



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113681128 B

(45) 授权公告日 2023.01.17

(21) 申请号 202110941328.3

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

有限公司 11262

(22) 申请日 2017.06.28

专利代理人 张瑞 杨明钊

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113681128 A

(51) Int.CI.

B23K 9/18 (2006.01)

(43) 申请公布日 2021.11.23

B23K 9/095 (2006.01)

(30) 优先权数据

B23K 103/04 (2006.01)

62/355,367 2016.06.28 US

审查员 贾瑞霞

15/629,195 2017.06.21 US

(62) 分案原申请数据

201710506791.9 2017.06.28

(73) 专利权人 林肯环球股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 特雷沙·A·梅尔菲

纳撒尼尔·P·迈克维克尔

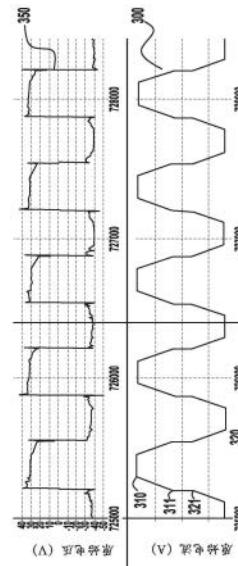
权利要求书3页 说明书11页 附图12页

(54) 发明名称

不锈钢应用的焊接波形

(57) 摘要

本申请涉及不锈钢应用的焊接波形。利用特定的AC焊接波形将奥氏体不锈钢的韧性水平增加至使用相同的焊接耗材利用标准DC焊接波形所实现的韧性水平之上。



1. 一种埋弧焊接方法,包括以下步骤:

提供一种埋弧焊接系统,其中,所述埋弧焊接系统包括:

焊接电源,其生成具有AC焊接输出电流的焊接输出;

焊炬,其耦合到所述焊接电源以接收来自所述焊接电源的所述焊接输出;

送丝器;

L级不锈钢焊接电极,其由所述送丝器递送至所述焊炬;

埋弧焊接焊剂递送系统;以及

控制器,其耦合到所述焊接电源,并根据焊接波形控制所述焊接电源以生成到所述焊炬的所述焊接输出;

通过所述埋弧焊接系统在不锈钢工件上形成焊接,其中,所述焊接是使用所述L级不锈钢焊接电极形成的并且适合于低温应用,在-320°F具有大于40英尺磅的韧性,

其中,所述AC焊接输出电流向DC负极偏置,使得所述焊接输出具有根据等式#1小于0的负效应;

$$\text{负效应} = \left[ 0.7 * \left( \frac{I_{p,p} * B - I_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (I_{p,p} + I_{p,n}) + 0.3 * \left( \frac{V_{p,p} * B - V_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (V_{p,p} + V_{p,n}) \right] * \left( \frac{1}{1000} \right)$$

等式#1

其中:

B是所述L级不锈钢焊接电极被正向充电的时间百分比;

$I_{p,p}$ 是所述焊接输出的电极正极性的峰值电流;

$I_{p,n}$ 是所述焊接输出的电极负极性的峰值绝对电流;

$V_{p,p}$ 是所述焊接输出的所述电极正极性的峰值电压;以及

$V_{p,n}$ 是所述焊接输出的所述电极负极性的峰值绝对电压。

2. 根据权利要求1所述的埋弧焊接方法,其中,所述负效应在-700至0的范围内。

3. 根据权利要求1所述的埋弧焊接方法,其中,所述负效应在-100至0的范围内。

4. 根据权利要求1所述的埋弧焊接方法,其中,所述负效应在-80至0的范围内。

5. 根据权利要求1所述的埋弧焊接方法,其中,所述L级不锈钢焊接电极具有在6和10之间的铁素体数。

6. 一种埋弧焊接方法,包括以下步骤:

提供一种埋弧焊接系统,其中,所述埋弧焊接系统包括:

焊接电源,其生成具有第一焊接输出部分和第二焊接输出部分的焊接输出,其中,所述第一焊接输出部分具有AC焊接输出电流;

焊炬,其耦合到所述焊接电源以接收来自所述焊接电源的所述焊接输出;

送丝器;

L级不锈钢焊接电极,其由所述送丝器递送至所述焊炬;

埋弧焊接焊剂递送系统;以及

控制器,其耦合到所述焊接电源,并根据焊接波形控制所述焊接电源以生成到所述焊炬的所述焊接输出;

通过所述埋弧焊接系统在不锈钢工件上形成焊接,其中,所述焊接是使用所述L级不锈钢焊接电极形成的并且适合于低温应用,在-320°F具有大于40英尺磅的韧性,

其中,所述AC焊接输出电流向DC负极偏置,使得所述焊接输出具有根据等式#1在-700至0的范围内的负效应;

$$\text{负效应} = \left[ 0.7 * \left( \frac{I_{p,p} * B - I_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (I_{p,p} + I_{p,n}) + 0.3 * \left( \frac{V_{p,p} * B - V_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (V_{p,p} + V_{p,n}) \right] * \left( \frac{1}{1000} \right)$$

等式#1

其中:

B是所述L级不锈钢焊接电极被正向充电的时间百分比;

$I_{p,p}$ 是所述焊接输出的电极正极性的峰值电流;

$I_{p,n}$ 是所述焊接输出的电极负极性的峰值绝对电流;

$V_{p,p}$ 是所述焊接输出的所述电极正极性的峰值电压;以及

$V_{p,n}$ 是所述焊接输出的所述电极负极性的峰值绝对电压,并且

其中,所述第一焊接输出部分在所述焊接输出的总时长的35%至95%的范围内。

7. 根据权利要求6所述的埋弧焊接方法,其中,所述负效应在-100至0的范围内。

8. 根据权利要求6所述的埋弧焊接方法,其中,所述负效应在-80至0的范围内。

9. 根据权利要求6所述的埋弧焊接方法,其中,所述L级不锈钢焊接电极具有在6和10之间的铁素体数。

10. 根据权利要求6所述的埋弧焊接方法,其中,所述第一焊接输出部分在所述焊接输出的所述总时长的45%至85%的范围内。

11. 一种埋弧焊接方法,包括以下步骤:

提供一种埋弧焊接系统,其中,所述埋弧焊接系统包括:

焊接电源,其生成具有AC焊接输出电流的焊接输出;

焊炬,其耦合到所述焊接电源以接收来自所述焊接电源的所述焊接输出;

送丝器;

L级不锈钢焊接电极,其由所述送丝器递送至所述焊炬,其中,所述L级不锈钢焊接电极具有在6和10之间的铁素体数;

埋弧焊接焊剂递送系统;以及

控制器,其耦合到所述焊接电源,并根据焊接波形控制所述焊接电源以生成到所述焊炬的所述焊接输出;

通过所述埋弧焊接系统在不锈钢工件上形成焊接,其中,所述焊接是使用所述L级不锈钢焊接电极形成的并且适合于低温应用,在-320°F具有大于40英尺磅的韧性,

其中,所述AC焊接输出电流向DC负极偏置,使得所述焊接输出具有根据等式#1在-700至0的范围内的负效应;

$$\text{负效应} = \left[ 0.7 * \left( \frac{I_{p,p} * B - I_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (I_{p,p} + I_{p,n}) + 0.3 * \left( \frac{V_{p,p} * B - V_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (V_{p,p} + V_{p,n}) \right] * \left( \frac{1}{1000} \right)$$

等式#1

其中:

B是所述L级不锈钢焊接电极被正向充电的时间百分比;

$I_{p,p}$ 是所述焊接输出的电极正极性的峰值电流;

$I_{p,n}$ 是所述焊接输出的电极负极性的峰值绝对电流;

$V_{p,p}$ 是所述焊接输出的所述电极正极性的峰值电压；以及  
 $V_{p,n}$ 是所述焊接输出的所述电极负极性的峰值绝对电压。

## 不锈钢应用的焊接波形

[0001] 本申请是申请日为2017年6月28日,申请号为201710506791.9,发明名称为“不锈钢应用的焊接波形”的申请的分案申请。

[0002] 优先权声明

[0003] 本申请要求2016年6月28日提交的美国临时专利申请号62/355,367的优先权,其全部公开内容通过引用全部结合在此。

### 技术领域

[0004] 在此所描述的本发明总体涉及一种用于焊接不锈钢的方法。

### 背景技术

[0005] 与任何其他技术进步相比,现代世界可能更欠缺对钢的研发。从事实显而易见的是,我们按照冶金能力来称呼整个时代(即,青铜器时代、铁器时代等)。在过去的一个世纪,钢研究和生产已经创造出了在高发电型温度下能够强且硬的钢,同时其仍为较贫钢(1.25重量-%铬,0.5重量-%钼)以及铁素体钢。另一方面,低温作用是普通碳钢和低合金钢的弱点。能够以足够的抗裂性(韧性)承受住低温温度的适当低合金钢还没有研发出来。这类合金可能甚至是不可行的,因为铁素体结晶相在低温下经历了取决于合金系统的延性到脆性的过渡。因此,主要具有奥氏体结晶相的不锈钢和镍基钢用于低温应用。经常,焊接和制造规范要求专门的奥氏体不锈钢,所述规范通过严格控制焊接金属成分确保了焊接熔敷中的低铁素体百分比。

[0006] 目前,埋弧焊接是用于对不锈钢进行电弧焊接的最具生产性的方法之一,但是在标称上匹配埋弧焊接金属的韧性通常比基础材料的韧性低得多(尤其是在这些低温下)。这要求部件和容器设计者在设计上做出让步以适应这些更低韧性的焊接。这还要求制造商按照非常严格的化学成分来购买昂贵的耗材。进一步地,制造商必须严格控制其焊接程序以获得足够的韧性水平。

[0007] 存在如在ASME BPVC.VIII.1-2015UHA-51(a)(3)(-a)(-1)中列出的对奥氏体不锈钢填充金属的铁素体数要求,因为在使用常规焊接工艺时,低温温度下的奥氏体不锈钢的韧性对铁素体含量敏感。然而,利用本发明的不锈钢波形对316L填充金属进行的埋弧焊接证明了相比于用更昂贵的受控铁素体数电极(比如使用常规DC焊接的316LCF)进行焊接,在使用经修改的波形用常规316L电极进行焊接时可以拥有等效至上等韧性。

