(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 111215519 B
(45)授权公告日 2021.10.26

(21)申请号 201911200468.4
(22)申请日 2019.11.29
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111215519 A
(43)申请公布日 2020.06.02
(73)专利权人 南京工程学院
地址 211167 江苏省南京市江宁科学园弘景大道1号
(72)发明人 查光成 蒋哲东 冯星宇 郑硕 王瑶 查一凡 闫飞宇 张晓凡
(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224
代理人 董建林
(51)Int.Cl.
B21D 31/00(2006.01)
B21C 51/00(2006.01)
(56)对比文件
CN 102489574 A,2012.06.13
CN 104384310 A,2015.03.04
JP S6186030 A,1986.05.01
CN 102601202 A,2012.07.25
CN 105138747 A,2015.12.09
张淑芹等.网孔板渐进成形性能.《锻压技术》.2016,
审查员 陈坪

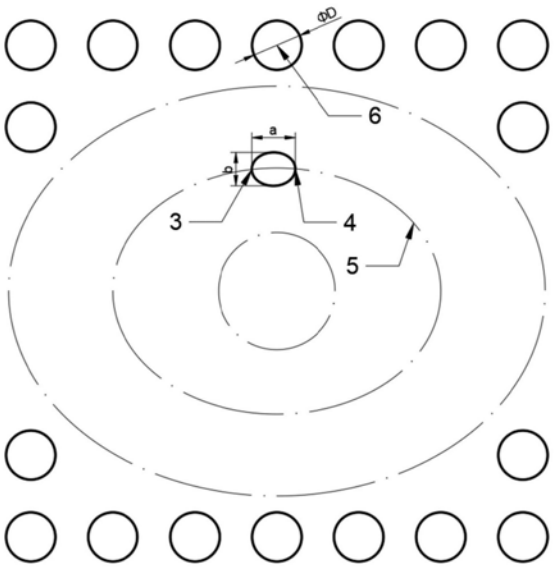
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法

(57)摘要

本发明公开了一种渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法，属于板料数控渐进成形领域，包括以下步骤：根据网孔板工件的渐进成形主方向、加工轨迹、网孔板成形力和板料成形的主应变ε_m，建立网孔变形量预测模型；根据网孔变形量预测模型，设计工件初始网孔。本发明是提供一种渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法，可使工件在成形后的网孔形状以及尺寸符合工件使用要求。



CN 111215519 B

1.一种渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法,其特征在于,包括以下步骤:

根据网孔板工件的渐进成形主方向、加工轨迹、网孔板成形力和板料成形的主应变ε_m,建立网孔变形量预测模型;

根据网孔变形量预测模型,设计工件初始网孔;

所述板料成形的主应变ε_m由公式(1)计算得到:

$$\varepsilon_m=\frac{(\mu\cot\theta-\cot^2\theta-2)P\sin\theta}{(\mu-\cot\theta)ES} \quad (1)$$

其中,μ为板料与工具头表面的摩擦系数,θ为渐进成形角,E为板材的弹性模量,P为成形力,S为工具头与板料接触投影于竖直方向的面积,$S=\pi r_1^2$,r_1为被加工板料的中性层处的接触区域半径,$r_1=\sqrt{\frac{1}{4}(2r+h)^2-(r-\Delta h)^2}$,h为板料厚度,Δh为层进给量,r为工具球头半径。

2.根据权利要求1所述渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法,其特征在于:所述网孔板工件的渐进成形主方向利用STL文件格式中三角面片外法矢量进行确定。

3.根据权利要求1所述渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法,其特征在于:所述网孔板工件的加工轨迹的确定包括以下步骤:

根据网孔板工件成形主方向,将板材的力学性能以及加工参数生成NC代码,由所述NC代码确定网孔板工件的加工轨迹。

4.根据权利要求1所述渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法,其特征在于:所述网孔板成形力的确定包括以下步骤:

选择相同材质的网孔板,按照网孔板工件的成形主方向和加工轨迹进行渐进成形;

由网孔板下方的测力仪测得网孔板料在成形过程中各个位置的成形力P。

5.根据权利要求1所述渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法,其特征在于:所述工件初始网孔为椭圆孔,设计所述初始网孔具体包括以下步骤:

提取网孔变形量预测模型中ε_m的数据,计算初始网孔短轴b;

提取网孔变形量预测模型中的加工轨迹,将初始网孔长轴a的两个端点排布于加工轨迹上。

6.根据权利要求5所述渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法,其特征在于:所述初始网孔短轴b通过公式(2)计算得到:

$$b=D/(\varepsilon_m+1) \quad (2)$$

其中,ε_m为板料成形的主应变,D为目标圆孔直径。

一种渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法，属于板料数控渐进成形领域。

背景技术

[0002] 板料渐进成形(Incremental Sheet Forming，ISF)是上世纪60年代由美国的Leszak提出的一种无模柔性成形技术，90年代由日本的松原茂夫等对该技术进行了进一步研究，逐渐引起了各国学者的重视。渐进成形技术是一种基于计算机技术、数控技术和塑性成形技术基础之上的先进制造技术，它采用快速原型制造技术“分层制造”的思想，将三维模型离散成为系列二维轮廓形状，通过局部塑性成形积累而获得零件整体形状的一种柔性无模成形技术，具有高柔性、低成本、高效率等特点，所需的成形力小，设备能耗低、振动小、噪声低，属于绿色加工，同时可以大幅度提高板材的成形极限，是近年来发展迅速的一种先进板材成形技术。

[0003] 由于渐进成形其特殊的加工方式，成形工具头在成形力的作用下对原始板料进行变薄拉延，成形区域的材料在工具头的作用下沿着工件轴向作剪切流动，板料厚度会减薄，研究表明，渐进成形中减薄规律遵循余弦定理$\delta=\delta_0\cos\theta$(其中$\delta_0$为板材的原始厚度，$\theta$为渐进成形角，$\delta$为成形后成形角$\theta$位置的理论厚度)，板料厚度在成形过程中会随着渐进成形角θ的变化而变化，因板料在成形时遵循体积不变原则，所以网孔板的网孔尺寸在成形时也会随着渐进成形角θ的改变而改变。

[0004] 目前，谭富星等提出了圆形孔的网孔板渐进成形研究，由于渐进成形中网孔所受的轴向力远大于切向力，导致在渐进成形过程中初始的圆形孔会逐渐变成椭圆孔，且实验表明，椭圆孔的长轴会因较大的轴向力而远大于初始圆形网孔的直径，而短轴由于其较小的切向力在成形后只略大于初始圆形网孔的直径。前述研究没有考虑渐进成形中网孔的变形情况，导致在加工件在成形后出现网孔形状、尺寸偏差。在实际应用加工中，如金属网孔板通过渐进成形制作成颅骨修复体时，由于圆孔在渐进成形后变为不规则的椭圆孔，会导致人体组织在修复体上附着生长会存在不均匀情况，直接影响了病患部位的组织修复及生长，增加了患者痛苦。

发明内容

[0005] 本发明是提供一种渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法，可使工件在成形后的网孔形状以及尺寸符合工件使用要求。

[0006] 为达到上述目的，本发明所采用的技术方案是：一种渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法，其特征在于，包括以下步骤：根据网孔板工件的渐进成形主方向、加工轨迹、网孔板成形力和板料成形的主应变ε_m，建立网孔变形量预测模型；根据网孔变形量预测模型，设计工件初始网孔。

[0007] 进一步地，所述网孔板工件的渐进成形主方向利用STL文件格式中三角面片外法

矢量进行确定。

[0008] 进一步地，所述网孔板工件的加工轨迹的确定包括以下步骤：根据网孔板工件成形主方向，将板材的力学性能以及加工参数生成NC代码，由所述NC代码确定网孔板工件的加工轨迹。

[0009] 进一步地，所述网孔板成形力的确定包括以下步骤：选择相同材质的网孔板，按照网孔板工件的成形主方向和加工轨迹进行渐进成形；由网孔板下方的测力仪测得网孔板料在成形过程中各个位置的成形力P。

[0010] 进一步地，所述板料成形的主应变ε_m由公式(1)计算得到：

[0011] $$\varepsilon_m = \frac{(\mu\cot\theta - \cot^2\theta - 2)P\sin\theta}{(\mu - \cot\theta)ES} \qquad (1)$$

