



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117836603 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 05

(21) 申请号 202280056943.9

(22) 申请日 2022.08.29

(30) 优先权数据

2021-142454 2021.09.01 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.02.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/032391 2022.08.29

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/032910 JA 2023.03.09

(71) 申请人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 佐藤健太郎 饭屋崎祐太 稻积透

高桥悠

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

专利代理师 郭忠健

(51) Int. Cl.

G01N 3/28 (2006.01)

B21D 22/00 (2006.01)

G01B 11/00 (2006.01)

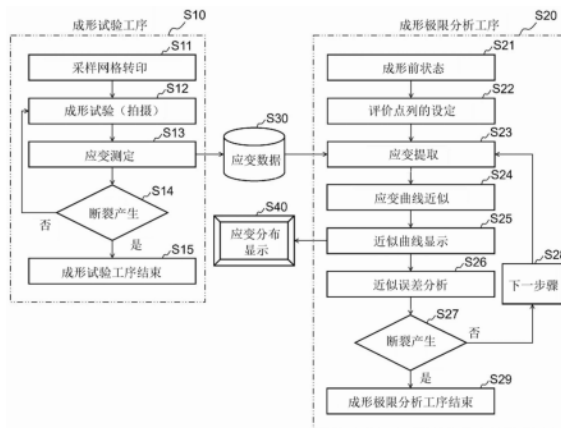
权利要求书2页 说明书8页 附图13页

(54) 发明名称

金属薄板的成形极限判定方法、成形极限判定系统以及计算机程序

(57) 摘要

提供定量且减小偏差地判定成形极限的金属薄板的成形极限判定技术。一种金属薄板的成形极限判定方法,其中,成形试验工序边拍摄在表面标示了任意的格子或应变分析用图案的上述试验片的表面边对上述试验片进行成形,对成形中依次拍摄到的图像进行分析来测定金属薄板产生的应变,将测定出的应变从成形开始至断裂为止按时间序列存储来作为应变数据库,成形极限分析工序在试验片上设定用于获取断裂部附近的应变分布的评价点列,从应变数据库提取任意的成形步骤中的评价点列位置的应变的工序,根据提取出的应变来计算与上述评价点列位置对应的应变近似曲线,将基于应变近似曲线的应变与根据图像的分析测定出的应变之差作为近似误差,基于所得到的近似误差来判断成形极限。



1. 一种金属薄板的成形极限判定方法,包括金属薄板的成形试验工序和成形极限分析工序,其特征在于,

所述成形试验工序包括:准备在表面标示了任意的格子或应变分析用图案的金属薄板的试验片的工序;边拍摄标示了所述格子或应变分析用图案的所述试验片的表面边对所述试验片进行成形的工序;对成形中依次拍摄到的图像进行分析来测定所述金属薄板产生的应变的工序;以及将测定出的所述应变从成形开始至断裂为止按时间序列存储来作为应变数据库的工序,

所述成形极限分析工序包括:在所述试验片上设定用于获取断裂部附近的应变分布的评价点列的工序;从所述应变数据库提取任意的成形步骤中的评价点列位置的应变的工序;根据提取出的应变来计算与所述评价点列位置对应的应变近似曲线的工序;将基于计算出的应变近似曲线的所述评价点列位置的应变与根据所述图像的分析测定出的所述评价点列位置的应变之差作为近似误差的工序;以及基于所得到的近似误差来判断成形极限的工序。

2. 根据权利要求1所述的金属薄板的成形极限判定方法,其特征在于,所述应变近似曲线是多项式函数。

3. 根据权利要求1或2所述的金属薄板的成形极限判定方法,其特征在于,在判断所述成形极限的工序中,将所述近似误差超过了规定的阈值的成形步骤认定为缩颈产生,将所述成形步骤或所述成形步骤的前一步骤中的所述金属薄板的评价点列的应变判断为成形极限。

4. 根据权利要求1~3中任一项所述的金属薄板的成形极限判定方法,其特征在于,在判断所述成形极限的工序中,显示所述应变近似曲线及所述评价点列附近的应变分布。

5. 根据权利要求1~4中任一项所述的金属薄板的成形极限判定方法,其特征在于,在所述成形试验工序中,对不同形状的多个试验片进行成形试验,在所述成形极限分析工序中针对每个所述试验片判断成形极限,得到成形极限线。

6. 一种金属薄板的成形极限判定系统,包括成形试验机、应变测定装置及成形极限分析装置,其特征在于,

所述成形试验机成为边用冲模和防皱压板夹持在表面标示了任意的格子或应变分析用图案的金属薄板的试验片边用穿过所述防皱压板的中央孔而嵌入于所述冲模的中央孔内的成形试验部的冲头的前端部按压所述试验片的中央部来进行冲压成形,具有拍摄冲压成形中的试验片的表面的拍摄单元,

所述应变测定装置具有:图像分析部,对所述拍摄单元拍摄到的所述试验片表面的图像进行分析来获取应变分布;应变测定部,根据所得到的应变分布来计算应变;以及应变数据蓄积部,将应变从成形开始至断裂为止按时间序列存储来构建应变数据库,

所述成形极限分析装置具有:应变提取部,当在所述试验片上设定了用于获取断裂部附近的应变分布的评价点列之后,从所述应变数据蓄积部的所述应变数据库提取任意的成形步骤中的评价点列位置的应变;应变曲线近似部,根据提取出的应变来计算与所述评价点列位置对应的应变近似曲线;近似误差分析部,将基于计算出的应变近似曲线的所述评价点列位置的应变与根据所述图像的分析测定出的所述评价点列位置的应变之差作为近

似误差;以及成形极限判断部,根据所得到的近似误差来判断成形极限。

7.根据权利要求6所述的金属薄板的成形极限判定系统,其特征在于,所述成形试验机使驱动板介于试验片与冲头之间。

8.根据权利要求6或7所述的金属薄板的成形极限判定系统,其特征在于,还具有:显示装置,显示所述应变近似曲线及所述评价点列附近的应变分布。

9.一种计算机程序,用于执行权利要求1~5中任一项所述的金属薄板的成形极限判定方法,其特征在于,

使计算机作为成形试验单元及成形极限分析单元发挥功能。

金属薄板的成形极限判定方法、成形极限判定系统以及计算机程序

技术领域

[0001] 本发明涉及判定薄钢板等金属薄板的冲压成形时的成形极限的方法及系统以及计算机程序,特别涉及与以往相比定量且减小偏差地判定成形极限的数据分析方法。

背景技术

[0002] 对于作为汽车车身的材料被使用的金属薄板的一种亦即薄钢板而言,大部分通过冲压进行成形而成为车身的各部件。部件的冲压成形性根据部件形状而改变,另外,材料的延性等材料特性的影响也大。近年来,在要求车身的碰撞安全性提高的情况下,薄钢板的高强度化正在推进。这同时也带来了薄钢板的延性的降低。因此,多采取通过CAE (Computer-Aided Engineering:计算机辅助工程) 事先确认冲压成形性来设计模具的工序。因此,掌握薄钢板的成形极限的必要性越来越高。

[0003] 薄钢板等金属薄板的成形极限判定通常使用成形极限线图(Forming Limit Diagram:FLD)。该成形极限线图是通过实验室规模下的成形试验来测定冲压成形中的各变形方式例如等双轴变形、非等双轴变形、平面应变变形、单轴变形下的成形极限而创建的。通过改变试验片的宽度,从而X、Y方向(正交方向)的变形比发生变化,因此使其宽度变化为若干水准来测定试验片断裂时的X、Y方向的应变量。例如,在专利文献1中公开了金属薄板的成形极限试验方法。

[0004] 通常,在成形试验中,首先,钢板均匀地变形,接着,经过应变集中于钢板的特定的场所的过程,在该应变集中部产生被称为缩颈(necking)的板厚减少。而且,在板厚减少加剧之后,钢板断裂。在冲压成形中,缩颈产生成为产品不良,因此薄钢板的成形极限线需要用缩颈紧前的应变量进行定义。

[0005] 特别是,在拉伸强度超过980MPa那样的高强度钢板中,以10%左右的低应变量产生缩颈,在其紧后产生断裂。因此,需要高精度地判定成形极限,提出了一种高精度地判定成形极限的方法。

[0006] 在非专利文献1中,关于成形极限标绘点的辨识方法,如图12那样被标准化。该方法是如下方法:首先,如图12中标绘点1所示,测定成形至断裂为止的试验体的断裂周围的应变分布,接下来,如图12的实线2所示,使该应变分布近似为下述(1)式的曲线,根据下述式(1)来计算图12中箭头6所示的应变的极大值,将该应变的值设为成形极限。

[0007]
$$E_x = 1 / (ax^2 + bx + c) \dots\dots (1)$$

[0008] 非专利文献1的方法不是直接测定成形极限的方法,因此作为非专利文献1的改良还提出了非专利文献2及3中记载的方法。非专利文献2及3的方法是连续地测量成形中的应变并根据断裂产生部的应变的时间变化来辨识成形极限的方法。

[0009] 专利文献1:日本特开2016-215242号公报

[0010] 非专利文献1:ISO 12004-2:2021

[0011] 非专利文献2:W Hotz, M Merklein et al., "Time Dependent FLC

Determination Comparison of Different Algorithms to Detect the Onset of Unstable Necking before Fracture”, Key Engineering Materials, Vol 549, pp.397-404 (2013) .

[0012] 非专利文献3:W Volk,P Hora,“New algorithm for a robust user-independent evaluation of beginning instability for the experimental FLC determination”, International Journal of Material Forming, Vol 4, pp.339-346 (2011) .

