



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115070183 A

(43) 申请公布日 2022. 09. 20

(21) 申请号 202211004334.7

(22) 申请日 2022.08.22

(71) 申请人 中国科学院金属研究所

地址 110016 辽宁省沈阳市沈河区文化路
72号

(72) 发明人 陆善平 魏世同 贾昕 李依依

(74) 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限
公司 21002

专利代理师 于晓波

(51) Int. Cl.

B23K 11/00 (2006.01)

B23K 11/11 (2006.01)

B23K 101/18 (2006.01)

B23K 103/04 (2006.01)

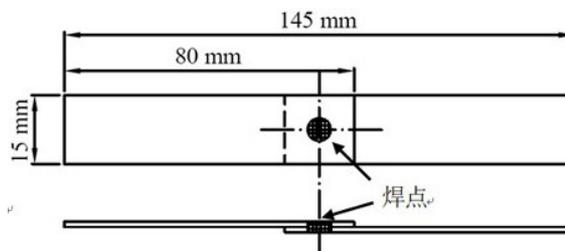
权利要求书2页 说明书11页 附图9页

(54) 发明名称

一种氧化物弥散强化钢的电阻焊方法及装置

(57) 摘要

本发明公开了一种氧化物弥散强化钢的电阻焊方法及装置,属于金属材料焊接技术领域。该焊接方法为:当焊接板材时,焊接电流6.0-11.0kA,焊接时间50-700ms,电极压力2-6kN,获得焊点尺寸大,且不会发生焊接飞溅而恶化接头性能,保证了ODS钢整体焊接结构的稳定性和安全性;当焊接管材与端塞时,焊接电流20-50kA,焊接时间10-400ms,电极压力5-12kN,同时需要专用装置,该装置包括与电阻焊机电极杆连接的上电极和下电极,下电极的上表面有定位孔,可用于定位及压紧端塞;获得了渗透探伤合格的ODS钢管材与端塞电阻焊缝,且不会发生焊接飞溅或焊件压溃现象。



1. 一种氧化物弥散强化钢的电阻焊方法,其特征在于,当焊接对象为ODS钢板时,电阻焊焊接工艺参数为:焊接电流6.0-11.0kA,焊接时间50-700ms,电极压力2-6kN;当焊接对象为ODS钢管材与端塞时,电阻焊焊接工艺为:焊接电流20-50kA,焊接时间10-400ms,电极压力5-11kN。

2. 根据权利要求1所述的电阻焊方法,其特征在于,对于厚度小于1.5mm的ODS钢板进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为焊接电流6.0-8.4kA,焊接时间50-500ms,电极压力2-5kN。

3. 根据权利要求2所述的电阻焊方法,其特征在于,对于厚度小于1.5mm的ODS钢板进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为:焊接电流6.0-7.0kA,焊接时间400-500ms,电极压力2-3kN;或者设置为:焊接电流7.0-8.0kA,焊接时间200-400ms,电极压力3-4kN;或者设置为:焊接电流7.5-8.4kA,焊接时间50-200ms,电极压力3.5-5kN。

4. 根据权利要求1所述的电阻焊方法,其特征在于,对于厚度1.5-3.0mm的ODS钢板进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为焊接电流7.6-11.0kA,焊接时间200-700ms,电极压力3-6kN。

5. 根据权利要求4所述的电阻焊方法,其特征在于,对于厚度1.5-3.0mm的ODS钢板进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为:焊接电流7.6-9.0kA,焊接时间500-700ms,电极压力3-4kN;或者设置为:焊接电流9.5-11.0kA,焊接时间200-400ms,电极压力5-6kN;或者设置为:焊接电流8.5-10.0kA,焊接时间300-500ms,电极压力3.5-5kN。

6. 根据权利要求1所述的电阻焊方法,其特征在于,对于壁厚小于1.5mm的ODS钢管材与焊接位置厚度小于1.5mm的端塞进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为焊接电流20-35kA,焊接时间10-200ms,电极压力5-9kN。

7. 根据权利要求6所述的电阻焊方法,其特征在于,对于壁厚小于1.5mm的ODS钢管材与焊接位置厚度小于1.5mm的端塞进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为:焊接电流20-25kA,焊接时间100-200ms,电极压力5-7kN;或者设置为:焊接电流30-35kA,焊接时间10-50ms,电极压力7-9kN;或者设置为:焊接电流25-33kA,焊接时间30-130ms,电极压力6-8kN。

8. 根据权利要求1所述的电阻焊方法,其特征在于,对于壁厚1.5-3.0mm的ODS钢管材与焊接位置厚度1.5-3.0mm的端塞进行电阻焊时,焊接工艺参数为焊接电流30-50kA,焊接时间50-400ms,电极压力7-11kN。

9. 根据权利要求8所述的电阻焊方法,其特征在于,对于壁厚1.5-3.0mm的ODS钢管材与焊接位置厚度1.5-3.0mm的端塞进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为:焊接电流30-35kA,焊接时间300-400ms,电极压力7-9kN;或者设置为:焊接电流45-50kA,焊接时间50-200ms,电极压力9-11kN;或者设置为:焊接电流35-45kA,焊接时间100-300ms,电极压力8-10kN。

10. 根据权利要求1所述的电阻焊方法,其特征在于,ODS钢板的焊接过程为:将ODS钢板搭接放置于上、下电极之间,且电极位于搭接部分的中心位置,通过控制面板调节电极压力、焊接电流及焊接时间,完成焊接过程。

11. 根据权利要求10所述的电阻焊方法,其特征在于,ODS钢板搭接重叠部分宽度为10mm至板宽,可根据被焊钢板厚度及宽度进行调节。

12. 根据权利要求1所述的电阻焊方法,其特征在于,所述焊接电流和焊接时间大小根

据被焊的钢板、端塞焊接位置与管材厚度进行调节,被焊的钢板、端塞焊接位置和管材壁厚越厚或管材越长,焊接电流越大或焊接时间越长。

13. 根据权利要求1所述的电阻焊方法,其特征在于,电阻焊方法所采用的电阻焊机为型号DTBZ-160KA的中频逆变直流点焊机,额定功率为160kVA,最大短路电流为52kA,最大电极压力为12000N。

14. 一种用于权利要求1所述的电阻焊方法的电阻焊装置,其特征在于,该电阻焊装置适用于焊接对象为ODS钢管材与端塞的焊接过程,该电阻焊装置包括上电极和下电极以及带有电极杆的电阻焊机,下电极下部和上电极上部均为楔形结构,且俩楔形结构分别用于与电阻焊机的两个电极杆连接;下电极的上表面有定位孔,可用于定位及压紧端塞,焊接前位于端塞下部中心位置的定位销放置于此定位孔内;上电极的下表面无孔,用于压紧管材;焊接时电阻焊机上设置的焊接电流及电极压力通过电阻焊机电极杆传递到上、下电极上,进而借助上、下电极进一步施加到被焊接对象,以便完成焊接过程。

15. 根据权利要求14所述的电阻焊装置,其特征在于,下电极的定位孔内有绝缘套,以防止点焊时端塞与孔内壁接触通电造成分流。

16. 根据权利要求14所述的电阻焊装置,其特征在于,下电极的外径、定位孔的直径和深度与端塞的尺寸相匹配。

17. 根据权利要求14所述的电阻焊装置,其特征在于,焊接过程为:将ODS钢端塞放置于下电极上并将端塞定位销置于下电极定位孔内,之后将ODS钢管材放置于端塞上的合适位置,通过控制面板调节电极压力、焊接电流及焊接时间,完成焊接过程。

18. 根据权利要求14所述的电阻焊装置,其特征在于,所述电阻焊机为型号DTBZ-160KA的中频逆变直流点焊机,额定功率为160kVA,最大短路电流为52kA,最大电极压力为12000N。

