



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1815212 B

(45) 授权公告日 2010.06.16

(21) 申请号 200510007548.X

(22) 申请日 2005.02.05

(73) 专利权人 香港中文大学

地址 香港新界

专利权人 茂森精艺金属制造有限公司

(72) 发明人 杜如虚 郁毛林 伍耀明 陶伟洪

(74) 专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理
有限责任公司 11204

代理人 王达佐 韩克飞

(51) Int. Cl.

G01N 25/72 (2006.01)

G01N 25/00 (2006.01)

G01K 11/20 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1191969 A, 1998.09.02, 全文.

DE 10202792 A1, 2003.08.14, 全文.

JP 特开 2002-156347 A, 2002.05.31, 全文.

US 5834661 A, 1998.11.10, 全文.

JP 特开 200516991 A, 2005.01.20, 全文.

宗明成等. 脉冲电视热成像无损探
伤装置的研制. 北方交通大学学报 21

1. 1997, 21(1), 103-107.

田恩瑞等. 玻璃钢筒的热扫描红外无损检
测. 哈尔滨工业大学学报(增刊). 1985, 18-22.

审查员 冯志华

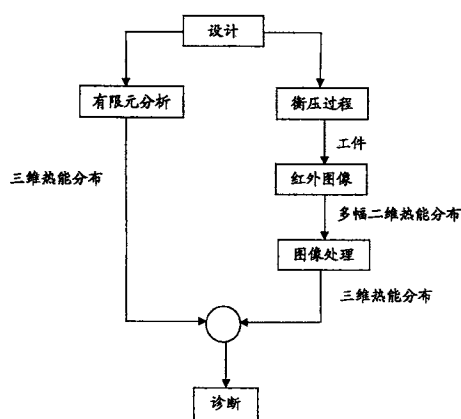
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 4 页

(54) 发明名称

金属冲压过程中的诊断方法及其设备

(57) 摘要

本发明公开了一种对工件在冲压过程中进行诊断的方法,包括确定所述工件的热能和温度分布;提供冲压后所述工件的热能分布图像;以及将所述的热能和温度分布与所述热能分布图像进行比较以判断工件在冲压过程中是否存在缺陷,其中,热能和温度分布与所述热能分布图像的差异表明所述工件在冲压过程中存在缺陷。本发明还提供对工件在冲压过程中进行诊断的设备。利用本发明的方法和设备可对工件冲压过程中出现的问题进行准确的分析和诊断。



1. 一种对工件在冲压过程中进行诊断的方法,所述方法包括:
通过有限元分析为所述冲压过程建立模型;
根据所建立的模型确定所述工件冲压前的热能和温度分布;
获取所述工件刚冲压后的三维热能分布图像;以及
将所述的热能和温度分布与所述三维热能分布图像进行比较以判断工件是否存在缺陷,
其中,所述热能和温度分布与所述热能分布图像的差异表明所述工件存在缺陷。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述热能分布图像通过红外照相获取。
3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中,所述的三维热能分布图像由通过对工件数次红外照相获得,所述的数次红外照相为沿所述工件的不同方向进行。
4. 一种对工件在冲压过程中进行诊断的设备,包括:
根据通过有限元分析为所述冲压过程建立的模型,确定所述工件冲压前的热能和温度分布的装置;
确定所述工件刚冲压后的热能分布图像的装置;以及
数据处理装置,与确定所述工件的热能和温度分布的装置和确定所述工件冲压后的热能分布图像的装置电连接,对所述热能和温度分布与所述热能分布图像进行比较。
5. 根据权利要求 4 所述的设备,其中,确定所述工件冲压后的热能分布图像的装置包括:
支撑和固定所述工件的支撑装置;以及
红外照相机,将其摄取的工件红外图像输送到所述数据处理装置。
6. 根据权利要求 5 所述的设备,其中,确定所述工件冲压后的热能分布图像的装置进一步包括绝热壳体,所述绝热壳体具有至少一个壁以固定所述红外照相机。
7. 根据权利要求 6 所述的设备,其中,确定所述工件冲压后的热能分布图像的装置进一步包括用于驱动所述支撑装置的驱动装置。

金属冲压过程中的诊断方法及其设备

发明领域

[0001] 本发明涉及金属加工领域,特别涉及工件冲压过程中的诊断方法和实施该方法的设备。

背景技术

[0002] 工件的冲压过程是一个复杂的过程,它涉及到工件板料的瞬态弹性变形和塑性变形,以及冲床的静态和动态行为。影响工件冲压过程的因素很多,包括冲床、模具、工件以及冲压条件(如:冲压速度,润滑状态等)。目前,由于对降低生产成本日益增长的需求,金属冲压过程通常处于最大负荷下运行(包括几何形状,冲压速度,冲床功率的充分利用等)。这往往导致各种故障或异常的发生,例如:产品尺寸超限,撕裂,皱褶等,当这些故障发生时,目前上无科学有效的方法找出故障发生的原因。

[0003] 虽然金属冲压中的应力应变分布可以借助与有限元商业软件包如LS-DYNA[®]和PAMSTAMP[®]计算得到,但是这些商业软件包仅能够预测金属冲压过程中工件的应力应变的变化,而且这种预测是基于理想冲压条件下计算得到的,不可能包括诸如模具制造误差(包括加工误差,装配误差及表面粗糙度等),机床的动态特性(如振动),以及冲压条件(润滑,摩擦等)。因此,这种预测有高达25%的误差。而且,当生产中出现故障时,这种方法无法找出故障发生的根本原因。

