



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103753150 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 09

(21) 申请号 201410039027. 1

(22) 申请日 2014. 01. 27

(73) 专利权人 重庆电子工程职业学院

地址 401331 重庆市沙坪坝区大学城东路  
76 号

(72) 发明人 李建平

(74) 专利代理机构 重庆弘旭专利代理有限责任  
公司 50209

代理人 文巍

(51) Int. Cl.

B23P 15/00(2006. 01)

B21C 23/00(2006. 01)

B21C 25/02(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102400071 A, 2012. 04. 04,

CN 102400071 A, 2012. 04. 04,

CN 103182632 A, 2013. 07. 03,

CN 203917595 U, 2014. 11. 05,

CN 1429717 A, 2003. 07. 16,

CN 101100027 A, 2008. 01. 09,

CN 201455116 U, 2010. 05. 12,

CN 102303059 A, 2012. 01. 04,

CN 102357645 A, 2012. 02. 22,

CN 102601141 A, 2012. 07. 25,

CN 202490841 U, 2012. 10. 17,

CN 202779248 U, 2013. 03. 13,

JP 特开 2001-353518 A, 2001. 12. 25,

JP 特开平 7-136800 A, 1995. 05. 30,

陆国桢等. 镁合金挤压成形技术的研究进

展. 《金属铸锻焊技术》. 2012, 第 86-94 页.

张丁非等. 挤压和热处理对 ZM61 镁合金组织  
和性能的影响. 《中国有色金属学报》. 2012, 第  
53-61 页.

刘静安. 镁及镁合金的特性与挤压工艺特  
点. 《铝加工》. 2011, 第 22-27 页.

艾秀兰等. AZ31 镁合金铸坯均匀化退火. 《金  
属热处理》. 2010, 第 23-26 页.

彭建. AZ61 镁合金挤压前预处理工艺研  
究. 《金属锻造焊接技术》. 2011, 第 90-96 页.

审查员 林森

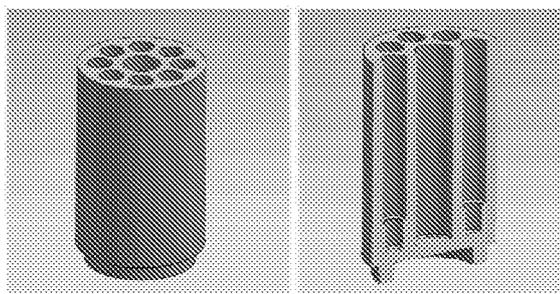
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种镁合金蜂窝状盲孔结构件的制备方法

(57) 摘要

本发明提供了一种镁合金蜂窝状盲孔结构件的制备方法,采用等温复合挤压半连续铸坯的精确塑性成形方法。本发明的模具并配合等温成形加热系统,成形过程中坯件一次入模,复合凸模挤压使蜂窝状盲孔结构件通过一道次成形,各部位的晶粒组织均匀性、性能一致性好,并实现其近净成形,提高了材料利用率、尺寸精度,解决了铸坯组织晶粒粗大,成形性能低的技术难题,实现复杂构件形状尺寸与组织性能的双重控制。



1. 一种镁合金蜂窝状盲孔结构件的制备方法,包括以下步骤:

(1) 镁合金铸坯下料准备:首先计算蜂窝状盲孔结构件的成形体积,并考虑铸坯外表面 1 ~ 2mm 的车削加工余量,将 AZ80-RE、MB26 或 AM60 半连续铸坯材料锯切下料;

(2) 两段梯度加热保温:将镁合金铸态坯件置于加热炉中,进行两段梯度加热保温处理:①在 140 ~ 160℃保温 30 ~ 60min,在镁合金坯件表面涂抹水基石墨润滑剂,采用喷涂方式涂抹;②升温至 380 ~ 440℃,保温 20 ~ 24h,使镁合金坯件热透,心部与表面温度一致;

