



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110605403 B

(45) 授权公告日 2021.06.04

(21) 申请号 201910715729.X

(22) 申请日 2019.08.05

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110605403 A

(43) 申请公布日 2019.12.24

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院
地址 518057 广东省深圳市南山区高新园
南区粤兴一道18号香港理工大学产学
研大楼205室

(72) 发明人 杨许生 付辉 伍博 袁书情
孙婉婷

(74) 专利代理机构 深圳中一专利商标事务所
44237
代理人 曹小翠

(51) Int. Cl.

B23B 5/00 (2006.01)

B23P 13/00 (2006.01)

C21D 6/04 (2006.01)

C21D 10/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108913854 A, 2018.11.30

CN 108913854 A, 2018.11.30

CN 1962895 A, 2007.05.16

CN 87102713 A, 1988.04.06

CN 103831588 A, 2014.06.04

CN 102643966 A, 2012.08.22

CN 105369024 A, 2016.03.02

CN 110066912 A, 2019.07.30

EP 3281740 A1, 2018.02.14

审查员 杜曙威

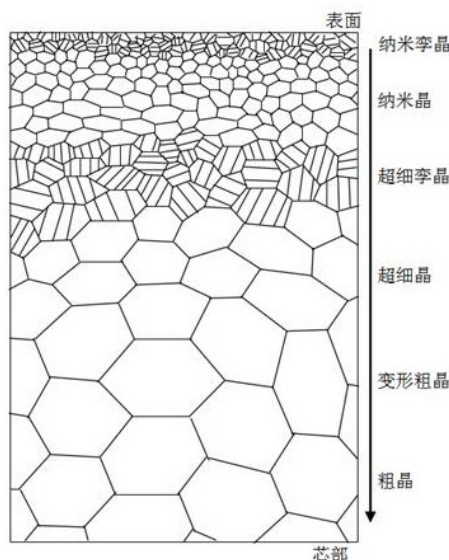
权利要求书2页 说明书11页 附图7页

(54) 发明名称

一种超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,包括如下步骤:提供待处理的圆柱形金属材料工件,将所述圆柱形金属材料工件进行预处理后,使预处理后的圆柱形金属材料工件以所述圆柱形的上下两个底面的圆心连接的直线为轴进行旋转;在液氮环境下,采用金刚石刀具对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面进行车削加工处理,且所述车削加工处理的过程中,所述金刚石刀具的刀尖线平行于所述圆柱形金属材料工件的外表面、并对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面沿轴向做往返运动,得到所述梯度纳米结构金属材料;其中,所述梯度纳米结构金属材料的梯度纳米结构组织的深度为200~8000 μm,且所述梯度纳米结构组织由表面至芯部依次为纳米孪晶、纳米晶、超细孪晶、超细晶、变形粗晶和初始粗晶。



CN 110605403 B

1. 一种超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,其特征在于,包括如下步骤:

提供待处理的圆柱形金属材料工件,将所述圆柱形金属材料工件进行预处理后,使预处理后的圆柱形金属材料工件以所述圆柱形金属材料工件的上下两个底面的圆心连接的直线为轴进行旋转;

在液氮环境下,采用金刚石刀具对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面进行车削加工处理,金刚石车削属于超精密加工,且所述车削加工处理的过程中,所述金刚石刀具的刀尖线平行于所述圆柱形金属材料工件的外表面、并对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面沿轴向做往返运动,得到所述梯度纳米结构金属材料,所述车削加工处理中,金刚石刀具的加工路径呈螺旋状,且金刚石刀具的轴向速度为5~10 mm/min;

其中,所述梯度纳米结构金属材料的梯度纳米结构组织的深度为200~8000 μm ,且所述梯度纳米结构组织由表面至芯部依次为纳米孪晶、纳米晶、超细孪晶、超细晶、变形粗晶和初始粗晶;其中,所述纳米孪晶的厚度为10~200 μm ,所述纳米晶的厚度为20~1000 μm ,所述超细孪晶的厚度为40~1800 μm ,所述超细晶的厚度为50~2000 μm ,所述变形粗晶的厚度为80~3000 μm 。

2. 根据权利要求1所述的超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,其特征在于,所述圆柱形金属材料工件选自铜合金、镁合金、铝合金、钛合金、不锈钢和中高熵合金的任意一种。

3. 根据权利要求1所述的超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,其特征在于,所述圆柱形金属材料工件的直径为3~40 mm,长度为10~100 mm。

4. 根据权利要求1-3任一所述的超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,其特征在于,所述圆柱形金属材料工件的旋转速度为500~3000 rpm。

5. 根据权利要求1-3任一所述的超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,其特征在于,所述金刚石刀具选自锐角金刚石刀具或钝角金刚石刀具;其中,所述锐角金刚石刀具的刀头夹角 θ 为 $10^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$,所述钝角金刚石刀具的刀头夹角 ϕ 为 $100^\circ \leq \phi \leq 170^\circ$ 。

6. 根据权利要求5所述的超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,其特征在于,采用金刚石刀具对所述旋转的圆柱形金属材料工件的表面进行车削加工的步骤中,所述金刚石刀具为锐角金刚石刀具,且所述锐角金刚石刀具的前刀面与所述圆柱形金属材料工件表面的法线之间的夹角 α 为 $-45^\circ \leq \alpha \leq 0^\circ$;或,

采用金刚石刀具对所述旋转的圆柱形金属材料工件的表面进行车削加工的步骤中,所述金刚石刀具为钝角金刚石刀具,且所述钝角金刚石刀具的前刀面与所述圆柱形金属材料工件表面的法线夹角 β 为 $0^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ 。

7. 根据权利要求1-3任一所述的超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,其特征在于,所述金刚石刀具对所述旋转的圆柱形金属材料工件的表面沿轴向做往返运动步骤中,所述往返运动的次数为10~60次。

8. 根据权利要求1-3任一所述的超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,其特征在于,采用金刚石刀具对所述旋转的圆柱形金属材料工件的表面进行车削加工的步骤中,所述金刚石刀具的长度为8~90 mm;所述金刚石刀具的刀尖进入金属材料工件的加工

深度为5~100 μm 。

9. 一种根据权利要求1~8任一所述的超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法制备的具有梯度纳米结构的金属材料工件,其特征在于,所述金属材料工件表面的粗糙度为5~10 nm;所述金属材料工件的梯度纳米结构组织的深度为200~8000 μm ,所述梯度纳米结构组织由表面至芯部依次为纳米孪晶、纳米晶、超细孪晶、超细晶、变形粗晶和初始粗晶;其中,所述纳米孪晶的厚度为10~200 μm ,所述纳米晶的厚度为20~1000 μm ,所述超细孪晶的厚度为40~1800 μm ,所述超细晶的厚度为50~2000 μm ,所述变形粗晶的厚度为80~3000 μm 。

一种超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及金属加工技术领域,尤其涉及一种超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法。

背景技术

[0002] 金属材料是理想的结构材料,在交通运输、航空航天、国防装备和民用工业等领域具有广泛的应用。现代工业的发展对金属材料综合力学性能的要求不断提高。金属材料的强化是材料领域科学家们的长期核心研究方向之一,也是促进国民经济和社会发展中迫切需要解决的关键科技问题之一。近年来常用的一个金属材料强化的方法是将金属材料的内部结构单元(例如晶粒尺寸)细化至纳米尺度($<100\text{ nm}$),形成纳米结构材料(Nanostructured Materials)。依据Hall-Petch 关系,晶粒尺度越小,材料的强度和硬度则越高。不同于普通粗晶材料,纳米结构金属含有大量晶界、相界面或其他界面,能够有效地阻碍位错的增殖与运动。因此,伴随着强度提升,纳米结构金属的塑性和韧性往往会明显下降。这种强度-塑性/韧性的倒置关系已成为制约纳米金属材料科学发展的主要瓶颈,极大限制纳米金属材料的设计、制备、成型过程和在更高水平和更广范围的实际应用。因此,如何制备高强度且塑性性能优异的金属材料成为现今工业界亟待解决的问题,也是材料科学领域一直以来的研究热点。