### 发明内容

[0008] 根据本发明的示例性实施例,描述了一种埋弧焊接系统,所述埋弧焊接系统包括:焊接电源,所述焊接电源生成焊接输出以用于对不锈钢执行焊接工艺,所述焊接输出根据AC焊接波形具有焊接输出电流或焊接输出电压中的至少一个;控制器,所述控制器根据所述焊接波形控制所述焊接电源生成具有期望的负效应(参见等式1)的所述焊接输出。在示例性实施例中,所述期望的焊接影响小于100。然而,在其他示例性实施例中,所述负效应可

以是负数(例如,其可以在-100至100的范围内)。在另外的示例性实施例中,所述负效应可以在-100至0的范围内。另外,本发明的实施例可以用在高电流焊接操作(比如1,000安培)中,并且在这样的实施例中,所述负效应可以在-700至100的范围内,并且在另外的实施例中可以在-700至0的范围内。在另外的示例性实施例中,所述负效应在-80至80的范围内,并且在其他实施例中,所述焊接影响在-80至0的范围内。在SAW型焊接应用中当在300至400安培的范围内进行焊接时,此范围可以提供明显改善的机械性能。

[0009] 进一步公开的是例如利用埋弧焊接系统进行焊接的示例性方法,其中,铁素体数在5至10(包括5和10)之间的更高的铁素体数电极用于对用于低温应用的不锈钢进行焊接,仿佛其是铁素体数小于5的更低的受控铁素体数电极,所述方法包括以下步骤:提供由不锈钢制成的工件,所述工件有待焊接以用在低温应用中;提供焊接电源,所述焊接电源生成焊接输出,所述焊接输出根据非标准AC焊接波形具有焊接输出电流和焊接输出电压中的至少一个;提供控制器,所述控制器根据所述焊接波形控制所述焊接电源生成所述焊接输出,其中,所述焊接输出具有小于100的负效应;以及使用所述焊接波形对所述工件进行焊接,使用埋弧焊剂和铁素体数为10或更少的308L或316L电极,所述产生的焊接的韧性在-320°F (-195.6°C)下大于40英尺磅。

[0010] 本申请还包括以下内容:

[0011] 1)一种电弧焊接系统,包括:

[0012] 焊接电源,所述焊接电源生成焊接输出以用于对不锈钢执行焊接工艺,所述焊接输出具有AC焊接输出电流;以及

[0013] 控制器,所述控制器耦合至所述焊接电源、控制所述焊接电源生成所述焊接输出,其中,所述AC焊接输出电流的极性平衡向DC负极偏置并且根据等式#1具有小于100的负效应;

[0014] 等式1

$$\text{负效应} = \left[ 0.7 * \left( \frac{I_{p,p} * B - I_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (I_{p,p} + I_{p,n}) + 0.3 * \left( \frac{V_{p,p} * B - V_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (V_{p,p} + V_{p,n}) \right] * \left( \frac{1}{1000} \right)$$

[0016] 其中:

[0017] B=电极被正向充电的时间百分比;

[0018]  $I_{p,p}$ =正电极区的峰值电流;

[0019]  $I_{p,n}$ =负电极区的峰值(绝对)电流;

[0020]  $V_{p,p}$ =正电极区的峰值电压;以及

[0021]  $V_{p,n}$ =负电极区的峰值(绝对)电压。

[0022] 2)如1)所述的系统,其中,所述负效应在-700至100的范围内。

[0023] 3)如1)所述的系统,其中,所述负效应在-700至0的范围内。

[0024] 4)如1)所述的系统,其中,所述负效应在-100至100的范围内。

[0025] 5)如1)所述的系统,其中,所述负效应在-100至0的范围内。

[0026] 6)如1)所述的系统,其中,所述负效应在-80至80的范围内。

[0027] 7)如1)所述的系统,其中,所述负效应在-80至0的范围内。

[0028] 8)如1)所述的系统,其中,所述焊接输出为埋弧焊接输出。

[0029] 9)一种电弧焊接系统,包括:

[0030] 焊接电源,所述焊接电源生成焊接输出以用于对不锈钢执行焊接工艺,所述焊接输出具有第一焊接输出部分和第二焊接输出部分,其中,所述第一输出部分具有AC焊接输出电流;以及

[0031] 控制器,所述控制器耦合至所述焊接电源、控制所述焊接电源生成所述焊接输出,其中,所述AC焊接输出电流的极性平衡向DC负极偏置并且根据等式#1具有在-700至100的范围内的负效应;

[0032] 等式1

$$[0033] \text{负效应} = \left[ 0.7 * \left( \frac{I_{p,p} * B - I_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (I_{p,p} + I_{p,n}) + 0.3 * \left( \frac{V_{p,p} * B - V_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (V_{p,p} + V_{p,n}) \right] * \left( \frac{1}{1000} \right)$$

[0034] 其中:

[0035] B=电极被正向充电的时间百分比;

[0036]  $I_{p,p}$ =正电极区的峰值电流;

[0037]  $I_{p,n}$ =负电极区的峰值(绝对)电流;

[0038]  $V_{p,p}$ =正电极区的峰值电压;以及

[0039]  $V_{p,n}$ =负电极区的峰值(绝对)电压,并且

[0040] 其中,所述第一部分在所述焊接输出的总时长的35%至95%的范围内。

[0041] 10) 如9) 所述的系统,其中,所述第一部分在所述焊接输出的所述总时长的45%至85%的范围内。

[0042] 11) 一种电弧焊接的方法,包括以下步骤:

[0043] 生成来自焊接电源的焊接输出,其中,所述焊接输出具有AC焊接输出电流;

[0044] 控制所述焊接输出使得所述AC焊接输出电流的极性平衡向DC负极偏置;以及

[0045] 控制所述焊接输出使得所述AC焊接输出电流的至少一部分根据等式#1具有小于100的负效应:

[0046] 等式1

$$[0047] \text{负效应} = \left[ 0.7 * \left( \frac{I_{p,p} * B - I_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (I_{p,p} + I_{p,n}) + 0.3 * \left( \frac{V_{p,p} * B - V_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (V_{p,p} + V_{p,n}) \right] * \left( \frac{1}{1000} \right)$$

[0048] 其中:

[0049] B=电极被正向充电的时间百分比;

[0050]  $I_{p,p}$ =正电极区的峰值电流;

[0051]  $I_{p,n}$ =负电极区的峰值(绝对)电流;

[0052]  $V_{p,p}$ =正电极区的峰值电压;以及

[0053]  $V_{p,n}$ =负电极区的峰值(绝对)电压。

[0054] 12) 如11) 所述的方法,其中,所述负效应在-700至100的范围内。

[0055] 13) 如11) 所述的方法,其中,所述负效应在-700至0的范围内。

[0056] 14) 如11) 所述的方法,其中,所述负效应在-100至100的范围内。

[0057] 15) 如11) 所述的方法,其中,所述负效应在-100至0的范围内。

[0058] 16) 如11) 所述的方法,其中,所述负效应在-80至80的范围内。

[0059] 17) 如11) 所述的方法,其中,所述负效应在-80至0的范围内。

[0060] 18) 如11) 所述的方法,其中,所述焊接输出为埋弧焊接输出。

[0061] 19) 如11) 所述的方法,其中,所述部分在所述焊接输出的总时长的35%至95%的

范围内。

[0062] 20) 如11) 所述的方法,其中,所述部分在所述焊接输出的所述总时长的45%至85%的范围内。

## 附图说明

[0063] 本发明可以在某些零部件和零部件的安排中采取物理形式,其优选实施例将在说明书中详细描述并且在形成本说明书的一部分的附图中展示,并且在附图中:

- [0064] 图1是示例性埋弧焊接系统的图解表示;
- [0065] 图2是舍夫勒(Schaeffler)图的图解表示;
- [0066] 图3是本焊接系统的焊接波形的一个示例性实施例的图解表示;
- [0067] 图4是本焊接系统的焊接波形的另一示例性实施例的图解表示;
- [0068] 图5是本焊接系统的焊接波形的另一示例性实施例的曲线图的图解表示;
- [0069] 图6是显示了在使用316L电极时对焊接能量吸收的负效应的关系的图表的图解表示;
- [0070] 图7是显示了在使用316LCF电极时对焊接能量吸收的负效应的关系的图表的图解表示;
- [0071] 图8是Suutala图的图解表示;
- [0072] 图9是横向扩展(mm)对比铁素体数的绘图的图解表示;
- [0073] 图10是横向扩展(mm)对比夏比(Charpy)能量(J)的绘图的图解表示;
- [0074] 图11是横向扩展(mm)对比铁素体数的绘图的图解表示;以及
- [0075] 图12是如与本文中所描述的示例性工艺相比的常规工艺的熔敷速率的图解表示。

## 具体实施方式

[0076] 现在将对本发明的系统和方法的示例性实施例进行描述。示例和附图仅仅是说明性的而不意味着要限制本发明,本发明通过权利要求书的范围和精神来衡量。具体地,当在埋弧焊接系统的上下文中讨论本文中所描述的本发明的示例性实施例时,那些讨论是示例性的,因为本发明的实施例可以与其他已知的焊接系统(比如GMAW、GTAW等)一起使用而不脱离本发明的精神和范围。具体地,对使用埋弧焊接系统的以下实施例的讨论旨在是示例性的而非限制性的,而可以采用本发明的实施例的其他系统(其操作和结构是公知的)为了效率起见不需要在本文中进行描述。

[0077] 如本文中所限定的,在等式1中示出的“负效应”表示单个波形的聚合负偏置,将电流和电压的影响、其峰值幅值、以及在正向和负向充电区中花费的时间考虑在内。

[0078] 等式1

$$\text{负效应} = \left[ 0.7 * \left( \frac{I_{p,p} * B - I_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (I_{p,p} + I_{p,n}) + 0.3 * \left( \frac{V_{p,p} * B - V_{p,n} * (100 - B)}{100} \right) * (V_{p,p} + V_{p,n}) \right] * \left( \frac{1}{1000} \right)$$

[0080] 其中:

