

## 一种金刚线激光焊接方法及系统

### 技术领域

本发明属于金刚线焊接技术领域，尤其涉及一种金刚线激光焊接方法及系统。

### 背景技术

在单晶硅片生产过程中，通过多线金刚线网对硅棒进行加减速正反双向切割，在切割过程中，由于机械、电器、工艺参数、电控软件系统匹配度等原因，经常出现金刚线断裂的现象，在金刚线发生断裂后，工作人员需要对金刚线进行焊接或者更换。

目前的金刚线焊接方法，包括：

电阻焊，这是目前行业内常见的焊接方式，此种焊接工艺存在焊接成功率低、焊接时间长、焊接外观差、抗拉强度低的缺点，以上缺点极大影响了硅片生产的效率和良品率。

钎焊，是指用低于焊件熔点的钎料和焊件同时加热到钎料熔化温度后，利用液态钎料填充固态工件的缝隙使金属连接的焊接方法。钎焊变形小，接头光滑美观，但焊接完后，焊缝处的抗拉强度相对较低，易再次断裂，影响后续使用。

不管何种焊接方式，都需要全程人工焊接操作，自动化程度低，而且焊接方法不可靠，效率低，焊接位置抗拉强度低。

### 发明内容

本发明的目的在于克服上述现有技术存在的不足，提供一种金刚线激光焊接方法及系统，解决了现有技术中对于断线后的金刚线无法实现高质量、高效率焊接等缺陷。

第一方面，本发明提供一种金刚线激光焊接方法，包括：

对断线的两端部进行定位，使两端部相对；

分别对两端部进行断面剪切，清洗；

利用视觉检测模块采集两端部的画面，检测计算两端部的同心度，控制两端部自动调整位置，使两端部同心；

将激光发生模块的目标加热光斑对准由两端部及其周围有限空间所组成的熔池部，并开始激光加热焊接；

监测熔池部的实时温度及实时晶相，根据实时温度调整激光发生模块的加热功率，判断实时晶相图像与目标晶相图像的匹配度是否大于第一阈值，若大于，停止焊接；

打磨焊缝，退火，完成焊接。

在一些实施例中，在进行激光加热焊接时，将目标加热光斑对准熔池部，使金属熔化、气化形成受热孔，利用视觉检测模块，判断此受热孔中的蒸汽压力与液体金属的表面张力和重力是否达到平衡，若平衡，控制目标加热光斑沿两端部的焊接方向移动，形成焊缝。

在一些实施例中，利用近红外热成像模块监测熔池部，得到近红外图像和热成像图像，根据近红外图像的灰度级与热成像图像的热分布系数，确定激光发生模块的开关占空比参数，根据开关占空比参数调节激光发生模块的发热功率。

在一些实施例中，将焊接周期划分为若干个阶段，根据不同材质的金刚线，针对每一个阶段，确定对应的近红外图像的灰度级常数与热成像图像的热分布系数常数，设定对应的开关占空比参数，对断线的两端部进行阶段性焊接。

在一些实施例中，所述激光发生模块为皮秒激光发生器，利用 600nm~700nm 波长的激光对断线的两端部进行阶段性焊接。

在一些实施例中，针对不同材质、规格的金刚线，分别设定目标晶相图像，所述目标晶相图像被配置为选取一根金刚线，将激光发生模块的目标加热光斑对准所述金刚线的一局部，在该局部达到蒸汽压力与液体金属的表面张力和重力的平衡，并沿着径向方向完成加热后，采集得到的晶相图像。

在一些实施例中，将断线的两端部放置于设有 V 型槽的磁性平台上，利用压块从上至下压住所述断线，并使所述断线的端部伸出于磁性平台设定伸长距离，通过气缸向所述压块施加的压力  $F < [78500 * N / (\cos a / 2)] - (m_1 + m) * g$ ，其中，压块质量为  $m$ ，与磁性平台单位面积所接触的断线的质量为  $m_1$ ，磁性平台中 V 型槽的夹角为  $a$ ，在断线与磁性平台的接触面上金刚石颗粒的数量  $N$ 。

