



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107000112 A

(43)申请公布日 2017. 08. 01

(21)申请号 201580063322.3

(22)申请日 2015.09.23

(30)优先权数据

1458947 2014.09.23 FR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.05.22

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2015/071825 2015.09.23

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/046252 FR 2016.03.31

(71)申请人 ADM28有限责任公司

地址 卢森堡卢森堡市

(72)发明人 吉勒·阿弗里劳德

让-保尔·曲科勒朗代

塞缪尔·费雷拉

(74)专利代理机构 北京汉德知识产权代理事务所(普通合伙) 11328

代理人 钱莺勤 陈曦

(51)Int.Cl.

B23K 20/06(2006.01)

H05B 6/36(2006.01)

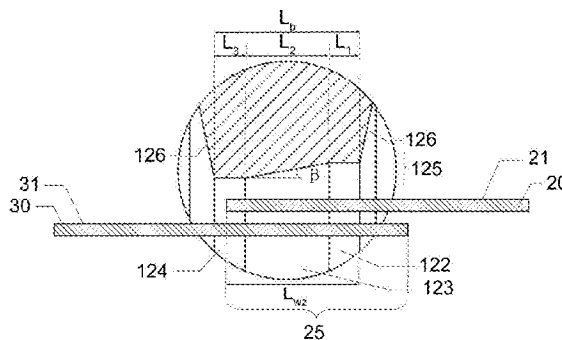
权利要求书1页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

用于管状零件的磁脉冲焊接的线圈和相关焊接方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于管状零件的磁脉冲焊接的线圈(10),其包括一个具有有效表面(121)的有效部分(125),该有效表面布置为与管状零件之间的搭接区域相对,且定义了一个朝向轴向方向的管状开口(12)。有效表面(121)具有给定的轴向长度(L<sub>b</sub>)。根据本发明,管状开口(12)在轴向方向(XX')上沿周缘表面的轴向长度(L<sub>b</sub>)具有两个具有恒定截面的部分(122、124),这两个部分之间通过一个具有递增截面的部分(123)连接。本发明进一步涉及一种相关的磁脉冲焊接方法。



1. 一种用于管状零件的磁脉冲焊接的线圈(10),包括一个有效部分(125),该有效部分(125)的一个表面称为周缘表面(121),该周缘表面(121)朝向所述管状零件的一个相互搭接区域(25)的一个工作区域,该周缘表面(121)限定了沿轴向方向(XX')延伸的管状筒(12)形式的一个区域,且具有给定轴向长度(L<sub>b</sub>),

其特征在于,所述管状筒(12)沿所述轴向方向(XX'),在所述周缘表面的所述轴向长度(L<sub>b</sub>)上包括一个截面单调递增的部分(123)和两个恒定截面部分(122、124),所述两个恒定截面部分(122、124)通过所述一个截面单调递增的部分(123)连接在一起的。

2. 根据权利要求1所述的线圈,其中所述有效部分(125)包括在所述周缘表面(121)任意一侧上定义所述管状筒(12)的倒角和/或倾斜部分(126)。

3. 根据前述权利要求中任一项所述的线圈,包括一个包括有效部分的集磁器。

4. 一个焊接组,其包括如权利要求1至3中任一项所述的线圈和两个管状零件,所述两个管状零件优选地布置为一个同轴地位于另一个之中,位于所述线圈中适当位置,优选地设置在所述管状筒(12)中,以使全部或部分所述搭接区域(25)朝向所述有效部分(125)。

5. 一种用于两个管状零件的磁脉冲焊接的方法,其特征在于所述方法包括以下步骤:

-将所述管状零件相对于彼此布置以形成一个工作区域,该工作区域朝向如权利要求1至3中任一项所述的线圈的所述周缘表面(121),从而使其中一个所述零件的一端设置在所述管状筒(12)的最小截面处,

-使所述工作区域受到磁场作用,以使压力施加在其中一个所述管状零件的一个壁上,并挤压其紧靠另一个所述管状零件的一个壁以使它们永久接合。

6. 根据权利要求5所述的磁脉冲焊接方法,其中称为内部零件(30)和外部零件(20)的所述管状零件布置为所述外部零件(20)的所述端设置在所述管状筒(12)的最小截面处。

## 用于管状零件的磁脉冲焊接的线圈和相关焊接方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及焊接领域,且更具体地说,涉及用于将零件永久地组装在一起的磁脉冲焊接领域。本发明特别涉及用于管状零件焊接的线圈的改善的实施方式。

### 背景技术

[0002] 磁脉冲焊接属于冲击焊接方法领域,该方法能够通过两个金属零件在搭接区域中彼此压靠使两者接合。这种磁脉冲焊接方法的原理主要基于通过由线圈产生的电磁力对零件的高速冲击。

[0003] 通常,用于实施这种磁脉冲焊接方法的系统包括一个或多个与线圈连接的电容,以生成短暂而强烈的磁场。一个或多个电容用于储存大量的电能。生成的强烈的磁场是将这些电能非常快速地释放至线圈中的结果。

