



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105598652 B

(45)授权公告日 2018.01.19

(21)申请号 201610154620.X

B23P 23/04(2006.01)

(22)申请日 2016.03.18

G22F 1/00(2006.01)

G22F 1/18(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105598652 A

(56)对比文件

(43)申请公布日 2016.05.25

CN 102844130 A,2012.12.26,

JP 2007-100729 A,2007.04.19,

(73)专利权人 中国科学院力学研究所

US 2012/0073710 A1,2012.03.29,

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

CN 101532117 A,2009.09.16,

JP 2006-2238 A,2006.01.05,

(72)发明人 高萌 董杰 赵德乾 汪卫华 郇勇

审查员 蒋浩

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl.

B23P 15/00(2006.01)

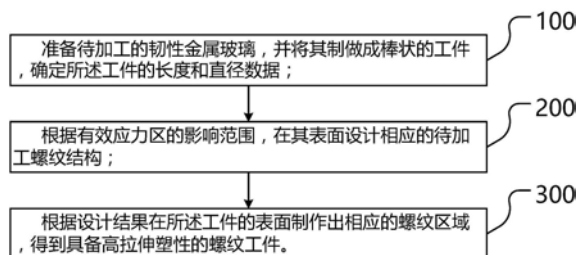
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54)发明名称

一种使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法

(57)摘要

本发明提供了一种使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法,包括如下步骤:步骤100,准备待加工的韧性金属玻璃,并将其制做成棒状的工件,确定所述工件的长度和直径数据;步骤200,根据有效应力区的影响范围,在其表面设计相应的待加工螺纹结构;步骤300,根据设计结果在所述工件的表面制作出相应的螺纹区域,得到具备高拉伸塑性的螺纹工件。本发明利用螺纹结构可以激发韧性金属玻璃在单轴拉伸状态下产生多重剪切带,而且通过表面微螺纹结构的几何阻碍和限制作用能够稳定主剪切带的扩展,引起宏观拉伸塑性变形。



1. 一种使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤100,准备待加工的韧性金属玻璃,并将其制做成棒状的工件,确定所述工件的长度和直径数据;

步骤200,根据有效应力区的影响范围,在其表面设计相应的待加工螺纹结构;

步骤300,根据设计结果在所述工件的表面制作出相应的螺纹区域,得到具备高拉伸塑性的螺纹工件;

所述螺纹区域中,相邻螺纹之间的间隔距离以两道螺纹在水平方向上的有效应力区相互接触为准,螺纹的深度以其在垂直方向上的有效应力区相互接触为准,螺纹的倾斜角度与非螺纹工件本征的拉伸断裂角度对应,以使螺纹区的有效应力区的方向偏离非螺纹工件的本征拉伸断裂角度,螺纹的宽度与螺纹产生的有效应力区大小相对应。

2. 根据权利要求1所述的使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法,其特征在于,

所述工件为采用水冷铜模吸铸方法制造的锆基非晶合金,其化学成分为 $Zr_{64.13}Cu_{15.75}Ni_{10.12}Al_{10}$ 。

3. 根据权利要求1所述的使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法,其特征在于,

所述步骤300中的螺纹区域是采用具备金属刀具的机械车床加工的。

4. 根据权利要求1所述的使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法,其特征在于,

所述步骤300中,还包括对所述工件进行准静态拉伸力学测试的步骤,步骤如下:

步骤301,准备采用同一个方法制造出来的带有螺纹的螺纹工件试样和不带螺纹的非螺纹工件试样;

步骤302,利用材料试验机对所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样分别进行单轴拉伸实验,且准静态加载直至拉断;

步骤303,记录整个试验过程,分别得到所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样的工程拉伸应力-拉伸应变曲线,进而得到两者的拉伸断裂强度和塑性变形应变数据;

步骤304,观察所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样拉断后的断面,对比两者的断裂角和断裂形貌。

5. 根据权利要求4所述的使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法,其特征在于,

所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样包括两端供拉伸设备固定的夹持端,和位于两者之间作为实验体的标距区。

6. 根据权利要求5所述的使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法,其特征在于,

在所述标距区和所述夹持端之间设置有直径过渡的过渡区。

7. 根据权利要求5所述的使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法,其特征在于,

所述螺纹工件试样的标距区中的螺纹区域长度小于所述标距区的长度,所述螺纹区域的两端分别设置有螺纹缓冲段,在所述螺纹缓冲段中设置有由所述螺纹区域两端分别延伸至邻近所述标距区边缘的缓冲螺纹,所述缓冲螺纹的深度由所述螺纹区域至所述标距区逐渐变浅。

8. 根据权利要求5所述的使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法,其特征在于,

所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样的两个夹持端和标距区分别占总长度的三分之一,所述夹持端的直径为所述标距区直径的一倍。

9. 根据权利要求5所述的使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法,其特征在于,

所述螺纹工件试样的螺纹区域的长度占其所述标距区长度的二分之一。

一种使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及材料处理领域,特别是涉及一种通过在韧性金属玻璃表面产生螺纹结构,使韧性金属玻璃表面在单轴拉伸应力状态下激发多重剪切带,从而实现宏观拉伸塑性的方法。