在一些实施例中，在对两端部进行断面剪切时，采用双刃环切刀具，沿着断线某一截面的径向方向同时朝内施加剪切力，以使在端部形成垂直于断线轴向中心线的焊接截面。

在一些实施例中，在进行打磨焊缝时，利用打磨机构包裹住在熔池部上形成的焊缝，所述打磨机构与焊缝的接触面上内嵌有金刚砂，控制打磨机构进行高赫兹微幅交频振动，消除焊缝中的表面气泡及杂质。

第二方面，本发明提供一种应用于上述一种金刚线激光焊接方法的焊接系统，包括：

定位机构，用于对断线的端部进行定位，使两端部相对；

剪切机构，用于分别对两端部进行断面剪切；

清洗机构，用于分别对两端部进行清洗；

视觉检测模块，用于采集两端部的画面，检测计算两端部的同心度，控制定位机构带动两端部自动调整位置，使两端部同心；

激光发生模块，用于产生对准由两端部及其周围有限空间所组成的熔池部的目标加热光斑，并进行激光加热焊接；

检测模块，用于监测熔池部的实时温度及实时晶相，根据实时温度调整激光发生模块的加热功率，判断实时晶相图像与目标晶相图像的匹配度是否大于第一阈值，若大于，控制激光发生模块停止焊接；

打磨机构，用于对焊缝进行打磨；

退火机构，用于对焊接打磨后的断线进行退火。

相比现有技术，本发明的有益效果至少包括：

在对断线的两端部进行定位时，通过视觉检测模块采集两端部的画面，控制两端部在三轴上自动调整位置，保证同心度；并用目标加热光斑对准熔池部，使熔池部上形成的实时晶相图像与目标晶相图像的匹配度大于第一阈值，通过自动控制和检测的方式，完成焊接工序，最后打磨退火，完成焊接；本焊接方法自动化程度高，而且利用激光发生模块进行激光焊接，加热快，效率高，通过对晶相图像的判断，实现精准自动焊接。

## 附图说明

利用附图对本发明作进一步说明，但附图中的实施例不构成对本发明的任何限制，对于本领域的普通技术人员，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据以下附图获得其它的附图。

图 1 是一种实施例中一种金刚线激光焊接方法的流程示意图。

图 2 是一种实施例中在进行激光加热焊接时的流程示意图。

图 3 是一种实施例中定位机构的结构示意图。

图 4 是一种实施例中压块将断线压在磁性平台的 V 型槽上的示意图。

图 5 是一种实施例中退火机构的结构示意图。

### 具体实施方式

下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，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。

在本发明的描述中，需要说明的是，术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。此外，术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

在本发明的描述中，当描述到特定器件位于第一器件和第二器件之间时，在该特定器件与第一器件或第二器件之间可以存在居间器件，也可以不存在居间器件。当描述到特定器件连接其它器件时，该特定器件可以与所述其它器件直接连接而不具有居间器件，也可以不与所述其它器件直接连接而具有居间器件。

对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论，但在适当情况下，所述技术、方法和设备应当被视为说明书的一部分。

申请人研究发现：

当金刚线发生断裂时，现有技术一般通过电阻焊或者钎焊来实现断线焊接，这两种方式都存在需要人工焊接的问题，焊接效率低，一致性差，自动化程度

低，受到各种焊接因素的影响，焊接后的金刚线质量较差，切割性能明显下降。特别对于含碳量在 0.92%~0.98%之间的高碳钢，或者钨钢，上述的高碳钢由于塑性差，容易产生裂痕，焊接性能较差，而钨钢的金刚线熔点在 2850℃以上，一般的焊接机无法满足焊接要求。

