



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103871098 B

(45)授权公告日 2016.09.07

(21)申请号 201410076398.7

(56)对比文件

(22)申请日 2014.03.04

JP 5038113 B2, 2012.10.03,
CN 102708303 A, 2012.10.03,
US 7870792 B2, 2011.01.18,
CN 102661899 A, 2012.09.12,

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103871098 A

审查员 王玮玮

(43)申请公布日 2014.06.18

(73)专利权人 湖南大学

地址 410082 湖南省长沙市岳麓区麓山南路1号

(72)发明人 李光耀 孙光永 崔俊佳 王涛

(74)专利代理机构 北京律谱知识产权代理事务所(普通合伙) 11457
代理人 王庆海

(51)Int.Cl.

G06T 17/00(2006.01)

G01N 3/18(2006.01)

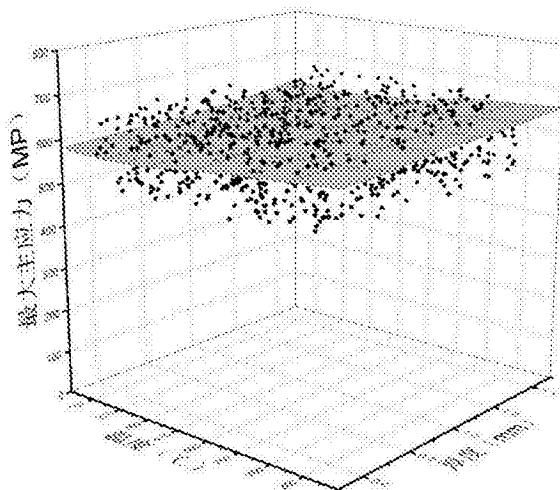
权利要求书1页 说明书7页 附图7页

(54)发明名称

一种变厚板(VRB)三维热成形极限图的构建和使用方法

(57)摘要

本发明公开了一种变厚板(VRB)三维热成形极限图的构建和使用方法,包括:1、在20℃下,测定试样材料基本参数,该材料基本参数包括材料厚向异性指数r、材料应变硬化指数n、材料常数K;2、在20℃下,利用胀形实验获得对应试样材料某一厚度等厚板不同应变路径的成形极限曲线;3、根据相应屈服准则将上述对应试样材料某一厚度等厚板不同应变路径的成形极限曲线根据公式转化为相应的成形极限应力曲线;4、重复步骤1-3,做出20℃下不同厚度等厚板的FLSC曲线;本发明将传统的成形极限应变曲线转化为成形极限应力曲线进一步转化为考虑板厚、温度在内的三维热成形极限图,能更直观及准确的判断变厚板是否能成功成形。



1. 一种变厚板三维热成形极限图的构建方法, 具体包括以下步骤:

步骤1、在20℃下, 测定试样材料基本参数; 其中, 材料基本参数包括材料厚向异性指数r、材料应变硬化指数n、材料常数K;

步骤2、在20℃下, 利用胀形实验获得对应试样材料某一厚度等厚板不同应变路径的成形极限曲线;

步骤3、根据相应屈服准则将上述对应试样材料某一厚度等厚板不同应变路径的成形极限曲线根据公式转化为相应的成形极限应力曲线;

具体转化公式如下:

$$\sigma_1 = \frac{\bar{\sigma}[\bar{\varepsilon}(\varepsilon_{1s}, \varepsilon_{1e}) + \bar{\varepsilon}(\varepsilon_{2s} - \varepsilon_{1s}, \varepsilon_{2e} - \varepsilon_{1e})]}{\xi\alpha(\varepsilon_{2e} - \varepsilon_{1e})} \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{\alpha\sigma_1(\varepsilon_{2e} - \varepsilon_{1e})}{(\varepsilon_{2s} - \varepsilon_{1s})} \quad (2)$$

其中: σ_1 表示最大主应力、 σ_2 表示最小主应力, $\bar{\sigma}$ 表示等效应力, $\bar{\varepsilon}$ 表示等效应变, ξ 是材料参数的函数, 设应力状态参数 $\alpha = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1}$, ε_{1s} 表示预加载的最大应变、 ε_{1e} 表示加载结束的最大应变、 ε_{2s} 表示预加载的最小应变、 ε_{2e} 表示加载结束的最小应变;

步骤4、重复步骤1-3, 做出20℃下不同厚度等厚板的极限应力曲线;

步骤5: 将上面做出的20℃下不同厚度等厚板的成形极限应力曲线(FLSC)中主应力 σ_1 的最大值点、最小值点找出并作出20℃下不同厚度板材主应力 σ_1 的最值图;

步骤6. 将上述各点在Origin中采用差值方法连成两条曲线, 分别表示确定温度下不同厚度板材主应力 σ_1 的最值曲线;

步骤7、重复步骤1-6, 分别做出100℃、200℃、300℃、400℃、500℃、600℃、700℃、800℃、900℃下不同厚度等厚板的最值曲线;

步骤8: 利用Origin软件采用插值方法把上述不同温度下的最值曲线连接成一个三维的面, 即构成三维热成形极限图。

一种变厚板(VRB)三维热成形极限图的构建和使用方法

技术领域

[0001] 本发明涉及变厚板(Variable Thickness Rolled Blanks, VRB)热成形加工领域,特别涉及变厚板(VRB)成形过程中考虑温度、厚度等影响因素在内的三维热成形极限图的建立和使用方法,主要用于判断变厚板(VRB)热成形过程中的破裂,评价变厚板(VRB)的热成形性能。

背景技术

[0002] 板料成形是金属成形的一种重要加工方法,在航空航天、汽车、轻工及家电等制造业中有着非常广泛的应用。这是因为板料成形具有较多的优点,第一,板料成形生产效率高,操作简便,便于实现机械化与自动化,第二:板料成形加工零件的尺寸精度是由模具保证的,一般不需要再进行机械切削加工,所以质量稳定,具有较高的尺寸精度。