[0013] 然而,在金属薄板的材料试验方法中,要求既简单又再现实际产生的复杂现象、偏差少且高精度的方法。在这一点上,金属薄板的成形极限判定方法需要高精度地求出缩颈前的断裂应变。然而,在现有的判定方法中存在无法再现实际的缩颈产生这一问题。

[0014] 另外,非专利文献1中提出的方法是用式(1)近似断裂产生时的应变来求出成形极限的方法。然而,在拉伸强度为980MPa以上的高强度钢板的情况下,断裂产生的应变小,因此存在无法以足够的精度求出近似式的问题。例如,在图13所示的例子中,在断裂部的附近、例如图13的L1的范围产生了应变的二次峰值。这样的例子易在延性低的高强度钢板中产生。若在该状态下计算近似曲线,则存在受到二次峰值的影响而计算出的成形极限的应变被评价得过大的问题。

[0015] 另外,非专利文献2及3中记载的方法是根据断裂位置的应变变化的时间历史辨识成形极限的方法。是不易受到非专利文献1那样的断裂位置周围的影响的方法。如图14所示,成形极限的辨识对断裂紧前的板厚应变变化进行直线近似,将与缩颈开始之前的近似直线的交点定义为缩颈开始点。然而,通过该方法辨识出的成形极限比被判断为在冲压成形现场无法成形的缩颈极限点过大的情况较多。因此,存在难以在冲压成形性的判定中使用的问题。

发明内容

[0016] 本发明是鉴于这样的情况而完成的,其目的在于提供定量且减小偏差地判定成形极限的金属薄板的成形极限判定方法及其系统以及计算机程序。

[0017] 有利地解决上述课题的本发明所涉及的金属薄板的成形极限判定方法包括金属薄板的成形试验工序和成形极限分析工序,其特征在于,上述成形试验工序包括:准备在表面标示了任意的格子或应变分析用图案的金属薄板的试验片的工序;边拍摄标示了上述格子或应变分析用图案的上述试验片的表面边对上述试验片进行成形的工序;对成形中依次拍摄到的图像进行分析来测定上述金属薄板产生的应变的工序;以及将测定出的上述应变从成形开始至断裂为止按时间序列存储来作为应变数据库的工序,上述成形极限分析工序包括:在上述试验片上设定用于获取断裂部附近的应变分布的评价点列的工序;从上述应变数据库提取任意的成形步骤中的评价点列位置的应变的工序;根据提取出的应变来计算与上述评价点列位置对应的应变近似曲线的工序;将基于计算出的应变近似曲线的上述评价点列位置的应变与根据上述图像的分析测定出的上述评价点列位置的应变之差作为近似误差的工序;以及基于所得到的近似误差来判断成形极限的工序。

[0018] 此外,本发明所涉及的金属薄板的成形极限判定方法被认为以下特征等能够成为更优选的解决手段,即:

[0019] (a) 上述应变近似曲线是多项式函数,

[0020] (b) 在判断上述成形极限的工序中,将上述近似误差超过了规定的阈值的成形步骤认定为缩颈产生,将上述成形步骤或上述成形步骤的前一步骤中的上述金属薄板的评价点列的应变判断为成形极限,

[0021] (c) 在判断上述成形极限的工序中,显示上述应变近似曲线及上述评价点列附近的应变分布,

[0022] (d) 在上述成形试验工序中,对不同形状多个试验片进行成形试验,在上述成形极限分析工序中针对每个上述试验片判断成形极限,得到成形极限线。

[0023] 有利地解决上述课题的本发明所涉及的金属薄板的成形极限判定系统包括成形试验机、应变测定装置及成形极限分析装置,其特征在于,上述成形试验机构成为边由冲模和防皱压板夹持在表面标示了任意的格子或应变分析用图案的金属薄板的试验片边用穿过上述防皱压板的中央孔而嵌入于上述冲模的中央孔内的成形试验部的冲头的前端部按压上述试验片的中央部来进行冲压成形,具有拍摄冲压成形中的试验片的表面的拍摄单元,上述应变测定装置具有:图像分析部,对上述拍摄单元拍摄到的上述试验片表面的图像进行分析来获取应变分布;应变测定部,根据所得到的应变分布来计算应变;以及应变数据蓄积部,将应变从成形开始至断裂为止按时间序列存储来构建应变数据库,上述成形极限分析装置具有:应变提取部,当在上述试验片上设定了用于获取断裂部附近的应变分布的评价点列之后,从上述应变数据蓄积部的上述应变数据库提取任意的成形步骤中的评价点列位置的应变;应变曲线近似部,根据提取出的应变来计算与上述评价点列位置对应的应变近似曲线;近似误差分析部,将基于计算出的应变近似曲线的上述评价点列位置的应变与根据上述图像的分析测定出的上述评价点列位置的应变之差作为近似误差;以及成形极限判断部,根据所得到的近似误差来判断成形极限。此外,本发明所涉及的金属薄板的成形极限判定系统被认为以下特征等能够成为更优选的解决手段,即:上述成形试验机使驱动板介于试验片与冲头之间,或者,还具有显示装置,该显示装置显示上述应变近似曲线及上述评价点列附近的应变分布。

[0024] 有利地解决上述课题的本发明所涉及的计算机程序用于执行上述金属薄板的成形极限判定方法的任一种,其特征在于,使计算机作为成形试验单元及成形极限分析单元发挥功能。

[0025] 本发明所涉及的方法及系统是通过在每个成形步骤中用断裂部附近的应变分布对在成形试验中按时间序列存储的应变数据进行曲线近似来根据评价点列位置的误差判定对缩颈产生进行判定的方法及系统。根据本发明,通过将应变分布近似结果显示于计算机显示器等,能够边确认成形极限判定的妥当性边决定成形极限,与现有的方法相比,能够更严格地辨识成形极限。通过设定误差阈值作为缩颈产生的判断,能够进行定量的成形极限判定。

附图说明

[0026] 图1是本发明的一个实施方式所涉及的成形极限判定方法的流程图。

[0027] 图2是表示本发明的一个实施方式所涉及的成形极限判定系统的构成例的示意性框图。

[0028] 图3是表示用二次多项式描绘应变近似曲线来判定缩颈的产生的方法的一个例子的试验片成形状态的图像及近似曲线与误差分析的图表。

[0029] 图4是表示供于上述实施方式所涉及的成形试验的试验片的形状例的俯视图,其中,图4的(a)表示平面应变用试验片,图4的(b)表示非等双轴伸出用试验片,图4的(c)表示等双轴伸出用试验片。

[0030] 图5是表示用于上述实施方式的成形试验的模具形状的示意图,其中,图5的(a)是立体投影图,图5的(b)是侧剖视图。

[0031] 图6是表示在试验片的应变分布图像上设定成形极限评价点列的情形的示意图。

[0032] 图7是表示用二次多项式对成形极限评价点列位置的应变分布曲线进行近似的情形的图表。

[0033] 图8是表示各成形步骤中的应变分布图像和评价点列位置的应变分布近似曲线的显示例的图。

[0034] 图9是针对成形步骤标绘了应变分布近似误差 dE_x 的图表。

[0035] 图10是表示通过上述实施方式所得到的成形极限线的一个例子的图表。

[0036] 图11是表示用于本发明的另一实施方式所涉及的成形试验的模具形状的示意图,其中,图11的(a)是侧剖视图,图11的(b)是图11的(a)的局部放大图。

[0037] 图12是表示非专利文献1中记载的成形极限判定方法的图表。

[0038] 图13是表示基于非专利文献1的应变曲线近似误差的一个例子的图表。

[0039] 图14是表示非专利文献2中记载的成形极限判定方法的图表。

具体实施方式

[0040] 以下,对本发明的实施方式具体地进行说明。此外,附图是示意性的,存在与现实不同的情况。另外,以下的实施方式对用于将本发明的技术思想具体化的系统、方法进行例示,并不将结构确定为下述的内容。即,本发明的技术思想能够在本申请请求保护的范围内记载的技术范围内加以各种变更。

[0041] 如图1的流程图所示,本发明的一个实施方式所涉及的金属薄板的成形极限判定方法包括由成形试验工序(S10)和成形极限分析工序(S20)构成的两个工序。各工序按照以下的顺序执行。

[0042] 在成形试验工序(S10)中,首先,准备在表面对采样网格等进行转印等并在表面标示了任意的格子或应变分析用图案的金属薄板,作为试验片(S11)。边拍摄标示了格子或应变分析用图案的表面边对金属薄板进行成形(S12)。使用图像分析装置对成形中依次拍摄到的图像进行分析来测定应变分布(S13)。根据测定出的应变分布来测量试验片产生的应变的代表值(S13),存储于应变数据库(S30)。关于测量的应变的代表值,优选没有剪切应变成分的最大主应变及最小主应变。除此之外,也可以是空间坐标上的X方向应变及Y方向应变、板厚应变。缓慢地推进成形步骤并反复进行应变分布的时间序列变化的存储直至断裂产生为止(S14)。而且,构建从成形开始至断裂为止的应变数据库(S30)。

[0043] 在成形极限分析工序(S20)中,首先,掌握成形前状态(S21),设定用于获取断裂附近的应变分布的评价点列(S22)。评价点列优选沿最大主应变的方向排列。从按时间序列存储的应变数据库(S30)提取任意的成形步骤中的评价点列位置的应变的代表值(S23)。计算

与金属薄板上的评价点列对应的应变的近似曲线(S24)。优选近似曲线使用二次函数等多项式函数。将基于计算出的应变近似曲线的上述评价点列的应变与根据上述图像的分析测定出的评价点列的应变之差作为近似误差(S26)。基于所得到的近似误差来判断成形极限(S26)。优选显示应变近似曲线和评价点列周边的应变分布(S25、S40),边确认成形极限分析的妥当性边推进分析。

