



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106607468 B

(45)授权公告日 2018.06.05

(21)申请号 201710024674.9

(22)申请日 2017.01.07

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106607468 A

(43)申请公布日 2017.05.03

(73)专利权人 中北大学

地址 030051 山西省太原市学院路3号

(72)发明人 薛勇 陈帅帅 张治民 李国俊

王强 白冰 杨博文

(51)Int.Cl.

B21C 23/18(2006.01)

B21C 25/02(2006.01)

B21C 23/32(2006.01)

审查员 陈坪

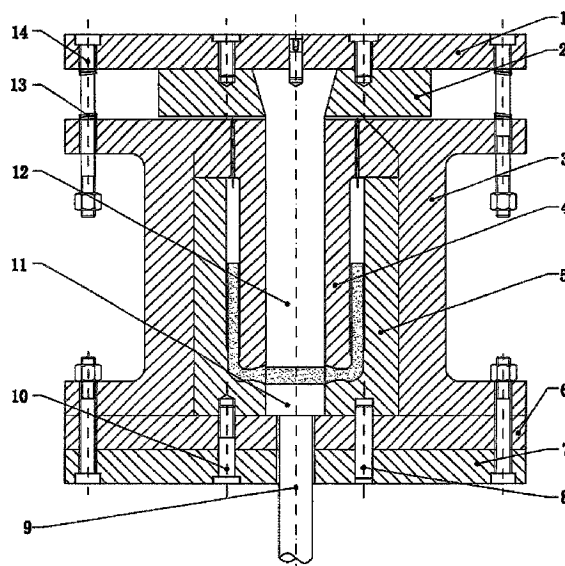
权利要求书1页 说明书7页 附图6页

(54)发明名称

一种镁合金高性能杯形件的差速挤压成形方法

(57)摘要

一种镁合金高性能杯形件的差速挤压成形方法,涉及金属塑性加工成形技术领域;采用组合式凹模,包括“T”形上凹模和“U”形下凹模。“T”形上凹模内部为圆柱体型腔,“T”形上凹模安装在“U”形下凹模上,形成的回转体型腔的截面为“山”字形。“山”字形挤压腔的底部采用错位的“阶梯”式差速挤压台阶。经过三个阶段的变形:一是经过轴向类似圆柱墩粗变形阶段;二是径向挤压大变形阶段;三是转角挤压剪切变形阶段。采用“山”字形挤压腔及腔底错位的“阶梯”式差速挤压台阶来挤压镁合金杯形件,极大地提高镁合金材料成形能力,获得高致密结构,极大的塑性变形量,晶粒细化效果显著,消除杯形件筒壁的晶粒双模态分布效果明显,缩短了高性能镁合金杯形件制作流程。



1. 一种镁合金高性能杯形件的差速挤压成形方法,其特征在于:包括以下步骤:

(1) 棒材下料;

(2) 均匀化热处理,形成镁合金毛坯;

(3) 成形前准备:将镁合金毛坯加热到成形温度并保温,并将差速挤压成形模具整体预热至镁合金坯料成形温度以上并保温;所述的差速挤压成形模具包括与压力机的上部结构连接的上模具组件、与压力机下部结构连接的下模具组件以及组合式凹模;所述的上模具组件包括与压力机的上工作台连接的上模板、与上模板相接的上模座套以及上模座套内置的冲头;所述的上模板用紧固螺栓装配在压力机上工作台上,所述冲头的上端放置在上模座套的内部中心线上,冲头上端由圆柱销定位,四周通过内六角螺栓把上模座套与上模板固定,使冲头牢牢紧固于上模座套中;所述的组合式凹模包括,“T”形上凹模和“U”形下凹模,所述的“T”形上凹模内部为圆柱形型腔,与冲头间隙配合,“T”形上凹模上端设有环形锥面,与下模座套型腔上端锥面限位配合;所述的“U”形下凹模内部为回转体型腔;“T”形上凹模安装在“U”形下凹模的回转体型腔内,回转体型腔和圆柱形型腔共同组成的截面形状为“山”字形挤压腔,挤压腔底部采用了“阶梯”式差速挤压台阶,所谓的差速,是指“T”形上凹模下端面的“阶梯”台阶与对应下方位置的“U”形下凹模内腔的“阶梯”台阶在纵向方向有个错位差,在挤压过程中金属流经此区域时,金属上下表面沿着台阶流动,流速形成差速;所述的下模具组件包括下模板座套、下垫板及下模板;所述的下模座套内部为圆柱形型腔,型腔内部与组合式凹模间隙配合,型腔上端以环形锥面收口,以对凹模限位承力;下模座套和下垫板自上而下固定在下模板上;

(4)、安装模具:将预热保温后的模具安装在压力机上;给组合式凹模内腔注入油剂石墨润滑剂,同时从上凹模顶端小孔自上而下往“山”字形挤压腔内注入油剂石墨润滑剂;将经过均匀化热处理的镁合金毛坯放入组合式凹模的上凹模圆柱形型腔内;

(5) 成形过程:压力机带动上模具组件的上模板、上模座套及冲头向下运动,挤压镁合金毛坯在“山”字形挤压腔内沿型腔流动变形;镁合金毛坯在圆柱形冲头压力的作用下,经过三个阶段的变形:一是经过轴向类似圆柱墩粗变形阶段;二是径向挤压大变形阶段;随着压力机带动冲头继续向下挤压,金属开始沿着“山”字形挤压腔底径向挤压,此过程中,金属流经差速挤压带后缩径挤压进入内径较小的挤压通道;三是转角挤压剪切变形阶段;压力机带动冲头继续向下挤压金属进入“山”字形挤压腔底部圆角区域,金属受剪切应力作用沿着凹模壁轴向向上流动,形成镁合金杯形件的筒壁;

(6) 挤压成形完成后:停止压力机上工作台的向下运动;拧紧上模板与下模座套连接的紧固螺栓,松开下模座套、下垫板及下模板连接处的紧固螺栓;压力机上工作台反向向上运动,带动冲头上升并与杯形件脱离,同时上模板带动下模座套上升,与组合式凹模脱离;通过液压缸顶出缸对顶杆作用,将镁合金杯形件从组合式凹模中顶出。

## 一种镁合金高性能杯形件的差速挤压成形方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及金属塑性加工工艺及成形技术领域,具体涉及一种用于镁合金材料挤压成形与改性的差速挤压成形方法。

