(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108362561 A
(43)申请公布日 2018.08.03

(21)申请号 201810104610.4

(22)申请日 2018.02.02

(71)申请人 上海理工大学
地址 200093 上海市杨浦区军工路516号
申请人 延峰安道拓座椅有限公司

(72)发明人 丁晓红 朱大业 王海华 徐峰

(74)专利代理机构 上海德昭知识产权代理有限公司 31204
代理人 郁旦蓉

(51)Int.Cl.
G01N 3/08(2006.01)

权利要求书2页 说明书8页 附图9页

(54)发明名称

一种焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法

(57)摘要

本发明提供了一种焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法，具有这样的特征，包括以下步骤：步骤1，制作母材标准拉伸试件、纵向焊接结构拉伸试件和横向焊接结构拉伸试件；步骤2，分别对一组纵向焊接结构拉伸试件和一组横向焊接结构拉伸试件进行材料硬度测试，得到各自的材料数据；步骤3，分别对母材标准拉伸试件、纵向焊接结构拉伸试件和横向焊接结构拉伸试件进行拉伸试验，分别得到各自的应力应变曲线；步骤4，根据横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验，建立优化数学模型，计算得到焊缝应力应变曲线；步骤5，根据纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验并结合材料数据、母材应力应变曲线和焊缝应力应变曲线，计算得到焊接热影响区应力应变曲线。

CN 108362561 A

1.一种焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤1，制作多组母材标准拉伸试件、多组纵向焊接结构拉伸试件和多组横向焊接结构拉伸试件；

步骤2，分别对一组所述纵向焊接结构拉伸试件和一组所述横向焊接结构拉伸试件进行材料硬度测试，分别得到所述纵向焊接结构拉伸试件和所述横向焊接结构拉伸试件的材料数据；

步骤3，分别对所述母材标准拉伸试件、所述纵向焊接结构拉伸试件和所述横向焊接结构拉伸试件进行拉伸试验，分别得到母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$、纵向焊接结构应力应变曲线$\sigma_L(\varepsilon)$和横向焊接结构应力应变曲线$\sigma_C(\varepsilon)$；

步骤4，根据所述横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验并结合所述材料数据和所述母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$，建立优化数学模型，计算得到焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$；

步骤5，根据所述纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验并结合所述材料数据、所述母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$和所述焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$，计算得到焊接热影响区应力应变曲线$\sigma_H(\varepsilon)$。

2.根据权利要求1所述的焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法，其特征在于：

其中，所述纵向焊接结构拉伸试件的材料数据包括：所述纵向焊接结构拉伸试件的总宽度W_L、焊缝区宽度W_W、焊接热影响区宽度W_H和母材区宽度W_B以及所述纵向焊接结构拉伸试件的截面积A^L、焊缝区截面积A_W^L、焊接热影响区截面积A_H^L和母材区截面积A_B^L，

所述横向焊接结构拉伸试件的材料数据包括：所述横向焊接结构拉伸试件的标定长度L_C、焊缝区长度L_W、焊接热影响区长度L_H和母材区长度L_B以及所述横向焊接结构拉伸试件的平均截面积A^C、焊缝区截面积A_W^C、焊接热影响区截面积A_H^C以及母材区截面积A_B^C，

下式(1)为所述母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$，

$$\sigma_B = K_B \varepsilon_B^{n_B} + P_B \tag{1}$$

上式(1)中，σ_B为母材区真实应力，ε_B为母材区真实应变，K_B、n_B和P_B为母材曲线参数，

下式(2)为所述纵向焊接结构应力应变曲线$\sigma_L(\varepsilon)$，

$$\sigma_L = K_L \varepsilon_L^{n_L} + P_L \tag{2}$$

上式(2)中，σ_L为纵向焊接结构真实应力，σ_L为纵向焊接结构真实应变，K_L、n_L和P_L为纵向焊接结构曲线参数，

下式(3)为所述横向焊接结构应力应变曲线$\sigma_C(\varepsilon)$，

$$\sigma_C = K_C \varepsilon_C^{n_C} + P_C \tag{3}$$

上式(3)中，σ_C为横向焊接结构真实平均应力，ε_C为横向焊接结构真实平均应变，K_C、n_C和P_C为横向焊接结构曲线参数。

3.根据权利要求2所述的焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法，其特征在于：

其中，所述步骤4包括以下子步骤：

步骤4-1，根据所述横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验结合位移叠加原理，得到下式(4)，

$$\Delta L = \Delta L_B + \Delta L_H + \Delta L_W \tag{4}$$

上式(4)中，ΔL为所述横向焊接结构拉伸试件的总伸长量，ΔL_B为母材伸长量，ΔL_H为焊接热影响区伸长量，ΔL_W为焊缝区伸长量；

步骤4-2，根据所述材料数据、所述母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$和所述横向焊接结构应力应变曲线$\sigma_C(\varepsilon)$，得到下式(5)，

$$L_C\varepsilon_C(\sigma_C)=L_B\varepsilon_B(\sigma_B)+L_H\varepsilon_H(\sigma_H)+L_W\varepsilon_W(\sigma_W) \qquad (5)$$

上式(5)中，ε_H为焊接热影响区真实应变，ε_W为焊缝区真实应变，σ_H为焊接热影响区真实应力，σ_W为焊缝区真实应力；

步骤4-3，将下式(6)代入上式(5)中，得到应变值$\varepsilon_C(\sigma_C)$，如下式(7)所示，

$$P_C=\sigma_C A^C=\sigma_B A_B^C=\sigma_H A_H^C=\sigma_W A_W^C \qquad (6)$$

上式(6)中，P_C为所述横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验力，

$$\varepsilon_C(\sigma_C)=\frac{L_B}{L_C}\varepsilon_B\left(\frac{A^C}{A_B^C}\sigma_C\right)+\frac{L_H}{L_C}\varepsilon_H\left(\frac{A^C}{A_H^C}\sigma_C\right)+\frac{L_W}{L_C}\varepsilon_W\left(\frac{A^C}{A_W^C}\sigma_C\right) \qquad (7);$$

步骤4-4，根据上式(7)计算得到计算应变值$\varepsilon_C^M(\sigma_C)$；

步骤4-5，以所述计算应变值$\varepsilon_C^M(\sigma_C)$和所述横向焊接结构拉伸试件在拉伸试验时所得的实验应变值$\varepsilon_C^E(\sigma_C)$之差最小为目标，建立优化数学模型，如下式(8)，

$$\begin{aligned} &find \quad K_W, n_W, P_W \\ &\min \quad \sum(\varepsilon_C^M(\sigma_C)-\varepsilon_C^E(\sigma_C))^2 \end{aligned} \qquad (8)$$

上式(8)中，K_W，n_W和P_W为焊缝区材料曲线参数；

步骤4-6，对上式(8)进行优化迭代计算，得到所述焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$的最优参数K_W^{best}，n_W^{best}和P_W^{best}；

步骤4-7，将所述最优参数代入下式(9)，得到所述焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$，

$$\sigma_W=K_W\varepsilon_W^{n_W}+P_W \qquad (9)。$$

4.根据权利要求2所述的焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法，其特征在于：其中，所述步骤5包括以下子步骤：

步骤5-1，根据所述纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验，得到下式(10)，

$$P_L=\sigma_L A^L=\sigma_B A_B^L+\sigma_H A_H^L+\sigma_W A_W^L \qquad (10)$$

上式(10)中，P_L为所述纵向焊接结构拉伸试件在拉伸试验时其任一截面上的拉力，σ_H为焊接热影响区真实应力、σ_W为焊缝区真实应力；

步骤5-2，由上式(10)转换得到所述焊接热影响区应力应变曲线$\sigma_H(\varepsilon)$，如下式(11)，

$$\sigma_H(\varepsilon)=\frac{A^L}{A_H^L}\sigma_L(\varepsilon)-\frac{A_B^L}{A_H^L}\sigma_B(\varepsilon)-\frac{A_W^L}{A_H^L}\sigma_W(\varepsilon) \qquad (11);$$

步骤5-3，将所述焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$代入上式(11)，得到所述焊接热影响区应力应变曲线$\sigma_H(\varepsilon)$。

一种焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种金属材料力学性能确定方法，具体涉及一种焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法。

背景技术

[0002] 焊接是金属结构的常用连接方式，而金属材料在焊接前后其力学性能会发生变化，特别是在焊缝和焊接热影响区，由于在焊接过程中材料发生软化，使得材料的破坏强度和延伸率有所降低。

[0003] 目前金属结构主要通过有限元模型进行分析，但是，焊接部分的有限元建模并没有考虑到焊缝和焊接热影响区对材料性能的影响，导致模型的精度下降，有限元分析结果不准确。因此，需要探索一种确定金属结构焊缝及焊接热影响区材料力学性能的方法，研究金属结构在受力变形后，焊接部分的失效形式，以提高焊接结构有限元分析的精度。

发明内容

[0004] 本发明是为了解决上述问题而进行的，目的在于提供一种焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法。

[0005] 本发明提供了一种焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法，具有这样的特征，包括以下步骤：

