



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103398909 A

(43) 申请公布日 2013. 11. 20

(21) 申请号 201310337979. 7

(22) 申请日 2013. 08. 05

(71) 申请人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市高新园区凌工路
2 号

(72) 发明人 胡平 郭威 邵梅 王振 盈亮
赵坤民 史栋勇

(74) 专利代理机构 大连东方专利代理有限责任
公司 21212

代理人 赵淑梅 李洪福

(51) Int. Cl.

G01N 3/28 (2006. 01)

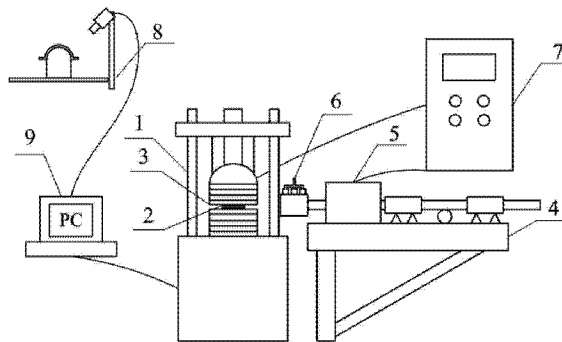
权利要求书2页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

一种获取金属高温温热成形极限曲面图的方法及其测试装置

(57) 摘要

本发明公开了一种获取金属高温温热成形极限曲面图的方法,其特征在于:所述方法包括获取高强度钢板热成形过程高温温热成形极限曲面图和获取轻质合金温成形过程高温温热成形极限曲面图。本发明还公开了一种用于金属高温温热成形极限 TFLD 测试装置,其特征在于:包括液压试验机、模具、模具加热炉、自动送料机构、板料加热炉、板料快速冷却装置、加热控制系统和应变测量分析装置。本发明所提供的方法及装置在确保模具受热均匀的条件下,使板料成形时温度不变,符合温热成形工艺过程并确保所测试获得的曲面涵盖板料在测试温度范围内的等温或非等温成形极限全域曲线,具有操作简单,自动化程度高,工作效率高,测试结果符合实际温热成形工艺需求等优点。



1. 一种获取金属高温温热成形极限曲面图的方法,其特征在于:所述方法包括获取高强度钢板热成形过程高温温热成形极限曲面图和获取轻质合金温成形过程高温温热成形极限曲面图;

所述获取高强度钢板热成形过程高温温热成形极限曲面图的方法包括如下步骤:

①将温度在 900 ~ 950℃的试样在冷却速度大于 50℃/s 的条件下冷却至测试温度后,取出试样移至模具上待处理,测试温度范围在 500 ~ 800℃之间;

②试样快速冷却至预设的测试温度时,在模具内进行等温或非等温成形冲压胀形,当试样出现颈缩或者破裂时,停止试验;

③重复步骤①~②,获取高温温热成形极限全域曲线;通过应变测量分析装置获取不同尺寸试样变形数据进行分析,计算变形试样的第一主应变和第二主应变,最后对应变结果进行拟合获取金属高温温热成形极限曲面图;

所述获取轻质合金温成形过程高温温热成形极限曲面图的方法包括如下步骤:

①将恒定温度在 200 ~ 400℃的试样在模具内进行等温或非等温成形冲压胀形,当试样出现颈缩或者破裂时,停止试验;②重复步骤①,获取高温温热成形极限全域曲线,通过应变测量分析装置获取不同尺寸试样变形数据进行分析,计算变形试样的第一主应变和第二主应变,最后对应变结果进行拟合获取金属高温温热成形极限曲面图。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:模具对试样进行冲压胀形时,模具的凹模向下压边速度为 25 ~ 30mm/s,模具的凸模向上运动速度为 10 ~ 100mm/s。

3. 根据权利要求 1 所述的试验方法,其特征在于:所述应变测量分析装置通过光学或红外图像采集对试样颈缩或破裂区域进行拍摄,采用应变测量系统测量圆形栅格的长轴和短轴长度变化,然后采用如下公式计算变化栅格的第一主应变及第二主应变,

$$\varepsilon_1 = \ln \left(\frac{d_1}{d_0} \right),$$

$$\varepsilon_2 = \ln \left(\frac{d_2}{d_0} \right),$$

其中, ε_1 为第一主应变, ε_2 为第二主应变, d_1 为所测量圆形栅格的长轴长度, d_2 为所测量圆形栅格的短轴长度, d_0 为圆形栅格的初始直径。

4. 根据权利要求 1 所述的试验方法,其特征在于:所述获取高强度钢板热成形过程高温温热成形极限曲面图的方法可完成不同尺寸试样在 500 ~ 800℃温度范围的试验,间隔任意温度区间进行多次试验获取对应金属高温温热成形极限曲面图;所述获取轻质合金温成形过程高温温热成形极限曲面图的方法可完成不同尺寸试样在 200 ~ 400℃温度范围的试验,间隔任意温度区间进行多次试验获取对应金属高温温热成形极限曲面图。

5. 一种金属高温温热成形极限 TFLD 测试装置,其特征在于:包括液压试验机、模具、模具加热炉、自动送料机构、板料加热炉、板料快速冷却装置、加热控制系统和应变测量分析装置;

所述液压试验机用于控制安装在其上的所述模具运动,所述模具用于对试样进行压边及冲压成形;

所述模具加热炉置于所述液压试验机上用于对所述模具 / 所述模具和试样加热;

所述自动送料机构用于将试样转运到所述模具上,在所述自动送料机构的传送段上依次设置有用于加热并保温试样的板料加热炉和用于快速降低试样温度至测试温度的所述板料快速冷却装置;

所述加热控制系统用于对所述模具加热炉和所述板料加热炉进行控制;

所述应变测量分析装置用于获得试样变形的数据,并对获得的试样变形数据进行分析和计算,得到板料在高温下的温热成形极限曲面图。

6. 根据权利要求5所述的金属高温温热成形极限 TFLD 测试装置,其特征在于:所述模具包括半球形的凸模、凹模和带有拉延筋的压边圈,所述凸模置于所述压边圈内,所述凸模的球头直径小于所述凹模和所述压边圈的内径;所述凸模、所述凹模和所述压边圈同轴安装在所述液压试验机上,所述凹模固定在所述液压试验机的上滑块下属的中心轴上,所述压边圈固定在所述液压试验机的底座上,所述凸模固定在所述液压试验机的底部顶缸上。

7. 根据权利要求6所述的金属高温温热成形极限 TFLD 测试装置,其特征在于:所述凸模、所述凹模和所述压边圈内部均设有用于实时监测模具内试样及炉膛温度并反馈给所述加热控制系统的温度传感器。

8. 根据权利要求6所述的金属高温温热成形极限 TFLD 测试装置,其特征在于:所述模具加热炉包括上加热炉和下加热炉,所述上加热炉和下加热炉构成用于容纳所述模具的容纳空间,所述上加热炉和所述下加热炉的内壁均设有用于加热所述模具的环形式感应线圈;所述上加热炉和所述下加热炉的外侧设有用于防止加热炉外侧壁面温度过高的环形冷却水管。

