



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116329462 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 27

(21) 申请号 202310137028.9

(22) 申请日 2023.02.20

(71) 申请人 太原重工股份有限公司

地址 030024 山西省太原市万柏林玉河街
53号

(72) 发明人 宋国旺 彭彩霞 王旭颖 梁晓捷
牛玉温 陈民涛 张军峰 王志军
常春青 付兴 闫少波 吴超
任伟

(74) 专利代理机构 北京奥文知识产权代理事务
所(普通合伙) 11534

专利代理师 张文 郑泽祥

B21J 5/08 (2006.01)

B21J 5/06 (2006.01)

G22C 38/04 (2006.01)

G22C 38/02 (2006.01)

G22C 38/44 (2006.01)

G22C 38/46 (2006.01)

G22C 38/42 (2006.01)

G22C 38/60 (2006.01)

G22C 38/00 (2006.01)

G22C 38/06 (2006.01)

G21D 9/28 (2006.01)

G21D 1/28 (2006.01)

G21D 1/25 (2006.01)

(51) Int. Cl.

B21K 1/06 (2006.01)

B21J 5/02 (2006.01)

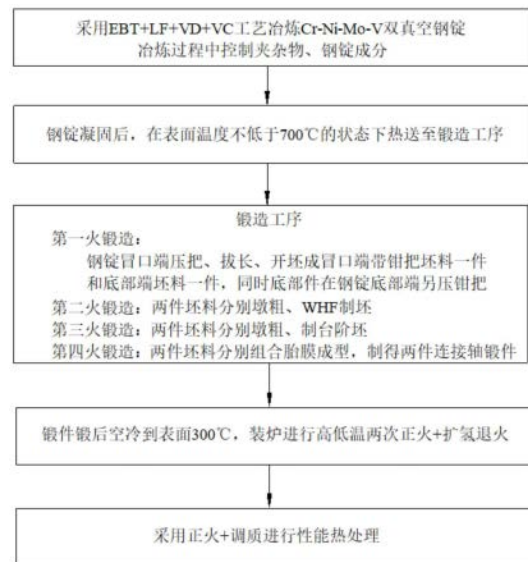
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

核发电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法

(57) 摘要

本发明公开了一种核发电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法,包括钢锭冶炼工序、锻造工序、锻后热处理工序、性能热处理工序,其中:在钢锭冶炼工序中,采用EBT+LF+VD+VC工艺冶炼制得Cr-Ni-Mo-V双真空钢锭;锻造工序包括第一火锻造、第二火锻造、第三火锻造、第四火锻造,第一火锻造中,钢锭压把、拔长、开坯两件、底部另压钳把,第二火锻造中进行墩粗和WHF制坯,第三火锻造中进行墩粗和制台阶段坯,第四火锻造中进行组合胎膜成型;在锻后热处理工序中进行高低温两次正火+扩氢退火;在性能热处理工序中采用正火+调质进行性能热处理。本发明的加工方法能确保锻件内部组织和机械性能,满足探伤和成分要求,还能保证具有较高的尺寸精度,提高加工效率,降低加工成本。



1. 一种核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法,其特征在于,包括钢锭冶炼工序、锻造工序、锻后热处理工序、性能热处理工序,其中:

在钢锭冶炼工序中,采用EBT+LF+VD+VC工艺冶炼制得Cr-Ni-Mo-V双真空钢锭,钢锭成分的质量百分比控制为:C:0.24~0.26%、Mn:0.20~0.40%、 $Si \leq 0.10\%$ 、 $P \leq 0.015\%$ 、 $S \leq 0.015\%$ 、Cr:1.50~2.00%、Ni:3.25~3.75%、Mo:0.30~0.60%、V:0.07~0.15%、 $Cu \leq 0.25\%$ 、 $Al \leq 0.025\%$ 、 $Sn \leq 0.025\%$ 、 $Sb \leq 0.0015\%$;

在锻造工序中,锻造温度范围控制为1200~850℃,锻造比控制为6,所述锻造工序包括第一火锻造、第二火锻造、第三火锻造、第四火锻造,第一火锻造中,钢锭冒口端压把、拔长、开坯成冒口端带钳把坯料一件和底部端坯料一件,同时底部件在钢锭底部端另压钳把,第二火锻造中,两件坯料分别墩粗和WHF制坯,第三火锻造中,两件坯料分别墩粗和制台阶坯,第四火锻造中,将经第三火锻造制好的两件坯料分别放入组合胎膜中进行组合胎膜成型,制得两件连接轴锻件;

在锻后热处理工序中,锻件锻后空冷到表面300℃,装炉进行高低温两次正火+扩氢退火;

在性能热处理工序中,采用正火+调质进行性能热处理。

2. 如权利要求1所述的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法,其特征在于:

在第一火锻造中,开坯拔长压下量控制在16~20%,并且根据高径比的关系确定压圆后的坯料尺寸;

在第二火锻造中,墩粗时将坯料墩粗至原坯料高度的50~60%,利用宽平砧进行WHF制坯,压下量控制在压前坯料高度的20%,搭砧量控制在200mm,压完一道次后翻转90°,错半砧,压下一道次;

在第三火锻造中,墩粗时将坯料墩粗至原坯料高度的50~60%,利用平砧制台阶坯,压下量控制在15~20%。

3. 如权利要求1所述的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法,其特征在于,所述锻后热处理工序包括:

高温正火:将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到900~950℃,保温18~20小时,然后空冷至280~320℃;

低温正火:将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到860~900℃,保温18~20小时,然后空冷至180~230℃;

扩氢退火:将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到640~660℃,保温75~80小时,然后炉冷至 $\leq 150^\circ\text{C}$ 。

4. 如权利要求3所述的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法,其特征在于,所述性能热处理工序包括:

正火:将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到860~900℃,保温13~15小时,然后空冷至200~300℃;

调质:调质包括淬火处理和回火处理,淬火处理中,将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到820~860℃,保温13~15小时,然后水冷至200~300℃;回火处理中,将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到560~600℃,保温28~30小时,然后以 $\leq 50^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的限速炉冷至200~300℃。

5. 如权利要求1所述的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法,用于加工尺寸为法兰外径 $\varnothing 1610$ ×凹档直径 $\varnothing 1050 \times 1636$ 和法兰外径 $\varnothing 1610$ ×凹档直径 $\varnothing 1050 \times 1286$ 的双法兰中间短尺寸凹档异形连接轴,其特征在于:

在钢锭冶炼工序中,制备得到Cr-Ni-Mo-V双真空97吨钢锭;

在锻造工序的第一火锻造中,根据高径比的关系,确定压圆后的两件坯料尺寸分别为 $\varnothing 1300\text{mm} \times 3480\text{mm}$ 和 $\varnothing 1300\text{mm} \times 2450\text{mm}$;

在锻造工序的第二火锻造中,利用 $\varnothing 1000\text{mm}$ 的漏盘和球形顶墩帽,在125MN压机的作用下将坯料墩粗,利用上下1700mm的宽平砧进行WHF制坯,压到开坯尺寸后,用氧枪清理表面裂纹和压痕;

在锻造工序的第三火锻造中,利用 $\varnothing 1000\text{mm}$ 的漏盘和球形顶墩帽,在125MN压机的作用下将坯料墩粗,利用上下850mm的平砧进行台阶坯锻制,并且在第三火锻造中,将坯料均匀加热至 1240°C ;

在锻造工序的第四火锻造中,将经第三火锻造制好的两件坯料分别放入组合胎膜中进行组合胎膜成型,由 $\varnothing 1300\text{mm} \times 3480\text{mm}$ 坯料制得法兰外径 $\varnothing 1610$ ×凹档直径 $\varnothing 1050 \times 1636$ 的连接轴锻件,由 $\varnothing 1300\text{mm} \times 2450\text{mm}$ 的坯料制得法兰外径 $\varnothing 1610$ ×凹档直径 $\varnothing 1050 \times 1286$ 的连接轴锻件。

6. 如权利要求1至5中任一项所述的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法,其特征在于,在钢锭冶炼工序完成后,待钢锭凝固后在表面温度不低于 700°C 的状态下热送至锻造工序。

7. 如权利要求1至5中任一项所述的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法,其特征在于,在锻造工序的第四火锻造之后,将锻件从组合胎膜中取出后利用850mm的平砧进行修整,滚圆连接轴两端法兰。

8. 如权利要求1至5中任一项所述的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法,其特征在于,钢锭冶炼工序中,对非金属夹杂物以及凝固过程中的偏析进行调控。

核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法

技术领域

[0001] 本发明属于锻造技术领域,更具体地涉及一种核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法。

背景技术

[0002] Cr-Ni-Mo-V钢是一类具有高淬透性和良好综合力学性能的合金钢,常用于制造高强度韧性的大型锻件,广泛用于制造火电、核电等电站装备和大型冶金、矿山和运输装备中的承力和传动结构部件。作为Cr-Ni-Mo-V钢的一种典型应用,核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴是核电站二回路发电设备中的主要传动零件,其受力状态复杂,承受高转速大扭矩,工况条件恶劣,因此要求具有强度高、韧性高、脆性转变温度低、抗疲劳断裂强度高、综合机械性能良好等特点。

[0003] 基于上述这种特殊工况以及性能要求,同时鉴于核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴本身的结构特殊,核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴的锻造工艺结构性差,且针对核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴的探伤要求极为严格。