[0003] 尽管板料成形具有较多的优点,但同时也存在一些不足,如:采用板料成形方法进行加工时,板料会出现破坏,其破坏的形式主要有两种,即拉应力为主导时的拉伸失稳(缩颈直至断裂)和压应力为主导时的压缩失稳(起皱)。因此,在板料成形过程中人们迫切需要知道板料能够承受的成形极限及在成形过程中发生破坏的时间和位置,以便采取措施加以避免。

[0004] 为得到评价板料成形的判据,人们进行了长期的研究,最终,根据板料成形过程中主次应变值绘制了成型极限图,并慢慢发展成了一种预测板料成形过程中破裂位置的有效工具,可以方便、准确的预测板料的破裂位置和破裂程度,受到业界的广泛关注。

[0005] 但成形极限图只适用于线性应变路径条件。在实际冲压成型过程中,应变路径一般会比较复杂,因此传统的成形极限图就不再适用于判断材料的破裂位置。为找到适用于复杂应变路径下板料破裂位置和破裂程度的预测方法,人们进行了广泛且深入的研究。

[0006] 通过研究,许多研究者发现应力与应变路径无关的特性,因此,根据相应屈服准则建立了复杂应变路径下的成形极限应力图,解决了复杂应变路径条件下板料成形极限判据问题,对板料成形应力极限的研究有着重要的理论意义与工程应用价值。

[0007] 近年来,随着人们对汽车轻量化要求的提高,新的板料加工工艺也随之产生,通过改变轧辊之间的间距来控制板料厚度连续变化的工艺已广泛应用,即生产变厚板(VRB),变厚板(VRB)具有较多的优点,首先,VRB的厚度是连续变化的具有减重作用;其次,由于VRB的厚度是连续变化的,所以消除了厚度突变处的应力峰值,因此有更好的成形性能;最后,VRB具有较好的表面质量较适用于汽车覆盖件的加工。

[0008] 但是VRB也存在一些问题,目前,不论是FLD还是FLSD都只能预测等厚板的成形性能,因此缺乏对变厚板(VRB)成形性能的预测,更深一个层次,现在广泛应用的板料热成形技术具有较多的优点,因此变厚板(VRB)的热成形也是一个发展方向,这样也带来一定的问题,就是对变厚板(VRB)热成形性能的预测,近几年,对变厚板热成形性能的研究已经较为广泛。

发明内容

[0009] 本发明所要解决的问题是提供一种变厚板(VRB)三维热成形极限图的建立和使用方法,不仅能解决传统成形极限图不适用于预测变厚板(VRB)热成形性能的问题,还能提供一种准确、方便评价变厚板(VRB)热成形过程中的破裂位置的方法。

[0010] 本发明提出了一种变厚板三维热成形极限图的建立方法,具体包括以下步骤:

[0011] 步骤1、在20℃下,测定试样材料基本参数;其中,材料基本参数包括材料厚向异性指数r、材料应变硬化指数n、材料常数K;

[0012] 步骤2、在20℃下,利用胀形实验获得对应试样材料某一厚度等厚板不同应变路径的成形极限曲线;

[0013] 步骤3、根据相应屈服准则将上述对应试样材料某一厚度等厚板不同应变路径的成形极限曲线根据公式转化为相应的成形极限应力曲线;

[0014] 具体转化公式如下:

$$[0015] \sigma_1 = \frac{\bar{\sigma}[\bar{\varepsilon}(\varepsilon_{1s}, \varepsilon_{1e}) + \bar{\varepsilon}(\varepsilon_{2s} - \varepsilon_{1s}, \varepsilon_{2e} - \varepsilon_{1e})]}{\xi \alpha (\varepsilon_{2e} - \varepsilon_{1e})} \quad (1)$$

$$[0016] \sigma_2 = \frac{\alpha \sigma_1 (\varepsilon_{2e} - \varepsilon_{1e})}{(\varepsilon_{2s} - \varepsilon_{1s})} \quad (2)$$

[0017] 其中: σ_1 表示最大主应力、 σ_2 表示最小主应力, $\bar{\sigma}$ 表示等效应力, $\bar{\varepsilon}$ 表示等效应变, ξ 是材料参数的函数,设应力状态参数 $\alpha = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$, ε_{1s} 表示预加载的最大应变、 ε_{1e} 表示加载结束

的最大应变、 ε_{2s} 表示预加载的最小应变、 ε_{2e} 表示加载结束的最小应变;

[0018] 步骤4、重复步骤1-3,做出20℃下不同厚度等厚板的FLSC曲线;

[0019] 步骤5:将上面做出的20℃下不同厚度等厚板的成形极限应力曲线(FLSC)中主应力 σ_1 的最大值点、最小值点找出并作出20℃下不同厚度板材主应力 σ_1 的最值图;

[0020] 步骤6.将上述各点在Origin中采用差值方法连成两条曲线,分别表示确定温度下不同厚度板材主应力 σ_1 的最值曲线;

[0021] 步骤7、重复步骤1-6,分别做出100℃、200℃、300℃、400℃、500℃、600℃、700℃、800℃、900℃下不同厚度等厚板的最值曲线;

[0022] 步骤8:利用Origin软件采用插值方法把上述不同温度下的最值曲线连接成一个三维的面,即构成三维热成形极限图。

[0023] 本发明还提供了一种变厚板三维热成形极限图的使用方法,具体包括以下步骤:

[0024] 步骤1、首先,在CATIA、UG或Pro/E中对变厚板料、凸模、凹模、压边圈建立实体模型,建完后保存为IGS文件;

[0025] 步骤2、将步骤1中形成的IGS文件导入DYNAFORM中进行网格划分,以及材料属性的定义,约束条件的添加,对于建好的有限元模型生成DYN文件,再提交LS-DYNA进行求解;

[0026] 步骤3、进行冲压过程仿真,仿真初始时刻,凸模与板料尚未接触时,变厚板有限元模型各点的主应力 σ_1 值为零,此时也没有热量的交换,所以,初始时刻具有相同厚度的点是聚集在三维成形极限图厚度与温度平面某一温度下厚度轴方向上的一系列点;