9. 根据权利要求8所述的金属高温温热成形极限 TFLD 测试装置,其特征在于:所述上加热炉和所述下加热炉上均设有氮气管。

10. 根据权利要求5所述的金属高温温热成形极限 TFLD 测试装置,其特征在于:所述自动送料机构采用双链条结构传动、直线导轨导向、变频电机无极调速,所述自动送料机构的传送段装有安全防护罩;所述传送段的前段设有气动控制的试样夹紧装置,所述自动送料机构上还设有传动距离调节装置。

一种获取金属高温温热成形极限曲面图的方法及其测试装置

技术领域

[0001] 本发明涉及金属板材成形技术领域,具体地说是一种获取金属高温温热成形极限曲面图的方法及其测试装置。

背景技术

[0002] 近年来,由于能源及环境问题加剧,汽车设计制造面临的问题是如何在保证汽车被动安全性的前提下实现汽车轻量化,从而提高汽车燃油经济性,降低尾气排放。优化汽车结构设计、使用新型材料及相应的先进制造技术是解决上述问题的主要方法。高强度钢板热冲压成形技术是一项新型的专门用于成形高强度钢板的先进制造技术,可以生产更薄但强度更高的零件,抗拉强度可达 1500MPa 以上且无回弹,形状精准度较高,在国外已被广泛应用于生产汽车上的结构件,如汽车的前后保险杠、A、B、C 柱、车门防撞梁等。此外,镁、铝合金等轻质金属的温成形技术也被广泛用于生产汽车车身零部件。而国内对于温、热成形技术的研究才刚刚起步。

[0003] 在温、热成形技术中,均需将金属板材加热至一定温度,随后采用特殊模具对高温板料进行冲压成形。特别地,在热成形技术中,需将高强度钢板加热到奥氏体温度,保温一定时间,使其充分奥氏体化,然后将板料快速冷却至最佳成形温度,并迅速转运到带有冷却系统的模具中进行冲压成形并保压淬火,得到最终的零件。

[0004] 成形性是板料在成形过程中不发生破裂的能力,反映了材料在成形过程中所能取得的最大变形程度。在温、热成形过程中,若成形工艺参数选择不合适,比如压边力过大,开始成形温度不合适,无润滑等等,板料成形性变差,即出现颈缩甚至破裂,导致成形零件不满足使用要求。随着计算机及有限元技术的发展,常采用 CAE 软件对板料的成形过程进行数值模拟预测,并引入相应的成形极限判定准则,判断零件的成形性是否满足要求,从而指导模具设计改型及过程工艺参数优化,缩短产品开发周期。

[0005] 在传统的冷冲压过程中,通常采用成形极限曲线(FLC-Forming Limit Curve)作为判定准则来描述板料的成形性。然而热成形过程是一个非等温的过程,在成形的过程中板料温度根据接触情况及变形条件不断变化,板料在该过程中的成形性主要受温度、成形速率等因素的影响,因此采用单一温度、成形速率下的成形极限曲线来评价热成形过程中板料的成形性是不准确的。

[0006] 综合考虑热成形原理及成形极限受温度、成形速率影响,申请号为 201110082554.7、201210238542.3 的专利均提到了成形极限试验装置及如何获取成形极限图,但现有的板材高温成形极限的装置和测试方法很难准确获得高强度钢板在温热成形工艺下的高温温热成形极限曲面图(TFLD-Temperature Forming Limit Diagram),主要不足体现在均不能模拟热成形实际过程,即板料奥氏体化之后缺乏必要且有效的板料快速冷却装置将板料快速冷却至测试温度,导致板料发生组织转变。另外,申请号为 201220130204.3 的专利提出的方法是使用感应线圈对板料进行加热,虽然成形之前使用空气喷嘴对板料进

行冷却,但此时板料与已预热的模具相接触,模具会间接发生降温,从而很难保证模具温度保持恒定不变,使得测定的成形极限不准确。另外,对于测定不含防氧化涂层钢板高温温热成形极限时,现有技术中缺乏必要的防氧化装置,导致成形之后网格不可见。而且现有技术中也未见提出一种适用于评价温、热成形等温或非等温成形过程中的零件成形性的有效方法。

发明内容

[0007] 根据上述提出的技术问题,提供一种获取金属高温三维成形极限曲面图的方法及其 TFLD 试验装置。

[0008] 本发明采用的技术手段如下:

[0009] 一种获取金属高温温热成形极限曲面图的方法,其特征在于:所述方法包括获取高强度钢板热成形过程高温温热成形极限曲面图和获取轻质合金温成形过程高温温热成形极限曲面图;

[0010] 所述获取高强度钢板热成形过程高温温热成形极限曲面图的方法包括如下步骤:

[0011] ①将温度在 900 ~ 950°C 的试样在冷却速度大于 50°C /s 的条件下冷却至测试温度后,取出试样移至模具上待处理,测试温度范围在 500 ~ 800°C 之间;

[0012] ②试样快速冷却至预设的测试温度时,在模具内进行等温或非等温成形冲压胀形,当试样出现颈缩或者破裂时,停止试验;

[0013] ③重复步骤①~②,获取高温温热成形极限全域曲线;通过应变测量分析装置获取不同尺寸试样变形数据进行分析,计算变形试样的第一主应变和第二主应变,最后对应变结果进行拟合获取金属高温温热成形极限曲面图;

[0014] 所述获取轻质合金温成形过程高温温热成形极限曲面图的方法包括如下步骤:

[0015] ①将恒定温度在 200 ~ 400°C 的试样在模具内进行等温或非等温成形冲压胀形,当试样出现颈缩或者破裂时,停止试验;②重复步骤①,获取高温温热成形极限全域曲线,通过应变测量分析装置获取不同尺寸试样变形数据进行分析,计算变形试样的第一主应变和第二主应变,最后对应变结果进行拟合获取金属高温温热成形极限曲面图。作为优选,模具对试样进行压模时,模具的凹模向下压边速度为 25 ~ 30mm/s,模具的凸模向上运动速度为 10 ~ 100mm/s。

[0016] 作为优选,所述应变测量分析装置通过光学或红外图像采集对试样颈缩或破裂区域进行拍摄,采用应变测量系统测量圆形栅格的长轴和短轴长度变化,然后采用如下公式计算变化栅格的第一主应变及第二主应变,

$$[0017] \quad \varepsilon_1 = \ln \left(\frac{d_1}{d_0} \right),$$

$$[0018] \quad \varepsilon_2 = \ln \left(\frac{d_2}{d_0} \right),$$

[0019] 其中, ε_1 为第一主应变, ε_2 为第二主应变, d_1 为所测量圆形栅格的长轴长度, d_2 为所测量圆形栅格的短轴长度, d_0 为圆形栅格的初始直径。

[0020] 作为优选,所述获取高强度钢板热成形过程高温温热成形极限曲面图的方法可完成不同尺寸试样在 500 ~ 800℃温度范围的试验,间隔任意温度区间进行多次试验获取对应金属高温温热成形极限曲面图;所述获取轻质合金温成形过程高温温热成形极限曲面图的方法可完成不同尺寸试样在 200 ~ 400℃温度范围的试验,间隔任意温度区间进行多次试验获取对应金属高温温热成形极限曲面图。一般情况下,间隔 50℃进行一次试验为宜。

[0021] 本发明还公开了一种金属高温温热成形极限 TFLD 测试装置,其特征在于:包括液压试验机、模具、模具加热炉、自动送料机构、板料加热炉、板料快速冷却装置、加热控制系统和应变测量分析装置;