[0012] 其中，μ为板料与工具头表面的摩擦系数，θ为渐进成形角，E为板材的弹性模量，P为成形力，S为工具头与板料接触投影于竖直方向的面积，$S = \pi r_1^2$，r_1为被加工板料的中性层处的接触区域半径，$r_1 = \sqrt{\frac{1}{4}(2r+h)^2 - (r-\Delta h)^2}$，h为板料厚度，Δh为层进给量，r为工具球头半径。

[0013] 进一步地，所述工件初始网孔为椭圆孔，设计所述初始网孔具体包括以下步骤：提取网孔变形量预测模型中ε_m的数据，计算初始网孔短轴b；提取网孔变形量预测模型中的加工轨迹，将初始网孔长轴a的两个端点排布于加工轨迹上。

[0014] 进一步地，所述初始网孔短轴b通过公式(2)计算得到：

[0015] $$b = D/(\varepsilon_m + 1) \qquad (2)$$

[0016] 其中，ε_m为板料成形的主应变，D为目标圆孔直径。

[0017] 由于现有网孔板的设计没有考虑板料在成形后网孔的尺寸变化，本发明弥补了传统网孔设计只从圆形与方形考虑其尺寸，提出了一种高效的网孔尺寸变形工艺补偿方法，采用建立力学模型，提前预测网孔在成形后的应变量，根据应变量设计出初始网孔尺寸。使初始网孔在不同渐进成形角θ成形后最终变成圆孔，从而有利于渐进成形技术在金属网孔板加工中的推广与应用。

附图说明

[0018] 图1为本发明实施例中提供的一种渐进成形中网孔变形工艺补偿的方法示意图；

[0019] 图2为本发明实施例中网孔变形量预测模型原理示意图；

[0020] 图3为本发明实施例中单元体受力示意图；

[0021] 图4为本发明实施例中板料与工具头接触区域加工参数的示意图。

[0022] 其中：1-板料，2-工具头，3-第一端点，4-第二端点，5-加工轨迹，6-目标圆孔。

具体实施方式

[0023] 为了更好的理解本发明的实质，下面结合具体实施例和附图对本发明作进一步的阐述。

[0024] 本发明公开了一种渐进成形中网孔变形工艺补偿的工艺方法，尤其适用于金属网

孔板的网孔设计，具体包括以下步骤：

[0025] 步骤1，建立网孔变形量预测模型。

[0026] 1)确定网孔板工件的渐进成形主方向。

[0027] 利用STL文件格式中三角面片外法矢量，确定网孔板工件的渐进成形主方向。

[0028] 将网孔板工件模型表面离散化为STL格式的三角形面片，以STL文件中各三角面片顶点坐标获得该三角片位置的外法向矢量。以三角面片的外法向矢量与Z轴的正向夹角作为网孔板工件曲面对应位置的渐进成形角。通过矢量旋转调整各位置的渐进成形角θ来选择合适的加工位置，以保证网孔板工件各位置的渐进成形角不超过板材的成形极限角θ_{max}。网孔板工件模型满足上述条件的加工位置即为网孔板工件的渐进成形主方向。如图2所示，网孔板工件的渐进成形主方向为Z轴方向。

[0029] 2)网孔板工件的加工轨迹5的确定。

[0030] 根据网孔板工件的渐进成形主方向，选定板材的各项力学性能以及加工参数，生成NC代码，由该NC代码确定网孔板零件的加工轨迹5，如图1所示。加工参数包括：工具球头半径r，层进给量Δh，板料厚度h，渐进成形角θ，如图4所示。

[0031] 3)网孔成形力的确定包括以下步骤：

[0032] 选择相同材质的网孔板，按照1)中网孔板工件的渐进成形主方向进行摆放，在板料下方放置测力仪。按照2)中的加工轨迹进行渐进成形。由网孔板下方的测力仪测得网孔板料在成形过程中各个位置的成形力P。