有鉴于此，参照图 1，第一方面，在本公开的实施例中提供一种金刚线激光焊接方法，包括：

对断线的两端部进行定位，使两端部相对；两端部之间间隔一定距离；

分别对两端部进行断面剪切，使得两处断面具有相同的截面积，清洗，去除断线两端部表面的氧化膜和油污；

利用视觉检测模块采集两端部的画面，检测计算两端部的同心度，控制两端部自动调整位置，使两端部同心；需要说明的是，断线的两端部分别被定位机构固定，定位机构具有三轴伺服对中功能，可以根据同心度的检测计算结果，自动以端部的截面对准；

将激光发生模块的目标加热光斑对准由两端部及其周围有限空间所组成的熔池部，并开始激光加热焊接；需要说明的是，在激光加热焊接之前，由于两端部相间隔，在开始焊接时，先利用目标加热光斑照射两端部，目标加热光斑除了覆盖两端部的截面，还覆盖了截面后的一段线体，在目标加热光斑的激光加热下，由两端部及其周围有限空间所组成的熔池部开始受热熔化；

监测熔池部的实时温度及实时晶相，根据实时温度调整激光发生模块的加热功率，控制熔池部的温度大于线材的熔点，判断实时晶相图像与目标晶相图像的匹配度是否大于第一阈值，若大于，停止焊接；具体地，目标晶相图像通过提前测试，通过若干组激光频率参数和功率参数的组合，分别对不同金刚线材料、规格的断线进行焊接，得到多组金刚线焊接头，并对每一组金刚线焊接头进行强度测试，针对每一种材料、规格，确定最佳的目标晶相图像及对应的

焊接控制参数；在焊接过程中，根据具体的金刚线材料与规格，设置对应的焊接控制参数，将实时晶相图像与目标晶相图像进行匹配度计算，只有匹配度大于第一阈值，才能判断已经实现熔池部的熔透，并达到理想的晶相状态，停止焊接；

然后对焊接好的金刚线的焊接处进行打磨焊缝，退火，完成焊接。

以上实施例中的激光焊接方法，通过视觉检测和自动控制的手段，改变传统的手工焊接方式，实现自动焊接，提高焊接效率。

参照图 2，作为一种实施方式，在进行激光加热焊接时，将目标加热光斑对准熔池部，使金属熔化、气化形成受热孔，在此过程中，受热孔壁外液态金属流动，壁层表面张力与受热孔腔内连续产生的蒸汽压力一定是相持并保持着动态平衡，随着光束不断进入受热孔，受热孔外的金属材料保持在连续流动，当达到平衡状态下，此受热孔始终处于流动的稳定状态；

因此，利用视觉检测模块，判断此受热孔中的蒸汽压力与液体金属的表面张力和重力是否达到平衡，通过判断在第一时间间隔内，受热孔的状态是否保持稳定，整体尺寸是否不扩大，受热孔外的金属材料是否保持在连续流动，若是，则判断当前受热孔平衡，控制目标加热光斑沿两端部的焊接方向移动，随着光束的移动，受热孔始终处于流动的稳定状态，也就是说，受热孔和围着受热孔壁的熔融金属随着目标加热光斑的移动方向而发生移动，熔融金属充填着受热孔移开后留下的空隙，形成焊缝。

本实施例中的激光熔焊方式具有较深的熔深、较大深宽比，通过更集中且更少热能所产生的热应力来弥补高碳钢的焊接特性，极大提高高碳钢金刚线的焊接成功率，缩短高碳钢金刚线的焊接时间，降低高碳钢金刚线焊接时对人员焊接技能的依赖，有效提高自动化程度。另外，利用这种焊接方式，激光的高能量密度特性可以满足熔点温度在 2850℃ 以上的钨钢材质金刚线的焊接。