背景技术

[0002] 相对于晶态合金所具有的宏观塑性,块体非晶合金(特征尺寸在毫米量级)的实际应用,受到宏观脆性难题的困扰,特别是在单轴拉伸应力状态下,非晶合金表现出灾难性的脆性断裂。在室温下,非晶合金在外界应力作用下,通常会在主应力面附近激发很多类液态区,这些类液态区在主应力的作用下,会形成一个宽度大约为10纳米的主剪切带。随着剪切变形的进行,剪切带相对摩擦滑移产生的热量会大大降低剪切带的粘度,进而降低了主剪切带的抗应力能力,导致了非晶合金的剪切软化力学行为和随后的灾难性脆性断裂。

[0003] 因此,控制剪切带的产生和快速滑移,是提升非晶合金塑性能力的一个关键因素。在压缩和弯曲的应力状态下,由于应力受到表面结构的约束,非晶合金很容易产生多重剪切带,一方面可以防止主剪切带的快速形成,另一方面,可以吸收很多断裂能,提高抗应力能力。此外,多重剪切带的相互阻碍,限制了主剪切带的快速滑移,也进一步提升非晶合金的塑性变形能力,因此,非晶合金在压缩和弯曲条件下表现出一定的塑性变形能力。但是,单轴拉伸条件下,由于没有外部结构上的约束,非晶合金很容易在主剪切面上形成主剪切带,从而使非晶合金失去力学变形的稳定性,导致脆性断裂。

[0004] 针对上述问题,人们已经提出多种方法激发多重剪切带来提升块体非晶合金的拉伸塑形。2008年Douglas C.Hofmann等人通过引入第二树枝状晶粒,受到外界应力时,在树枝状晶粒附近会产生多重剪切带,进而提升了拉伸塑形。类似的,2010年Y.Wu等人引入具有记忆合金性能的B2晶体相,激发多重剪切带,引起了大的拉伸塑形。但是,这些方法实际上改变了单相的非晶合金,引入的晶体相把单相的非晶合金变成了复合材料。2012-2013年R.T.Qu和Z.F.Zhang相继提出在样品表面引入缺口和表面预制压痕的方式,引入多重剪切带,在一定程度上改善了非晶合金拉伸脆性断裂的难题。但是,这些方法是实验室水平的,很难在工业上进行大面积的应用。2013年美国耶鲁大学的Baran Sarac和Jan Schroers,通过在过冷液相区压制微孔的方法,引入了表面规则排列的微孔矩阵,大大提升了非晶合金的拉伸延展性。但是,在制备微孔过程中的退火脆性难题制约了在实际上的应用。因此,能否采用一种简单且便于工业化的工艺使非晶合金在单轴拉伸应力状态下激发多重剪切带并稳定剪切带的滑移,是块体非晶合金未来在实际应用中所面临的一大挑战。

发明内容

[0005] 本发明的一个目的是要提供一种能够提高韧性金属玻璃拉伸塑性的制备方法。

[0006] 本发明的另一个目的是要提供一种检测通过前述制备方法得到的韧性金属玻璃拉伸塑性的验证方法。

[0007] 特别地,本发明提供一种使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤100,准备待加工的韧性金属玻璃,并将其制做成棒状的工件,确定所述工件的长度和直径数据;

[0009] 步骤200,根据有效应力区的影响范围,在其表面设计相应的待加工螺纹结构;

[0010] 步骤300,根据设计结果在所述工件的表面制作出相应的螺纹区域,得到具备高拉伸塑性的螺纹工件。

[0011] 进一步地,所述工件为采用水冷铜模吸铸方法制造的锆基非晶合金,其化学成分为 $Zr_{64.13}Cu_{15.75}Ni_{10.12}Al_{10}$ 。

[0012] 进一步地,所述步骤300中的螺纹区域是采用具备金属刀具的机械车床加工的。

[0013] 进一步地,所述螺纹区域中,相邻螺纹之间的间隔距离以两道螺纹在水平方向上的有效应力区相互接触为准,螺纹的深度以其在垂直方向上的有效应力区相互接触为准,螺纹的倾斜角度与非螺纹工件本征的拉伸断裂角度对应,以使螺纹区的有效应力区的方向偏离非螺纹工件的本征拉伸断裂角度,螺纹的宽度与螺纹产生的有效应力区大小相对应。

[0014] 进一步地,所述步骤300中,还包括对所述工件进行准静态拉伸力学测试的步骤,步骤如下:

[0015] 步骤301,准备采用同一个方法制造出来的带有螺纹的螺纹工件试样和不带螺纹的非螺纹工件试样;

[0016] 步骤302,利用材料试验机对所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样分别进行单轴拉伸实验,且准静态加载直至拉断;

[0017] 步骤303.记录整个试验过程,分别得到所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样的工程拉伸应力-拉伸应变曲线,进而得到两者的拉伸断裂强度和塑性变形应变数据;

[0018] 步骤304,观察所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样拉断后的断面,对比两者的断裂角和断裂形貌。

[0019] 进一步地,所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样包括两端供拉伸设备固定的夹持端,和位于两者之间作为实验体的标距区。

[0020] 进一步地,在所述标距区和所述夹持端之间设置有直径过渡的过渡区。

[0021] 进一步地,所述螺纹工件试样的标距区中的螺纹区域长度小于所述标距区的长度,所述螺纹区域的两端分别设置有螺纹缓冲段,在所述螺纹缓冲段中设置有由所述螺纹区域两端分别延伸至邻近所述标距区边缘的缓冲螺纹,所述缓冲螺纹的深度由所述螺纹区域至所述标距区逐渐变浅。