[0004] 本发明正是为解决现有技术中的该问题而提出。

发明内容

[0005] 本发明第一方面提供一种工件冲压过程中进行诊断的方法,所述方法包括:

[0006] 提供冲压后所述工件的热能分布图像;以及

[0007] 根据所述的热能图像判断工件在冲压过程中是否存在缺陷,

[0008] 其中热能在所述热能图像中的异常分布表明所述工件在冲压过程中存在缺陷。

[0009] 本发明第二方面提供一种对工件在冲压过程中进行诊断的方法,所述方法包括:

[0010] 确定所述工件的热能和温度分布;

[0011] 提供冲压后所述工件的热能分布图像;以及

[0012] 将所述的热能和温度分布与所述热能分布图像进行比较以判断工件在冲压过程中是否存在缺陷,

[0013] 其中,热能和温度分布与所述热能分布图像的差异表明所述工件在冲压过程中存在缺陷。

[0014] 在本发明方法的一实施方案中,所述的确定热能和温度分布包括对所述冲压过程进行建模。

[0015] 在本发明方法的一另实施方案中,所述的对所述冲压过程进行建模通过有限元分析进行。

[0016] 在本发明的又一实施方案中,所述的热能分布图像通过红外照相获得,优选地,所

述热能分布图像由通过对工件多次红外照相获得,所述多次红外照相为沿所述工件的不同方向进行。

[0017] 本发明第三方面提供一种对工件在冲压过程中进行诊断的设备,包括提供冲压后确定所述工件的热能分布图像的装置。

[0018] 在本发明设备的一实施方案中,进一步包括:

[0019] 提供冲压前所述工件的热能和温度分布的装置;以及

[0020] 数据处理装置,与所述确定所述工件的热能和温度分布的装置和所述提供冲压后所述工件的热能分布图像的装置电连接,对所述工件的热能和温度分布与所述的热能分布图像进行比较。

[0021] 在本发明设备的另一实施方案中,所述提供冲压后确定所述工件的热能分布图像的装置包括:

[0022] 支撑和固定所述工件的支撑装置;

[0023] 红外照相机,将其摄取的工件红外图像输送到所述数据处理装置。

[0024] 在本发明设备的另一实施方案中,所述提供冲压后确定所述工件的热能分布图像的装置进一步包括绝热壳体,所述绝热壳体具有:至少一壁以固定红外相机。

[0025] 在本发明设备的又一实施方案中,所述提供冲压后确定所述工件的热能分布图像的装置进一步包括位于驱动所述支撑装置的驱动装置。

附图说明

[0026] 图 1 是本发明有限元分析构建中某单元的四点四边形示图;

[0027] 图 2 是本发明图 1 在中单元在虚拟空间中的四点四边形示图;

[0028] 图 3 为由一步冲压成形的杯子的示图;

[0029] 图 4 为图 3 的杯子根据本发明有限元分析得到的热能分布结果;

[0030] 图 5 是对一工件进行连续性冲压得到的视图;

[0031] 图 6 是图 7 工件在连续性冲压过程中的热能图像;

[0032] 图 7 是本发明诊断方法的方块图;

[0033] 图 8 是本发明诊断系统的装置示意图;

[0034] 图 9 为图 3 冲压杯子的六幅热能图像;

[0035] 图 10 为从不同角度重构后的冲压杯子热能分布。

具体实施方式

[0036] 本发明的基础是能量守恒定律,即在金属冲压过程中,金属吸收能量而发生变形,变形能量最后又转换成热量。因此,工件(或模具,因为热量由工件传递给模具)的温度分布是与工件的变形(应变)和应力(冲压力)有关的。换句话说,工件的温度分布描述了工件在何处以及怎样发生变形的。因此,通过分析成形工件(或模具)的温度分布,我们可以发现模具的发生过度的变形(应力/应变)的位置,从而诊断出故障的根源。

[0037] 有限元分析已被应用于金属冲压中,商业上也可获得对于金属冲压的有限元分析软件。然而,现有技术中没有对工件冲压中热能分布的有限元分析建模。

[0038] 本发明人通过对金属冲压热能分布的有限元分析建模,进而运用该结果对金属冲

压过程中进行诊断。藉此提供本发明的方法和设备。

[0039] 图 7 的方块图表示本发明的方法。简单地说,我们首先模拟工件的热能有限元分析。然后,我们再照数张刚冲压完成的红外图像。对结构简单的工件,可以从得到的图像上判断工件在冲压过程中是否正常。

[0040] 如果得到的图像很复杂,则简单的二维红外图像不能完全反应工件的每一部分的温度。在此情况下,便利用得到的复杂的二维热红外图像重构其三维的几何与热能分布。这样,我们便能比较三维的热能有限元结果和三维重构的热能分布。则冲压过程中的问题便能分析和诊断。

[0041] 冲压过程中涉及大量能量的消耗,因而产生明显的温度改变。温度的改变会影响工件的物质性质,并改变最终的能量消耗。由于要补偿这些误差,以下便描述了本发明的建模。

[0042] 参照图 1,首先,我们将工件分解成大量细小的单元。每一单元都是四边形的,并存在四个点 1,2,3,4,而每个点均联系了两个坐标, r 与 z 。

[0043] 接着,我们模拟冲压过程中的其中一个单元为一个四点四边形的单元。 $\Gamma_{e,1}$, $\Gamma_{e,2}$, $\Gamma_{e,3}$ 与 $\Gamma_{e,4}$ 是单元的边界。