[0081] B=电极被正向充电的时间百分比

[0082]  $I_{p,p}$ =正电极区的峰值电流

[0083]  $I_{p,n}$ =负电极区的峰值(绝对)电流

[0084]  $V_{p,p}$  = 正电极区的峰值电压

[0085]  $V_{p,n}$  = 负电极区的峰值(绝对)电压

[0086] 不锈钢是能够满足广泛范围的设计标准的工程材料。其展现了极好的抗腐蚀性、高温下的强度、低温下的韧性和制造特性，并且其被选择用于广泛的消费者、商业和工业应用中。在不锈钢产品、部件或设备的制造中，制造商采用焊接作为主要的接合方法。不锈钢是可焊接材料，并且焊接接合可以提供最佳的抗腐蚀性、强度和制造经济性。

[0087] 通过限定，不锈钢为包含10%或更多铬的铁基合金，铬赋予了抗腐蚀性能，不锈钢由于所述抗腐蚀性能而受到如此高度的重视。可以增加铬含量并且添加或调整其他合金元素以满足特定的最终用途或制造要求。在焊接不锈钢期间，与焊接邻近的基础金属的温度达到发生微结构变换的水平。就抗腐蚀性和机械性能而言，发生这些改变的程度及其对成品焊件的影响取决于合金含量、厚度、填充材料、接合设计、焊接方法和焊接工技能。

[0088] 焊接金属的微结构强烈地影响凝固开裂的易发性。相比于含有奥氏体矩阵中的某种δ铁素体或游离铁素体的焊接金属，具有全奥氏体微结构的焊接金属对促进凝固开裂的条件敏感得多。因此，在任何可能的情况下采用含铁素体的奥氏体焊接结构。舍弗勒图用于判定指定的焊接金属成分是否将包含δ铁素体并且确定大致的百分比。关于焊接熔敷中需要多少铁素体来防止开裂，根据焊接研究委员会(Welding Research Council)，ASME和NRC均已采用以下策略：最低5个FN的焊接耗材以用在核工作中，以及在任何多通道焊接中最低3个FN以防止凝固开裂。如在图8中所展示的，更高的铬<sub>当量</sub>/镍<sub>当量</sub>值等效于更高的FN数。因此，与本发明一起利用更高的铁素体电极移动远离了在Suutala图中示出的~1.5铬<sub>当量</sub>/镍<sub>当量</sub>的开裂阈值。

[0089] 本发明涉及使用埋弧焊接(“SAW”)对用于低温应用的不锈钢进行焊接以及其他类型的焊接方法论。也就是说，本发明的实施例采用由在焊丝(固体金属或有芯的)与工件之间传递的电流来生成熔融金属所需要的热量的方法。如通常已知的，在埋弧焊接焊丝的尖端时，电弧和工件焊接区域被颗粒状矿物焊剂层覆盖。不存在可见电弧并且不存在火花和喷溅。焊接焊剂通过料斗管连续馈送并且将自身连续分布在焊接区前面较短距离处的缝隙之上，其中的某种焊接焊剂熔化形成熔渣覆盖。焊剂保护焊接区不与大气接触。少量的焊剂发生熔融。此熔融部分用于若干功能。所述熔融部分完全覆盖焊接点的顶表面，防止了大气气体污染金属并且通过与杂质结合并浮置到表面上来将杂质从钢水中清除。熔化的焊剂与焊池的相互作用也可以是将某些合金元素添加到焊接中的媒介。

[0090] 图1描绘了示例性埋弧焊接系统100。因为埋弧焊接系统的结构、构造和操作是众所周知的，因此本文中将不详细地对它们进行讨论。类似地，因为其他系统(比如GMAW、GTAW等)是众所周知的，因此本文中将不详细地对它们进行讨论。如在图1中所示出的，系统100包括电源110，所述电源可以是可用于埋弧焊接或其他焊接工艺的任何已知类型的电源。电源110可以使用功率转换器部件(比如整流器、升压电路、升降压电路或降压电路、PWM、逆变器等)来将输入功率(比如来自市电电网)转换成具有用于焊接的电流和电压的输出焊接波形。这个生成的焊接信号经由焊接电缆、焊炬等被输出用于焊接操作。这类焊接电源的构造、设计和操作是众所周知的并且不需要在本文中详细描述。电源可以具有内置的(或可以耦合至)控制系统120，所述控制系统控制和/或调节电源110的操作。为清晰起见，控制系统120在图1中示出为单独部件，然而，如已知的，控制系统120可以内置于电源110中。控制系统

统120的操作和构造是公知的，并且可以包括控制电源110提供适合的或期望的焊接输出的CPU、控制器等。也就是说，控制系统120可以耦合至功率输出部件(比如根据期望的波形塑造和输出焊接信号的PWM或逆变器)。控制系统(比如本文中所描述的类型)是众所周知的并且其使用和操作不需要在本文中详细描述。控制系统120还耦合至从源130馈送耗材/丝131的送丝器140(具有已知构造)。丝131被提供至具有已知构造的焊炬150，所述焊炬将焊接电流/信号送到丝131以用于焊接操作。在埋弧焊接操作中，经由焊剂料斗系统160提供焊接焊剂。在图1中示出的系统100旨在是本发明的焊接系统的示例性表示，并且当然，本领域的普通技术人员将理解的是，其他焊接系统和系统配置可以与本发明的示例性实施例一起使用。例如，可以采用焊剂恢复系统，所述系统可以是GTAW或GMAW型系统以及其他系统。另外，本文中所描述的示例性焊接系统的控制和操作是已知的并且在本领域的技能之内。例如，已知的是，控制系统接收和利用来自焊接操作的反馈以及用户输入信息，并且使用此信息来控制电源的焊接输出以提供期望的波形。因为这样，控制系统120的构造和操作不需要在本文中详细描述。例如，已知控制系统120可以具有用户界面(用于焊接参数的输入)、控制器、CPU、存储器等。这些部件用于如期望的那样控制焊接波形的输出并且用于如本文中更充分地描述的那样实现期望的负效应。

[0091] 再次，虽然本发明的实施例可以与不同类型的焊接操作一起使用，但以下示例将参照埋弧焊接来讨论。埋弧焊接与用于焊接不锈钢的其他工艺之间的一个区别是程度上的区别。埋弧焊接可以使用比其他工艺更高的热量输入并且具有更低的凝固和冷却特性。在埋弧焊接中，焊头(例如，图1中的炬150)用于执行三重功能：沿焊接槽逐步熔敷金属、将丝馈送到焊接区中以及将焊接电流传输至焊丝。从直接安装在头上或通过管连接至头的料斗中供应焊剂。裸线或芯电极以直线长度或从安装在杆卷轴上的线圈或杆中或从放线包中馈送到焊头中。

[0092] 奥氏体不锈钢的整体的成分范围以及最受欢迎的奥氏体不锈钢合金中的三种：308L、309L和316L在表I中展示。

[0093] 表I

奥 氏 体 不 锈 钢	成分 重量%							
	铁	铬	镍	锰	硅	碳	钼	氮
平衡	16.0-25.0	6.0-20.0	0-3.0	0.5-3.0	0.02-0.08	0-3.0	0-3.0	0-0.15
308L	平衡	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5-2.5	1.0	0.04	0.75	
309L	平衡	22.0-25.0	12.0-14.0	0.5-2.5	1.0	0.04	0.75	
316L	平衡	17.0-20.0	11.0-14.0	0.5-2.5	1.0	0.04	2.0-3.0	

[0095] 随着对液化天然气(“LNG”)的需求上升，LNG设施的构建正在在世界范围内增长。选取各种材料(包括奥氏体不锈钢)来承受繁重的使用条件。LNG设施的构建和制造将不可避免地涉及通常包括304L或316L奥氏体不锈钢的焊接管道工程，所述奥氏体不锈钢将在-160℃以下使用或经受低至-196℃的设计温度。不像显示出剧烈的且温度相关的延性到脆性过渡的更低的合金铁素体钢，304L和316L属于最广泛使用的抗腐蚀合金并且具有天然韧性的以及抵抗最低温度下的灾难性脆性破坏的益处。304L通常用308L填充金属进行焊接并且316L通常用316L填充金属进行焊接。

[0096] 铁素体数和含量对308L和316L焊接金属的韧性起作用在此前是已知的,其中,总体趋势示出了直至如铁素体增长的某个点,韧性减小。图2展示了基本的舍弗勒图,其中,通过被描绘成曲线图的纵坐标的当量镍配方展示了奥氏体形态相位稳定剂,同时通过被描绘成曲线图的横坐标的当量铬配方展示了铁素体稳定剂。铁素体对于在冷却奥氏体不锈钢的焊接的过程中避免凝固开裂而言很重要。“构成图”用于通过比较奥氏体稳定元素和铁素体稳定元素的影响来预测成分中的铁素体水平。舍弗勒图以及DeLong图是预测奥氏体不锈钢焊接中的相位平衡的原始方法。

[0097] 计算奥氏体稳定元素的“镍当量”和铁素体稳定元素的“铬当量”。这些当量用作图的轴线,所述轴线展示了成分当量面积,其中应存在相位奥氏体、铁素体、马氏体(及其混合物)。镍当量和铬当量使用以下配方:

$$[0098] \text{镍}_{(\text{当量})} = \% \text{镍} + (30 \times \% \text{碳}) + (0.5 \times \% \text{锰})$$

$$[0099] \text{铬}_{(\text{当量})} = \% \text{铬} + \% \text{钼} + (1.5 \times \% \text{硅}) + (0.5 \times \% \text{铌})$$

[0100] “受控铁素体”级电极被分成308L级和316L级。然而,对其成分进行更严格的控制以确保低铁素体焊接熔敷。图2的舍弗勒图用于估计各种合金和焊接的所产生的相位分布。ASME锅炉和压力容器规范第VII部分UHA-51 (a) (3) (-a) (-1) 规定:316L焊接填充金属必须具有少于或等于5的铁素体数,并且308L焊接填充金属必须具有从4到14变化的铁素体数,如WRC-1992构成图所确定的那样。为了实现少于5个FN,必须控制316L电极成分使得其不低于图2中的“5F”线。同样地,对于308L填充金属,必须严格控制其成分以产生正确的铁素体数。所以,制造并出售了“受控铁素体”电极以遵守更加严格的FN要求。然而,这些电极生产和供最终用户采用的成本较高,并且它们产生焊接金属,所述焊接金属由于微结构的以及Suutala图(参见图8)所展示的更少量的铁素体而具有更大的凝固开裂风险。

[0101] 表1——电极成分

元素	电极成分	
	316L (“受控铁素体”)	316L
碳	0.02%	0.01%
铬	18.4%	19.0%
镍	12.7%	12.3%
钼	2.7%	2.2%