[0004] 现有技术中,常规的锻造加工方法只能放大面积的余块和余量锻造成简单的圆柱状,后续通过大量机械加工来制得核电机组用连接轴,但这种常规工艺会造成锻件内部纤维流线被切断,导致内部组织和性能很难满足技术要求,探伤不达标,而且产品尺寸精度不高,生产成本较高,加工效率偏低。

发明内容

[0005] 为了解决现有技术中存在的上述技术问题,本发明提供了一种核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法,包括钢锭冶炼工序、锻造工序、锻后热处理工序、性能热处理工序,其中:

[0006] 在钢锭冶炼工序中,采用EBT+LF+VD+VC工艺冶炼制得Cr-Ni-Mo-V双真空钢锭,钢锭成分的质量百分比控制为:C:0.24~0.26%、Mn:0.20~0.40%、Si \leq 0.10%、P \leq 0.015%、S \leq 0.015%、Cr:1.50~2.00%、Ni:3.25~3.75%、Mo:0.30~0.60%、V:0.07~0.15%、Cu \leq 0.25%、Al \leq 0.025%、Sn \leq 0.025%、Sb \leq 0.0015%;

[0007] 在锻造工序中,锻造温度范围控制为1200~850℃,锻造比控制为6,所述锻造工序包括第一火锻造、第二火锻造、第三火锻造、第四火锻造,第一火锻造中,钢锭冒口端压把、拔长、开坯成冒口端带钳把坯料一件和底部端坯料一件,同时底部件在钢锭底部端另压钳把,第二火锻造中,两件坯料分别墩粗和WHF制坯,第三火锻造中,两件坯料分别墩粗和制台阶坯,第四火锻造中,将经第三火锻造制好的两件坯料分别放入组合胎膜中进行组合胎膜成型,制得两件连接轴锻件;

[0008] 在锻后热处理工序中,锻件锻后空冷到表面300℃,装炉进行高低温两次正火+扩氢退火;

[0009] 在性能热处理工序中,采用正火+调质进行性能热处理。

[0010] 优选地,在上述核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中:

[0011] 在第一火锻造中,开坯拔长压下量控制在16~20%,并且根据高径比的关系确定压圆后的坯料尺寸;

[0012] 在第二火锻造中,墩粗时将坯料墩粗至原坯料高度的50~60%,利用宽平砧进行WHF制坯,压下量控制在压前坯料高度的20%,搭砧量控制在200mm,压完一道次后翻转90°,错半砧,压下一道次;

[0013] 在第三火锻造中,墩粗时将坯料墩粗至原坯料高度的50~60%,利用平砧制台阶坯,压下量控制在15~20%。

[0014] 作为一种具体实施方式,在上述核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中,所述锻后热处理工序包括:

[0015] 高温正火:将锻件以 $\leq 60^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到900~950 $^{\circ}\text{C}$,保温18~20小时,然后空冷至280~320 $^{\circ}\text{C}$;

[0016] 低温正火:将锻件以 $\leq 60^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到860~900 $^{\circ}\text{C}$,保温18~20小时,然后空冷至180~230 $^{\circ}\text{C}$;

[0017] 扩氢退火:将锻件以 $\leq 60^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到640~660 $^{\circ}\text{C}$,保温75~80小时,然后炉冷至 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ 。

[0018] 作为一种具体实施方式,在上述核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中,所述性能热处理工序包括:

[0019] 正火:将锻件以 $\leq 60^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到860~900 $^{\circ}\text{C}$,保温13~15小时,然后空冷至200~300 $^{\circ}\text{C}$;

[0020] 调质:调质包括淬火处理和回火处理,淬火处理中,将锻件以 $\leq 60^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到820~860 $^{\circ}\text{C}$,保温13~15小时,然后水冷至200~300 $^{\circ}\text{C}$;回火处理中,将锻件以 $\leq 60^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到560~600 $^{\circ}\text{C}$,保温28~30小时,然后以 $\leq 50^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 的限速炉冷至200~300 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0021] 作为一种具体实施方式,上述核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法用于加工尺寸为法兰外径 $\Phi 1610\times$ 凹档直径 $\Phi 1050\times 1636$ 和法兰外径 $\Phi 1610\times$ 凹档直径 $\Phi 1050\times 1286$ 的双法兰中间短尺寸凹档异形连接轴,其中:

[0022] 在钢锭冶炼工序中,制备得到Cr-Ni-Mo-V双真空97吨钢锭;

[0023] 在锻造工序的第一火锻造中,根据高径比的关系,确定压圆后的两件坯料尺寸分别为 $\Phi 1300\text{mm}\times 3480\text{mm}$ 和 $\Phi 1300\text{mm}\times 2450\text{mm}$;