[0003] 近年来发现,通过改变金属材料内部微观结构的组成、大小和分布,构筑梯度纳米结构(Gradient Nanostructure)可以有效克服纳米结构金属材料的塑性缺点,同时发挥其强度优势。梯度纳米结构金属材料中的结构单元(例如晶粒尺寸、孪晶或层片厚度)大小在空间上呈梯度变化,从纳米尺度连续增加到宏观尺度。这种连续增加能有效避免结构尺度突变,使纳米和宏观尺度两者相互协调,同步表现出各自对应的作用机制,可以有效的抑制金属在塑性变形过程中早期的变形局域化,并可以缓解内部的应力集中进而阻碍裂纹的发生,从而实现更优的强度-塑性配比。

[0004] 目前,在金属材料中获得梯度纳米结构组织的方法主要分为两类:(1)从下而上(Bottom-up)的制备方法。这类制备方法的原理是通过控制原子间的结合来控制微观组织的形成,从而得到梯度结构组织,这类制备方法主要是指电沉积技术。然而从下而上加工方法在工业化过程中存在严重的弊端,一方面,梯度组织的厚度较小(小于 $100\mu\text{m}$),在实际应用中很难对合金的综合力学性能起到明显的提升作用。另一方面,在控制原子间结合的过程中,该制备方法容易引入杂质,这会降低金属材料的强度。(2)自上而下(Top-down)的制备方法。这类制备方法的原理是在金属材料的表面进行大塑性变形,将表面的粗晶组织细化成纳米晶组织,从而形成由表及里尺寸单元由小到大变化的梯度纳米结构。这类制备方法主要包括表面机械研磨处理和表面机械碾压处理。这类制备方法相比于从下而上的制备方法,具有加工金属材料尺寸大,梯度组织厚度深的优点。同时,该类型制备方法是由材料自身纳米化而成,无外来杂质引入,材料的洁净度高。但是这类自上而下的制备方法在工业化应用中也存在一些弊端,例如处理效率较低,成本较高,处理过程中存在噪音,处理后的

材料表面粗糙度高等,从而影响材料的综合性能。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,旨在解决现有技术中制备得到的金属材料的梯度纳米结构组织结构跨度不够大、无法同时提高金属材料的强度和塑性的问题。

[0006] 为实现上述发明目的,本发明采用的技术方案如下:

[0007] 一种超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,包括如下步骤:

[0008] 提供待处理的圆柱形金属材料工件,将所述圆柱形金属材料工件进行预处理后,使预处理后的圆柱形金属材料工件以所述圆柱形金属材料工件的上下两个底面的圆心连接的直线为轴进行旋转;

[0009] 在液氮环境下,采用金刚石刀具对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面进行车削加工处理,且所述车削加工处理的过程中,所述金刚石刀具的刀尖线平行于所述圆柱形金属材料工件的外表面、并对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面沿轴向做往返运动,得到所述梯度纳米结构金属材料;

[0010] 其中,所述梯度纳米结构金属材料的梯度纳米结构组织的深度为200~8000 μm ,且所述梯度纳米结构组织由表面至芯部依次为纳米孪晶、纳米晶、超细孪晶、超细晶、变形粗晶和初始粗晶。

[0011] 以及,一种具有梯度纳米结构的金属材料工件,所述金属材料工件表面的粗糙度为5~10 nm;所述金属材料工件的梯度纳米结构组织的深度为200~8000 μm ,所述梯度纳米结构组织由表面至芯部依次为纳米孪晶、纳米晶、超细孪晶、超细晶、变形粗晶和初始粗晶;其中,所述纳米孪晶的厚度为10~200 μm ,所述纳米晶的厚度为20~1000 μm ,所述超细孪晶的厚度为40~1800 μm ,所述超细晶的厚度为50~2000 μm ,所述变形粗晶的厚度为80~3000 μm 。

[0012] 与现有技术相比,本发明采用金刚石车削对圆柱形金属材料工件进行处理,金刚石车削属于超精密加工,金刚石车削加工能够提供更高的应变速率和应变,在液氮环境下,使温度急速冷却,有利于圆柱形金属材料工件进行金刚石车削加工处理时形成梯度纳米结构组织。具体的,通过金刚石刀具对圆柱形金属材料工件进行车削加工处理,一方面,可以在圆柱形金属材料工件表面产生大尺度的梯度纳米结构组织,使加工表面的纳米梯度组织结构的厚度明显提升,达到200~8000 μm ;另一发面,所形成的梯度纳米结构组织由表面至芯部依次为纳米孪晶、纳米晶、超细孪晶、超细晶、变形粗晶和初始粗晶,在所述提地纳米结构组织中引入了纳米孪晶组织结构,该纳米孪晶组织结构是由纳米晶组织演化而来,具有更高的力学性能,从而提高了整个梯度组织的力学性能,同时提高了金属材料的强度和塑性,增强材料的综合性能,打破金属材料强度-塑性倒置关系,该方法操作简单,安全性高,成品率高,适合规模化生产。

[0013] 本发明提供的所述具有梯度纳米结构的金属材料,所述金属材料表面的粗糙度为5~10 nm,所述金属材料表面为超精密表面,表面粗糙度为纳米级别,无需二次加工可以直接使用。所述金属材料具有大尺度的梯度纳米结构组织,同时其结构组织丰富,使金属材料的强度和塑形同时提高,增强材料的综合性能,打破金属材料强度-塑性倒置关系。

附图说明

[0014] 图1是本发明实施例提供的金属材料表面经过超精密单点金刚石车削形成的梯度纳米结构示意图。

[0015] 图2是本发明实施例提供的超精密单点金刚石对金属材料表面进行车削处理的装配加工示意图。

[0016] 图3是本发明实施例提供的锐角单点金刚石刀具加工样品表面示意图。

[0017] 图4是本发明实施例提供的钝角单点金刚石刀具加工样品表面示意图。

[0018] 图5为本发明实施例1中经过超精密单点金刚石车削处理后的铜合金表面组织的白光干涉图。

[0019] 图6为本发明实施例1中经过超精密单点金刚石车削处理后的铜合金离加工表面20 μm 的微观组织透射电子显微镜表征图。

[0020] 图7为本发明实施例2中经过超精密单点金刚石车削处理后的镁合金离加工表面300 μm 的微观组织透射电子显微镜表征图。

[0021] 图8为本发明实施例3经过超精密单点金刚石车削处理后的铝合金离加工表面150 μm 的微观组织透射电子显微镜表征图。

[0022] 图9为本发明实施例4经过超精密单点金刚石车削处理后的钛合金离加工表面50 μm 的微观组织透射电子显微镜表征图。

[0023] 图10为本发明实施例5经过超精密单点金刚石车削处理后的304不锈钢离加工表面100 μm 的微观组织透射电子显微镜表征图。

[0024] 图11为本发明实施例6经过超精密单点金刚石车削处理后的高熵合金离加工表面400 μm 的微观组织透射电子显微镜表征图。

[0025] 其中,图中各附图标记:

[0026] 1—飞轮;2—工件;3—刀具;4—液氮进气管道。

具体实施方式

[0027] 为使本发明实施例的目的、技术方案和技术效果更加清楚,下面将对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。结合本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0028] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本发明的描述中,“多个”的含义是两个或两个以上,除非另有明确具体的限定。

[0029] 本发明实例提供一种具有梯度纳米结构的金属材料,所述金属材料表面的粗糙度为5~10 nm;所述金属材料的梯度纳米结构组织的深度为200~8000 μm ,如图1所示,所述梯度纳米结构组织由表面至芯部依次为纳米孪晶、纳米晶、超细孪晶、超细晶、变形粗晶和初始粗晶;其中,所述纳米孪晶的厚度为10~200 μm ,所述纳米晶的厚度为20~1000 μm ,所述超细孪晶的厚度为40~1800 μm ,所述超细晶的厚度为50~2000 μm ,所述变形粗晶的厚度为80~3000 μm 。

[0030] 所述金属材料表面的粗糙度为5~10 nm,所述金属材料表面为超精密表面,表面粗糙度为纳米级别,无需二次加工可以直接使用。所述金属材料具有大尺度的梯度纳米结构组织,同时其结构组织丰富,使金属材料的强度和塑形同时提高,增强材料的综合性能,打破金属材料强度-塑性倒置关系。