元素	电极成分	
	316L (“受控铁素体”)	316L
[0103]	锰	1.8%
	硅	0.38%
	磷	0.02%
	硫	0.01%
	氮	0.05%
	铜	0.18%
	铌	0.01%
	铁素体数	4.2-5.1
		6-9

[0104] 在LNG设施中使用的奥氏体不锈钢遇到的设计温度可以不同,但是为了简单起见并且为了易于测试,通常在-196℃下实施夏比冲击测试,因为通过在液氮中进行冷却便于获得此测试温度。韧性与断裂所吸收的冲击能量成比例并且横向扩展是对夏比测试样品变形或断裂延性的测量。最常见的规定的韧性要求是基于夏比横向扩展。频繁引用可在ASME规范(例如,针对工艺管线的ASME B31.3)中找到的-196℃下的0.38mm横向扩展的此要求。

[0105] 通常,随着铁素体百分比的增长,焊接的韧性减小。通常,在针对铁素体含量绘制横向扩展时,注意到不能够保证铁素体含量在大约~4.5个FN以上的0.38mm横向扩展。

[0106] 术语“极性”用于描述关于电源端子的电极的电连接。在直流(DC)的情况下,当电极连接至正极端子时,极性被指定为直流电极正接(DCEP或DC+)。当电极连接至负极端子时,极性被指定为直流电极负接(DCEN或DC-)。当使用交流(AC)时,极性从正变为负并且反之亦然。传统的AC输出每半个周期改变一次极性并且在其花费在正负极性区的时间和在每个区中的峰值幅值上均对称(通常具有正弦波的形状)。在AC输出的情况下,焊接电流从正向流到负向流交替并且再返回。

[0107] 本发明的实施例将波形描述成交流(AC)以表明电流和/或电压在正极性与负极性之间跨过。这些波形不旨在关于零点在时间或幅值上对称或甚至在任何意义上对称。而是,所述波形可以在零点的各侧上花费更多的时间或幅值。可以理解的是,术语AC的使用并未将焊接波形限制到与常规对称AC波形类似的波形,而是,其可以是相隔一定间隔跨过零点的非常复杂的波形。

[0108] 可以以这种方式来塑造波形以提供跨过零点的平滑过渡,并且电流和电压波形可以有不同的形状以提供平滑焊接电弧并且最小化焊接缺陷(比如缺乏熔融或夹渣)。

[0109] 在负极区中的时间伴随有焊接电弧中电子流的改变并且伴随有增加填充金属熔脱到焊池中,增加了可以产生焊接点的速度。在正极区中的时间伴随有增加渗透到被接合的金属中。可以操纵每个区中的波形的形状以提供这些益处。在本发明中使用的波形使用常规DC+或常规AC焊接为同一焊接电流提供了更高的熔敷速率和生产率。

[0110] 图3展示了由作为本发明的一部分的焊接电源输出的波形的示例性实施例。所述波形是交流波形的形式,其中,焊丝在阴极与阳极之间切换。焊接波形可以部分地由焊接工艺的操作员进行控制,如以控制焊丝花费在正电流极性中的时间百分比。例如,图3显示了

具有50%平衡的波形。50%平衡意味着对丝进行正向充电所述时间的50%。100%平衡相当于DC+信号并且0%平衡相当于DC-信号。如在图3中所示出的,示出了示例性焊接电流300和相应电压350。电流波形具有多个正脉冲310和负脉冲320。其中,每个脉冲都具有对应的峰值电流水平。在一些实施例中,峰值电流水平可以具有相同的安培数(即使在不同的极性下),而在其他实施例中,峰值水平可以不同。而且,如在示例性实施例中所示出的,每个脉冲具有至少两个不同的电流斜坡速率。例如,如示出的,每个正脉冲和负脉冲在电流超过0阈值之后具有第一电流斜坡速率(斜率),并且然后,每个脉冲具有过渡点(分别为311/321),在所述情况下,电流过渡到更低的斜坡速率(斜率)直到电流达到对应峰值。如示出的,在一些示例性实施例中,脉冲具有电流斜率过渡点,因为电流向峰值水平增长并且从其对应的峰值水平变成如所示出的0阈值。在一些示例性实施例中,随着电流增大和减小,过渡水平处于同一电流水平处,而在其他实施例中,过渡水平处于不同的电流水平处。在另外的示例性实施例中,每个正脉冲和负脉冲的过渡水平处于同一相对过渡电流水平(即使在不同的极性下)处,而在其他实施例中,正脉冲与负脉冲之间的过渡水平可以不同。进一步地,在附加的示例性实施例中,对应脉冲可以具有附加的过渡水平,其中,电流斜坡速率改变为第三斜坡速率。进一步地,在示例性实施例中,每个正脉冲的第一斜坡速率和第二斜坡速率可以具有相同的幅值。然而,在其他实施例中,其可以不同。例如,在一些实施例中,每个正脉冲和负脉冲中的第一斜坡速率可以是相同的(例如,从0安培到过渡水平),但是在正脉冲中,第二斜坡速率(从过渡到峰值)具有第一幅值,并且负脉冲中的第二斜坡速率可以具有从过渡到负峰值的较大或较小的斜坡速率(在幅值上),这取决于如本文中所描述的期望的波形性能和负效应。

[0111] 在本发明的示例性实施例中,过渡水平可以在100至350安培的范围内,而在其他示例性实施例中,所述(多个)水平可以在150至300安培的范围内。进一步地,在示例性实施例中,过渡水平可以在对应脉冲的峰值电流水平的10%至35%的范围内。例如,如果正峰值电流为900安培,则过渡点311可以在此峰值电流的10%至35%的范围内,而如果负峰值电流为800安培,则过渡点321可以在此峰值电流的10%至35%的范围内。在其他实施例中,过渡点可以在对应峰值电流的15%至30%的范围内。

[0112] 进一步地,在图3所示出的实施例中,每个对应的正脉冲和负脉冲的时长是相同的,然而,在其他实施例中,情况可能并非如此。例如,在一些实施例中,正脉冲的时长比负脉冲的时长要长,或反之亦然。类似地,在一些示例性实施例中,对应脉冲中峰值水平的时长相同(忽略脉冲的相对时长),或者其可以是不同的。例如,在一些实施例中,负峰值时长可以长于正峰值时长,或反之亦然。

[0113] 在示例性实施例中,焊接波形的负效应可以由波形的理想完整周期(也就是说,一个理想周期)来限定。然而,在其他实施例中,负效应可以经由多个周期来确定。在本发明的示例性实施例中,实现/获得了整个焊接操作的期望负效应,也就是说,焊接操作的平均负效应处于期望的负效应。也就是说,针对被利用的焊接波形整体,经由给定焊接操作实现了期望的负效应(例如,-100)。然而,在其他焊接操作中仅针对一部分焊接操作实现了期望的负效应。例如,在一些示例性实施例中,焊接操作的焊接波形至少具有第一部分和第二部分,其中,所述第一部分具有期望的负效应而第二部分没有。在一些示例性实施例中,所述第一部分可以在所述焊接操作的总时长的35%至95%的范围内。在其他示例性实施例中,

所述第一部分可以在所述总时长的45%至85%的范围内。在焊接熔池相对较小的那些焊接操作中,波形的期望负效应部分的总时长可以小于熔池较大的那些焊接操作中的总时长。

[0114] 图4展示了具有75%平衡的电流波形400。这意味着对丝进行正向充电所述时间的75%,而图5展示了具有25%平衡的电流波形500。这意味着对丝进行正向充电所述时间的25%。

[0115] 可以直接被焊接操作员改变的其他波形变量可以包括偏移和频率。偏移允许波形在正或负电流方向上发生转变。例如,正偏移将会使峰值正电流增大并且使峰值负电流减小,同时维持RMS电流。频率控制波形的周期时间。注意,当在本文的示例中示出特定波形结构时,本发明的实施例并不限于这些波形。其他焊接波形的形状和结构可以与本发明的实施例一起使用而不脱离本发明的精神或范围。然而,在示例性实施例中,实现波形的期望的负效应就是具有负功率偏置。

[0116] 在本发明的示例性实施例中,期望的负效应可以由用户输入到电源(例如,参见图1)中作为焊接操作的设置点或控制点。在这样的实施例中,电源将控制焊接波形(与已知方法和工艺一致)以确保实现期望的负效应。这可以例如通过调整脉冲的负和/或正峰值的时长和/或幅值来完成。在其他示例性实施例中,电源可以利用控制器/处理器来确定焊接波形的负效应并且在电源的显示器上向用户显示所确定的负效应。由于这样的显示器和处理器/计算机是已知的,并且可以在图1所讨论的示例性电源上得到实现,因此其细节不需要在本文中详细描述。用户因此可以使用输入系统和/或电源上的显示器来调整波形的方面直到计算出/确定给定波形的期望的负效应。一旦实现了给定波形的期望的负效应,就可以开始焊接工艺。当然,在一些实施例中,电源能够执行这些计算并且显示结果,而在其他实施例中,单独的/独立式计算机等可以用于分析给定波形的负效应直到实现期望的影响,并且然后,用户可以将此波形输入到电源中从而实现期望的焊接波形。

[0117] 图6和图7显示了改变了波形对焊接的能量吸收(按照英尺-磅进行测量)的负效应的效果。随着负效应减小,焊接的韧性增大。在一些示例性实施例中,焊接波形的极性平衡向DC负极偏置(例如,负效应小于100)。在图5中显示了这类波形的示例。

[0118] 采用改变了极性的波形降低了焊接金属的含氧量,并且减小波形的负效应增大了焊接金属的冷却速率。假定这些的组合连同其他变量是提供了低温下的高缺口韧性的所产生的焊接金属微结构的原因。最终用户的值是显而易见的。316L电极比316LCF电极便宜相当多,可是在可实现的物理特性上比得上上等焊接金属。本发明也得益于利用相同的能量输入使焊接更快的更高的送丝速度,由此节省了人力和电力。例如,本发明的一些示例性实施例可以实现比具有相同的能量输入的现有焊接工艺快高达30%的送丝速率。