[0022] 进一步地,所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样的两个夹持端和标距区分别占总长度的三分之一,所述夹持端的直径为所述标距区直径的一倍。

[0023] 进一步地,所述螺纹工件试样的螺纹区域的长度占其所述标距区长度的二分之一。

[0024] 本发明通过在工件表面车制螺纹结构,可以激发韧性金属玻璃在单轴拉伸状态下产生多重剪切带,而且通过表面微螺纹结构的几何阻碍和限制作用能够稳定主剪切带的扩展,引起宏观拉伸塑性变形。

[0025] 本发明的测试方法中,工件采用便于固定的两端粗中间细的结构,可以使待测试

的工件在受力环境和条件上完全相同,并使两者的工程拉伸应力-拉伸应变曲线能够重合,将采用螺纹工件的区别效果明显表现出来。

附图说明

- [0026] 图1是根据本发明一个实施例的方法流程示意图;
- [0027] 图2是根据本发明一个实施例的螺纹工件中螺纹的结构示意图;
- [0028] 图3是根据本发明一个实施例的对工件进行准静态拉伸力学测试方法的流程示意图;
- [0029] 图4是非螺纹工件试样和螺纹工件试样的拉伸应力-拉伸应变曲线;
- [0030] 图5是图3所示测试方法中采用的螺纹工件结构示意图;
- [0031] 图6是非螺纹工件试样的断裂角示意图;
- [0032] 图7是螺纹工件试样的断裂角示意图;
- [0033] 图8是螺纹工件试样中螺纹凸起部断面上的剪切带示意图;
- [0034] 图9是螺纹工件试样中螺纹沟槽断面上的剪切带示意图;
- [0035] 图10是螺纹工件试和非螺纹工件试样的断面上花纹示意图。

具体实施方式

[0036] 如图1所示,是本发明一个实施例的使韧性金属玻璃产生宏观拉伸塑性的方法的流程示意图,该方法包括如下步骤:

[0037] 步骤100,准备待加工的韧性金属玻璃,并将其制做成棒状的工件,确定所述工件的长度和直径数据;

[0038] 这里的韧性金属玻璃是一类可以进行韧性断裂的金属玻璃体系,具有比较好的塑性变形能力,包括锆基、钛基、铜基、铁基、镍基、钡基、铂基等大部分金属玻璃体系。

[0039] 制成棒状的结构后,容易在工件上均匀设置有效应力区。而工件的长度和直径可以根据实际需要自行调整。本实施例使用的工件为采用水冷铜模吸铸方法制造的锆基非晶合金,其化学成分为 $Zr_{64.13}Cu_{15.75}Ni_{10.12}Al_{10}$ 。

[0040] 步骤200,根据有效应力区的影响范围,在其表面设计相应的待加工螺纹结构。

[0041] 如图2所示,在工件的表面形成一个由螺纹构成的螺纹区域21,每道螺纹都带有具备一定倾斜角度的沟槽212,而沟槽212的深度、弧度、宽度都会影响有效应力区的分布,而有效应力区是否能够完全覆盖整个工件的所有截面,则是提高工件拉伸塑性的关键,因此,需要根据工件的尺寸来设计相应螺纹的形状,以使螺纹区域21中,相邻螺纹之间的螺纹间隔211的距离以相邻两道螺纹在水平方向上的有效应力区相互接触为准,螺纹沟槽212的深度以其在垂直方向上的有效应力区相互接触为准,螺纹倾斜角度213与非螺纹工件本征的拉伸断裂角度对应,以使螺纹区域的有效应力区的方向偏离非螺纹工件的本征拉伸断裂角度,螺纹宽度212与螺纹产生的有效应力区大小相对应。

[0042] 对于韧性金属玻璃来说,所制备的表面螺纹尖端的曲率半径 R ,宽度 W ,深度 d 和螺纹倾斜角度 θ 应满足以下条件:

$$L \leq R \leq 3L, 2L \leq W \leq 4L,$$

$$[0043] \quad 1/2 < d/D \leq 100, \quad , \\ 0 < \theta \leq 90 - \beta,$$

[0044] 其中, $L = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_{IC}}{\sigma_Y} \right)^2$, 是材料本征的裂纹尖端塑性区尺寸, K_{IC} 是材料本征的

断裂韧性, σ_Y 是材料本征的屈服强度, D 是工件的直径, β 是材料本征的断裂角度。

[0045] 步骤300, 根据设计结果在所述工件的表面制作出相应的螺纹区域。

[0046] 本实施例的方法可以激发韧性金属玻璃在单轴拉伸状态下产生多重剪切带, 而且通过表面微螺纹结构的几何阻碍和限制作用能够稳定主剪切带的扩展, 引起宏观拉伸塑性变形。

[0047] 进一步地, 在本发明的一个实施例中, 对工件上进行螺纹加工的可以是具备金属刀具的机械车床。其中金属刀具的材料可以为立方氮化硼材质, 而夹持工件的机械卡具可以为不锈钢合金。

[0048] 采用传统的机械车床加工工件的表面螺纹, 相对于采用激光等辐照能量加工方式, 经过机械加工出来的表面微结构中会残留有加工过程中的残余应力, 这部分残余应力不但不会影响表面螺纹21的效果, 相反会激发更多的微尺度剪切带, 进而起到阻止主剪切带滑移的效果。