[0006] 步骤1，制作多组母材标准拉伸试件、多组纵向焊接结构拉伸试件和多组横向焊接结构拉伸试件；

[0007] 步骤2，分别对一组纵向焊接结构拉伸试件和一组横向焊接结构拉伸试件进行材料硬度测试，分别得到纵向焊接结构拉伸试件和横向焊接结构拉伸试件的材料数据；

[0008] 步骤3，分别对母材标准拉伸试件、纵向焊接结构拉伸试件和横向焊接结构拉伸试件进行拉伸试验，分别得到母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$、纵向焊接结构应力应变曲线$\sigma_L(\varepsilon)$和横向焊接结构应力应变曲线$\sigma_C(\varepsilon)$；

[0009] 步骤4，根据横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验并结合材料数据和母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$，建立优化数学模型，计算得到焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$；

[0010] 步骤5，根据纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验并结合材料数据、母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$和焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$，计算得到焊接热影响区应力应变曲线$\sigma_H(\varepsilon)$。

[0011] 在本发明提供的焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法中，还可以具有这样的特征：其中，纵向焊接结构拉伸试件的材料数据包括：纵向焊接结构拉伸试件的总宽度W_L、焊缝区宽度W_W、焊接热影响区宽度W_H和母材区宽度W_B以及纵向焊接结构拉伸试件的截面积A^L、焊缝区截面积A_W^L、焊接热影响区截面积A_H^L和母材区截面积A_B^L，

[0012] 横向焊接结构拉伸试件的材料数据包括：横向焊接结构拉伸试件的标定长度L_C、焊缝区长度L_W、焊接热影响区长度L_H和母材区长度L_B以及横向焊接结构拉伸试件的平均截面积A^C、焊缝区截面积A_W^C、焊接热影响区截面积A_H^C以及母材区截面积A_B^C，

[0013] 下式(1)为母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$，

[0014] $$\sigma_B = K_B \varepsilon_B^{n_B} + P_B \quad (1)$$

[0015] 上式(1)中，σ_B为母材区真实应力，ε_B为母材区真实应变，K_B、n_B和P_B为母材曲线参数，

[0016] 下式(2)为纵向焊接结构应力应变曲线$\sigma_L(\varepsilon)$，

[0017] $$\sigma_L = K_L \varepsilon_L^{n_L} + P_L \quad (2)$$

[0018] 上式(2)中，σ_L为纵向焊接结构真实应力，σ_L(为)纵向焊接结构真实应变，K_L、n_L和P_L为纵向焊接结构曲线参数，

[0019] 下式(3)为横向焊接结构应力应变曲线$\sigma_C(\varepsilon)$，

[0020] $$\sigma_C = K_C \varepsilon_C^{n_C} + P_C \quad (3)$$

[0021] 上式(3)中，σ_C为横向焊接结构真实平均应力，ε_C为横向焊接结构真实平均应变，K_C、n_C和P_C为横向焊接结构曲线参数。

[0022] 在本发明提供的焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法中，还可以具有这样的特征：其中，步骤4包括以下子步骤：

[0023] 步骤4-1，根据横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验结合位移叠加原理，得到下式(4)，

[0024] $$\Delta L = \Delta L_B + \Delta L_H + \Delta L_W \quad (4)$$

[0025] 上式(4)中，ΔL为横向焊接结构拉伸试件的总伸长量，ΔL_B为母材伸长量，ΔL_H为焊接热影响区伸长量，ΔL_W为焊缝区伸长量；

[0026] 步骤4-2，根据材料数据、母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$和横向焊接结构应力应变曲线$\sigma_C(\varepsilon)$，得到下式(5)，

[0027] $$L_C \varepsilon_C(\sigma_C) = L_B \varepsilon_B(\sigma_B) + L_H \varepsilon_H(\sigma_H) + L_W \varepsilon_W(\sigma_W) \quad (5)$$

[0028] 上式(5)中，ε_H为焊接热影响区真实应变，ε_W为焊缝区真实应变，σ_H为焊接热影响区真实应力，σ_W为焊缝区真实应力；

[0029] 步骤4-3，将下式(6)代入上式(5)中，得到应变值$\varepsilon_C(\sigma_C)$，如下式(7)所示，

[0030] $$P_C = \sigma_C A^C = \sigma_B A_B^C = \sigma_H A_H^C = \sigma_W A_W^C \quad (6)$$

[0031] 上式(6)中，P_C为横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验力，

[0032] $$\varepsilon_C(\sigma_C) = \frac{L_B}{L_C}\varepsilon_B\left(\frac{A^C}{A_B^C}\sigma_C\right) + \frac{L_H}{L_C}\varepsilon_H\left(\frac{A^C}{A_H^C}\sigma_C\right) + \frac{L_W}{L_C}\varepsilon_W\left(\frac{A^C}{A_W^C}\sigma_C\right) \quad (7);$$

[0033] 步骤4-4，根据上式(7)计算得到计算应变值$\varepsilon_C^M(\sigma_C)$；

[0034] 步骤4-5，以计算应变值$\varepsilon_C^M(\sigma_C)$和横向焊接结构拉伸试件在拉伸试验时所得的实验应变值$\varepsilon_C^E(\sigma_C)$之差最小为目标，建立优化数学模型，如下式(8)，

[0035] find K_W,n_W,P_W

[0036] $$\min \sum \left(\varepsilon_C^M(\sigma_C) - \varepsilon_C^E(\sigma_C)\right)^2 \quad (8)$$

[0037] 上式(8)中，K_W,n_W和P_W为焊缝区材料曲线参数；

[0038] 步骤4-6，对上式(8)进行优化迭代计算，得到焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$的最优参数

K_W^{best},n_W^{best}es和t,P_W^{best}；

[0039] 步骤4-7,将最优参数代入下式(9),得到焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$,

[0040] $$\sigma_W = K_W \varepsilon_W^{n_W} + P_W \quad (9)。$$

[0041] 在本发明提供的焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法中,还可以具有这样的特征:其中,步骤5包括以下子步骤:

[0042] 步骤5-1,根据纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验,得到下式(10),

[0043] $$P_L = \sigma_L A^L = \sigma_B A_B^L + \sigma_H A_H^L + \sigma_W A_W^L \quad (10)$$

[0044] 上式(10)中,P_L为纵向焊接结构拉伸试件在拉伸试验时其任一截面上的拉力,σ_H为焊接热影响区真实应力、σ_W为焊缝区真实应力;

[0045] 步骤5-2,由上式(10)转换得到焊接热影响区应力应变曲线$\sigma_H(\varepsilon)$,如下式(11),

[0046] $$\sigma_H(\varepsilon) = \frac{A^L}{A_H^L}\sigma_L(\varepsilon) - \frac{A_B^L}{A_H^L}\sigma_B(\varepsilon) - \frac{A_W^L}{A_H^L}\sigma_W(\varepsilon) \quad (11);$$

[0047] 步骤5-3,将焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$代入上式(11),得到焊接热影响区应力应变曲线$\sigma_H(\varepsilon)$。

[0048] 发明的作用与效果

[0049] 根据本发明所涉及的一种焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法,根据横向焊接结构拉伸试件进行拉伸试验并结合硬度测试的材料数据以及母材应力应变曲线,建立优化数学模型,通过优化算法迭代得出焊缝应力应变曲线,并进一步结合纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验得到焊接热影响区应力应变曲线。

附图说明

[0050] 图1是本发明的实施例中焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法的流程图;

[0051] 图2是本发明的实施例中母材标准拉伸试件的设计图;

[0052] 图3是本发明的实施例中纵向焊接结构拉伸试件的设计图;

[0053] 图4是本发明的实施例中横向焊接结构拉伸试件的设计图;

[0054] 图5是本发明的实施例中某型号母材标准拉伸试件的示意图;

[0055] 图6是本发明的实施例中某型号金属材料纵向焊接结构拉伸试件的示意图;

[0056] 图7是本发明的实施例中某型号金属材料横向焊接结构拉伸试件的示意图;

[0057] 图8是本发明的实施例中某型号金属材料纵向焊接结构拉伸试件的硬度测试结果的示意图;

[0058] 图9是本发明的实施例中三种拉伸试件的应力应变曲线的示意图;

[0059] 图10是本发明的实施例中计算所得焊缝及焊接热影响区应力应变曲线的示意图;

[0060] 图11是本发明的实施例中纵向焊接结构拉伸试验有限元模型的示意图;

[0061] 图12是本发明的实施例中横向焊接结构拉伸试验有限元模型的示意图;

[0062] 图13是本发明的实施例中母材拉伸试验和仿真的力-位移曲线对比示意图;

[0063] 图14是本发明的实施例中纵向焊接结构拉伸试验和仿真破坏位置对比示意图;