[0119] 例如,如在图12中所示出的,当使用电流为550安培的常规DC+波形时,100英寸/分钟的送丝速度或21.3磅/小时的熔敷速率。然而,当使用在电极正极性中具有25%的时长、具有如本文中所描述的负效应的本发明的示例性波形时,可以实现135英寸/分钟的送丝速度。这是对已知方法的重大改进。

[0120] 使用不具有小于100的负效应的现有技术中的波形在图10中绘制了标准不锈钢耗材的数据。可见,奥氏体不锈钢焊接金属的夏比韧性与横向扩展之间有关系。

[0121] 如在图11中所展示的,利用不具有小于100的负效应的现有技术中的波形,铁素体数还对-196°C (-320°F) 下的焊剂芯丝熔敷的韧性有影响。这用标准308L/316L电极两者以

及308LCF/316LCF型电极的平均数据来展示。

[0122] 通过将具有增大的负效应的AC波形转变到小于100(或更低)来制成“L”电极(铁素体数在6至10之间(包括6和10))以用于执行仿佛其属于具有更低的铁素体数(通常在4.2至5.1之间(包括4.2和5.1))的更受控的“LCF”型电极。

[0123] 虽然已经参考某些实施例描述了本发明,但本领域技术人员将理解的是,在不脱离本发明的范围的情况下可以做出各种改变并且用等效物替换。此外,可以进行许多修改以使具体的情况或材料适应本发明的传授内容而不脱离其范围。因此,本发明不旨在局限于所公开的具体实施例,而是本发明将包括落在所附权利要求书的范围内的所有实施例。

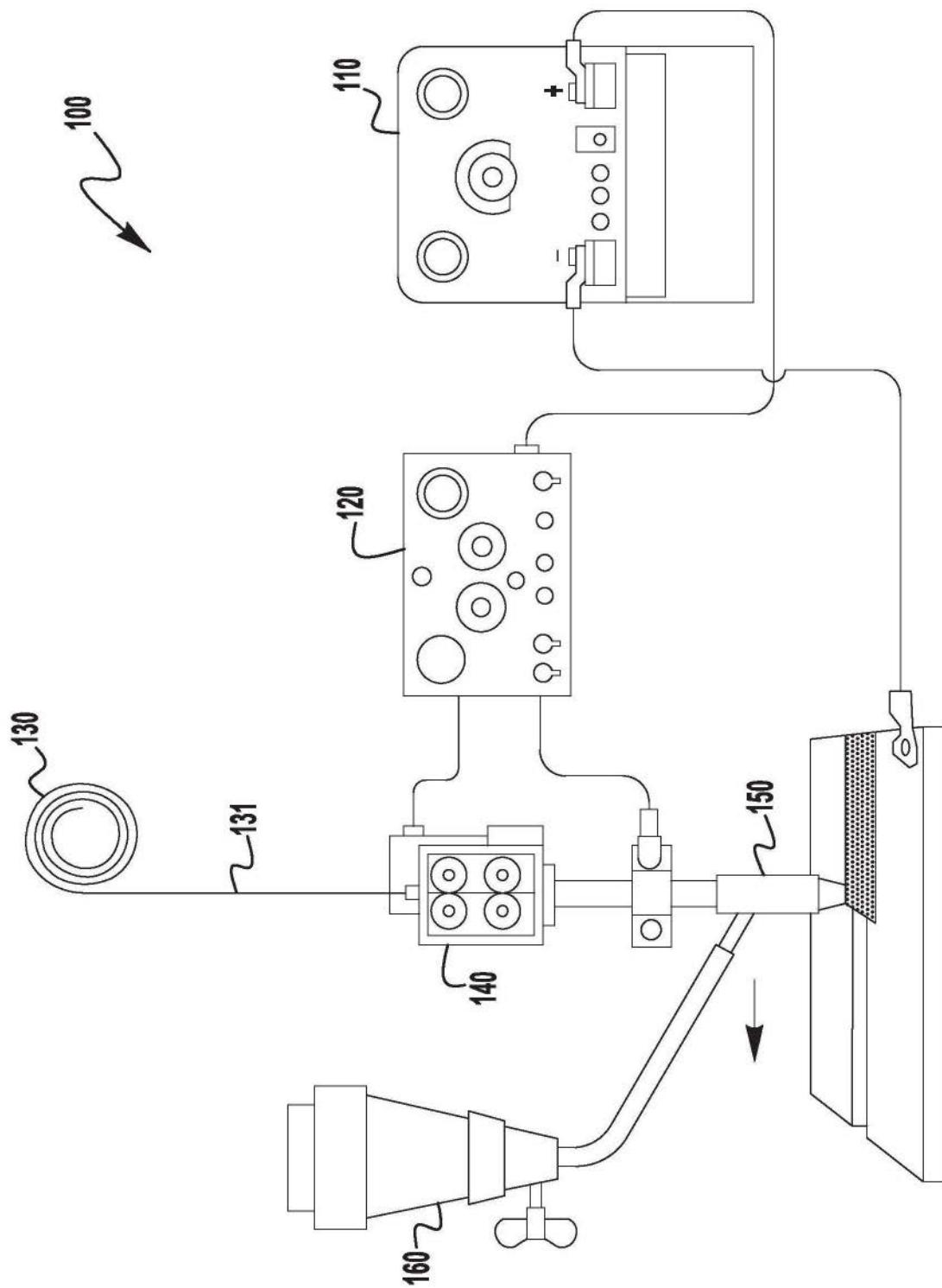


图1

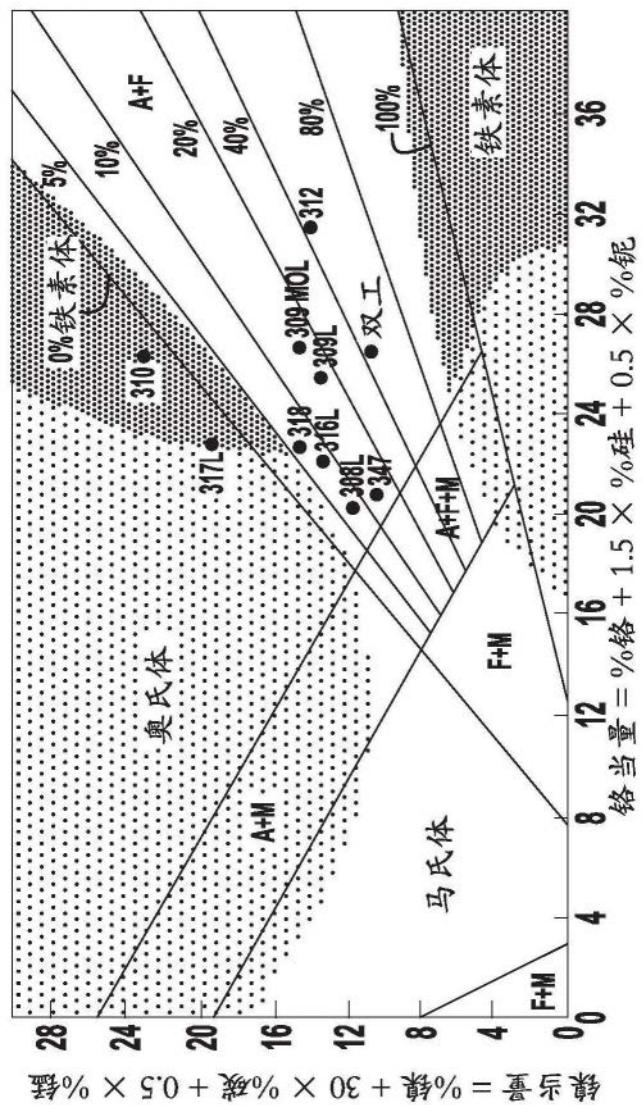


图2

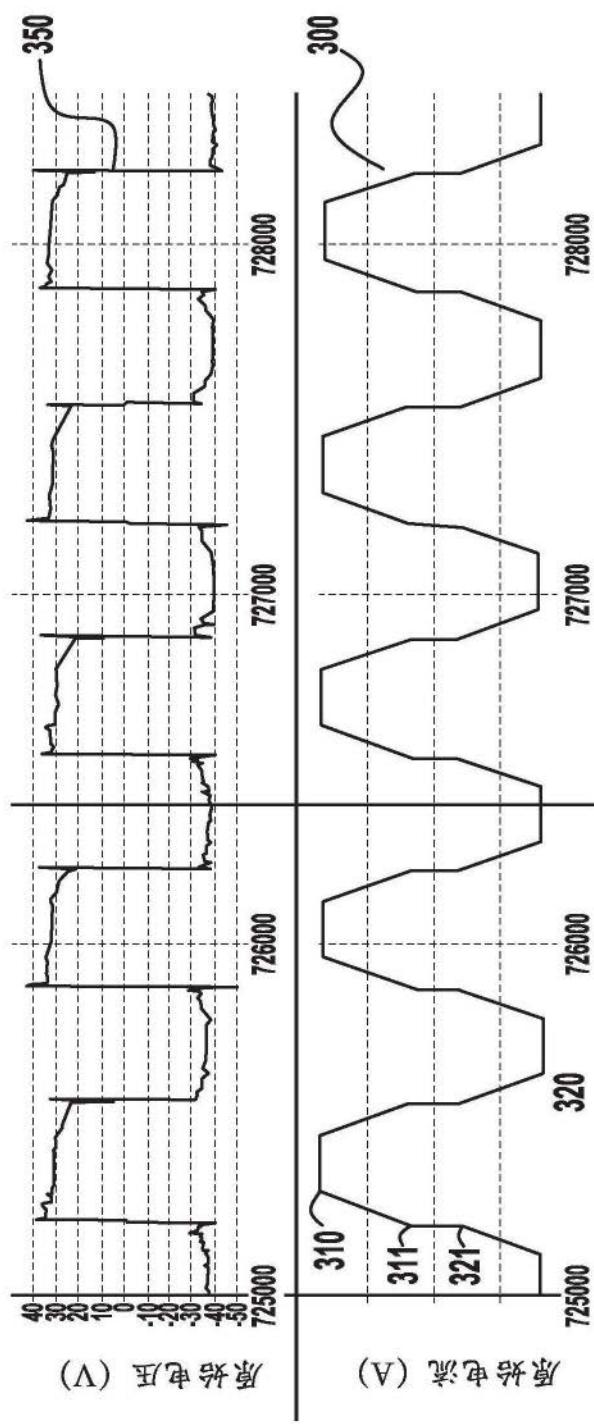
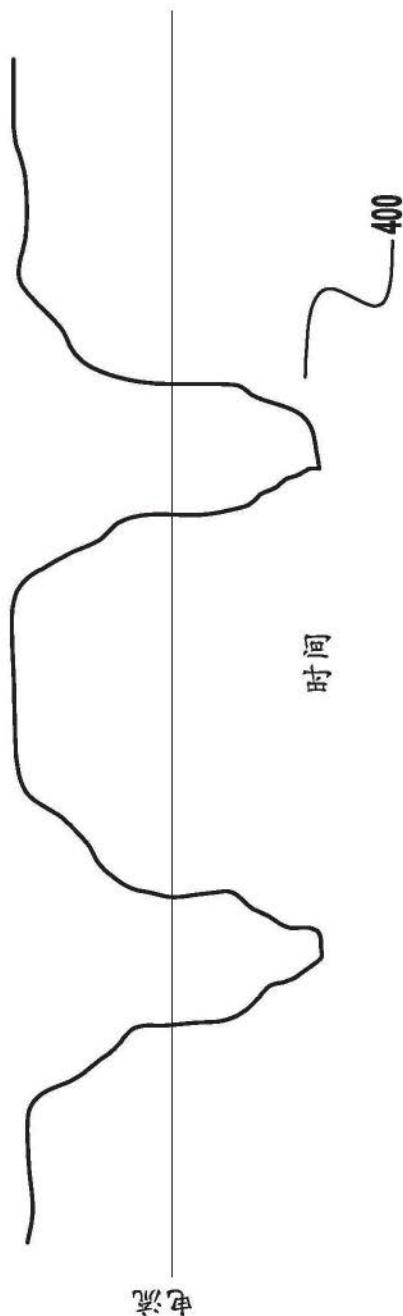