[0044] 物理坐标 r 与 z 分别在虚空间对应了两个新的坐标 ξ 与 η 。它们描述于图 2。

[0045] 图 2 中的四个点 1',2',3',4',其对应空间的形函数是:

$$[0046] \quad N_1 = \frac{(1-\xi)(1-\eta)}{4}$$

$$[0047] \quad N_2 = \frac{(1+\xi)(1-\eta)}{4}$$

$$[0048] \quad N_3 = \frac{(1+\xi)(1+\eta)}{4}$$

$$[0049] \quad N_4 = \frac{(1-\xi)(1+\eta)}{4}$$

[0050] 要把 (ξ, η) 系统转化成 (r, z) 系统,我们使用以下的公式:

$$[0051] \quad \frac{\partial N_i}{\partial \xi} = \frac{\partial N_i}{\partial r} \frac{dr}{d\xi} + \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{dz}{d\xi}$$

$$[0052] \quad \frac{\partial N_i}{\partial \eta} = \frac{\partial N_i}{\partial r} \frac{dr}{d\eta} + \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{dz}{d\eta}$$

[0053] 即

$$[0054] \quad \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dr}{d\xi} & \frac{dz}{d\xi} \\ \frac{dr}{d\eta} & \frac{dz}{d\eta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial r} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{Bmatrix}$$

[0055] 其 (2×2) 矩阵

$$[0056] \quad [J_e] = \begin{bmatrix} \frac{dr}{d\xi} & \frac{dz}{d\xi} \\ \frac{dr}{d\eta} & \frac{dz}{d\eta} \end{bmatrix}$$

[0057] 其包含不同的经分解的工件的单元。我们可以从物理空间中的点 1、2、3 和 4 表示出单元上的任何一点。

$$[0058] \quad r(\xi, \eta) = N_1 r_1 + N_2 r_2 + N_3 r_3 + N_4 r_4$$

$$[0059] \quad z(\xi, \eta) = N_1 z_1 + N_2 z_2 + N_3 z_3 + N_4 z_4$$

[0060] 其 r_i 与 z_i 是点 i 的坐标。

[0061] 所以 $[J_e]$ 变为

$$[0062] \quad [J_e] = \begin{bmatrix} \frac{dN_1}{d\xi} & \frac{dN_2}{d\xi} & \frac{dN_3}{d\xi} & \frac{dN_4}{d\xi} \\ \frac{dN_1}{d\eta} & \frac{dN_2}{d\eta} & \frac{dN_3}{d\eta} & \frac{dN_4}{d\eta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 & z_1 \\ r_2 & z_2 \\ r_3 & z_3 \\ r_4 & z_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta-1 & 1-\eta & \eta & -\eta \\ \xi-1 & -\xi & \xi & 1-\xi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 & z_1 \\ r_2 & z_2 \\ r_3 & z_3 \\ r_4 & z_4 \end{bmatrix}$$

[0063] 其中

$$[0064] \quad [J_e] = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \text{ 和 } [J_e]^{-1} = \begin{bmatrix} J_{11}^{-1} & J_{12}^{-1} \\ J_{21}^{-1} & J_{22}^{-1} \end{bmatrix}$$

[0065] $[J_e]$ 容许我们建立两者空间的关系并简化其积分, 参考下面公式

$$[0066] \quad \iint_{S_{\text{physical}}} dS = \iint_{S_{\text{virtual}}} \det[J_e] dS = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \det[J_e] d\xi d\eta \quad \text{与 } \det[J_e] = \begin{vmatrix} \sum_{j=1}^4 r_j \frac{dN_j}{d\xi} & \sum_{j=1}^4 z_j \frac{dN_j}{d\xi} \\ \sum_{j=1}^4 r_j \frac{dN_j}{d\eta} & \sum_{j=1}^4 z_j \frac{dN_j}{d\eta} \end{vmatrix}.$$

[0067] 根据于热力学第一定律, 能量守恒的比率 (Rate of Conservation of Energy) 描述于下面公式

[0068] (在 V 中热能增加的比率) =

[0069] (经 S 传到 V 中热能传导的比率) + (在 V 中热能产生的比率) (1)

[0070] 其中 V 是体积, S 是包含 V 的面。

[0071] 设 u 代表工件介质特定内部能量, 则

[0072]

$$\text{在 } V \text{ 中热能增加的比率} = \int_V \rho \frac{\partial u}{\partial t} dV$$

[0073] 其中 ρ 是工件的密度 (kg/m^3)。

[0074] 根据 $c = \frac{du}{dT}$ ($\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$), 我们得出

[0075]

$$\text{在 } V \text{ 中热能增加的比率} = \int_V \rho c \frac{\partial T}{\partial t} dV$$

[0076] 利用傅立叶的热传导理论, 我们得出经 S 传到 V 中热能传导比率的表达式

$$[0077] \quad q = -k(\text{grad}(T))n = -k \frac{\partial T}{\partial n}$$

[0078] 其中 k 是工件的热能传导性 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$), 并在 V 中假定为常数,

[0079] n 是面 S 的垂直方向;

[0080] q 是 n 方向中的热流量;

[0081] 所以我们得出：

[0082]