[0044] 在基于计算出的应变近似曲线的上述评价点列的应变与根据上述图像的分析测定出的评价点列的应变之差亦即近似误差小的情况下,能够判断为正在进行没有产生缩颈的均匀的成形。若产生缩颈,则应变局部增长,近似误差变大。能够通过评价近似误差来评价缩颈的产生。在近似误差超过了预先设定的阈值的情况下,判断为产生缩颈,将该瞬间的应变变量判断为成形极限(S27),结束分析(S28、S29)。或者,在近似误差超过了预先设定的阈值的情况下,判断为产生缩颈,将前一步骤的应变变量判断为成形极限(S27),结束分析(S28、S29)。

[0045] 在本实施方式中,使用在成形工序(S10)中所蓄积的应变数据库(S30)来进行成形极限分析(S20)。针对最初设定的断裂产生附近的评价点列,例如获取最大主应变数据作为应变的代表值,进行用以下的(a)式那样的多项式定义的曲线近似。

$$[0046] \quad E_1(x) = \alpha_1 x^2 + \beta_1 x + \gamma_1 \quad (a)$$

[0047] 这里,针对评价点列的多个应变,以多项式的最小均方误差最小的方式决定各系数的值。接着,针对与最大主应变正交的方向的最小主应变也同样地如(b)式那样进行曲线近似。

$$[0048] \quad E_2(x) = \alpha_2 x^2 + \beta_2 x + \gamma_2 \quad (b)$$

[0049] 针对最大主应变,进行各评价点列的测定值与近似曲线的值的误差分析,计算出近似误差dEx(j)。这里,j为表示评价点列的各位置的指标。将dEx(j)中的最大值作为该成形步骤的近似误差dEx。

[0050] 能够将近似的结果显示在画面上,边确认成形品的应变分布图像和近似曲线的状态边进行缩颈判定。若近似误差小于上述阈值且评价点列的测定应变充分位于应变近似曲线上,则判断为没有缩颈,进行下一成形步骤的应变分析。继续该作业,若接近断裂产生的成形状态,则逐渐产生应变集中。若应变集中变大而导致与近似曲线的误差变大,则能够判断为产生了缩颈。

[0051] 将适宜在上述实施方式所涉及的金属薄板的成形极限判定方法中使用的系统作为示意性框图来在图2中示出。该金属薄板的成形极限判定系统100包括成形试验机10、应变测定装置20及成形极限分析装置30。可以还具有应变分布显示装置40。

[0052] 成形试验机10包括冲模2、防皱压板4、冲头3及拍摄单元5。冲模2形成具有中央孔的圆环状,防皱压板4也同样地形成具有中央孔的圆环状。冲头3形成实心的圆棒状,该冲头3的前端部具有大致半球状的凸曲面。将在表面标示了任意的格子或应变分析用图案的金属薄板的试验片1配置在设置于冲压机的冲模2与防皱压板4之间。然后,例如用冲压机将冲模2朝向防皱压板4按压来夹持试验片1。在图2的例子中,在该状态下通过冲压机使冲头3上升,用冲头3的前端部上推试验片1的中央部来进行冲压成形。通过对试验片的形状、防皱压板的机构进行各种变更,能够对等双轴变形(图4的(c))、非等双轴变形(图4的(b))、平面应变变形(图4的(a))及单轴变形的断裂极限进行成形试验。在上述例子中,构成为将冲头从

下向上推起,但也可以下推或向旋转了90°的方向按压。

[0053] 如图2所示,该实施方式的成形试验机10构成为使与冲头3按压的一侧相反侧的试验片1的面为拍摄单元5,例如能够通过高速相机获取高分辨率的图像。在试验片1的观察面预先转印任意的格子,例如格子线、格子点、竹篮孔式格子、圆形网格等或者应变分析用图案。在图2的例子中,用2台高速相机5拍摄标示于成形中的试验片1表面的格子等的三维变形。应变分析用图案例如能够选择斑点图案等随机图案。

[0054] 应变测定装置20具有图像分析部21、应变测定部22以及应变数据蓄积部23。成形极限分析装置30具有应变提取部31、应变曲线近似部32、近似误差分析部33以及成形极限判断部34。应变测定装置20及成形极限分析装置30可以具备未图示的控制部、存储部、操作部、显示部、通信部等,可以通过总线将各部连接。

[0055] 控制部是由中央运算装置(CPU)、随机存取存储器(RAM)等构成的计算机。控制部的CPU根据操作部的操作来读取存储部、例如存储部内的存储程序的存储区域所存储的系统程序、各种处理程序并在RAM的工作区域展开。CPU根据所展开的程序来执行后述的各种处理,实现应变测定装置20、成形极限分析装置30的各功能。另外,CPU除了通过总线从其他构成部接受信号、数据,或者发送控制信号、命令以外,还经由通信部接受拍摄单元5的图像,或者收发应变数据。通信部构成为与其他设备有线或无线地进行通信。

[0056] 存储部由SSD(Solid State Drive)等非易失性半导体存储器、硬盘(HDD:Hard Disk Drive)等构成。存储部也可以包括可装卸的闪存等。存储部存储以用于在控制部中执行各种处理的程序为代表的各种程序、基于程序的处理的执行所需的参数、或者处理结果等数据。存储于存储部的各种程序以可由计算机读取的程序代码的形式储存,控制部依次执行依照该程序代码的动作。

[0057] 在本实施方式中,在应变测定装置20的存储部存储有进行下述的各种处理的程序。存在图像分析处理,在该图像分析处理中,对拍摄单元5拍摄到的试验片表面的图像进行分析来获取应变分布。存在应变测定处理,在该应变测定处理中,根据所得到的应变分布来计算应变的代表值。还存在应变数据蓄积处理,在该应变数据蓄积处理中,将应变的代表值从成形开始至断裂为止按时间序列存储来构建应变数据库。

[0058] 在本实施方式中,在成形极限分析装置30的存储部存储有进行下述的各种处理的程序。存在应变提取处理,在该应变提取处理中,当在上述试验片上设定了用于获取断裂部附近的应变分布的评价点列之后,从上述应变数据蓄积部的上述应变数据库提取任意的成形步骤中的评价点列位置的应变的代表值。存在应变曲线近似处理,在该应变曲线近似处理中,根据提取出的应变的代表值来计算与上述评价点列位置对应的应变近似曲线。存在近似误差分析处理,在该近似误差分析处理中,将基于计算出的应变近似曲线的上述评价点列位置的应变与根据上述图像的分析测定出的上述评价点列位置的应变之差作为近似误差。还存在成形极限判断处理,在该成形极限判断处理中,根据所得到的近似误差来判断成形极限。

[0059] 应变分布显示装置40能够构成为成形极限分析装置30的显示部。例如,例示了液晶显示器(LCD)、CRT、有机发光二极管(LED)等监视器。在成形极限分析装置30的存储部存储有选择显示内容的显示处理的程序。

[0060] 通信部具备LAN(Local Area Network)适配器、调制解调器、无线通信装置等,控

制与连接到通信网络的各装置之间的信息收发。通信部例如也可以具备网卡等通信用的接口。通信部能够与外部装置之间收发各种数据。例如,拍摄单元5拍摄到的图像数据等经由该通信部被输入至应变测定装置20。操作部具备具有光标键、数字输入键及各种功能键的键盘、鼠标、触摸面板等指示设备。操作部将通过键操作、鼠标操作等所输入的指示信号输出至控制部。

[0061] 在图2的例子中,将成形试验机10、应变测定装置20及成形极限分析装置30构成为不同的计算机,但也可以用一个计算机进行控制,或者按每个功能分割为不同的装置。

[0062] 图11的(a)中用侧剖视示意图表示用于另一实施方式所涉及的Marciniak法的成形试验的模具形状。图11的(b)是图11的(a)的局部放大图。如图11所示,在Marciniak法中,冲模2呈具有中央孔的圆环状,防皱压板4也同样呈具有中央孔的圆环状。而且,冲头3呈实心的圆棒状,该冲头3的前端部形成大致圆筒形状的所谓的平头部,外径小于冲模2的圆环内径。在表面标示了任意的格子或应变分析用图案的金属薄板的试验片1与冲头3之间配置驱动板6,该驱动板6在中央设有孔。而且,例如通过冲压机将冲模2朝向防皱压板4按压,将试验片1和驱动板6夹持在冲模2与防皱压板4之间。在图11的例子中,在该状态下通过冲压机使冲头3上升,通过冲头3的前端部上推驱动板6来进行冲压成形。以后的动作、应变的测定、成形极限分析与上述实施方式同样地进行。在该实施方式中,能够防止试验片1与冲头3的接触,消除摩擦的影响。

[0063] 实施例

[0064] 基于上述的一个实施方式,针对980MPa级高强度钢板、板厚1.6mm评价了成形极限。为了测量各种应变状态下的成形极限,如图4所示,准备了各种以 ϕ 100mm的圆形坯料为基准来切除了宽度而成的坯料试验片1。作为成形试验机,使用了液压方式的深拉深试验机。如图5所示,成形模具使用50 ϕ 的球头形状的冲头作为冲头3,使用肩R5mm的上模冲模作为冲模2,还具有防皱压板4。为了抑制试验中的试验片1的流入,施加防皱压力50Tonf(490kN),以冲头速度5mm/min进行了成形。通过设置于模具上部的图像分析用相机5测量了试验片1表面的应变。从成形开始至断裂产生为止以1个步骤/s的间隔进行了照片拍摄。

[0065] 成形结束后,进行了基于上述的一个实施方式的成形极限的分析。以横切断裂产生位置的方式设定了图6所示的11个点的评价点列。针对该评价点列的每一个获取成形试验中测量出的最大主应变 E_1 和最小主应变 E_2 ,分别用上述(a)式及(b)式的二次多项式进行了曲线近似。在该处理中,通过导入到分析用计算机中的进行基于最小二乘法的参数辨识的软件自动地进行了处理。作为一个例子,在图7中示出在步骤50中对评价点列中的最大应变及最小应变分别进行曲线近似的例子。此时所得到的参数成为以下的表1那样。