[0049] 如图3所示, 在本发明的一个实施例中, 提供一种对工件进行准静态拉伸力学测试的方法, 该方法包括如下步骤:

[0050] 步骤301, 准备采用同一个方法制造出来的带有螺纹的螺纹工件试样和不带螺纹的非螺纹工件试样。

[0051] 这里的同一个方法是指制造两种工件的工艺相同, 如都采用水冷铜模吸铸方法。两种工件的形状和尺寸也相同, 区别仅在于表面是否有螺纹。

[0052] 步骤302, 利用材料试验机对所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样分别进行单轴拉伸实验, 且准静态加载直至拉断。

[0053] 具体的过程是将相应的工件试样固定在材料试验机上, 进行单轴拉伸试验, 对工件进行准静态拉力加载, 拉伸应变率可以为 $1 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 直至将相应的工件拉断。

[0054] 步骤303. 记录整个试验过程, 分别得到所述螺纹工件试样和所述非螺纹工件试样的工程拉伸应力-拉伸应变曲线, 进而得到两者的拉伸断裂强度和塑性变形应变数据。

[0055] 如图4所示, 试验过程可以用视频引伸计对相应的标距区的拉伸应变进行测量, 来得到两个试样的工程拉伸应力-拉伸应变曲线。而由两者的拉伸应力-拉伸应变曲线即可以得到相应试样的拉伸断裂强度和塑性变形应变能力。具体的塑性变形应变计算方式为: 对拉伸应力-拉伸应变曲线线性段进行线性拟合, 用所得斜率作直线贯穿整图, 真实拉伸应力-拉伸应变曲线上偏离直线的段即为塑性变形段, 其对应的应变即为塑性应变能力。

[0056] 相对非螺纹工件试样, 螺纹工件试样的拉伸强度为1506MPa, 稍微下降6.7%, 但是, 拉伸塑性变形由原来的几乎为0, 增加到0.96%。而且, 由图中的放大部分可以看到螺纹工件试样中有应力应变的锯齿状流变现象出现。这些结果说明拉伸断裂机理已经由单个的主剪切带快速滑移转变为多重剪切带同时激发共同协调拉伸塑性变形。

[0057] 步骤4, 观察所述螺纹工件和所述非螺纹工件拉断后的断面, 对比两者的断裂角和

断裂形貌。

[0058] 如图6、7所示,用扫描电镜(SEM)观测螺纹工件试样和非螺纹工件试样的表面和断面形貌。可以看到,图6所示的非螺纹工件试样断面中,断裂角是53度,而图7所示的螺纹工件试样断面中,断裂角增加到66.1度,这说明表面螺纹结构已经改变了工件主剪切面的方向。而且,如图8、9所示,对于表面螺纹结构,螺纹凸起部和螺纹沟槽都有很密集的剪切带出现,说明在拉伸变形过程中有大量密集的剪切带产生了,这对于上面发现的宏观拉伸塑形的出现起着重要作用。此外,由图10可以看出,非螺纹工件试样和螺纹工件试样的断裂形貌均是放射状花纹和河流状花纹的复合形貌,表明了工件的拉伸塑性变形是依赖于剪切带的不均性塑性变形。

[0059] 本发明的测试方法中,工件采用便于固定的两端粗中间细的结构,可以使待测试的工件在受力环境和条件上完全相同,并使两者的工程拉伸应力-拉伸应变曲线能够重合,将采用螺纹工件的区别效果明显表现出来。

[0060] 进一步地,在本发明的一个实施例中,为方便测试工件,该螺纹工件试样和非螺纹工件试样可以包括两端供拉伸设备固定的夹持端10,和位于两者之间作为实验体的标距区20。标距区20为测试区,其中为方便拉断标距区20,标距区20的直径可以设置细一些,而夹持端10为了固定方便,其直径可以设置粗一些,两者的比例可以是1:2~3。夹持端10和标距区20的长度比可以是1:1。

[0061] 此外,为避免在拉伸试验时,夹持端10和标距区20因为直径不一出现意外,可以在标距区20和夹持端10之间设置直径过渡的过渡区23。该过渡区23的形状是一个直径逐渐扩大的弧形段,其长度可以为夹持端10或标距区20长度的1/5左右。其直径最小的端头与标距区20连接,而直径最大的端头与夹持端10连接。图5示出了,螺纹工件试样和非螺纹工件试样的基本形状,相对非螺纹工件试样,螺纹工件试样仅是在表面车制了相应的螺纹。

[0062] 如图5所示,进一步地,为了防止螺纹区域21边界处的应力集中,在本发明的一个实施例中,为更好的测试螺纹工件试样,该螺纹工件试样的标距区20中的螺纹区域21长度可以小于标距区20的长度,该螺纹区域21的长度可以是标距区20长度的二分之一左右。同时在螺纹区域21的两端分别设置螺纹缓冲区,该螺纹缓冲区中设置有由螺纹区域21两端分别延伸至邻近标距区边缘的缓冲螺纹22,缓冲螺纹22的深度由螺纹区域21至标距区边缘逐渐变浅。在本实施例中,该缓冲螺纹22的形状可以与标距区20中螺纹区域21的形状不同。