[0024] 在锻造工序的第二火锻造中,利用 $\Phi 1000\text{mm}$ 的漏盘和球形顶墩帽,在125MN压机的作用下将坯料墩粗,利用上下1700mm的宽平砧进行WHF制坯,压到开坯尺寸后,用氧枪清理表面裂纹和压痕;

[0025] 在锻造工序的第三火锻造中,利用 $\Phi 1000\text{mm}$ 的漏盘和球形顶墩帽,在125MN压机的作用下将坯料墩粗,利用上下850mm的平砧进行台阶坯锻制,并且在第三火锻造中,将坯料均匀加热至1240 $^{\circ}\text{C}$;

[0026] 在锻造工序的第四火锻造中,将经第三火锻造制好的两件坯料分别放入组合胎膜中进行组合胎膜成型,由 $\Phi 1300\text{mm}\times 3480\text{mm}$ 坯料制得法兰外径 $\Phi 1610\times$ 凹档直径

Ø1050×1636的连接轴锻件,由Ø1300mm×2450mm的坯料制得法兰外径Ø1610×凹档直径Ø1050×1286的连接轴锻件。

[0027] 优选地,在上述核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中,在钢锭冶炼工序完成后,待钢锭凝固后在表面温度不低于700℃的状态下热送至锻造工序。

[0028] 优选地,在上述核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中,在锻造工序的第四火锻造之后,将锻件从组合胎膜中取出后利用850mm的平砧进行修整,滚圆连接轴两端法兰。

[0029] 优选地,在上述核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中,钢锭冶炼工序中,对非金属夹杂物以及凝固过程中的偏析进行调控。

[0030] 本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法具有以下优点和有益效果:

[0031] 本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法采用仿形组合胎膜进行连接轴的制造加工,有效改善纤维流线的仿形分布,确保内部组织和机械性能,还能保证产品具有较高的尺寸精度;

[0032] 本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法通过锻造工序、锻后热处理工序、性能热处理工序即可将钢锭加工制成核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴成品,无需额外的大量机械加工;同时,本发明的加工方法一次实施即可利用一支钢锭生产制得两件连接轴锻件,有效提高了加工效率,显著降低了加工成本;

[0033] 本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法在冶炼钢锭时,对材料成分进行严格内控,并对非金属夹杂物以及凝固过程中的偏析进行调控,确保满足探伤和成分及性能要求;

[0034] 本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法为四火次锻造,采用WHF法制坯,有效破碎铸态组织,压实钢锭内部缺陷,可以确保内部组织和机械性能满足要求;

[0035] 本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法在锻后热处理工序进行高低温两次正火,在性能热处理工序进行正火+调质,有效细化晶粒,改善内部组织,满足探伤要求及最终机械性能要求。

附图说明

[0036] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图,附图中:

[0037] 图1为本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法的流程示意图;

[0038] 图2为本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中钢锭示意图;

[0039] 图3为本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中第一火锻造的坯料示意图;

[0040] 图4为本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中第二火锻造的坯料示意图;

[0041] 图5为本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中第三火锻造的坯

料示意图；

[0042] 图6为本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中第四火锻造的组合格膜成型示意图；

[0043] 图7为本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法制得的锻件的示意图；

[0044] 图8为本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中锻后热处理工序的工艺曲线图；

[0045] 图9为本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法中性能热处理工序的工艺曲线图。

具体实施方式

[0046] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明具体实施例及相应的附图对本发明技术方案进行清楚、完整地描述。显然，所描述的实施例仅是本发明的一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0047] 以下结合图1至图9详细描述本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法。总体上，本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法主要包括钢锭冶炼工序、锻造工序、锻后热处理工序、性能热处理工序。

[0048] 在钢锭冶炼工序中，采用EBT+LF+VD+VC(即电炉+钢包精炼+真空脱气精炼+真空浇注)工艺，冶炼制得高纯均质Cr-Ni-Mo-V双真空钢锭，钢锭示意图参见图2。钢锭冶炼工序中，对影响产品探伤和性能的非金属夹杂物以及凝固过程中的偏析进行调控，并且钢锭冶炼工序中将钢锭成分的质量百分比控制为：C:0.24~0.26%、Mn:0.20~0.40%、Si≤0.10%、P≤0.015%、S≤0.015%、Cr:1.50~2.00%、Ni:3.25~3.75%、Mo:0.30~0.60%、V:0.07~0.15%、Cu≤0.25%、Al≤0.025%、Sn≤0.025%、Sb≤0.0015%。

[0049] 在锻造工序中，锻造温度范围控制为1200~850℃，在该温度范围内，材料具有较低的变形抗力和较好的塑形，适合锻造大变形和成型；锻造比控制为6，利用多工序路径下的组织细化及锻透致密协同变形方法，能有效压实钢锭内部微小空隙缺陷和破碎粗大铸态枝晶组织，提高锻件的探伤合格率和综合机械性能。锻造工序包括第一火锻造、第二火锻造、第三火锻造、第四火锻造，具体地：