[0027] 步骤4、仿真过程中,随凸模与变厚板料之间作用力的增加,变厚板料上各点对应的主应力 σ_1 开始大于零,在对应的三维成形极限应力图中,变厚板料各主应力均在自己相应厚度平面内移动;

[0028] 步骤5、成形仿真结束后,从LS-DYNA计算文件中得到变厚板料各点的主应力值 σ_1 ,将包含主应力以及厚度、温度信息的点放入建立好的变厚板三维热成形极限图中,根据这些点的分布位置,判断变厚板料的成形性能

[0029] 本发明的有益效果是:

[0030] 通过以上技术方案,具有通过一次试验就可以完成寻找破裂区域的优势,并且本发明是一种变厚板(VRB)三维热成形极限应力图的建立和使用方法,其将传统的成形极限应变曲线转化为成形极限应力曲线进一步转化为考虑板厚、温度在内的三维热成形极限图,能更直观及准确的判断变厚板(VRB)是否能成功成形。

附图说明

- [0031] 图1是板料基本性能测试试样;
- [0032] 图2是0.5mm板料不同应变路径下的成形极限曲线图;
- [0033] 图3是成形极限试验机;
- [0034] 图4是板料成形极限实验原理图;
- [0035] 图5是0.5mm板料成形极限应力曲线;
- [0036] 图6是不同厚度板料成形极限应力曲线;
- [0037] 图7是不同厚度板料成形极限应力最值点;
- [0038] 图8是不同厚度板料成形极限应力最值曲线;
- [0039] 图9是成形极限应力破裂面;
- [0040] 图10是成形极限应力安全面;
- [0041] 图11是汽车B柱示意图;
- [0042] 图12是810℃下冲压开始前各点在成形极限破裂面中的位置;
- [0043] 图13是810℃下冲压过程中0.6mm厚度下各点在成形极限应力图中所在的变动线;图14是包含各点最终应力信息的成形极限破裂图。

具体实施方式

- [0044] 以下将结合说明书附图1-14和实施例对本发明作详细说明。
- [0045] 本发明提供了一种变厚板三维热成形极限图的构建方法,具体包括以下步骤:
- [0046] 步骤1、20℃下,测定试样材料基本参数,其中,材料基本参数包括材料厚向异性指数r、材料应变硬化指数n、材料常数K;
- [0047] 其具体计算参照金属薄板和薄带应变硬化指数(n值)实验方法国家标准GB/T5028—1999和金属薄板和薄带塑性应变比(r值)实验方法国家标准GB/T5027—1999进行。
- [0048] 如图1所示,试样由高强度硼钢22MnB5钢制成,厚度为0.8mm,标距长为75mm宽为12.5mm,试样总长220mm总宽20mm,将该试样在万能拉伸试验机上进行,拉伸试验机配有加热炉,可以提供相应的温度。板料基本性能测试数据处理时,每组包含三个试样,最终取平均值。

[0049] 步骤2、20℃下,利用胀形实验获得对应试样材料某一厚度等厚板不同应变路径下的成形极限曲线;

[0050] 绘制成形极限曲线FLC时参照《GB/T15825.8-2008金属薄板成形性能与试验方法第8部分:成形极限图(FLD)测定指南》

[0051] 如图2所示,得出某一厚度等厚板在不同应变路径下的成形极限曲线。这里以0.5mm等厚板为例,如图2所示是0.5mm板料不同应变路径下的成形极限图,纵坐标是主应力,横坐标是次应力。应当指出的是,对于每一厚度下的板料都应作出不同应变路径下的成形极限曲线,这样才能做出不同厚度下的成形极限应力曲线。

[0052] 如图3所示,该步骤中所用实验设备为板料成形性试验机,现有技术中,该设备的主要组成部分有压边油缸1、上压边圈2、板料3、下压边圈4、冲头5、冲压油缸6、压边油缸7、外腔8、压边模座9、冲头模座10、压边进油口11。

[0053] 如图4所示,该实验机的实验原理基于Nakazima板料成形极限实验原理,具体过程为:在冲压成形前,板料上采用丝网法印上测量应变所用的方网格或圆网格,方网格边长为1.5-2.5mm(圆网格直径为1.5mm-2.5mm)成形过程中原始网格随着板料流动而变形,成形后应用应变测量工具对变形的网格进行应变测量,获得主次应变值 ε_1 、 ε_2 ,以 ε_2 为横坐标, ε_1 为纵坐标便可画出FLD图。

[0054] 所用试样材料为:高强度硼钢22MnB5,所用试样规格按照GB/T15825.2-2008中第三章的规定制备,本试验规范符合国内国际标准,所作成形极限图能够很好地反映板料的成形性能。

[0055] 步骤3、根据相应屈服准则将上述对应试样材料的某一厚度下不同应变路径的成形极限曲线根据公式转化为相应的成形极限应力曲线。

[0056] 如图5所示给出了0.5mm板料主次应变经转化后的主次应力点,应力是与应变路径无关的所以应是一条线,在这里,经过拟合后便可以得到主次应力曲线。

[0057] 转化流程如下,

$$[\sigma_1, \sigma_2] \xrightarrow{\beta, \alpha} [\bar{\varepsilon}] \xrightarrow{\xi} [\bar{\sigma}] \xrightarrow{\sigma_1, \sigma_2]$$

[0059] 其中 σ_1 和 σ_2 分别表示最大主应力和最小主应力, $\bar{\sigma}$ 表示等效应力, ε_1 、 ε_2 分别为最大主应变和最小主应变, $\bar{\varepsilon}$ 表示等效应变, ξ 是材料参数的函数。忽略板料的厚向应力,即 $\sigma_3=0$,材料处于平面应力状态。设应力状态参数 $\alpha = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$,应变状态参数 $\beta = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$ 。