[0063] 以下以一个具体实施例描述本发明的测试过程。

[0064] 工件采用锆基非晶合金,其化学成分为 $Zr_{64.13}Cu_{15.75}Ni_{10.12}Al_{10}$,采用水冷铜模吸铸的方法制备出直径为3mm,长为80mm的棒状样品。

[0065] 利用电火花线切割的方法将工件加工成螺纹工件试样和非螺纹工件试样。

[0066] 螺纹工件试样和非螺纹工件试样的尺寸为:长36mm,直径3mm,两端夹持端10的长度分别为11mm,中间的标距区20长度为10mm,直径为1.5mm,夹持端10与标距区20的过渡区23横向长度为2mm。

[0067] 螺纹工件试样的表面螺纹区域21长度为5mm,螺纹微结构的设计尺寸为:螺纹深度 $36\mu m$,宽度 $72\mu m$,螺纹间距 $82.5\mu m$,螺纹的倾斜度为7.5度,螺纹缓冲区的长度大约为一个螺纹跨度,即 $72\mu m$ 。

[0068] 螺纹工件试样和非螺纹工件试样测试后,相应参数如下表所示。

[0069]

试样	结构	拉伸断裂强度 (MPa)	拉伸塑形 变形-应变(%)	断裂角(°)
非螺纹工件试样	非晶态	1614	0	53
螺纹工件试样	非晶态	1506	0.96	66.1

[0070] 至此,本领域技术人员应认识到,虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例,但是,在不脱离本发明精神和范围的情况下,仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