[0022] 所述液压试验机用于控制安装在其上的所述模具运动,所述模具用于对试样进行压边及冲压成形;

[0023] 所述模具加热炉置于所述液压试验机上用于对所述模具/所述模具和试样加热;是指所述模具加热炉既可用于单独加热模具,保证成形过程中模具温度保持恒定不变,也可用于同时加热模具和试样,并保证成形过程中模具和试样温度恒定不变。

[0024] 所述自动送料机构用于将试样转运到所述模具上,在所述自动送料机构的传送段上依次设置有用加热并保温试样的板料加热炉和用于快速降低试样温度至测试温度的所述板料快速冷却装置;

[0025] 上述的板料加热炉为平板形的加热炉,加热方式可采用辐射加热和感应加热两种方式,两端设有炉门,可上下开启,且该加热炉中可提供充足氮气,保证加热钢板时不发生氧化。上述的板料快速冷却装置用于在研究高强度钢板温热成形极限时,在传递试样过程中快速降低试样温度至测试温度,使得试样在奥氏体状态下成形而不发生或适量发生珠光体或贝氏体转变(马氏体转化率大于 95%);所述板料快速冷却装置中设有可喷出压缩氮气的高压气体喷出装置,既可快速冷却板料至测试温度,也可防止钢板发生氧化。

[0026] 所述加热控制系统用于对所述模具加热炉和所述板料加热炉进行控制;

[0027] 所述应变测量分析装置用于获得试样变形的数据,并对获得的试样变形数据进行分析 and 计算,得到板料在高温下的温热成形极限曲面图。

[0028] 本发明所提供的试验装置包含两套加热系统,即模具加热炉和板料加热炉,均通过加热控制系统控制其温度。在研究高强度钢板在高温下成形极限时,须模拟实际热成形工艺过程:通过板料加热炉加热试样至奥氏体温度,并保温实现完全奥氏体化,然后通过自动送料机构将高温试样送至板料快速冷却装置进行快速冷却至测试温度,再送至由模具加热炉加热的模具进行冲压成形;研究镁、铝等轻质合金在高温下的成形极限时,可将试样和模具同时在模具加热炉进行加热,到达测试温度后再进行冲压成形。

[0029] 上述的液压试验机为双动压机,压边速度为 0.1 ~ 50mm/s 可调,冲压速度为 0.1 ~ 100mm/s 可调,最大载荷为 300KN。而且液压试验机与模具及模具加热炉组合成一体。

[0030] 上述的应变测量分析装置包括图像采集设备及测量分析设备;图像采集设备用于采集变形后的试样的图像,获取试样上圆形栅格变形的数据;测量分析设备将测量试验上圆形栅格变形,并进行数据分析计算得到变形试样的第一主应变和第二主应变。

[0031] 作为优选,所述模具包括半球形的凸模、凹模和带有拉延筋的压边圈,所述凸模置于所述压边圈内,所述凸模的球头直径小于所述凹模和所述压边圈的内径;所述凸模、所述凹模和所述压边圈同轴安装在所述液压试验机上,所述凹模固定在所述液压试验机的上滑

块下属的中心轴上,所述压边圈固定在所述液压试验机的底座上,所述凸模固定在所述液压试验机的底部顶缸上。

[0032] 上述凸模、凹模和压边圈均由耐高温金属材料制成,球头直径小于凹模和压边圈的内径是指例如球头直径选取 100mm 为例,凹模和压边圈的内径可选取 110mm;拉延筋的形状可采用圆滑过渡的形式,如圆弧形或三角形(顶角为圆弧过渡),主要是保证试样在成形过程中不发生滑动。在实际工作行程内,凸模、凹模和压边圈中心线偏差不大于 0.15mm。

[0033] 作为优选,所述凸模、所述凹模和所述压边圈内部均设有用于实时监测模具内试样及炉膛温度并反馈给所述加热控制系统的温度传感器。

[0034] 作为优选,所述模具加热炉包括上加热炉和下加热炉,所述上加热炉和下加热炉构成用于容纳所述模具的容纳空间,所述上加热炉和所述下加热炉的内壁均设有用于加热所述模具的环形式感应线圈;所述上加热炉和所述下加热炉的外侧设有用于防止加热炉外侧壁面温度过高的环形冷却水管。

[0035] 上述的上加热炉对于凹模进行加热,下加热炉对于凸模和压边圈进行加热,凹模和上加热炉可随液压试验机上滑块的运动而运动,压边圈与下加热炉固定不动,下部顶缸控制凸模运动。上加热炉通过钢索连接在液压试验机上滑块上,可保证上、下加热炉闭合时,凹模仍可向下运动进行压边。

[0036] 作为优选,所述上加热炉和所述下加热炉上均设有氮气管,可往炉内供应充足氮气,保证加热炉内有一定的氮气气氛保护,成形高温钢板时不发生氧化。

[0037] 作为优选,所述自动送料机构采用双链条结构传动、直线导轨导向、变频电机无极调速,保证送样精确、快速、平稳,运动部分装有安全防护罩,防止对操作人员造成伤害;所述自动送料机构的传送段装有安全防护罩;所述传送段的前段设有气动控制的试样夹紧装置,所述自动送料机构上还设有传动距离调节装置,可分别传送尺寸不同的试样至准确位置;试样中心线与模具中心线偏差不大于 0.15mm。

[0038] 进一步地,结合 TFLD 测试装置具体阐述一下获取金属高温温热成形极限曲面图的方法。

[0039] 获取高强度钢板热成形过程高温温热成形极限曲面图的方法包括如下步骤:

[0040] 首先,在模具的凸模上涂抹润滑剂润滑,采用模具加热炉将所述模具的凸模、凹模和压边圈加热到成形预定的温度并保持不变,成形预定温度即测试温度在 500 ~ 800℃ 之间;所述润滑剂为石墨与二硫化钼的混合物,两者按体积比为 2:1 进行混合,涂抹少许即可减小成形过程中试样与凸模之间的摩擦;然后,将板料加热炉升温至 900 ~ 950℃ 后,将试样放在自动送料机构上通过自动送料机构将试样传送至板料加热炉中,试样加热至 900 ~ 950℃,保温 1 ~ 5min,获得均匀的奥氏体组织;接着,自动送料机构将试样从板料加热炉中取出,将试样快速转移板料快速冷却装置中采用高压氮气对试样进行快速冷却,冷却速度大于 50℃/s(根据实际需要,冷却速度大于 80℃/s 时效果较好),确保试样不发生氧化,避免试样发生贝氏体或珠光体转变,同时采用红外测温仪监测试样温度并反馈控制系统,试样温度将要达到测试温度时,迅速将试样转移至模具上,使试样到达模具时的温度保持在试验测试温度 ±10℃ 范围之内;然后,当试样到达模具时,凹模向下运动对试样进行快速压边,压边速度为 25 ~ 30mm/s,随后凸模开始向上运动,运动速度为 10 ~ 100mm/s 可调,试样在恒温状态下发生变形,试样表面蚀刻的圆形栅格发生变形,当试样出现颈缩或者破

裂时,停止试验;最后重复上述步骤,通过应变测量分析装置获取不同试样变形数据进行分析,计算变形试样的第一主应变和第二主应变,最后对应变结果进行拟合获取金属高温温热成形极限曲面图。