(3) 等温复合挤压的近净成形:将坯件放入复合挤压模具系统凹模中近净成形,挤压速率为 6 ~ 8mm/s,复合挤压模具的温度控制在 380 ~ 400℃,通过一道次复合挤压成形获得蜂窝状盲孔结构件;

(4) 时效处理:将步骤(3)获得的镁合金蜂窝状盲孔结构件放入时效热处理炉中,在 (180 ~ 190) ± 5℃保温 12 ~ 20h。

2. 如权利要求 1 所述的镁合金蜂窝状盲孔结构件的制备方法,人工时效处理后冷却,冷却方式为水冷、风冷或空冷。

## 一种镁合金蜂窝状盲孔结构件的制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于镁合金材料精密塑性成形技术,即近净成形技术,特别是涉及一种镁合金蜂窝状盲孔结构件的近净成形方法。

### 背景技术

[0002] 镁合金作为最轻的金属结构材料,具有高比强度、比刚度、易回收等特点,被誉为“21世纪绿色工程材料”,在航空航天、汽车、电子等领域有着广泛的应用前景,由于镁作为典型的密排六方晶体结构,在常温下只有基面 {0001} 三个滑移系可以发生变形,因此在室温下塑性加工性能较差,是制约镁合金工程化应用的关键因素之一。

[0003] 目前,对于具有蜂窝状盲孔结构的镁合金零件,一般采用棒料直接机械加工成形或传统挤压成形方法。这些现有技术存在的具体不足和缺点如下:

[0004] 1. 采用棒料直接机械加工蜂窝状盲孔结构的镁合金零件,费工费料,材料利用率低,构件综合使用性能不高。尺寸规格较大的镁合金棒料主要有半连续铸坯或变形挤压棒料,半连续铸坯通常存在浇注凝固过程难以避免的缩松、缩孔等铸造缺陷,使镁合金材料的组织不致密,且晶粒组织粗大,其强度和延伸率不高,耐腐蚀性能较差,采用机械切削加工制成的构件仅能满足形状要求,不能改善铸坯材料的组织致密性;变形挤压棒料由大型挤压设备成形(设备吨位 $\geq 6000$ 吨),能耗高、材料成材率低导致材料价格贵,同时沿棒料挤压方向形成强烈的基面织构,采用切削加工也不能改善镁合金的晶粒组织与取向,构件各向异性大。

[0005] 2. 采用传统的挤压成形方法,大吨位的挤压设备行程精度低、控制困难,同时挤压模具在高温条件下都存在凸模、凹模导向精度低,并通过多道次挤压成形与加热工序使凸模寿命短的技术难题;同时材料按照等体积准备毛坯,材料受到三向应力作用沿凸模下行反方向流动(凹模壁),由于受力不均匀,盲孔与盲孔之间的位置不精确,且盲孔与盲孔之间的壁厚差大,后续加工过程难以找正,导致零件的合格率低;蜂窝状大长径比盲孔为直孔,在端面的同一圆周线上,设计凸模时拔模斜度较小,在盲孔侧壁容易产生折叠或者缺肉,并且成形完成后脱模困难,脱模后盲孔相对位置偏差大。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的为克服上述传统挤压成形技术的不足,以及采用棒料直接机械切削加工性能不高、材料浪费严重的技术难题,提供一种适用于批量生产、性能高的镁合金蜂窝状盲孔结构件的近净成形方法。

[0007] 本发明的目的是通过以下措施实现的:

[0008] 一种镁合金蜂窝状盲孔结构件的制备方法,采用等温复合挤压半连续铸坯的精确塑性成形方法。蜂窝状盲孔结构件的盲孔深度大于160mm,直径小于 $\phi 20\text{mm}$ ,长径比大于8,在成形过程中易导致铸坯件受力不均匀,盲孔充形不饱满与产生折叠,盲孔之间的孔壁壁厚差大,模具易损易裂等问题,本发明可很好的解决上述技术问题,使铸坯件与模具间受力