[0064] 图15是本发明的实施例中横向焊接结构拉伸试验和仿真破坏位置对比示意图；

[0065] 图16是本发明的实施例中纵向焊接结构拉伸试验和仿真的力-位移曲线对比示意图；

[0066] 图17是本发明的实施例中横向焊接结构拉伸试验和仿真的力-位移曲线对比示意图。

具体实施方式

[0067] 为了使本发明实现的技术手段与功效易于明白了解，以下结合实施例及附图对本发明作具体阐述。

[0068] <实施例>

[0069] 图1是本发明的实施例中焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法的流程图。

[0070] 如图1所示，焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法的过程如下：

[0071] 步骤1，制作多组母材标准拉伸试件、多组纵向焊接结构拉伸试件和多组横向焊接结构拉伸试件。

[0072] 图2是本发明的实施例中母材标准拉伸试件的设计图，图3是本发明的实施例中纵向焊接结构拉伸试件的设计图，图4是本发明的实施例中横向焊接结构拉伸试件的设计图。

[0073] 在本实施例中，如图2、图3和图4所示，根据《GBT228-2002拉伸试样国家标准》设计了母材标准拉伸试件、纵向焊接结构拉伸试件和横向焊接结构拉伸试件。

[0074] 图5是本发明的实施例中某型号母材标准拉伸试件的示意图，图6是本发明的实施例中某型号金属材料纵向焊接结构拉伸试件的示意图，图7是本发明的实施例中某型号金属材料横向焊接结构拉伸试件的示意图。

[0075] 在本实施例中，采用厚度0.8mm的某型号材料为母材，焊接方式为氩弧焊，并设置合适的焊接功率和焊接速度等焊接参数。将母材加工成如图2所示的标准拉伸试样尺寸，加工数量为30组，加工完成后的拉伸试件如图5所示。其中，将10组母材标准拉伸试件加工成如图3所示的纵向焊接结构拉伸试样，加工完成后的拉伸试件如图6所示，同时将另10组母材标准拉伸试件加工成图4所示的横向焊接结构拉伸试样，加工完成后的拉伸试件如图7所示。

[0076] 步骤2，分别对一组纵向焊接结构拉伸试件和一组横向焊接结构拉伸试件进行材料硬度测试，分别得到纵向焊接结构拉伸试件和横向焊接结构拉伸试件的材料数据。

[0077] 纵向焊接结构拉伸试件的材料数据包括：纵向焊接结构拉伸试件的总宽度W_L、焊缝区宽度W_W、焊接热影响区宽度W_H和母材区宽度W_B以及纵向焊接结构拉伸试件的截面积A^L、焊缝区截面积A_W^L、焊接热影响区截面积A_H^L和母材区截面积A_B^L。

[0078] 横向焊接结构拉伸试件的材料数据包括：横向焊接结构拉伸试件的标定长度L_C、焊缝区长度L_W、焊接热影响区长度L_H和母材区长度L_B以及横向焊接结构拉伸试件的平均截面积A^C、焊缝区截面积A_W^C、焊接热影响区截面积A_H^C以及母材区截面积A_B^C。

[0079] 图8是本发明的实施例中某型号金属材料纵向焊接结构拉伸试件的硬度测试结果的示意图。

[0080] 在本实施例中，分别取一组纵向焊接结构拉伸试件和一组横向焊接结构拉伸试件

进行硬度测试，测试点间距为0.2mm，并根据硬度测试结果确定焊缝区宽度和焊接热影响区宽度，纵向焊接结构拉伸试件的测试结果如图8所示。

[0081] 纵向焊接结构拉伸试件的各区域的宽度和面积，以及横向焊接结构拉伸试件的各区域的长度及面积如下所示：

[0082] $$\begin{bmatrix} W_L & W_W & W_H & W_B \\ A^L & A_W^L & A_H^L & A_B^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12.5\text{mm} & 3.4\text{mm} & 2.6\times 2\text{mm} & 1.95\times 2\text{mm} \\ 11\text{mm}^2 & 3.72\text{mm}^2 & 4.16\text{mm}^2 & 3.12\text{mm}^2 \end{bmatrix}$$

[0083] $$\begin{bmatrix} L_C & L_W & L_H & L_B \\ A^C & A_W^C & A_H^C & A_B^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 50\text{mm} & 3.4\text{mm} & 2.6\times 2\text{mm} & 20.7\times 2\text{mm} \\ 10.25\text{mm}^2 & 13.68\text{mm}^2 & 10\text{mm}^2 & 10\text{mm}^2 \end{bmatrix}$$

[0084] 步骤3，分别对母材标准拉伸试件、纵向焊接结构拉伸试件和横向焊接结构拉伸试件进行拉伸试验，分别得到母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$、纵向焊接结构应力应变曲线$\sigma_L(\varepsilon)$和横向焊接结构应力应变曲线$\sigma_C(\varepsilon)$。

[0085] 下式(1)为母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$，

[0086] $$\sigma_B = K_B \varepsilon_B^{n_B} + P_B \tag{1}$$

[0087] 上式(1)中，σ_B为母材区真实应力，ε_B为母材区真实应变，K_B、n_B和P_B为母材曲线参数，

[0088] 下式(2)为纵向焊接结构应力应变曲线$\sigma_L(\varepsilon)$，

[0089] $$\sigma_L = K_L \varepsilon_L^{n_L} + P_L \tag{2}$$

[0090] 上式(2)中，σ_L为纵向焊接结构真实应力，σ_L(为ε)纵向焊接结构真实应变，K_L、n_L和P_L为纵向焊接结构曲线参数，

[0091] 下式(3)为横向焊接结构应力应变曲线$\sigma_C(\varepsilon)$，

[0092] $$\sigma_C = K_C \varepsilon_C^{n_C} + P_C \tag{3}$$

[0093] 上式(3)中，σ_C为横向焊接结构真实平均应力，ε_C为横向焊接结构真实平均应变，K_C、n_C和P_C为横向焊接结构曲线参数。

[0094] 图9是本发明的实施例中三种拉伸试件的应力应变曲线的示意图。

[0095] 在本实施例中，拉伸试验在Zwick/Roell万能拉伸试验机上进行，标距为50mm。根据试验测的的力-位移曲线转化为应力应变曲线(如图9所示)，最后拟合出的材料非线性阶段的曲线表达式下所示：

[0096] 母材应力应变曲线$\sigma_B = K_B \varepsilon_B^{n_B} + P_B$

[0097] 纵向焊接结构应力应变曲线$\sigma_L = K_L \varepsilon_L^{n_L} + P_L$

[0098] 横向焊接结构应力应变曲线$\sigma_C = K_C \varepsilon_C^{n_C} + P_C$

[0099] 式中：K_B、n_B和P_B为母材曲线参数；K_L、n_L和P_L为纵向焊接结构曲线参数；K_C、n_C和P_C为纵向焊接结构曲线参数，且它们的值分别为

[0100] $$\begin{bmatrix} K_B \\ K_L \\ K_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1485\text{MPa} \\ -1.253\text{MPa} \\ -24.14\text{MPa} \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} n_B \\ n_L \\ n_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.08419 \\ -0.981 \\ -0.5172 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} P_B \\ P_L \\ P_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2934\text{MPa} \\ 929.6\text{MPa} \\ 1015\text{MPa} \end{bmatrix}。$$

[0101] 步骤4，根据横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验并结合材料数据和母材应力应变

曲线$\sigma_B(\varepsilon)$，建立优化数学模型，计算得到焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$。

[0102] 步骤4包括以下子步骤：

[0103] 步骤4-1，根据横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验结合位移叠加原理，得到下式(4)，

[0104] $\Delta L=\Delta L_B+\Delta L_H+\Delta L_W$ (4)

[0105] 上式(4)中，ΔL为横向焊接结构拉伸试件的总伸长量，ΔL_B为母材伸长量，ΔL_H为焊接热影响区伸长量，ΔL_W为焊缝区伸长量。

[0106] 步骤4-2，根据材料数据、母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$和横向焊接结构应力应变曲线$\sigma_C(\varepsilon)$，得到下式(5)，

[0107] $L_C\varepsilon_C(\sigma_C)=L_B\varepsilon_B(\sigma_B)+L_H\varepsilon_H(\sigma_H)+L_W\varepsilon_W(\sigma_W)$ (5)

[0108] 上式(5)中，ε_H为焊接热影响区真实应变，ε_W为焊缝区真实应变，σ_H为焊接热影响区真实应力，σ_W为焊缝区真实应力。

[0109] 步骤4-3，将下式(6)代入上式(5)中，得到应变值$\varepsilon_C(\sigma_C)$，如下式(7)所示，

[0110] $$P_C=\sigma_C A^C=\sigma_B A_B^C=\sigma_H A_H^C=\sigma_W A_W^C \quad (6)$$

[0111] 上式(6)中，P_C为横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验力，

[0112] $$\varepsilon_C(\sigma_C)=\frac{L_B}{L_C}\varepsilon_B\left(\frac{A^C}{A_B^C}\sigma_C\right)+\frac{L_H}{L_C}\varepsilon_H\left(\frac{A^C}{A_H^C}\sigma_C\right)+\frac{L_W}{L_C}\varepsilon_W\left(\frac{A^C}{A_W^C}\sigma_C\right) \quad (7)。$$

[0113] 步骤4-4，根据上式(7)计算得到计算应变值$\varepsilon_C^M(\sigma_C)$。

[0114] 步骤4-5，以计算应变值$\varepsilon_C^M(\sigma_C)$和横向焊接结构拉伸试件在拉伸试验时所得的实验应变值$\varepsilon_C^E(\sigma_C)$之差最小为目标，建立优化数学模型，如下式(8)，