[0041] 获取轻质合金温成形过程高温温热成形极限曲面图的方法包括如下步骤:

[0042] 首先,在模具的凸模上涂抹润滑剂润滑,将试样放入模具加热炉中,将试样及模具的凸模、凹模和压边圈同时加热到试验预定温度并保持不变,预定温度在 200 ~ 400℃ 之间,保温 1 ~ 5min;然后,模具的凹模向下运动,对试样进行压边,压边速度为 25 ~ 30mm/s,随后凸模开始向上运动,运动速度为 10 ~ 100mm/s,试样在恒温状态下发生变形,试样表面蚀刻的圆形栅格发生变形,当试样出现颈缩或者破裂时,停止试验;最后,重复上述步骤,通过应变测量分析装置获取不同试样变形数据进行分析,计算变形试样的第一主应变和第二主应变,最后对应变结果进行拟合获取金属高温温热成形极限曲面图。

[0043] 上述试验中的试样包括需覆盖金属高温温热成形极限曲面图中从单向拉伸应变状态到平面应变状态,再到等双拉应变状态的范围。基于 GB/T15825.8-2008,试样长度择优选为 180mm,宽度分别可选成递减趋势的 180、160、140、120、100、80、60、40、20mm 共 9 种宽度。为防止矩形试样在模具拉延筋处发生断裂,仿效拉伸试样将其形状修改为中部稍窄、两端加宽的哑铃形状。在试验之前,采用激光标刻机对试样进行圆形栅格绘制,圆形栅格直径为 2.5mm。

[0044] 金属高温温热成形极限曲面图处理数据的过程如下:先将同一设定温度下 9 种试样的三种网格的第一主应变及第二主应变全部绘制到坐标系中,用平滑曲线连接 9 种试样的颈缩点,从而获得设定成形速度及温度下的成形极限曲线(如图 4 所示为本发明提供的试验获得的高强度钢板在成形速度为 10mm/s、800℃ 下的成形极限曲线)。然后基于同一成形速度、不同温度下的成形极限曲线,在三维坐标系中绘制成形极限曲面,以 X 轴为第二主应变, Y 轴为温度, Z 轴为第一主应变。如图 5 所示为本发明提供的高强度硼钢在 10mm/s 成形速度下的金属高温温热成形极限曲面图,三种应变状态及温度变化历史绘制到图中,点线穿过成形极限曲面,相应区域发生破裂;细线刚好达到曲面,相应区域发生颈缩;粗线位于曲面下方,相应区域安全。所获得的金属高温温热成形极限曲面可以用于温、热成形数值仿真中,预测板料在高温下的成形性能。将本发明提供的高强度钢板高温温热成形极限曲面引入到 CAE 软件中,对某款汽车 B 柱的两种工况下的热成形过程进行数值模拟(工况 1:开始成形温度为 800℃,压边力为 100KN,成形速度为 100mm/s;工况 2:开始成形温度为 800℃,压边力为 30KN,成形速度为 100mm/s)。如图 6 所示为工况 1 下的 B 柱的第一主应变分布图,图 7 所示为工况 1 下 B 柱上所有单元的第二主应变、温度及第一主应变分布图,可以看到一些分布点穿过了高温温热成形极限曲面,因此从图 6 可以看出零件发生破裂,破裂位置零件中部接近上圆角的位置。图 8 所示为工况 2 下的 B 柱的第一主应变分布图,图 9 所示为工况 2 下 B 柱上所有单元的第二主应变、温度及第一主应变分布图,可以看到所有分布点均位于高温温热成形极限曲面之下,因此从图 8 可以看出零件安全无破裂。为验证数值模拟结果及高温温热成形极限曲面的可靠性,进行了实际的 B 柱热成形试验,如图 10 所示为工况 1 下热成形之后的 B 柱零件,发生了破裂,破裂位置与数值模拟结果一致。如图 11 所示为工况 2 下热成形之后的 B 柱零件,安全无破裂,与数值模拟结果一致。因此数值模拟与实际试验的一致性情况证明了本发明的有效性。

[0045] 较现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0046] 1、本发明提供的获取方法可针对高强度钢板和美、铝等轻质合金进行测试,可完成不同尺寸试样在指定温度范围内间隔任意温度区间的试验,从而获取对应金属高温温热成形极限曲面图,测试结果准确有效;

[0047] 2、本发明的板料加热炉可选择采用感应电加热或电热辐射加热及其复合方式,对板料加温均匀速度快,效率高;

[0048] 3、本发明的模具加热炉可将模具快速加热至测试温度,且使模具受热均匀,保证板料成形时温度保持不变,确保所测试的是板料在测试温度下的等温/非等温成形极限;

[0049] 4、本发明的自动送料机构,采用双链条结构传动,直线导轨导向,变频电机无极调速,保证送样精确、快速、平稳,运动部分装有安全防护罩,防止对操作人员造成伤害;

[0050] 5、本发明的板料加热炉、板料快速冷却装置和模具加热炉内均设有防氧化装置,可使高温钢板不发生氧化;

[0051] 6、本发明提供的测试装置可分别针对镁、铝等轻质合金及高强度钢板的高温成形极限配合获取方法进行测试,特殊地,还可考虑实际的温热成形实际工艺流程,操作简单,自动化程度高,工作效率高。

[0052] 另外,热成形过程不同于传统的冷成形,是一个非等温的过程,板料成形性主要受温度等因素的影响,若采用传统的单一温度下的成形极限曲线(FLC)作为判定准则来描述板料的在高温下的成形性,将不准确。采用本发明所建立的考虑温度历史的金属高温温热成形极限曲面,作为极限准则来评价零件在热成形过程中的成形性更准确,同时,该测试装置也能获得常规金属钢板及轻质金属等温成形曲线及三维成形曲面。

[0053] 基于上述理由本发明可在高温条件下金属板材成形领域进行广泛推广。

附图说明

[0054] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0055] 图1是本发明试验装置的结构示意图。

[0056] 图2是本发明模具加热炉和模具的结构示意图。

[0057] 图3是本发明提供的高强度钢板高温温热成形极限试验后的试样的破裂区域示意图。

[0058] 图4是本发明提供的试验获得的高强度钢板在成形速度为10mm/s、800℃下的金属高温温热成形极限曲线图。

[0059] 图5是本发明提供的高强度硼钢在10mm/s成形速度下的金属高温温热成形极限曲面图。

[0060] 图6是本发明提供的工况1下数值模拟的B柱的第一主应变分布图。

[0061] 图7是本发明提供的工况1下数值模拟的B柱上所有单元的第二主应变、温度及第一主应变分布图。

[0062] 图8是本发明提供的工况2下数值模拟的B柱的第一主应变分布图。

[0063] 图9是本发明提供的工况2下数值模拟的B柱上所有单元的第二主应变、温度及第一主应变分布图。

[0064] 图10是本发明提供的工况1下热成形之后的B柱零件。

[0065] 图 11 是本发明提供的工况 2 下热成形之后的 B 柱零件。

[0066] 图中：1、液压试验机 2、模具 21、凸模 22、凹模 23、压边圈 3、模具加热炉 31 上加热炉 32、下加热炉 33、感应线圈 4、自动送料机构 5、板料加热炉 6、板料快速冷却装置 7、加热控制系统 8、应变测量分析装置 9、计算机控制系统 10、试样 101、破裂的圆形栅格 102、颈缩的圆形栅格 103、紧靠颈缩的未破裂的圆形栅格