均匀,成形构件充型饱满,无金属紊流,且大幅提高模具寿命。进一步地,所述等温复合挤压的挤压速率为 $6 \sim 8\text{mm/s}$ 主温度为 $380 \sim 440^\circ\text{C}$ ,实现近净成形。优选地,所述半连续铸坯材料氢、氧等杂质含量小于 $0.1\%$ ,超声波探伤达到A级水平,进一步提高材料的变形性和力学性能;优选为AZ80-RE、MB26、AM60半连续铸坯材料。

[0009] 为了消除半连续铸坯镁合金材料组织中严重的枝晶偏析和共晶组织,提高材料的变形性,上述等温复合挤压前还包括两段梯度加热保温步骤:(1)将半连续铸态坯件在 $140 \sim 160^\circ\text{C}$ 保温 $30 \sim 60\text{min}$ ,将水基石墨润滑剂喷涂在坯件表面,减轻铸态坯件加热过程中表面氧化,同时成形过程中润滑剂降低铸态坯件与模具之间摩擦系数,提高成形过程中金属流动性,延长模具寿命;(2)进一步升温至 $380 \sim 440^\circ\text{C}$ ,保温 $20 \sim 24$ 具,消除铸态坯件中枝晶偏析、共晶组织等成分不均,并使镁合金材料棱柱面、锥面滑移系开动,提高变形性。

[0010] 为了避免重新加热固溶处理导致细晶粒的快速长达,形成粗大的晶粒组织,上述等温复合挤压后直接进行人工时效处理,人工时效温度 $170 \sim 200^\circ\text{C}$ ,保温 $12\text{h}$ 以上。人工时效处理后冷却,冷却方式为水冷、风冷或空冷。进一步时效析出强化,提高镁合金构件的力学性能,以及构件的尺寸稳定性。

[0011] 具体的,上述镁合金蜂窝状盲孔结构件的制备方法,包括以下步骤;

[0012] (1) 镁合金铸态坯件的下料准备:首先计算蜂窝状盲孔结构件的成形体积,并考虑铸坯外表面 $1 \sim 2\text{mm}$ 的车削加工余量,将AZ80-RE、MB26或AM60半连续铸坯材料坯锯切下料;

[0013] (2) 两段梯度加热保温:将镁合金铸态坯件置于加热炉中,进行两段梯度加热保温处理:①在 $140 \sim 160^\circ\text{C}$ 保温 $30 \sim 60\text{min}$ ,在镁合金坯件表面涂抹水基石墨润滑剂,采用喷涂方式涂抹;②升温至 $380 \sim 440^\circ\text{C}$ ,保温 $20 \sim 24$ 具,使镁合金坯件热透,心部与表面温度一致;

[0014] (3) 等温复合挤压的近净成形:将坯件放入复合挤压模具系统凹模中近净成形,挤压速率为 $6 \sim 8\text{mm/s}$ ,复合挤压模具的温度控制在 $380 \sim 400^\circ\text{C}$ ,通过一道次复合挤压成形获得蜂窝状盲孔结构件,成形过程如图3所示;

[0015] (4) 时效处理:将步骤(3)获得的镁合金蜂窝状盲孔结构件放入时效热处理炉中,时效工艺为保温温度 $170 \sim 200^\circ\text{C}$ 、保温时间 $12 \sim 20$ 具。