[0066] [表1]

成形步骤	α_1	β_1	γ_1	α_2	β_2	γ_2
50	1.17×10^{-01}	-3.91×10^{-05}	-1.39×10^{-03}	2.38×10^{-02}	6.95×10^{-04}	-1.37×10^{-04}

[0068] 对成形中以1s间隔测量出的应变数据反复进行该应变分布的曲线近似作业,创建了彩色显示试验片在每个步骤中产生的应变分布的图像及显示评价点列的值和近似曲线的图表的图像。将这些图像显示在计算机显示器上,按每个步骤判断了缩颈产生的有无。图8示出了步骤0、30、40、50、55、60、65、70、75的分析结果。还显示有应变近似曲线与评价点列位置的应变的近似误差,能够根据近似误差的状态来定量地判断缩颈产生的有无。按每个

步骤显示断裂危险部的误差dEx的历史,将超过了预先确定的误差阈值的时刻的步骤判定为成形极限。在上述例子中,如图9所示,将误差阈值设定为0.015,将步骤65决定为成形极限的应变状态。

[0069] 进行使应变状态变化的成形试验,例如针对图4的每个试验片进行成形试验,并反复进行上述的作业,辨识了各应变状态下的成形极限。其结果是能够得到图10的结果作为成形极限线。在图10中,横轴取最小主应变,纵轴取最大主应变,针对与等双轴变形、非等双轴变形、平面应变变形、单轴变形等对应的每个试验片,用点标绘了各步骤的应变坐标,用中空○标记标绘了成形极限应变坐标。将成形极限应变坐标连接来形成为成形极限线。

[0070] 工业上的可利用性

[0071] 本发明能够高精度地掌握如高强度钢板那样以低应变产生缩颈那样的金属薄板的成形极限,因此能够成品率良好地进行成形品的形状设计,在工业上是有用的。

[0072] 附图标记说明

[0073] 1…试验片(金属薄板);2…冲模;3…冲头;4…防皱压板;5…拍摄单元(高速相机);6…驱动板;10…成形试验机;20…应变测定装置;21…图像分析部;22…应变测定部;23…应变数据蓄积部;30…成形极限分析装置;31…应变提取部;32…应变曲线近似部;33…近似误差分析部;34…成形极限判断部;40…应变分布显示装置;100…成形极限判定系统。