[0050] a、第一火锻造：钢锭冒口端压把、拔长、开坯成冒口端带钳把坯料一件和底部端坯料一件，同时底部件在钢锭底部端另压钳把，第一火锻造的坯料示意图参见图3。对于大型双真空钢锭，利用钢锭底部沉积锥切除部位压钳把和钢锭冒口部位压钳把，特别在钢锭冒口部位压钳把时，要将上锭身100mm左右，将冒口肩部带有夹杂物聚集的部位全部锻压到钳把上，避免带入到锻件上。钳把与钢锭轴线一致，为后续拔长、剁料工序做准备。第一火锻造中，开坯拔长压下量控制在16~20%，并且根据高径比的关系2~2.2，确定压圆后的两件坯料尺寸分别为 $\varnothing 1300\text{mm}\times 3480\text{mm}$ 和 $\varnothing 1300\text{mm}\times 2450\text{mm}$ 。

[0051] b、第二火锻造：两件坯料分别墩粗、采用WHF法(宽砧强力压下锻造)制坯，第二火锻造的坯料示意图参见图4。第二火锻造中，利用 $\varnothing 1000\text{mm}$ 的漏盘和球形顶墩帽，在125MN压机的作用下将坯料墩粗至原坯料高度的50~60%；利用上下1700mm的宽平砧，进行WHF拔

长,压下量控制在压前坯料高度的20%,搭砧量控制在200mm,压完一道次后翻转90°,错半砧,压下一道次;压到开坯尺寸后,用氧枪清理表面裂纹、压痕等表面缺陷。

[0052] c、第三火锻造:两件坯料分别墩粗、制台阶坯,第三火锻造的坯料示意图参见图5。第三火锻造中,利用 $\varnothing 1000\text{mm}$ 的漏盘和球形顶墩帽,在125MN压机的作用下将坯料墩粗至原坯料高度的50~60%;利用上下850mm的平砧,进行台阶坯料锻制,压下量控制在15~20%。第三火锻造中需要注意:锻件要均匀加热至1240℃;台阶坯料要同心,进组合胎膜的部位尺寸要与胎膜吻合。

[0053] d、第四火锻造:组合胎膜成型,将经第三火锻造制好的两件坯料分别放入组合胎膜中,进行锻件最终成型,最终制得两件连接轴锻件,第四火锻造的组合胎膜成型示意图参见图6,最终成型的锻件示意图参见图7。

[0054] 在锻后热处理工序中,锻件锻后空冷到表面300℃,装炉进行高低温两次正火+扩氢退火,以满足锻后切断组织遗传混晶现象,实现细化晶粒,改善内部组织,满足探伤要求。具体地,如图8所示,锻后热处理工序包括:

[0055] 高温正火:将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到900~950℃,保温18~20小时,然后空冷至280~320℃;

[0056] 低温正火:将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到860~900℃,保温18~20小时,然后空冷至180~230℃;

[0057] 扩氢退火:将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到640~660℃,保温75~80小时,然后炉冷至 $\leq 150^\circ\text{C}$ 。

[0058] 在性能热处理工序中,考虑到Cr-Ni-Mo-V材料大截面锻件组织遗传的特性和最终性能要求,采用正火+调质进行性能热处理,以满足最终机械性能要求。具体地,如图9所示,性能热处理工序包括:

[0059] 正火:将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到860~900℃,保温13~15小时,然后空冷至200~300℃;

[0060] 调质:调质包括淬火处理和回火处理,淬火处理中,将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到820~860℃,保温13~15小时,然后水冷至200~300℃;回火处理中,将锻件以 $\leq 60^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的升温速度升温到560~600℃,保温28~30小时,然后以 $\leq 50^\circ\text{C}/\text{小时}$ 的限速炉冷至200~300℃。

[0061] 由此,利用本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法,通过钢锭冶炼工序、锻造工序、锻后热处理工序、性能热处理工序,采用一支钢锭即可加工制得两件核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴成品。

[0062] 优选地,在钢锭冶炼工序完成后,待钢锭凝固后在表面温度不低于700℃的状态下热送至锻造工序。

[0063] 优选地,在锻造工序的第四火锻造之后,将锻件从组合胎膜中取出后,利用850mm的平砧进行修整,滚圆连接轴两端法兰。

[0064] 作为本发明的核电机组用大型Cr-Ni-Mo-V钢连接轴加工方法的一个具体应用实例,在钢锭冶炼工序中采用真空碳脱氧冶炼铸锭方法,制备得到Cr-Ni-Mo-V双真空97吨钢锭,开坯形成尺寸分别为 $\varnothing 1300\text{mm}\times 3480\text{mm}$ 和 $\varnothing 1300\text{mm}\times 2450\text{mm}$ 的两件坯料,两件坯料均分别经锻造工序后,分别由组合胎膜成型,各得到一件双法兰中间短尺寸凹档异形锻