[0004] 为了通过这种方法实现将两个零件焊接在一起,至少在所谓的搭接区域上预先将两个零件彼此叠置。将线圈设置在该搭接区域处。称为外部零件的零件是靠近线圈放置且不与之接触的零件,称为内部零件的零件是最远离线圈的零件。预先储存在(多个)电容中的大量电能以非常高强度的可变电流形式,在很短的时间内突然地释放到线圈中。举例来说,一些系统在几微秒内电流可以达到几十万安培。电流在线圈和外部零件之间产生一个可变磁场,并且在外部零件中感应出涡电流。这些与周围磁场相关联的涡电流在外部零件中形成称为洛伦兹力的相当大的体积力。这些力使外部零件产生朝向内部零件的巨大加速度。外部零件在内部零件上的碰撞速度可升高至几百米/秒。当满足某些冲击条件,特别是碰撞角度和碰撞速度时,产生冲击,这种冲击一方面,喷射材料将会清洁两个零件的表面;另一方面,压力将会使两个零件材料的原子彼此抵靠以克服它们的自然排斥力,从而形成无熔融的金属接合。然后,外部零件的壁不仅从冶金学观点上被连接至内部零件的壁,还发生了残余变形。

[0005] 这种磁脉冲焊接方法通常用于通过所谓的环形线圈对管状零件进行组装。

[0006] 这种磁脉冲焊接方法的一个优点在于在固体状态对两个零件进行组装,这使得可以解决涉及材料熔融的传统焊接中的所有已知问题。这样能量损失极小,因此待焊接零件不会升温很多。在焊接过程中零件不发生熔融,从而能够组装具有不同熔点的材料。

[0007] 但是,磁脉冲焊接方法存在需要强电流以将零件焊接在一起的缺点。使用这种强度在线圈中产生高温和相当大的应力,可导致线圈不可逆的损坏,例如线圈裂缝或熔化。

[0008] 这种方法的另一个缺点也在于生成的焊缝的质量。这种焊接不能确保两个零件之间的接触。

[0009] 焊接必须考虑一些参数,尤其是碰撞角度和碰撞速度。这两个参数与线圈和两个待焊接零件的初始相对位置、零件的材料和所用电流信号相关。

[0010] 扼要重述,碰撞速度是两个零件之间的径向碰撞速度。还对与零件相切的碰撞点速度进行了定义。碰撞速度与碰撞点速度通过碰撞角度相关联。这些碰撞速度和碰撞点速度在冲击后发生变化。碰撞点速度可升高至几千米/秒。

[0011] 碰撞角度定义为碰撞时两个零件的壁之间的夹角。碰撞角度是动态的,即它在碰撞期间发生改变,特别是因为外部零件不均匀地变形。

[0012] 每对材料取决于焊接窗口,即一组能够产生良好质量焊缝的参数(碰撞角度、碰撞点速度)。改变其中一个参数可对焊缝质量产生影响。尤其是随着碰撞期间碰撞角度的变化,很难保持在焊接窗口内。

## 发明内容

[0013] 本发明的目的在于弥补这些缺点。

[0014] 本发明的目的特别在于提供一种有效解决方案,使得可以焊接管状零件,同时确保物体通过这种焊缝获得机械强度,并且保证良好的焊缝。

[0015] 因此,本发明涉及一种用于管状零件的磁脉冲焊接的线圈,其包括一个有效部分,该有效部分的一个称为周缘表面的表面适于设置为朝向管状零件的一个相互搭接区域。

[0016] 管状零件应该理解为至少在它们搭接区域中的整体长度或部分长度上为管状形式的零件。

[0017] 有效部分应该理解为线圈中由电能储存单元输出的电流集中和流通,以在线圈孔中生成磁场的区域。有效区域的厚度基本上对应表层厚度。在高频率下,电流在低于对应表层厚度的厚度上流通。磁脉冲焊接中应用的频率为几十千赫兹,其对应例如由钢材制成的线圈的几毫米的表层厚度。

[0018] 周缘表面优选地以管状筒形式限定焊接管状零件的区域。将管状零件相对彼此布置,以在它们的叠加位置形成搭接区域,然后插入线圈的管状筒中,并朝向线圈的周缘表面,在其中通过由线圈产生的磁场在工作区域进行焊接。

[0019] 工作区域为搭接区域中朝向有效部分的部分。该工作区域具有对应于内部零件和外部零件之间的最大焊接长度相对应的工作长度 $L_{wz}$ 。

[0020] 当管状零件布置在线圈的管状筒中并通过固定装置固定在适当位置时,管状筒沿轴向方向延伸,基本上等同于管状零件的轴向方向。周缘表面在轴向方向具有一个给定轴向长度。