经 S 传到 V 中热能传导比率

[0083]

$$= \oint_S q dS = \oint_S k \text{grad}(T) n dS = \int_V k \text{div}(\text{grad}(T)) dV$$

[0084] 假设热能产生在以每体积单位 Q 的比率发生, 这样

[0085]

$$\text{在 } V \text{ 中热能产生的比率} = \int_V Q dV$$

[0086] 其中 $Q = \dot{w}$ 是每体积单位热转移的比率, 而 $\dot{w} = \int_t \dot{w} dt$ 是因每体积单位的功的热转移, 所以其平衡方程可写成

$$[0087] \quad \int_V \left(\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - k \text{div}(\text{grad}(T)) - \dot{w} \right) dV = 0$$

[0088] 因体积 V 在开始时是随意挑选, 因此它按照以下公式

$$[0089] \quad \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \text{div}(\text{grad}(T)) + \dot{w} = k \nabla^2 T + \dot{w}$$

[0090] 边界条件必须在之前 (1) 的守恒公式中使用。

[0091] 在冲压过程中, 工件下部的面 (Γ_1 与其垂直向量 n_1) 是与模具的接触面。当时间 $t = 0$, $T_{\text{part}} = T_{\text{die}} = T_{\text{air}}$, 我们假设工具与摩擦的表面能量消耗是

$$[0092] \quad -k \frac{\partial T}{\partial n_1} = h_{\text{part/die}} (T - T_{\text{die}}) - \frac{b}{b + b_{\text{die}}} \tau v_s$$

[0093] 其中 h 是当模具在温度 T_{die} 的热交换参数, b 与 b_{die} 是渗透率 ($\text{effusivity} = \sqrt{k\rho c}$), τ 摩擦的应力, 而 v_s 是其模具与工件的相对速度。

[0094] 那向上的面是与空气接触 (Γ_3 与其垂直向量 n_3)。当 $t = 0$, $T_{\text{part}} = T_{\text{air}}$, 我们能够设定其辐射与对流近似为

$$[0095] \quad -k \frac{\partial T}{\partial n_3} = h_{\text{conv}} (T - T_{\text{air}}) + \varepsilon_r \sigma_r (T^4 - T_0^4)$$

[0096] 其中 ε_r 是发射率参数, σ_r 是 Stefan 常数 (Stefan constant), T_{air} 是外面温度, 而 h_{conv} 是空气对流的热交换系数。

[0097] 工件与周遭空气的热交换能够被传导 (当工件与空气的温度差不大于克服空气流动的阻力) 建模。因此, 引发了自然对流电流。加上, 我们忽略辐射的因素而简化了问题, 所以,

$$[0098] \quad -k \frac{\partial T}{\partial n_3} = h_{\text{part/air}} (T - T_{\text{air}})$$

[0099] 假设流经单元的热量为 q 。这热量流动的速率是不知道的, 但我们可以用形函数来估计出来,

$$[0100] \quad \dot{q} = \sum_j N_j \dot{q}_j = \{N_j\} \{\dot{q}\}$$

[0101] 所以,我们可用以下公式来描述这传导

$$[0102] \quad -k \frac{\partial T}{\partial n} = \dot{q}$$

[0103] 其中 $n = \{n_2; n_4\}$

[0104] 当 $t = 0$, 我们假设热流动与比率在工件的任何地方均是零。运用 (Galerkin' s method), 我们得出一个另一形态的公式

$$[0105] \quad \int N_i \left(k \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{k}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \dot{w} - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right) r dr d\theta dz = 0$$

[0106] 在首两项分部积分

$$[0107] \quad \int N_i k \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} r dr d\theta dz = \int k r N_i \frac{\partial T}{\partial r} d\theta dz - \int k \frac{\partial T}{\partial r} \frac{\partial (N_i r)}{\partial r} dr d\theta dz$$

$$[0108] \quad \int N_i k \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} r dr d\theta dz = \int k r N_i \frac{\partial T}{\partial r} d\theta dz - \int k \frac{\partial T}{\partial r} \left(r \frac{\partial N_i}{\partial r} + N_i \right) dr d\theta dz$$

$$[0109] \quad \int N_i k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} r dr d\theta dz = \int k r N_i \frac{\partial T}{\partial z} d\theta dr - \int k \frac{\partial T}{\partial z} r \frac{\partial N_i}{\partial z} dr d\theta dz$$

[0110] 我们得出

$$[0111] \quad \int k r N_i \frac{\partial T}{\partial r} d\theta dz + \int k r N_i \frac{\partial T}{\partial z} d\theta dr$$

$$[0112] \quad - \int \left(k \frac{\partial N_i}{\partial r} \frac{\partial T}{\partial r} + k \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} + N_i \dot{w} - N_i \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right) r dr d\theta dz = 0$$