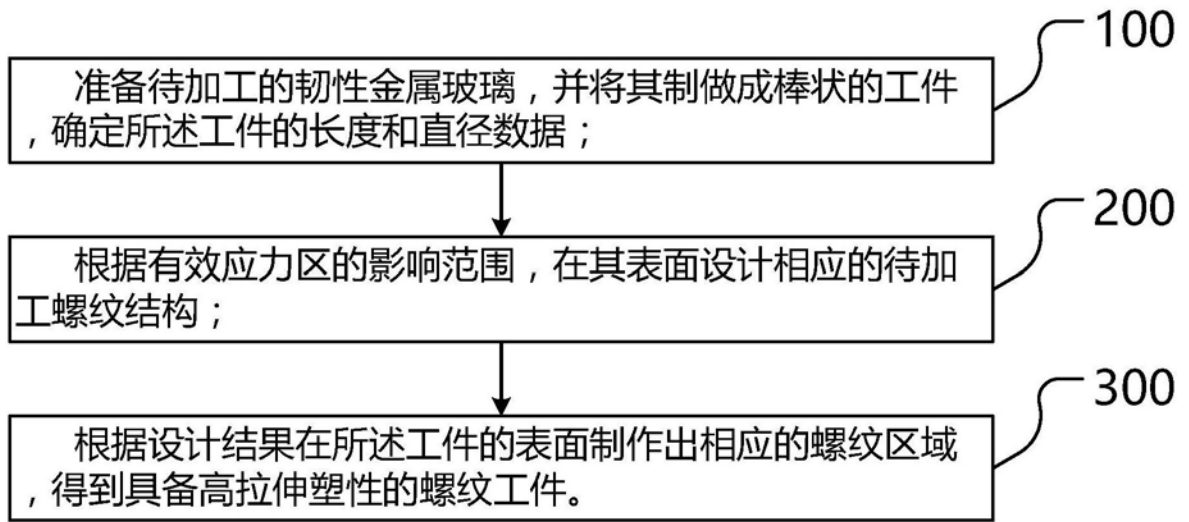


图1

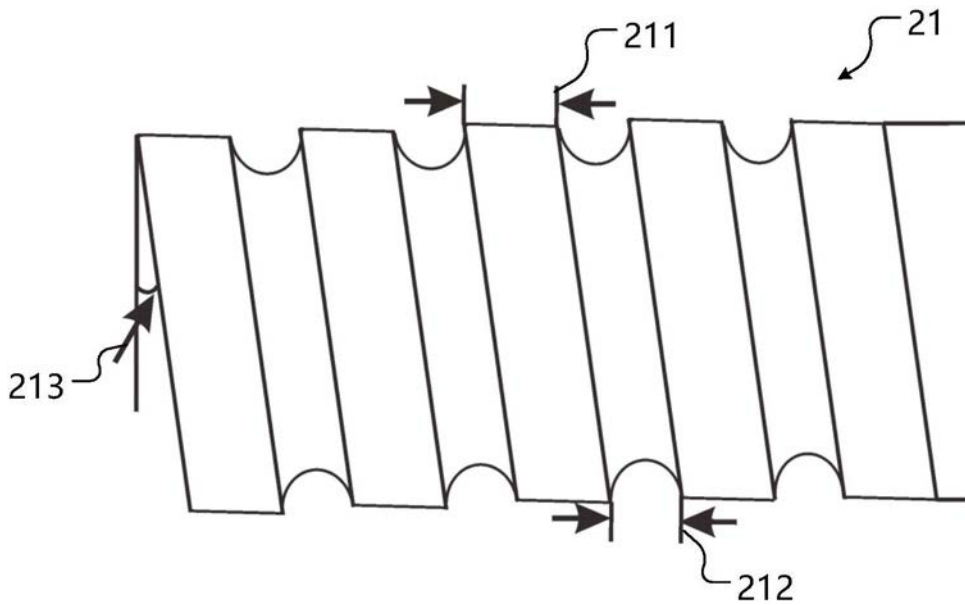


图2

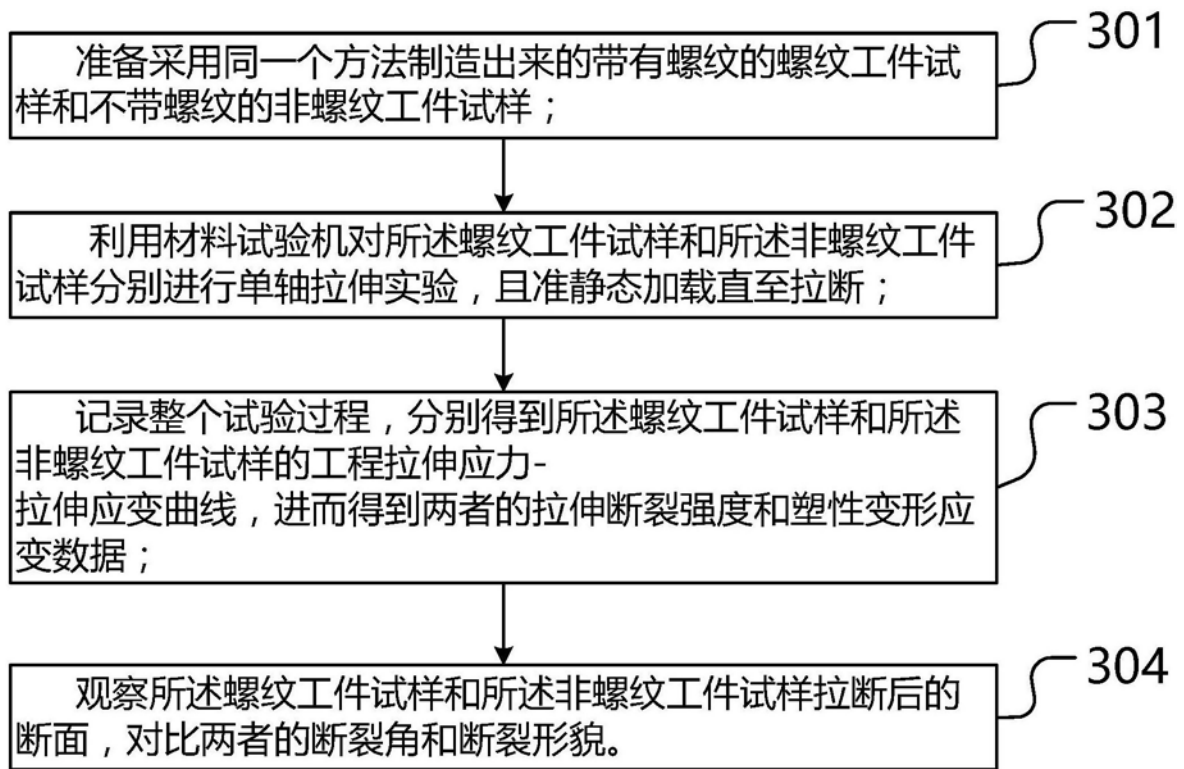


图3

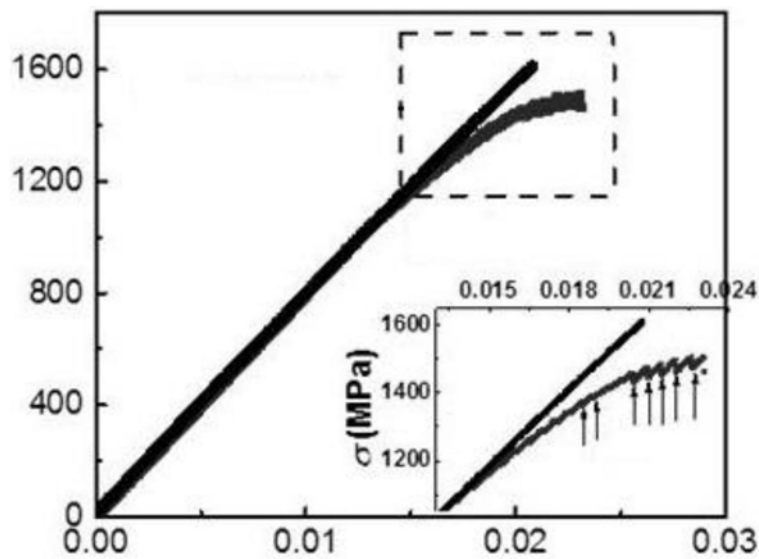


图4