[0021] 根据本发明,管状筒沿轴向方向在周缘表面的轴向长度上具有一个递增截面。

[0022] 周缘表面的轴向长度尺寸设定为允许在零件之间产生预定长度的焊缝。这个预定长度为焊接长度。优选地,周缘表面的轴向长度至少等于焊接长度。

[0023] 线圈的这种形式,通过管状筒的截面在线圈的周缘表面的轴向长度上的改变,有利地使得可以改变线圈和最靠近线圈周缘表面称为外部零件的零件之间的间隙,调整基本参数碰撞点速度和碰撞角度。当引入外部零件使其一端位于管状筒的最小截面处时,这种管状筒剖面使得可以保持基本上恒定的碰撞角度,这使得可以保持在该对待焊接管状零件材料的焊接窗口内更长时间。加长了两个零件之间的焊接长度,从而提高了组件的机械强度。

[0024] 根据本发明的线圈的另一个优点在于降低了温度和塑性变形方面的最大应力,其由线圈中通过的非常高强度的电流产生且作用在线圈上。线圈管状筒剖面的变化导致有效区域中的电流分布的变化。实际上,所涉及的参数之一为线圈的周缘表面和外部零件之间的距离。随着线圈周缘表面和外部零件之间的距离增加,有效部分中的电流密度减小。由于

电流密度实际上与该距离成反比,因此根据本发明线圈管状筒的剖面可以增加与线圈中电流密度最高区域的距离。因此减小了该区域中的应力。线圈的寿命明显提高。

[0025] 根据优选的实施方案,本发明还具有下列单独地应用或者以在技术上可行的组合来应用的特征。

[0026] 根据优选的实施方式,管状筒沿轴向方向在周缘表面的整个轴向长度上具有一个递增截面。

[0027] 根据优选的实施方式,管状筒在周缘表面的轴向长度上具有两个恒定截面的管状部分和一个截面单调递增的管状部分,两个管状部分通过一个截面单调递增的管状部分连接在一起。

[0028] 根据优选的实施方式,为减少在管状零件焊接期间线圈中的塑性变形,有效部分包括位于限定管状筒的周缘表面任意一侧上的倒角和/或阶梯(shelved)部分。

[0029] 根据优选的实施方式,线圈包括一个包括有效部分的集磁器。集磁器设置在外部和线圈的周缘表面之间。然后在集磁器中生成有效部分。

[0030] 有利地是集磁器是一种可替换零件,并且能够为多个应用(圆柱形零件直径的改变等)保留一个或同一个线圈。

[0031] 根据其至少一个实施方式,当管状零件位于线圈中适当位置时,线圈与管状零件形成焊接组。优选地将两个管状零件布置为一个同轴地位于另一个之中,并且设置在管状筒中以使全部或部分搭接区域朝向有效部分。

[0032] 本发明进一步涉及一种用于两个管状零件的磁脉冲焊接的方法。该方法包括以下步骤:

将管状零件相对于彼此布置以形成一个工作区域,其朝向根据其中至少一个实施方式的线圈的周缘表面,以使其中一个零件的一端设置在管状筒的最小截面处,

使工作区域受到磁场作用,使压力施加在其中一个管状零件一个称为外壁的壁上,并将其紧密地压靠在另一个零件称为外壁的壁上,以使它们永久接合;这个步骤称为焊接步骤。

[0033] 将两个管状零件设置为一个位于另一个之中以形成搭接区域。将两个管状零件布置在线圈中,以使位于搭接区域中的工作区域位于线圈的管状筒中,朝向周缘表面。

[0034] 在一个优选实施方式中,最靠近线圈的零件,即外部零件设置为使其一端位于管状筒的最小截面处。

[0035] 在一个优选实施方式中,当管状筒在周缘表面的轴向长度上具有两个恒定截面的管状部分,且通过一个截面单调递增的管状部分连接在一起时,设置最靠近线圈的零件,使其一端位于具有最小截面的管状部分处。

[0036] 在焊接步骤中,工作区域受到源自线圈有效部分的磁场的作用,从而使压力施加在最靠近线圈的管状零件的外壁上,并且挤压其紧靠另一个管状零件的外壁,以使它们永久接合。

[0037] 因此,当工作区受到由线圈产生的磁场作用通过压力确保焊接时,两个管状零件通过施加在最靠近线圈的管状零件上且朝向另一个管状零件的速度和变形而彼此紧密地压靠。

[0038] 这种方法能够在焊接步骤中保持两个管状零件之间的碰撞角度基本上恒定,这使

得能够保持在一对组成待焊接管状零件的材料的焊接窗口内。因此,改善了产生的焊缝并增加了焊接长度。

[0039] 这种方法还可以提高在焊接步骤中线圈对热应力和塑性变形的耐受强度。

### 附图说明

[0040] 通过阅读以下参照附图给出的说明,将有助于更好地理解本发明。

[0041] 图1是示意性地表示根据本发明实施方式的用于磁脉冲焊接的线圈的立体图;

图2是示意性地表示图1中的线圈的一个前视图;

图3是表示图2中的线圈沿直线AA的横截面,其中所示为该线圈有效表面的剖面;