### 背景技术

[0002] 杯形构件是航空航天、国防军工、交通运输等领域最具代表性的结构形式之一,是反向挤压技术的典型制件。对于杯形件制造,大都采用反挤压成形技术,反向挤压技术是一种先进的少切削加工工艺,不仅提高了锻件的形状和尺寸精度、节约了金属材料,而且因金属纤维流线呈仿形性而提高了该类零件的机械性能,具有“高效、优质、低能耗”的特点,在技术和经济上有很高的使用价值,已成为国内外争相研究的热点。

[0003] 镁合金杯形件采用传统反挤压成形的方法,需要多道次镦粗拔长制坯达到理想的细晶强化效果,生产效率低且成形构件各向异性明显,其周向和轴向的抗拉强度相差较大。因此,研究开发高强韧镁合金杯状件新型成形方法具有切实重要的意义。

[0004] 已公开的中国专利号为ZL201410820158.3专利名称为“镁合金杯形构件的环形通道转角挤压成形模具及方法”是一种制备杯状构件的新型成形方法,属于大塑性变形范畴,相比于传统反挤压方法具有很大的技术优势,成形件的平均等效塑性应变可达传统反挤压的2倍以上,其成形力小,变形量大,成形件的等效塑性应变分布更加均匀,对于杯形构件晶粒细化和力学性能的提升具有一定的作用和效果。

[0005] 但研究发现,通过专利“镁合金杯形构件的环形通道转角挤压成形模具及方法”成形的杯形件,筒壁在垂直于金属流动方向的面上,晶粒呈典型双模态晶粒分布。双模态晶粒分布是指金属在挤压腔内锥形凸台的作用下被压扁拉长,部分原始粗大晶粒得到显著细化,部分粗大的晶粒呈长条状分布。这与等通道转角挤压(ECAP)后晶粒分布形态极为相似。晶粒的双模态分布现象致使杯形件筒壁试样轴向拉伸断裂机制为细晶带的韧性断裂伴随粗晶带的脆性解理断裂相结合的混合断裂机制,在一定程度上降低杯状件的塑性及力学性能。显然,筒壁晶粒双模态分布制约着高强韧杯形件研发与生产实践。就此看来,专利“镁合金杯形构件的环形通道转角挤压成形模具及方法”存在一定的技术局限性。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的提供一种镁合金高性能杯形件的差速挤压成形方法,该方法能够获得更大的平均等效应变,提高晶粒细化效果,大幅度减小环形通道转角挤压成形的杯形件的筒壁呈双模态晶粒分布,降低筒壁混合拉伸断裂机制的发生率。

[0007] 为了解决背景技术所存在的问题,本发明是采用以下技术方案:

[0008] 一种镁合金高性能杯形件的差速挤压成形方法,其顺序包括:

[0009] (1) 棒材下料;

[0010] (2) 均匀化热处理,形成镁合金毛坯;

[0011] (3) 成形前准备:将镁合金毛坯加热到成形温度并保温,并将差速挤压成形模具整

体预热至镁合金坯料成形温度以上并保温；所述的差速挤压成形模具包括与压力机的上部结构连接的上模具组件、与压力机下部结构连接的下模具组件以及组合式凹模；所述的上模具组件包括与压力机的上工作台连接的上模板、与上模板相接的上模座套以及上模座套内置的冲头；所述的上模板用紧固螺栓装配在压力机上工作台上，所述冲头的上端放置在上模座套的内部中心线上，冲头上端由圆柱销定位，四周通过内六角螺栓把上模座套与上模板固定，使冲头牢牢紧固于上模座套中；所述的组合式凹模包括，“T”形上凹模和“U”形下凹模，所述的“T”形上凹模内部为圆柱形型腔，与冲头间隙配合，“T”形上凹模上端设有环形锥面，与下模座套型腔上端锥面限位配合；所述的“U”形下凹模内部为回转体型腔；“T”形上凹模安装在“U”形下凹模的回转体型腔内，回转体型腔和圆柱形型腔共同组成的截面形状为“山”字形挤压腔；所述的下模具组件包括下模板座套、下垫板及下模板；所述的下模座套内部为圆柱形型腔，型腔内部与组合式凹模间隙配合，型腔上端以环形锥面收口，以对上凹模限位承力；下模座套和下垫板自上而下固定在下模板上。

[0012] (4)、安装模具：将预热保温后的模具安装在压力机上；给组合式凹模内腔注入油剂石墨润滑剂，同时从上凹模顶端小孔自上而下往“山”字形挤压腔内注入油剂石墨润滑剂；将经过均匀化热处理的镁合金毛坯放入组合式凹模的上凹模圆柱形型腔内；

[0013] (5) 成形过程：压力机带动上模具组件的上模板、上模座套及冲头向下运动，挤压镁合金毛坯在“山”字形挤压腔内沿型腔流动变形；镁合金毛坯在圆柱形冲头压力的作用下，经过三个阶段的变形：一是经过轴向类似圆柱墩粗变形阶段；二是径向挤压大变形阶段；随着压力机带动冲头继续向下挤压，金属开始沿着“山”字形挤压腔底径向挤压，此过程中，金属流经差速挤压带后缩径挤压进入内径较小的挤压通道；三是转角挤压剪切变形阶段；压力机带动冲头继续向下挤压金属进入“山”字形挤压腔底部圆角区域，金属受剪切应力作用沿着凹模壁轴向向上流动，形成镁合金杯形件的筒壁；

[0014] (6) 挤压成形完成后：停止压力机上工作台的向下运动；拧紧上模板与下模座套连接的紧固螺栓，松开下模座套、下垫板及下模板连接处的紧固螺栓；压力机上工作台反向向上运动，带动冲头上升并与杯形件脱离，同时上模板带动下模座套上升，与组合式凹模脱离；通过液压缸顶出缸对顶杆作用，将镁合金杯形件从组合式凹模中顶出。

[0015] 本发明的原理为：设计了组合式凹模结构，“T”形上凹模内腔和“U”形下凹模内腔共同形成“山”字形回转体型腔，特别是型腔底部采用了“阶梯”式差速挤压台阶。台阶的长度为 $a$ ，高为 $h$ ，上下相邻台阶过渡带水平倾角为 $\alpha$ ，过渡圆半径为 $r$ 。所谓的差速，是指“T”形上凹模下端面的“阶梯”台阶与对应下方位置的“U”形下凹模内腔的“阶梯”台阶在纵向方向有个错位差，在挤压过程中金属流经此区域时，金属上下表面沿着台阶流动，流速形成差速。考虑到金属流动规律，本发明采用上下“阶梯”台阶纵向错位距离为半个台阶长度 $a/2$ （经过Deform-3D有限元模拟，错位距离为 $a/2$ 时平均等效塑性应变最大）。

