



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107282854 A

(43)申请公布日 2017. 10. 24

(21)申请号 201710686467.X

(22)申请日 2017.08.11

(71)申请人 烟台台海玛努尔核电设备有限公司

地址 264000 山东省烟台市莱山区恒源路6号

申请人 哈尔滨电气动力装备有限公司

(72)发明人 张伟 李跃文 李剋蒙 李政军
张晏龙 李梦启 李雅范 郑吉伟
其他发明人请求不公开姓名

(74)专利代理机构 烟台上禾知识产权代理事务
所(普通合伙) 37234

代理人 刘志毅

(51)Int.Cl.

B21K 1/76(2006.01)

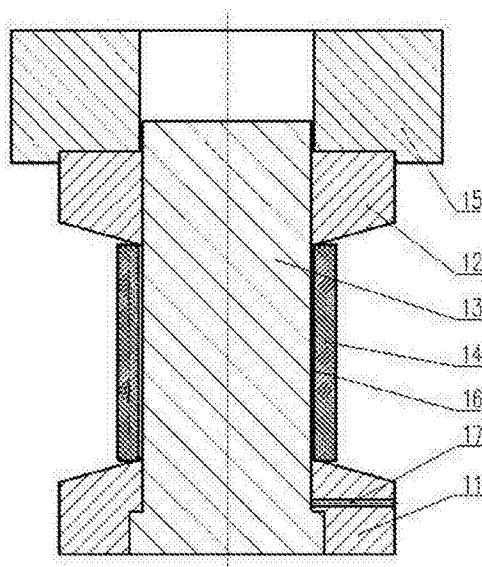
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种核电用护环的成形方法

(57)摘要

本发明涉及核电用护环的成形方法,其工艺步骤包括锻制棒料与粗加工,坯料热挤压,环坯的机加工,环坯固溶处理,预胀形与主胀形等。本发明达到的有益效果是,能够实现ASTM A289M标准中最高性能等级(8级)的护环的制造,其中95-105℃高温拉伸屈服强度平均达1220MPa,延伸率平均达22%,性能分布均匀;且护环生产稳定,在生产过程中不易出现开裂。



1. 一种核电用护环的成形方法,其特征在于,其工艺步骤为:

一、锻制棒料,将钢锭经过三个火次的镦拔锻制成棒料;

二、棒料粗加工、锯割,将棒料外圆面进行粗加工,然后将其锯割,分割成热挤压用坯料;

三、坯料热挤压,将坯料加热至温度为 $1200^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$,并保温时间不低于8h后出炉,置于挤压模具中,使用压机持续进行挤压,将坯料打出圆孔形成环坯;

四、环坯的机加工,按胀形工艺的要求将环坯机加工至胀形前尺寸;

五、环坯固溶处理,将经过机加工的环坯以 $1060 \pm 20^{\circ}\text{C}$ 的温度进行固溶温度保温,保温时间1—3小时,之后快速水冷;

六、预胀形,将固溶处理后的环坯在变形预热到温度不高于 300°C ,采用外补液液压胀形装置进行胀形,胀形的速率小于 $2.5\text{mm}/\text{min}$,控制中径变形量为6—20%;

七、主胀形,经过预胀形后的环坯在变形预热温度不高于 300°C ,采用外补液液压胀形装置进行胀形,胀形的速率小于 $2.5\text{mm}/\text{min}$,控制中径变形量为32—52%。

2. 根据权利要求1所述的核电用护环的成形方法,其特征在于,所述的预胀形后对经过预胀形后的环坯进行固溶热处理,所述固溶处理为以速度不高于 $150^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 进行升温,经过固溶保温后,出炉快速水冷至不高于 100°C 出水。

3. 根据权利要求1所述的核电用护环的成形方法,其特征在于,所述的锻制棒料步骤中的钢锭为氮元素含量为0.60—0.75%,采用电渣重熔工艺生产的钢锭,其直径600—800mm,长度不小于1780mm,重量为5—6吨,表面无渣沟缺陷。