具体实施方式

[0067] 如图 1、图 2 所示，一种金属高温温热成形极限 TFLD 测试装置，包括液压试验机 1、模具 2、模具加热炉 3、自动送料机构 4、板料加热炉 5、板料快速冷却装置 6、加热控制系统 7 和应变测量分析装置 8；

[0068] 所述液压试验机 1 用于控制安装在其上的所述模具 2 运动，所述模具 2 用于对试样 10 进行压边及冲压胀形；所述模具 2 包括半球形的凸模 21、凹模 22 和带有拉延筋的压边圈 23，所述凸模 21 置于所述压边圈 23 内，所述凸模 21 的球头直径小于所述凹模 22 和所述压边圈 23 的内径；所述凸模 21、所述凹模 22 和所述压边圈 23 同轴安装在所述液压试验机 1 上，所述凹模 22 固定在所述液压试验机 1 的上滑块下属的中心轴上，所述压边圈 23 固定在所述液压试验机 1 的底座上，所述凸模 21 固定在所述液压试验机 1 的底部顶缸上；所述凸模 21、所述凹模 22 和所述压边圈 23 内部均设有用于实时监测模具内试样 10 及炉膛温度并反馈给所述加热控制系统 7 的温度传感器。

[0069] 所述模具加热炉 3 置于所述液压试验机 1 上用于对所述模具 2/ 所述模具 2 和试样 10 加热；所述模具加热炉 3 包括上加热炉 31 和下加热炉 32，所述上加热炉 31 和下加热炉 32 构成用于容纳所述模具 2 的容纳空间，所述上加热炉 31 和所述下加热炉 32 的内壁均设有用于加热所述模具 2 的环形式感应线圈 33；所述上加热炉 31 和所述下加热炉 32 的外侧设有用于防止加热炉外侧壁面温度过高的环形冷却水管。所述凹模 22 与上加热炉 31 可随液压试验机 1 上滑块的运动而运动，压边圈 23 与下加热炉 32 固定不动，下部顶缸控制凸模 21 运动。上加热炉 31 通过钢索连接在液压试验机 1 上滑块上，可保证上、下加热炉闭合时，凹模 22 仍可向下运动进行压边。所述上加热炉 31 和所述下加热炉 32 上均设有氮气管，可往炉内供应充足氮气，保证成形高温钢板时不发生氧化。

[0070] 所述自动送料机构 4 用于将试样 10 转运到所述模具 2 上，在所述自动送料机构 4 的传送段上依次设置有用用于加热并保温试样 10 的板料加热炉 5 和用于快速降低试样 10 温度至测试温度的所述板料快速冷却装置 6；所述自动送料机构 4 采用双链条结构传动、直线导轨导向、变频电机无极调速，所述自动送料机构 4 的传送段装有安全防护罩；所述传送段的前段设有气动控制的试样夹紧装置，所述自动送料机构 4 上还设有传动距离调节装置；所述的板料加热炉 5 为平板形的加热炉，加热方式可采用辐射加热和感应加热两种方式，两端设有炉门，可上下开启，且该加热炉中可提供充足氮气，保证加热钢板时不发生氧化；所述板料快速冷却装置 6 中设有可喷出压缩氮气的高压气体喷出装置。

[0071] 所述加热控制系统 7 用于对所述模具加热炉 3 和所述板料加热炉 5 进行控制；

[0072] 所述应变测量分析装置 8 用于获得试样 10 变形的数据，并由计算机控制系统 9 进行控制，对获得的试样 10 变形数据进行分析 and 计算，得到板料在高温下的温热成形极限曲面图。所述的应变测量分析装置 8 包括图像采集设备及测量分析设备；所述图像采集设备

用于采集变形后的试样的图像,获取试样上圆形栅格变形的数据;所述测量分析设备将测量试样上圆形栅格变形,并进行数据分析计算得到变形试样的第一主应变和第二主应变。

[0073] 本发明还提供一种获取金属高温温热成形极限曲面图的方法,包括获取高强度钢板热成形过程高温温热成形极限曲面图和获取轻质合金温成形过程高温温热成形极限曲面图;下面结合上述 TFLD 测试装置具体讲解一下获取方法:

[0074] 试样 10 的选取需覆盖成形极限图中从单向拉伸应变状态到平面应变状态,再到等双拉应变状态的范围。基于 GB/T15825.8-2008,选取试样 10 长度为 180mm,宽度分别为 180、160、140、120、100、80、60、40、20mm 共 9 种。为防止矩形试样在模具拉延筋处发生断裂,仿效拉伸试样将其形状修改为中部稍窄、两端加宽的哑铃形状。在试验之前,采用激光标刻机对试样 10 进行圆形栅格绘制,圆形栅格直径为 2.5mm。

[0075] 获取高强度钢板热成形过程高温温热成形极限曲面图的方法包括如下步骤:

[0076] 首先,在模具 2 的凸模 21 上涂抹润少许石墨与二硫化钼的混合物作为滑剂润滑,石墨与二硫化钼的体积比为 2:1 进行混合;采用模具加热炉 3 将所述模具 2 的凸模 21、凹模 22 和压边圈 23 加热到成形预定的温度并保持不变,成形预定温度在 600 ~ 800℃ 之间;

[0077] 然后,将板料加热炉 5 升温至 900 ~ 920℃ 后,将试样 10 放在自动送料机构 4 上通过自动送料机构 4 将试样 10 传送至板料加热炉 5 中,试样 10 加热至 900 ~ 920℃,保温 1 ~ 5min;

[0078] 接着,自动送料机构 4 将试样 10 从板料加热炉 5 中取出,将试样 10 快速转移板料快速冷却装置 6 中采用高压氮气对试样 10 进行快速冷却,冷却速度大于 80℃ /s,同时采用红外测温仪监测试样 10 温度并反馈控制系统,试样 10 温度将要达到测试温度时,迅速将试样 10 转移至模具 2 上,使试样 10 到达模具 2 时的温度保持在试验测试温度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 范围之内;

[0079] 然后,当试样 10 到达模具 2 时,凹模 22 向下运动对试样 10 进行快速压边,压边速度为 25 ~ 30mm/s,随后凸模 21 开始向上运动,运动速度为 10 ~ 100mm/s,试样 10 在恒温状态下发生变形,试样 10 表面蚀刻的圆形栅格发生变形,当试样 10 出现颈缩或者破裂时,停止试验;

[0080] 最后重复步骤,完成 9 种不同尺寸试样在 600 ~ 800℃ 温度范围的试验,间隔 50℃ 进行一次试验,通过应变测量分析装置 8 获取不同试样变形数据进行分析,计算变形试样的第一主应变和第二主应变,最后对应变结果进行拟合获取金属高温温热成形极限曲面图。

[0081] 获取轻质合金温成形过程高温温热成形极限曲面图的方法包括如下步骤:

[0082] 首先,在模具 2 的凸模 21 上涂抹少许 FUCHS ease a1278 作为润滑剂润滑,将试样 10 放入模具加热炉 3 中,将试样 10 及模具 2 的凸模 21、凹模 22 和压边圈 23 同时加热到试验 10 预定温度并保持不变,预定温度在 200 ~ 400℃ 之间,保温 1 ~ 5min;