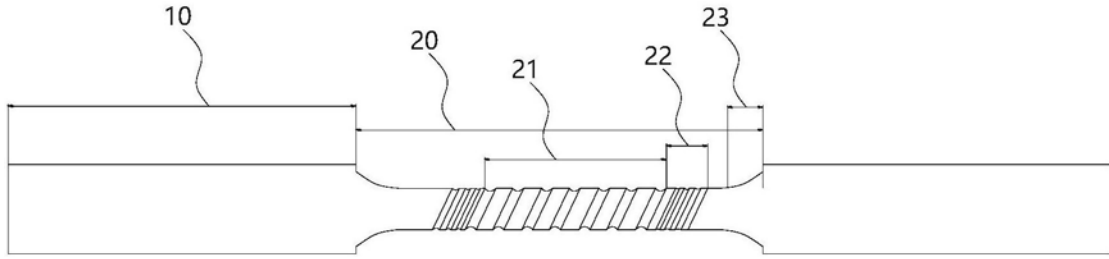
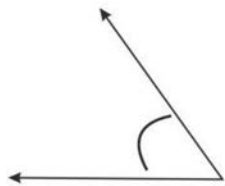
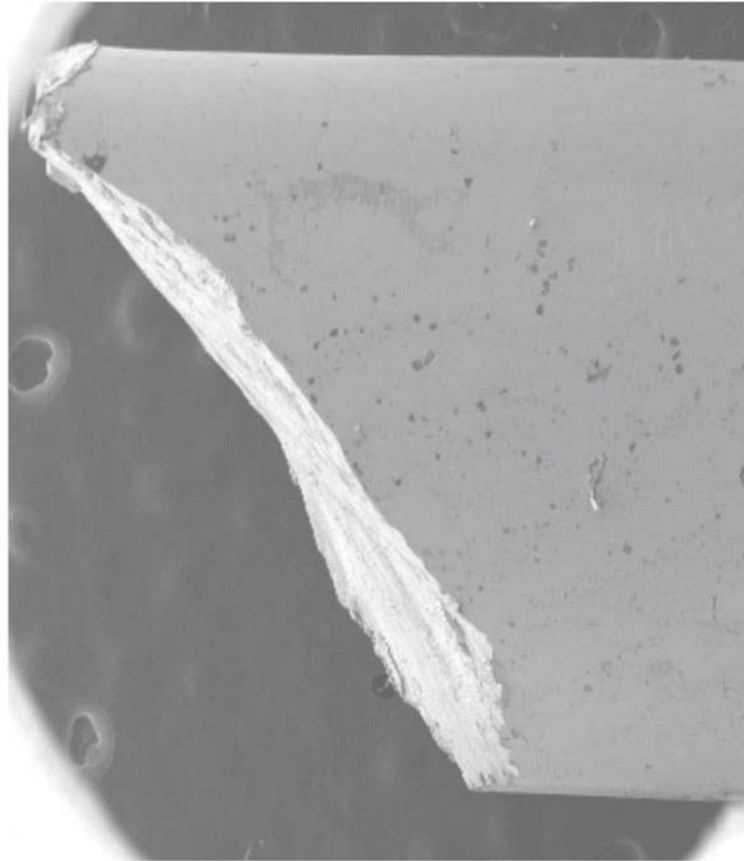
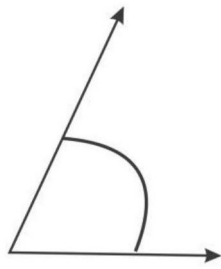
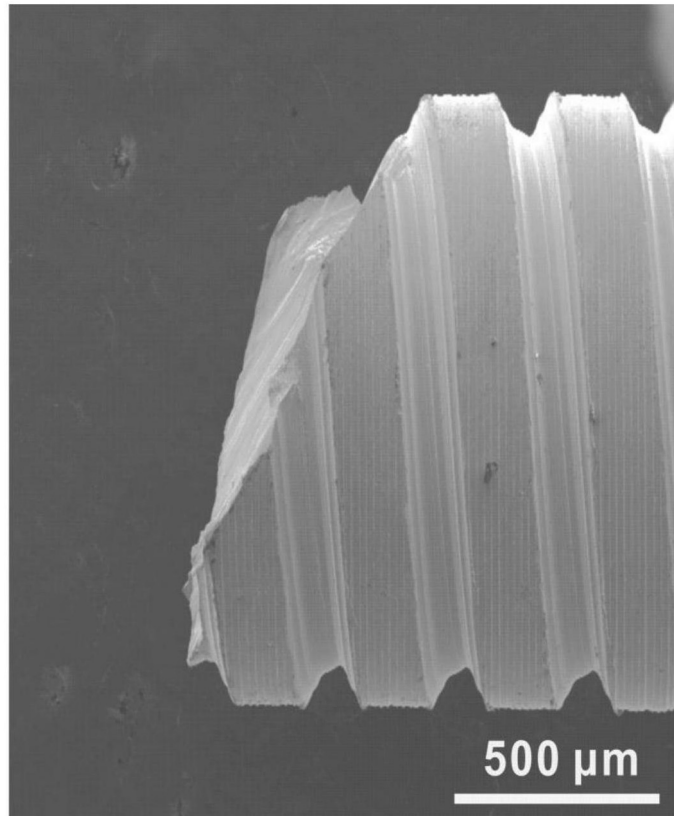