[0016] 镁合金蜂窝状盲孔结构件三维造型图如图1所示,中心大盲孔圆心与圆周8个等分小盲孔圆心在同一直径线上。

[0017] 上述镁合金蜂窝状盲孔结构件制备方法中所采用的近净成形模具,包括凸模部分和凹模部分;上述的凸模部分包括大凸模10、小凸模9和凸模套8,大凸模10和小凸模9固定于凸模套8。为了提高模具的使用寿命,并提供生产效率和尺寸精度,上述凸模部分还包括凸模套8、凸模垫板7、上模板4,凸模垫板7设置于凸模套8与上模板4之间,凸模垫板7和凸模套8将大凸模10和小凸模9卡夹于凸模套8内。大凸模10、小凸模9压装于凸模套8内,由凸模垫板7压紧,凸模部分设计成镶拼组合式结构,可以自由卸载,如果某个小凸模9和大凸模10磨损、疲劳断裂破坏,可以单独更换小凸模9和大凸模10,可以节省凸模部分加工费用,具有模具维修时间短、生产效率高等特点。大凸模10、小凸模9、凸模套8与凸模垫板7、上模板4通过螺栓连接;上模板4与油压机通过螺栓和定位销连接。

[0018] 上述凹模部分包括凹模12、模垫13、顶料杆16,模垫13设置于凹模12内底部,顶

料杆 16 设置于模垫 13 下端与之相配合。优选地,凹模部分还包括设置于凹模 12 下端的模座 17,设置于模座 17 下端的上垫板 15,设置于上垫板 15 下端的下模板 14,顶料杆 16 贯通上垫板 15、上垫板 15 和下模板 14。模垫 13 与镁合金蜂窝状盲孔结构件底端形状配合,并保证尺寸精度;下模板 14 与上垫板 15 通过螺栓连接,下模板 14 与油压机之间通过螺栓连接。凸模部分与凹模部分的型腔相对应,合模后形成镁合金结构件上的蜂窝状盲孔。

[0019] 为了保证凸模与凹模之间的对中,以及蜂窝盲孔与端面的相对位置精度,上述镁合金蜂窝状盲孔结构件的近净成形模具,在凹模模口设有单独的模口对中导向装置。所述的导向部分由导向支柱 21、导向柱凸台 20、导向柱固定板 19、限位套 18、导向套 6、导向套固定板 5 组成,导向支柱 21、导向套 6 之间的配合间隙为单边 0.25mm,在导向支柱 21 上设置限位套 18;在导向支柱 21、导向套 6 上分别设计有导向柱凸台 20、导向套凸台 22,导向套固定板 5 扣住导向套凸台 22,导向柱固定板 19 扣住导向柱凸台;在导向支柱 21、导向套 6 之间设置限位套 18。

[0020] 上述成形模具为如图 2 所示。

[0021] 有益效果

[0022] 1. 本发明与现有技术相比,在同样的设备条件下,对于镁合金蜂窝状盲孔结构件,采用了由大凸模、小凸模组成的镶拼组合式凸模系统,并配合等温成形加热系统,成形过程中坯件一次入模,复合凸模挤压使蜂窝状盲孔结构件通过一道次成形,各部位的晶粒组织均匀性、性能一致性好,并实现其近净成形,提高了材料利用率、尺寸精度,如图 4 所示;解决了铸坯组织晶粒粗大,成形性能低的技术难题,实现复杂构件形状尺寸与组织性能的双重控制。

[0023] 2. 本发明得到的蜂窝状盲孔结构件心部与外表面的组织结构平均晶粒尺寸在 30  $\mu\text{m}$  左右,室温抗拉强度大于 320MPa,断后伸长率大于 8%,晶粒尺寸得到明显细化,同时组织均匀性能好,能显著提高构件的力学性能。

## 附图说明

[0024] 图 1 本发明制得的镁合金蜂窝状盲孔结构件三维图(左侧为主视图,右侧为剖视图);

[0025] 图 2 本发明等温复合挤压成形模具主视剖视图;

[0026] 图 3 本发明等温复合挤压成形过程模拟图(随着复合凸模下行,铸态坯件在凸模和凹模的三向应力作用下,镁合金铸态坯件充满模具型腔成形出蜂窝状盲孔结构件,复合凸模下行不通下压量的成形过程);

[0027] 图 4 本发明制得的镁合金蜂窝状盲孔结构件零件图;

[0028] 图 5 半连续铸坯金相组织图谱(平均晶粒尺寸 250  $\mu\text{m}$ );