[0016] 通过控制工艺参数（台阶个数、台阶长高比 $a/h$ 、过渡带倾角 $\alpha$ ）来改变镁合金坯料在挤压变形过程中的受力情况，从而控制金属应力状态、等效应变变量、晶粒细化程度、塑性变形和组织均匀性等。金属流经“阶梯”式差速挤压台阶后，金属上下表面受挤压台阶剪切应力的作用；同时由于上下“阶梯”式径向挤压台阶有个错位差，导致金属在此区域挤压时上下表面挤压速度不一致，金属内部也会产生扭矩和剪应力；另外，“阶梯式”径向挤压台阶所构成的挤压区域为入口口径大，出口口径小，金属在挤压进入此区域时还受到“阶梯式”

径向挤压台阶轴向挤压力。

[0017] 这三个因素共同改变了金属的应力状态,致使金属表面和内部都能获得更大塑性变形量,增加了平均等效应变,获得更高致密结构,组织细化效果显著,“阶梯式”径向挤压台阶有效增加了金属在挤压过程中的变形次数,大幅度破碎了传统反挤压工艺杯形件微观组织为扁平状细长条分布,使大小晶粒分布更为均匀,对消除晶粒双模态分布现象效果明显。

### 附图说明

[0018] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0019] 图1为本发明所提供的实施例中坯料在挤压成形时模具工作状态示意图;

[0020] 图2为本发明所提供的实施例中坯料在待挤压时模具工作状态示意图;

[0021] 图3-1为本发明所提供的实施例中组合式凹模装配示意图;

[0022] 图3-2为本发明所提供的实施例中组合式凹模腔体下端局部放大示意图;

[0023] 图4-1为本发明所提供的实施例中“阶梯”式差速径向挤压台阶示意图;

[0024] 图4-2为本发明所提供的实施例中错位的“阶梯”式差速径向挤压台阶示意图;

[0025] 图5为本发明所提供的实施例中挤压件的挤压变形金属流动分区示意图;

[0026] 图6为本发明所提供的实施例中挤压成形的镁合金杯形构件示意图;

[0027] 图7为现有技术中环形通道转角挤压成形的杯形件筒壁部位金相显微组织;

[0028] 图8为本发明所提供的实施例差速挤压成形的杯形件筒壁部位金相显微组织;

[0029] 附图标记:

[0030] 1-上模板;2-上模座套;3-下模座套;4-“T”形上凹模;5-“U”形下凹模;6-下垫板;7-下模板;8-圆柱销;9-顶杆;10-螺钉;11-顶块;12-冲头;13-压缩弹簧;14-紧固螺栓;15-垂直方向孔;16-“山”字形挤压腔;17-差速挤压台阶;18-环形凸台。

### 具体实施方式

[0031] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及具体实施方式,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施方式仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0032] 请参阅图1-图6,本具体实施方式采用以下技术方案:一种镁合金高性能杯形件的差速挤压成形模具,包括与压力机的上部结构连接的上模具组件、与压力机下部结构连接的下模具组件以及组合式凹模。

[0033] 请参阅图1-图2,所述的上模具组件包括:与压机的上部结构连接的上模板1、与上模板1相接的上模座套2以及上模座套内置的冲头12。所述冲头12的上端放置在上模座套2的内部中心。

[0034] 请参阅图3-1,所述的组合式凹模,包括“T”形上凹模4和“U”形下凹模5。所述的“T”形上凹模4内部为圆柱形型腔,与冲头12间隙配合,“T”形上凹模4上端设有环形锥面,与下

模座套3型腔上端锥面限位配合。所述的“U”形下凹模5内部为回转体型腔。“T”形上凹模4安装在“U”形下凹模5的回转体型腔内,圆柱形型腔和回转体型腔共同组成的截面形状为“山”字形挤压腔16;“T”形上凹模4上端沿轴向方向设置等间距的垂直方向孔15,贯穿至“山”字形挤压腔16,作为润滑剂流入通道。

[0035] 请参阅图3-2,“T”形上凹模4的下端端面截面为“阶梯”式差速挤压台阶17,与之对应的下方纵向位置,在“U”形下凹模5的型腔表面也设置了“阶梯”式差速挤压台阶17。“T”形上凹模4外侧下端设有一个环形凸台,为杯形件内径的挤压定径带。与之对应的横向位置,在“U”形下凹模5型腔内同样设置了一段环形凸台,为杯形件外径的挤压定径带,该挤压定径带与“U”形下凹模型腔底部圆角相切连接。

[0036] 请参阅图1、图2,所述的下模具组件包括下模座套3、下垫板6及下模板7,所述的下模座套3内部为圆柱形型腔,型腔内部与组合式凹模间隙配合,型腔上端以环形锥面收口,以对“T”形上凹模4限位承力;下模座套3和下垫板6自上而下固定在下模板7上;组合式的“T”形上凹模4、“U”形下凹模5与下垫板6通过圆柱销8定位,用螺钉10自上而下固定在下模板7上。

[0037] 所述的下垫板6和下模板7中部均设有与组合式的“T”形上凹模4、“U”形下凹模5底贯通孔相通的顶杆通孔,所述的顶块11放置在组合式“U”形下凹模5的内腔中,与内腔间隙配合,上表面与“U”形下凹模5内腔的“阶梯”式差速挤压台阶17水平相接,下表面放置于下垫板6上。顶块11的下表面开有螺纹孔,与所述的顶杆9螺纹连接。

[0038] 所述的冲头12、“T”形上凹模4、“U”形下凹模5的贯通孔、顶杆通孔、顶块11、顶杆9位于同一轴线上;所述的顶杆9以上下来回伸缩的方式运行于组合式“T”形上凹模4、“U”形下凹模5的贯通孔和顶杆9通孔中。

[0039] 请参阅图1、图2,压力机上部结构(图中未示出)通过紧固螺栓14与上模板1、下模座套3连接,在紧固螺栓14上安装压缩弹簧13,位于下模座套3上端与上模板1之间。

[0040] 请参阅图1、图2,一种镁合金高性能杯形件的差速挤压成形方法,其步骤包括:

[0041] (1) 棒材下料;