[0113] 独立的 θ 允许我们对公式的简化。

[0114] 所以,那几何建模的结果是

$$[0115] \quad r = \sum_j N_j r_j = \{N_j\} \{r\}$$

$$[0116] \quad z = \sum_j N_j z_j = \{N_j\} \{z\}$$

$$[0117] \quad T = \sum_j N_j T_j = \{N_j\} \{T\}$$

$$[0118] \quad dr dz = \det [J] d\xi d\eta$$

$$[0119] \quad \frac{\partial N_i}{\partial r} = J_{11}^{-1} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} + J_{12}^{-1} \frac{\partial N_i}{\partial \eta}$$

$$[0120] \quad \frac{\partial N_i}{\partial z} = J_{21}^{-1} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} + J_{22}^{-1} \frac{\partial N_i}{\partial \eta}$$

$$[0121] \quad \frac{\partial T}{\partial r} = \left\{ \frac{\partial N_j}{\partial r} \right\} \{T\}$$

$$[0122] \quad \frac{\partial T}{\partial z} = \left\{ \frac{\partial N_j}{\partial z} \right\} \{T\}$$

$$[0123] \quad \{T_e\} = \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{Bmatrix}$$

$$[0124] \quad \{T\} = \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ T_n \end{Bmatrix}$$

$$[0125] \quad \int k r N_i \frac{\partial T}{\partial r} dz + \int k r N_i \frac{\partial T}{\partial z} dr - \int \left(k \frac{\partial N_i}{\partial r} \frac{\partial T}{\partial r} + k \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} + N_i \dot{w} - N_i \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right) r \det[J] d\xi d\eta = 0$$

[0126] 考虑边界条件,我们得出

$$[0127] \quad - \int_{\Gamma_1} r N_i h_{part/die} (T - T_{die}) d\Gamma_1 - \int_{\Gamma_3} r N_i h_{part/air} (T - T_{air}) d\Gamma_3 - \int_{\Gamma_2} r N_i \dot{q}_2 d\Gamma_2 - \int_{\Gamma_4} r N_i \dot{q}_4 d\Gamma_4$$

$$[0128] \quad - \int \left(k \frac{\partial N_i}{\partial r} \frac{\partial T}{\partial r} + k \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} + N_i \dot{w} - N_i \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right) r \det[J] d\xi d\eta = 0$$

[0129] 由于 Γ_i 是代表线性单元 (线性单元内插值是线性的) 的两个节点,我们可以计算出 $d\Gamma_i$ 是

$$[0130] \quad d\Gamma_i = \sqrt{\left(\frac{dr}{d\xi}\right)^2 + \left(\frac{dz}{d\xi}\right)^2} d\xi, \text{ 对 } i = 1, \eta = -1, \text{ 而对 } i = 3, \eta = 1;$$

$$[0131] \quad d\Gamma_i = \sqrt{\left(\frac{dr}{d\eta}\right)^2 + \left(\frac{dz}{d\eta}\right)^2} d\eta, \text{ 对 } i = 2, \xi = 1, \text{ 而对 } i = 4, \xi = -1。$$

[0132] 即是

$$[0133] \quad d\Gamma_1 = \frac{1}{2} \sqrt{(r_1 - r_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} d\xi$$

$$[0134] \quad d\Gamma_2 = \frac{1}{2} \sqrt{(r_2 - r_3)^2 + (z_2 - z_3)^2} d\eta$$

$$[0135] \quad d\Gamma_3 = \frac{1}{2} \sqrt{(r_3 - r_4)^2 + (z_3 - z_4)^2} d\xi$$

$$[0136] \quad d\Gamma_4 = \frac{1}{2} \sqrt{(r_4 - r_1)^2 + (z_4 - z_1)^2} d\eta$$

[0137] 这些公式可以写成以下形式

$$[0138] \quad M_e \frac{d\{T_e\}}{dt} + K_e \{T_e\} = f_e + \hat{q}_e$$

[0139] 其中

$$[0140] \quad M_{e,ij} = \int \rho c N_i N_j \{N_k\} \{r\} \det[J] d\xi d\eta$$

$$[0141] \quad K_{e,ij} = - \int h_{part/die} \{N_k\} \{r\} N_i N_j d\Gamma_1 - \int h_{part/air} \{N_k\} \{r\} N_i N_j d\Gamma_3$$

$$[0142] \quad - \int k \{N_k\} \{r\} \left(\frac{\partial N_i}{\partial r} \frac{\partial N_j}{\partial r} + \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial N_j}{\partial z} \right) \det[J] d\xi d\eta$$

$$[0143] \quad \hat{q}_{e,i} = \int_{\Gamma_2} r N_i \dot{q}_2 d\Gamma_2 + \int_{\Gamma_4} r N_i \dot{q}_4 d\Gamma_4$$

[0144] 用数值法来描述热流动率,我们得出

$$[0145] \quad \hat{q}_{e,i} = \sum_{k=1}^{Nb_{nodes}} \left(\left(\int_{\Gamma_2} r N_i N_k d\Gamma_2 \right) \dot{q}_{2,k} + \left(\int_{\Gamma_4} r N_i N_k d\Gamma_4 \right) \dot{q}_{4,k} \right)$$

[0146] 其中 $\dot{q}_{j,k}$ 是从点 k 中边界 Γ_j 未知的热流动率,已知在 $\Gamma_2, \xi = 1$ 与 $\Gamma_4, \xi = -1$ 。由于流动率是从边向外的垂直方向,得出,

$$[0147] \quad f_{e,i} = \int N_i \dot{w} \{N_k\} \{r\} \det[J] d\xi d\eta - \int_{h_{part/die}} \{N_k\} \{r\} N_i T_{die} d\Gamma_1$$

$$[0148] \quad - \int_{h_{part/air}} \{N_k\} \{r\} N_i T_{air} d\Gamma_3$$

[0149] 如果 $\dot{w}$ 是以 Ω 空间的拉格朗日插值 (Lagrange interpolation) 来表达,那近似

$$\int_{\Omega} \dot{w} N_i d\Omega = \sum_{j=1}^{n_N} \left(\int_e N_j N_i d\Omega \right) \dot{w}_j \text{ 便能用来简化向量 } \{f\} \text{ 的评估。}$$