[0083] 然后,凹模 22 向下运动,对试样 10 进行压边,压边速度为 25 ~ 30mm/s,随后凸模 22 开始向上运动,运动速度为 10 ~ 100mm/s,试样 10 在恒温状态下发生变形,试样 10 表面蚀刻的圆形栅格发生变形,当试样 10 出现颈缩或者破裂时,停止试验;

[0084] 最后,重复步骤,完成 9 种不同尺寸试样在 200 ~ 400℃ 温度范围的试验,间隔 50℃ 进行一次试验。通过应变测量分析装置 8 获取不同试样变形数据进行分析,计算变形

试样的第一主应变和第二主应变,最后对应变结果进行拟合获取金属高温温热成形极限曲面图。

[0085] 上述两种方法中,应变测量分析装置 8 通过光学及红外图像采集对试样 10 颈缩或破裂区域进行拍摄,采用应变测量系统测量三种圆形栅格(破裂的圆形栅格 101、颈缩的圆形栅格 102 和紧靠紧缩的未破裂的圆形栅格 103)的长轴和短轴长度变化,然后采用如下公式计算变化栅格的第一主应变及第二主应变,

$$[0086] \quad \varepsilon_1 = \ln \left(\frac{d_1}{d_0} \right),$$

$$[0087] \quad \varepsilon_2 = \ln \left(\frac{d_2}{d_0} \right),$$

[0088] 其中, ε_1 为第一主应变, ε_2 为第二主应变, d_1 为所测量圆形栅格的长轴长度, d_2 为所测量圆形栅格的短轴长度, d_0 为圆形栅格的初始直径。

[0089] 将同一设定温度下 9 种试样的三种网格的第一主应变及第二主应变全部绘制到坐标系中,用平滑曲线连接 9 种试样的颈缩点,从而获得设定成形速度及温度下的成形极限曲线。如图 4 所示为本发明提供的试验方法获得的高强度钢板在成形速度为 10mm/s、800℃下的金属高温温热成形极限曲线图;基于同一成形速度、不同温度下的成形极限曲线,在三维坐标系中绘制成形极限曲面,以 X 轴为第二主应变, Y 轴为温度, Z 轴为第一主应变。如图 5 所示为本发明提供的高强度硼钢在 10mm/s 成形速度下的金属高温温热成形极限曲面图。所获得的金属高温温热成形极限曲面可以用于温、热成形数值仿真中,预测板料在高温下的成形性能。如图 6 所示为本发明提供的将高强度钢板金属高温温热成形极限曲面引入 CAE 软件中,对汽车 B 柱的数值模拟结果以及试验验证,结果显示金属高温温热成形极限曲面可准确地预测板料在热成形过程中的成形性能,从而指导热冲压模具设计改型及过程工艺参数优化,缩短产品开发周期。