[0115] find K_W,n_W,P_W

[0116] $$\min \sum\left(\varepsilon_C^M(\sigma_C)-\varepsilon_C^E(\sigma_C)\right)^2 \quad (8)$$

[0117] 上式(8)中，K_W,n_W和P_W为焊缝区材料曲线参数。

[0118] 步骤4-6，对上式(8)进行优化迭代计算，得到焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$的最优参数K_W^{best},n_W^{best}es和t,P_W^{best}。

[0119] 步骤4-7，将最优参数代入下式(9)，得到焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$，

[0120] $$\sigma_W=K_W\varepsilon_W^{n_W}+P_W \quad (9)。$$

[0121] 图10是本发明的实施例中计算所得焊缝及焊接热影响区应力应变曲线的示意图。

[0122] 在本实施例中，经过优化迭代后，得到的最优结果下所示，计算所得到的焊缝应力应变曲线如图10所示。

[0123] $$\left[K_W^{best},n_W^{best},P_W^{best}\right]=\left[-1.2572\text{MPa},-0.975,987.1\text{MPa}\right]$$

[0124] 步骤5，根据纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验并结合材料数据、母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$和焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$，计算得到焊接热影响区应力应变曲线$\sigma_H(\varepsilon)$。

[0125] 步骤5包括以下子步骤：

[0126] 步骤5-1，根据纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验，得到下式(10)，

[0127] $$P_L = \sigma_L A^L = \sigma_B A_B^L + \sigma_H A_H^L + \sigma_W A_W^L \quad (10)$$

[0128] 上式(10)中，P_L为纵向焊接结构拉伸试件在拉伸试验时其任一截面上的拉力，σ_H为焊接热影响区真实应力、σ_W为焊缝区真实应力。

[0129] 步骤5-2，由上式(10)转换得到焊接热影响区应力应变曲线$\sigma_H(\varepsilon)$，如下式(11)，

[0130] $$\sigma_H(\varepsilon) = \frac{A^L}{A_H^L}\sigma_L(\varepsilon) - \frac{A_B^L}{A_H^L}\sigma_B(\varepsilon) - \frac{A_W^L}{A_H^L}\sigma_W(\varepsilon) \quad (11),$$

[0131] 上式(10)经该式$\sigma_H = \dfrac{\sigma_L A^L - \sigma_B A_B^L - \sigma_W A_W^L}{A_H^L}$转换得到上式(11)。

[0132] 步骤5-3，将焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$代入上式(11)，得到焊接热影响区应力应变曲线$\sigma_H(\varepsilon)$。

[0133] 在本实施例中，计算得到的焊接热影响区曲线参数K_H，n_H和P_H的结果如下，计算得到的焊接热影响区应力应变曲线如图10所示。

[0134] $[K_H, n_H, P_H] = [-0.003473\text{MPa}, -1.952, 828.6\text{MPa}]$

[0135] 采用有限元模型仿真验证本实施例的焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法，过程如下：

[0136] 1.焊接结构拉伸试验有限元模型(FEA模型)。

[0137] FEA模型采用壳单元模拟，焊接连接方式为共节点，分别赋予母材区、焊接热影响区和焊缝区不同材料曲线和不同的厚度，其中焊接热影响区和焊缝区宽度由硬度测试结果确定，厚度由面积除以宽度得出，求解器为LS-DYNA显式分析。边界条件和试验设置一样，均为一端固定，一端以速度V进行拉伸。

[0138] 图11是本发明的实施例中纵向焊接结构拉伸试验有限元模型的示意图，图12是本发明的实施例中横向焊接结构拉伸试验有限元模型的示意图。

[0139] 纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验有限元模型和横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验有限元模型如图11和图12所示。

[0140] 2.FEA结果与讨论

[0141] 图13是本发明的实施例中母材拉伸试验和仿真的力-位移曲线对比示意图。

[0142] 通过对母材标准拉伸试件进行拉伸试验计算出的真实应力-应变曲线代入到有限元中进行验算，得到的力-位移曲线如图13所示，由图13可看出两曲线重合程度较高，说明了有限元模型设置的准确性。

[0143] 图14是本发明的实施例中纵向焊接结构拉伸试验和仿真破坏位置对比示意图，图15是本发明的实施例中横向焊接结构拉伸试验和仿真破坏位置对比示意图。

[0144] 通过对纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验进行有限元分析得到的破坏位置和试样的变形，如图14所示；横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验的破坏位置和试样的变形如图15所示。由图14和图15可知，纵向焊接结构试验的颈缩位置和破坏位置模拟相对准确，对于横向焊接结构拉伸试验，物理试验中颈缩和破坏位置均发生在焊接热影响区域，FEA结果也能较好的模拟破坏位置。

[0145] 图16是本发明的实施例中纵向焊接结构拉伸试验和仿真的力-位移曲线对比示意

图，图17是本发明的实施例中横向焊接结构拉伸试验和仿真的力-位移曲线对比示意图。

[0146] 纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验FEA和试验力-位移曲线对比如图16所示，横向焊接结构拉伸试件的拉伸试验FEA和试验力-位移曲线对比如图17所示。由图16和图17可知，对于纵向焊接结构试验的力-位移曲线的与试验的一致性较高，模拟的相对误差为0.74％；对于横向焊接结构拉伸试验，力-位移曲线的一致性也相对较高，相对误差为1.56％。

[0147] 实施例的作用与效果

[0148] 根据本实施例提到一种焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法，根据横向焊接结构拉伸试件进行拉伸试验并结合硬度测试的材料数据以及母材应力应变曲线$\sigma_B(\varepsilon)$，建立优化数学模型，通过优化算法迭代得出焊缝应力应变曲线$\sigma_W(\varepsilon)$，并进一步结合纵向焊接结构拉伸试件的拉伸试验得到焊接热影响区应力应变曲线$\sigma_H(\varepsilon)$。

[0149] 在上述实施例中，将所得的焊缝及焊接热影响区材料力学性能曲线代入有限元模型中进行仿真分析，其结果与物理试验进行对比。结果表明，利用所提出的方法得到的焊缝及焊接热影响区材料力学性能可以准确地模拟金属结构破坏的位置，有限元输出的力-位移曲线与物理试验结果相比误差小，验证了本发明所提出的焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法的有效性。

[0150] 因此，本发明的一种焊缝及焊接热影响区的材料力学性能确定方法，能够得到准确的焊缝及焊接热影响区材料力学性能曲线，对提高焊接结构的有限元分析精度及研究焊接结构的失效形式有重要意义。