[0042] (2) 均匀化热处理,形成镁合金坯料。

[0043] (3) 将图1、图2所示的差速挤压模具整体预热至镁合金成形温度 $30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 以上保温2h,并将镁合金坯料加热到成形温度 $350^{\circ}\text{C}$ 并保温2~4h。将差速挤压模具按图1所示装配在压力机上。

[0044] (4) 松开上模板1与下模座套3连接的螺栓14,压力机上工作台滑块(图中未示出)上升带动上模组件:上模板1、上模座套2、冲头12随滑块一起上升,使冲头12脱离组合式凹模的内腔;从组合式凹模的“T”形上凹模4圆柱形内腔口开始,往内腔中注入一定的油剂石墨润滑剂,并从“T”形上凹模4上端的润滑剂小孔往组合式凹模的“山”字形挤压腔内注入一定量的油剂石墨润滑剂;将均匀化处理后的 $350^{\circ}\text{C}$ 镁合金坯料放入“T”形上凹模4圆柱形内腔中;

[0045] (5) 压力机上工作台滑块向下运动,带动冲头12以 $0.5\sim 5\text{mm/s}$ 的轴向运动速度对组合式凹模内腔中的镁合金坯料进行挤压,使镁合金坯料在组合式凹模的“山”字形挤压腔16内流动挤压,(如图1所示)。由于坯料的直径小于“T”形上凹模4圆柱形内腔,因而在冲头12的压力下,金属最先发生镦粗变形填满“T”形上凹模4的圆柱形内腔部分,金属的下端

随后发生变形,随着冲头12继续向下运动,金属坯料最终充填在“山”字形挤压腔16内。

[0046] (6) 压力机上工作台滑块继续向下运动,直至获得所需要尺寸的镁合金杯形构件,停止压力机上工作台滑块的向下运动。

[0047] (7) 将上模板1与下模座套3连接的螺栓14拧紧,松开下模板7与下模座套3连接处的紧固螺栓;压力机上工作台滑块(图中未示出)反向向上运动,带动冲头12向上运动并与镁合金杯形成形件脱离,紧固螺栓14带动下模座套3与组合式凹模的“T”形上凹模4、“U”形下凹模5脱离。

[0048] (8) 通过液压机的顶出缸(图中未示出)对顶杆9向上推动,将挤压成形的镁合金杯形成形件和“T”形上凹模4从“U”形下凹模5的腔内顶出;取下“T”形上凹模4,并将其安装到“U”形下凹模5腔内。

[0049] (9) 压力机上工作台滑块向下运动,带动下模座套3向下运动,至下模座套3底部与下垫板6接触,停止压力机上工作台滑块向下运动,将下模板7与下模座套3连接的螺栓拧紧。

[0050] (10) 重复工序(4)~(9)可连续不断地完成杯形件的差速挤压成形。

[0051] 实施例:

[0052] 以制备外径200mm内径170mm的AZ31镁合金杯状件为具体实例。

[0053] 所采用的坯料尺寸为 $H=360\text{mm}$ ,直径 $D_1=80\text{mm}$ ，“T”形上凹模4内腔直径 $D_2=90\text{mm}$ , $D_1<D_2$ 。模具整体预热至 $400^\circ\text{C}$ 保温2h,镁合金坯料加热到成形温度 $350^\circ\text{C}$ 并保温2~4h。冲头挤压速度为 $1\text{mm/s}$ 。

[0054] 如图3-1所示,在“T”形上凹模4上端沿轴向等径开设4~8个竖直孔作为通入润滑剂小孔。

[0055] 如图3-2所示,“T”形上凹模4的定径带长度 $L_2$ 为 $8.8\text{mm}$ ，“U”形下凹模5的定径带长度 $L_1$ 为 $24\text{mm}$ ;从有利于金属流动与提供尽可能大的挤压力角度考虑,“T”形上凹模4下端的定径带与水平底面连接面为斜面,斜面与水平方向呈 $45^\circ$ ，“T”形上凹模4和“U”形下凹模5的环形凸台18与通道壁用斜面连接,斜面与竖直或者水平通道壁的夹角均为 $45^\circ$ ,凸台的高度为 $5\text{mm}$ 左右;“U”形下凹模5腔内底部圆角半径 $R=20\text{mm}$ ,以方便实现金属在底部圆角区域产生大的剪切变形。图3-2中展示的“山”字形挤压腔壁未特别说明的所有过渡斜面的倾角均为 $45^\circ$ 。

[0056] 请参阅图4-1,图4-1为“山”字形挤压腔16底部的“阶梯”式差速挤压台阶17,台阶长 $a=6\text{mm}$ ,高 $h=4\text{mm}$ ,过渡圆半径 $r=4\text{mm}$ ,台阶个数取值3~4个。从有利于金属在挤压过程中沿着台阶逐个向前挤压,而不至于形成死角、折叠和褶皱等方面考虑,相邻的水平台阶的连接处的斜面与水平方向倾角大小采用 $45^\circ$ ;请参阅图4-2,“T”形上凹模4下端面的差速挤压台阶17与对应的“U”形下凹模5腔内的差速挤压台阶17,在纵向方向上有错位差,错位差为半个台阶的长度 $a/2=3\text{mm}$ 。图3-2中展示的“山”字形挤压腔壁未特别说明的所有过渡斜面的倾角均为 $45^\circ$ 。

[0057] 上述“阶梯”式差速径向挤压台阶的设计,主要作用是对进入“山”字形型腔16底部的金属施加挤压,改变其应力状态,增大变形。主要效果有三:

[0058] 一是,金属在流经“阶梯”式径向差速挤压台阶17时,与差速挤压台阶17的凸台相互作用,金属上下表面受到差速挤压台阶17的剪切力作用;

[0059] 二是,“阶梯”式差速径向挤压台阶为入口大出口小的通道,在金属挤压过程中金属会受到挤压台阶轴向上的挤压力作用;

[0060] 三是,上下差速挤压台阶在纵向上有个错位差,这个错位差在金属挤压过程中不但增加了金属上下反复挤压变形的次数,而且因为金属与错位台阶接触后,上下表面形成流速差,从而在金属内部产生一定的扭矩,使其内部也受到剪应力作用。

[0061] 本发明的“阶梯”式差速挤压台阶17,改变了金属的应力状态,极大地提高了挤压金属的塑性变形量。由于传统反挤压工艺杯形件微观组织为扁平状细长晶粒,组织各向异性较大,且环形通道转角挤压工艺的挤压件侧壁晶粒呈双模态分布,削弱了挤压件的综合性能,而本发明的“阶梯”式差速挤压台阶的设计,极大地破碎了细长的大晶粒,使大小晶粒细化更为均匀,对消除晶粒双模态分布效果明显。