件, $\text{Ø}1300\text{mm}\times 3480\text{mm}$ 的坯料对应的锻件的尺寸为法兰外径 $\text{Ø}1610\times$ 凹档直径 $\text{Ø}1050\times 1636$, $\text{Ø}1300\text{mm}\times 2450\text{mm}$ 的坯料对应的锻件的尺寸为法兰外径 $\text{Ø}1610\times$ 凹档直径 $\text{Ø}1050\times 1286$, 用在某核电项目的 1000MW 核电机组中。可见, 利用本发明的核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴加工方法, 一支钢锭即可生产制得两件连接轴产品。

[0065] 本发明的核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴加工方法, 通过应用冶炼过程中非金属夹杂物调控和降低凝固过程中偏析方法内控冶炼化学成分, 创新性地解决了该类锻件的高纯均质制造问题; 采用仿形组合胎膜进行制造加工和控制组织遗传导致的混晶的方法, 解决了锻件成形及探伤问题; 采用强韧化绿色热处理方法, 解决了产品组织及机械性能问题, 利用本发明的核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴加工方法制得的核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴锻件一次性合格。

[0066] 综上所述, 与现有技术相比, 本发明的核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴加工方法具有以下优点和有益效果:

[0067] 本发明的核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴加工方法采用仿形组合胎膜进行连接轴的制造加工, 有效改善纤维流线的仿形分布, 确保内部组织和机械性能, 还能保证产品具有较高的尺寸精度;

[0068] 本发明的核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴加工方法通过锻造工序、锻后热处理工序、性能热处理工序即可将钢锭加工制成核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴成品, 无需额外的大量机械加工; 同时, 本发明的核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴加工方法一次实施即可利用一支钢锭生产制得两件连接轴锻件, 有效提高了加工效率, 显著降低了加工成本;

[0069] 本发明的核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴加工方法在冶炼钢锭时, 对材料成分进行严格内控, 并对非金属夹杂物以及凝固过程中的偏析进行调控, 确保满足探伤和成分及性能要求;

[0070] 本发明的核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴加工方法为四火次锻造, 采用 WHF 法制坯, 有效破碎铸态组织, 压实钢锭内部缺陷, 可以确保内部组织和机械性能满足要求;

[0071] 本发明的核电机组用大型 Cr-Ni-Mo-V 钢连接轴加工方法在锻后热处理工序进行高低温两次正火, 在性能热处理工序进行正火+调质, 有效细化晶粒, 改善内部组织, 满足探伤要求及最终机械性能要求。

[0072] 需要说明的是, 以上实施例仅用于说明本发明的技术方案, 而非对其限制; 尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明, 本领域的普通技术人员应当理解: 其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改, 或者对其中部分技术特征进行等同替换; 而这些修改或者替换, 并不使相应技术方案的本质脱离本发明的范围。