[0029] 图 6 典型构件的不同部位组织结构(左侧为心部组织,右侧为边部组织)。

## 具体实施方式

[0030] 下面结合实施例对本发明的具体实施方式做进一步的描述,并不因此将本发明限制在所述的实施例范围之中。

[0031] 实施例 1

[0032] 一种镁合金蜂窝状盲孔结构件的制备方法

[0033] 采用本发明设计的近净成形模具系统,以 AZ80-RE 镁合金半连续铸坯材料为例,进行蜂窝状盲孔结构件的近净成形,具体步骤如下:

[0034] (1) 镁合金铸态坯件下料准备:首先计算蜂窝状盲孔结构件的成形体积,并考虑铸坯外表面 1-2mm 的车削加工余量,将直径为  $\phi 160\text{mm}$  的 AZ80-RE 半连续铸坯锯切下料,将坯件表面车削加工成  $\phi 156\text{mm} \times 220\text{mm}$ 。

[0035] (2) 镁合金坯件加热保温:将 AZ80-RE 镁合金铸态坯件置于加热炉中,进行两段梯度加热保温处理:①在  $150^\circ\text{C}$  保温 30min,在镁合金坯件表面涂抹水基石墨润滑剂,采用喷涂方式涂抹;②在  $380^\circ\text{C}$  保温 20 具,使镁合金坯件热透,心部与表面温度一致。通过均匀化热处理以消除铸态镁合金组织中严重的枝晶偏析和共晶组织,提高材料的变形性。

[0036] (3) 等温复合挤压的近净成形:将均匀化热处理好的坯件放入复合挤压模具系统凹模中,通过对挤压速率、变形温度等工艺参数进行窄规格控制,实现镁合金蜂窝状盲孔结构件的近净成形;挤压速率为  $6\text{mm/s}$ ,复合挤压模具的温度控制在  $380^\circ\text{C}$ ,通过一道次复合挤压成形获得蜂窝状盲孔结构件,成形过程如图 3 所示。

[0037] (4) 人工时效处理:将步骤 (3) 获得的镁合金蜂窝状盲孔结构件放入时效热处理炉中,  $(180 \pm 5)^\circ\text{C}$  保温 12 具进行人工时效处理。然后进行空气冷却。

[0038] AZ80-RE 镁合金半连续铸坯组织结构如图 5 所示,平均晶粒尺寸约为  $250 \mu\text{m}$ ,室温抗拉强度为  $200\text{MPa}$ ,断后伸长率为 6%;采用本发明近净成形方法后,蜂窝状盲孔结构件心部与外表面的组织结构如图 6 所示,平均晶粒尺寸约为  $30 \mu\text{m}$ ,室温抗拉强度  $330\text{MPa}$ ,断后伸长率为 10%,晶粒尺寸得到明显细化,同时组织均匀性能好,能显著提高构件的力学性能。

[0039] 实施例 2

[0040] 采用本发明设计的近净成形模具系统,以 MB26 镁合金半连续铸坯材料为例,进行蜂窝状盲孔结构件的近净成形,具体步骤如下:

[0041] (1) 镁合金铸坯下料准备:首先计算蜂窝状盲孔结构件的成形体积,并考虑铸坯外表面 1-2mm 的车削加工余量,将直径为  $\phi 160\text{mm}$  的 MB26 半连续铸坯锯切下料,将坯件表面车削加工成  $\phi 156\text{mm} \times 220\text{mm}$ 。

[0042] (2) 镁合金坯件加热保温:将 MB26 镁合金铸态坯件置于加热炉中,进行两段梯度加热保温处理:①在  $150^\circ\text{C}$  保温 30min,在镁合金坯件表面涂抹水基石墨润滑剂,采用喷涂方式涂抹;②在  $440^\circ\text{C}$  保温 24 具,使镁合金坯件热透,心部与表面温度一致。通过均匀化热处理以消除铸态镁合金组织中严重的枝晶偏析和共晶组织,提高材料的变形性。