作为一种实施方式，在监测熔池部的实时晶相时，利用扫描电子显微镜，对熔池部进行实时晶相图像的采集，并对实时晶相图像进行聚类分析，确认出两种结果：

第一结果为基于固态晶相聚类得到的结果，通过固态晶相的分布位置进行一级聚类，再针对一级聚类结果进行结构特征聚类，最后得到第一结果；

第二结果为基于液态晶相聚类得到的结果，通过液态晶相的分布位置进行一级聚类，再针对一级聚类结果进行结构特征聚类，最后得到第二结果；

针对第一结果进行晶体分布特征提取，得到固态晶相位置特征信息；

针对第二结果进行晶体分布特征提取，得到液态晶相位置特征信息；

固态晶相位置特征信息和液态晶相位置特征信息代表固态晶相和液态晶相在实时晶相图像中的位置分布信息，计算液态晶相分布面积占实时晶相图像的第一比例；

按同样的方式，针对具体的金刚线材料、规格，按照预设最佳焊接控制参数得到的目标晶相图像，进行上述的聚类分析，同样得到目标晶相图像中，液态晶相分布面积占目标晶相图像的第二比例；

通过自动检测判断的方式，只有当第一比例与第二比例的比值大于第一阈值，优选地，第一阈值为 98%，才证明在实际激光焊接中，判断金刚线熔池部已经熔透，可停止焊接。

需要说明的是，由于金刚线中主要成分是硅，还有部分碳或钨，在未进行激光加热之前，各种成分都是以固态存在，当激光加热至熔化后，以液态存在，而固态和液态的晶相存在结构特征的区别，所以可以进行聚类分析。优选地，上述是针对硅元素作的聚类分析。

因此，在本实施例中，在将目标加热光斑对准熔池部后，先利用视觉检测模块采集熔池部的图像，判断其中受热孔中的蒸汽压力与液体金属的表面张力

和重力是否达到平衡，若达到平衡，再移动目标加热光斑，形成焊缝；然后利用扫描电子显微镜，对熔池部进行实时晶相图像的采集，对包括至少一部分焊缝的实时晶相图像进行聚类分析，计算液态晶相分布面积占实时晶相图像的第一比例，再与在目标晶相图像中，液态晶相分布面积占目标晶相图像的第二比例作比较，当第一比例与第二比例的比值大于 98%，证明金刚线熔池部已经熔透，液态晶相分布情况较理想，在停止焊接冷却后，能实现很好的焊缝质量。

优选地，针对不同材质、规格的金刚线，分别设定目标晶相图像，所述目标晶相图像经过以下步骤来获得：选取一根选定的具有特定材质、规格的金刚线，将激光发生模块的目标加热光斑对准所述金刚线的一局部，需要注意的是，此局部为金刚线上的完整局部，在该局部上使金属熔化、气化形成受热孔，利用视觉检测模块观察此受热孔，直至此受热孔中的蒸汽压力与液体金属的表面张力和重力达到平衡，就沿着金刚线径向方向完成加热，形成一条焊缝，利用扫描电子显微镜对焊缝进行晶相图像的采集，采集得到目标晶相图像。

之所以在金刚线上选定一个完整局部来进行焊接，是因为本激光焊接是无需额外增加焊接材料的，只需要将断线两端部的原材料熔化后，两股原材料相融合，为了提高焊缝质量，与在完整的金刚线上激光加热后形成的焊缝进行比对，能保证断线焊接后，其金刚线的相关物理参数依然保持满足单晶硅片切割工艺要求，焊接位置抗拉强度基本达到原金刚线水平。

由于已根据具体的金刚线规格提前确定好目标晶相图像，目标晶相图像中包括有液态硅晶相的分布面积和理想的结构特征，通过图像对比的方式，判断其液态晶相分布面积比例的比值，并可加上人工肉眼复核，确认无误后，停止焊接。