4. 根据权利要求3所述的核电用护环的成形方法,其特征在于,所述的锻制棒料步骤中的三个火次的镦拔锻制为:将钢锭加热至温度 $1200 \pm 20^{\circ}\text{C}$,并保温时间不低于8h,进行锻制,第一火次镦粗至长度为1500—1800mm,拔长至长度为1650—1950mm,然后将钢锭加热至温度 $1200 \pm 20^{\circ}\text{C}$,保温时间不低于8h后,第二火次镦粗至长度为1100—1400mm,拔长至长度为1600—1900mm,再次将钢锭加热至温度 $1200 \pm 20^{\circ}\text{C}$,保温时间不低于8h后,第三火次镦粗至长度为1000—1350mm,拔长至直径700—750mm,长度为1200—1600mm,拔长道次压下量20—50mm;在经过三次锻制后将钢锭空冷。

5. 根据权利要求4所述的核电用护环的成形方法,其特征在于,所述的棒料粗加工、锯割步骤中,将棒料外圆面按直径 $710 \pm 20\text{mm}$ 进行粗加工。

6. 根据权利要求1所述的核电用护环的成形方法,其特征在于,所述固溶处理为以速度不高于 $150^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 进行升温,经过固溶保温后,出炉快速水冷至不高于 100°C 出水。

7. 根据权利要求1所述的核电用护环的成形方法,其特征在于,所述的主胀形后进行消应力热处理,为以不高于 $40^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的加热速率升温,主胀形后的环坯在 $350—400^{\circ}\text{C}$ 温度下保温,保温6—12小时,以不高于 $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的冷却速率炉冷至 100°C 下出炉。

8. 根据权利要求7所述的核电用护环的成形方法,其特征在于,在坯料热挤压步骤后进行环坯的扩孔,将热挤压后成型的环坯采用马杠扩孔。

一种核电用护环的成形方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种核电用护环的成形方法,属于金属加工技术领域。

背景技术

[0002] AP1000和CP1400是我国三代核电站压水堆的主力堆型之一。AP1000和CAP1400的反应堆冷却剂主循环泵(以下简称主泵)均采用单级、全密封、高转动惯量、屏蔽式的电动泵,它是一回路系统中唯一的旋转设备,是核岛的“心脏”,属于核安全一级设备,是压水堆核电站的关键设备之一。屏蔽式主泵的最大特点就是无轴封,可实现零泄漏,安全性更高,在三代核电技术不断发展的趋势下这项优势越来越被看重。为增加主泵转动惯量,延长惰转时间,在主泵电机上下两侧各设置了1套飞轮组件,飞轮组件主要是由数块重金属钨合金热套在高强度、高刚性的不锈钢护环内组成。飞轮护环服役工况复杂,处于高速旋转、强磁场、潮湿的腐蚀介质条件下,综合力学性能要求高(达到ASTM A289M最高等级8级),是核岛内唯一必须冷变形强化的大型锻件,制造工艺极为复杂,目前全部依赖进口,现已成为主泵电机国产化的瓶颈问题。相比于其它火电机组用护环,核电用电机飞轮等高性能护环尺寸较小、性能要求更高、合金元素含量更高,成形难度极大,采用传统的自由锻热锻工艺及单次冷胀形工艺极易出现开裂,影响产品质量,造成性能不均匀、产品废品率高等问题。

发明内容

[0003] 本发明针对现有技术成形难度大,在胀形过程中容易开裂且性能等级偏低的问题,提供一种核电用护环的成形方法。

[0004] 本发明解决上述技术问题的技术方案如下:一种核电用护环的成形方法,其特殊之处在于,其工艺步骤为:

[0005] 一、锻制棒料,将钢锭经过三个火次的镦拔锻制成棒料;

[0006] 二、棒料粗加工、锯割,将棒料外圆面进行粗加工,然后将其锯割,分割成热挤压用坯料;

[0007] 三、坯料热挤压,将坯料加热至温度为 $1200^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$,并保温时间不低于8h后出炉,置于挤压模具中,使用压机持续进行挤压,将坯料打出圆孔形成环坯;

[0008] 四、环坯的机加工,按胀形工艺的要求将环坯机加工至胀形前尺寸;

[0009] 五、环坯固溶处理,将经过机加工的环坯以 $1060 \pm 20^{\circ}\text{C}$ 的温度进行固溶温度保温,保温时间1—3小时,之后快速水冷;

[0010] 六、预胀形,将固溶处理后的环坯在变形预热到温度不高于 300°C ,采用外补液液压胀形装置进行胀形,胀形的速率小于 $2.5\text{mm}/\text{min}$,控制中径变形量为6—20%;