图4是表示图3中的线圈有效部分剖面的部分放大图;

图5所示为对于相同对材料,由现有技术的线圈和根据本发明实施方式的线圈获得的焊接距离之间的对比;

图6a和图6b所示为现有技术的线圈和根据本发明实施方式的线圈中产生温度的测量之间的对比。

### 具体实施方式

[0042] 图1至图4所示为根据第一实施方式的用于两个管状零件20、30的磁脉冲焊接的线圈10。两个零件20、30由金属材料制成。

[0043] 线圈10组成了磁脉冲焊接设备的主要部分,磁脉冲焊接设备进一步包括一个储存单元50和一个或多个开关51。

[0044] 储存单元50适于用来储存例如几十千焦(KJ)数量级的高能量。

[0045] 在一个优选的实施方式中,储存单元是一个放电电容电池。

[0046] 线圈适于用来产生集中在限定空间中的磁场,这部分在后面进行叙述。

[0047] 将称为外部零件20的第一圆柱形管状零件的直径基本上大于称为内部零件30的第二圆柱形管状零件的直径,从而使内部零件30使用时穿入外部部件20。

[0048] 两个圆柱形管状零件20、30布置为一个同轴地位于另一个之中,以在它们叠加位置形成所谓的搭接区域25,然后通过线圈10在全部或部分搭接区域中进行焊接。

[0049] 优选地,搭接区域25位于至少一个零件的一端,例如外部零件20的一端。

[0050] 当两个管状零件位于线圈中适当位置时,线圈和两个管状零件形成一个焊接组。

[0051] 在一个未示出的实施方式中,当外部零件20由呈现出非常低的导电性材料(例如钢材)制成时,一个称为顶推件(pushers)的中间零件(优选为圆柱形管状的)抵靠外部零件的外壁。这个中间零件呈现出良好的导电性。

[0052] 呈现出非常低导电性的材料应该理解为电导率小于10MS/m的材料。

[0053] 通常称为环形线圈的线圈10包括一个主体11,其具有一个通过周缘表面121限定的管状筒12。管状筒设计为容纳两个零件20、30,从焊接时的视角看布置为一个位于另一个之中。

[0054] 主体11具有一个第一侧面111的和与第一侧面相对的第二侧面112。

[0055] 主体11由在以下方面呈现特定特性的材料制成:一方面机械抗塑性变形,以使几十万安培数量级的高强度电流在其中流通,另一方面,耐高温(即高熔点),以使其在焊接期

间不会熔化。

[0056] 在实施方式的一个示例中,主体材料由钢材制成。

[0057] 主体11进一步包括从管状筒12径向延伸的一个缝隙13。两个对称地相对的接触板14a、14b在缝隙13的任意一侧上延伸。

[0058] 接触板14a、14b包括用于固定装置(未示出)穿过的通孔15a、15b,固定装置适于将线圈固定到与能量储存单元50和(多个)开关51连接的基座(未示出)。

[0059] 当(多个)开关51闭合时,线圈10的接触板14a、14b与储存单元50连接,且高强度电流在线圈10中流通,从而产生磁场。

[0060] 线圈设计用于使线圈中一个区域中的电流密度足够满足焊接条件。这个区域称为有效部分125。例如,在专利文件W0 2012/103873中有描述。

[0061] 在该实施方式所描述的环形线圈中,电流通过穿过其中一个接触板,然后进入线圈10并从另一个接触板流出而流通。该电流集中在有效部分125的由周缘表面121限定的一个层上,该层朝向外围零件20的外壁且该层的厚度对应于表层厚度相。电流在管状筒12中生成一个集中磁场。

[0062] 在由钢材制成的线圈的非限定性示例中,对于几十千赫兹的频率,表层厚度为几毫米数量级。

[0063] 将两个零件20、30有利地设置在管状筒中,以使全部或部分搭接区域25朝向有效部分125。

[0064] 朝向有效部分125的搭接区域25称为工作区域。该工作区域具有预定的长度,称为工作长度 $L_{wz}$ 。工作长度 $L_{wz}$ 对应内部零件和外部零件之间最大的焊接长度。实际上,焊接长度基本上小于这个工作长度。

[0065] 为在两个零件之间,两个圆柱形管状零件20和30的全部外圆周上产生恒定且相当的焊缝,管状筒12优选为圆柱形,与两个待焊接的圆柱形管状零件一样。

[0066] 外部零件20直径小于管状筒12的最小直径。

[0067] 周缘表面121轴向长度 $L_b$ 尺寸设为至少等于搭接区域的工作长度 $L_{wz}$ 。

[0068] 管状筒12有利地在线圈周缘表面121的轴向长度 $L_b$ 上,沿着从第二侧面112开始到第一侧面111的方向,具有递减的截面。

[0069] 换言之,管状筒12的直径沿着从第二侧面112开始到第一侧面111的方向逐渐减小。

[0070] 在一个优选的实施方式中,管状筒12在周缘表面121的轴向长度 $L_b$ 上,沿着从第二侧面112开始到第一侧面111的方向,具有连续的三段:

- 宽度为 $L_1$ 的第一段122,其具有恒定截面,
- 宽度为 $L_2$ 的第二段123,其具有单调递减的截面,
- 宽度为 $L_3$ 的第三段124,其具有恒定截面,

换言之,管状筒第三段124的直径 $d_3$ 小于第一段122的直径 $d_1$ 。

[0071] 第二段由倾斜角度 $\beta$ 限定。

[0072] 因为管状筒12在第三段124的截面最小,所以线圈中流通的电流强度水平在第三段中将会较高。此外,磁场线靠的更近且磁压更高。因此,外部零件20位于第三段124中的部分在后述焊接方法中将会有更大的加速度。

[0073] 另一方面,因为管状筒12在第一段122的截面最大,所以线圈中流通的电流密度在第一段中将会较低,这降低了第一段中的磁压。此外,在第一段中线圈所受机械应力和热应力较小。

[0074] 有利地,这种管状筒剖面使得可以使用向线圈传送低能量的储存单元,从而改善了线圈的热耐受强度和结构耐受强度。这种传送低能量的储存单元也具有经济效益。

[0075] 这种管状筒剖面还能够限制线圈在第三段上的应力,从而能够提高线圈的寿命。

[0076] 这种有效表面剖面还能有利地调整线圈10和外部零件20之间的间隙,该间隙对碰撞点速度和碰撞角度这些基本参数有影响。当引入外部部件20使其一端位于截面最小的第三段124处,这种剖面可以将基本参数保持在该对材料的可焊性窗口内更长时间,该对材料组成待焊接零件。从而改善外部零件20和内部零件30之间焊缝的质量和效果。

[0077] 在一个优选的实施方式中,第三段124的长度 $L_3$ 小于第一段122的长度 $L_1$ 。

[0078] 在一个优选的实施方式中,长度 $L_3$ 等于周缘表面121的轴向长度 $L_b$ 的10%,长度 $L_1$ 等于周缘表面121的轴向长度 $L_b$ 的30%,且第二段123的斜坡呈现为 $15^\circ\beta$ 角。

[0079] 减小的长度 $L_3$ 和呈现为夹角 $\beta$ 的斜坡将应力转移至管状筒12的第三段124。

[0080] 在另一个实施方式中,当使用顶推件时,第三段长度 $L_3$ 等于第一段122的长度 $L_1$ 。

[0081] 在该实施方式的一个优选示例中,对于由钢制成的线圈,宽度 $L_3$ 和宽度 $L_1$ 等于有效表面121宽度 $L_b$ 的20%,且第二段123的斜坡具有 $10^\circ\beta$ 角。

[0082] 在图1和图3所示出的实施方式中,为承受线圈中流通的电流并增强线圈,主体在第一侧面111和第二侧面112之间长度为 $L_c$ ,其大于周缘表面121的轴向长度 $L_b$ 。

[0083] 在另一个实施方式中,为进一步明显降低焊接期间线圈的塑性变形,并由此提高机械支撑(hold),有效部分125包括位于管状筒周缘表面任意一侧上的倒角部分126。

[0084] 在另一个实施方式中,为消除磁场线尖峰和/或收缩的影响,管状筒12包括位于周缘表面121任意一侧上的圆形周缘边缘。因此,较好地分配了电流密度,避免了应力集中和温度尖峰。

[0085] 现在对使用这种线圈的焊接方法的一个示例进行描述。

[0086] 为通过磁脉冲焊接将两个零件焊接在一起,该方法包括将两个待焊接圆柱形管状零件设置在线圈中的第一步骤。

[0087] 将两个圆柱形管状零件设置为一个位于另一个之中以形成搭接区域。

[0088] 将两个圆柱形零件布置在线圈10中,以使工作区域位于线圈的管状筒中,朝向有效部分125。

[0089] 两个圆柱形管状部件通过固定装置(图中未示出)保持在管状筒中彼此同轴地沿着轴向方向 $XX'$ ,并且随线圈的管状筒沿该轴向方向 $XX'$ 延伸。

[0090] 在实施方案的一个优选示例中,设置外部零件20使其一端位于管状筒12的最小截面中,即在第三段124处。

[0091] 该方法然后包括一个磁脉冲焊接步骤。

[0092] 工作区域受源自线圈有效部分的磁场的作用,从而使压力施加在外部零件的外壁上,或者当需要顶推件时施加在顶推件的外壁上,并挤压使其紧靠内部零件的外壁以使它们永久接合。

[0093] 图5所示为对于同一对给定材料,由现有技术的线圈和根据本发明实施方式的线

圈获得的焊接距离。

[0094] 现有技术的线圈和根据本发明实施方式的线圈呈现以下相同特征：

- 管状筒直径50 mm，
- 周缘表面121具有8 mm的轴向长度 $L_b$ ，
- 材料由钢材制成，
- 两个待焊接零件之间的距离为2 mm，
- 频率为几十千赫兹。