图3



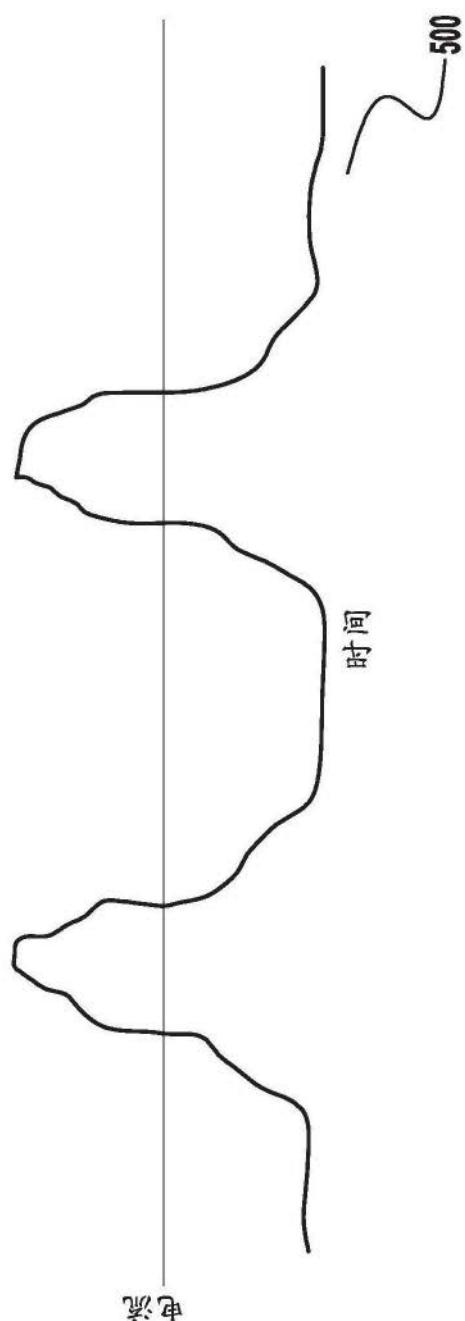


图5

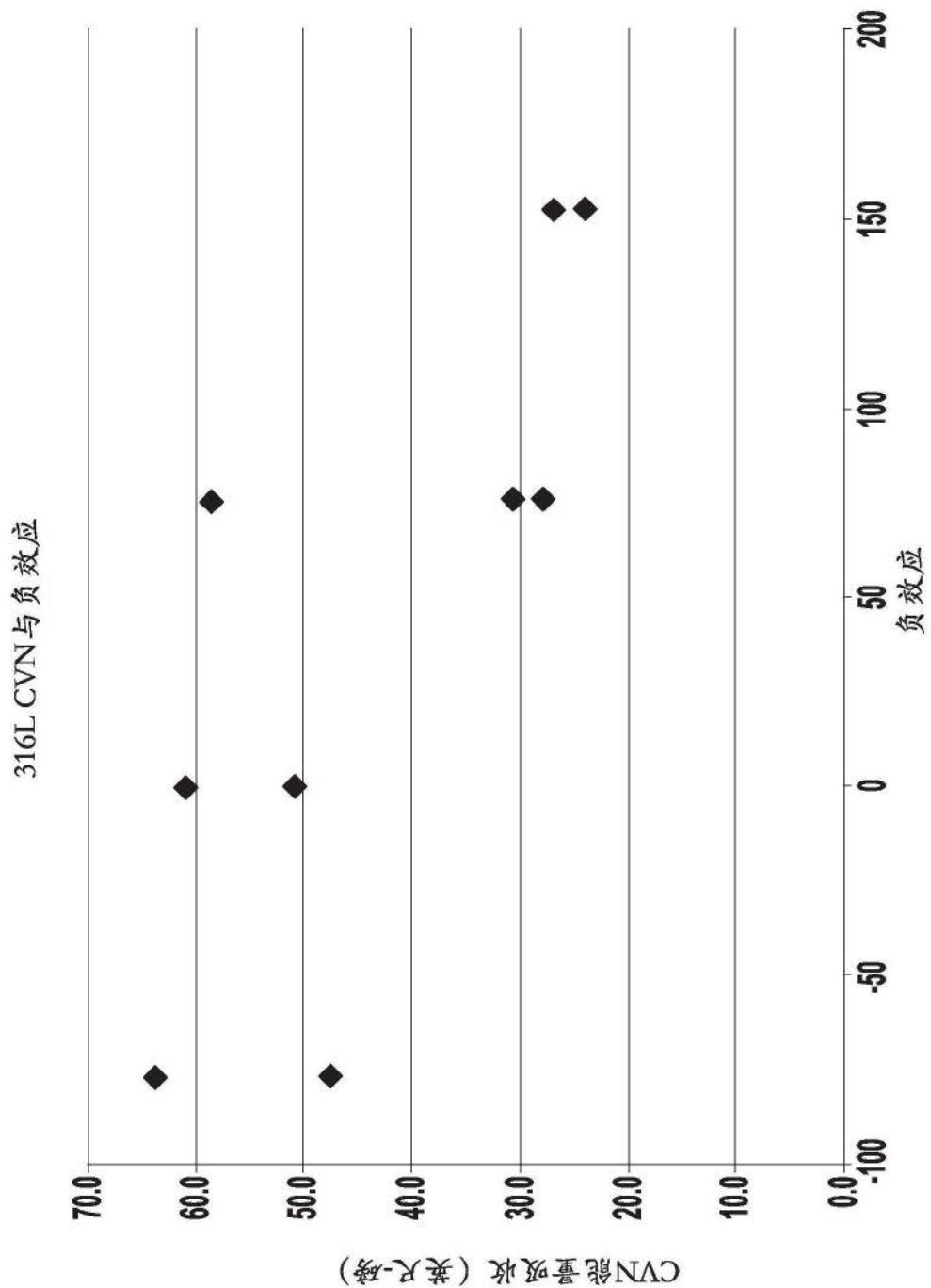


图6

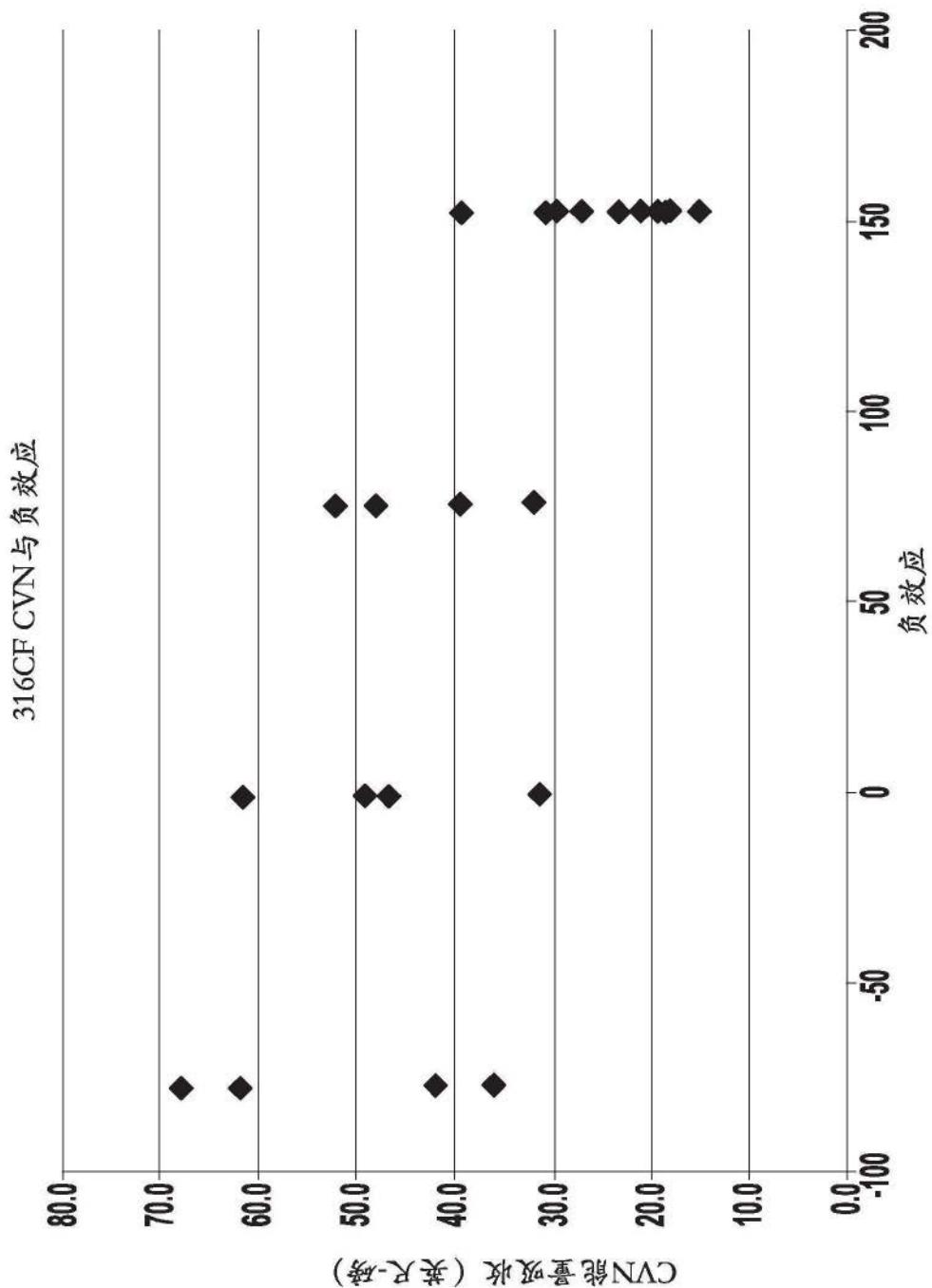