[0151] 上述实施方式为本发明的优选案例，并不用来限制本发明的保护范围。

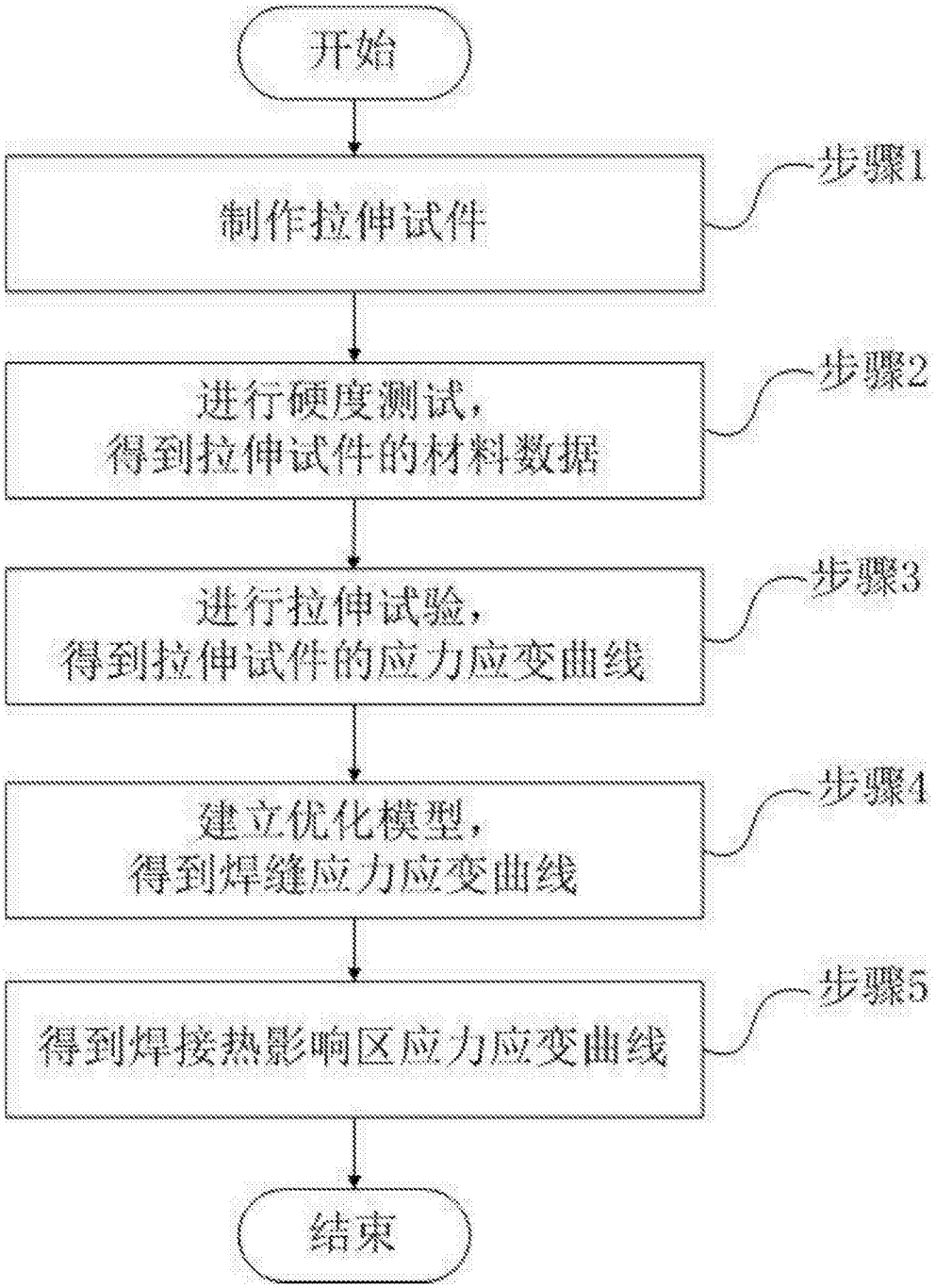

开始
制作拉伸试件
步骤1
进行硬度测试，
得到拉伸试件的材料数据
步骤2
进行拉伸试验，
得到拉伸试件的应力应变曲线
步骤3
建立优化模型，
得到焊缝应力应变曲线
步骤4
得到焊接热影响区应力应变曲线
步骤5
结束