作为一种实施方式，在焊接过程中，利用近红外热成像模块监测熔池部，得到近红外图像和热成像图像，将近红外图像和热成像图像传输至成像处理模

块进行处理，获得近红外图像的灰度级与热成像图像的热分布系数，对灰度级和热分布系数进行分析处理，判断在熔池部中哪个位置的热量分布不均匀，针对热量集中的区域，通过调整激光发生模块的开关占空比参数，降低激光发生模块的发热功率，针对热量不足的区域，则通过调整激光发生模块的开关占空比参数，增加激光发生模块的发热功率，使得在焊接过程中金刚线的总功率保持在较稳定水平，保证焊缝的质量一致性。

作为一种实施方式，将焊接周期划分为若干个阶段，根据不同材质的金刚线，针对每一个阶段，确定对应的近红外图像的灰度级常数与热成像图像的热分布系数常数，设定对应的开关占空比参数，对断线的两端部进行阶段性焊接。

其中，焊接周期可分为预热、清洁、焊接、回火、调质五个焊接阶段，根据具体材质与规格的金刚线，针对每一个焊接阶段，通过提前设定焊接控制参数，经过多组试验后，得到焊接质量最好的那组参数作为最佳焊接控制参数，针对每个阶段确定最优激光焊接功率，获得对应的开关占空比参数；另外地，通过对五个焊接阶段进行提前试验，可以确定每个阶段理想的近红外图像的灰度级常数与热成像图像的热分布系数常数，用于在焊接过程中，利用近红外热成像模块获得的近红外图像和热成像图像进行对比，实现在多个焊接阶段中的精准加热控制。

可选地，所述激光发生模块为皮秒激光发生器，利用 600nm~700nm 波长的激光对断线的两端部进行阶段性焊接。

其中，针对预热、清洁、焊接、回火、调质五个焊接阶段，根据对热量的需求、对温升的需求，以相适应的激光进行焊接，如：在预热阶段，对热量的需求不太高，可以发射出频率较低、能量密度较低的激光；在焊接阶段，对热量需求高，而且需要急速升温，可以发射出频率较高、能量密度较高的激光；

而在回火和调质阶段，则需要保持一个较稳定的热量，对焊接质量作微调，可以发射出频率较高、能量密度适中的激光。

以上的激光调节功能，可以通过程序预设的方式，自动根据所处的焊接阶段，切换至不同的激光频率与能量密度，提高焊接精细化控制，而且通过阶段性激光焊接控制，可以提高焊接后金刚线的外观、直径一致性，由于没有额外焊接材料的加入，为了实现焊接完后可以马上使用，所以对于焊接过程的控制尤为重要，其中，在调质阶段，可以以频率较高、能量密度适中的激光对焊缝的直径进行调整，使得外径基本保持一致。

在焊接过程中，对断线两端部的固定稳定性要求很高，如果两端部在焊接过程中出现位置松动，则会影响焊接质量，直接导致金刚线的外观和直径产生不一致，所以为了解决以上问题，本实施例将断线的两端部放置于设有 V 型槽的磁性平台上，需要注意的是，断线的最顶端仍超出于 V 型槽的顶部，再利用压块从上至下压住所述断线，压块由聚氨酯制成，垂直压向断线，保证金刚线受压时尽可能均匀受力，防止斜向受力时，金刚线出现绕中心做圆周运动的现象，从而降低金刚线的抗拉强度，同时，聚氨酯压块向金刚线施加合理的压力值，聚氨酯压块具有合理的硬度值，以保证压块给金刚线定位时，金刚线上的金刚颗粒不会刺入聚氨酯本体，压块也不会压碎金刚颗粒。

使所述断线的端部伸出磁性平台设定伸长距离，优选地，金刚线伸出距离为定值，为其直径的 1.5 至 2 倍；且在焊接过程中，由于金刚线含碳量高、具有杂质的原因，会产生挥发现象，需要金刚线来进给填充，因此磁性平台可以在三轴伺服对中机构的作用下，进行水平移动，当在进行激光焊接时，目标加热光斑对准由两端部及其周围有限空间所组成的熔池部，熔池部开始熔化后，使断线的两端部相向移动，相互接触，实现更好的融合。其中，三轴伺服对中机构中的伺服电机采用定量进给的方式，使金刚线向前伸出。