[0060] 具体转化公式如下:

$$[\sigma_1] = \frac{\bar{\sigma}[\bar{\varepsilon}(\varepsilon_{1s}, \varepsilon_{1e}) + \bar{\varepsilon}(\varepsilon_{2s} - \varepsilon_{1s}, \varepsilon_{2e} - \varepsilon_{1e})]}{\xi \alpha (\varepsilon_{2e} - \varepsilon_{1e})} \quad (1)$$

[0062] 其中: ε_{1s} 表示预加载的最大应变、 ε_{1e} 表示加载结束的最大应变、 ε_{2s} 表示预加载的最小应变、 ε_{2e} 表示加载结束的最小应变;

$$[\sigma_2] = \frac{\alpha \sigma_1 (\varepsilon_{2e} - \varepsilon_{1e})}{(\varepsilon_{2s} - \varepsilon_{1s})} \quad (2)$$

[0064] 采用二次厚向异性准则(Hill148屈服准则)时有

$$[0065] \quad \alpha = \frac{(1+r) \beta + r}{1+r+r\beta} \quad (3)$$

[0066] 式中: β 可以通过坐标网格的两向应变获得, 材料厚向异性指数 r 通过拉伸试验获得。

[0067] 等效应变 $\bar{\varepsilon}$ 可由下式得到:

$$[0068] \quad \bar{\varepsilon} = \frac{(1+r)/\sqrt{1+2r}}{\sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + 2r\varepsilon_1\varepsilon_2}/1+2r} \quad (4)$$

[0069] 等效应力和等效应变的关系为

$$[0070] \quad \bar{\sigma} = K \bar{\varepsilon}^n \quad (5)$$

[0071] 式中: K 值为材料常数, n 为材料硬化指数。

$$[0072] \quad \xi = \sqrt{1+\alpha^2 - \frac{2r}{1+r}\alpha} \quad (6)$$

[0073] 式中: ξ 是材料参数的函数。

[0074] 将(3)(4)(5)(6)式带入(1)(2)式便可将主次应变转化为主次应力。

[0075] 步骤4: 重复步骤1-3, 做出20℃下不同厚度等厚板的FLSC曲线。

[0076] 如图6所示, 不同厚度下的成形极限应力曲线, 纵坐标表示主应力, 横坐标表示次应力, 图中给出了0.5mm、0.7mm、0.9mm、1.1mm、1.3mm、1.5mm板料的成形极限应力曲线。位于最上方的是1.5mm板料成形极限应力图, 位于最下方的是0.5mm板料成形极限应力图。0.7mm、0.9mm、1.1mm、1.3mm、1.5mm的板料成形极限应力图的获得方法与0.5mm板料成形极限应力图获得方法相同。

[0077] 步骤5: 将上面做出的20℃下不同厚度的成形极限应力曲线(FLSC)中主应力的最大值点、最小值点找出并作出某一确定温度下不同厚度板材的成形极限应力最值图。

[0078] 如图7示: 给出了20℃下0.5mm、0.7mm、0.9mm、1.1mm、1.3mm、1.5mm下的主应力最值。可以看出随厚度的增加主应力的最值也相应的增加。

[0079] 步骤6. 将上述各点在Origin中采用差值方法连成两条曲线, 分别表示某一确定温度下不同厚度板材的最值曲线, 上方曲线表示主应力最大值曲线, 下方曲线表示主应力最小值曲线;

[0080] 如图8所示: 给出了采用插值方法连接之后的两条最值曲线, 每个厚度下均有两个最值点, 其中上面的一个点是该厚度下主应力的最大值, 下面的一个点是该厚度下主应力的最小值。从图中可以看出, 最大值及最小值总体变化趋势为随厚度的增加最值也相应的增加。

[0081] 步骤7: 重复步骤1-6分别做出不同温度下不同厚度等厚板的最值曲线, 在这里温度控制在900℃以下。

[0082] 需要说明的是, 在该实施例中, 图中给出的温度值包含了一般热成形时的所有温度。

[0083] 步骤8: 最后利用Origin软件采用插值方法把不同温度不同厚度下的最值曲线连接成一个三维的面, 即构成三维热成形极限图, 具体方法为: 首先在Origin软件中建立一个

新的BOOK,把温度作为X轴,厚度作为Y轴,主应力最值作为Z轴,下一步将这个BOOK中的数据转化为矩阵形式,操作为Worksheet—Convert to Matrix,最后在Plot—3D Surface中绘制出三维成形极限面;

[0084] 如图9、10:图中三个坐标分别是Z轴:主应力最大值;X轴:温度;Y轴:厚度,可以看出某一确定厚度下(如0.5mm)随温度的升高主应力慢慢升高,同样,在某一确定温度下(如200℃)随厚度增加主应力也慢慢变大。此图包含了温度、厚度以及应力信息,可以较好地对差厚板热成形性能作出预测。

[0085] 本发明还提供了一种变厚板三维热成形极限图的使用方法,本实施例中以变厚板B柱冲压仿真为例进行说明,目的是获得变厚板B柱成形结束后的主应力值,再结合建立的三维热成形极限图便可以较为准确的判断板料的成形性能。

[0086] 仿真过程具体包括以下步骤:

[0087] 步骤1:仿真时,在CATIA、UG或Pro/E中对B柱建立实体模型,对汽车B柱的建模包括凸模、凹模、板料、压边圈,建完后保存为IGS文件;

[0088] 步骤2:将上面建立好的IGS文件导入DYNAFORM进行网格划分,以及材料属性的定义,约束条件的添加,对于建好的模型生成DYN文件,再提交LS-DYNA进行求解;模拟中所采用板料为高强度硼钢22MnB5,采用模具恒定温度50℃,板料初始温度为810℃;

[0089] 步骤3:仿真初始时刻,即冲压刚刚开始,凸模与板料尚未接触时,每一个点均有各自相应的厚度,因为凸模与板料尚未接触一方面主应力 σ_1 等于零,另一方面没有热量的交换,进而初始时刻具有相同厚度的点是聚集在三维成形极限图厚度与温度平面某一温度下厚度轴方向上的一系列点。