图1

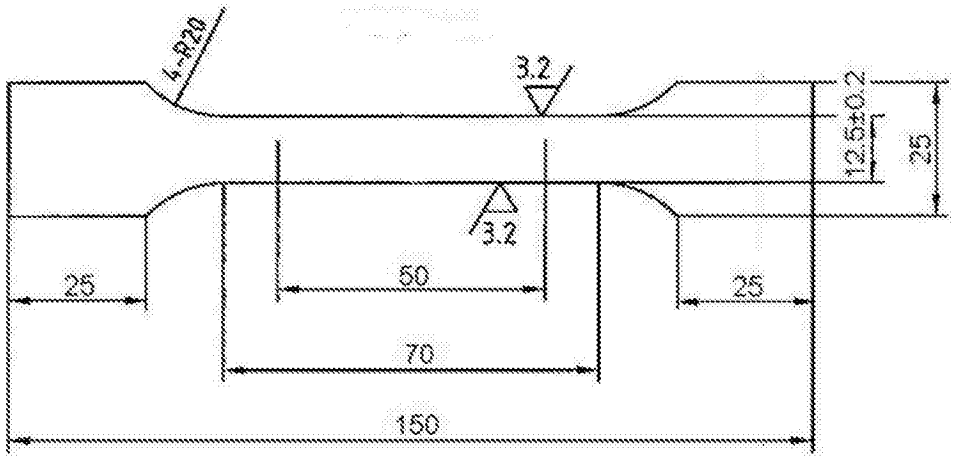

4-R20
3.2
12.5±0.2
25
3.2
25
50
25
70
150

图2

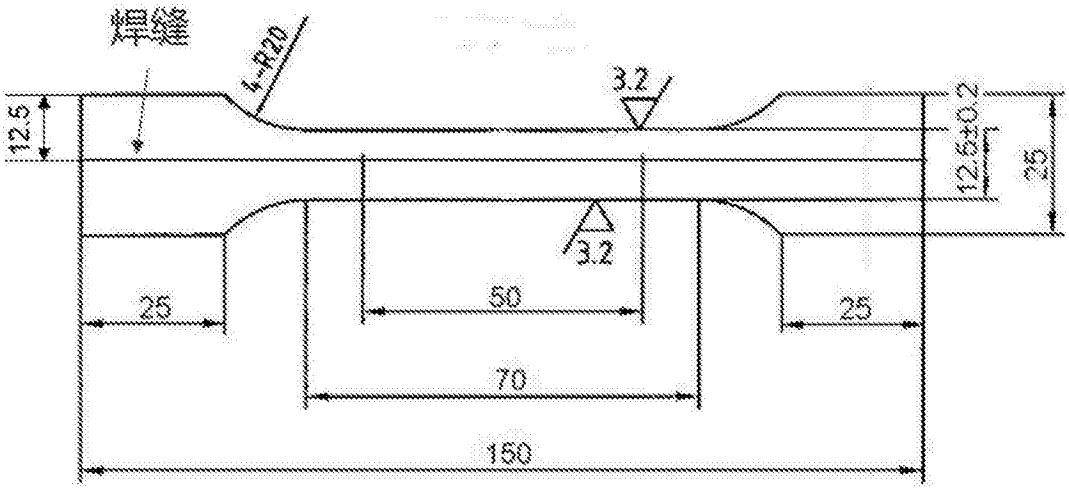

焊缝
4-R20
3.2
12.5
12.5±0.2
25
3.2
25
50
25
70
150

图3

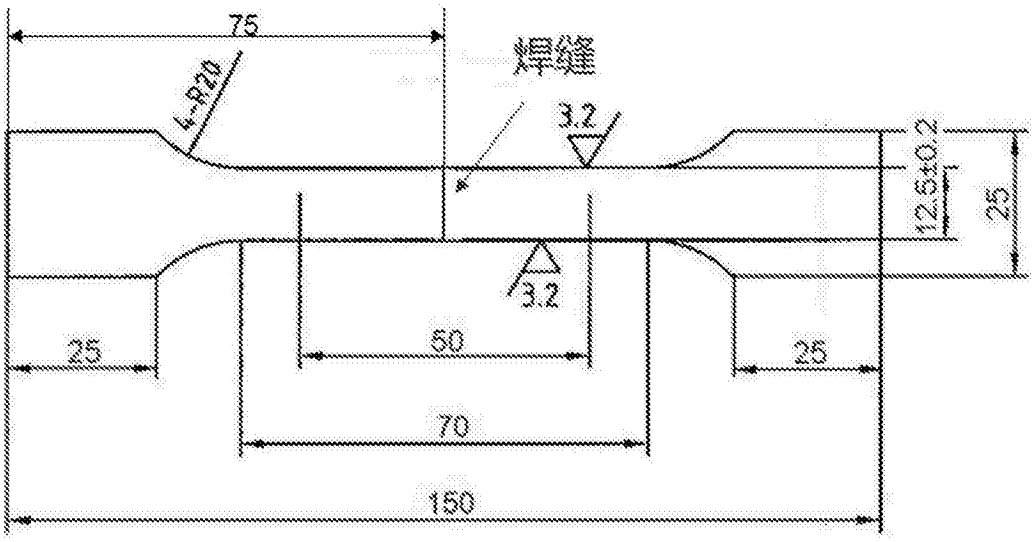


图4

图5

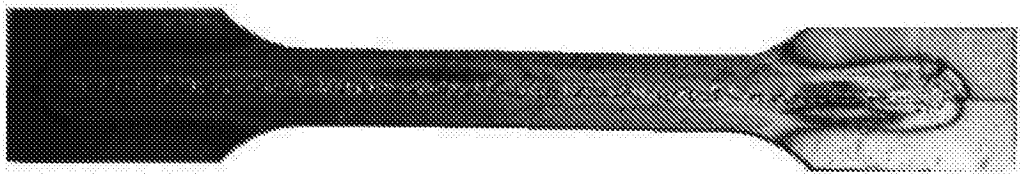


图6

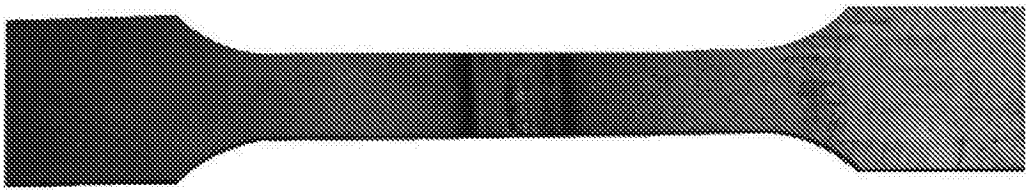


图7

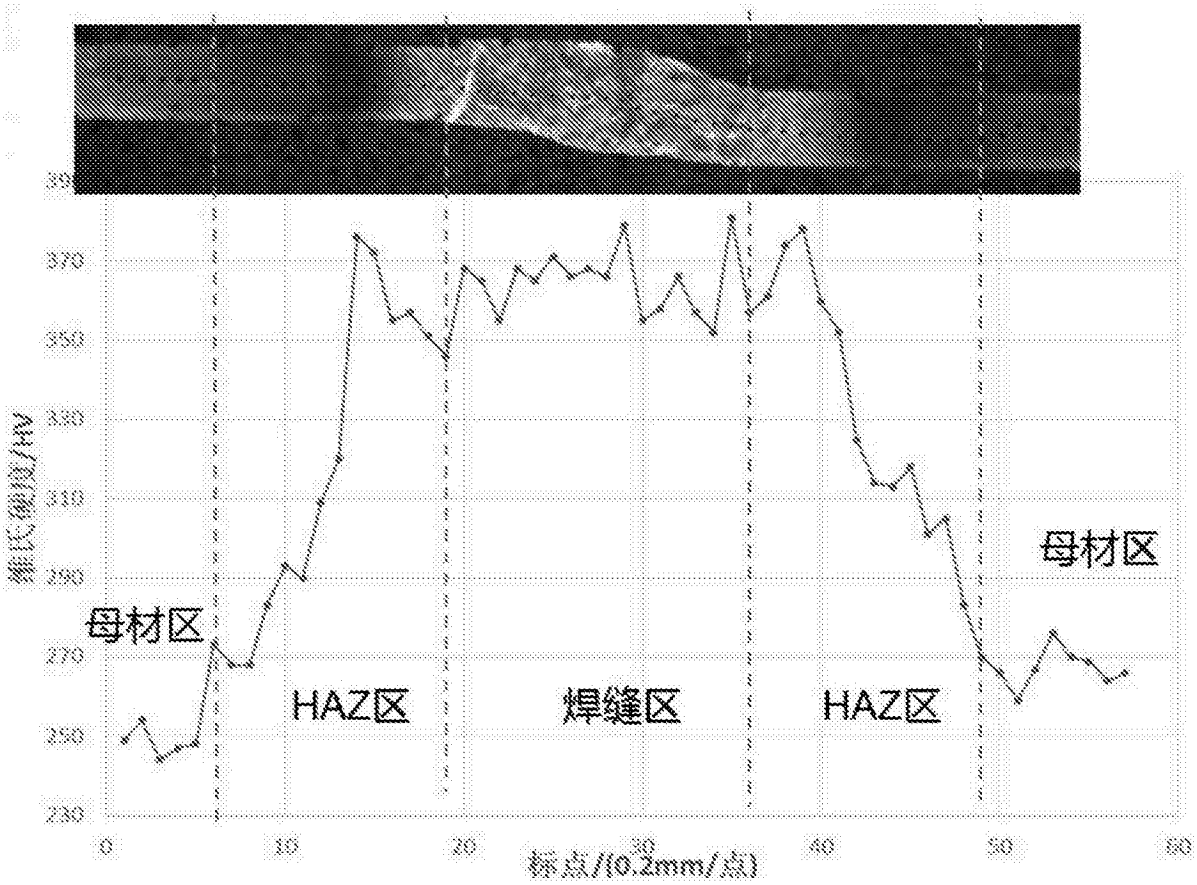

维氏硬度/HV
390
370
350
330
310
290
270
250
230
0
10
20
30
40
50
60
标点/(0.2mm/点)
母材区
HAZ区
焊缝区
HAZ区
母材区

图8

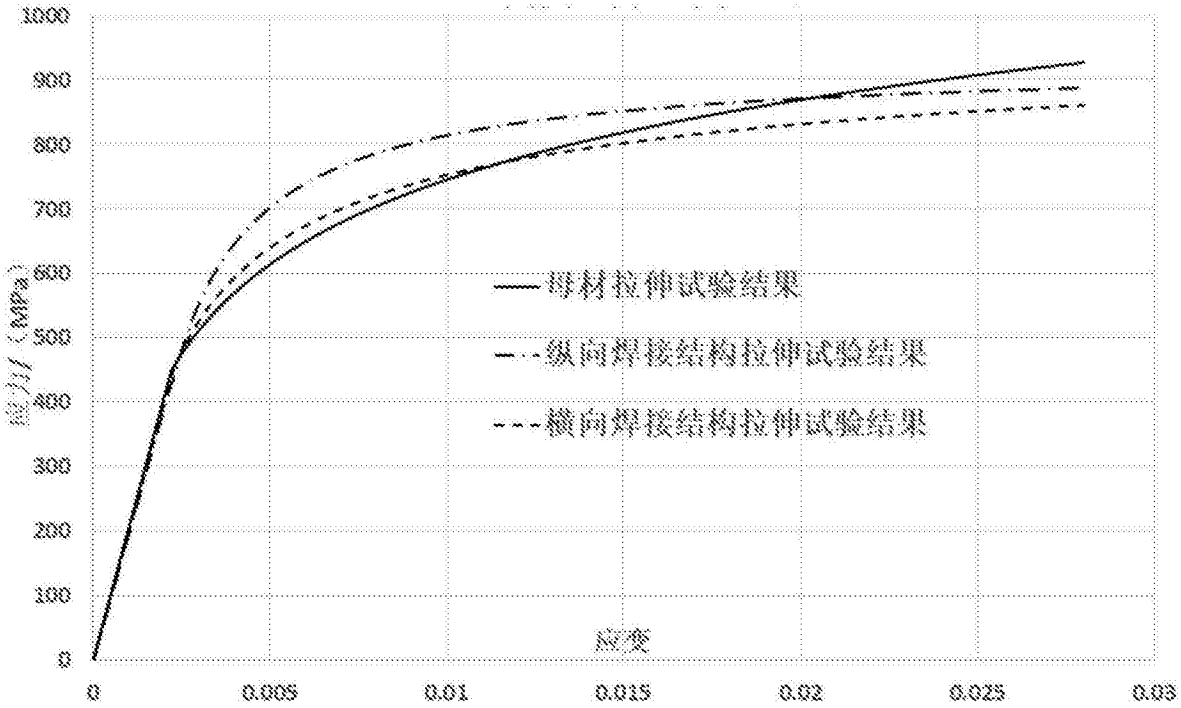

应力/(MPa)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
应变
母材拉伸试验结果
纵向焊接结构拉伸试验结果
横向焊接结构拉伸试验结果

图9

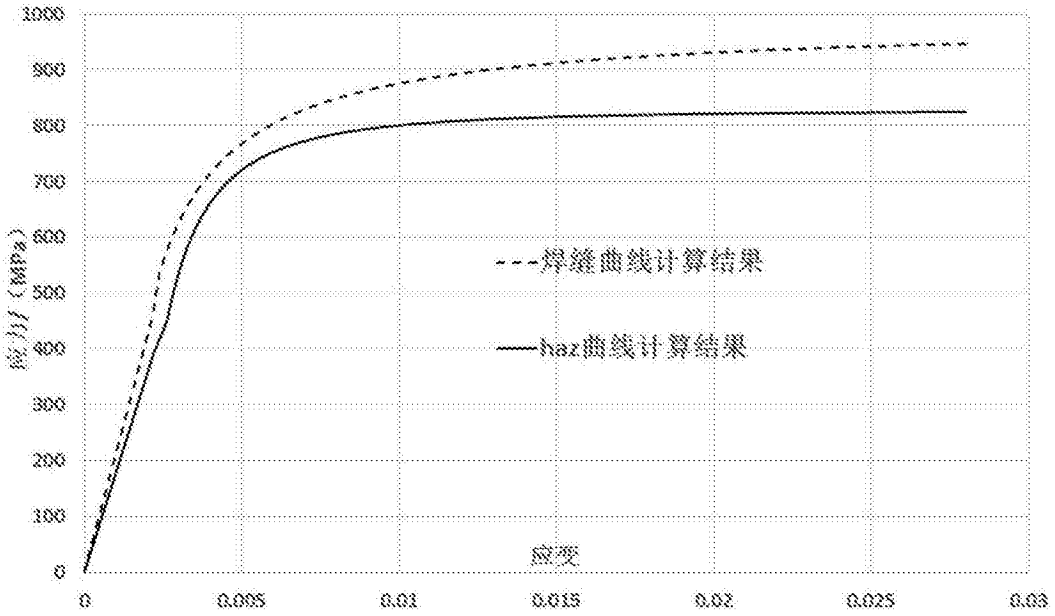

1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
应力（MPa）
---焊缝曲线计算结果
——haz曲线计算结果
应变
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03