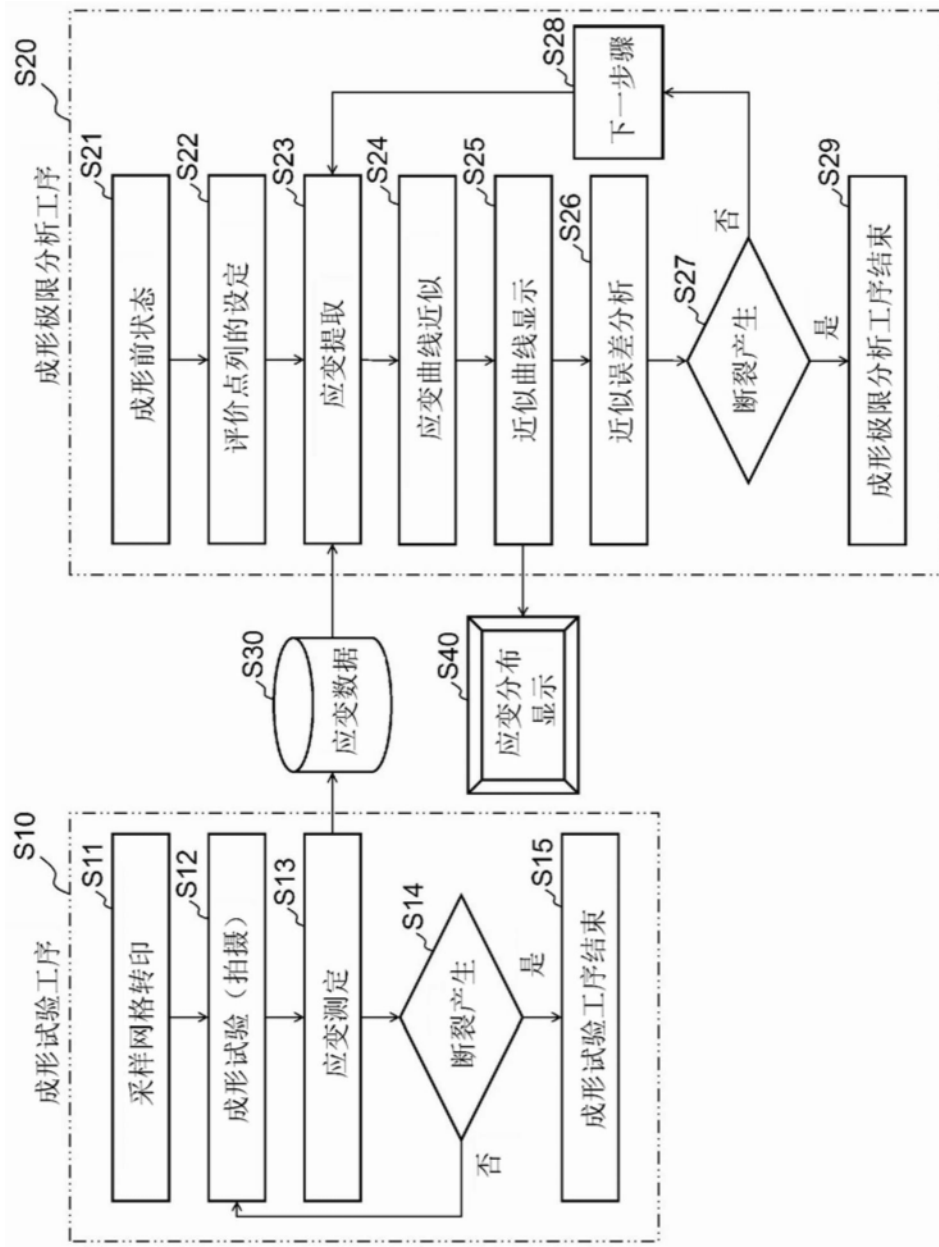


图1

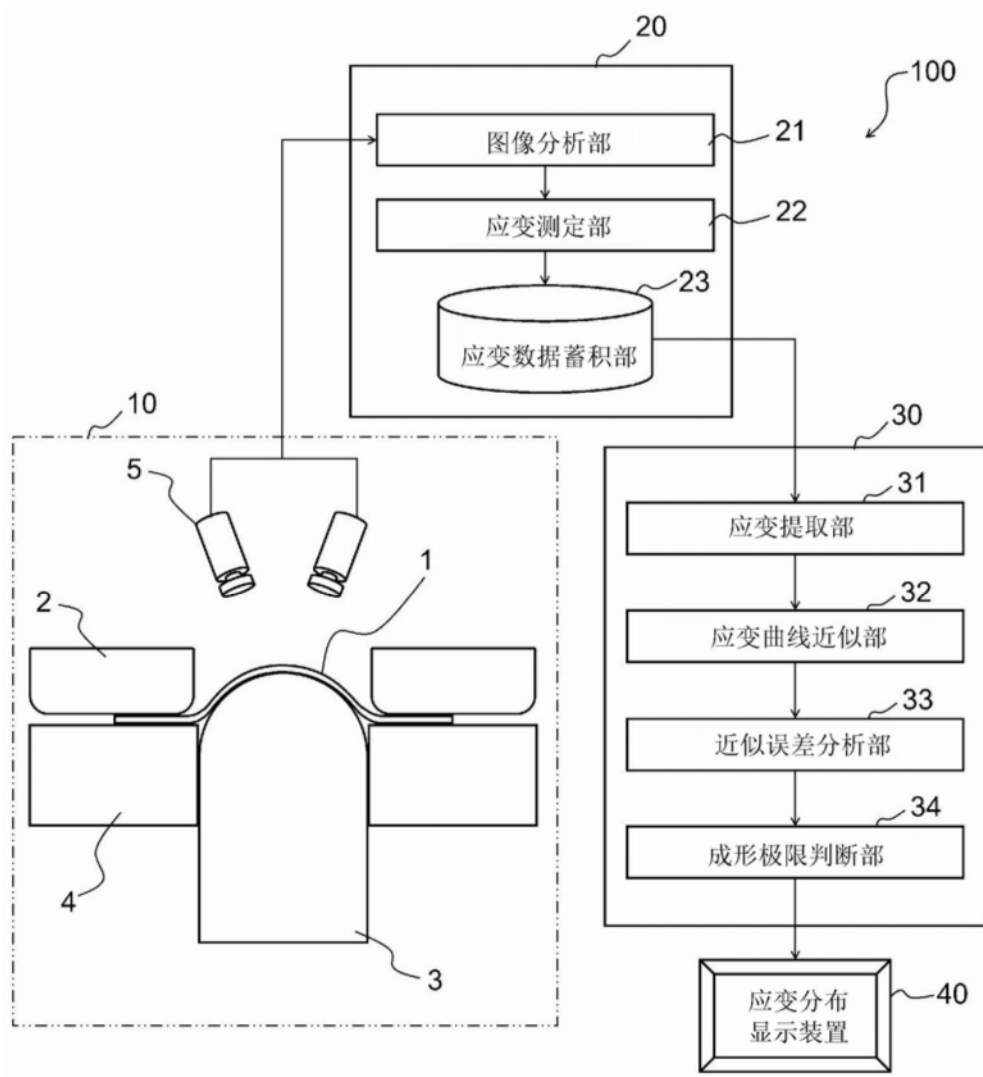


图2

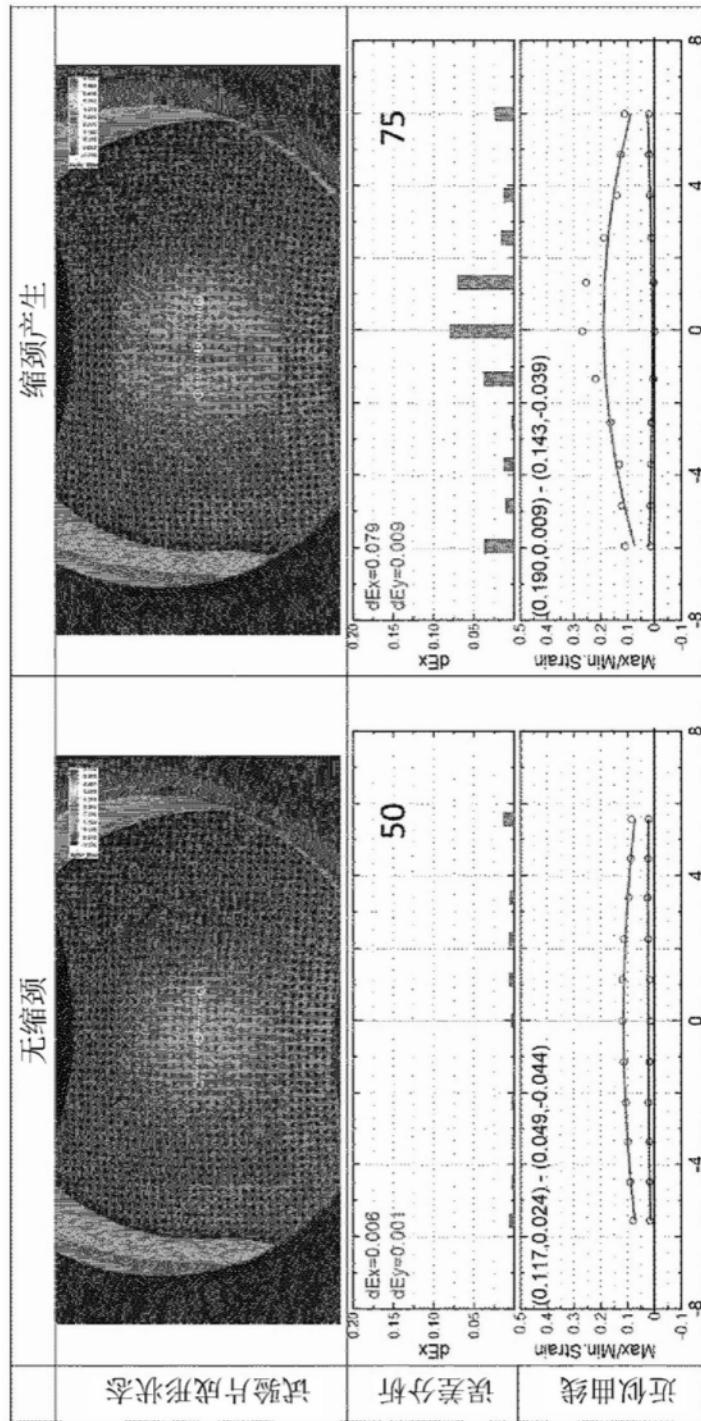


图3

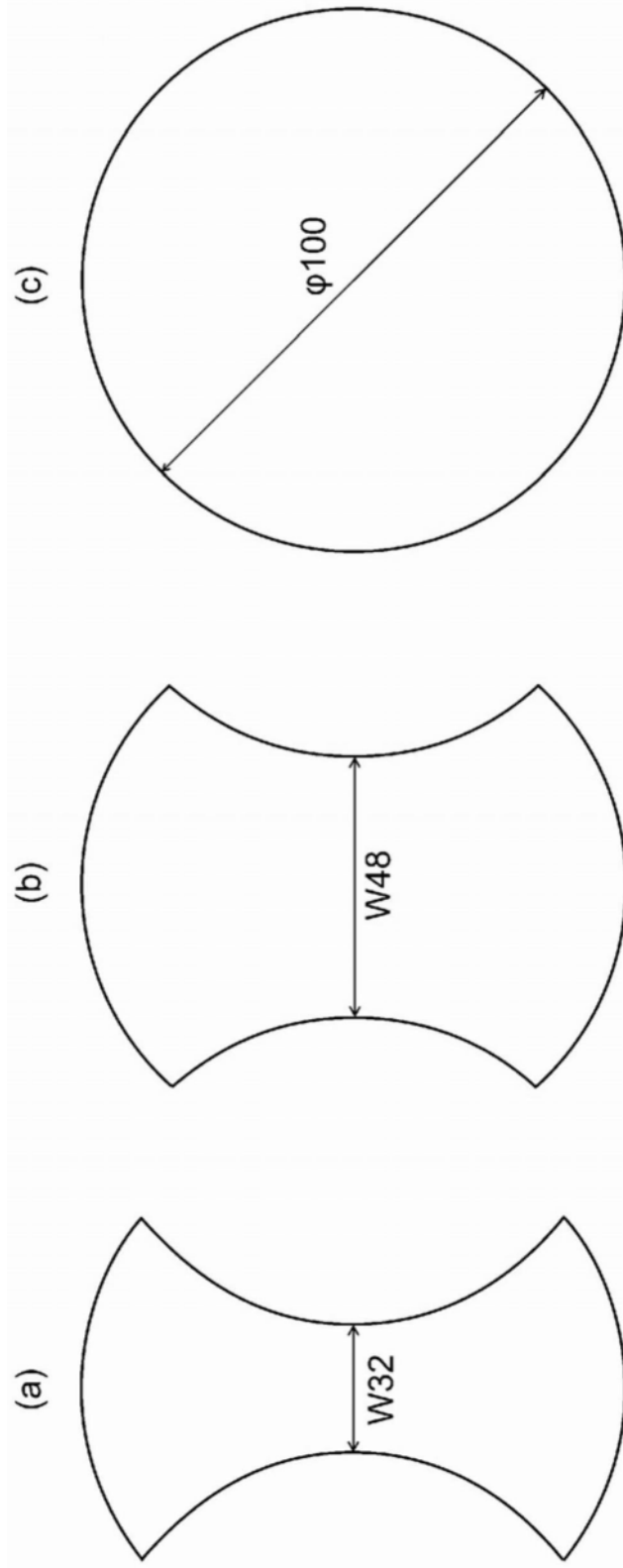