[0031] 本发明实施例所述具有梯度纳米结构的金属材料可以通过下述方法加工处理获得。

[0032] 相应的,本发明实例提供一种超精密加工技术制备梯度纳米结构金属材料的方法,包括如下步骤:

[0033] S01. 提供待处理的圆柱形金属材料工件,将所述圆柱形金属材料工件进行预处理后,使预处理后的圆柱形金属材料工件以所述圆柱形金属材料工件的上下两个底面的圆心连接的直线为轴进行旋转;

[0034] S02. 在液氮环境下,采用金刚石刀具对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面进行车削加工处理,且所述车削加工处理的过程中,所述金刚石刀具的刀尖线平行于所述圆柱形金属材料工件的外表面、并对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面沿轴向做往返运动,得到所述梯度纳米结构金属材料;

[0035] 其中,所述梯度纳米结构金属材料的梯度纳米结构组织的深度为200~8000 μm ,且所述梯度纳米结构组织由表面至芯部依次为纳米孪晶、纳米晶、超细孪晶、超细晶、变形粗晶和初始粗晶。

[0036] 具体的,在上述步骤S01中,提供待处理的圆柱形金属材料工件,基于本加工工艺主要是利用切割的方法对材料的侧表面进行加工,圆柱形工件旋转加工时侧面受力比较均匀,此时的组织沿加工深度方向呈梯度分布。如不是圆柱形工件,加工侧面是材料受力不均,不能形成该梯度组织。

[0037] 优选的,所述圆柱形金属材料工件选自铜合金、镁合金、铝合金、钛合金、不锈钢和中高熵合金的任意一种,其中,中熵合金是由3种等量金属合成的合金材料,高熵合金是由五种或五种以上等量或大约等量金属形成的合金。在本发明具体实施例中,所述铜合金材料为锌质量百分含量为20%的黄铜;所述镁合金为铝质量百分含量为9%、锌质量百分含量为1%的镁;所述铝合金为锂质量百分含量为1.5%,铜质量百分含量为2%的铝;钛合金为铝质量百分含量为6%,钒质量百分含量为4%的钛;不锈钢为304不锈钢,为铬质量百分含量为18%、镍质量百分含量为8%、锰质量百分含量为1.65%、铈质量百分含量为0.42%、钼质量百分含量为0.012%、碳质量百分含量为0.049%的铁;高熵合金为质量百分等量的钴、铬、铁、镍、锰的组合。

[0038] 进一步优选的,所述圆柱形金属材料工件的直径为3~40 mm,长度为10~100 mm。在本发明具体实施例中,所选的圆柱形金属材料工件的直径可为5mm、10mm、16mm、20mm、40mm;所选圆柱形金属材料工件的长度可为10mm、15mm、24mm、50mm、60mm、100mm。

[0039] 具体的,将所述圆柱形金属材料工件进行预处理,去除圆柱形金属材料工件表面氧化皮、较尖锐的突出结构等杂质,方便后续加工处理。优选的,所述前处理的方法如下:将所述圆柱形金属材料工件采用砂纸进行打磨,再将经打磨的圆柱形金属材料工件置于有机溶液中进行超声清洗。采用砂纸对圆柱形金属材料工件进行打磨处理的目的主要是将金属材料工件表面的氧化皮进行打磨,使金属材料工件无杂质。进一步优选的,选用1000目砂纸

进行打磨,1000目砂纸进行打磨粗糙度适中,打磨得到的金属材料工件可继续进行后续加工,若目数较小,则粗糙度太大,打磨得到的金属材料工件过于粗糙,不利于后续加工;若目数太大,则打磨过程费时费力。

[0040] 将打磨后的金属材料工件再在有机溶液中进行超声清洗,可以将金属材料工件表面的油污、微颗粒进行清洗,保证金属材料工件整洁、干净。进一步优选的,所述有机溶液可选择酒精进行清洗,酒精在清洗过程中不会带入其他杂质,同时挥发速度快,不会残留于金属材料工件表面。

[0041] 具体的,使预处理后的圆柱形金属材料工件以所述圆柱形金属材料工件的上下两个底面的圆心连接的直线为轴进行旋转,有利于进行车削加工处理。优选的,将预处理后的圆柱形金属材料工件固定在飞轮上,使圆柱形金属材料工件随着飞轮一起转动。将金属材料工件固定在飞轮上进行匀速旋转,有利于进行切割加工。优选的,所述圆柱形金属材料工件的旋转速度为500~3000 rpm。若旋转速度过慢,则切割过程中则无法形成相应的梯度组织;若旋转速度过快,则加工过程中会损耗刀具,导致刀具损耗严重。在本发明具体实施例中,所述圆柱形金属材料工件的旋转速度为500 rpm、1000 rpm、2000 rpm、3000 rpm。

[0042] 具体的,在上述步骤S02中,在液氮环境下,采用金刚石刀具对所述旋转的圆柱形金属材料工件的表面进行车削加工处理,且所述车削加工处理的过程中,所述金刚石刀具的刀尖线平行于所述圆柱形金属材料工件的外表面、并对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面沿轴向做往返运动,得到所述梯度纳米结构金属材料。

[0043] 在本发明具体实施例中,由于所提供的金属材料工件表面不平整,在加工处理的过程中,金刚石刀具会先对金属材料工件的表面进行削平处理,使金属材料工件表面平整;待金属材料工件表面处理平整之后,再进行车削加工处理,对金属材料工件表面进行压实、加工,得到具有梯度纳米结构的金属材料。

[0044] 具体的,加工过程中是在液氮环境下进行加工,通过添加液氮,使加工环境温度冷却,有利于梯度组织的形成。在液氮条件下,采用金刚石刀具对所述旋转的圆柱形金属材料工件的表面进行车削加工,得到所述梯度纳米结构金属材料。

[0045] 具体的,采用金刚石刀具对所述旋转的圆柱形金属材料的表面进行车削加工处理,步骤如下:

[0046] S21. 加工预处理:待金属材料工件旋转速度稳定后,移动金刚石刀具位置到所述金属材料工件的表面,调整刀具前刀面与工件表面法线夹角、调整刀具高度即刀具的加工深度,微调刀具刀尖到金属材料工件表面的距离,当刀尖接触到金属材料工件表面后保持刀具高度不变,定位金刚石刀具的刀尖进入金属材料工件的加工深度,匀速撤回刀具,此时刀具的高度作为切深的基准点;

[0047] S22. 加工处理:确定金刚石刀具加工的轴向速度、金刚石刀具加工的长度,使所述金刚石刀具的刀尖线平行于所述圆柱形金属材料工件的外表面、并对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面沿轴向做往返运动进行加工处理。

[0048] 优选的,在上述步骤S21中,待金属材料工件旋转速度稳定后,采用金刚石刀具进行车削工艺加工,如图2所示,即为采用超精密单点金刚石对金属材料表面进行车削工艺加工处理的示意图,主要是将金属材料工件固定在飞轮上,使金属材料工件随着飞轮一起转动,待金属材料工件旋转速度稳定后,移动刀具位置到所述金属材料工件的表面,刀具加工

过程中是做直线运动,从金属材料工件的端面出发,往金属材料工件靠近飞轮的另一面移动,金刚石刀具的加工路径呈螺旋状。

[0049] 优选的,调整刀具前刀面与工件表面法线夹角,其中,刀具前刀面是指在进行第一次处理的加工过程中,刀具对金属材料工件的表面进行削平处理时,刀具与金属材料工件表面接触的一面;工件表面法线是指始终垂直于所述圆柱形金属材料工件侧面曲面上一点的切线的直线。

[0050] 优选的,调整刀具高度即刀具的加工深度,即金刚石刀具的刀尖进入金属材料工件的加工深度。

[0051] 优选的,微调刀具刀尖到工件表面的距离,所述距离是指刀具调整过程中不要碰到样品,当刀具与工件表面接触时,此时的距离为0。当刀尖接触到金属材料工件表面后保持刀具高度不变,定位金刚石刀具的刀尖进入金属材料工件的加工深度,匀速撤回刀具,此时刀具的高度作为切深的基准点;