[0090] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

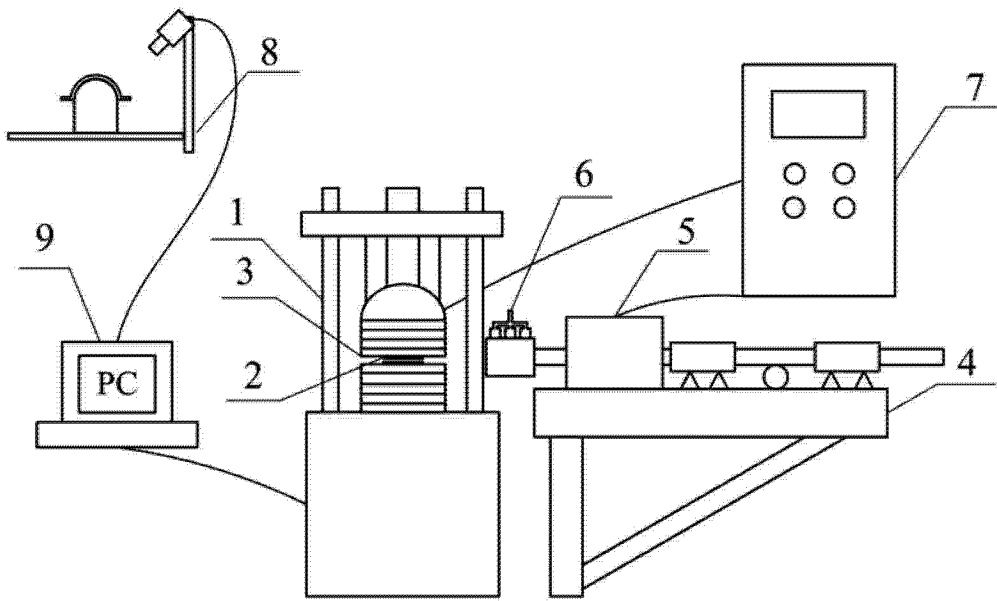


图 1

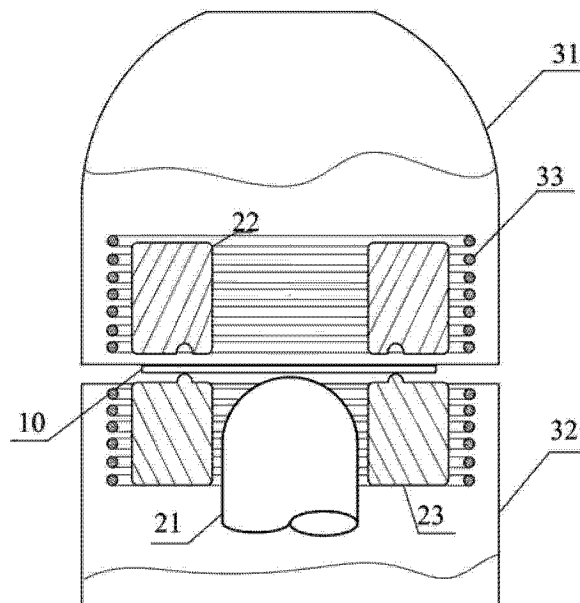


图 2

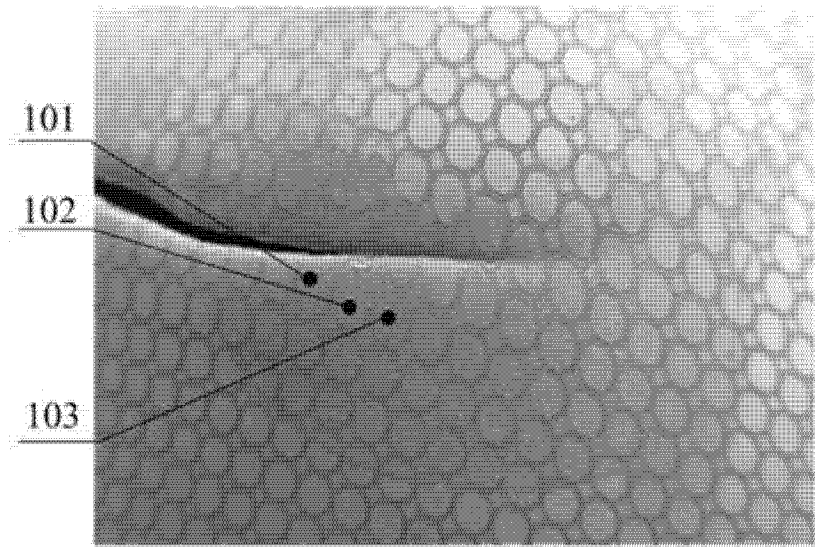


图 3

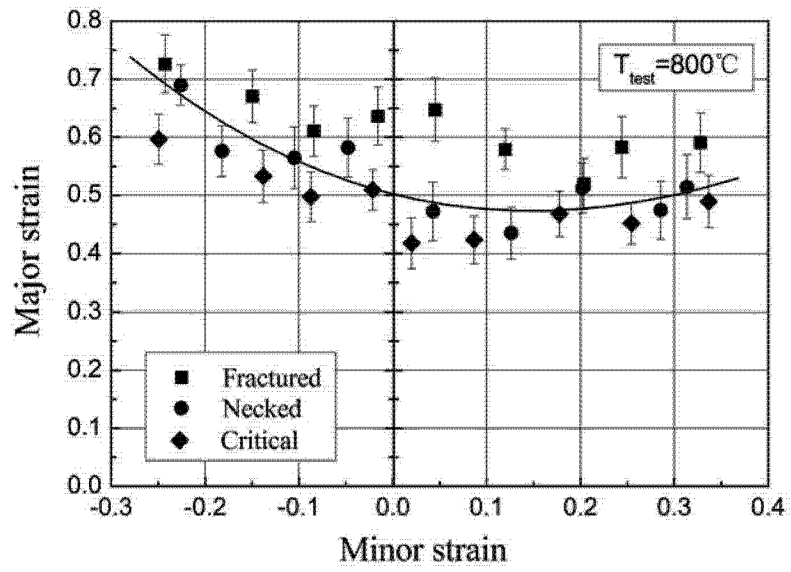


图 4

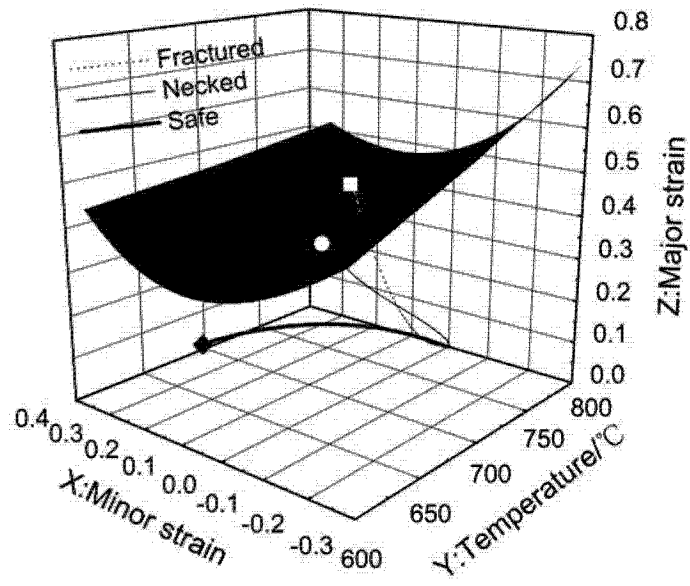