[0062] 请参阅图5,图5为本发明挤压金属变形时金属流动分区示意图。镁合金毛坯在圆柱形冲头压力的作用下,经过三个阶段的变形:一是经过轴向类似圆柱墩粗变形阶段;二是径向挤压大变形阶段。随着压力机带动冲头12继续向下挤压,金属开始沿着在“山”字形挤压腔16底径向挤压,进入“阶梯”式差速径向挤压区;此过程中,金属通过差速挤压带后缩径挤压进入内径较小的挤压通道;三是转角挤压剪切变形阶段。随着压力机带动冲头继续向下挤压,金属在圆角变形区金属从径向流动转变为轴向流动,发生极大的剪切变形。

[0063] 本发明与镁合金杯形件传统挤压方法及环形通道转角挤压成形方法相比,具有以下有益效果:

[0064] (1) 提高镁合金的成形能力。镁合金为低塑性材料,即便是在高温下成形,也极易开裂。本发明的“山”字形挤压腔有效提高了挤压件的内部静水压力,极大提高镁合金材料的塑性。

[0065] (2) 获得高致密结构,细化晶粒效果更显著,获得更大平均等效应变,形变强化效果更加显著。本发明的“山”字形挤压腔底“阶梯”式差速挤压台阶大幅度增加了金属在“阶梯”式差速径向挤压区反复挤压变形的次数,使金属在流动过程中反复与错位的“阶梯”式差速挤压台阶发生交互作用,使表面与内部受到更多的剪切力和轴向挤压力,改变了镁合金材料内部应力状态,使其产生极大的变形量。金属经历“阶梯”式差速挤压区与随后的底部圆角剪切变形区后,可极大程度的焊合挤压件的内部孔隙、破碎变形体内部铸态组织、细化晶粒至亚微米及甚至纳米级、形成大角度晶界结构,获得高致密结构,大幅度增强镁合金材料的形变强化效果。

[0066] (3) 对消除晶粒双模态分布效果明显,有效降低成型件筒壁混合拉伸断裂机制的发生率。传统反挤压杯形件筒壁微观组织为拉长的细长晶粒,各向异性较明显。环形通道转角挤压而成的杯形件筒壁晶粒呈双模态分布,在一定程度上降低杯状件的塑性及力学性能。本发明针对上述工艺的这些不足,通过错位的“阶梯”式差速挤压台阶反复挤压和破碎粗大晶粒以及被拉长的细长晶粒,从而大幅度减少筒壁径向晶粒双模态分布,有效提高杯形构件的综合力学性能。

[0067] (4) 工艺参数可控性强,能够挤压出不同性能要求和规格的镁合金杯形构件。通过控制“阶梯”式差速挤压台阶的工艺参数:台阶个数、台阶长高比 $a/h$ 、过渡带倾角 $\alpha$ 来改变镁合金坯料在挤压变形过程中的受力情况,从而控制金属应力状态、等效应变、晶粒细化程度、塑性变形和组织均匀性等。



[0068] (5) 缩短了高性能镁合金杯形件的制作流程:传统反挤压成形高性能镁合金杯形件前,坯料为细长圆柱体,必须通过多道次圆柱墩粗制坯,本发明可以直接挤压成形高径比大于3的坯料而不发生失稳弯曲,从而省去了墩粗工序。直接利用轴向压力、径向压力、及切向剪切力的共同作用就可获得极大的塑性变形,有助于破碎树枝状组织及杂质,大幅度提高镁合金材料形变强化效果,获得硬度高,各向异性小,组织相对均匀,晶粒显著细化,综合力学性能更加优异的高性能镁合金杯形件。

[0069] (6) 通过Deform-3D有限元模拟软件进行模拟对比,验证了本发明的新型差速挤压杯形件能够获得更大的塑性变形量,有更多的金属在塑性变形过程中参与更大形变的流动。模拟参数设置方面,材料导入的是AZ80的参数模型,温度为380℃,网格划分为20000,冲头速度为1mm/s,摩擦系数为0.25。从模拟结果可以直观地看出,环形通道转角挤压成形的杯形件平均等效应变值(AVG)为4.01,而本发明的新型差速挤压杯形件平均等效应变值(AVG)高达4.89,显然,本发明的新型差速挤压杯形件的平均等效应变值显著大于环形通道转角挤压。从而证实了通过本发明的新型差速挤压方法制备的杯形件能够获得更大的塑性变形量。从变形的程度方面,从云图上可直观地观察到,差速挤压的筒壁外壁与内壁的颜色几乎是一致的,而环形通道转角挤压则是从外向内逐渐降低。这说明多阶梯的差速挤压成形方法可以使金属在塑性变形过程中“挤透”,也就是说可以使尽可能多的金属在塑性变形过程中参与更大形变的流动。

[0070] (7) 通过实验及显微组织分析对比,验证了本发明的新型差速挤压成形方法对消除晶粒双模态分布效果明显。分别采用环形通道转角挤压成形方法和本发明的差速挤压成形方法制得外径200mm内径170mm的AZ31镁合金杯状件(上述的具体实施方式部分采用的具体实例),成型件进行解剖,分别取试样筒壁部位垂直于金属流动方向的面(试样底部端面)在蔡司金相显微镜下进行显微组织观察,图7、图8分别为环形通道转角挤压成形、新型差速挤压成形的杯形件筒壁部位垂直于金属流动方向的面金相显微组织照片。从金相显微组织照片可以很直观地看出,采用新型差速挤压成形方法后的杯形件筒壁部位晶粒双模态分布现象明显消除。

[0071] (8) 本发明为镁合金杯形构件提供了一种短流程、高性能、可控性强的制造方法,为制备超细晶高性能杯形件提供了参考。随着航空航天、国防军工、交通运输等装备的轻量化水平提高,速度、可靠性、承载能力等战技指标要求也日益提升,对硬度高、承载能力强、组织相对均匀、各向异性小、综合力学性能更加优异的超细晶高性能镁合金杯形件的需求越来越大,综合性能要求越来越高,本发明应用前景将越来越好。

[0072] 对于本领域技术人员而言,显然本发明不限于上述示范性实施例的细节,而且在不背离本发明的精神或基本特征的情况下,能够以其他的具体形式实现本发明。因此,无论从哪一点来看,均应将实施例看作是示范性的,而且是非限制性的,本发明的范围由所附权利要求要求而不是上述说明限定,因此旨在将落在权利要求的等同要件的含义和范围内的所有变化囊括在本发明内。