[0011] 七、主胀形,经过预胀形后的环坯在变形预热温度不高于 300°C ,采用外补液液压胀形装置进行胀形,胀形的速率小于 $2.5\text{mm}/\text{min}$,控制中径变形量为32—52%。

[0012] 为了使本发明的技术方案具有更好的效果和针对性及实时性,可以对上述的技术方案进一步的完善和细化:

[0013] 进一步,所述的锻制棒料步骤中的钢锭为氮元素含量为0.60-0.75%,采用电渣重熔工艺生产的钢锭,其直径600-800mm,长度不小于1780mm,重量为5-6吨,表面无渣沟缺陷。

[0014] 进一步,所述的锻制棒料步骤中的三个火次的锻拔锻制为:将钢锭加热至温度 $1200 \pm 20^{\circ}\text{C}$,并保温时间不低于8h,进行锻制,第一火次锻粗至长度为1500-1800mm,拔长至长度为1650-1950mm,然后将钢锭加热至温度 $1200 \pm 20^{\circ}\text{C}$,保温时间不低于8h后,第二火次锻粗至长度为1100-1400mm,拔长至长度为1600-1900mm,再次将钢锭加热至温度 $1200 \pm 20^{\circ}\text{C}$,保温时间不低于8h后,第三火次锻粗至长度为1000-1350mm,拔长至直径700-750mm,长度为1200-1600mm,拔长道次压下量20—50mm;在经过三次锻制后将钢锭空冷。

[0015] 进一步,所述的棒料粗加工、锯割步骤中,将棒料外圆面按直径 $710 \pm 20\text{mm}$ 进行粗加工。

[0016] 进一步,所述固溶处理为以速度不高于 $150^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 进行升温,经过固溶保温后,出炉快速水冷至不高于 100°C 出水。

[0017] 进一步,所述的预胀形后对经过预胀环后的环坯进行固溶热处理,所述固溶处理为以速度不高于 $150^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 进行升温,经过固溶保温后,出炉快速水冷至不高于 100°C 出水。

[0018] 进一步,所述的主胀形后进行消应力热处理,为以不高于 $40^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的加热速率升温,主胀形后的环坯在 $350-400^{\circ}\text{C}$ 温度下保温,保温6—12小时,以不高于 $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的冷却速率炉冷至 100°C 下出炉。

[0019] 为了针对一些特定用途的护环的加工的需要,可以再加工过程中对护环的孔径进行调整,在坯料热挤压步骤后进行环坯的扩孔,将热挤压后成型的环坯采用马杠扩孔。

[0020] 本发明对传统的环坯制造工艺进行了显著改进,用锻制料联合热挤压的工艺替代了传统锻粗、冲孔、拔长的自由锻工艺。传统自由锻工艺生产此类可锻温度区间窄、易出现裂纹的护环锻件,尽管采取了小变形量多火次的方式仍无法避免锻造裂纹的出现,随时有可能因为需要清除裂口而停锻,影响生产效率,同时利用火焰或碳弧气刨清除裂口的过程中会产生应力集中、局部过烧缺陷,使得在后续锻造过程中反复开裂,对内部质量和生产效率带来很大影响。而采用锻制棒料联合热挤压的新工艺后,一方面通过锻制棒料改善了钢锭铸态组织,一方面通过模内热挤压的成型方式,材料各个方向变形受约束不易开裂,碳钢包套也起薄膜润滑、降低摩擦阻力作用,最大程度降低了开裂的可能性。热挤压时坯料在三向压应力状态下变形,有利于弥合、消除钢锭内部缺陷,提高产品内部质量。热挤压制环坯一步整体成形,生产效率也得以提高。

[0021] 本发明对传统的冷胀形工艺也进行了显著改进,用两次胀形强化基础强度的工艺替代了单次胀形工艺。冷胀形前的环坯通常强度较低,塑韧性较差,传统工艺为了达到较高的性能等级只能采取较大的冷胀形变形量,而随着冷变形量的增加,产品的塑韧性进一步降低而达不到产品规定的塑韧性要求值,甚至产品直接出现开裂而导致报废,传统冷胀形工艺的整体变形难度很大、成品率较低。采用两次胀形强化基础强度的新工艺后,通过第一次冷胀形提高了产品的基础强度,随后的固溶处理又软化了组织、提升了塑韧性;在这样的基础上,后续的第二次主胀形所需的冷变形量相应减小,胀裂报废的情况得以明显改善,且获得了较为理想的延伸率、冲击功等塑韧性指标。