[0033] 4)建立网孔变形量预测模型。根据网孔板工件的渐进成形主方向、加工轨迹、网孔成形力、板料成形的主应变ε_m和加工参数，建立网孔变形量预测模型。

[0034] (1)工件渐进成形中局部成形区域的受力可以简化为单元体ΔABC的受力。图2中的θ与图3中的θ均为渐进成形角。

[0035] 如图3所示，令工具头2的竖直进给方向为m方向，模具支撑面法线为f方向，由单元体在m方向的总轴力$\Sigma F_m=0$以及单元体在f方向的总轴力$\Sigma F_f=0$可得：

[0036] $$\Sigma F_m=\sigma_m S_{AC}-(\tau_0\sin\theta)S_{AB}+(\sigma_x\cos\theta)S_{AB}+\mu\sigma_f S_{BC}=0 \quad (1)$$

[0037] $$\Sigma F_f=\sigma_f S_{BC}-(\tau_0\cos\theta)S_{AB}-(\sigma_x\sin\theta)S_{AB}=0 \quad (2)$$

[0038] 其中：σ_m为单元体AC面上沿壁向应力；σ_x为单元体剪切平面AB上的径向应力；σ_f为单元体BC面上的由支撑模具的反压力产生的应力；μ为板料1与工具头2表面的摩擦系数；S_{AC}为AC边对应的板料表面积，S_{AB}为AB边对应的板料表面积，S_{BC}为BC边对应表面的表面积；θ为渐进成形角；τ_0为剪切平面上的剪应力，由公式(3)得到：

[0039] $$\tau_0 S=P\sin\theta \quad (3)$$

[0040] 其中，P为成形力，S为工具头与板料接触投影于竖直方向的面积，$S=\pi r_1^2$，r_1为被加工板料的中性层处的接触区域半径，$r_1=\sqrt{\frac{1}{4}(2r+h)^2-(r-\Delta h)^2}$，h为板料厚度，Δh为层进给量，r为工具球头半径。

[0041] 由塑性变形体积不变原理，可得到：

[0042] $$\varepsilon_m+\varepsilon_y+\varepsilon_f=0 \quad (4)$$

[0043] 其中，ε_m为板料成形的主应变，即图3中的m方向的主应变；ε_y为板料周向应变，即图

2中三维坐标系xyz中y方向的主应变;ε_f为板厚的主应变,即图3中的f方向的主应变。

[0044] 由剪切变形假设可知,渐进成形的在板料成形后不发生周向变形:

[0045] $\varepsilon_y=0$ (5)

[0046] 由应力应变公式$\sigma=E\varepsilon$并且网孔板板材的弹性模量不变可得:

[0047] $\sigma_m+\sigma_f=0$ (6)

[0048] 根据公式(1)至公式(6),可得板料成形的主应变:

[0049] $$\varepsilon_m=\frac{(\mu\cot\theta-\cot^2\theta-2)\,P\sin\theta}{(\mu-\cot\theta)\,ES} \qquad (7)$$

[0050] 其中,E为板材的弹性模量。

[0051] 步骤2:根据网孔变形量预测模型,设计工件初始网孔。

[0052] 1)提取网孔变形量预测模型中ε_m的数据,计算初始网孔短轴b。

[0053] $b=D/(\varepsilon_m+1)$ (8)

[0054] 其中,ε_m为板料成形的主应变,D为目标圆孔6的直径。

[0055] 2)提取网孔变形量预测模型中的加工轨迹,在UG软件中设计待成形工件并生成加工轨迹,使加工轨迹投影在一个片体上,将初始网孔长轴a的两个端点排布于加工轨迹上。

[0056] $a=kD$ (9)

[0057] 其中,k为常数,取值范围0.8-0.9。

[0058] 如图1所示将设计好的椭圆孔排布在步骤1,2)中生成的加工轨迹5上,使初始网孔长轴a的第一端点3和第二端点4排布在加工轨迹5上,以保证短轴b沿m轴方向变形,最终形成目标圆孔6。

[0059] 应当指出,虽然通过上述实施方式对本发明进行了描述,然而本发明还可有其它多种实施方式。在不脱离本发明精神和范围的前提下,熟悉本领域的技术人员显然可以对本发明做出各种相应的改变和变形,但这些改变和变形都应当属于本发明所附权利要求及其等效物所保护的范围。