图10

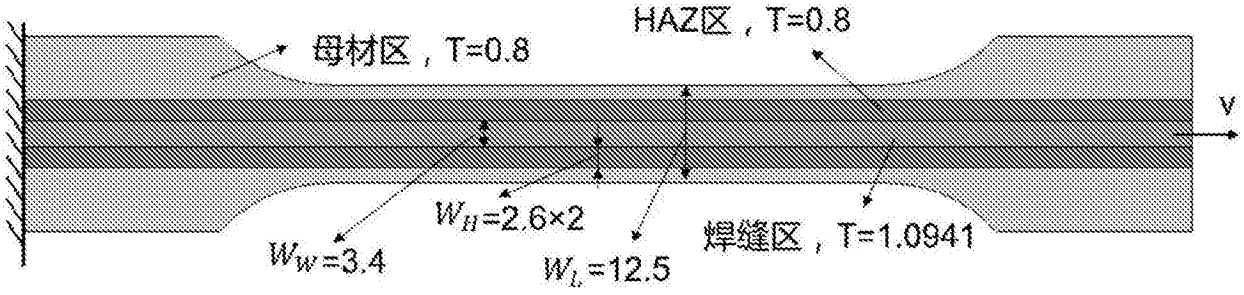

母材区，T=0.8
HAZ区，T=0.8
V
W_H=2.6×2
W_W=3.4
W_L=12.5
焊缝区，T=1.0941

图11

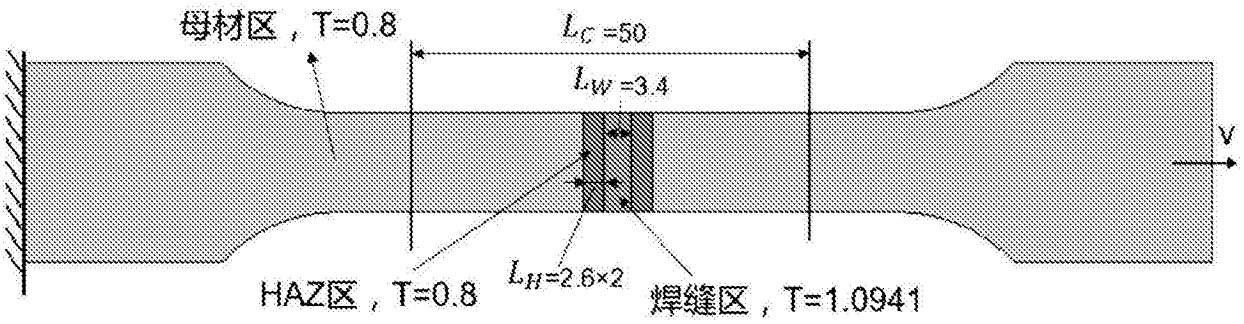

母材区，T=0.8
L_C=50
L_W=3.4
V
HAZ区，T=0.8
L_H=2.6×2
焊缝区，T=1.0941

图12

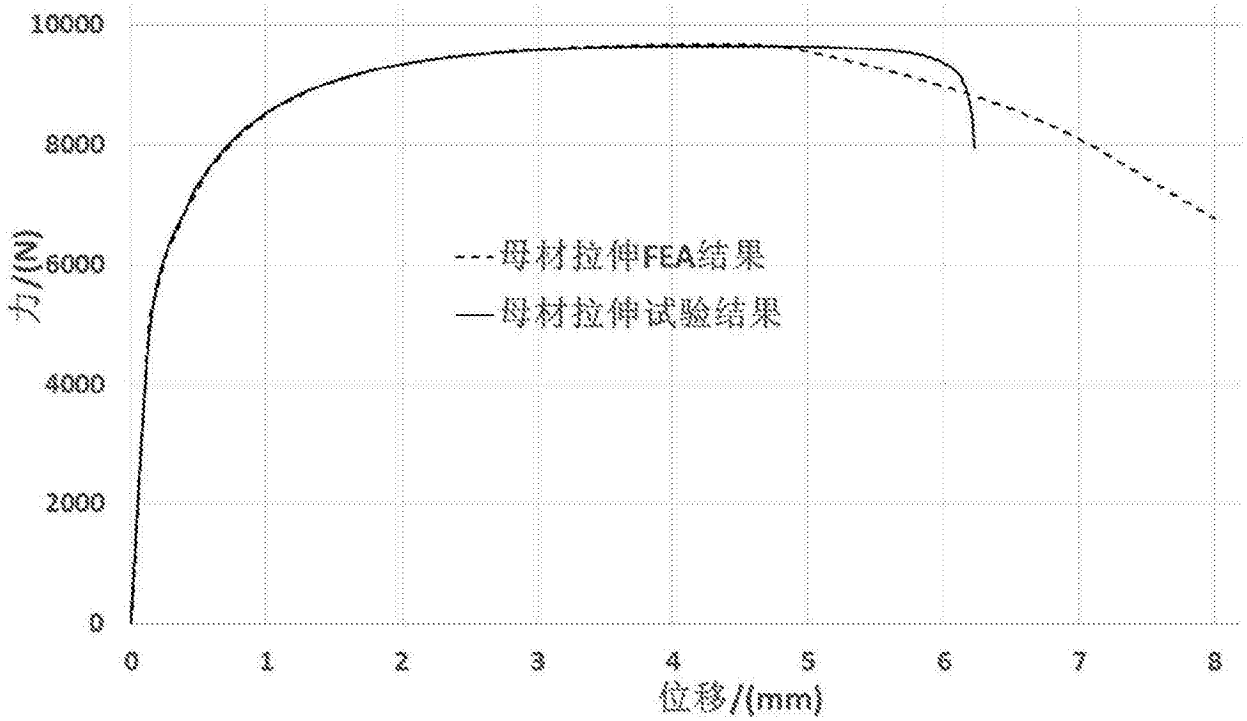
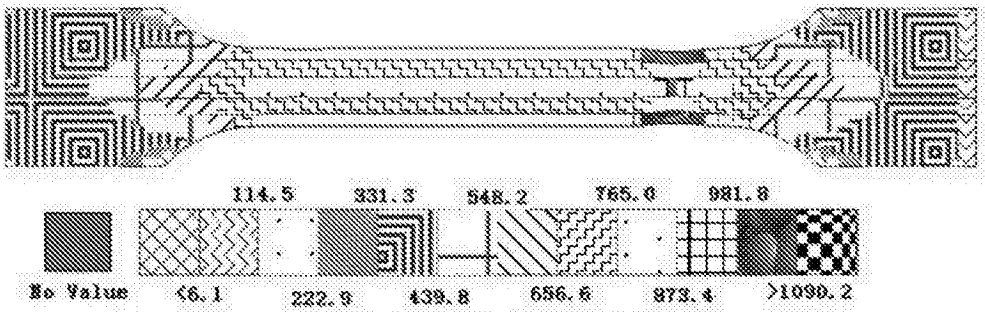
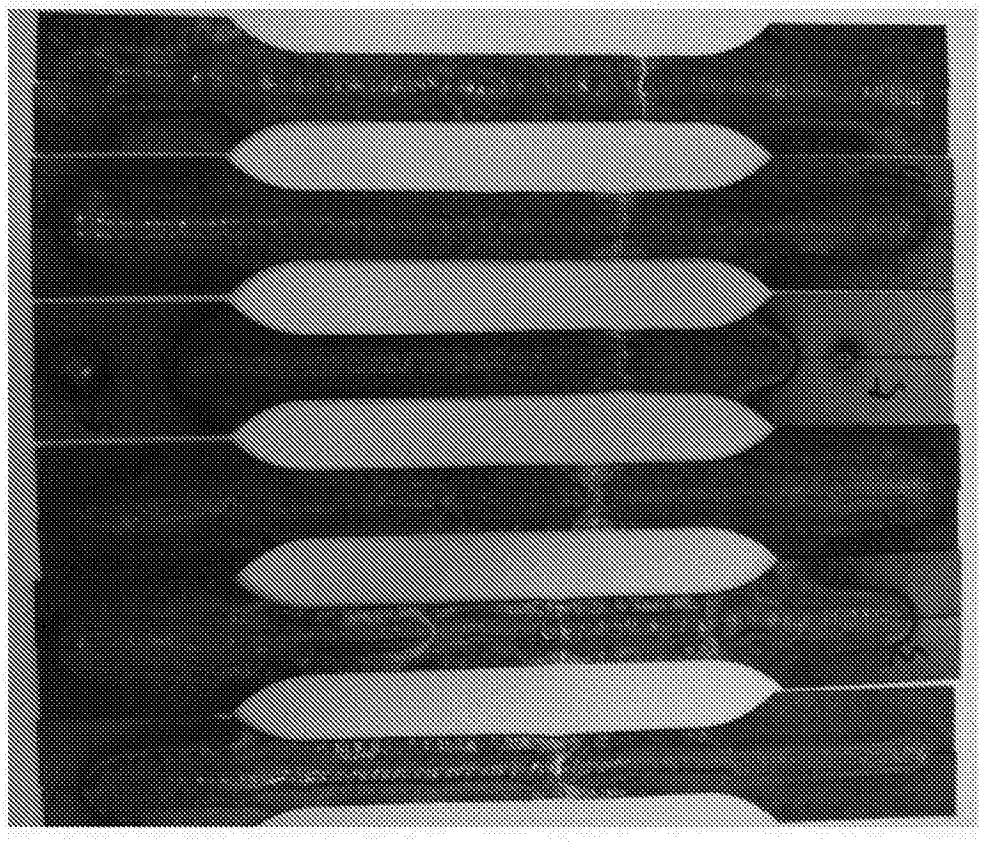

10000
8000
6000
4000
2000
0
力/(N)
---母材拉伸FEA结果
—母材拉伸试验结果
0
1
2
3
4
5
6
7
8
位移/(mm)