[0022] 由于对以上制造工艺进行了改进,本发明核电用护环的成形方法可实现的有益效果如下:护环热锻出现裂纹的频率下降60%,护环产品的综合成材率由不足50%提高到

90%以上,护环性能等级由ASTM A289M的6级提高至8级。使用此成形方法可达到的具体性能水平概述如下:室温拉伸屈服强度 $\geq 1345\text{MPa}$,抗拉强度 $\geq 1380\text{MPa}$,延伸率 $\geq 14\%$,室温冲击功 $\geq 62\text{J}$,95-105℃高温拉伸屈服强度和抗拉强度平均值达1220MPa,延伸率平均值达 $\geq 22\%$,晶粒度 ≥ 3 级,残余应力 $\leq 26\text{MPa}$ 。

附图说明

- [0023] 图1是热挤压过程示意图;
 [0024] 图2是热挤压过程最后阶段时的示意图;
 [0025] 图3是液压胀形示意图;
 [0026] 图4是液压胀形终了状态示意图。

具体实施方式

[0027] 以下对本发明的原理和特征进行描述,所举实例只用于解释本发明,并非用于限定本发明的范围。

[0028] 一种核电用护环的成形方法,其工艺步骤为:

[0029] 一、材料选择,选择氮元素含量为0.60-0.75%,采用电渣重熔工艺生产的钢锭。所述的钢锭直径600-800mm,长度不小于1780mm,重量为5-6吨,表面无渣沟缺陷。电渣重熔是指电渣重熔钢(electroslag remelting),是利用电流通过熔渣时产生的电阻热作为热源进行熔炼的方法,其主要目的是提纯金属并获得洁净组织均匀致密的钢锭。经电渣重熔的钢,纯度高、含硫低、非金属夹杂物少、钢锭表面光滑、洁净均匀致密、金相组织和化学成分均匀。电渣钢的铸态机械性能可达到或超过同钢种锻件的指标。电渣钢锭的质量取决于合理的电渣重熔工艺和保证电渣工艺的设备条件。材料选择,是为本发明实施提供材料,因此非本发明的主要组成。

[0030] 二、锻制棒料,将选定的钢锭经过三个火次的镦拔锻制成棒料。其具体的过程为:将选定的钢锭加热至温度 $1200 \pm 20^\circ\text{C}$,保温时间不低于8h后,进行第一火次锻制,第一火次镦粗至长度为1500-1800mm,拔长至长度为1650-1950mm,然后将钢锭加热至温度 $1200 \pm 20^\circ\text{C}$,保温时间不低于8h后,第二火次镦粗至长度为1100-1400mm,拔长至长度为1600-1900mm,再次将钢锭加热至温度 $1200 \pm 20^\circ\text{C}$,保温时间不低于8h后,第三火次镦粗至长度为1000-1350mm,拔长至直径700-750mm,长度为1200-1600mm,拔长道次压下量20-50mm,在经过三次锻制后将钢锭空冷。

[0031] 三、棒料粗加工、锯割,将棒料外圆面进行粗加工,然后将其锯割,分割成热挤压用坯料。将棒料外圆面按直径 $710 \pm 20\text{mm}$ 进行粗加工,然后将其锯割成段,成为热挤压用的坯料;在本实施例中,以ABC三种护环为例进行切割,三种坯料的参数如下表,

[0032]

护环代号	直径mm	长度mm	重量kg
护环A	730	670	2170
护环B	720	450	1450
护环C	710	440	1300

[0033] 四、坯料热挤压,坯料加热至温度为 $1200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$,并保温时间不低于8h后出炉,

置于挤压模具中,使用压机持续进行挤压,将坯料打出环孔形成环坯。本实施例使用的挤压装置(参见图1和图2)包括:底座1、套筒2、冲孔底座3、下垫4、垫板5;作业过程如下,坯料7外面包裹上碳钢包套6,共同置于组成的模具中,放好冲头8和定位筒9,使用万吨压机持续下压冲头8对坯料7进行挤压,坯料7、包套6与定位筒9反向运动,当冲头8与定位筒9平齐时,安装接头10继续下压冲挤,挤压过程的最后阶段,撤下定位筒9和下垫4,冲头8继续下压,最终从冲孔底座3中冲出底料和垫板5,完成热挤压,分别挤压出护环A、B、C。其中冲头8的直径是根据最终护环的内孔径的要求,而采用相应尺寸直径的冲头。