[0090] 如图12所示:在该实施例中,该板料初始温度810℃,冲压刚刚开始,凸模与板料尚未接触时,此时 σ_1 等于零,没有热量的交换,因此初始时刻具有相同厚度相同温度的点会聚集在热成形三维极限图厚度与温度平面810℃下沿厚度轴方向上的一系列点上。

[0091] 步骤4:仿真过程中,凸模与板料之间作用力的增加,板上各点 σ_1 开始大于零,但由于各点的换热系数不同,那么相同厚度下的点也会出现不同的温度,因此各个点均在初始厚度平面内不同温度处变动且不会超出此平面。

[0092] 如图13所示:以板料上0.6mm的点为例,主应力的值在0.6mm厚度平面内不同温度处变动。可能有三种不同的分布情况,分别为分布在面的上部,与面重合、面的下部。

[0093] 步骤5:成形结束后,从LS-DYNA计算文件中得到各点主应力 σ_1 的值,每点厚度均为初始厚度即在建模时赋予的厚度,温度为成形结束后每点的温度。将包含有应力、温度、厚度信息的点放入三维热成形图中,这里以三维热成形极限图破裂面为例,判断过程包括以下几个步骤:

[0094] 第一、在Origin软件中打开已经做好的三维热成形极限图破裂面,第二、新建一个BOOK,X轴为温度,Y轴厚度,Z轴为主应力,第三、在打开的三维成形极限图空白区域右击选择Layer Contents将新建BOOK中的点包含到图中,这样便可以直观的判断板料各个点的破裂情况。

[0095] 如图14所示含有各点应力、温度、厚度信息的成形极限应力图中:所有点可能有三种分布情况,即在面的上部、在面的下部或是与面重合。这里需要指出的是面上的点一定为破裂的点,与面重合的点为临界破裂点,而面下的点不一定为安全点还应结合成形极限应

力图做进一步判断。

[0096] 成形结束后,也可以把LS-DYNA计算文件中得到各点主应力 σ_1 的值、结合温度、厚度放入三维热成形极限安全面中,这样在安全面以下的点一定为安全点,与面重合的点为临界安全点,但在面上的点不一定为破裂点也应结合成形极限应力图做进一步判断。

[0097] 需要指出的是,以上所述,仅为本发明的具体实施实例,实例中所使用的数据和图表仅用于说明本方法的具体思路。对于本领域的技术人员来说,凡在本发明的精神和原则之内,可轻易想到的变化或同等替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为。