图13

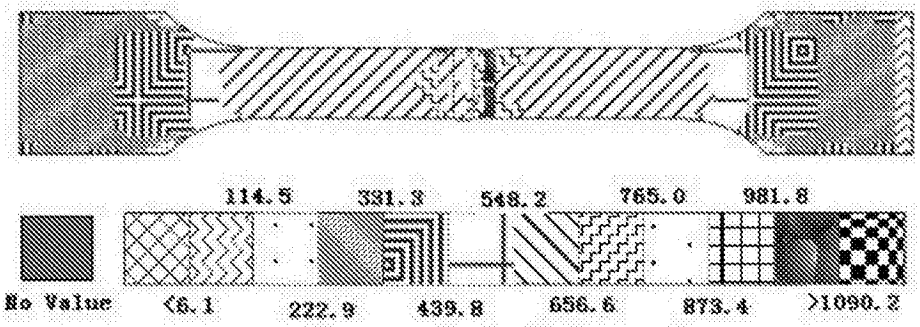


有限元分析应力云图

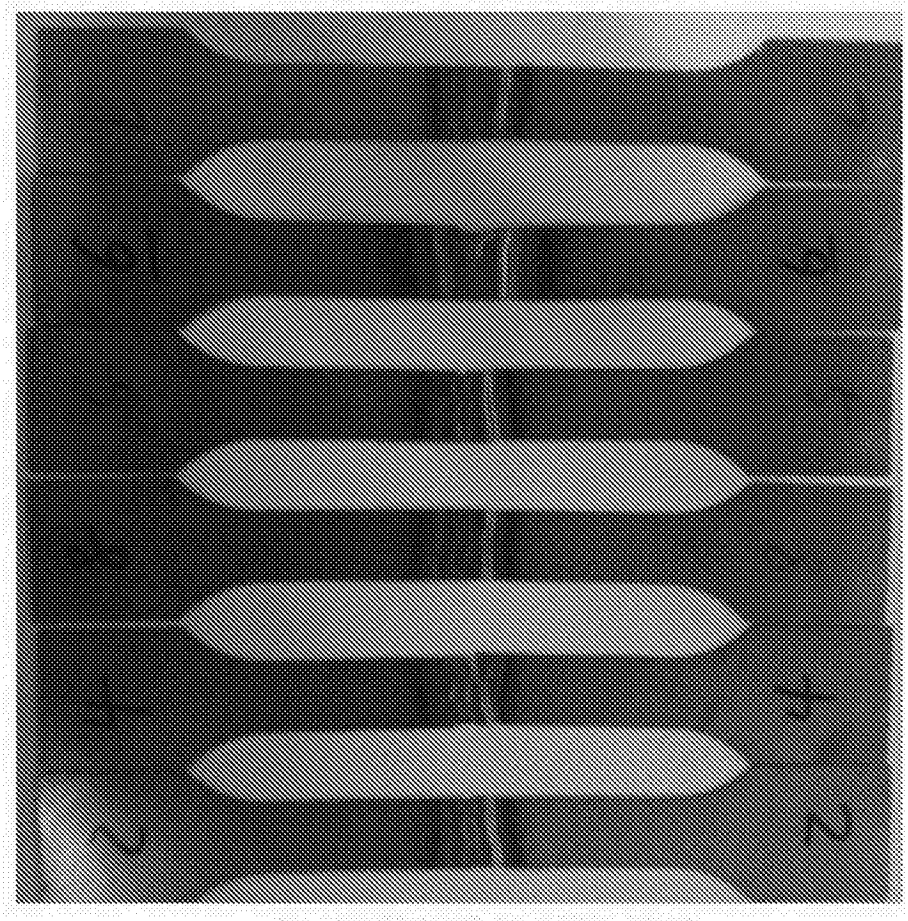


拉伸试验试件破坏位置

图14



有限元分析应力云图



拉伸试验试件破坏位置

图15

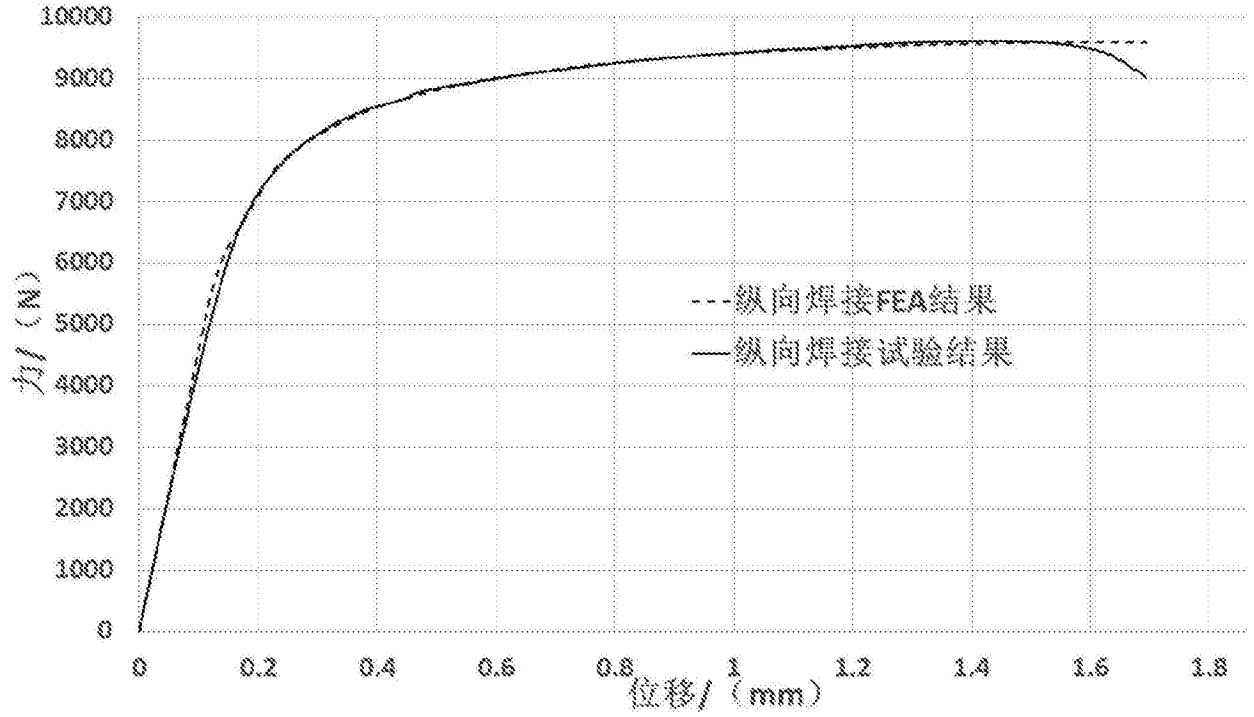

10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
力/（N）
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
位移/（mm）
---纵向焊接FEA结果
—纵向焊接试验结果

图16

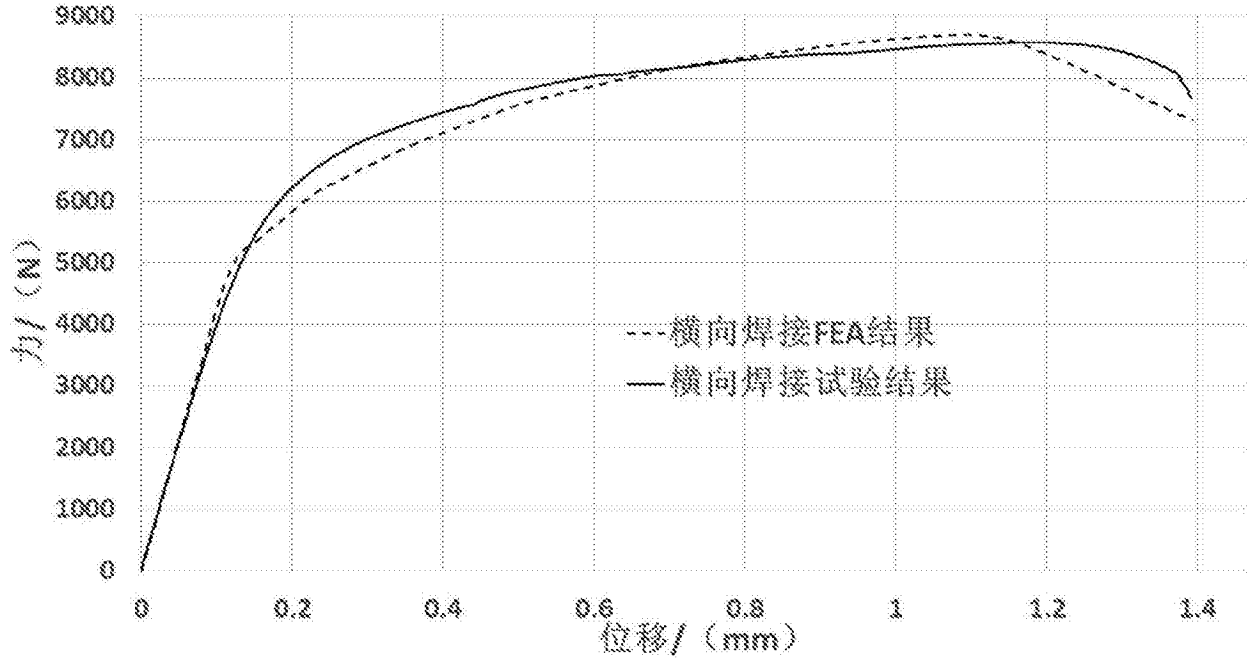

9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
力/（N）
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
位移/（mm）
---横向焊接FEA结果
—横向焊接试验结果

图17