[0150] 之后,我们得出 $\dot{w}$, σ 与 $\dot{\epsilon}$ 的关系

$$[0151] \quad \dot{w}_j = \sum \sigma_{i,j} \dot{\epsilon}_{i,j}.$$

[0152] 加上,

$$[0153] \quad f_{e,i} = \sum_{j=1}^4 \left(\int N_j N_i \{N_k\} \{r\} \det[J] d\xi d\eta \right) \dot{w}_j$$

$$[0154] \quad - \int_{h_{part/die}} \{N_k\} \{r\} N_i T_{die} d\Gamma_1 - \int_{h_{part/air}} \{N_k\} \{r\} N_i T_{air} d\Gamma_3$$

[0155] 以及 σ_j 与 $\dot{\epsilon}_j$, 应力与应变都能从点 j 得出。那主要成分 ($\dot{w}_j = \sum_{i=1}^3 \sigma_{i,j} \dot{\epsilon}_{i,j}$, 其中 $i = \{1, 2, 3\}$ 的总和便是应力与应变的主要方向。

[0156] 根据本发明的方法,可以诊断简单和复杂工件或模具在冲压过程中的情况。

[0157] 如果工件是对称,但得出的热能分布不是,这样便是有问题。如工件的形状很复杂,便需要进一步的分析。它涉及最初的热能分布的有限元分析,然后比较和分析获得的热能图像。这样,我们便能准确地诊断出问题的原因。如果工件再复杂,我们使用刚冲压后获得的数张红外热能图像来三维重构,以展示它的几何和热能分布

[0158] 图 3 展示了一由一步冲压成形的杯子。根据本发明的有限元分析,其热能分布结果示于图 4 中。从图 4 可知其温度分布情况。通过比较图 3 和 4,便可知道杯子的理想热能分布和冲压过程中出现的问题如何。

[0159] 图 6 展示一个由连续性冲压过程制成的传统小部件。在冲压制造中,并没有发生严重的问题,除了偶尔部件超出容许的尺寸范围。

[0160] 虽然视觉检测能描述容许的尺寸范围,但却不能反映出什么导致超出其要求。我们的在线监控系统能检测出问题,但却不能指出问题的原因。然而,根据本发明的方法,通过分析连续性冲压过程该小部件的热能分布的有限元分析结果,我们可以看出金属片中不同地方的不同温度分布。

[0161] 本发明中,热能图像的获得可以通过现有技术中任何已知的方法进行。例如,红外照相等手段。

[0162] 但是热能图像摄取与分析是一项复杂的工作。首先,电磁波幅射覆盖了非常阔的光谱并互相干扰。换句话说,热能图像会被不同的噪音影响,例如,环境光线、反射、操作员的身体热能和机器。

[0163] 因此,本发明提供的对工件在冲压过程中进行诊断的设备,进一步包括一绝热壳体 10(请参考图 8)。壳体 10 通常由绝热材料制成,将处理工件封闭在其中,并且将其构型为尽量避免热损失的形状,使得摄取到的工件热能图像最大程度反应其实际情况。在一实施方案中,将其制成内壁光滑的球形结构。显然,本发明的方法优选对刚冲压完成的工件进行,以减少对流的热能流失。

[0164] 如上所述,本发明的方法,对于简单的工件,如描述于图 5 中的工件,根据得到热能图像的结果已足够确认出潜在的问题。图 6 示出了其红外线照相机(制造商:Guide,型号:IR913) 拍摄到的工件的热能分布。在图 6 中,600 处有一高温点(白色),它显示了工件的非典型变形。这很可能是导致问题的原因:模具在那地方制造得不准确。那定位销的弯曲导致额外的摩擦力,因而产生不同的温度。结果,工件便被推成超出了尺寸。

[0165] 图 8 展示了本发明的诊断设备的一实施方案。绝热壳体 10 具有至少一壁 11,红外线相机 400 固定在壁 11 上。在壳体内具有下部部分 12,和底部部分 13。支撑工件 100 的转盘 200 装配在壳体的下部部分 12。驱动转盘 200 转动的电机 300 固定在壳体的底部部分 13。

[0166] 红外相机和一计算机 500 电连接。根据本发明方法获得的工件 100 热能和温度分析的数据贮存在计算机 500 内。

[0167] 将工件 100 置于转盘 200 上,转动转盘通过红外相机的连续照相可获得工件不同角度的热能图像,其图像数据传到安装了模拟和分析软件的计算机 500 进行处理。

[0168] 根据本发明的方法,可实现一些冲压工件的三维热能重构。为提高准确度,先我们可将诊断系统校验,得出转盘和红外线照相机的外在关系以及红外线照相机的内在参数。接着,我们便从所摄得的图像中抽取工件的轮廓,并用空间雕刻的方法重构其三维热能分布。

[0169] 我们用图 3 中的冲压杯子,拍摄了十八幅热能图像来取得其几何形状和热能分布。图 9 展示了十八幅冲压杯子的其中六幅热能图像。图 10 展示了从不同角度重构后的冲压杯子热能分布。它是用来与图 4 的热能有限元分析模型比较。从比较中,我们便可以诊断冲压过程中潜在的问题。