[0043] (3) 等温复合挤压的近净成形:将均匀化热处理好的坯件放入复合挤压模具系统凹模中,通过对挤压速率、变形温度等工艺参数进行窄规格控制,实现镁合金蜂窝状盲孔结构件的近净成形;挤压速率为  $8\text{mm/s}$ ,复合挤压模具的温度控制在  $400^\circ\text{C}$ ,通过一道次复合挤压成形获得蜂窝状盲孔结构件,成形过程如图 3 所示。

[0044] (4) 人工时效处理:将步骤 (3) 获得的镁合金蜂窝状盲孔结构件放入时效热处理炉中,  $(190 \pm 5)^\circ\text{C}$  保温 20 具进行人工时效处理。然后进行风冷却或水冷却。

[0045] 采用本发明近净成形方法后,平均晶粒尺寸约为  $20 \mu\text{m}$ ,室温抗拉强度大于  $350\text{MPa}$ ,断后伸长率为 12%,晶粒尺寸得到明显细化,同时组织均匀性能好,能显著提高构件的力学性能。

[0046] 实施例 3

[0047] 采用本发明设计的近净成形模具系统,以 AM60 镁合金半连续铸坯材料为例,进行蜂窝状盲孔结构件的近净成形,具体步骤如下:

[0048] (1) 镁合金铸坯下料准备:首先计算蜂窝状盲孔结构件的成形体积,并考虑铸坯外表面 1-2mm 的车削加工余量,将直径为  $\phi 160\text{mm}$  的 AM60 半连续铸坯锯切下料,将坯件表面车削加工成  $\phi 156\text{mm}\times 220\text{mm}$ 。

[0049] (2) 镁合金坯件加热保温:将 AM60 镁合金铸态坯件置于加热炉中,进行两段梯度加热保温处理:①在  $150^{\circ}\text{C}$  保温 30min,在镁合金坯件表面涂抹水基石墨润滑剂,采用喷涂方式涂抹;②在  $420^{\circ}\text{C}$  保温 22 具,使镁合金坯件热透,心部与表面温度一致。通过均匀化热处理以消除铸态镁合金组织中严重的枝晶偏析和共晶组织,提高材料的变形性。

[0050] (3) 等温复合挤压的近净成形:将均匀化热处理好的坯件放入复合挤压模具系统凹模中,通过对挤压速率、变形温度等工艺参数进行窄规格控制,实现镁合金蜂窝状盲孔结构件的近净成形;挤压速率为  $7\text{mm/s}$ ,复合挤压模具的温度控制在  $400^{\circ}\text{C}$ ,通过一道次复合挤压成形获得蜂窝状盲孔结构件,成形过程如图 3 所示。

[0051] (4) 人工时效处理:将步骤 (3) 获得的镁合金蜂窝状盲孔结构件放入时效热处理炉中,  $(180\pm 5)^{\circ}\text{C}$  保温 14 具进行人工时效处理。然后进行空气冷却。

[0052] 采用本发明近净成形方法后,平均晶粒尺寸约为  $35\mu\text{m}$ ,室温抗拉强度大于  $320\text{MPa}$ ,断后伸长率为 8%,晶粒尺寸得到明显细化,同时组织均匀性能好,能显著提高构件的力学性能。

