薄1~1.5mm。

[0012] 冷加工后依次经脱脂、热处理、矫直、锯切、酸洗转入成品工序或下道次冷加工工序;

(5) 热处理

冷加工后的钢管均需进行热处理,热处理分为半成品与成品两种热处理工艺;热处理后20s内完成固溶。

[0013] Cr-Ni-Mo-Nb镍基合金无缝管主要成分组成为： $20.0\% \leq Cr \leq 23.0\%$ ， $Ni \geq 58\%$ ， $8.0\% \leq Mo \leq 10.0\%$ ， $3.15\% \leq Nb+Ta \leq 4.15\%$ 。

[0014] 上述方案中，步骤(3)热挤压过程中，所述熔融态玻璃粉的温度为 $1100 \sim 1250^\circ\text{C}$ 。

[0015] 上述方案中，步骤(3)热挤压过程中，设置环形炉温度为： $1000 \pm 10^\circ\text{C}$ ；采用的扩孔锥为： $\Phi 80 \sim 250\text{mm}$ ；采用的热挤压模具为： $\Phi 114 \times 10 \sim \Phi 325 \times 40\text{mm}$ ，断面收缩率不小于50%，不超过90%；热挤压后钢管的外径范围为 $\Phi 114 \sim 325\text{mm}$ ，公差为 $\pm 2\text{mm}$ ；壁厚范围为 $10 \sim 40\text{mm}$ ，壁厚公差 $\pm 1\text{mm}$ 。

[0016] 上述方案中，步骤(5)热处理过程中，半成品的热处理温度为 $1160 \sim 1180^\circ\text{C}$ ，保温时间 $3\text{min}/\text{mm}$ ；成品热处理温度为 $1100 \sim 1150^\circ\text{C}$ ，保温时间 $2\text{min}/\text{mm}$ 。

[0017] 上述方案中，步骤(4)和(5)中所述的冷加工和热处理工艺步骤，交替进行多次，即包括第一次半成品冷轧、第一次半成品热处理、第二次半成品冷轧、第二次半成品热处理……第n次成品热处理；其中n为大于1的正整数。

[0018] 上述方案中，步骤(4)和(5)中所述的冷加工和热处理工艺步骤，交替进行多次，且每次冷加工和热处理后，还包括冷扩孔工艺步骤。

[0019] 本发明的有益效果：

(1)加工工艺：制定了挤压+冷轧(拔)+固溶的全线无缝生产工艺，可以生产出镍基合金N06625合金无缝钢管；

(2)固溶温度：采用了高温固溶工艺，可以控制晶粒度在4~7级且晶界无 σ 相析出，同时力学性能指标较标准要求高出5%以上；

(3)采用高的环形炉预热温度，同时对工频感应加热过程进行了针对性的流程改进，避免了热惯性造成挤压分层问题；

(4)采用先冷轧后扩孔的冷加工方式，生产了大口径(外径219-426mm)、薄壁(4-6mm)的镍基合金无缝管，克服了大口径镍基合金厚壁管无法冷拔变形的难题。

附图说明

[0020] 图1为热挤压工模具的结构及使用状态示意图。

[0021] 图中1为挤压杆，2为挤压筒，3为坯料，4为挤压模，5为挤压针，6为模垫，7为模座，8为管材。

具体实施方式

[0022] 下面通过实施例来进一步说明本发明，但不局限于以下实施例。

[0023] 实施例1：

针对成品规格 $\Phi 25 \times 2\text{mm}$ 设计工艺流程如下：

管坯准备($\Phi 219\text{mm}$)→热挤压($\Phi 140 \times 12\text{mm}$)→矫直→锯切→酸洗→冷轧($\Phi 114 \times 10\text{mm}$)→脱脂→热处理→矫直→锯切→酸洗→冷轧($\Phi 89 \times 7\text{mm}$)→脱脂→热处理→矫直→锯切→酸洗→冷轧($\Phi 57 \times 5\text{mm}$)→脱脂→热处理→矫直→锯切→酸洗→冷轧($\Phi 38 \times 3\text{mm}$)→脱脂→热处理→矫直→锯切→酸洗→冷轧($\Phi 25 \times 2\text{mm}$)→脱脂→热处理→矫直→锯切→酸洗→探伤→入库

具体工艺流程如下：

(1) 管坯

采用锻造、车光管坯,规格为 $\Phi 219\text{mm}$ 。管坯成分如下:

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	Al	Ti	Nb	Fe
0.011	0.20	0.32	0.010	0.001	59.56	21.06	9.26	0.3	0.31	0.25	1.88	4.8