[0034] 五、环坯的机加工,按胀形工艺的要求将环坯机加工至胀形前尺寸。加工的内容是去除直径和长度方向的余量,因为无论热挤压还是冷胀形都是近似成形,因此在热挤压中都留有一定的机加工余量,都需要进一步机加工以保证其尺寸精度。液压胀形工艺是液体受压时,体积不变而压力向各方向均匀传递,使材料在最有利的情况下沿模具变形,达到成形的目的。

[0035] 六、环坯固溶处理,将经过机加工的环坯以 $1060 \pm 20^{\circ}\text{C}$ 的温度进行固溶温度保温,保温时间1—3小时,之后快速水冷。将经过加工的环坯升温速度不高于 $150^{\circ}\text{C}/\text{h}$,经过固溶保温后,出炉后快速水冷至不高于 100°C 出水;固溶处理(solution treatment):指将合金加热到高温单相区恒温保持,使过剩相充分溶解到固溶体中后快速冷却,以得到单相固溶体的热处理工艺。主要作用是得到单相奥氏体的组织状态,以保证其无磁性;同时改善钢和合金的塑性和韧性,消除应力与软化,以便继续加工或成型。

[0036] 七、预胀形,固溶处理后的环坯采用外补液液压胀形装置进行胀形,胀形预热温度不高于 300°C ,胀形的速率小于 $2.5\text{mm}/\text{h}$,控制中径变形量为6—20%,预胀形结束后重新固溶处理;针对第三步中所指出的四种护环,预胀形过程为在胀形设备(参见图3和图4)中将护环15置于下冲头11之上、上冲头12和压垫13之下,使用万吨压机不断下压压垫13,上冲头12沿减力柱14向下移动,形成密封空间,使用超高压泵将水通过通道17向内补液,注满护环内的空间并形成高压,护环在冷态下产生均匀的塑性变形,形成冷变形强化;冷变形强化是指金属材料在低于结晶温度时,在外力作用下,发生了超出弹性极限的永久性不可逆变形,导致金属内部晶格发生畸变,位错密度增加,使进一步滑移和变形的阻力增大,因而金属材料的强度和硬度显著提高,塑形和韧性明显下降的现象;工程上,当变形量大于0.2%时发生的变形即为不可逆的塑形变形;随着预胀形过程的继续,护环的直径不断变大、高度不断缩小、厚度不断减薄,其强度显著提高。

[0037] 八、主胀形,经过预胀形后的环坯在变形预热温度不高于 300°C ,采用外补液液压胀形装置进行胀形,胀形的速率小于 $2.5\text{mm}/\text{min}$,控制中径变形量为32—52%。经过预胀形后,主胀形前可以对与胀形后的环坯进行固溶处理,环坯固溶处理的变形预热温度 $\leq 300^{\circ}\text{C}$,以速度不高于 $150^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 进行升温,经过固溶保温(即变形预热温度 $\leq 300^{\circ}\text{C}$)后,出炉快速水冷至不高于 100°C 出水。针对上述提到的三种护环,胀形之后的尺寸见下表所示:

[0038]

护环代号	外径 mm	内径 mm	长度 mm	重量 kg
------	-------	-------	-------	-------

[0039]	护环 A	1150	985	630	1351
	护环 B	1035	880	480	867
	护环 C	970	830	535	821

[0040] 九、消应力热处理,主胀形后的环坯加热速率不高于40℃/h,在350—400℃下保温6—12小时,以不高于20℃/h的冷却速率炉冷至100℃下可出炉,制成核电用护环。通过消应力热处理大幅降低了残余应力,以满足产品服役要求。消应力热处理为工艺的后补充加工处理步骤。

[0041] 针对一些需要特定的护环,需要在坯料热挤压步骤后进行扩孔,环坯的扩孔,将热挤压后成型的坯料采用马杠扩孔;扩孔后的环坯尺寸如下:

[0042]

护环代号	外径mm	内径mm	长度mm	重量kg
护环A	800	520	800	1810
护环B	720	450	580	1130
护环C	680	430	640	1080