[0073] 此外,应当理解,虽然本说明书按照实施方式加以描述,但并非每个实施方式仅包含一个独立的技术方案,说明书的这种叙述方式仅仅是为清楚起见,本领域技术人员应当将说明书作为一个整体,各实施例中的技术方案也可以经适当组合,形成本领域技术人员可以理解的其他实施方式。

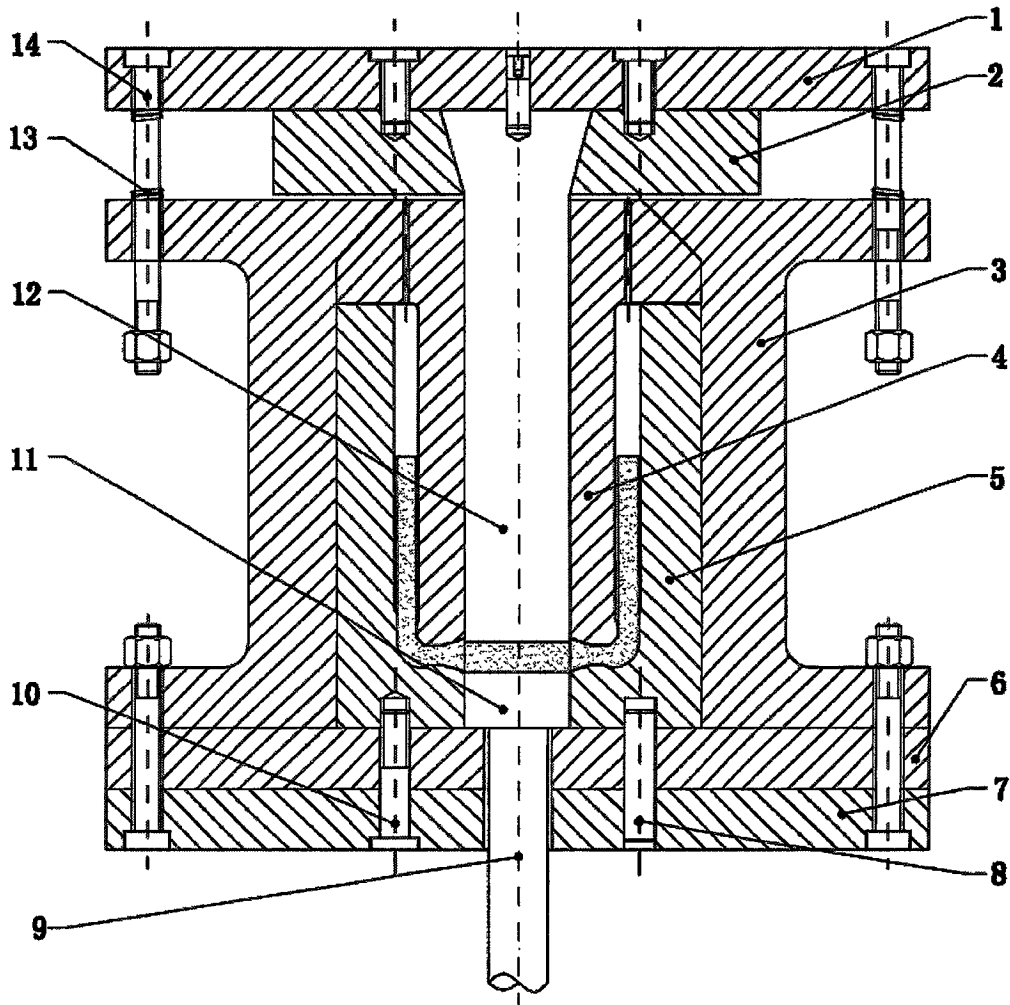


图1

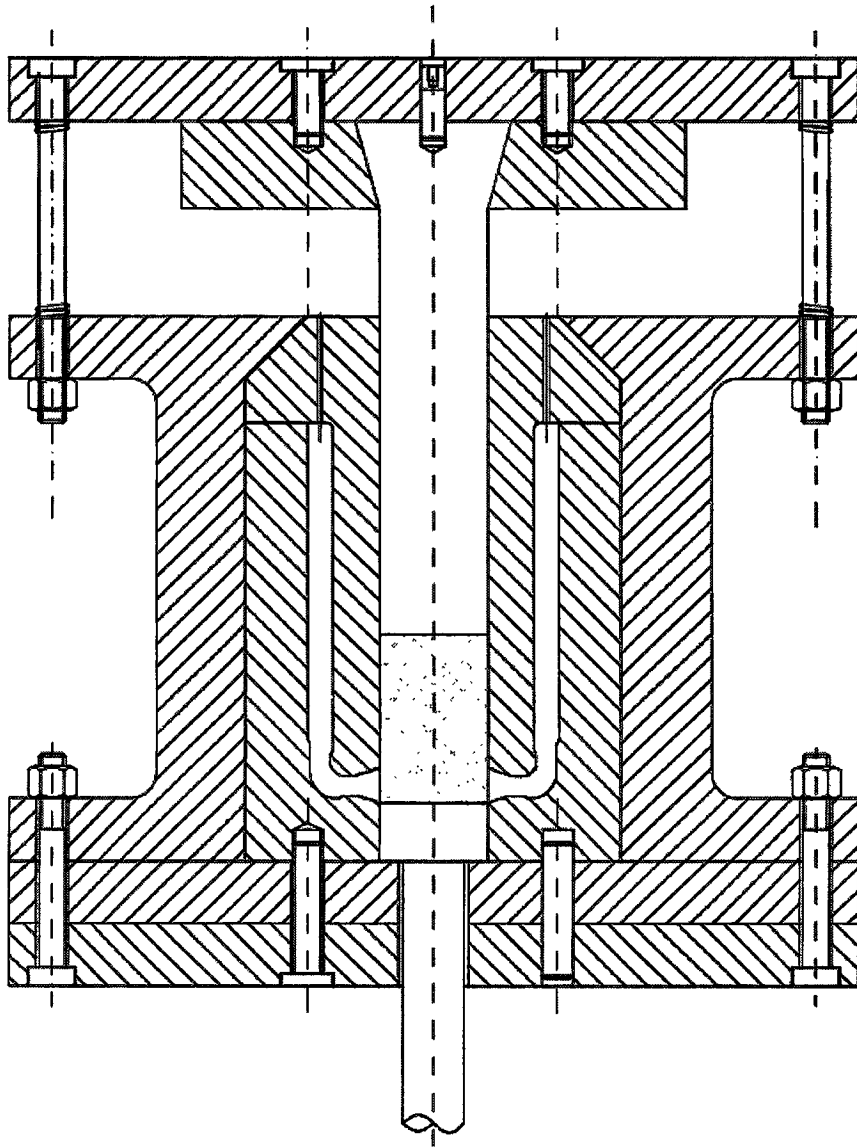