(2) 坯料准备

将锻造后管坯锯切成650mm/支的坯料,中心通孔为 $\Phi 60\text{mm}$ 。

[0024] (3) 热挤压

①坯料预热:坯料在环形炉中预热,环形炉出炉温度 996°C ,驻炉时间219min;

②一次感应加热:坯料放入中频感应炉感应加热,加热功率为620kW,保温功率130kW,保温时间2min,红外测温仪显示坯料外表温度 1103°C ,内表温度 1105°C ;

③玻璃粉润滑:坯料内、外壁使用 $1100\sim 1250^{\circ}\text{C}$ 熔融态玻璃粉进行润滑;

④扩孔:使用 $\Phi 125\text{mm}$ 的扩孔锥进行扩孔;

⑤二次感应加热:坯料放入中频感应炉感应加热,第一次加热功率为610kW,保温功率100kW,停掉感应炉,不出炉,保温时间1min,红外测温仪显示坯料外表温度 1125°C ,内表温度 1128°C ;第二次加热功率为610kW,保温功率100kW,停掉感应炉,不出炉,保温时间1min,红外测温仪显示坯料外表温度 1155°C ,内表温度 1156°C ;第三次加热功率为610kW,保温功率100kW,停掉感应炉,不出炉,保温时间1min,红外测温仪显示坯料外表温度 1185°C ,内表温度 1188°C ;

⑥热挤压:热挤压采用 $\Phi 140\times 12\text{mm}$ 的热挤压工模具,形状及示意图见图1,断面收缩率84%,挤压后20s完成固溶;

图1示出了工模具的配备及使用状态,挤压模4位于挤压筒2出口,坯料3在挤压模4的作用下断面收缩,形成管材8半成品。挤压模4通过模垫6固定在模座7上。

[0025] 热挤压后钢管的外径尺寸为140.8mm,壁厚为12.5mm。挤压后依次经矫直、酸洗、修磨。

[0026] (4) 第一次半成品冷轧

根据成品规格要求,第一次半成品的冷轧工艺为: $\Phi 140\times 12\text{mm}\rightarrow\Phi 114\times 10\text{mm}$,轧制后外径114.1mm,壁厚10.2mm,减径率18.57%,减壁率16.67%,送进量4mm/次,轧制次数50次/min。

[0027] 冷轧后的钢管,经脱脂进行热处理;

(5) 第一次半成品热处理

半成品热处理温度控制在 $1170\pm 10^{\circ}\text{C}$,保温时间控制在30min,实测炉温为 $1175\sim 1178^{\circ}\text{C}$ 之间;

热处理后15s入水固溶;

经矫直、酸洗、修磨进行第二道次半成品冷轧。

[0028] (6) 第二次半成品冷轧

根据成品规格要求,第二次半成品的冷轧工艺为: $\Phi 114\times 10\text{mm}\rightarrow\Phi 89\times 7\text{mm}$,轧制后外径89.2mm,壁厚7.1mm,减径率21.93%,减壁率30%,送进量4mm/次,轧制次数55次/min。

[0029] 冷轧后的钢管,经脱脂进行热处理;

(7) 第二次半成品热处理

半成品热处理温度控制在 $1170 \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间控制在21min,实测炉温为1172~1175 $^\circ\text{C}$ 之间;

热处理后15s入水固溶;

经矫直、酸洗、修磨进行第三道次半成品冷轧。

[0030] (8) 第三次半成品冷轧

根据成品规格要求,第三次半成品的冷轧工艺为: $\Phi 89 \times 7\text{mm} \rightarrow \Phi 57 \times 5\text{mm}$,轧制后外径57.1mm,壁厚5.0mm,减径率35.96%,减壁率28.57%,送进量5mm/次,轧制次数55次/min。

[0031] 冷轧后的钢管,经脱脂进行热处理;

(9) 第三次半成品热处理

半成品热处理温度控制在 $1170 \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间控制在15min,实测炉温为1175~1178 $^\circ\text{C}$ 之间;

热处理后15s入水固溶;

经矫直、酸洗、修磨进行第四道次半成品冷轧。

[0032] (10) 第四次半成品冷轧

根据成品规格要求,第四次半成品的冷轧工艺为: $\Phi 57 \times 5\text{mm} \rightarrow \Phi 38 \times 3\text{mm}$,轧制后外径38.1mm,壁厚3.05mm,减径率33.33%,减壁率40%,送进量4mm/次,轧制次数55次/min。

[0033] 冷轧后的钢管,经脱脂进行热处理;