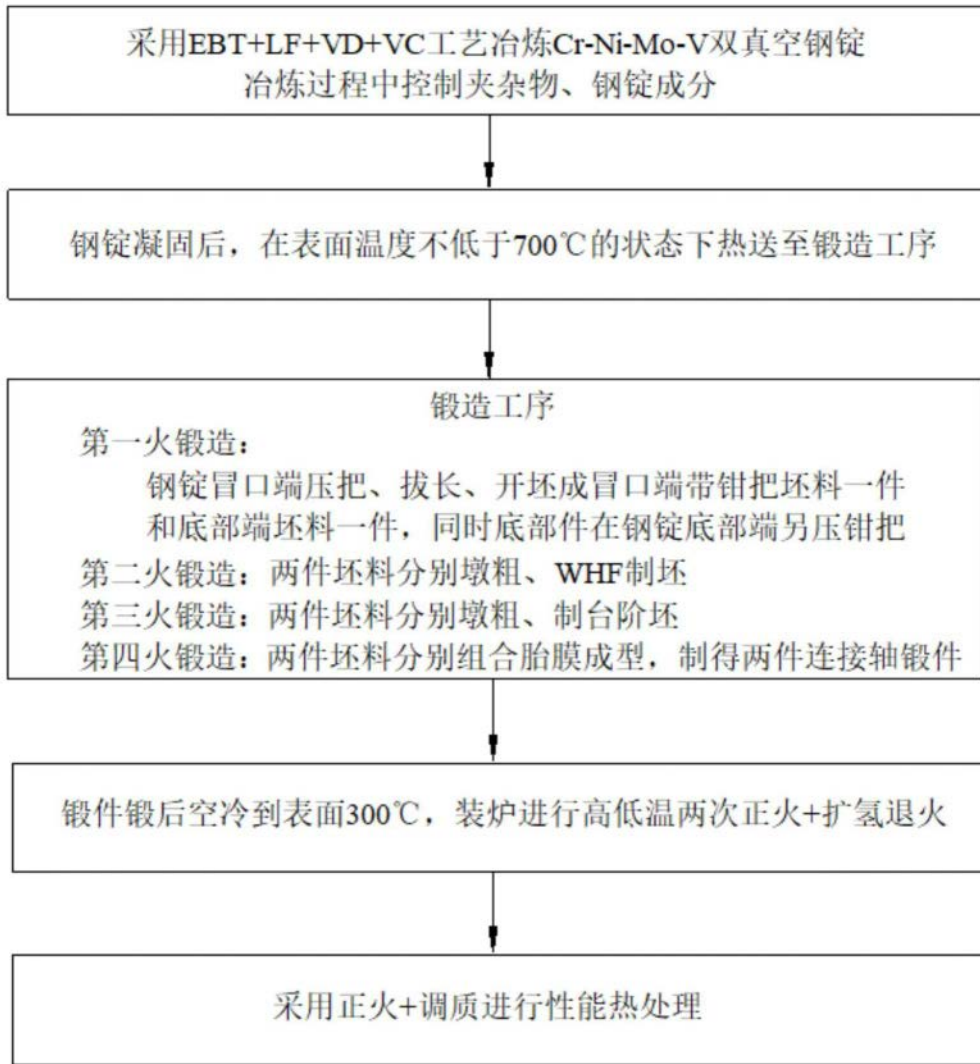


图1

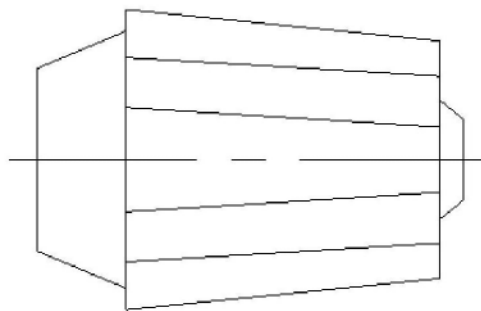


图2

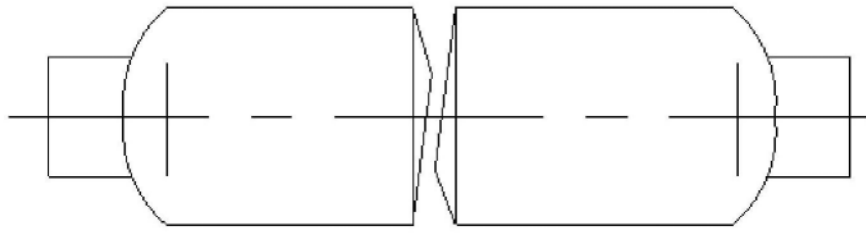


图3

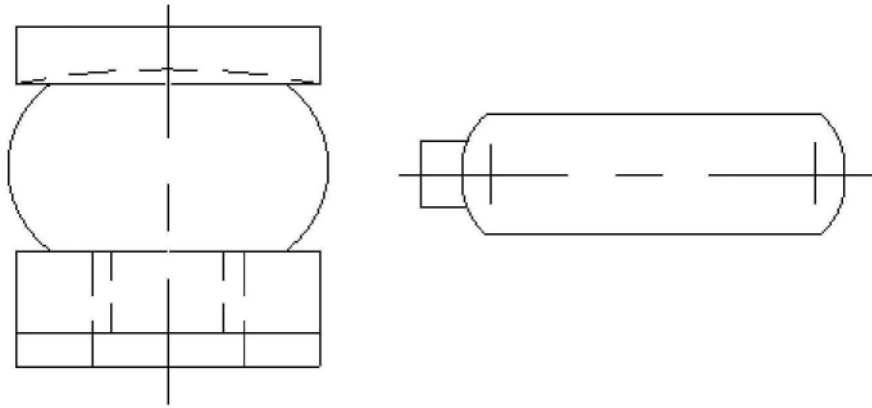


图4

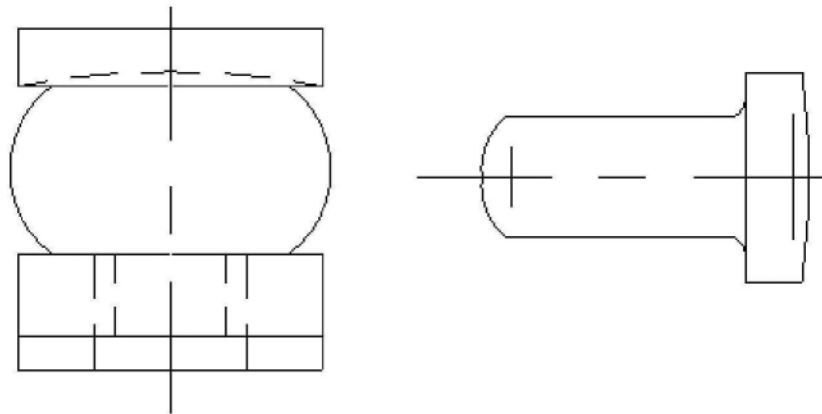