图2

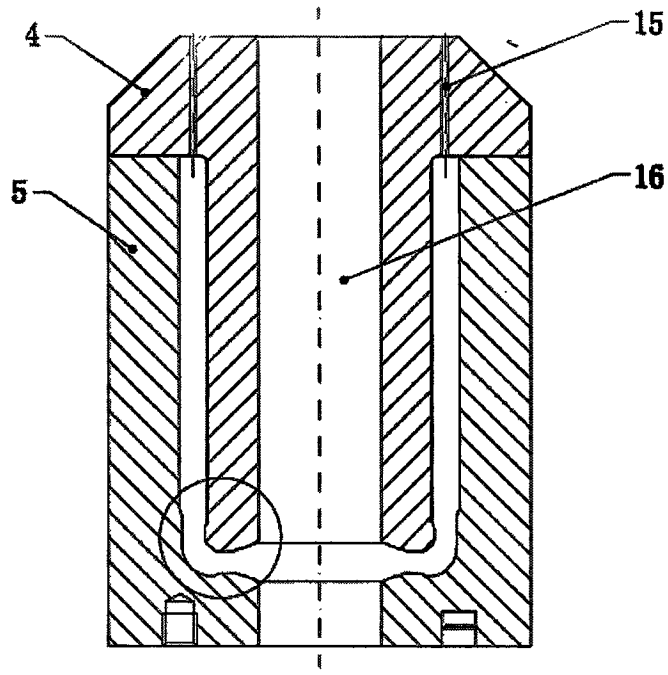


图3-1

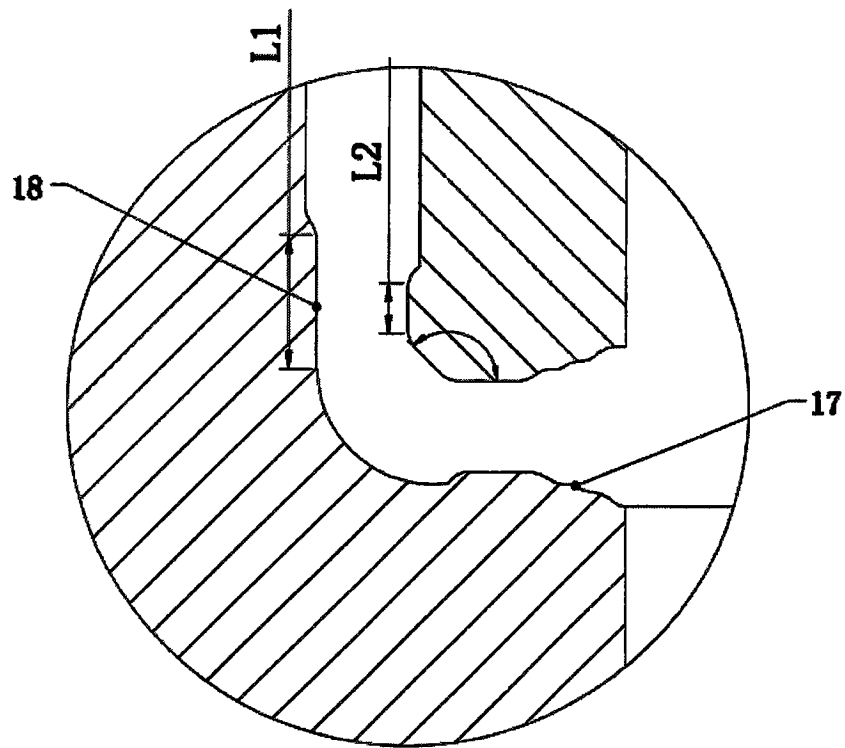


图3-2

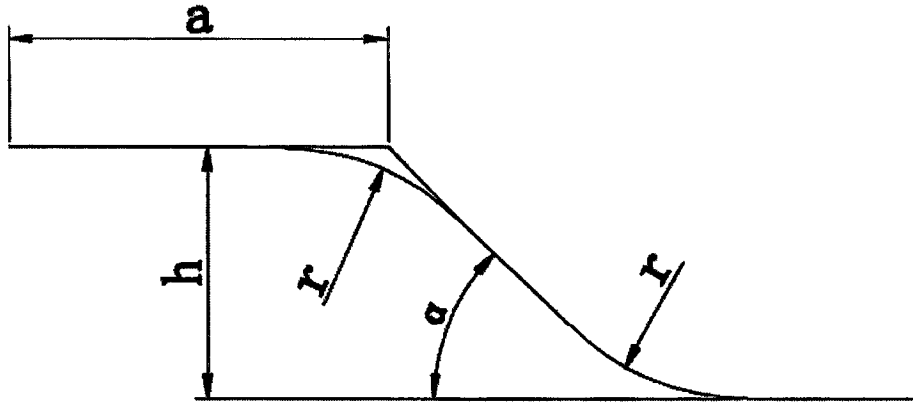


图4-1

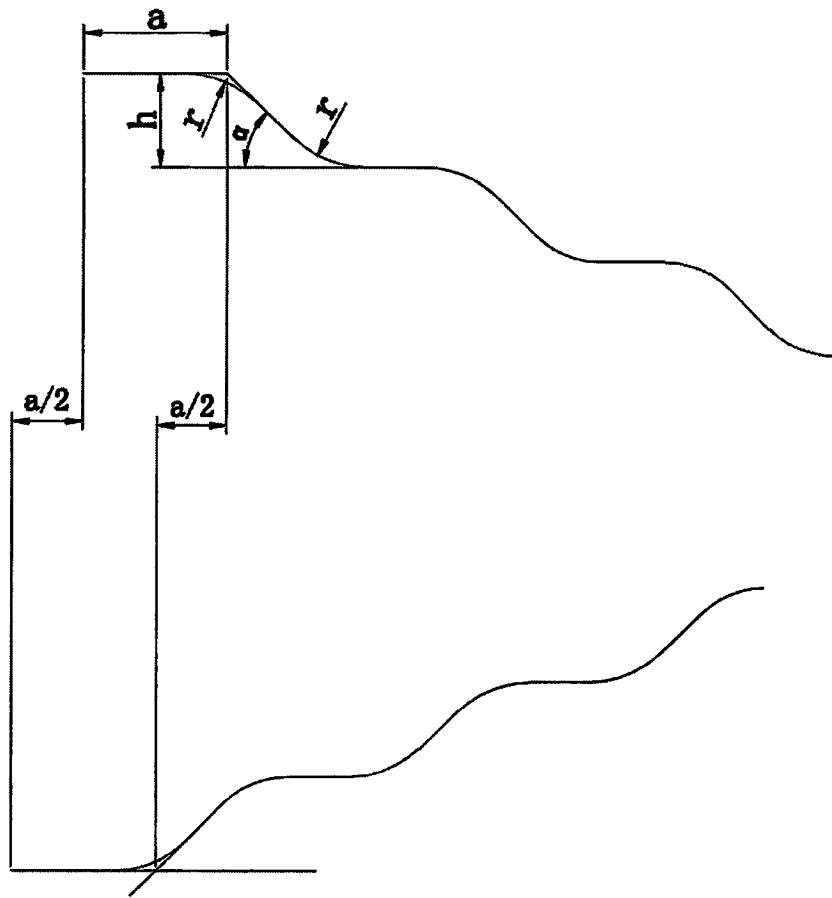