(11) 第四次半成品热处理

半成品热处理温度控制在 $1170 \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间控制在9min,实测炉温为1175~1180 $^\circ\text{C}$ 之间;

热处理后15s入水固溶;

经矫直、酸洗、修磨进行成品冷轧。

[0034] (12) 第五次半成品冷轧

根据成品规格要求第五次半成品的冷轧工艺为: $\Phi 38 \times 3\text{mm} \rightarrow \Phi 25 \times 2\text{mm}$,轧制后外径25.1mm,壁厚2.0mm,减径率34.21%,减壁率33.33%,送进量4mm/次,轧制次数60次/min。

[0035] 冷轧后的钢管,经脱脂进行热处理;

(13) 第五次成品道次热处理

成品道次热处理温度控制在 $1120 \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间控制在4min,实测炉温为1125~1128 $^\circ\text{C}$ 之间;

热处理后15s入水固溶;

经矫直、酸洗即为成品。

[0036] (14) 无损探伤

按ASME E213《金属公称管和管子超声波检验的实用规程》进行超声波探伤,II级合格。

[0037] (15) 性能检验

成品钢管取两支进行性能检验,结果如下:

项目	屈服强度, Mpa	抗拉强度, Mpa	延伸率, %	有害相
标准要求	≥276	≥690	≥30	不要求
实物性能	350	770	50.5	无
	355	775	50.0	无

性能检验完全满足标准ASME SB444及用户要求,屈服强度较标准高25-30%,抗拉强度较标准高11-13%,延伸率较标准高65-70%。

[0038] 实施例2

针对成品规格 $\Phi 250 \times 8\text{mm}$ 设计工艺流程如下:

原料准备($\Phi 306\text{mm}$)→热挤压($\Phi 194 \times 22\text{mm}$)→矫直→锯切→酸洗→修磨→润滑→冷轧($\Phi 168 \times 15\text{mm}$)→脱脂→热处理→矫直→锯切→酸洗→润滑→冷扩($\Phi 250 \times 14\text{mm}$)→脱脂→热处理→矫直→锯切→酸洗→润滑→冷轧($\Phi 219 \times 8\text{mm}$)→脱脂→热处理→矫直→锯切→酸洗→润滑→冷扩($\Phi 250 \times 8\text{mm}$)→脱脂→热处理→矫直→锯切→酸洗→探伤→入库

具体工艺流程如下:

(1) 管坯

采用锻造管坯,管坯规格为 $\Phi 306\text{mm}$ 。管坯成分如下表。

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	Al	Ti	Nb	Fe
0.012	0.21	0.22	0.012	0.001	80.56	21.2	0.75	0.2	0.35	0.28	3.05	4.2

[0039] (2) 坯料准备

将锻造后管坯锯切成600mm/支的坯料,中心通孔为 $\Phi 80\text{mm}$ 。

[0040] (3) 热挤压

①坯料预热:坯料在环形炉中预热,环形炉出炉温度 1000°C ,驻炉时间306min;

②一次感应加热:坯料放入中频感应炉感应加热,加热功率为650kW,保温功率150kW,保温时间2min,红外测温仪显示坯料外表温度 1108°C ,内表温度 1101°C ;

③玻璃粉润滑:坯料内、外壁使用 $1100 \sim 1250^\circ\text{C}$ 熔融态玻璃粉进行润滑;

④扩孔:使用 $\Phi 165\text{mm}$ 的扩孔锥进行扩孔;

⑤二次感应加热:坯料放入中频感应炉感应加热,第一次加热功率为650kW,保温功率100kW,停掉感应炉,不出炉,保温时间1min,红外测温仪显示坯料外表温度 1122°C ,内表温度 1126°C ;第二次加热功率为650kW,保温功率100kW,停掉感应炉,不出炉,保温时间1min,红外测温仪显示坯料外表温度 1150°C ,内表温度 1152°C ;第三次加热功率为610kW,保温功率100kW,停掉感应炉,不出炉,保温时间1min,红外测温仪显示坯料外表温度 1182°C ,内表温度 1187°C ;

⑥热挤压:热挤压采用 $\Phi 194 \times 22\text{mm}$ 的热挤压工模具,形状及示意图见图1,断面收缩率81.06%,挤压后30s完成固溶;