图4

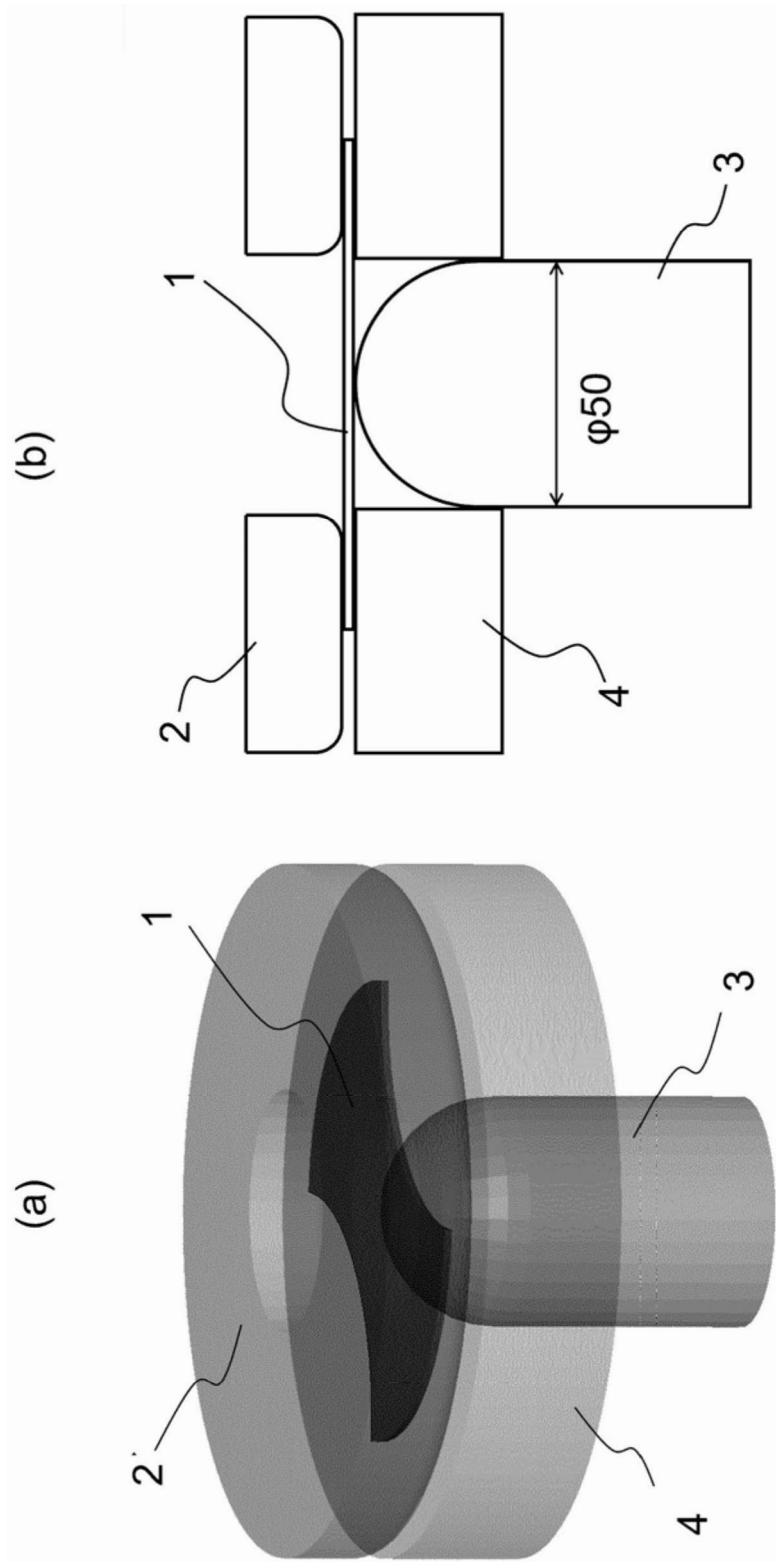


图5

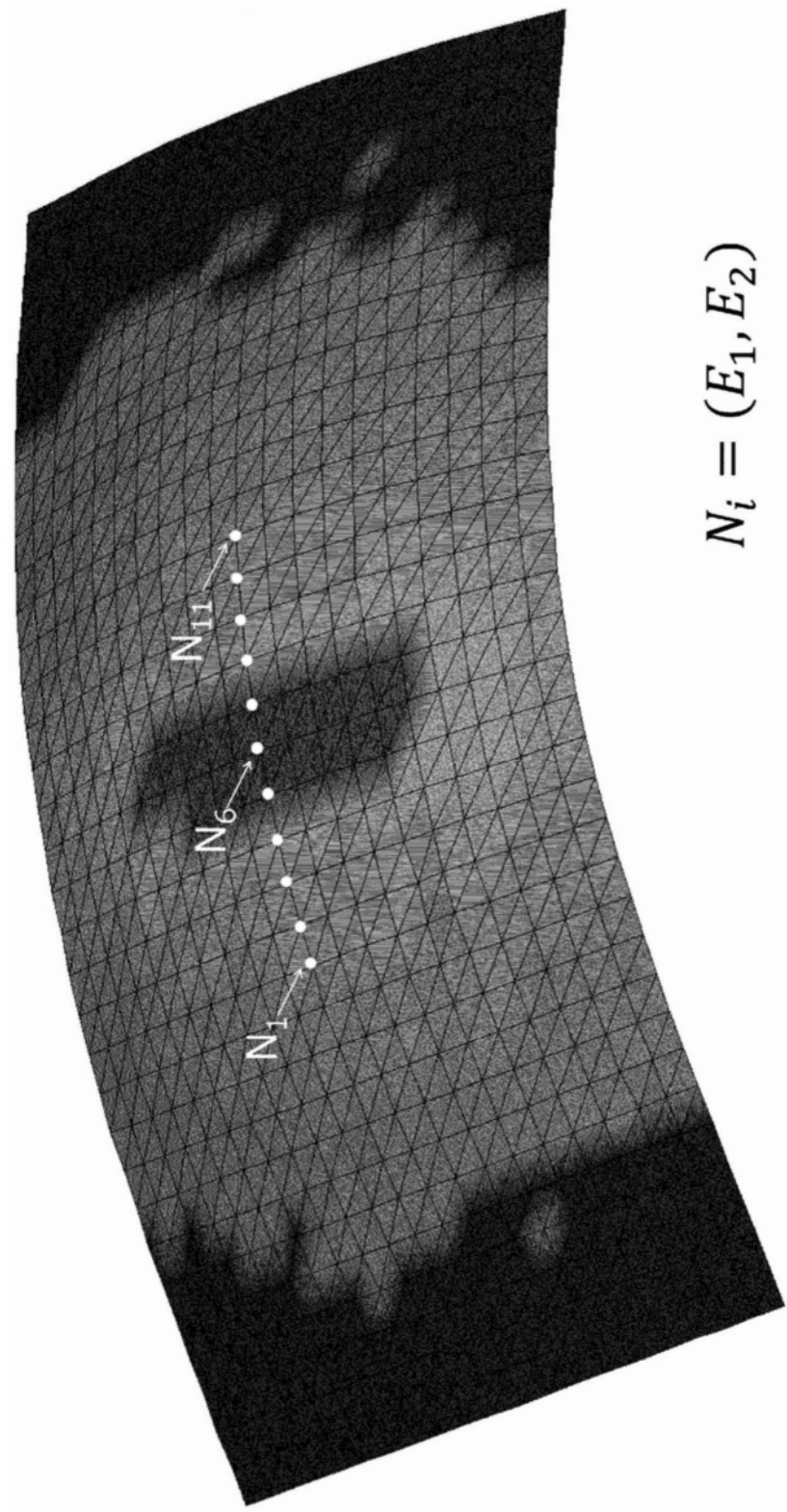


图6

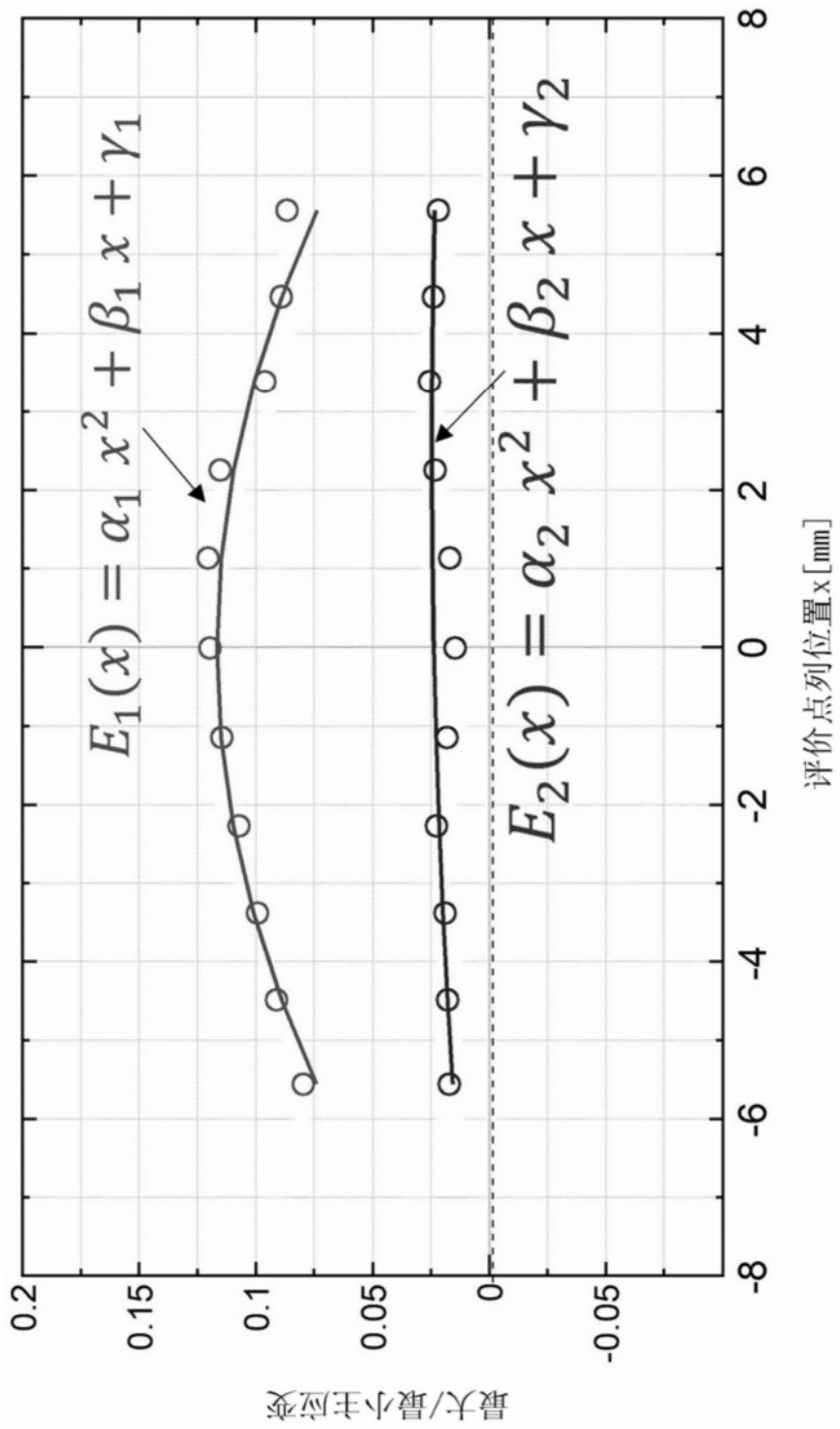


图7