图7

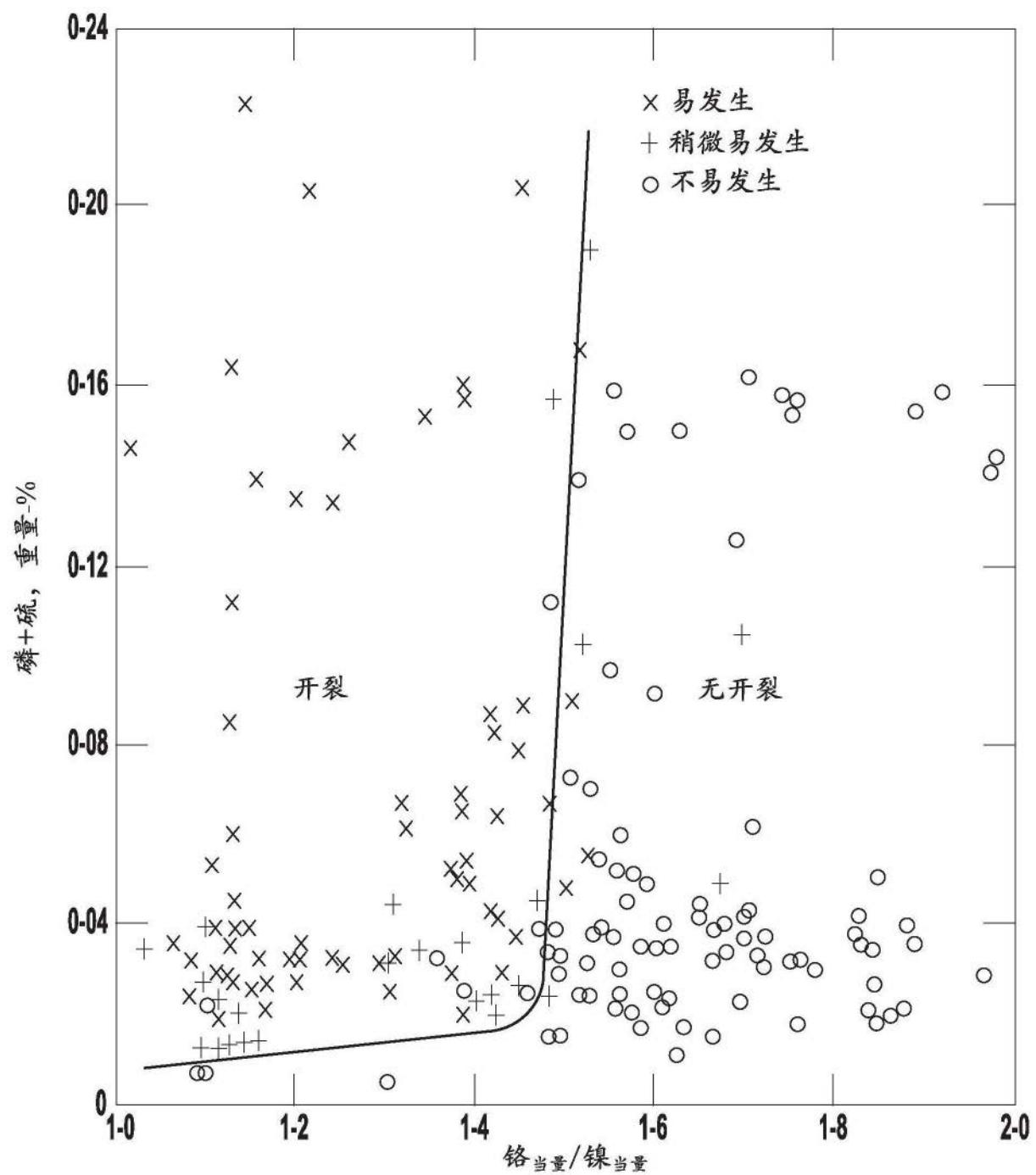


图8

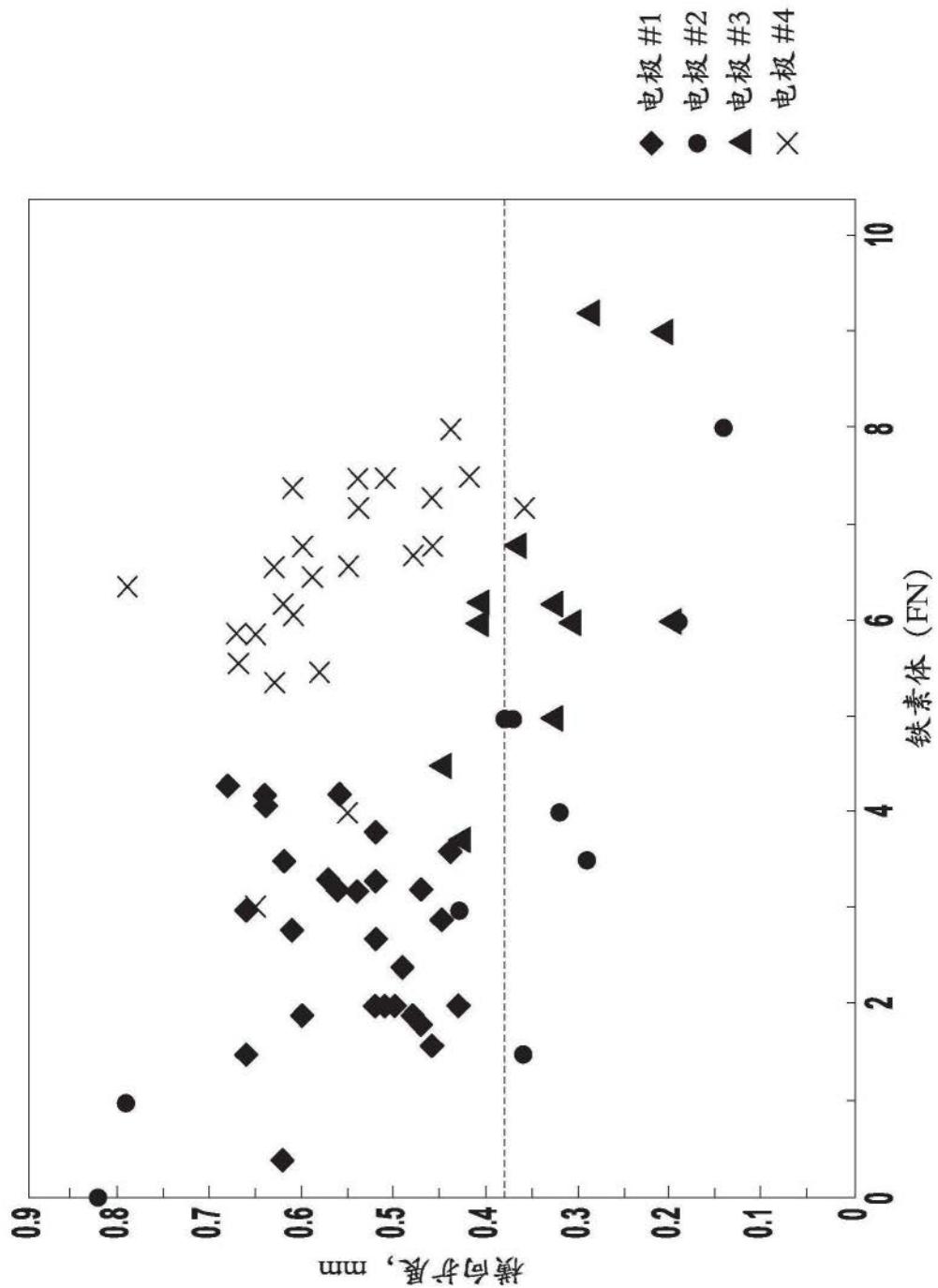


图9