一种氧化物弥散强化钢的电阻焊方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及材料焊接技术领域,具体涉及一种氧化物弥散强化(ODS)钢的电阻焊方法以及相关的装置。

背景技术

[0002] 为满足急速增长的能源需求,解决世界范围内的能源短缺问题,先进核能系统即第四代裂变堆和未来聚变堆应运而生,其要求堆内结构材料承受更高的工作温度、压力和辐照通量,以及更复杂的腐蚀环境。传统结构材料在该环境下性能无法满足要求,因此,新型结构材料的研发成为制约核技术发展的关键技术瓶颈,氧化物弥散强化(ODS)钢因其极具热稳定性的纳米氧化相的存在而具有优异的高温力学性能、突出的抗辐照性能及良好的耐腐蚀性和抗氧化性,被认为是未来先进核能系统堆内关键部件的最佳备选结构材料。

[0003] 材料的焊接性是决定其能否在核工业中应用的一个关键因素,以ODS钢制造的核用组件不可避免地要进行焊接装配,如燃料包壳和端塞的装配焊接。目前还未有成熟的ODS钢焊接方法,采用传统的熔焊方式,如氩弧焊、电子束焊等对ODS钢进行焊接时,容易导致形成气孔、焊缝区晶粒长大以及纳米氧化物强化相溶解、粗化甚至团簇,严重破坏ODS钢原始组织,大幅恶化接头性能,因此开发适合ODS钢的焊接新工艺对于ODS钢在核领域的推广应用具有十分重要的现实意义。电阻点焊由于焊接速度快、热输入小,对保持ODS钢细小的晶粒尺寸和纳米氧化物强化相有利,可作为潜在的一种ODS钢焊接方法。此外由于电阻设备操作方便易于实现自动化的特点,也有利于电阻焊工艺在核工业中的推广和应用。但是对ODS钢进行电阻焊时如何匹配合适的焊接工艺十分关键,因为当电阻焊工艺不合适时会导致纳米氧化物强化相聚集长大为氧化物夹杂或发生焊接飞溅,而恶化电阻焊接头的性能,因此需对ODS钢的电阻焊工艺进行深入研究,以便有针对性地解决以ODS钢为材质的核用组件难以有效焊接的问题。尤其是对于核用组件中的ODS钢管材与端塞的电阻焊,由于结构特殊,通常用的电阻焊机的配套电极无法实现管材与端塞结构的焊接,现有针对ODS钢管材与端塞电阻焊的设备均为专用设备,造价高昂,且全部为进口设备,亟需国产化,目前也尚无在通用普通电阻焊设备上对ODS钢管材与端塞电阻焊的报道。

发明内容

[0004] 为了避免堆内结构中ODS钢焊接构件在服役过程中由于焊缝尺寸过小或形成焊接缺陷(氧化物夹杂和焊接飞溅)而引起焊缝先于母材发生失效破坏,降低构件整体的安全性,同时避免ODS钢管材与端塞焊接构件在服役过程中焊缝发生泄漏,降低构件整体的安全性,而增加事故发生的可能性等问题,本发明的目的在于提供一种适用于氧化物弥散强化(ODS)钢的电阻焊方法及装置。

[0005] 为实现上述目的,本发明所采用的技术方案如下:

一种氧化物弥散强化(ODS)钢的电阻焊方法,当焊接对象为ODS钢板时,电阻焊焊接工艺参数为:焊接电流6.0-11.0kA,焊接时间50-700ms,电极压力2-6kN;当焊接对象为

ODS钢管材与端塞时,电阻焊焊接工艺为:焊接电流20-50kA,焊接时间10-400ms,电极压力5-11kN。其中,对于厚度小于1.5mm的ODS钢板进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为焊接电流6.0-8.4kA,焊接时间50-500ms,电极压力2-5kN。对于厚度小于1.5mm的ODS钢板进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为:焊接电流6.0-7.0kA,焊接时间400-500ms,电极压力2-3kN;或者设置为:焊接电流7.0-8.0kA,焊接时间200-400ms,电极压力3-4kN;或者设置为:焊接电流7.5-8.4kA,焊接时间50-200ms,电极压力3.5-5kN。其中,对于厚度1.5-3.0mm的ODS钢板进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为焊接电流7.6-11.0kA,焊接时间200-700ms,电极压力3-6kN。对于厚度1.5-3.0mm的ODS钢板进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为:焊接电流7.6-9.0kA,焊接时间500-700ms,电极压力3-4kN;或者设置为:焊接电流9.5-11.0kA,焊接时间200-400ms,电极压力5-6kN;或者设置为:焊接电流8.5-10.0kA,焊接时间300-500ms,电极压力3.5-5kN。

[0006] 其中,对于壁厚小于1.5mm的ODS钢管材与焊接位置厚度小于1.5mm的端塞进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为焊接电流20-35kA,焊接时间10-200ms,电极压力5-9kN。对于壁厚小于1.5mm的ODS钢管材与焊接位置厚度小于1.5mm的端塞进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为:焊接电流20-25kA,焊接时间100-200ms,电极压力5-7kN;或者设置为:焊接电流30-35kA,焊接时间10-50ms,电极压力7-9kN;或者设置为:焊接电流25-33kA,焊接时间30-130ms,电极压力6-8kN。其中,对于壁厚1.5-3.0mm的ODS钢管材与焊接位置厚度1.5-3.0mm的端塞进行电阻焊时,焊接工艺参数为焊接电流30-50kA,焊接时间50-400ms,电极压力7-11kN。对于壁厚1.5-3.0mm的ODS钢管材与焊接位置厚度1.5-3.0mm的端塞进行电阻焊时,焊接工艺参数进一步设置为:焊接电流30-35kA,焊接时间300-400ms,电极压力7-9kN;或者设置为:焊接电流45-50kA,焊接时间50-200ms,电极压力9-11kN;或者设置为:焊接电流35-45kA,焊接时间100-300ms,电极压力8-10kN。

[0007] ODS钢板的焊接过程为:将ODS钢板搭接放置于上、下电极之间,且电极位于搭接部分的中心位置,通过控制面板调节电极压力、焊接电流及焊接时间,完成焊接过程。其中,ODS钢板搭接重叠部分宽度为10mm至板宽,可根据被焊钢板厚度及宽度进行调节。焊接电流和焊接时间大小根据被焊的钢板、端塞焊接位置与管材厚度进行调节,被焊的钢板、端塞焊接位置和管材壁厚越厚或管材越长,焊接电流越大或焊接时间越长。其中,电阻焊焊接方法所采用的电阻焊机为型号DTBZ-160KA的中频逆变直流点焊机,额定功率为160kVA,最大短路电流为52kA,最大电极压力为12000N。

[0008] 电阻焊装置适用于焊接对象为ODS钢管材与端塞的焊接过程,该电阻焊装置包括上电极和下电极以及带有电极杆的电阻焊机,下电极下部和上电极上部均为楔形结构,且俩楔形结构分别用于与电阻焊机的两个电极杆连接;下电极的上表面有定位孔,可用于定位及压紧端塞,焊接前位于端塞下部中心位置的定位销放置于此定位孔内;上电极的下表面无孔,用于压紧管材;焊接时电阻焊机上设置的焊接电流及电极压力通过电阻焊机电极杆传递到上、下电极上,进而借助上、下电极进一步施加到被焊接对象,以便完成焊接过程。其中,下电极的定位孔内有绝缘套,以防止点焊时端塞与孔内壁接触通电造成分流,且下电极的外径、定位孔的直径和深度与端塞的尺寸相匹配。ODS钢管材与端塞的焊接过程为:将ODS钢端塞放置于下电极上并将端塞定位销置于下电极定位孔内,之后将ODS钢管材放置于端塞上的合适位置,通过控制面板调节电极压力、焊接电流及焊接时间,完成焊接过程。其