[0043] 其中的护环B可不扩孔。

[0044] 制成的核电用护环应进行各项理化性能检验和无损检验,以对其性能指标做出评价。

[0045] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

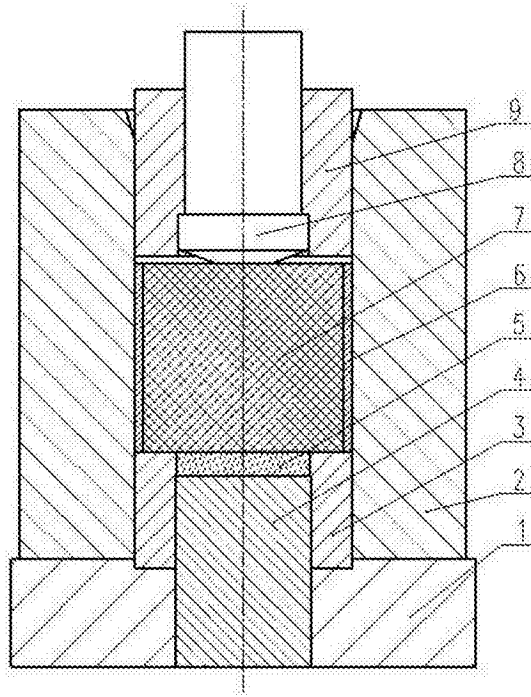


图1

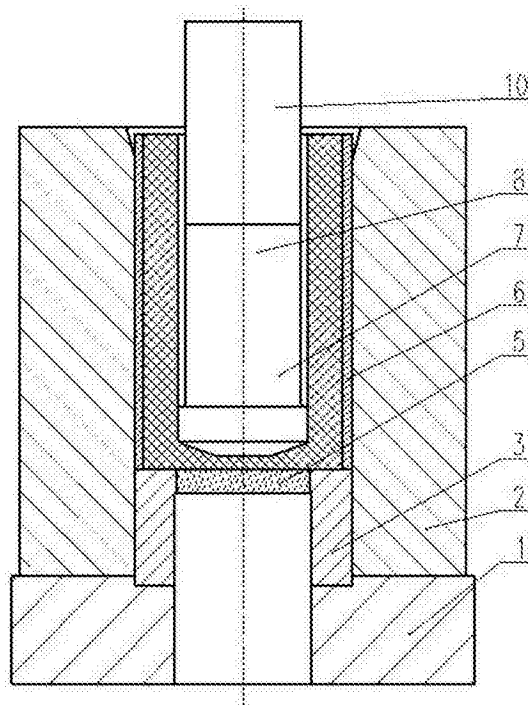


图2

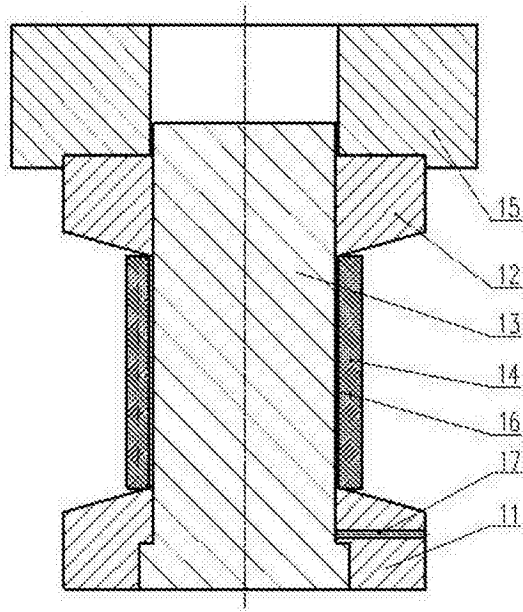


图3

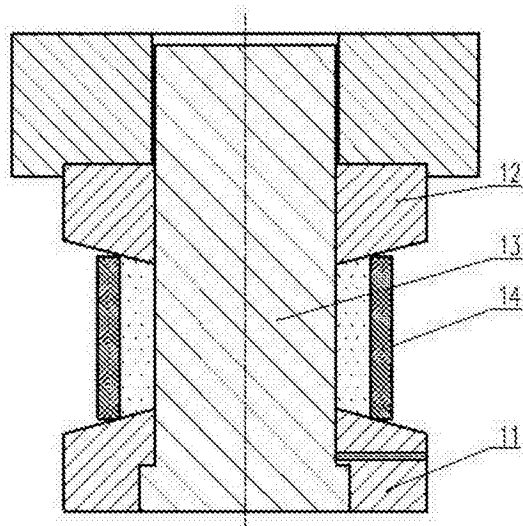


图4