图5

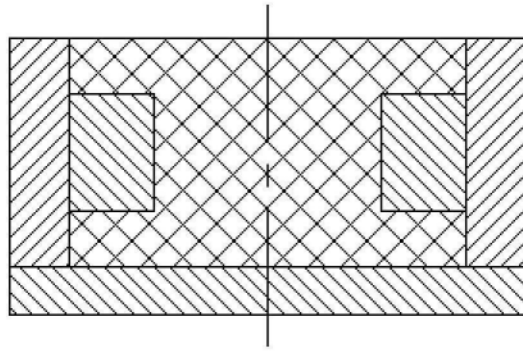


图6

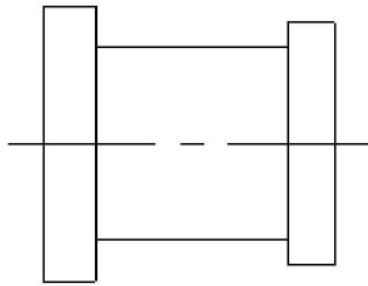


图7

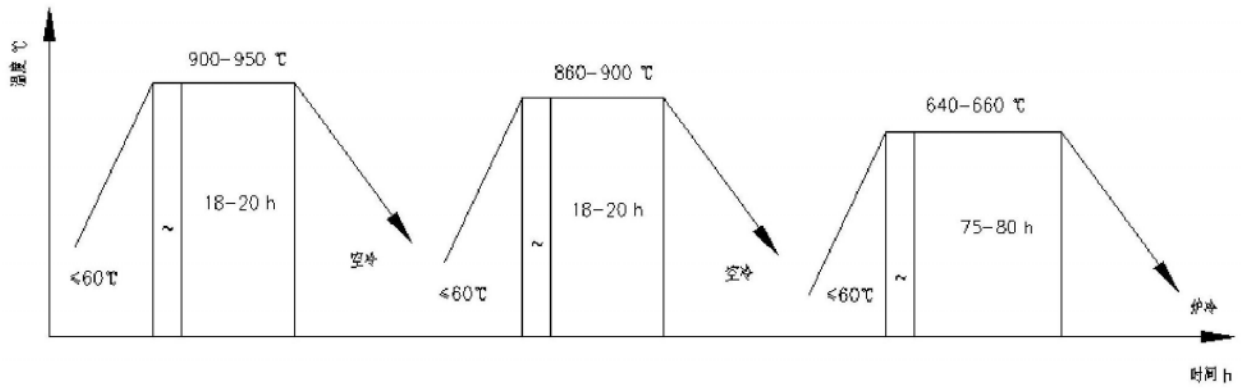


图8

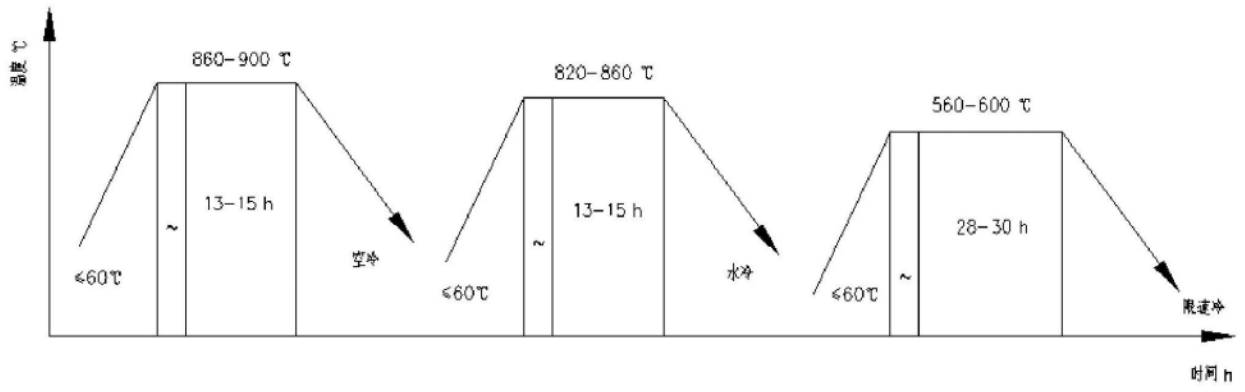


图9