图5



$$\theta = 53^\circ$$

图6



断裂角=66.1°

图7

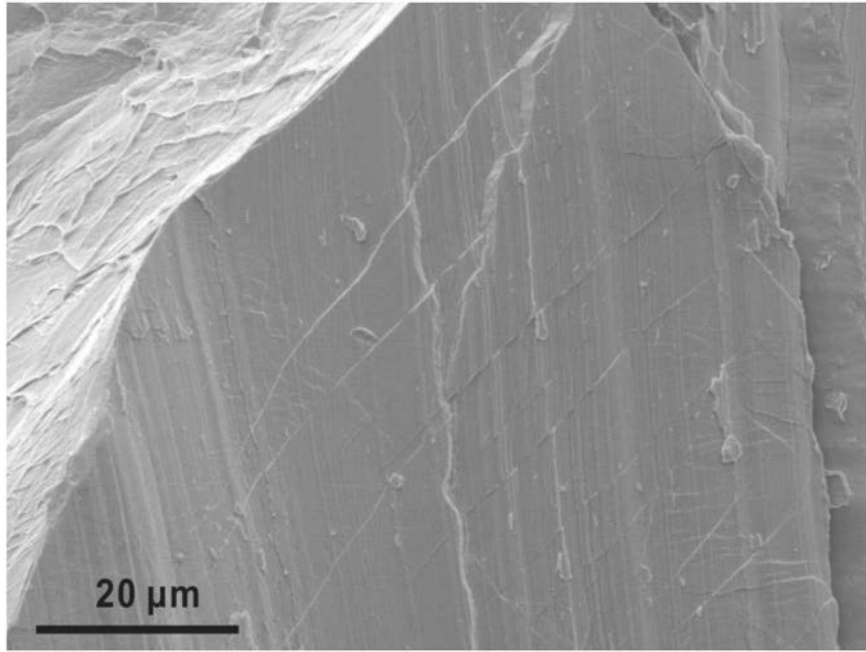


图8

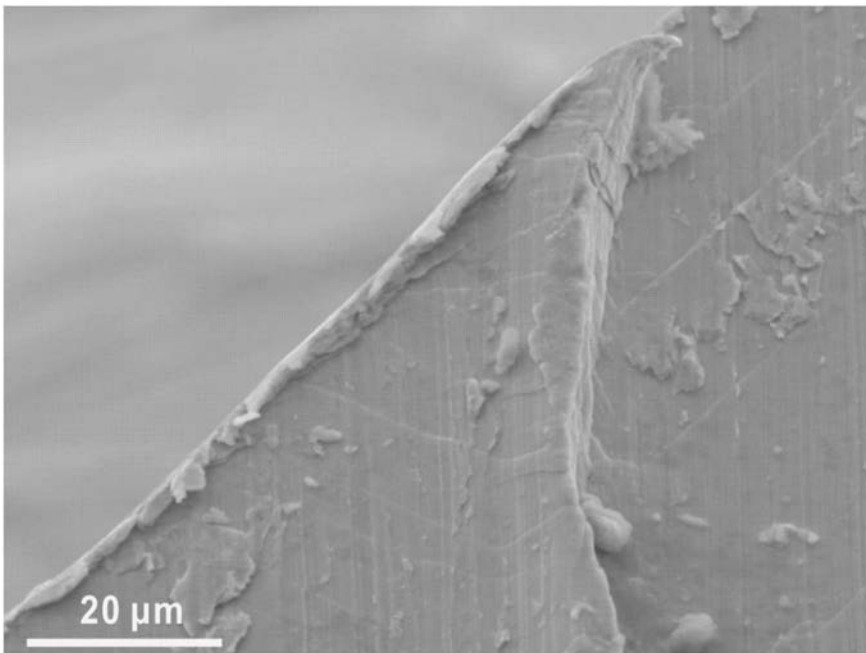


图9

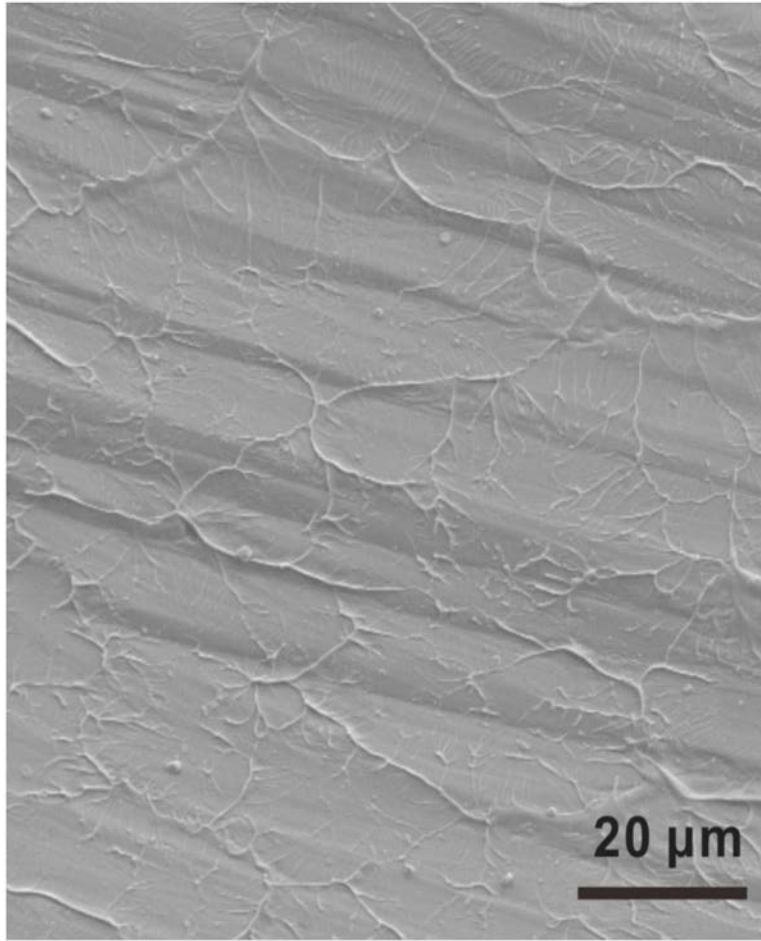


图10