[0052] 优选的,所述金刚石刀具选自锐角金刚石刀具和钝角金刚石刀具的任意一种;其中,所述锐角金刚石刀具的刀头夹角 θ 为 $10^{\circ} \leq \theta \leq 80^{\circ}$,所述钝角金刚石刀具的刀头夹角 ϕ 为 $100^{\circ} \leq \phi \leq 170^{\circ}$ 。锐角刀具适合加工低硬度材料,如镁、铝、铜等,如图3所示,为锐角单点金刚石刀具加工样品表面示意图。钝角刀具适合加工高硬度材料,如钛、钢、中高熵合金等,不同刀具对应得到相应的梯度组织。如图4所示,为钝角单点金刚石刀具加工样品表面示意图。

[0053] 优选的,采用金刚石刀具对所述旋转的圆柱形金属材料工件的表面进行车削工艺加工的步骤中,所述金刚石刀具为锐角金刚石刀具,且所述锐角金刚石刀具的前刀面与所述圆柱形金属材料工件表面的法线夹角 α 为 $-45^{\circ} \leq \alpha \leq 0^{\circ}$;或,所述金刚石刀具为钝角金刚石刀具,且所述钝角金刚石刀具的前刀面与所述圆柱形金属材料工件表面的法线夹角 β 为 $0^{\circ} \leq \beta \leq 60^{\circ}$ 。选择锐角金刚石刀具或钝角金刚石刀具,以及加工时的角度选择跟所处理的金属材料工件的硬度有关,若材料硬度较小,采用小角度,若硬度较大,采用更大一点的角度。

[0054] 在本发明具体实施例中,待预处理的圆柱形金属材料工件随着飞轮一起转动直到旋转速度稳定后,移动刀具位置到工件表面上部,当使用锐角金刚石刀具时,调整锐角金刚石刀具的前刀面与所述圆柱形金属材料工件表面的法线夹角 α 为 $-45^{\circ} \leq \alpha \leq 0^{\circ}$;当使用钝角金刚石刀具时,调整所述钝角金刚石刀具的前刀面与所述圆柱形金属材料工件表面的法线夹角 β 为 $0^{\circ} \leq \beta \leq 60^{\circ}$ 。

[0055] 优选的,在上述步骤S22中,确定金刚石刀具加工的轴向速度、金刚石刀具加工的长度,使所述金刚石刀具的刀尖线平行于所述圆柱形金属材料工件的外表面、并对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面沿轴向做往返运动进行加工处理。

[0056] 优选的,采用金刚石刀具对所述旋转的圆柱形金属材料工件的表面进行车削加工的步骤中,所述金刚石刀具的轴向速度为5~10 mm/min;所述金刚石刀具的长度为8~90 mm;所述金刚石刀具的刀尖进入金属材料工件的加工深度为5~100 μm 。

[0057] 优选的,所述金刚石刀具加工的轴向速度为5~10 mm/min,若速度过慢,则无法形成梯度组织,若加工速度过快,则会损耗刀具。在本发明具体实施例中,金刚石刀具加工的轴向速度为5 mm/min、8 mm/min、9 mm/min。

[0058] 优选的,所述金刚石刀具加工的深度为5~100 μm ;刀具的加工深度会影响金属材料工件的梯度组织的厚度。若加工深度过小,梯度组织的厚度变小,若加工深度过大,则梯度组织厚度会增加,但是相应的刀具损耗会变大,不利于节约成本。在本发明具体实施例中,金刚石刀具加工的深度为5 μm 、20 μm 、50 μm 、60 μm 、100 μm 。

[0059] 优选的,所述金刚石刀具对旋转的所述圆柱形金属材料工件的表面沿轴向做往返运动进行加工处理。所述往返运动是指加工过程中,金刚石刀具从金属材料工件远离飞轮的一端出发,沿着轴向前进,直到金属材料工件靠近飞轮的一端停止;再从靠近飞轮的一端出发,沿着轴向前进,直到远离飞轮的一端的加工过程。

[0060] 优选的,所述金刚石刀具对所述旋转的圆柱形金属材料工件的表面沿轴向做往返运动步骤中,所述往返运动的次数为10~60次。采用往返运动的方式进行加工,能够保证金属材料工件表面加工的效率更高,保证金属材料工件表面的加工效果好。基于刀具加工过程中的路径是呈螺旋式,若采用单向加工,则无法形成本发明所述的大尺度梯度纳米组织结构。

[0061] 往返运动的次数即对金属材料工件的加工次数,若加工次数太少,则金属材料工件的内部无法形成所述大尺度的梯度纳米组织结构,若加工次数太多,则会损耗刀具,同时也造成浪费。采用往返运动的方法更有利于内部大尺度梯度组织的形成,同时也体现了更好的加工效率。在本发明具体实施例中,所述往返运动的次数为20次、40次、60次。

[0062] 具体的,加工处理得到所述梯度纳米结构金属材料,所述梯度纳米结构金属材料的梯度纳米结构组织的深度为200~8000 μm ,所述梯度纳米结构组织由表面至芯部依次为纳米孪晶、纳米晶、超细孪晶、超细晶、变形粗晶和初始粗晶。优选的,所述纳米孪晶的厚度为10~200 μm ,所述纳米晶的厚度为20~1000 μm ,所述超细孪晶的厚度为40~1800 μm ,所述超细晶的厚度为50~2000 μm ,所述变形粗晶的厚度为80~3000 μm 。加工得到的金属材料具有大尺度的梯度纳米结构组织,同时其结构组织丰富,且金属材料的强度和塑性能够同时提高,增强材料的综合性能,打破金属材料强度-塑性倒置关系。

[0063] 本发明采用金刚石车削对圆柱形金属材料工件进行处理,金刚石车削属于超精密加工,金刚石车削加工能够提供更高的应变速率和应变,在液氮环境下,使温度急速冷却,有利于圆柱形金属材料工件进行金刚石车削加工处理时形成梯度纳米结构组织。具体的,通过金刚石刀具对圆柱形金属材料工件进行车削加工处理,一方面,可以在圆柱形金属材料工件表面产生大尺度的梯度纳米结构组织,使加工表面的纳米梯度组织结构的厚度明显提升,达到200~8000 μm ;另一发面,所形成的梯度纳米结构组织由表面至芯部依次为纳米孪晶、纳米晶、超细孪晶、超细晶、变形粗晶和初始粗晶,在所述提地纳米结构组织中引入了纳米孪晶组织结构,该纳米孪晶组织结构是由纳米晶组织演化而来,具有更高的力学性能,从而提高了整个梯度组织的力学性能,同时提高了金属材料的强度和塑性,增强材料的综合性能,打破金属材料强度-塑性倒置关系,该方法操作简单,安全性高,成品率高,适合规模化生产。

[0064] 具体的,提供以下具体实施例进行说明。

[0065] 实施例1:

[0066] 选取直径10 mm,长度15 mm的铜合金(Cu-20Zn,wt.%质量分数,后同)作为金属材料工件,选取刀头角度 $\theta=10^\circ$ 的锐角金刚石刀具进行车削加工处理,具体加工参数如下:

[0067] (1) 准备样品。将铜合金圆柱形金属材料工件用1000目砂纸打磨光滑,在酒精溶液中超声波清洗。将金属材料工件吸附固定在飞轮上,金属材料工件随着飞轮一起转动,金属材料工件的旋转速度为1000 rpm。

[0068] (2) 加工预处理。当圆柱形的铜合金工件旋转速度稳定后,移动刀具位置到金属材料工件表面上部,调整刀具前刀面与金属材料工件表面法线夹角 α 为 0° 。调整刀具高度,微调刀具刀尖到圆柱形金属材料工件表面的距离,当刀尖接触到工件表面后保持刀具高度不变,匀速撤回刀具,此时刀具的高度作为切深的基准点。

[0069] (3) 加工。所述金刚石刀具加工的轴向速度为8 mm/min;所述金刚石刀具加工的长度为12 mm;所述金刚石刀具加工的深度为20 μm 。刀具加工样品一个来回为一个道次,加工道次 n 为20次。加工过程中工件采用液氮冷却。

[0070] 实施例2:

[0071] 选取直径40 mm,长度100 mm的镁合金(Mg-9Al-1Zn)作为加工工件,选取刀头角度 $\theta=80^\circ$ 的锐角金刚石刀具进行车削加工处理,具体加工参数如下:

[0072] (1) 准备样品。将镁合金圆柱形金属材料工件用1000目砂纸打磨光滑,在酒精溶液中超声波清洗。将金属材料工件吸附固定在飞轮上,金属材料工件随着飞轮一起转动,金属材料工件的旋转速度为500 rpm。

[0073] (2) 加工预处理。当金属材料工件旋转速度稳定后,移动刀具位置到工件表面上部,调整刀具前刀面与金属材料工件表面法线夹角 α 为 -45° 。调整刀具高度,微调刀具刀尖到圆柱形金属材料工件表面的距离,当刀尖接触到金属材料工件表面后保持刀具高度不变,匀速撤回刀具,此时刀具的高度作为切深的基准点。

[0074] (3) 加工。所述金刚石刀具加工的轴向速度为5 mm/min;所述金刚石刀具加工的长度为90 mm;所述金刚石刀具加工的深度为100 μm 。刀具加工样品一个来回为一个道次,加工道次 n 为60次。加工过程中工件采用液氮冷却。

[0075] 实施例3:

[0076] 选取直径16 mm,长度24 mm的铝合金(Al-1.5Li-2Cu)作为加工工件,选取刀头角度 $\theta=30^\circ$ 的锐角金刚石刀具进行车削加工处理,具体加工参数如下:

[0077] (1) 准备样品。将铝合金圆柱形金属材料工件用1000目砂纸打磨光滑,在酒精溶液中超声波清洗。将金属材料工件吸附固定在飞轮上,金属材料工件随着飞轮一起转动,金属材料工件的旋转速度为2000 rpm。

[0078] (2) 加工预处理。当铝合金金属材料工件旋转速度稳定后,移动刀具位置到金属材料工件表面上部,调整刀具前刀面与金属材料工件表面法线夹角 α 为 -30° 。调整刀具高度,微调刀具刀尖到圆柱形金属材料工件表面的距离,当刀尖接触到金属材料工件表面后保持刀具高度不变,匀速撤回刀具,此时刀具的高度作为切深的基准点。

[0079] (3) 加工。所述金刚石刀具加工的轴向速度为5 mm/min;所述金刚石刀具加工的长度为20 mm;所述金刚石刀具加工的深度为50 μm 。刀具加工样品一个来回为一个道次,加工道次 n 为60次。加工过程中工件采用液氮冷却。

[0080] 实施例4:

[0081] 选取直径5 mm,长度10 mm的钛合金(Ti-6Al-4V)作为加工工件,选取刀头角度 $\theta=10^\circ$ 的锐角金刚石刀具进行车削加工处理,具体加工参数如下:

[0082] (1) 准备样品。将钛合金圆柱形金属材料工件用1000目砂纸打磨光滑,在酒精溶液中超声波清洗。将金属材料工件吸附固定在飞轮上,金属材料工件随着飞轮一起转动,金属材料工件的旋转速度为3000 rpm。

[0083] (2) 加工预处理。当钛合金金属材料工件旋转速度稳定后,移动刀具位置到金属材料工件表面上部,调整刀具前刀面与金属材料工件表面法线夹角 α 为 -10° 。调整刀具高度,微调刀具刀尖到金属材料工件圆柱形表面的距离,当刀尖接触到金属材料工件表面后保持刀具高度不变,匀速撤回刀具,此时刀具的高度作为切深的基准点。

[0084] (3) 加工。所述金刚石刀具加工的轴向速度为5 mm/min;所述金刚石刀具加工的长度为80 mm;所述金刚石刀具加工的深度为5 μm 。刀具加工样品一个来回为一个道次,加工道次 n 为40次。加工过程中工件采用液氮冷却。

[0085] 实施例5:

[0086] 选取直径20 mm,长度50 mm的304不锈钢(Fe-18Cr-8Ni-1.65Mn-0.42Si-0.012Mo-0.049C)为加工工件,选取刀头角度 $\phi=100^\circ$ 的金刚石刀具进行车削加工处理,具体加工参数如下:

[0087] (1) 准备样品。将不锈钢圆柱形金属材料工件用1000目砂纸打磨光滑,在酒精溶液中超声波清洗。将金属材料工件吸附固定在飞轮上,金属材料工件随着飞轮一起转动,金属材料工件的旋转速度为1000 rpm。

[0088] (2) 加工预处理。当不锈钢金属材料工件旋转速度稳定后,移动刀具位置到金属材料工件表面上部,调整刀具前刀面与金属材料工件表面法线夹角 β 为 0° 。调整刀具高度,微调刀具刀尖到金属材料工件圆柱形表面的距离,当刀尖接触到金属材料工件表面后保持刀具高度不变,匀速撤回刀具,此时刀具的高度作为切深的基准点。

[0089] (3) 加工。所述金刚石刀具加工的轴向速度为8 mm/min;所述金刚石刀具加工的长度为42mm;所述金刚石刀具加工的深度为80 μm 。刀具加工样品一个来回为一个道次,加工道次 n 为40次。加工过程中工件采用液氮冷却。

[0090] 实施例6:

[0091] 选取直径20 mm,长度60 mm的高熵合金(CoCrFeNiMn)作为加工工件,选取刀头角度 $\phi=170^\circ$ 的金刚石刀具进行车削加工处理,具体加工参数如下:

[0092] (1) 准备样品。将高熵合金圆柱形金属材料工件用1000目砂纸打磨光滑,在酒精溶液中超声波清洗。将金属材料工件吸附固定在飞轮上,金属材料工件随着飞轮一起转动,金属材料工件的旋转速度为1000 rpm。

[0093] (2) 加工预处理。当高熵合金金属材料工件旋转速度稳定后,移动刀具位置到金属材料工件表面上部,调整刀具前刀面与金属材料工件表面法线夹角 β 为 60° 。调整刀具高度,微调刀具刀尖到金属材料工件圆柱形表面的距离,当刀尖接触到金属材料工件表面后保持刀具高度不变,匀速撤回刀具,此时刀具的高度作为切深的基准点。

[0094] (3) 加工。所述金刚石刀具加工的轴向速度为9 mm/min;所述金刚石刀具加工的长度为55 mm;所述金刚石刀具加工的深度为60 μm 。刀具加工样品一个来回为一个道次,加工道次 n 为40次。加工过程中工件采用液氮冷却。

[0095] 对上述实施例1-6所述制备得到的产品进行分析如下:

[0096] 实施例1制备得到的铜合金金属材料工件如图5,图5为加工后的铜合金样品的表

面形貌,通过统计得出该工艺制备出的金属材料工件表面的粗糙度为60 nm。该工艺参数制备的铜合金的梯度纳米结构组织厚度为300 μm ,沿工件表面到芯部方向依次为纳米孪晶(厚度为30 μm)、纳米晶(厚度为40 μm)、超细孪晶(厚度为60 μm)超细晶(厚度为70 μm)和变形粗晶(厚度为100 μm),芯部为未变形的基体组织。

[0097] 图6为在经过超精密金刚石车削加工后的铜合金工件中,离加工表面20 μm 处的微观组织,可以看到大量的均匀弥散的纳米孪晶组织,图中纳米孪晶的平均厚度为5 nm,平均长度为40 nm。

[0098] 实施例2制备得到的镁合金金属材料工件,表面的粗糙度为20 nm。该工艺参数制备的镁合金的纳米梯度结构组织厚度为8000 μm ,沿工件表面到芯部方向依次为纳米孪晶(厚度为200 μm)、纳米晶(厚度为1000 μm)、超细孪晶(厚度为1800 μm)超细晶(厚度为2000 μm)和变形粗晶(厚度为3000 μm),芯部为未变形的基体组织。

[0099] 图7为在经过超精密金刚石车削加工后的镁合金工件中,离加工表面300 μm 处的微观组织,可以看到大量的均匀弥散的纳米晶组织,图中纳米晶的平均晶粒尺寸为8 nm。

[0100] 实施例3制备得到的铝合金材料,表面的粗糙度为70 nm。该工艺参数制备的铝合金的纳米梯度结构组织厚度为1600 μm ,沿工件表面到芯部方向依次为纳米孪晶(厚度为100 μm)、纳米晶(厚度为200 μm)、超细孪晶(厚度为300 μm)超细晶(厚度为400 μm)和变形粗晶(厚度为600 μm),芯部为未变形的基体组织。