中,电阻焊机为型号DTBZ-160KA的中频逆变直流点焊机,额定功率为160kVA,最大短路电流为52kA,最大电极压力为12000N。

[0009] 本发明具有以下优点:

1、ODS钢因其极具热稳定性的纳米氧化物强化相的存在而具有优异的高温力学性能、突出的抗辐照性能及良好的耐腐蚀性和抗氧化性,能够满足先进核能系统堆内关键部件承受更高的工作温度、压力和辐照通量,以及更复杂的腐蚀环境的要求,同样对于ODS钢焊缝也有同样的要求。由实施例和比较例分析可知,本发明电阻焊方法可获得较大的焊缝尺寸,同时避免纳米氧化物强化相的粗化团簇形成氧化物夹杂及焊接飞溅,提高了焊缝的承载能力。ODS钢板搭接焊拉剪试验过程中获得熔核拔出失效方式,以确保焊缝比母材具有更高的承载能力,在服役条件下不会发生焊缝处的失效,满足先进核能系统的使用要求,保证了ODS钢整体焊接结构的稳定性和安全性(参见本发明实施例1-12和比较例1-6)。

[0010] 2、本发明的焊接工艺针对ODS钢管材与端塞所得到的电阻焊接结构,其焊缝具有细小的组织、均匀分布的纳米氧化物强化相、优异的力学性能和抗辐照及抗腐蚀性能(参见本发明实施例13-24和比较例7-12)。当用于先进核能系统堆芯燃料包壳组件,服役于高温、高压、高辐照、高腐蚀环境时,能够保证ODS钢管材与端塞电阻焊缝在服役过程不发生渗漏和破坏,确保核电设备的服役安全性。

[0011] 3、对于ODS钢管材与端塞的电阻焊工艺,本发明还开发了适用于ODS钢管材与端塞的电阻焊装置,仅通过将普通电阻点焊机的上、下电极杆与本发明的上、下电极搭配使用即可实现ODS钢管材与端塞的焊接过程,极大降低焊接成本。本发明的电阻焊装置结构简单、便于安装和拆卸,下电极表面有定位孔,可用于定位端塞与管材的焊接件,提高焊接效率,且可用于不同尺寸的ODS钢管材与端塞电阻焊。使用本发明装置和电阻焊工艺可获得渗透探伤合格的ODS钢管材与端塞电阻焊缝,且不会发生焊接飞溅或焊件压溃现象,避免在使用过程中发生渗漏,保证了ODS钢管材与端塞焊接结构的安全性和美观性。

[0012] 4、本发明针对ODS钢的焊接工艺应用领域广泛,不仅能够用于先进核能系统堆芯内ODS钢燃料包壳与端塞的焊接,还可推广用于其它如火电、航空、航天、汽车等领域用ODS钢板材及管件的焊接结构。

附图说明

[0013] 图1为本发明搭接电阻焊接头示意图。

[0014] 图2为拉剪过程中发生界面失效的照片(比较例1)。

[0015] 图3为拉剪过程中发生熔核拔出失效的照片(实施例1)。

[0016] 图4为过程中发生飞溅的照片(比较例2)。

[0017] 图5为纳米氧化物强化相聚集为氧化物夹杂(比较例2)。

[0018] 图6为本发明ODS钢管材与端塞电阻焊的电极示意图。

[0019] 图中:1-ODS钢管材;2-ODS钢端塞;3-端塞定位销;4-上电极;5-上电极楔形结构;6-上电极水冷孔;7-下电极;8-下电极楔形结构;9-下电极水冷孔;10-下电极定位孔;11-下电极定位孔绝缘套。

[0020] 图7为本发明ODS钢管材与端塞电阻焊件外观图(实施例13)。

[0021] 图8为本发明ODS钢管材与端塞电阻焊缝金相图(实施例13)。

- [0022] 图9为热输入过小未形成ODS钢管材与端塞有效电阻焊缝金相图(比较例7)。
- [0023] 图10为发生飞溅的ODS钢管材与端塞电阻焊件外观图(比较例8)。
- [0024] 图11为压溃的ODS钢管材与端塞电阻焊件外观图(比较例12)。

具体实施方式

[0025] 下面结合具体实施例对本发明作进一步的详细说明,但不构成对本发明的任何限制,所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部实施例,基于本发明的实施例,本领域技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例都属于本发明保护范围。

[0026] 氧化物弥散强化(ODS)钢板材进行电阻焊时,将ODS钢板搭接放置于上、下电极之间,且电极位于搭接部分的中心位置,以保证最终焊点位于搭接部分的中心位置,通过控制面板调节电极压力、焊接电流及焊接时间,设定参数后,完成焊接,形成电阻焊接头。(如图1所示)优选的ODS钢板搭接重叠部分宽度为10mm至板宽,以便搭接部分能形成完整的焊缝,搭接重叠部分宽度可根据被焊钢板厚度及宽度进行调节。所述焊接工艺为:焊接电流6.0-11.0kA,焊接时间50-700ms,电极压力2-6kN。该工艺可获得较大的焊缝尺寸,避免形成焊接缺陷(氧化物夹杂和焊接飞溅),且拉剪试验过程中可获得熔核拔出失效方式。如果焊接电流过低或焊接时间过短,导致热输入过小,形成焊缝尺寸较小,接头承受载荷时将沿焊缝处失效,导致整个焊接结构较差,安全性较低,而焊接电流过高或焊接时间过长时,热输入过大,一方面会引起纳米氧化物强化相聚集长大形成氧化物夹杂,另一方面会形成焊接飞溅,两者均会引起焊接接头性能的恶化;如果电极压力过高,焊缝处将被压溃,导致焊缝成形较差,而当电极压力过低时,焊缝处熔化金属将会从焊缝内益处,形成焊接飞溅,恶化焊接接头性能。焊接工艺合适时,可获得较大的焊缝尺寸,同时避免纳米氧化物强化相的粗化团簇形成氧化物夹杂及焊接飞溅,提高了焊缝的承载能力,ODS板材搭接焊拉剪试验过程中获得熔核拔出失效方式,以确保焊缝比母材具有更高的承载能力,在服役条件下不会发生焊缝处的失效,满足先进核能系统的使用要求,保证了ODS钢整体焊接结构的稳定性和安全性。

[0027] 对于厚度小于1.5mm的ODS钢板,所述焊接工艺为:焊接电流6.0-8.4kA,焊接时间50-500ms,电极压力2-5kN;进一步优选:焊接电流6.0-7.0kA,焊接时间400-500ms,电极压力2-3kN;或者优选:焊接电流7.0-8.0kA,焊接时间200-400ms,电极压力3-4kN;或者优选:焊接电流7.5-8.4kA,焊接时间50-200ms,电极压力3.5-5kN。

[0028] 对于厚度1.5-3.0mm的ODS钢板,所述焊接工艺为:焊接电流7.6-11.0kA,焊接时间200-700ms,电极压力3-6kN;进一步优选:焊接电流7.6-9.0kA,焊接时间500-700ms,电极压力3-4kN;或者优选:焊接电流9.5-11.0kA,焊接时间200-400ms,电极压力5-6kN;或者优选:焊接电流8.5-10.0kA,焊接时间300-500ms,电极压力3.5-5kN。

[0029] ODS钢板材进行电阻焊时所采用的电阻点焊机为型号DTBZ-160KA的中频逆变直流点焊机,额定功率为160kVA,最大短路电流为52kA,最大电极压力为12000N。

[0030] 对于ODS钢管材与端塞的电阻焊,由于对象结构特殊,通常用的电阻焊机的配套电极无法实现管材与端塞结构的焊接,为实现管材与端塞电阻焊,设计了针对具有端塞的ODS钢管材的电阻焊装置,可在通用普通电阻焊机上实现ODS钢管材1与端塞2的电阻焊。该装置结构简单、便于安装和拆卸。如图6所示,该电阻焊装置包括上电极4和下电极7以及带有电