图1示出了工模具的配备及使用状态,挤压模4位于挤压筒2出口,坯料3在挤压模4的作用下断面收缩,形成管材8半成品。挤压模4通过模垫6固定在模座7上。

[0041] 热挤压后钢管的外径尺寸为194.5mm,壁厚为22.8mm。挤压后依次经矫直、酸洗、修磨。

[0042] (4) 第一次半成品冷轧

根据成品规格要求,第一次半成品的冷轧工艺为: $\Phi 194 \times 22\text{mm} \rightarrow \Phi 168 \times 15\text{mm}$,轧制后外径168.5mm,壁厚15.2mm,减径率13.40%,减壁率31.82%,送进量4mm/次,轧制次数30次/min。

[0043] 冷轧后的钢管,经脱脂进行热处理;

(5) 第一次半成品热处理

半成品热处理温度控制在 $1170 \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间控制在45min,实测炉温为1175~1178 $^\circ\text{C}$ 之间;

热处理后15s入水固溶;

经矫直、酸洗、修磨、润滑后进行冷扩孔。

[0044] (6) 冷扩孔

使用规格为 $\Phi 150\text{mm}$ 的内模进行冷扩孔,内模材质为YG8,扩径后外径为181.2mm,壁厚为14.82mm。

[0045] 依次经过脱脂、热处理、矫直、锯切、酸洗、修磨、润滑后进行第二次扩径,内模规格为170mm,材质为YG8,扩径后外径为201mm,壁厚为14.5mm。热处理保温时间45min,实测炉温1175~1178 $^\circ\text{C}$ 之间,热处理后15s入水固溶。

[0046] 依次经过脱脂、热处理、矫直、锯切、酸洗、修磨、润滑后进行第三次扩径,内模规格为200mm,材质为YG8,扩径后外径为328.8mm,壁厚为14.2mm。热处理保温时间45min,实测炉温1173~1177 $^\circ\text{C}$ 之间,热处理后15s入水固溶。

[0047] 依次经过脱脂、热处理、矫直、锯切、酸洗、修磨、润滑后进行第四次扩径,内模规格为225mm,材质为YG8,扩径后外径为252.5mm,壁厚为14.0mm。热处理保温时间45min,实测炉温1174~1176 $^\circ\text{C}$ 之间,热处理后15s入水固溶。

[0048] (7) 第二次半成品冷轧

根据成品规格要求,第二次半成品的冷轧工艺为: $\Phi 250 \times 14\text{mm} \rightarrow \Phi 219 \times 8.5\text{mm}$,轧制后外径219.3mm,壁厚8.6mm,减径率12.4%,减壁率36.67%,送进量4mm/次,轧制次数30次/min。

[0049] 冷轧后的钢管,经脱脂进行热处理;

(8) 第二次半成品热处理

半成品热处理温度控制在 $1170 \pm 10^\circ\text{C}$,保温时间控制在26min,实测炉温为1175~1178 $^\circ\text{C}$ 之间;

热处理后15s入水固溶;

经矫直、酸洗、修磨、润滑后进行冷扩孔。

[0050] (9) 冷扩孔

内模规格为233mm,材质均为YG8,冷拔后外径为250.1mm,壁厚为8.22mm。

[0051] 冷拔后经过脱脂、热处理、矫直、锯切、酸洗即为成品。执行成品热处理工艺,保温时间16min,实测炉温1111~1115 $^\circ\text{C}$,热处理后15s入水固溶。

[0052] (10) 无损探伤

按ASME E213《金属公称管和管子超声波检验的实用规程》进行超声波探伤,II级合格。

[0053] (11) 性能检验

成品钢管取两支进行性能检验,结果如下:

项目	屈服强度, Mpa	抗拉强度, Mpa	延伸率, %	有害相
标准要求	≥ 276	≥ 690	≥ 30	不要求
实物性能	340	730	51.5	无
	345	735	51.0	无

性能检验完全满足标准ASME SB444及用户要求。屈服强度较标准高20-25%,抗拉强度较标准高5-7%,延伸率较标准高70-72%。

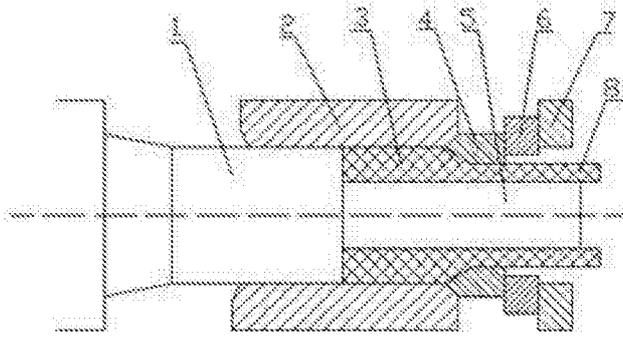


图1