[0101] 图8为在经过金刚石切削加工后的铝合金工件中,离加工表面150 μm 处的微观组织,可以看到大量的均匀弥散的纳米晶组织,图中纳米晶的平均晶粒尺寸为22 nm。

[0102] 实施例4制备得到的钛合金材料,表面的粗糙度为80 nm。该工艺参数制备的钛合金的纳米梯度结构组织厚度为200 μm ,沿工件表面到芯部方向依次为纳米孪晶(厚度为10 μm)、纳米晶(厚度为20 μm)、超细孪晶(厚度为40 μm)超细晶(厚度为50 μm)和变形粗晶(厚度为80 μm),芯部为未变形的基体组织。

[0103] 图9为在经过金刚石切削加工后的钛合金工件中,离加工表面50 μm 处的微观组织,可以看到大量的均匀弥散的条状超细孪晶组织,图中超细孪晶的平均厚度为1.2 μm ,平均长度为20 μm 。

[0104] 实施例5制备得到的不锈钢材料,表面的粗糙度为50 nm。该工艺参数制备的不锈钢的纳米梯度结构组织厚度为2000 μm ,沿工件表面到芯部方向依次为纳米孪晶(厚度为50 μm)、纳米晶(厚度为200 μm)、微米孪晶(厚度为450 μm)超细晶(厚度为600 μm)和变形粗晶(厚度为700 μm),芯部为未变形的基体组织。

[0105] 图10为在经过超精密金刚石车削加工后的不锈钢工件中,离加工表面100 μm 处的微观组织,可以看到大量的均匀弥散的纳米晶组织,图中纳米晶的平均晶粒尺寸为40 nm。

[0106] 实施例6制备得到的高熵合金材料,表面的粗糙度为80 nm。该工艺参数制备的铜合金的纳米梯度结构组织厚度为4000 μm ,沿工件表面到芯部方向依次为纳米孪晶(厚度为200 μm)、纳米晶(厚度为400 μm)、超细孪晶(厚度为600 μm)超细晶(厚度为800 μm)和变形粗晶(厚度为2000 μm),芯部为未变形的基体组织。

[0107] 图11为在经过超精密金刚石车削加工后的高熵合金工件中,离加工表面400 μm 处的微观组织,可以看到大量的均匀弥散的纳米晶组织,图中纳米晶的平均晶粒尺寸为20 nm。