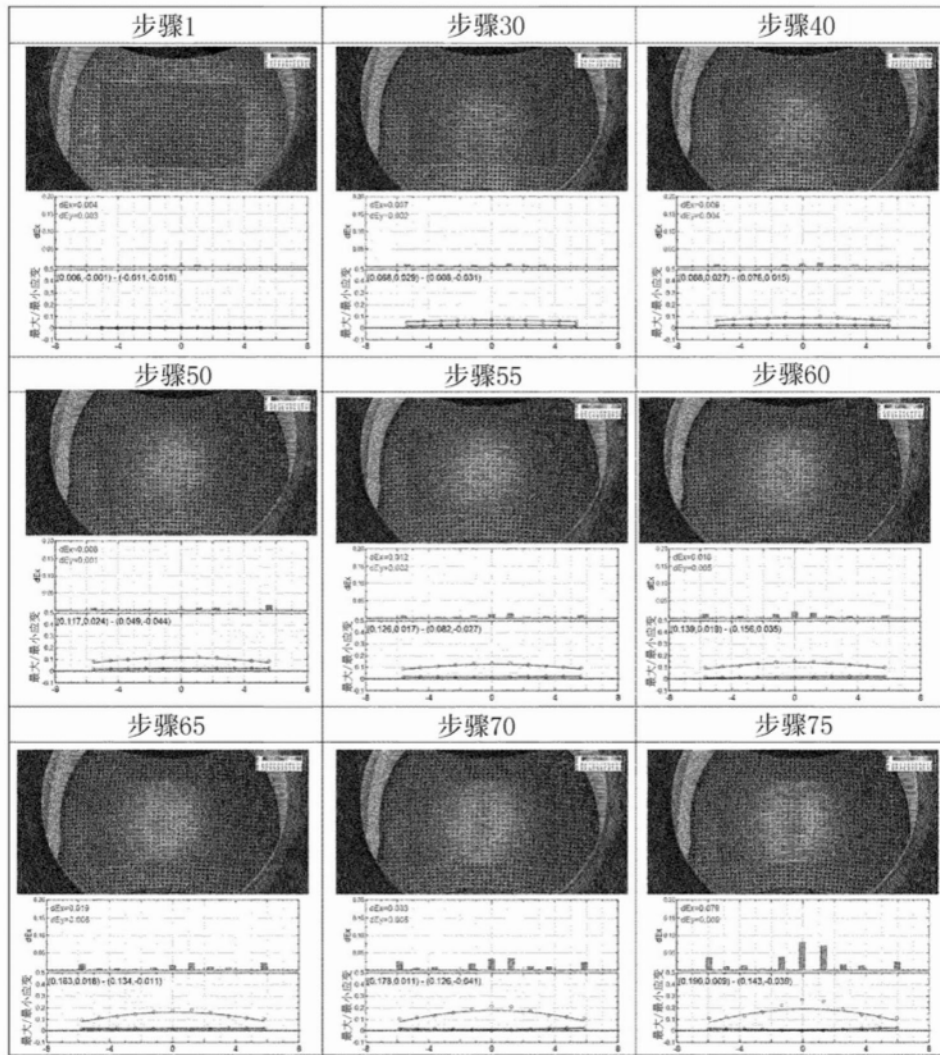


图8

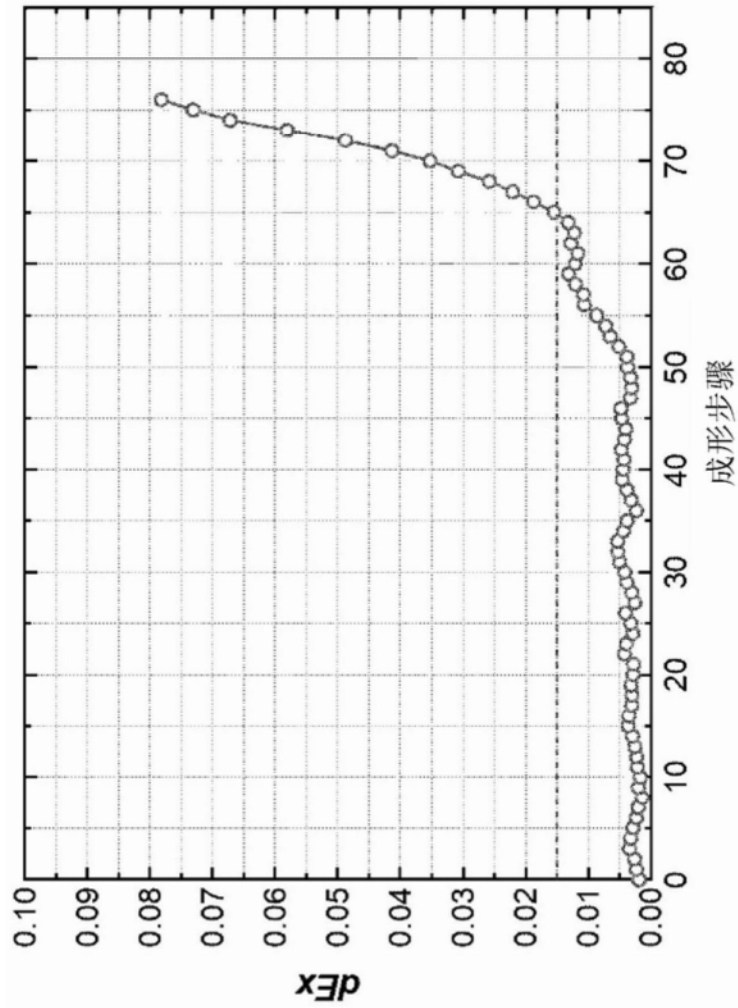


图9

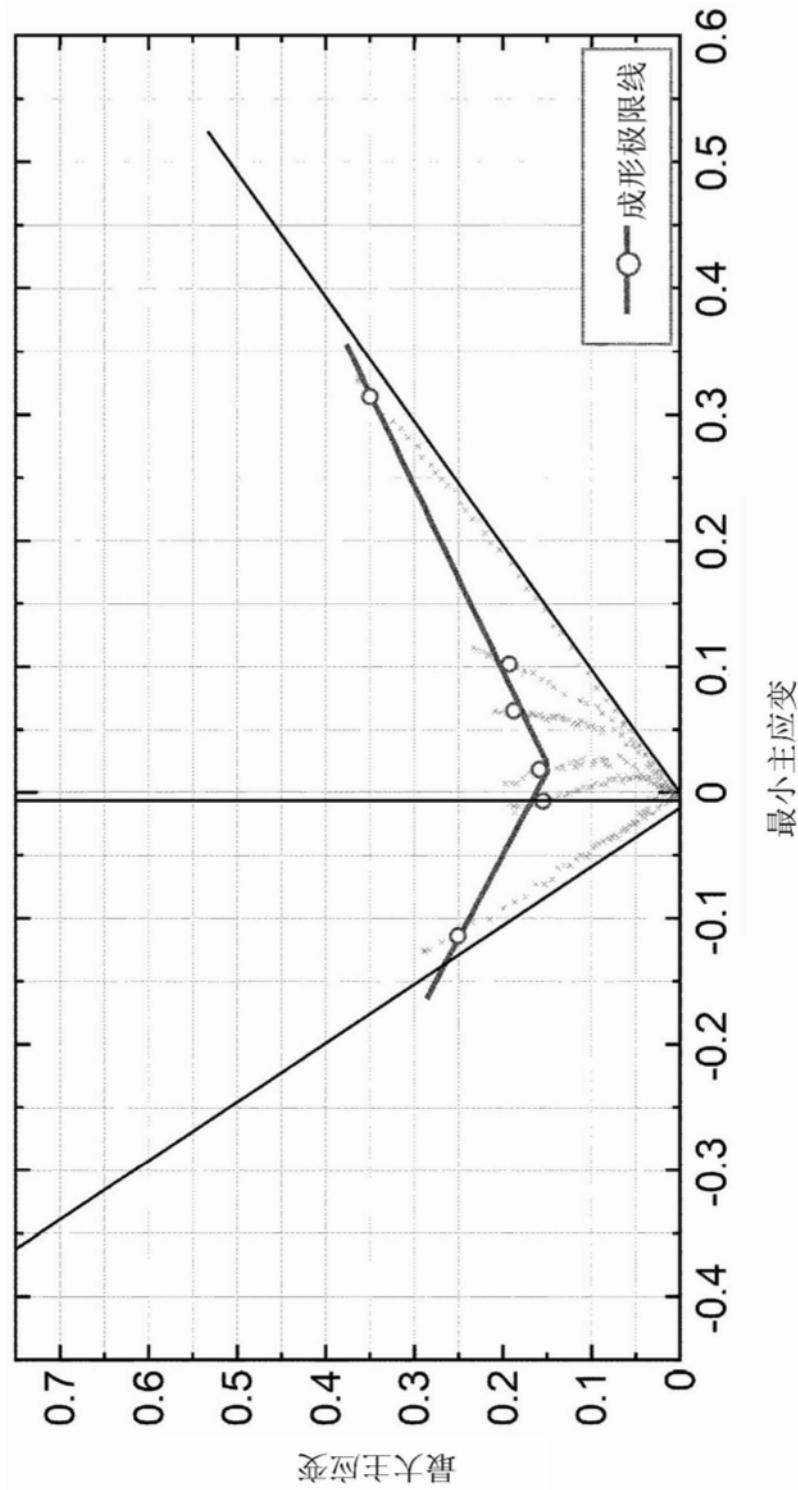


图10

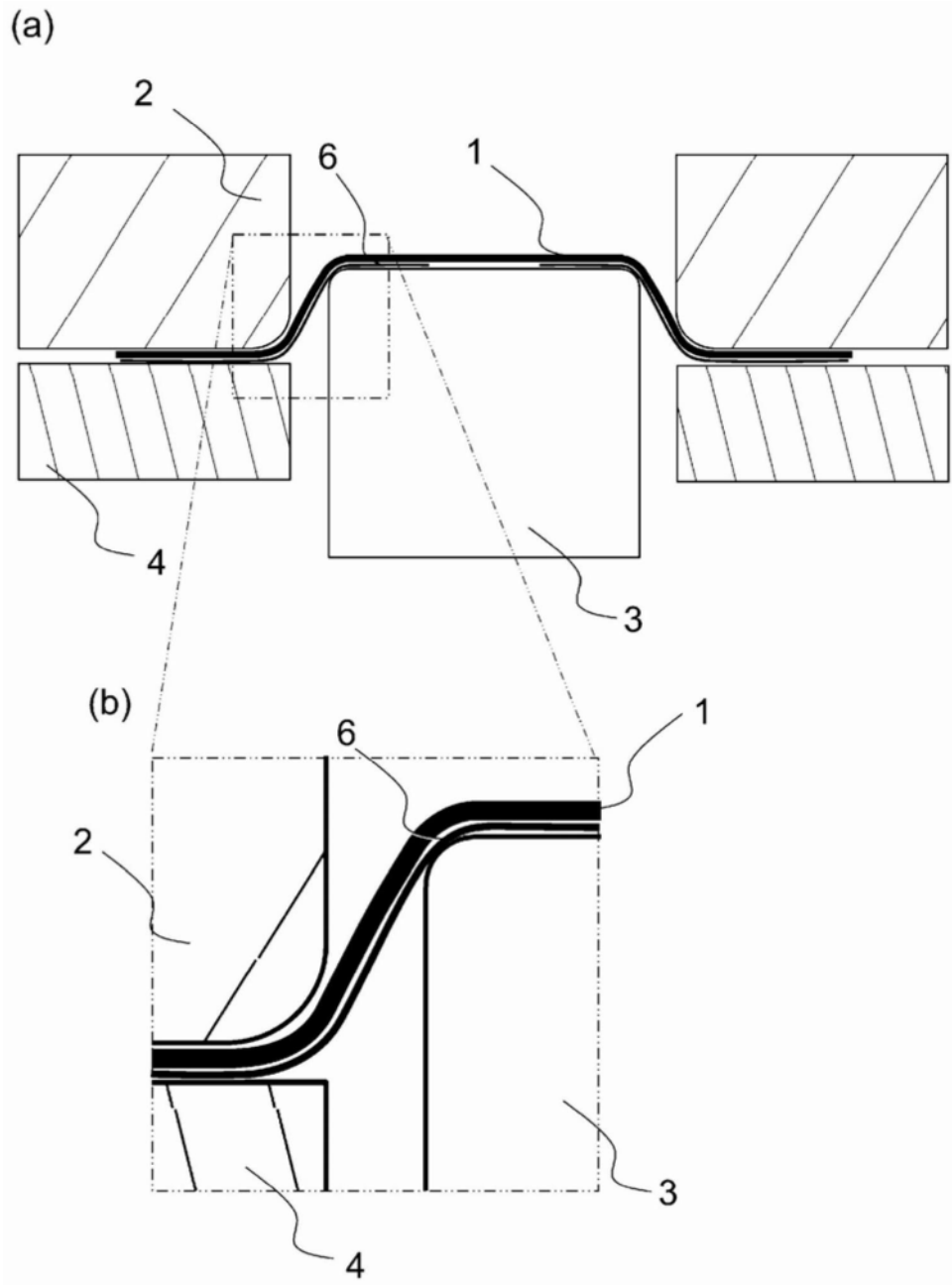