极杆的电阻焊机【统一称谓】，其中，下电极下部和上电极上部均为楔形结构，且此两个楔形结构(下电极楔形结构8、上电极楔形结构5)分别用于与电阻焊机的上、下两个电极杆连接；下电极的上表面有定位孔10，可用于定位及压紧端塞，焊接前位于端塞下部中心位置的定位销(端塞定位销3)放置于此定位孔10内；孔内有绝缘套(下电极定位孔绝缘套11)，以防止焊接时端塞与孔内壁接触通电造成分流。上下电极上分别设有上电极水冷孔6和下电极水冷孔9；上电极的下表面无孔，用于压紧管材。下电极的外径、定位孔的直径和深度与端塞的尺寸相匹配。焊接时电阻焊机上设置的焊接电流及电极压力通过电阻焊机电极杆传递到此电阻焊装置的上、下电极上，进而借助上、下电极进一步施加到被焊件，以便完成焊接过程。焊接过程为：将ODS钢端塞放置于下电极上，并将位于端塞下部中心位置的定位销置于下电极定位孔10内，之后将ODS钢管材1放置于端塞上的合适位置，焊接时上电极下压至管材上表面，即可使管材与端塞紧密压实。通过电阻焊机控制面板调节电极压力、焊接电流及焊接时间，设定参数后，完成焊接，形成ODS钢管材与端塞电阻焊接头。所述焊接工艺为：焊接电流20-50kA，焊接时间10-400ms，电极压力5-11kN，该工艺可获得渗透探伤合格的ODS钢管材与端塞电阻焊缝，且不会发生焊接飞溅或焊件压溃现象，避免在使用过程中发生渗漏，保证了ODS钢管材与端塞焊接结构的安全性和美观性。

[0031] 对于壁厚小于1.5mm的ODS钢管材与焊接位置处厚度小于1.5mm的端塞，所述焊接工艺为：焊接电流20-35kA，焊接时间10-200ms，电极压力5-9kN；进一步优选：焊接电流20-25kA，焊接时间100-200ms，电极压力5-7kN；或者优选：焊接电流30-35kA，焊接时间10-50ms，电极压力7-9kN；或者优选：焊接电流25-33kA，焊接时间30-130ms，电极压力6-8kN。

[0032] 对于壁厚1.5-3.0mm的ODS钢管材与焊接位置厚度1.5-3.0mm的端塞，所述焊接工艺为：焊接电流30-50kA，焊接时间50-400ms，电极压力7-11kN；进一步优选：焊接电流30-35kA，焊接时间300-400ms，电极压力7-9kN；或者优选：焊接电流45-50kA，焊接时间50-200ms，电极压力9-11kN；或者优选：焊接电流35-45kA，焊接时间100-300ms，电极压力8-10kN。

[0033] 所述焊接电流和焊接时间大小根据被焊的板材、端塞焊接位置和管材厚度进行调节，被焊的板材、端塞焊接位置和管材壁厚越厚或管材越长，焊接电流越大或焊接时间越长。

[0034] ODS钢管材与端塞的电阻焊焊接过程所采用的电阻焊机为型号DTBZ-160KA的中频逆变直流点焊机，额定功率为160kVA，最大短路电流为52kA，最大电极压力为12000N，上、下电极杆可用于连接本发明所述的上、下电极等部件。

[0035] 本发明实施例1-5中所选择的ODS钢的化学成分见表1。

[0036] 表1 ODS钢的化学成分(质量分数，%)

材料	C	Cr	Y	Ti	W	O	Mn	Fe
ODS-1	0.05-0.15	8.0-10.0	0.15-0.45	0.2-0.5	1.0-2.0	0.05-0.30	≤0.2	余量
ODS-2	≤0.05	12.0-15.0	0.15-0.45	0.2-0.5	1.5-3.5	0.05-0.30	0.2-1.5	余量

实施例1：接头形式：板材搭接，材料：ODS-1，板厚：1.0mm，焊接电流：8.4kA，焊接时间：400ms，电极压力：4kN，焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0037] 实施例2：

接头形式：板材搭接，材料：ODS-1，板厚：1.0mm，焊接电流：6.0kA，焊接时间：

300ms,电极压力:3kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0038] 实施例3:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-1,板厚:1.0mm,焊接电流:7.4kA,焊接时间:50ms,电极压力:3kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0039] 实施例4:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-1,板厚:1.0mm,焊接电流:6.4kA,焊接时间:500ms,电极压力:3kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0040] 实施例5:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-2,板厚:1.2mm,焊接电流:8.0kA,焊接时间:100ms,电极压力:2kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0041] 实施例6:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-2,板厚:1.2mm,焊接电流:7.2kA,焊接时间:300ms,电极压力:5kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0042] 实施例7:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-1,板厚:1.8mm,焊接电流:7.6kA,焊接时间:600ms,电极压力:4kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0043] 实施例8:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-1,板厚:1.8mm,焊接电流:11.0kA,焊接时间:400ms,电极压力:5kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0044] 实施例9:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-2,板厚:2.0mm,焊接电流:10.6kA,焊接时间:200ms,电极压力:6kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0045] 实施例10:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-2,板厚:2.0mm,焊接电流:8.6kA,焊接时间:700ms,电极压力:5kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0046] 实施例11:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-2,板厚:2.0mm,焊接电流:8.8kA,焊接时间:400ms,电极压力:3kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0047] 实施例12:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-2,板厚:2.0mm,焊接电流:9.2kA,焊接时间:300ms,电极压力:7kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0048] 实施例13:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-1,管材外径:20mm,壁厚:1mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1mm,直径:22mm,焊接电流20kA,焊接时间150ms,电极压力6kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0049] 实施例14:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-1,管材外径:20mm,壁厚:1mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1mm,直径:22mm,焊接电流35kA,焊接时间30ms,电极压力7kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0050] 实施例15:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-1,管材外径:20mm,壁厚:1mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1mm,直径:22mm,焊接电流30kA,焊接时间10ms,电极压力6kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0051] 实施例16:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-2,管材外径:15mm,壁厚:1.2mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1.2mm,直径:18mm,焊接电流25kA,焊接时间200ms,电极压力8kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0052] 实施例17:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-2,管材外径:15mm,壁厚:1.2mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1.2mm,直径:18mm,焊接电流30kA,焊接时间40ms,电极压力5kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0053] 实施例18:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-2,管材外径:15mm,壁厚:1.2mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1.2mm,直径:18mm,焊接电流25kA,焊接时间100ms,电极压力9kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0054] 实施例19:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-1,管材外径:22mm,壁厚:1.8mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1.8mm,直径:24mm,焊接电流30kA,焊接时间200ms,电极压力9kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0055] 实施例20:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-1,管材外径:22mm,壁厚:1.8mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1.8mm,直径:24mm,焊接电流50kA,焊接时间80ms,电极压力10kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0056] 实施例21:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-1,管材外径:22mm,壁厚:1.8mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1.8mm,直径:24mm,焊接电流35kA,焊接时间50ms,电极压力8kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0057] 实施例22:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-2,管材外径:25mm,壁厚:2.0mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:2.0mm,直径:28mm,焊接电流40kA,焊接时间400ms,电极压力9kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0058] 实施例23:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-2,管材外径:25mm,壁厚:2.0mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:2.0mm,直径:28mm,焊接电流45kA,焊接时间250ms,电极压力7kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0059] 实施例24:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-2,管材外径:25mm,壁厚:2.0mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:2.0mm,直径:28mm,焊接电流40kA,焊接时间300ms,电极压力11kN,焊接飞

溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0060] 比较例1:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-1,板厚:1.2mm,焊接电流:5.2kA,焊接时间:400ms,电极压力:4kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0061] 比较例2:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-1,板厚:1.2mm,焊接电流:8.8kA,焊接时间:400ms,电极压力:4kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0062] 比较例3:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-2,板厚:1.0mm,焊接电流:7.6kA,焊接时间:30ms,电极压力3kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0063] 比较例4:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-1,板厚:1.8mm,焊接电流:9.6kA,焊接时间:800ms,电极压力3kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0064] 比较例5:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-2,板厚:2.0mm,焊接电流:10.0kA,焊接时间:600ms,电极压力2kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0065] 比较例6:

接头形式:板材搭接,材料:ODS-2,板厚:2.0mm,焊接电流:10.4kA,焊接时间:600ms,电极压力7kN,焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式如表2所示。

[0066] 比较例7:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-1,管材外径:20mm,壁厚:1mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1mm,直径:22mm,焊接电流15kA,焊接时间100ms,电极压力7kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0067] 比较例8:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-1,管材外径:20mm,壁厚:1mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1mm,直径:22mm,焊接电流40kA,焊接时间150ms,电极压力8kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0068] 比较例9:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-2,管材外径:15mm,壁厚:1.2mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1.2mm,直径:18mm,焊接电流25kA,焊接时间5ms,电极压力7kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0069] 比较例10:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-1,管材外径:22mm,壁厚:1.8mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:1.8mm,直径:24mm,焊接电流40kA,焊接时间500ms,电极压力9kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0070] 比较例11:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-2,管材外径:25mm,壁厚:2.0mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:2.0mm,直径:28mm,焊接电流45kA,焊接时间200ms,电极压力6kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0071] 比较例12:

接头形式:管材与端塞电阻焊,材料:ODS-2,管材外径:25mm,壁厚:2.0mm,ODS钢端塞焊接位置厚度:2.0mm,直径:28mm,焊接电流45kA,焊接时间300ms,电极压力12kN,焊接飞溅及焊缝成形情况、渗透探伤结果如表3所示。

[0072] 表2 板材搭接电阻焊接头实施例和比较例的焊接飞溅情况、拉剪失效载荷及拉剪失效方式

实施例及试验项目	焊接飞溅情况	拉剪失效载荷, kN	拉剪失效方式	焊缝成形
实施例 1	未飞溅	7.7	熔核拔出	成形美观
实施例 2	未飞溅	8.6	熔核拔出	成形美观
实施例 3	未飞溅	8.1	熔核拔出	成形美观
实施例 4	未飞溅	8.6	熔核拔出	成形美观
实施例 5	未飞溅	7.2	熔核拔出	成形美观
实施例 6	未飞溅	6.9	熔核拔出	成形美观
实施例 7	未飞溅	12.2	熔核拔出	成形美观
实施例 8	未飞溅	13.6	熔核拔出	成形美观
实施例 9	未飞溅	13.3	熔核拔出	成形美观
实施例 10	未飞溅	14.5	熔核拔出	成形美观
实施例 11	未飞溅	14.1	熔核拔出	成形美观
实施例 12	未飞溅	13.8	熔核拔出	成形美观
比较例 1	未飞溅	4.9	界面	成形美观
比较例 2	飞溅	6.0	熔核拔出	成形美观
比较例 3	未飞溅	4.1	界面	成形美观
比较例 4	飞溅	8.6	界面	成形美观
比较例 5	飞溅	8.8	界面	成形美观
比较例 6	未飞溅	11.8	熔核拔出	焊缝压痕过深

表3 管材与端塞电阻焊接头实施例和比较例的焊接飞溅及焊缝成形情况和渗透探伤结果

实施例及 试验项目	焊接飞溅情况	拉剪失效载荷, kN	拉剪失效方式	焊缝成形
实施例 1	未飞溅	7.7	熔核拔出	成形美观
实施例 2	未飞溅	8.6	熔核拔出	成形美观
实施例 3	未飞溅	8.1	熔核拔出	成形美观
实施例 4	未飞溅	8.6	熔核拔出	成形美观
实施例 5	未飞溅	7.2	熔核拔出	成形美观
实施例 6	未飞溅	6.9	熔核拔出	成形美观
实施例 7	未飞溅	12.2	熔核拔出	成形美观
实施例 8	未飞溅	13.6	熔核拔出	成形美观
实施例 9	未飞溅	13.3	熔核拔出	成形美观
实施例 10	未飞溅	14.5	熔核拔出	成形美观
实施例 11	未飞溅	14.1	熔核拔出	成形美观
实施例 12	未飞溅	13.8	熔核拔出	成形美观
比较例 1	未飞溅	4.9	界面	成形美观
比较例 2	飞溅	6.0	熔核拔出	成形美观
比较例 3	未飞溅	4.1	界面	成形美观
比较例 4	飞溅	8.6	界面	成形美观
比较例 5	飞溅	8.8	界面	成形美观
比较例 6	未飞溅	11.8	熔核拔出	焊缝压痕过深

从ODS钢板材搭接电阻焊接头实施例1-12、比较例1-6、表2及图2-图5可以看出：

采用本发明设计的ODS钢电阻焊方法，实施例1-12焊接工艺参数在本发明范围内，焊接过程中未发生飞溅，焊缝成形美观，拉剪失效载荷较大，其拉剪过程中发生熔核拔出失效方式。比较例1的焊接电流较低，为5.2kA，未在本发明技术方案的范围（焊接电流6.0-8.4kA），导致热输入不足，熔核尺寸较小，在焊点拉剪过程中发生界面失效，且拉剪失效载荷也较低；比较例2的焊接电流较高，为8.8kA，未在本发明技术方案的范围（焊接电流6.0-8.4kA），导致热输入过大，焊接过程中发生飞溅的同时纳米氧化物强化相聚集为氧化物夹杂，这将导致熔核尺寸较小，虽然在焊点拉剪过程中发生熔核拔出失效方式，但拉剪失效载荷较低；比较例3的焊接时间较短，为30ms，未在本发明技术方案的范围（焊接时间50-500ms），导致热输入不足，熔核尺寸较小，在焊点拉剪过程中发生界面失效，且拉剪失效载荷也较低；比较例4的焊接时间较长，为800ms，未在本发明技术方案的范围（焊接时间200-700ms），导致热输入过大，焊接过程中发生飞溅的同时纳米氧化物强化相聚集为氧化物夹杂，这将导致熔核尺寸较小，虽然在焊点拉剪过程中发生熔核拔出失效方式，但拉剪失效载荷较低；比较例5的电极压力较低，为2kN，未在本发明技术方案的范围（电极压力3-6kN），电极压力过低，焊缝处熔化金属将会从焊缝内溢出，形成焊接飞溅，恶化焊接接头性能；比较例6的电极压力较高，为7kN，未在本发明技术方案的范围（电极压力3-6kN），电极压力过高，焊缝压痕过深，导致焊缝成形较差。结果表明，电阻焊工艺参数不在本发明范围内时（对于厚度小于1.5mm的ODS钢板电阻焊，焊接电流6.0-8.4kA，焊接时间50-500ms，电极压力2-5kN；对于厚度1.5-3.0mm的ODS钢板电阻焊，焊接电流7.6-11.0kA，焊接时间200-700ms，电极压力3-6kN），焊点拉剪试验过程中将发生界面失效、焊接飞溅、形成氧化物夹杂或焊缝压痕过深导致成形较差，这些问题对长期服役过程中ODS钢焊接部件整体安全性和稳定性不利。