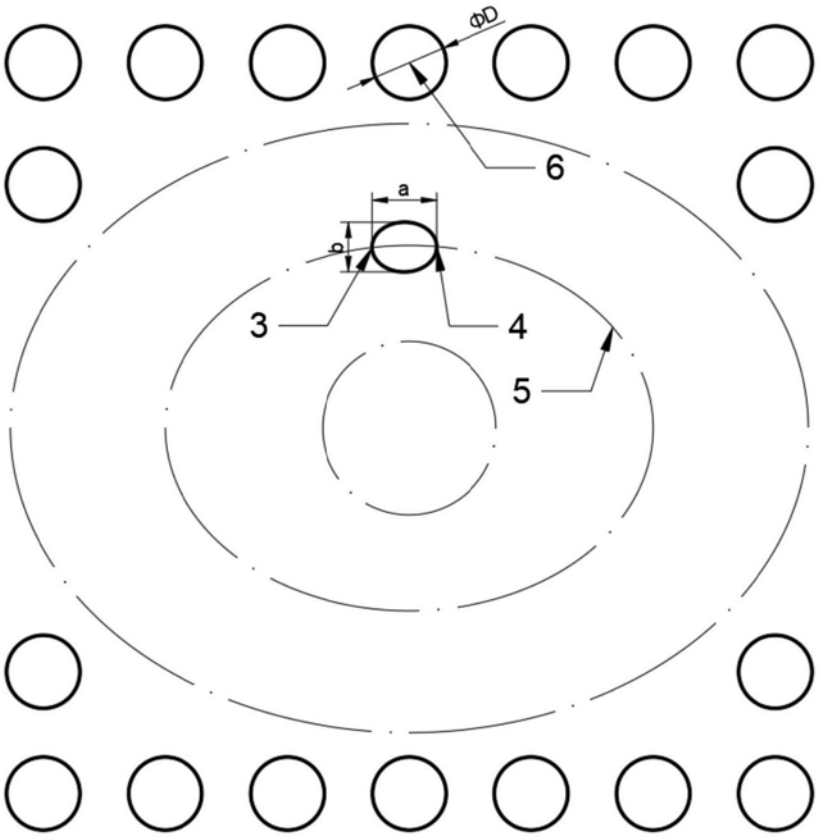


图1

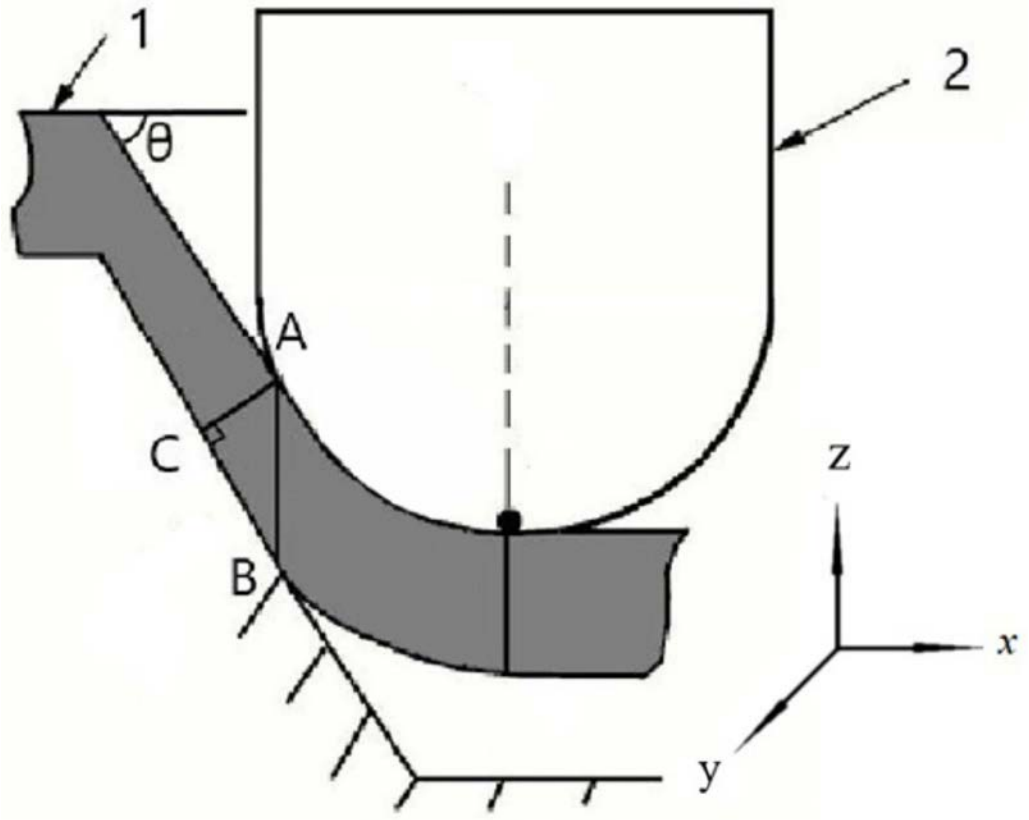


图2