[0095] 工作长度 $L_{wz}$ 与周缘表面的轴向长度 $L_b$ 相同，换言之为7 mm。

[0096] 现有技术线圈的管状筒具有恒定截面。

[0097] 根据本发明实施方式的线圈的管状筒具有：

- 第一段，其长度 $L_1$ 等于线圈周缘表面轴向长度 $L_b$ 的20%，直径为80 mm；
- 第三段，其长度 $L_3$ 等于线圈周缘表面轴向长度 $L_b$ 的20%，直径为80 mm；
- 第二段，其具有 $10^\circ$ 的倾斜角 $\beta$ 。

[0098] 对于管状零件的给定对材料，无论线圈的管状筒是何种形式，焊接窗口是确定的。这个焊接窗口由亚音速曲线(曲线S)、流体动力学曲线(曲线H)、熔融曲线(曲线F)和过渡曲线(曲线T)限定。图5中的曲线A表示碰撞角度限定为 $20^\circ$ 。关于焊接窗口的更详细解释可以在文献“Explosive welding of aluminum to aluminum: analysis, computations and experiments”, Grigno& all, International Journal of Impact Engineering 30 (2004) p.1333-1351页中找到。

[0099] 在这种焊接窗口中，曲线E表示现有技术线圈一对参数(碰撞角度、碰撞点速度)的趋势。曲线E的较粗部分 $E_g$ 表示焊接距离(差不多曲线上的五个三角形表示5 mm的焊接)。在这个焊接距离上，碰撞角度在 $15^\circ$ 和 $20^\circ$ 之间变化很大，会对焊缝质量产生影响。

[0100] 曲线B表示根据本发明选择的实施方式的线圈的一对参数(碰撞角度、碰撞点速度)的变化。这种线圈能够焊接超过6 mm的区域(曲线上6个圆形代表6mm)。此外可以看出，在对应该距离的大部分情况下，碰撞角度保持约 $16^\circ$ 几乎不变。

[0101] 图6a和图6b图示说明根据本发明第一实施方式的线圈与现有技术的线圈相比较在温度方面特性的模拟结果。

[0102] 现有技术的线圈具有如下特征：

- 管状筒在周缘表面的轴向长度上具有直径为50 mm的恒定截面，
- 周缘表面121具有8 mm的轴向长度 $L_b$ ，
- 材料由钢材制成，
- 两个待焊接零件之间的距离为几毫米，
- 频率为几十千赫兹。

[0103] 工作长度 $L_{wz}$ 与有效部分的轴向长度 $L_b$ 相同，为8 mm。

[0104] 管状零件由例如铝、铜或钢等金属材料制成。

[0105] 根据本发明第一实施方式的线圈具有如下特征：

- 周缘表面121具有8 mm的轴向长度 $L_b$ ，
- 管状筒具有：
  - 第一段，其长度 $L_1$ 等于线圈周缘表面轴向长度 $L_b$ 的30%，直径为50mm；

- 第三段,其长度 $L_3$ 等于线圈周缘表面轴向长度 $L_b$ 的10%,直径为50mm;
- 第二段,其具有 $15^\circ$ 的倾斜角 $\beta$ ;
- 材料由钢材制成,
- 两个待焊接零件之间的距离为几毫米,
- 频率为几十千赫兹。

[0106] 线圈的管状筒在周缘表面的任意一侧上具有倒角。

[0107] 待焊接零件的材料由,例如铝、铜或钢等金属制成,其相同或不同。

[0108] 图6a表示现有技术线圈径向截面的一个横向视图。图6a所示为现有技术线圈温度方面特性的模拟结果。

[0109] 图6b表示根据第一实施方式线圈径向截面的一个横向视图。图6b所示为根据第一实施方式线圈温度方面特性的模拟结果。

[0110] 可以看出现有技术线圈中产生的最高温度为2700K,而根据本发明第一实施方式的线圈中产生的最高温度为2143K,具有550K的温度差。

[0111] 还可以看出,现有技术的线圈的温度明显集中在线圈的周缘表面的边缘上,而根据本发明第一实施方式的线圈的温度分布在线圈的周缘表面的两个边缘上。

[0112] 上面的描述清楚地说明了本发明通过其各种特征和优点实现了其设定以实现的目标。特别是提供了适合焊接由低导热性材料制成的零件的磁脉冲焊接线圈和相关磁脉冲焊接方法。其有利地呈现了孔的周缘表面121处的剖面,从而使焊接期间施加在线圈上的热应力和机械应力明显低,提高了线圈的寿命。这种形式的线圈还能改善零件之间的焊接。