图 5

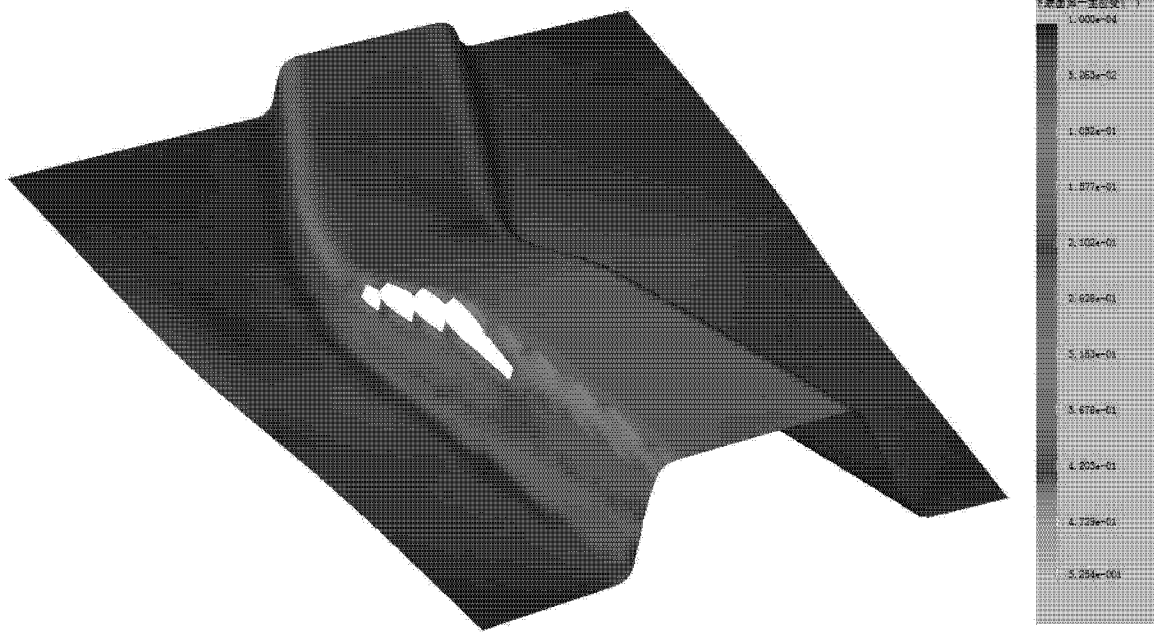


图 6

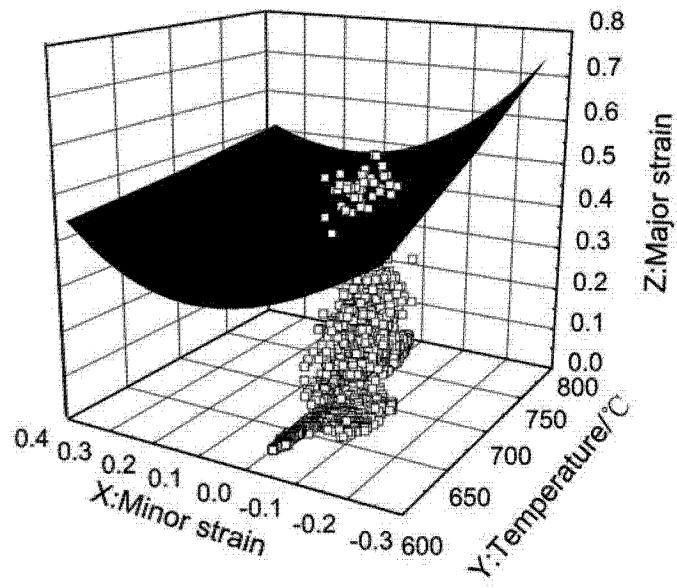
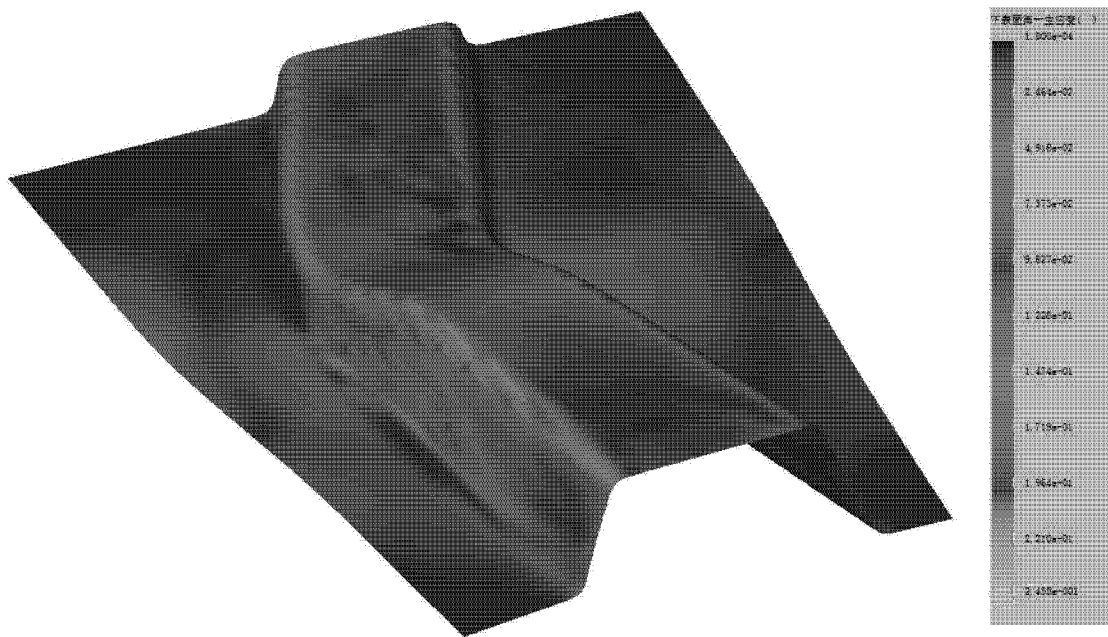


图 7



7

图 8

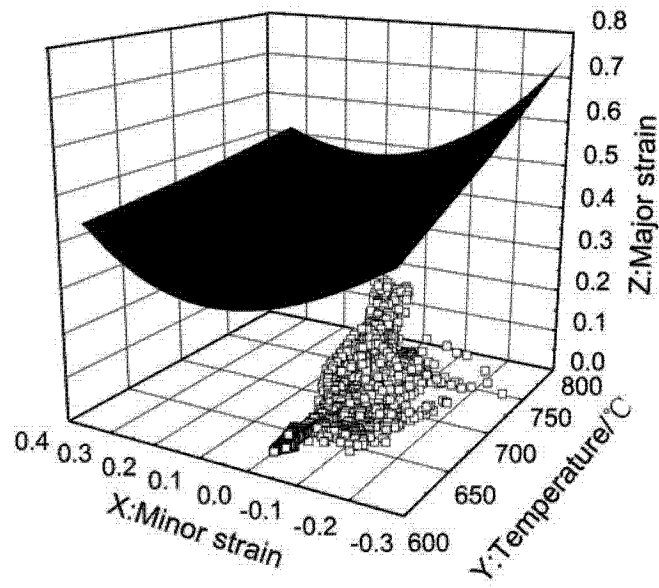


图 9

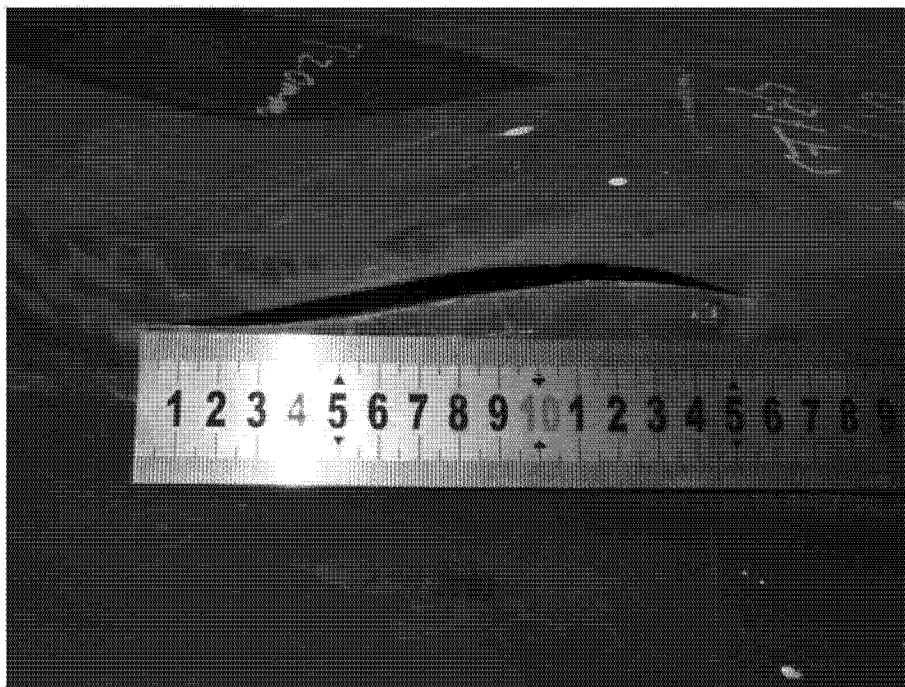


图 10

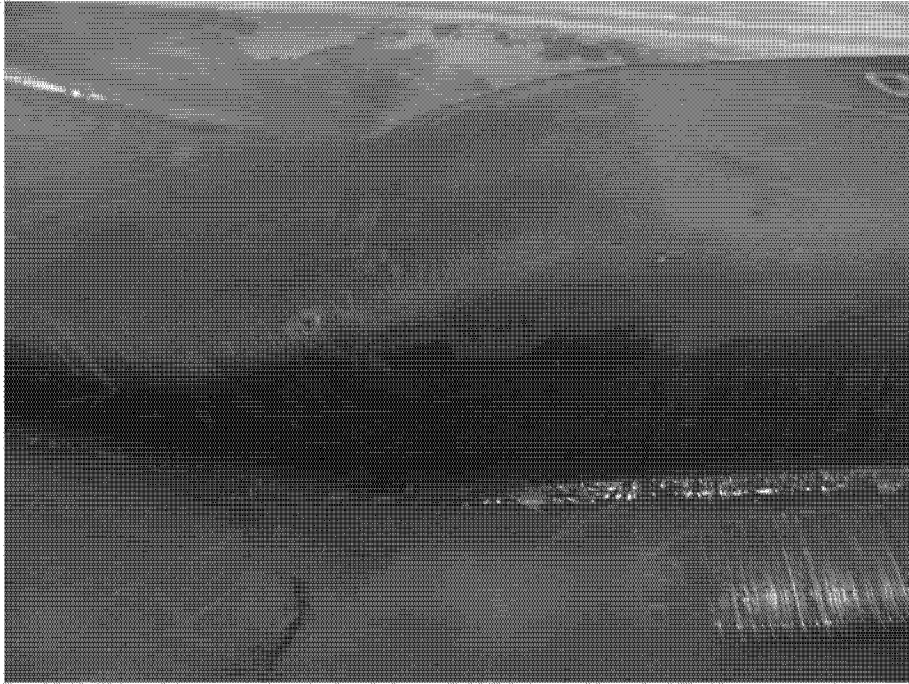


图 11