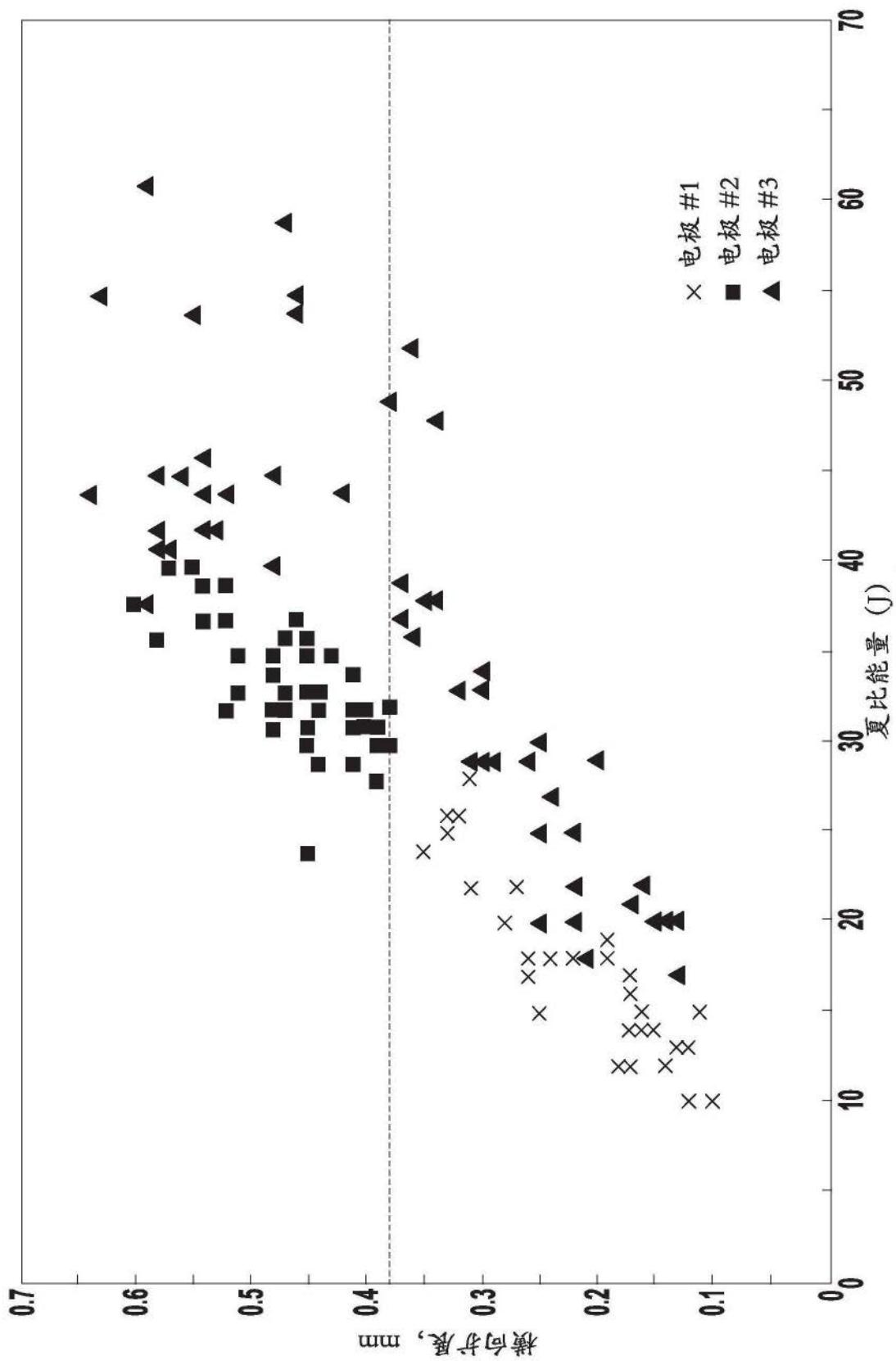
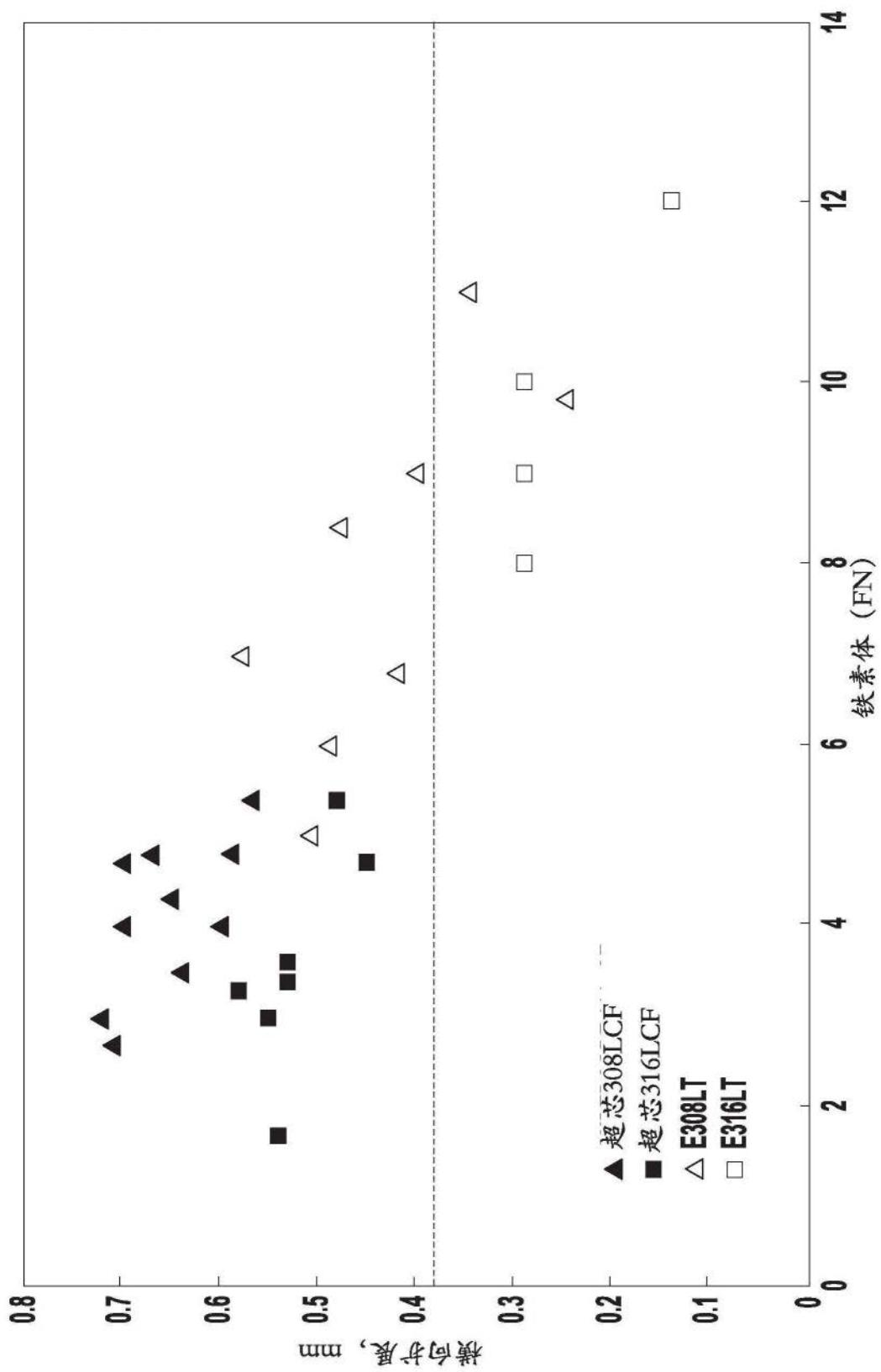


图10



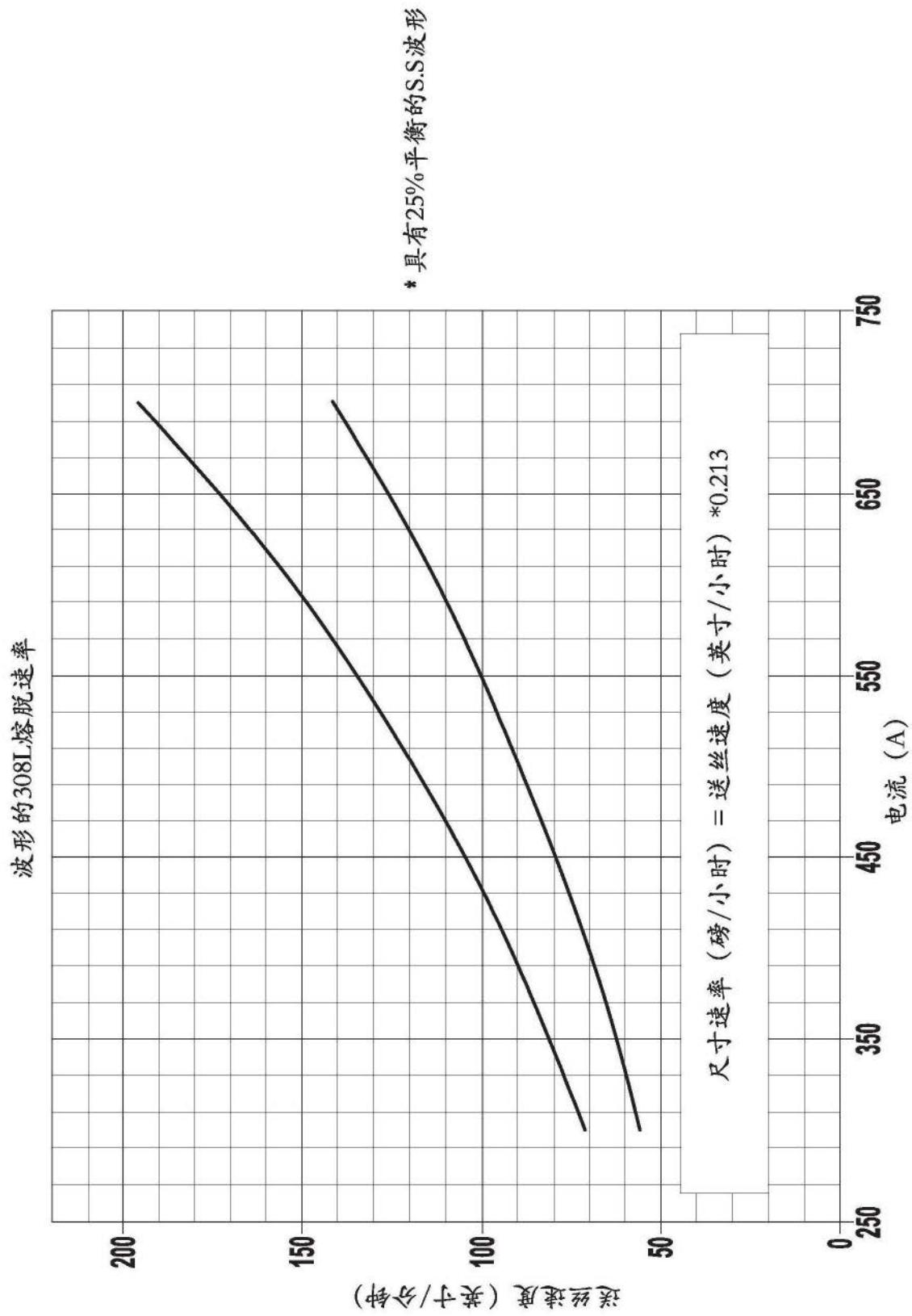


图12