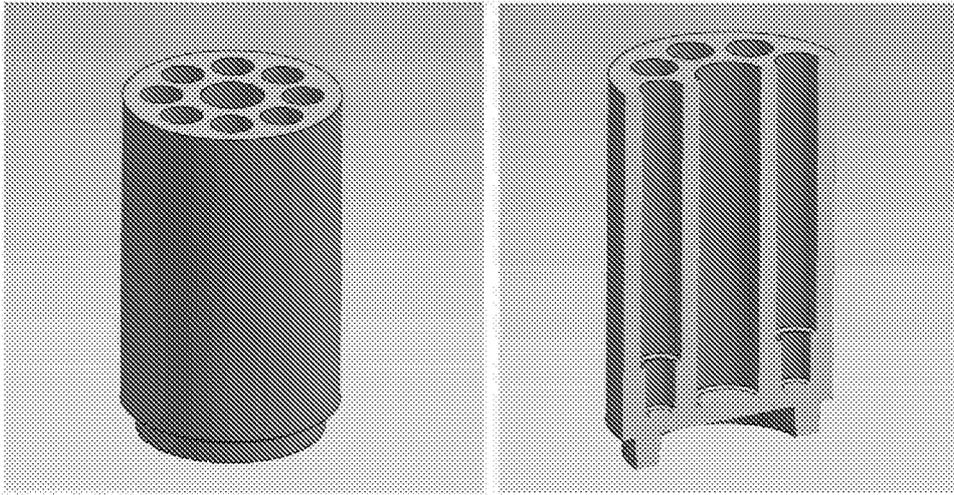


图 1

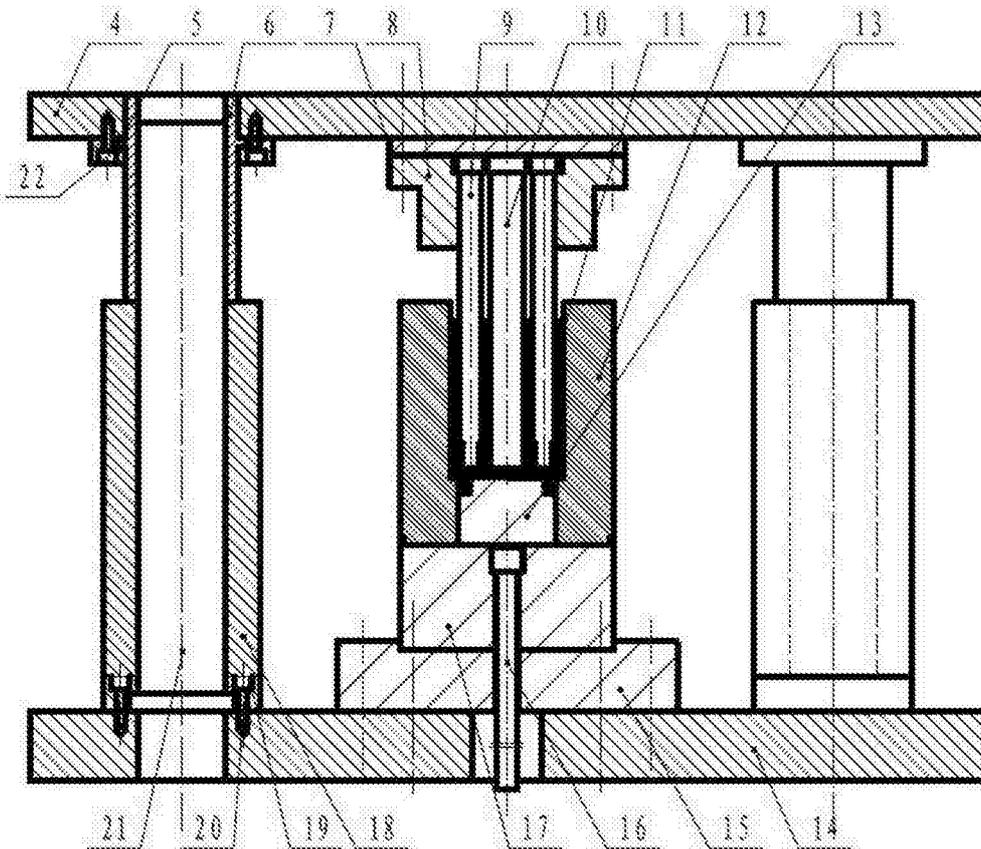


图 2

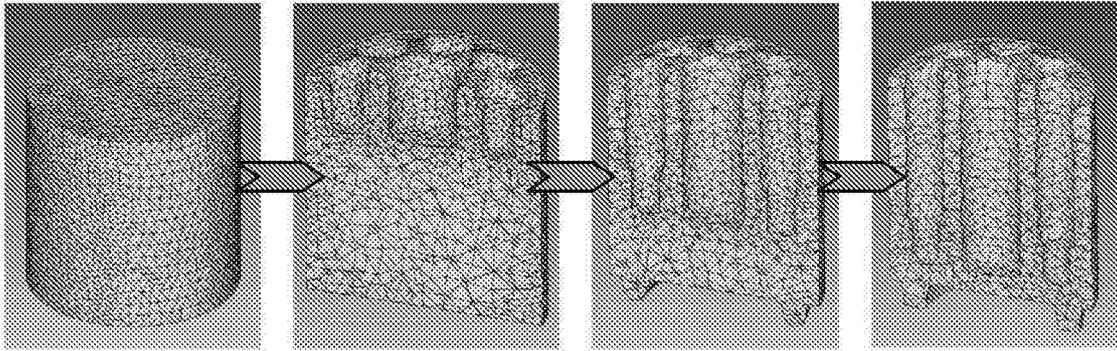


图 3