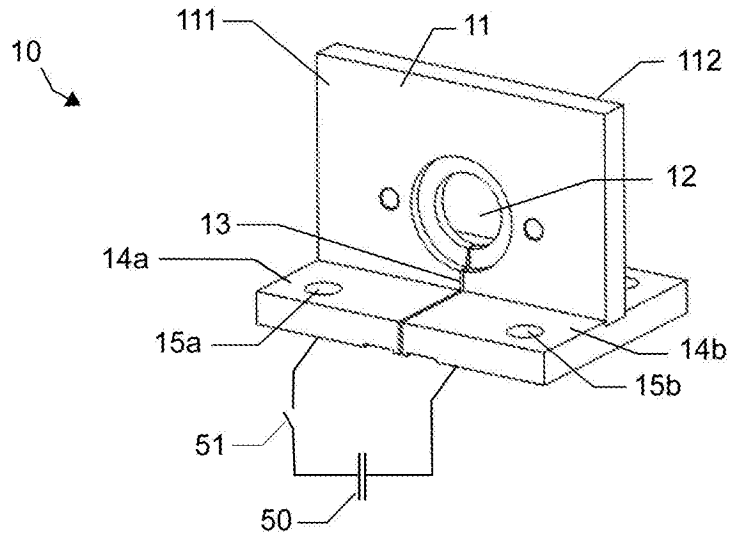


图 1

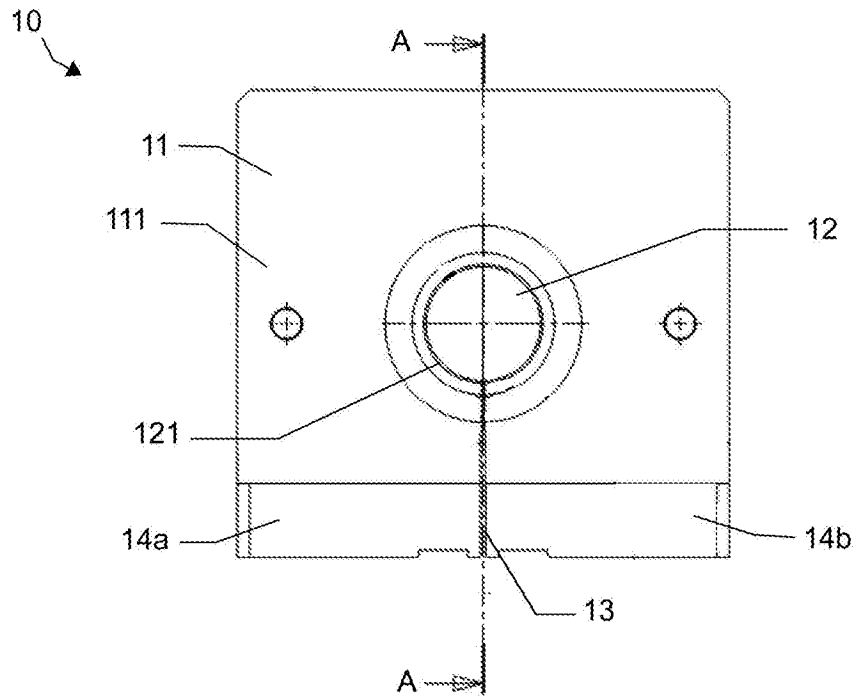


图 2

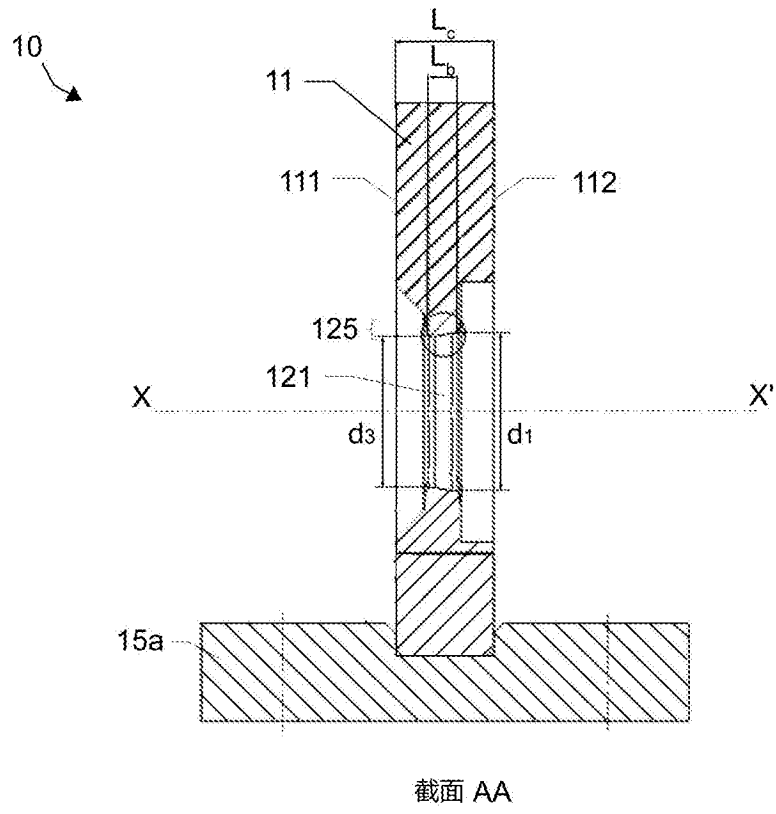


图 3

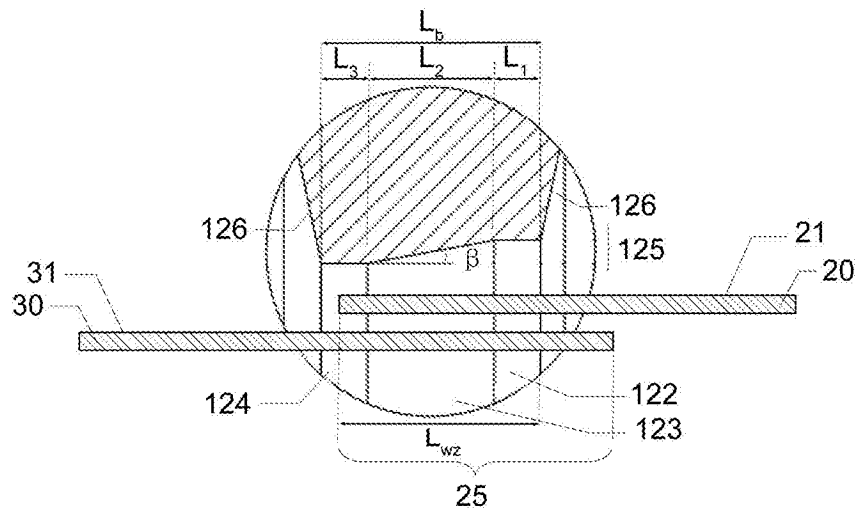