[0073] 从ODS管材与端塞电阻焊接头实施例13-24、比较例7-12、表3及图7-图11可以看出：

采用本发明设计的ODS钢电阻焊方法，实施例13-24焊接工艺参数在本发明范围内，焊接过程中未发生飞溅，焊缝成形美观，渗透探伤均合格。比较例7的焊接电流较低，为15kA，未在本发明技术方案的范围内（焊接电流25-35kA），导致热输入过小，焊缝金相图表明未形成ODS钢管材与端塞有效连接，因此渗透探伤时发生渗漏，不合格；比较例8的焊接电流过高，为40kA，未在本发明技术方案的范围内（焊接电流25-35kA），热输入较大，焊接过程中发生飞溅，导致焊缝成形较差，且焊接飞溅引起的焊缝缺陷导致渗透探伤时发生渗漏，不合格；比较例9的焊接时间过短，为5ms，未在本发明技术方案的范围内（焊接时间10-200ms），热输入过小，未形成ODS钢管材与端塞有效连接，因此渗透探伤时发生渗漏，不合格；比较例10的焊接时间过长，为500ms，未在本发明技术方案的范围内（焊接时间50-400ms），热输入较大，焊接过程中发生飞溅，导致焊缝成形较差，且焊接飞溅引起的焊缝缺陷导致渗透探伤时发生渗漏，不合格；比较例11的电极压力较低，为6kN，未在本发明技术方案的范围内（电极压力7-11kN），电极压力过低，焊缝处熔化金属将会从焊缝内溢出，形成焊接飞溅，导致焊缝成形较差，且焊接飞溅引起的焊缝缺陷导致渗透探伤时发生渗漏，不合格；比较例12的电极压力过高，为12kN，未在本发明技术方案的范围内（7-11kN），焊接过程中焊件在电极压力作用下被完全压溃。结果表明，电阻焊工艺参数不在本发明范围内时（对于壁厚小于1.5mm的ODS钢管材与焊接位置厚度小于1.5mm的端塞电阻焊，焊接电流20-35kA，焊接时间10-200ms，电极压力5-9kN；对于壁厚1.5-3.0mm的ODS钢管材与焊接位置厚度1.5-3.0mm的端塞电阻焊，焊接电流30-50kA，焊接时间50-400ms，电极压力7-11kN），焊缝探伤时将发生渗漏，或焊件成形不美观甚至发生压溃现象，影响ODS钢管材与端塞焊接件的安全性和使用性。