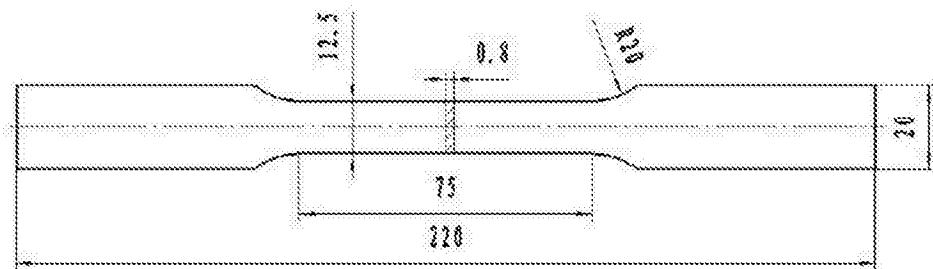


图1

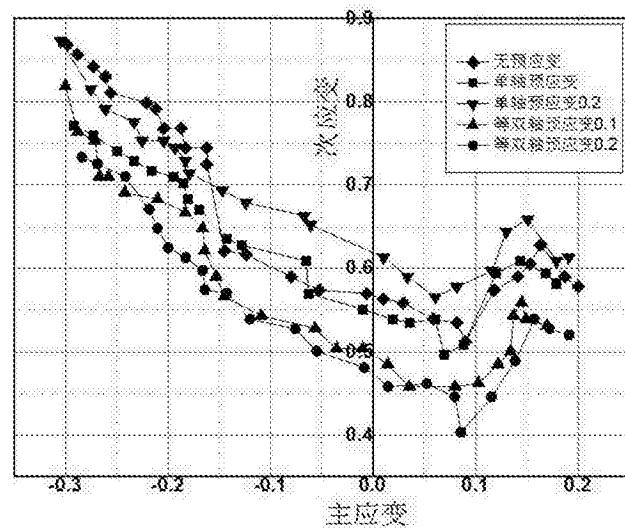


图2

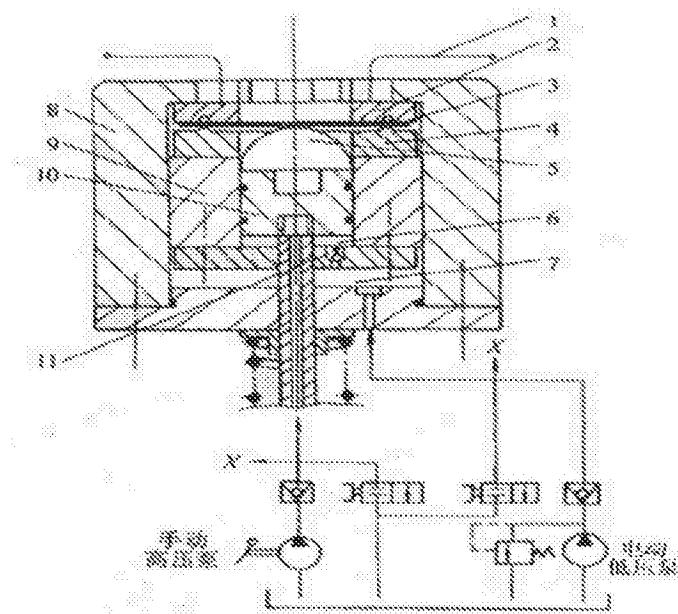


图3

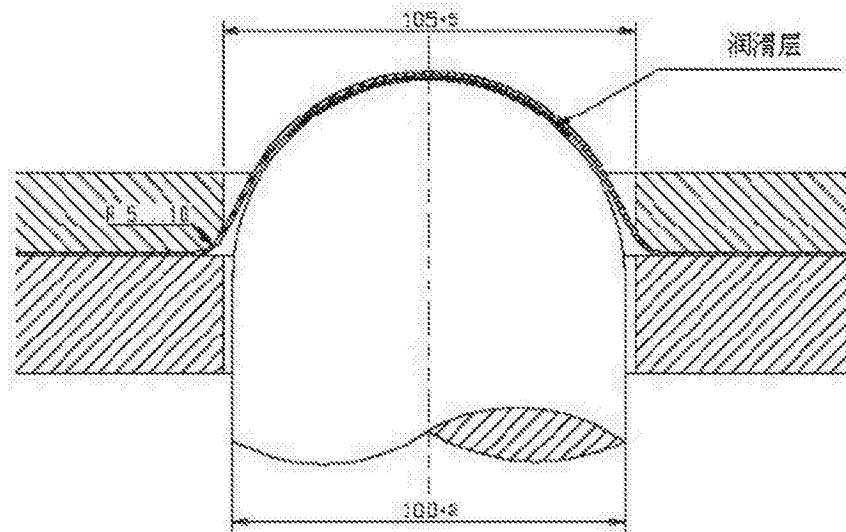


图4

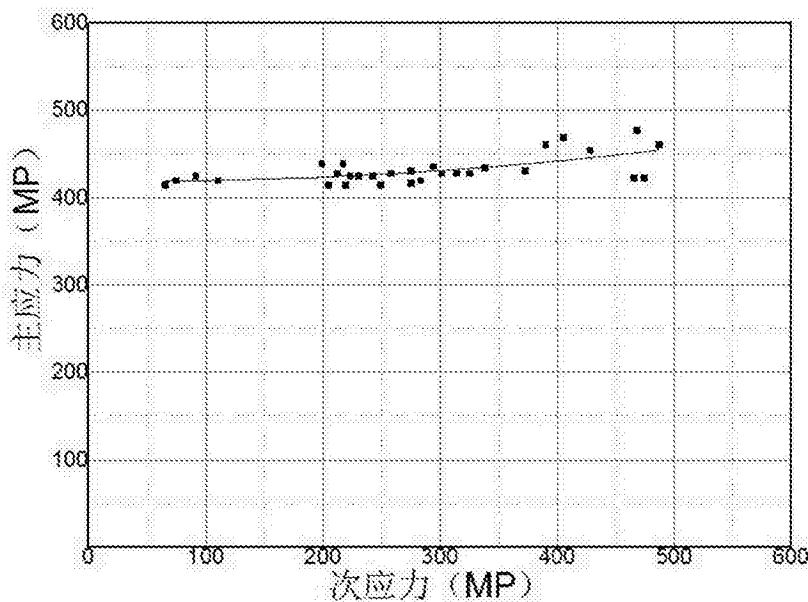