在此过程中，为了实现对断线的有效控制，防止断线发生位移或者旋转，  
设：

压块质量为  $m$ ；

磁性平台中 V 型槽的夹角为  $\alpha$ ；

V 型槽的两个斜面分别受到垂直压力  $F_1$ 、 $F_2$ ；

假设金刚石颗粒为圆柱形，直径为  $0.005\text{mm}$ ；

与磁性平台单位面积所接触的断线的质量为  $m_1$ ；

通过气缸向所述压块施加的压力为  $F$ ；

设人造金刚石抗压强度为  $2000\text{Mpa}$ ；

设接触面有  $N$  颗金刚石颗粒；

则有：

$$[(m_1 + m) * g + F] * 1/2 * \cos \alpha/2 = F_1 = F_2$$

$$[(m_1 + m) * g + F] * 1/2 * \cos \alpha / (N * \pi * 0.00000625) < 2000\text{Mpa}$$

最后得出，通过气缸向所述压块施加的压力  $F < [78500 * N / (\cos \alpha/2)] - (m_1 + m) * g$ 。

气缸向压块施加的压力  $F$  需要满足上式，才能保证金刚颗粒不被压碎，并且保持有效的压紧力，避免金刚线扭转、位移。

另外地，金刚线焊接强度与焊接面积、熔池焊接质量成正比，所以焊接过程保证金刚线两端面的同心度极其重要，两端部截面的相对平行度、截面及截面边缘的平整度决定了焊缝的焊接质量的好坏。传统方式是利用直刃进行切割，这样所获得的金刚线易变形，包括截面边缘易卷边、断面呈斜面、断面呈直线等，在此条件下切断的金刚线无法保证焊接质量。

因此，本实施例中，在对两端部进行断面剪切时，采用双刃环切刀具，沿着断线某一截面的径向方向同时朝内施加剪切力，保证金刚线在切断过程中切

断处外径受力均匀且同时受力，在均匀径向力的作用下沿截面产生应力裂纹，最终在金刚线的端部沿垂直截面断开，形成垂直于断线轴向中心线的焊接截面，保证两端部焊接截面的平行度、截面边缘的平整度，从而保证焊接时断截面更好融合，提高焊接质量。

作为一种实施方式，在进行打磨焊缝时，利用打磨机构包裹住在熔池部上形成的焊缝，所述打磨机构与焊缝的接触面上内嵌有金刚砂，控制打磨机构进行高赫兹微幅交频振动，在高频振动的过程中消除焊缝中的表面气泡及杂质。

由于经过激光焊接后，断线已经实现较高的直径一致性，焊缝处的外径略大于金刚线外径，此时可以直接采用精磨的方式，将打磨机构控制在 30~50kHz/s 的高频率下进行微幅交频振动，直接利用内嵌的金刚砂进行精磨，而且在高频率下，能保证金刚线的外观质量处于较好状态，实现后期在硅片切割过程中的低不良发生率。

参照图 3 至图 5，第二方面，在本公开的实施例中提供一种应用于上述一种金刚线激光焊接方法的焊接系统，包括：

定位机构 11，用于对断线的端部 10 进行定位，使两端部相对；定位机构 11 包括具有 V 型槽 21 的磁性平台 20、压块 22 和三轴伺服对中机构，压块 22 将断线压在磁性平台 20 的 V 型槽 21 上，三轴伺服对中机构控制磁性平台 20 与压块 22 同步移动，实现对中和金刚线进给；其中，图 3 所示为，单个定位机构 11 对断线的其中一个端部 10 进行固定，为了完成金刚线激光焊接，需要利用两个定位机构 11，分别对两个端部进行定位，使两端部相对；