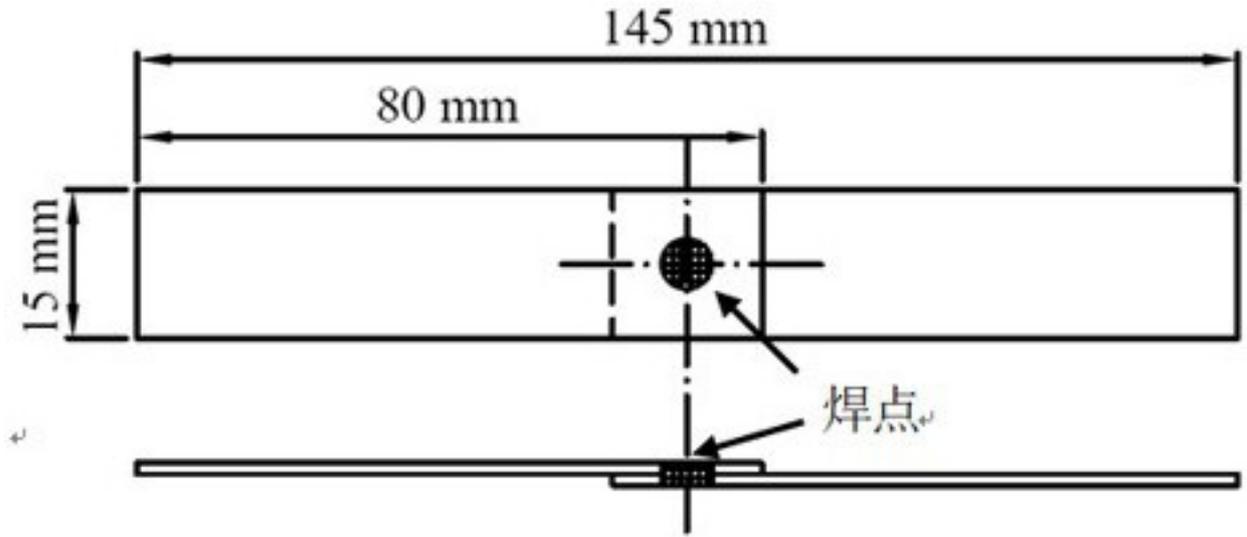


图1

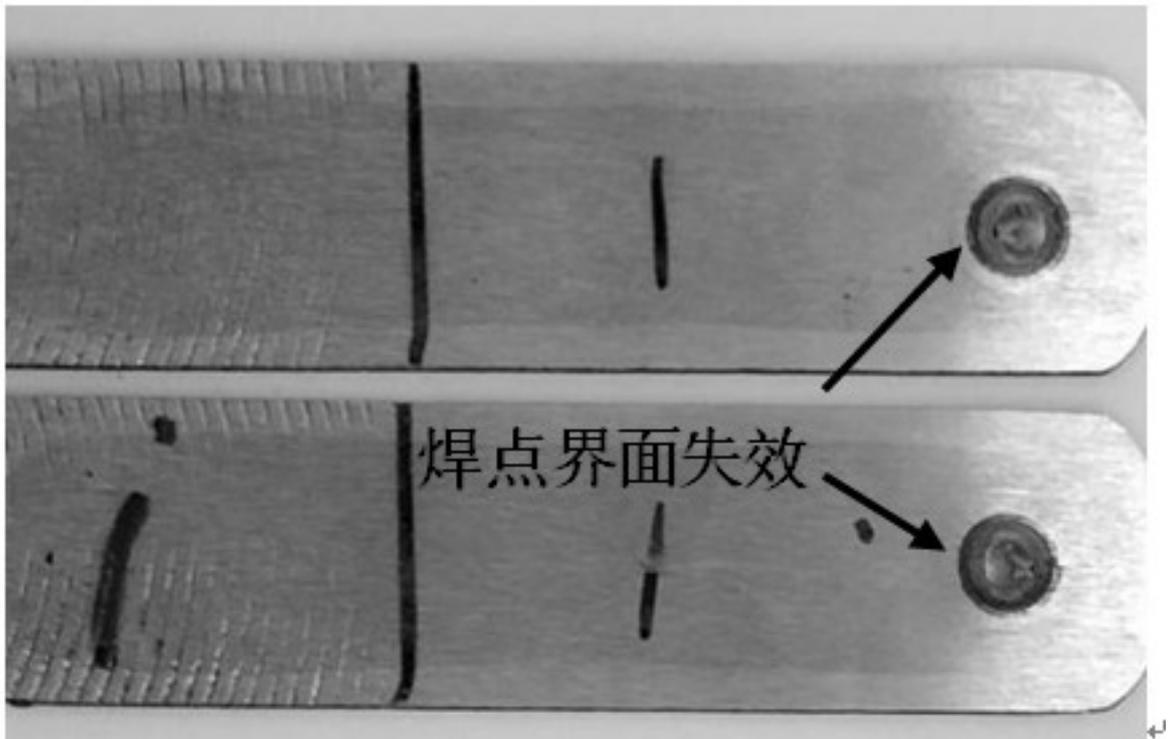


图2

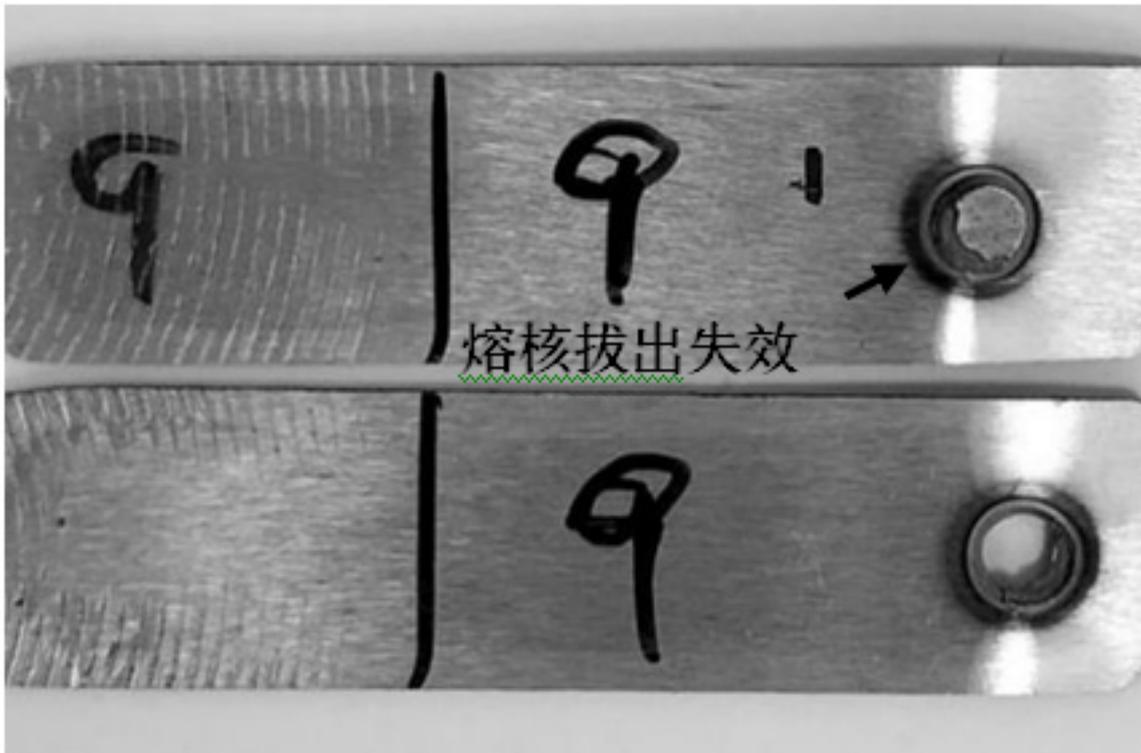


图3



图4

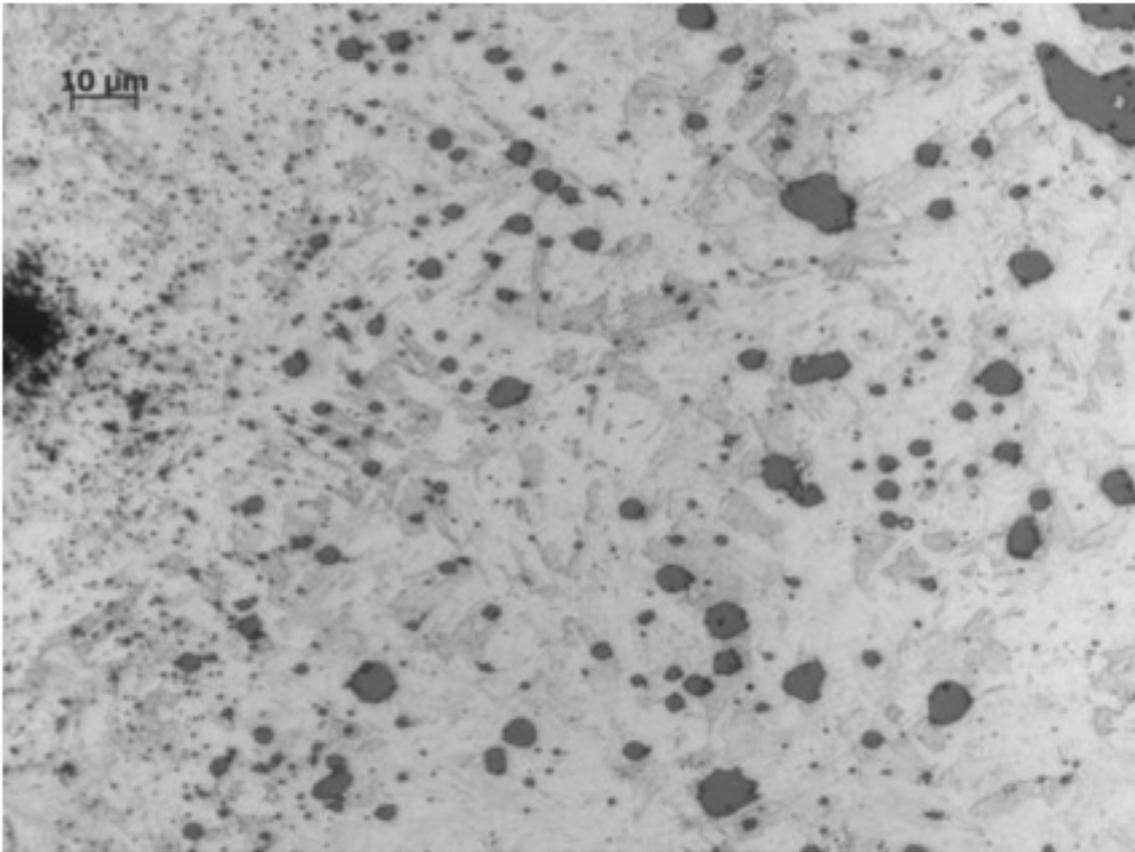