图5

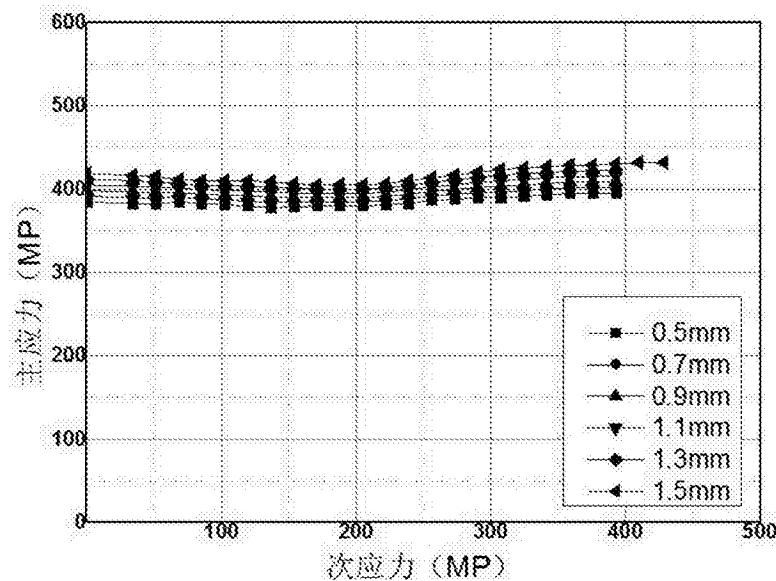


图6

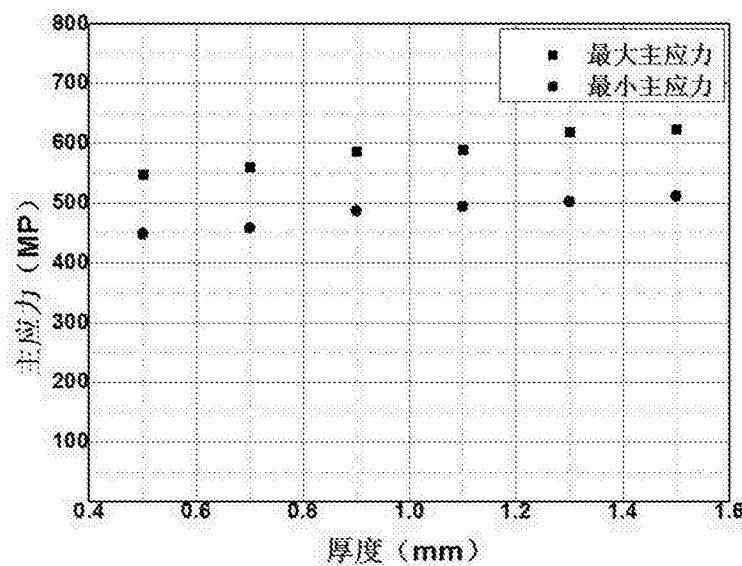


图7

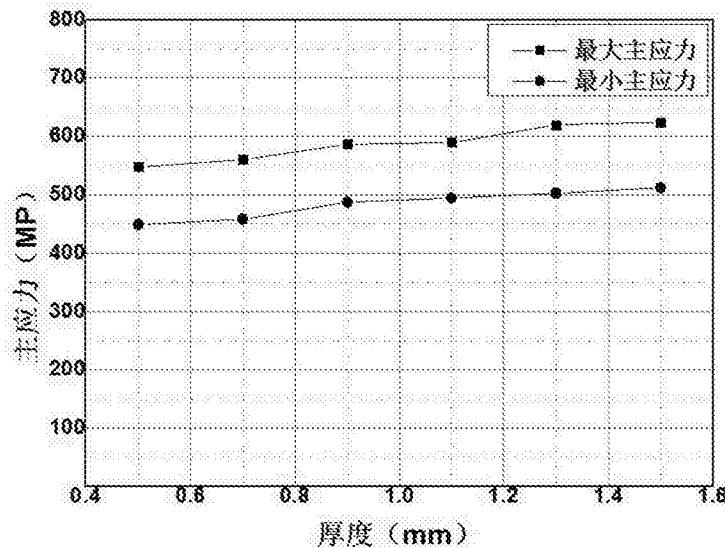


图8

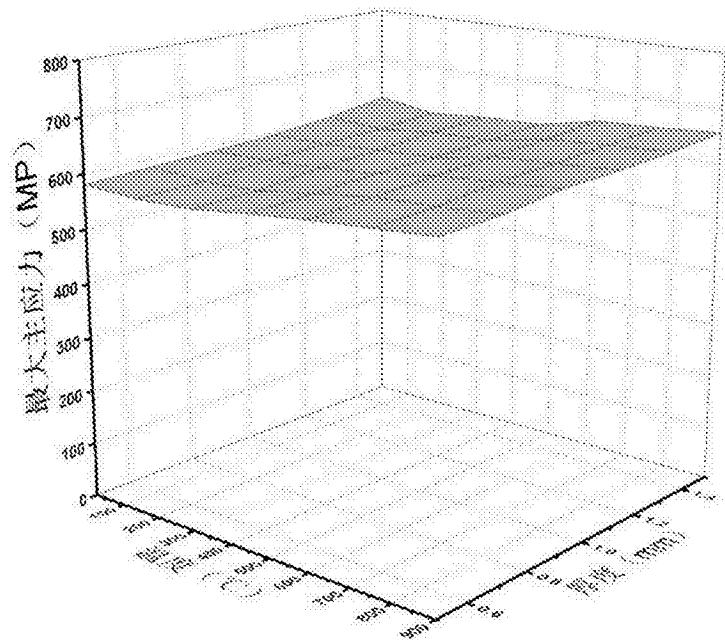


图9