剪切机构，用于分别对两端部进行断面剪切；剪切机构采用双刃环切刀具，在金刚线的端部沿垂直截面断开，形成垂直于断线轴向中心线的焊接截面；

清洗机构，用于分别对两端部进行清洗；通过喷射酒精的方式，将断线表面油脂溶解，去除断线端部的氧化膜和油污，防止焊接过程中产生气孔、夹渣；

视觉检测模块，用于采集两端部的画面，检测计算两端部的同心度，控制定位机构带动两端部自动调整位置，使两端部同心；

激光发生模块，用于产生对准由两端部及其周围有限空间所组成的熔池部的目标加热光斑，并进行激光加热焊接；优选地，激光发生模块为皮秒激光发生器，利用 600nm~700nm 波长的激光对断线的两端部进行阶段性焊接；

检测模块，用于监测熔池部的实时温度及实时晶相，根据实时温度调整激光发生模块的加热功率，判断实时晶相图像与目标晶相图像的匹配度是否大于第一阈值，若大于，控制激光发生模块停止焊接；其中，检测模块包括扫描电子显微镜、近红外热成像模块、处理模块，扫描电子显微镜对熔池部进行实时晶相图像的采集，处理模块对实时晶相图像进行聚类分析，判断实时晶相图像与目标晶相图像的匹配度是否大于第一阈值；近红外热成像模块对熔池部进行监测，得到近红外图像和热成像图像，将近红外图像和热成像图像传输至处理模块进行处理，处理获得近红外图像的灰度级与热成像图像的热分布系数，确定激光发生模块的开关占空比参数，根据开关占空比参数调节激光发生模块的发热功率；

打磨机构，用于对焊缝进行打磨；打磨机构包裹住在熔池部上形成的焊缝，所述打磨机构与焊缝的接触面上内嵌有金刚砂，控制打磨机构进行高赫兹微幅交频振动，消除焊缝中的表面气泡及杂质

退火机构，用于对焊接打磨后的断线进行退火；在金刚线断线焊接过程中会产生大量的热量；焊接完成后，通过室温冷却过程中，一些热能无法释放出来，导致熔池部及熔池部热影响区域产生热应力，从而降低熔池部及熔池部热影响区域材料的抗拉强度；其中，如图 5 所示，在退火机构中，利用夹持装置 31 将金刚线夹持并悬空，利用退火机构的加热极 32 接触熔池部两端，加热极 32 为低电阻合金导体，对熔池部及热影响区域进行加热退火，加热极 32 以外是

绝缘材料 33，防止触电。

相对于现有技术，本发明提供一种金刚线激光焊接方法及系统，在对断线的两端部进行定位时，通过视觉检测模块采集两端部的画面，控制两端部在三轴上自动调整位置，保证同心度；并用目标加热光斑对准熔池部，使熔池部上形成的实时晶相图像与目标晶相图像的匹配度大于第一阈值，通过自动控制和检测的方式，完成焊接工序，最后打磨退火，完成焊接；本焊接方法自动化程度高，而且利用激光发生模块进行激光焊接，加热快，效率高，通过对晶相图像的判断，实现精准自动焊接。

最后需要强调的是，本发明不限于上述实施方式，以上仅为本发明的较佳实施例而已，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。

## 权 利 要 求 书

1、一种金刚线激光焊接方法，其特征在于，包括：

对断线的两端部进行定位，使两端部相对；

分别对两端部进行断面剪切，清洗；

利用视觉检测模块采集两端部的画面，检测计算两端部的同心度，控制两端部自动调整位置，使两端部同心；

将激光发生模块的目标加热光斑对准由两端部及其周围有限空间所组成的熔池部，并开始激光加热焊接；

监测熔池部的实时温度及实时晶相，根据实时温度调整激光发生模块的加热功率，判断实时晶相图像与目标晶相图像的匹配度是否大于第一阈值，若大于，停止焊接；

打磨焊缝，退火，完成焊接。

2、如权利要求1所述的一种金刚线激光焊接方法，其特征在于，在进行激光加热焊接时，将目标加热光斑对准熔池部，使金属熔化、气化形成受热孔，利用视觉检测模块，判断此受热孔中的蒸汽压力与液体金属的表面张力和重力是否达到平衡，若平衡，控制目标加热光斑沿两端部的焊接方向移动，形成焊缝。