[0170] 本发明与现有技术相比,根据工件在冲压后的真实应变和热能分布的相似性,通过考察热能分布来诊断冲压过程。它不同于有限元分析,有限元分析只能模拟一个假设的状况,它并不能包含模具表面处理、润滑等因素。因而,本发明提高了准确性。

[0171] 本发明可用在高速冲压和热能辅助冲压中,其中温度控制是一重要的因素。

[0172] 虽然本发明已用上述说明和具体实施例进行了详细的描述,但本领域技术人员显然可以通过本发明的公开的教导,对本发明进行进一步的变化和修饰,这些不脱离本发明精髓的变化和修饰应属于本发明的范围。

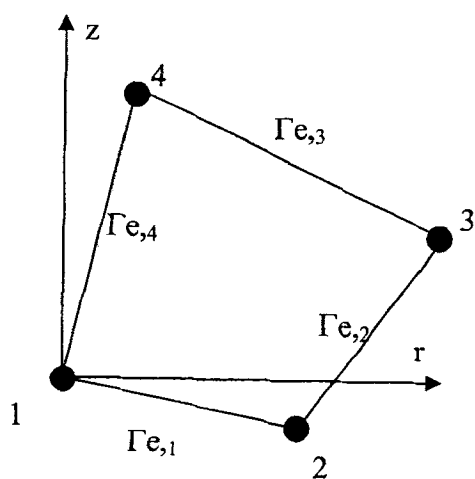


图 1