图 4

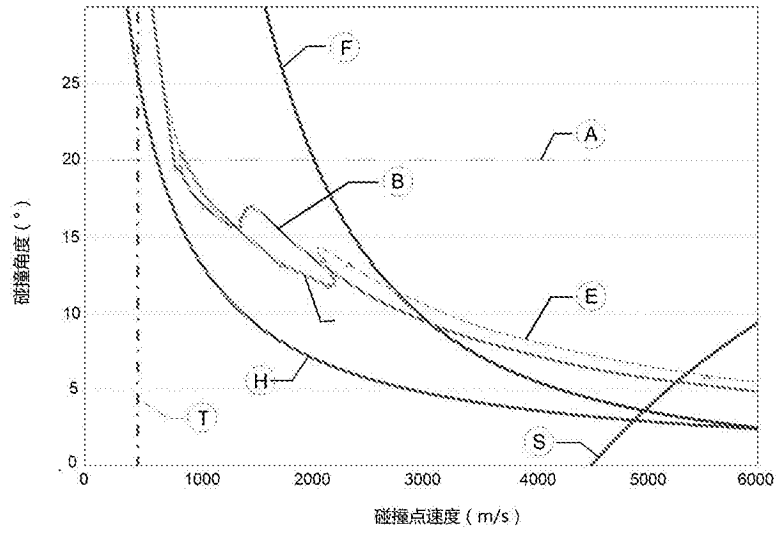


图 5

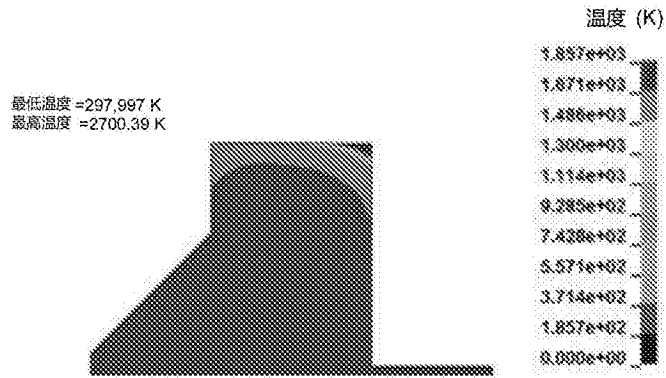


图6a

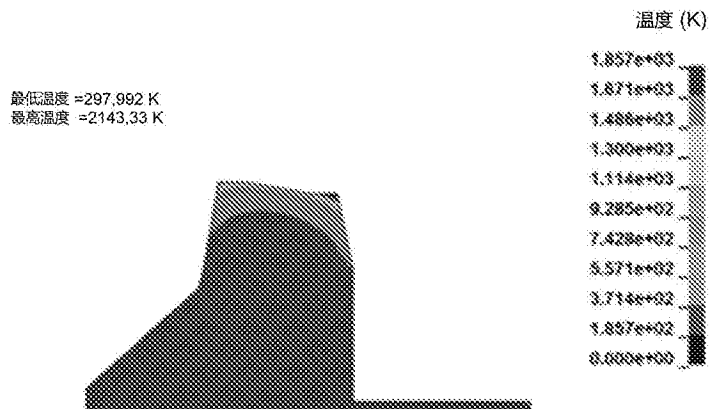


图6b