3、如权利要求2所述的一种金刚线激光焊接方法，其特征在于，利用近红外热成像模块监测熔池部，得到近红外图像和热成像图像，根据近红外图像的灰度级与热成像图像的热分布系数，确定激光发生模块的开关占空比参数，根据开关占空比参数调节激光发生模块的发热功率。

4、如权利要求3所述的一种金刚线激光焊接方法，其特征在于，将焊接周期划分为若干个阶段，根据不同材质的金刚线，针对每一个阶段，确定对应的

近红外图像的灰度级常数与热成像图像的热分布系数常数，设定对应的开关占空比参数，对断线的两端部进行阶段性焊接。

5、如权利要求4所述的一种金刚线激光焊接方法，其特征在于，所述激光发生模块为皮秒激光发生器，利用600nm~700nm波长的激光对断线的两端部进行阶段性焊接。

6、如权利要求5所述的一种金刚线激光焊接方法，其特征在于，针对不同材质、规格的金刚线，分别设定目标晶相图像，所述目标晶相图像被配置为选取一根金刚线，将激光发生模块的目标加热光斑对准所述金刚线的一局部，在该局部达到蒸汽压力与液体金属的表面张力和重力的平衡，并沿着径向方向完成加热后，采集得到的晶相图像。

7、如权利要求1至6任一项所述的一种金刚线激光焊接方法，其特征在于，将断线的两端部放置于设有V型槽的磁性平台上，利用压块从上至下压住所述断线，并使所述断线的端部伸出磁性平台设定伸长距离，通过气缸向所述压块施加的压力  $F < [78500 * N / (\cos a / 2)] - (m_1 + m) * g$ ，其中，压块质量为  $m$ ，与磁性平台单位面积所接触的断线的质量为  $m_1$ ，磁性平台中V型槽的夹角为  $a$ ，在断线与磁性平台的接触面上金刚石颗粒的数量  $N$ 。

8、如权利要求7所述的一种金刚线激光焊接方法，其特征在于，在对两端部进行断面剪切时，采用双刃环切刀具，沿着断线某一截面的径向方向同时朝内施加剪切力，以使在端部形成垂直于断线轴向中心线的焊接截面。

9、如权利要求8所述的一种金刚线激光焊接方法，其特征在于，在进行打磨焊缝时，利用打磨机构包裹住在熔池部上形成的焊缝，所述打磨机构与焊缝的接触面上内嵌有金刚砂，控制打磨机构进行高赫兹微幅交频振动，消除焊缝中的表面气泡及杂质。

10、一种应用于如权利要求 1 至 9 任一项所述的一种金刚线激光焊接方法的焊接系统，其特征在于，包括：

定位机构，用于对断线的端部进行定位，使两端部相对；

剪切机构，用于分别对两端部进行断面剪切；

清洗机构，用于分别对两端部进行清洗；

视觉检测模块，用于采集两端部的画面，检测计算两端部的同心度，控制定位机构带动两端部自动调整位置，使两端部同心；

激光发生模块，用于产生对准由两端部及其周围有限空间所组成的熔池部的目标加热光斑，并进行激光加热焊接；

检测模块，用于监测熔池部的实时温度及实时晶相，根据实时温度调整激光发生模块的加热功率，判断实时晶相图像与目标晶相图像的匹配度是否大于第一阈值，若大于，控制激光发生模块停止焊接；

打磨机构，用于对焊缝进行打磨；

退火机构，用于对焊接打磨后的断线进行退火。