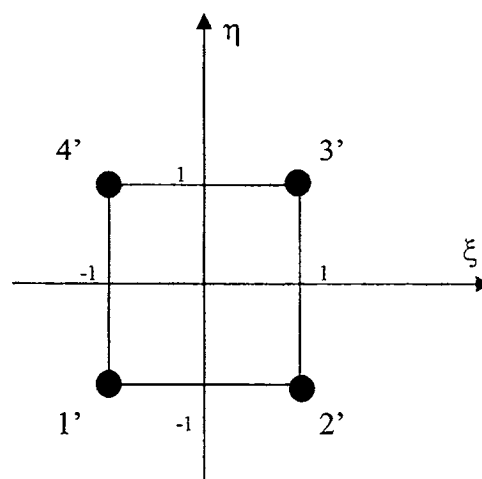


图 2



图 3

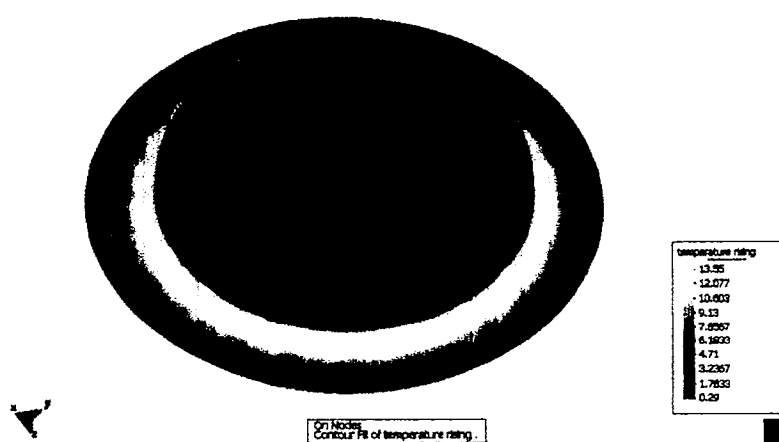


图 4



图 5

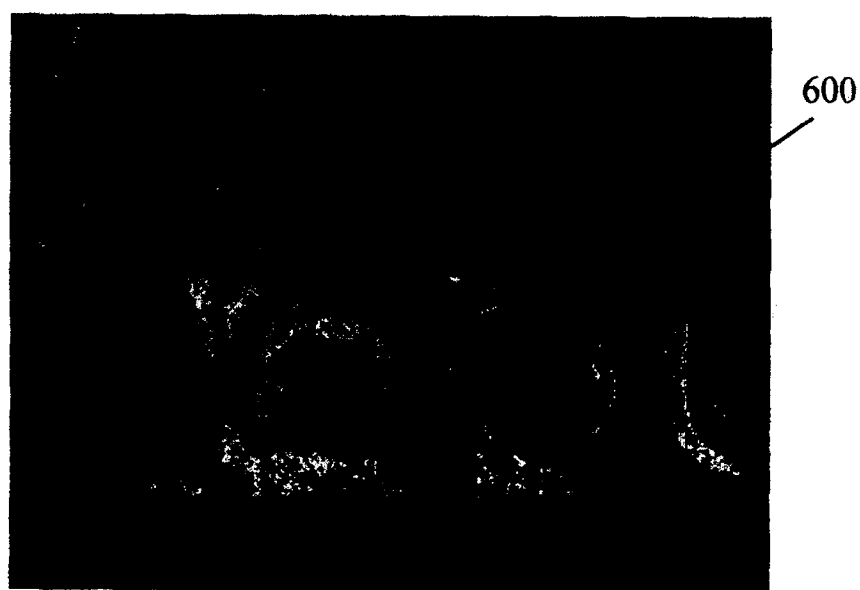


图 6

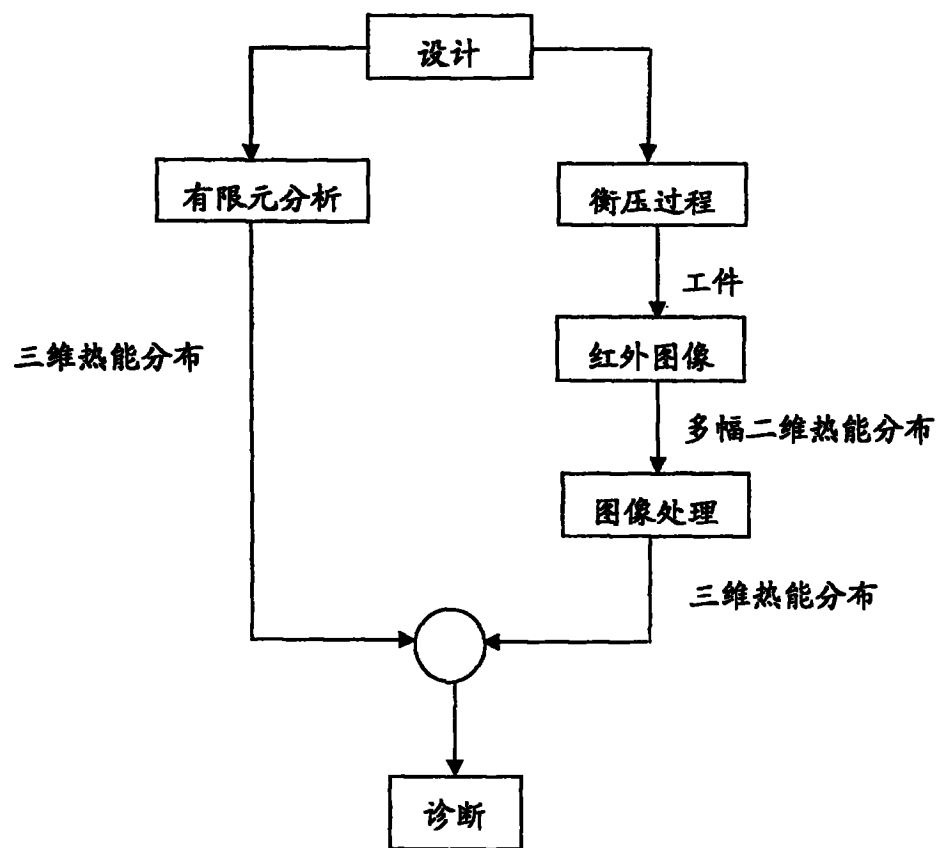


图 7

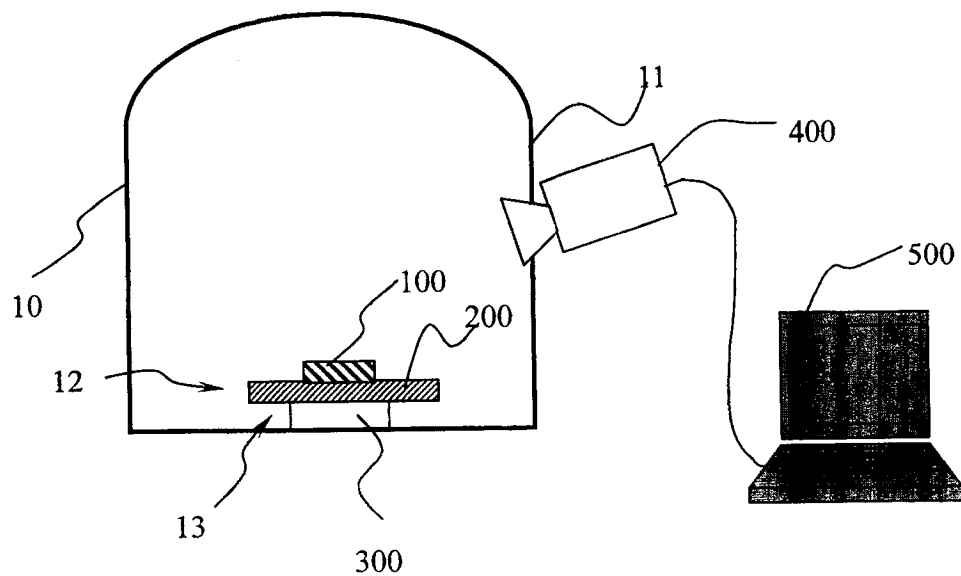


图 8



图 9

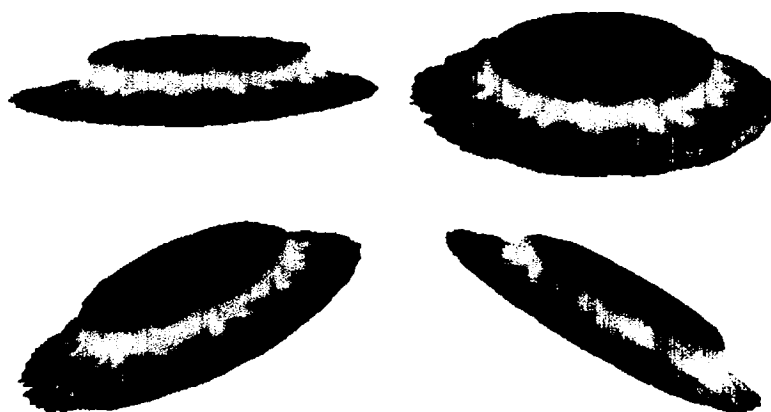


图 10