[0108] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

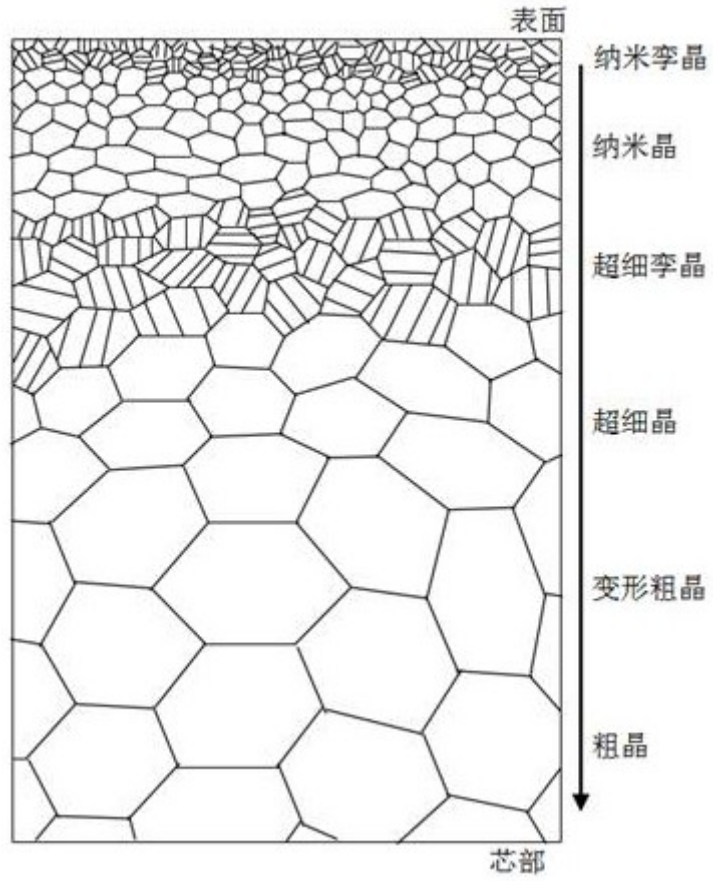


图1

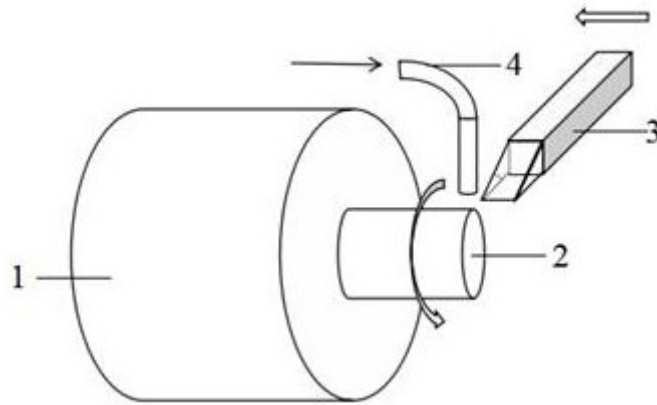


图2

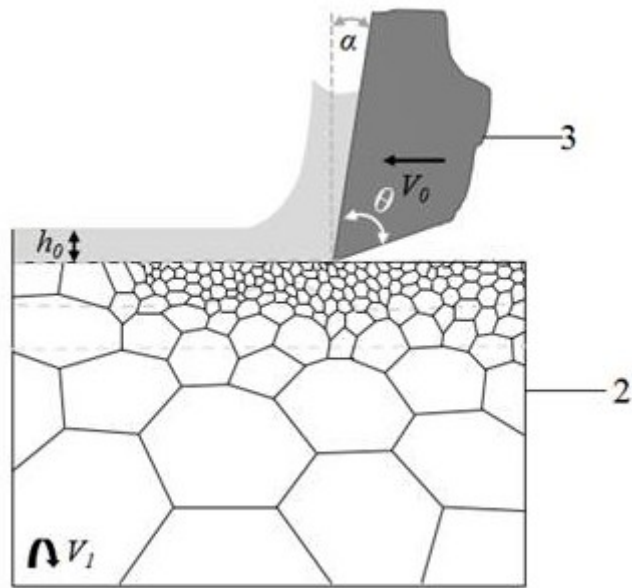


图3

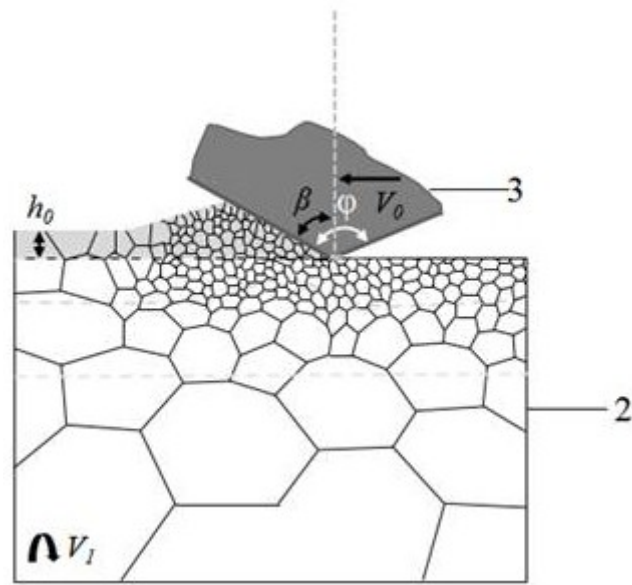


图4