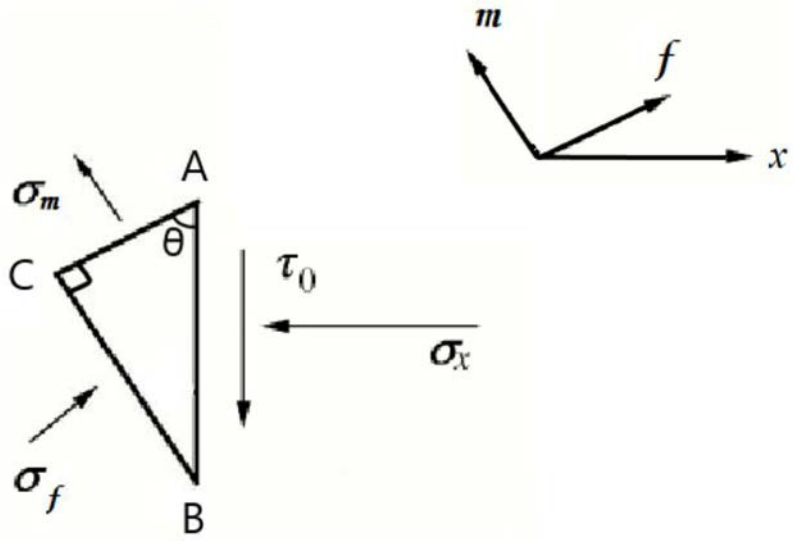


图3

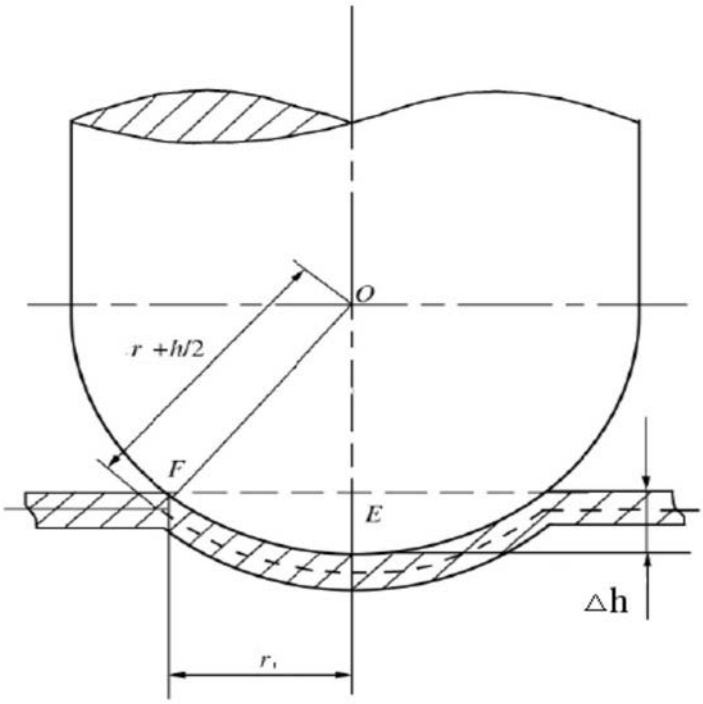


图4