图5

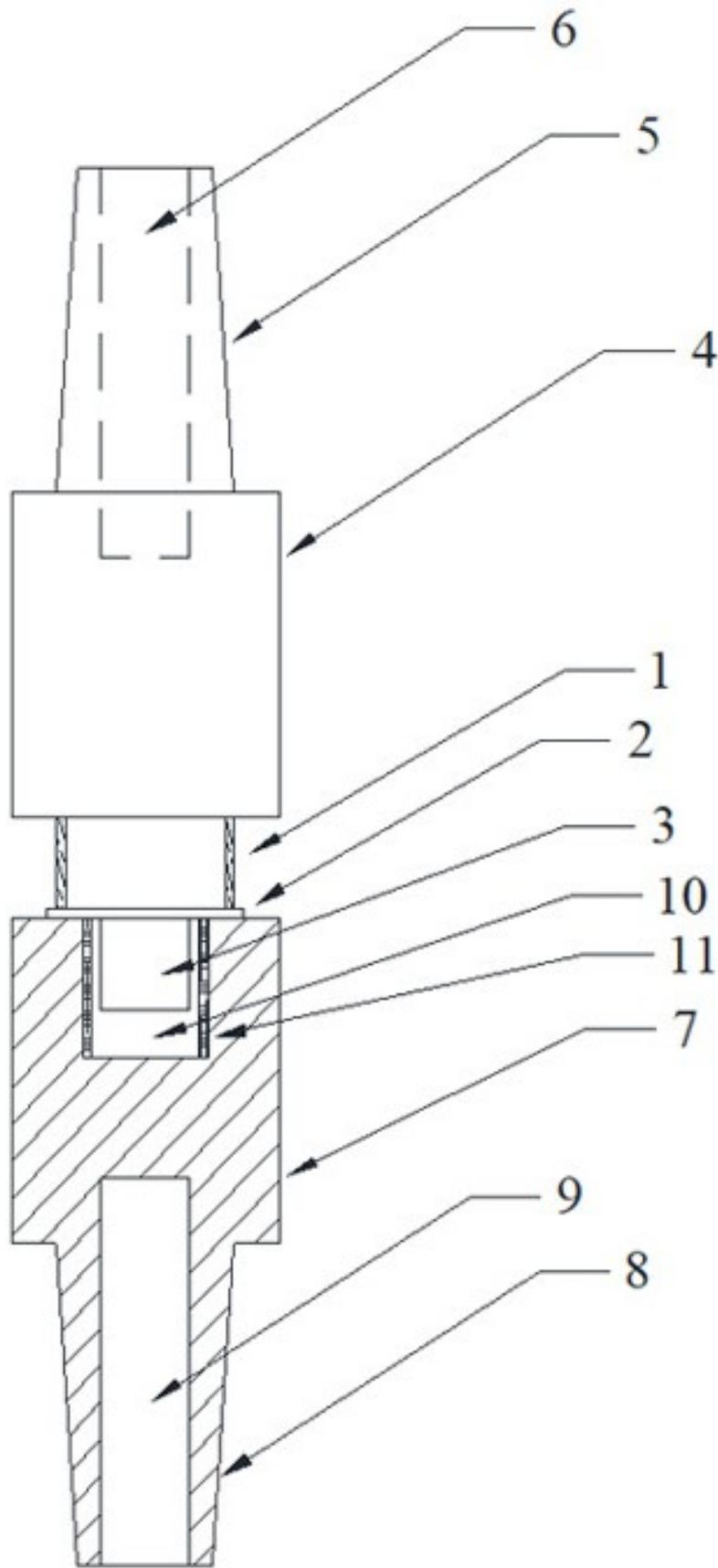


图6



图7

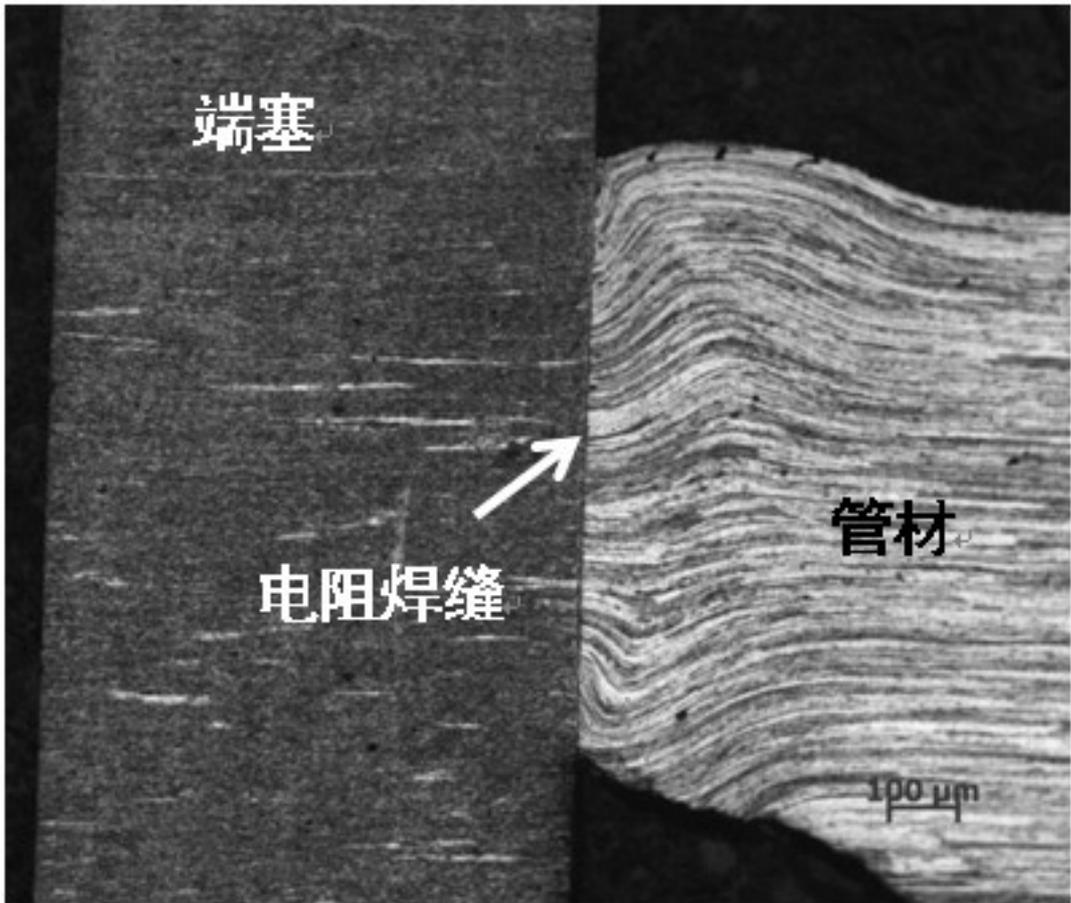


图8

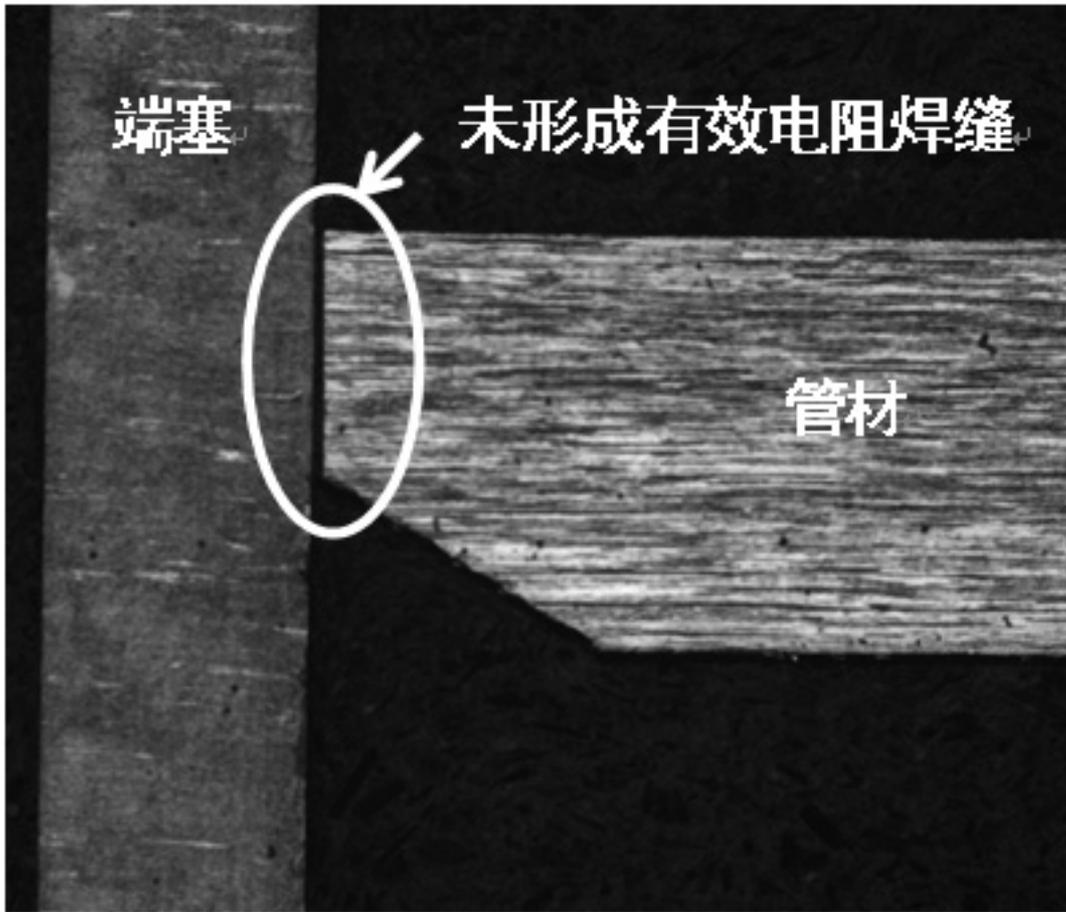


图9



图10



图11