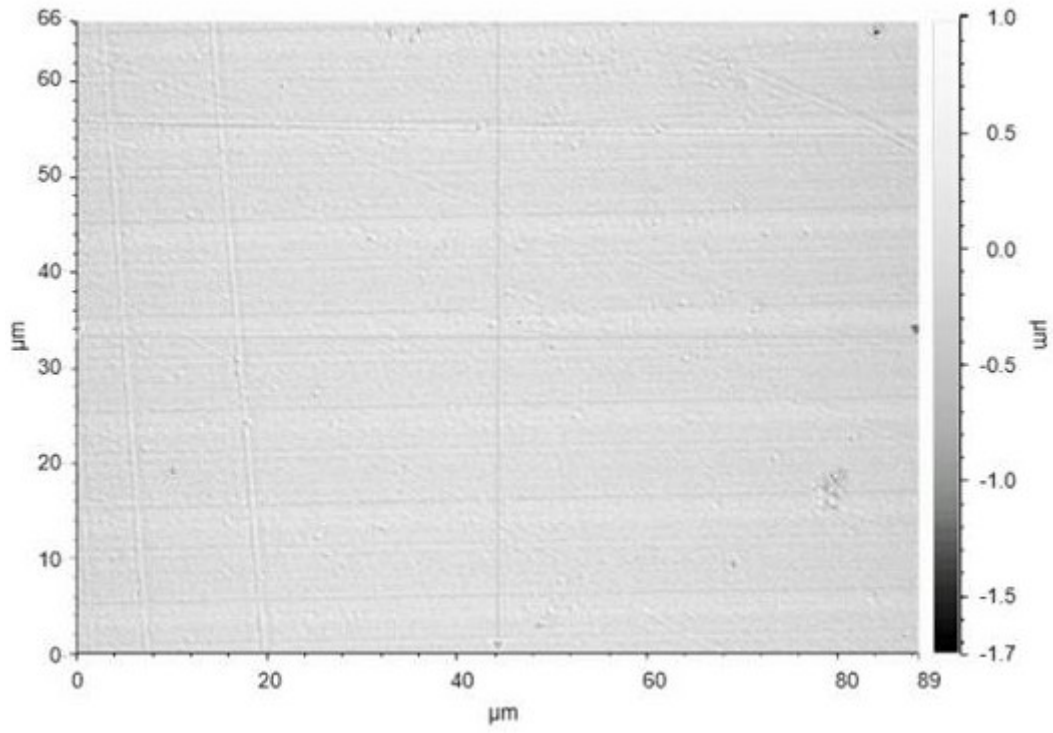


图5



图6

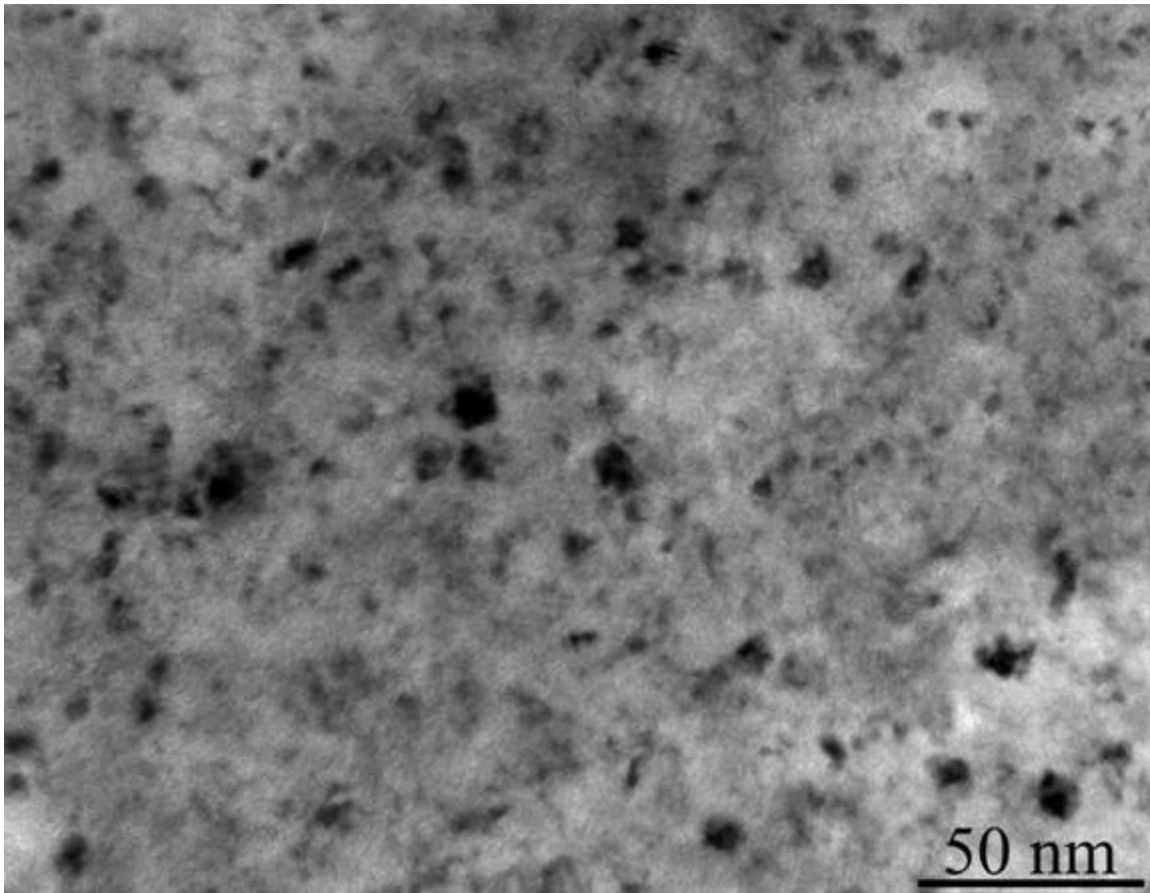


图7

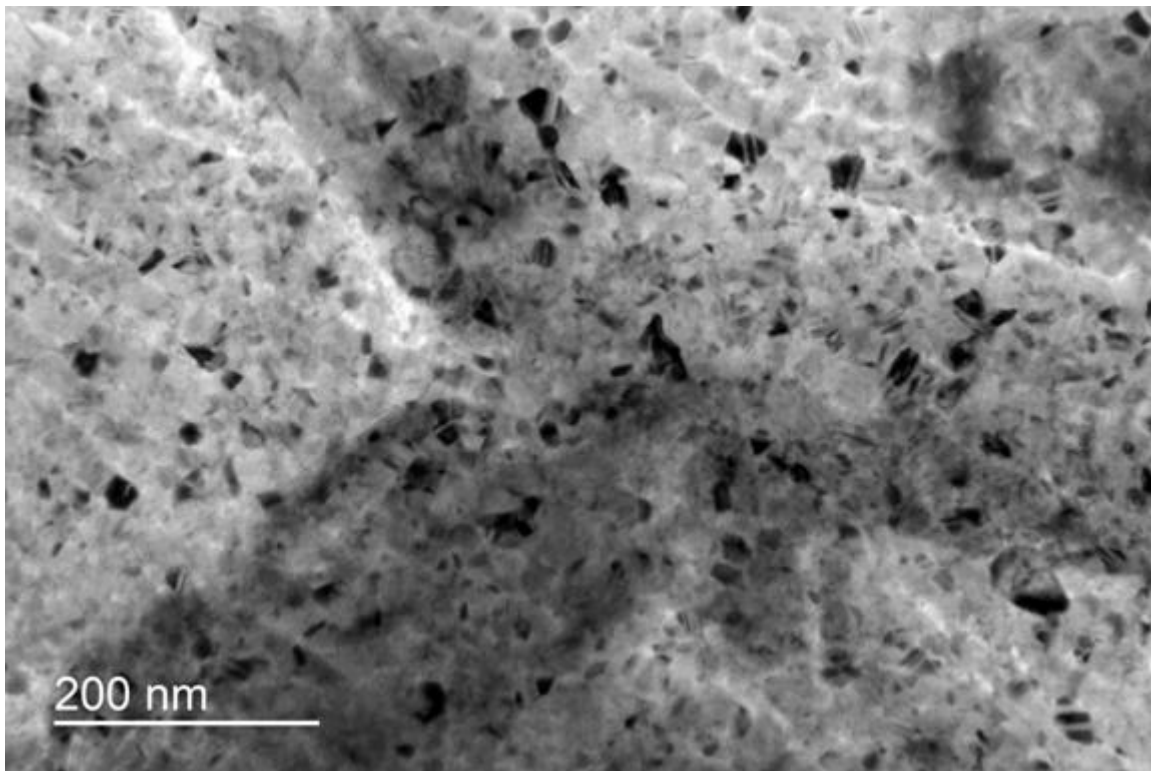


图8

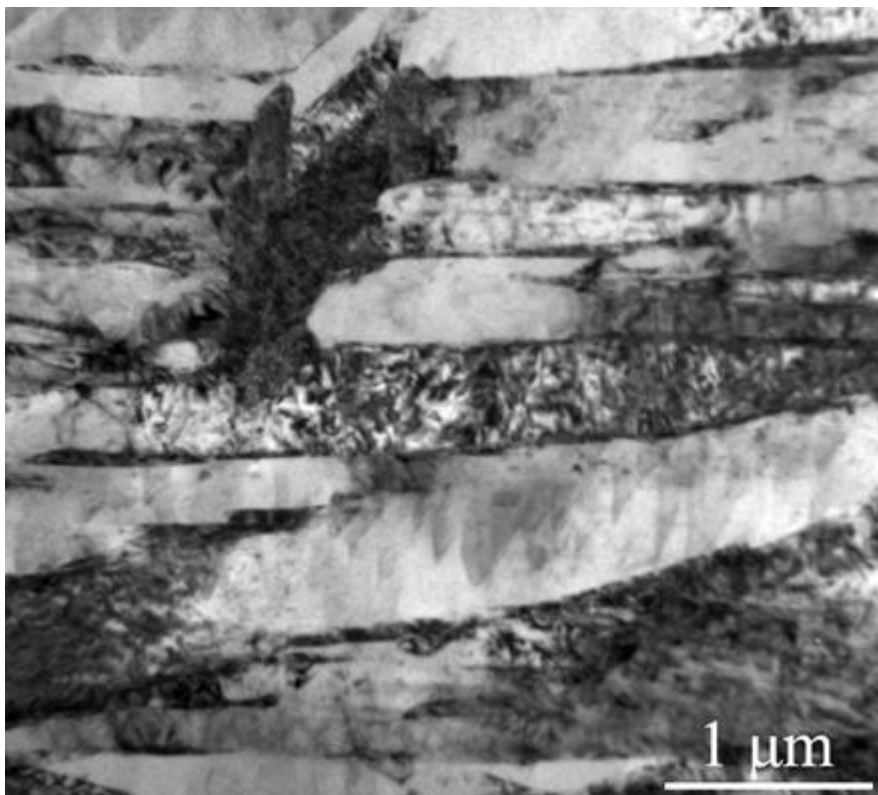


图9

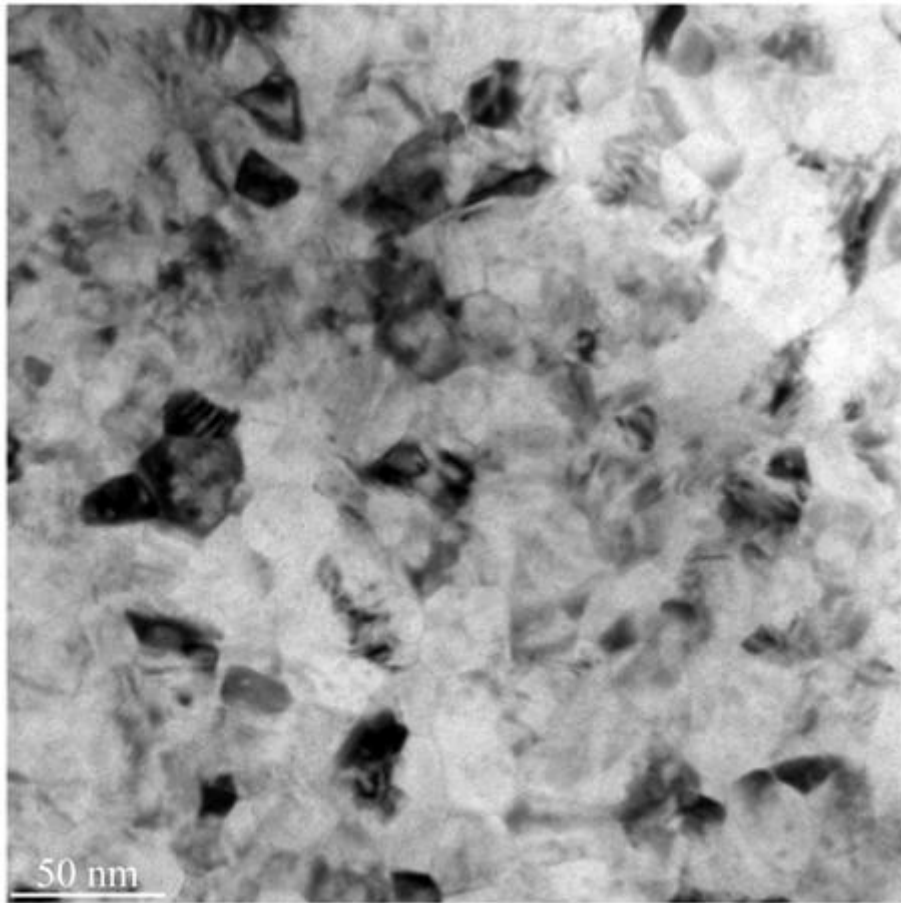


图10

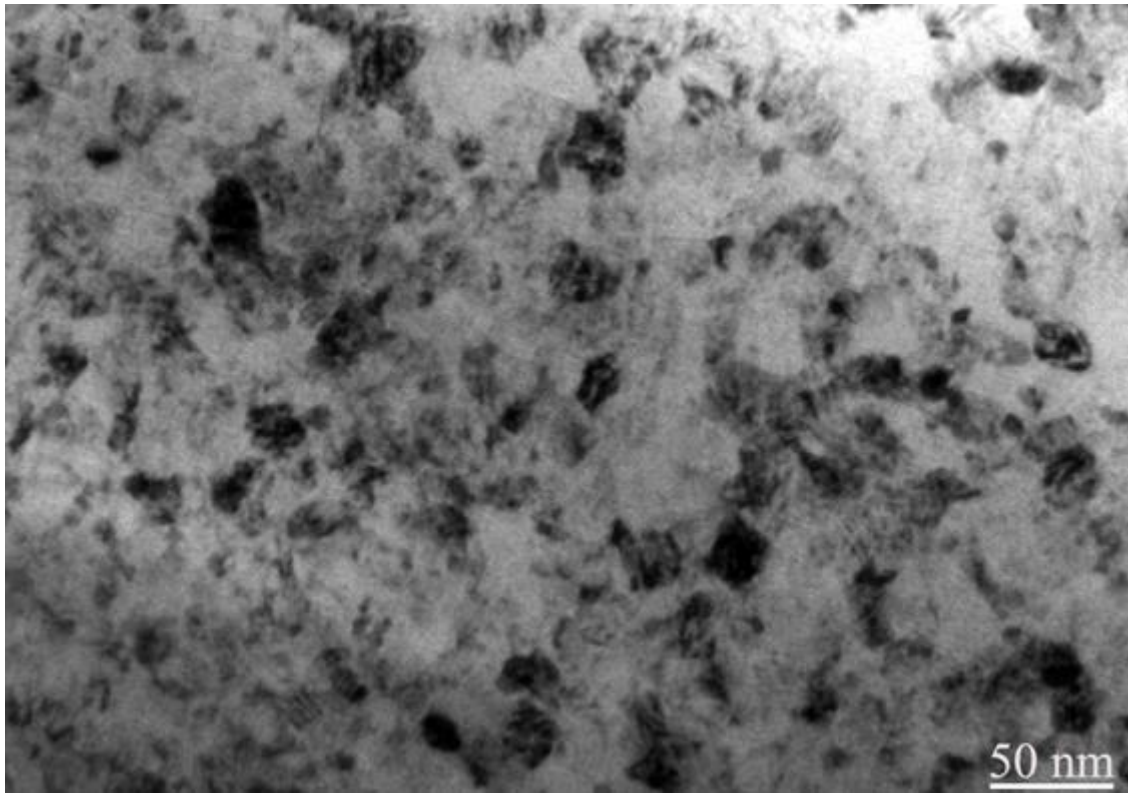


图11