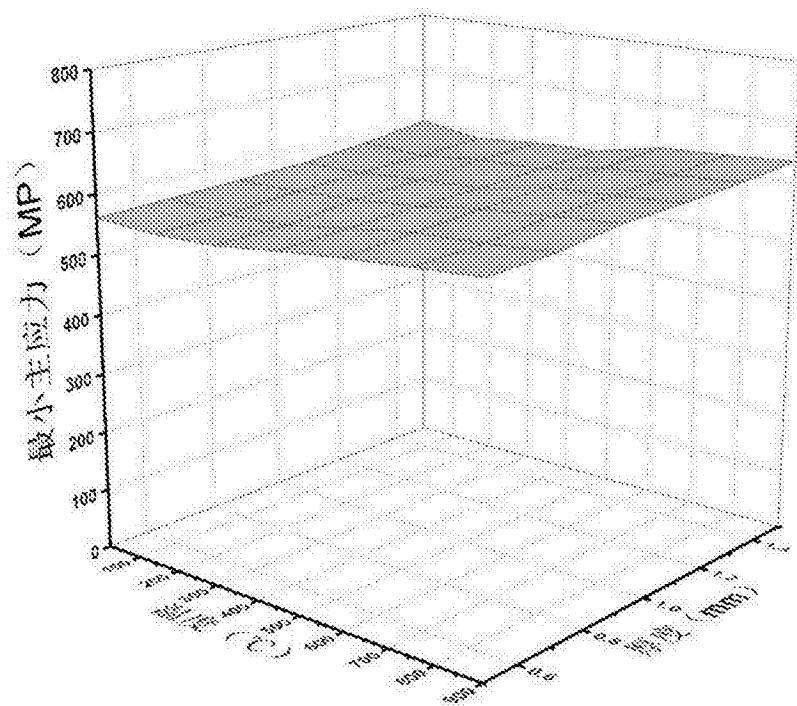


图10

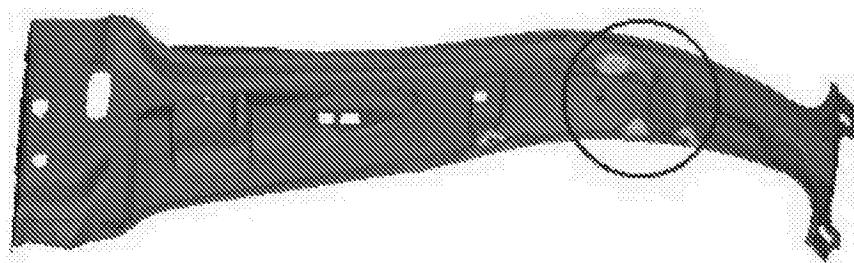


图11

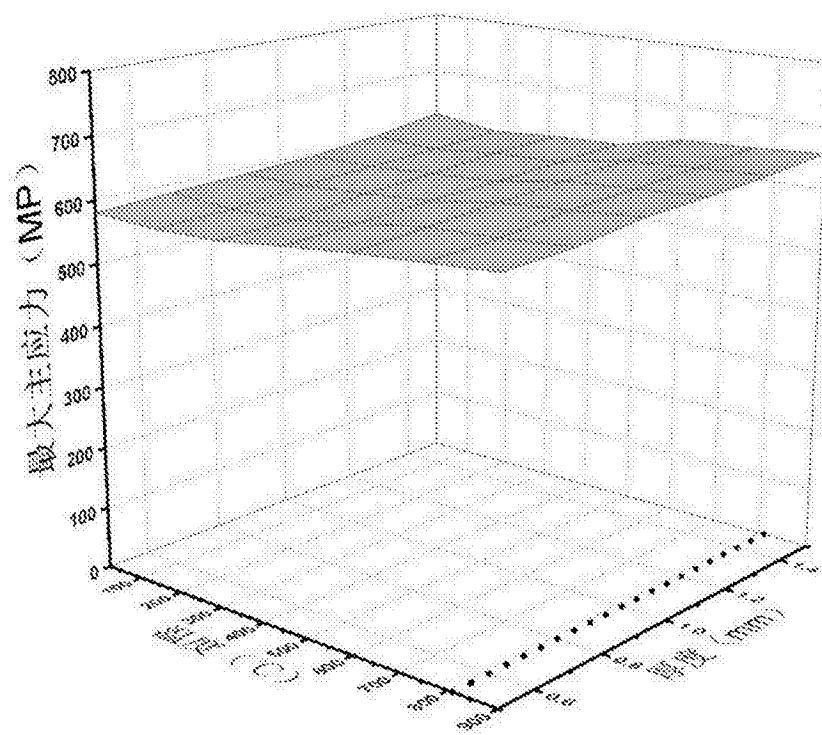


图12

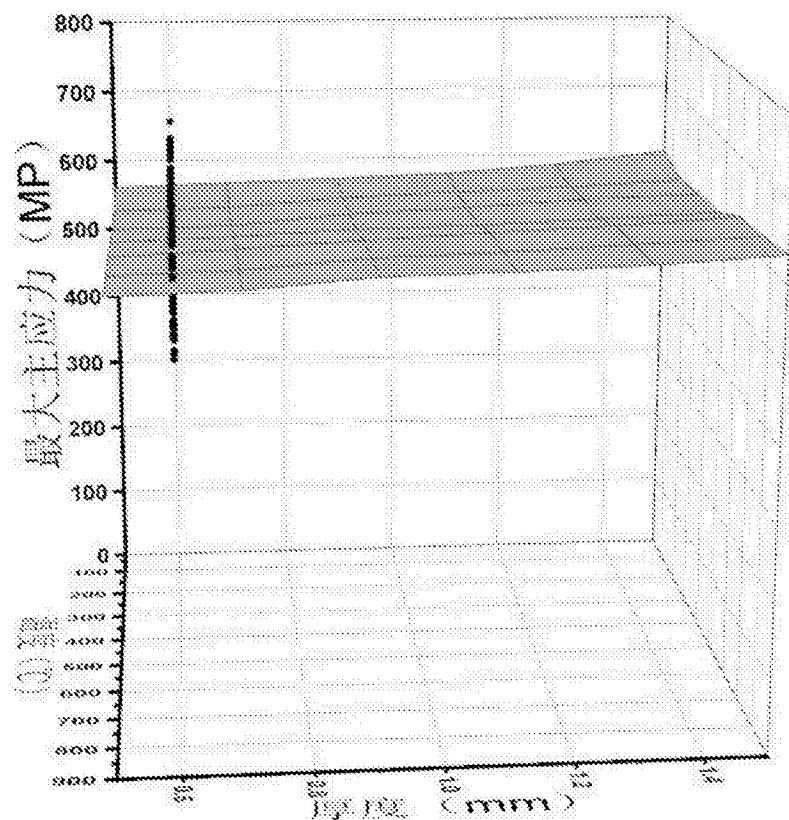


图13

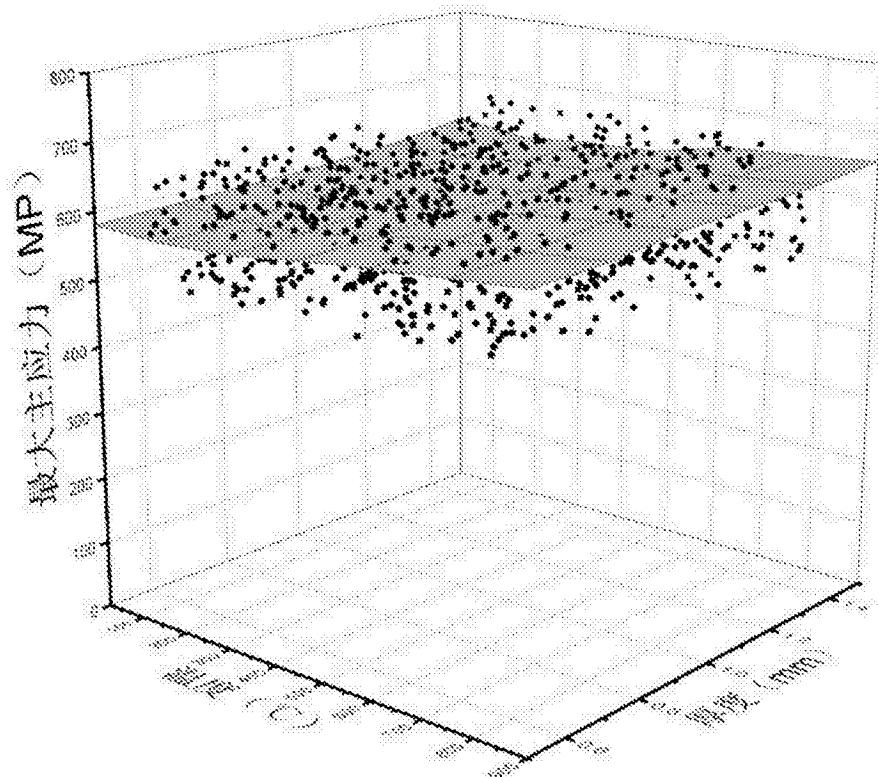


图14