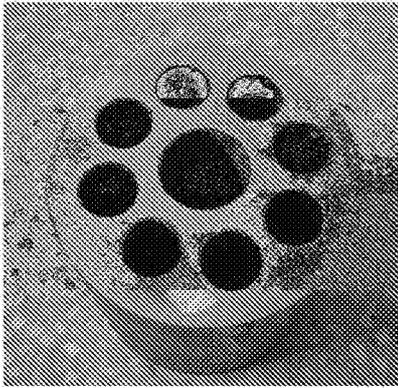


图 4

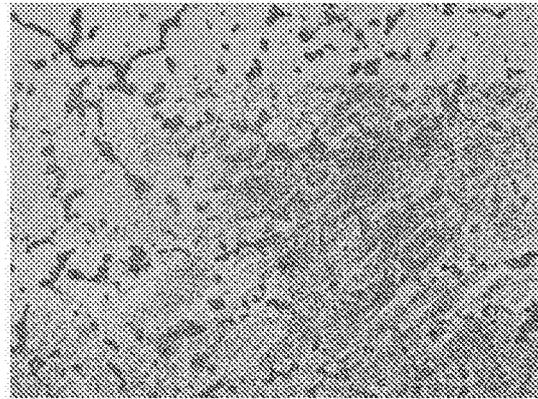


图 5

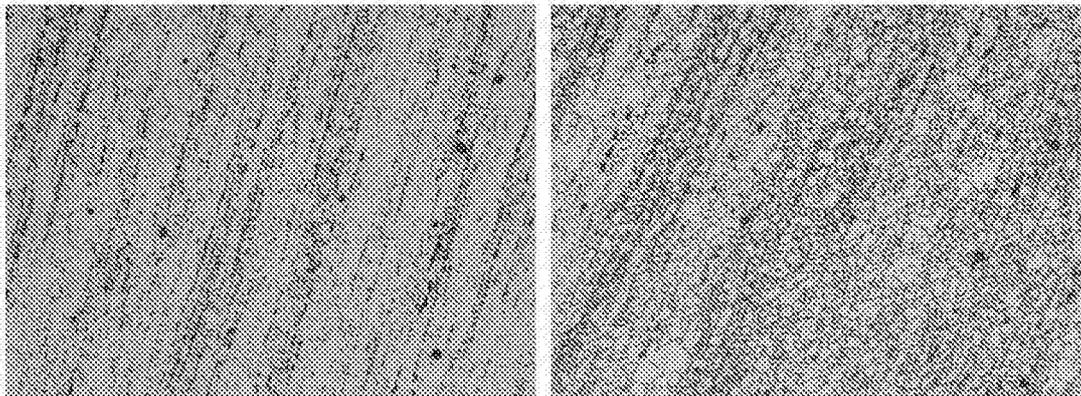


图 6