图4-2

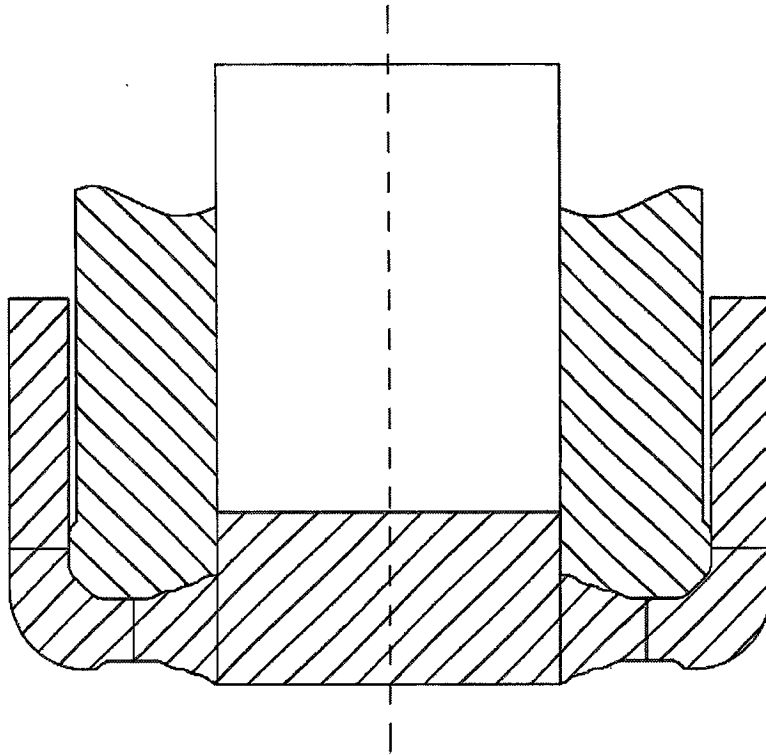


图5

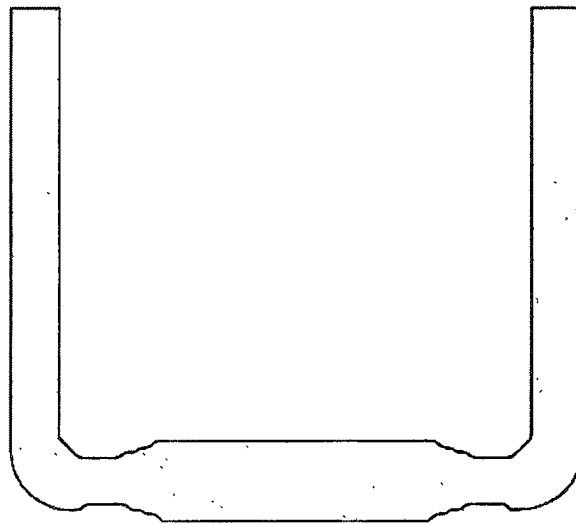


图6

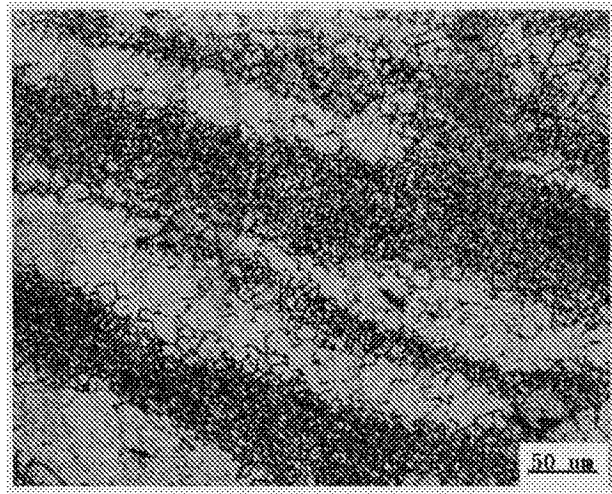


图7

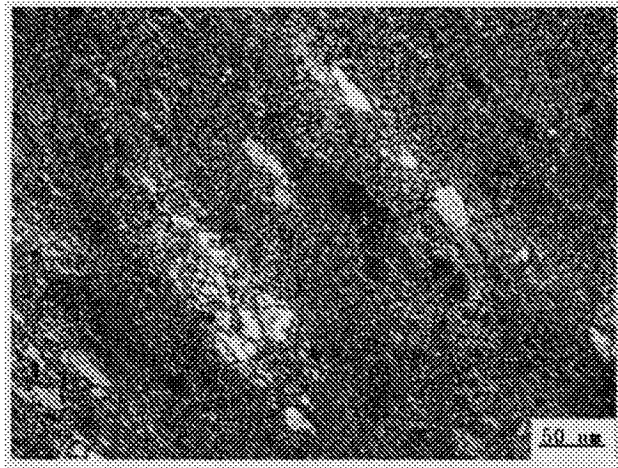


图8