图11

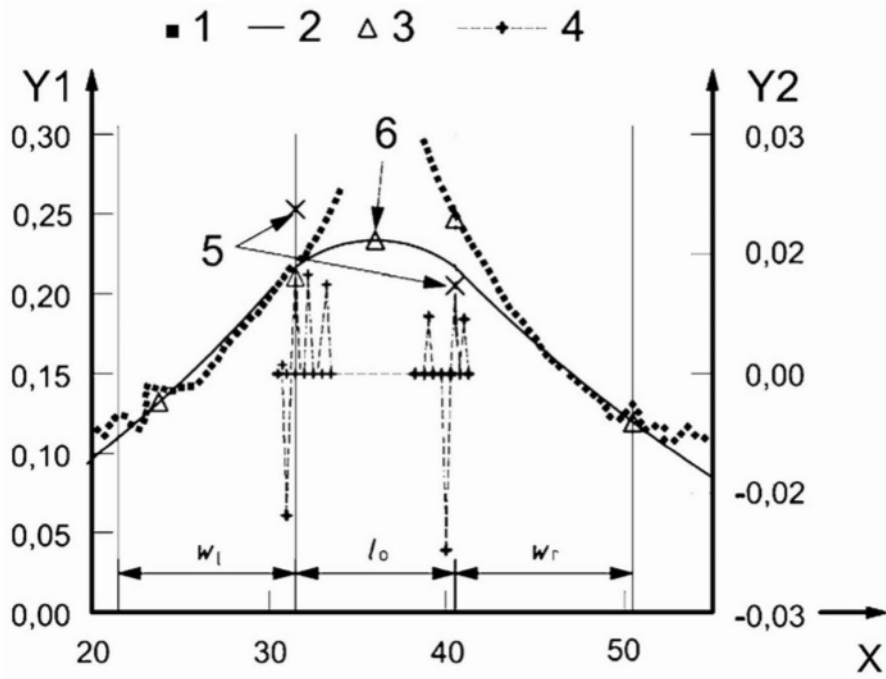


图12

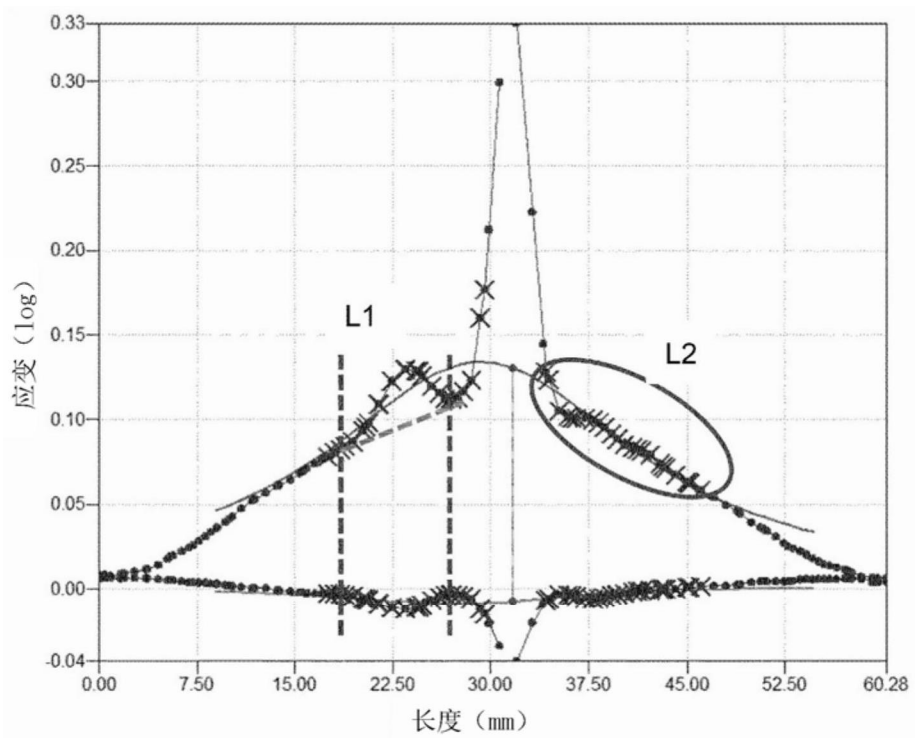


图13

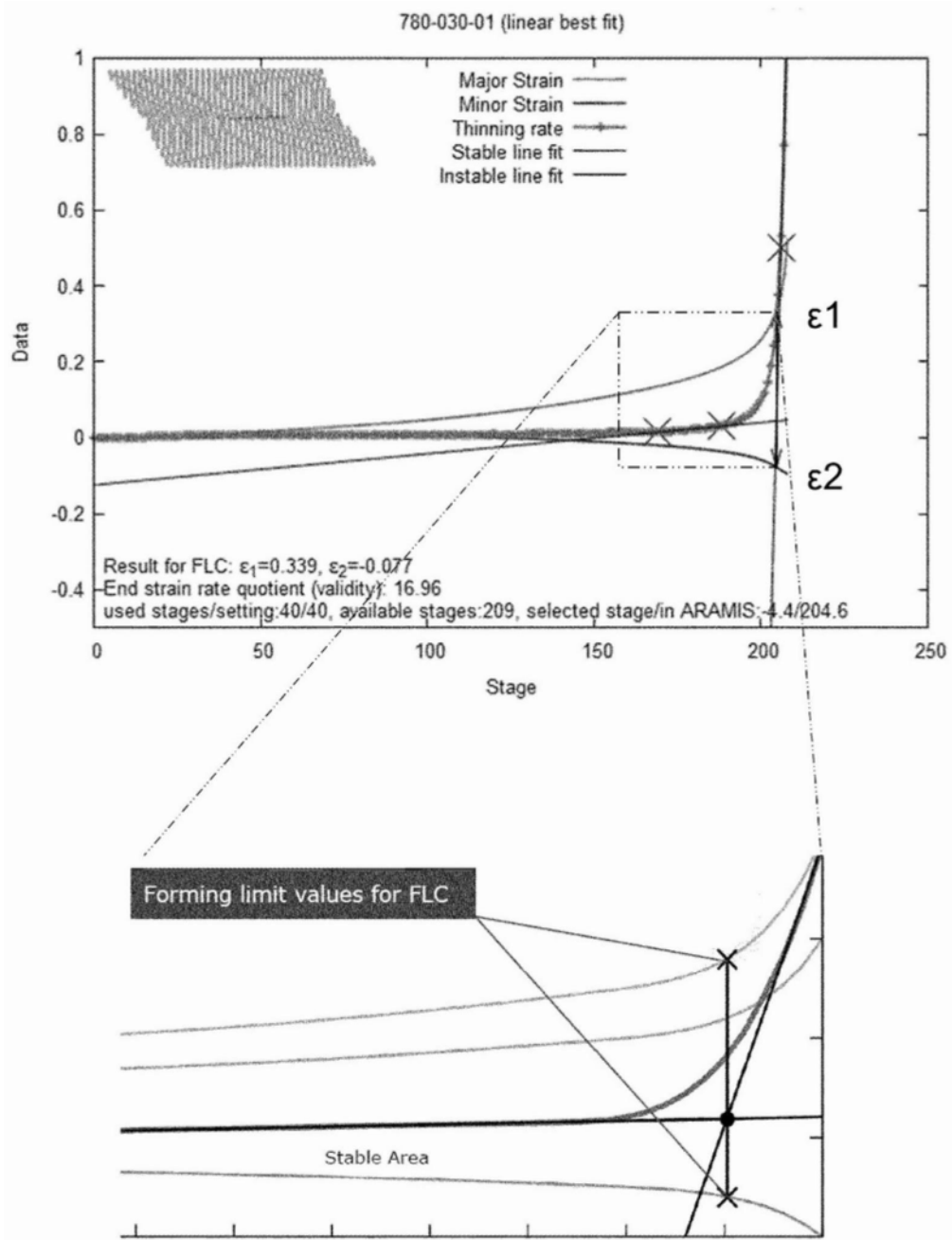


图14