

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710092580.1

B21C 23/00 (2006.01)

B21C 31/00 (2006.01)

B21C 23/01 (2006.01)

B21C 25/02 (2006.01)

C10M 103/02 (2006.01)

C10M 101/02 (2006.01)

[43] 公开日 2008年1月9日

[11] 公开号 CN 101099978A

[22] 申请日 2007.8.14

[21] 申请号 200710092580.1

[71] 申请人 重庆大学

地址 400030 重庆市沙坪坝区沙坪坝正街174号

[72] 发明人 刘天模 卢立伟 潘复生 刘宇
王金星 姜丹 彭天成

[74] 专利代理机构 重庆志合专利事务所

代理人 胡荣琿

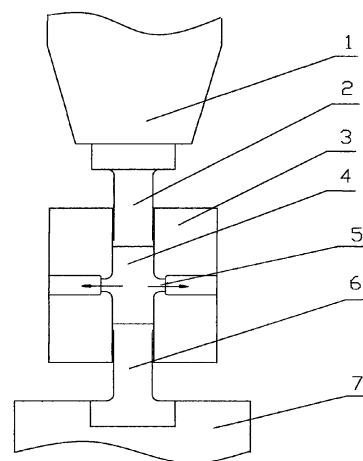
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

[54] 发明名称

镁合金挤压变形加工方法

[57] 摘要

本发明公开了一种镁合金挤压变形加工方法，采用双向挤压径向流动变径成型的挤压模，把模具加热后在挤压通道腔内均匀涂抹润滑剂，然后将经过均匀化处理的镁合金坯料加热后放入在已加热的模具的挤压通道中，通过挤压模的两个相向运动的凸模，同时以 1.5m/min ~ 2.5m/min 的挤压速度、2.5MPa ~ 5MPa 的挤压力，分别从镁合金坯料的两端进行双向等速挤压，使镁合金坯料由中部向模具挤压通道径向的变径型腔通道流动挤压变形。它采用双向挤压径向变径流动挤压变形，既能够极大地提高镁合金晶粒的细化效果，使镁合金材料的综合力学性能得到提高，又能够在低温挤压状态下不降低挤压速度，提高镁合金挤压变形加工的生产效率。



1. 一种镁合金挤压变形加工方法，首先将镁合金坯料进行均匀化处理，其特征在于：采用双向挤压径向流动变径成型的挤压模，把模具加热后在模具挤压通道腔内均匀涂抹润滑剂，然后将经过均匀化处理的镁合金坯料加热后放入在已加热的模具的挤压通道腔中，其镁合金坯料温度为 $230^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ ，模具温度比镁合金坯料温度高 $50^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，通过挤压模的两个相向运动的凸模，同时以 $1.5\text{m}/\text{min} \sim 2.5\text{m}/\text{min}$ 的挤压速度、 $2.5\text{Mpa} \sim 5\text{Mpa}$ 的挤压力，分别从镁合金坯料的两端对镁合金坯料进行双向等速挤压，使镁合金坯料由中部向模具挤压通道径向的截面积小于挤压通道截面积的变径型腔通道流动挤压变形。

2. 根据权利要求 1 所述的镁合金挤压变形加工方法，其特征在于：所述镁合金坯料由中部向模具挤压通道径向的多个变径型腔通道流动挤压变形，其挤压比为挤压通道的截面积大于多个变径型腔通道的截面积之和。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的镁合金挤压变形加工方法，其特征在于：所述镁合金坯料温度加热至 250°C ，放入温度加热至 300°C 的双向挤压径向流动变径成型的挤压模中，通过挤压模的两个相向运动的凸模，同时以 $1.5\text{m}/\text{min} \sim 2.5\text{m}/\text{min}$ 的挤压速度、 $2.5\text{Mpa} \sim 5\text{Mpa}$ 的挤压力，采用 4.5 的挤压比，从镁合金坯料的两端进行双向等速挤压，使镁合金坯料由中部向模具挤压通道径向的两个变径型腔通道流动挤压变形。

4. 根据权利要求 1 所述的镁合金挤压变形加工方法，其特征在于：所述镁合金坯料的均匀化处理是将镁合金坯料加热至 $380 \sim 420^{\circ}\text{C}$ 保温 6~24 小时。

5. 根据权利要求 1 所述的镁合金挤压变形加工方法，其特征在于：所述润滑剂为 74 号汽缸油+粒度 400 目的石墨混合而成的润滑剂。

6. 根据权利要求 5 所述的镁合金挤压变形加工方法，其特征在于：所述润滑剂的配制比例的重量百分比为 74 号汽缸油 60~90%，粒度 400 目的石墨 10~40%。

7. 一种用于如权利要求 1 所述的镁合金挤压变形加工方法的挤压模，其特

征在于：挤压模的凹模上设置双向挤压通道，所述双向挤压通道的中段对称设有至少两个径向延伸的型腔通道，所述型腔通道与双向挤压通道轴线垂直且贯穿凹模壁，双向挤压通道的截面积大于型腔通道的截面积之和；两个凸模分别由凹模的双向挤压通道的两端相向插入双向挤压通道与凹模形成间隙配合。

镁合金挤压变形加工方法

技术领域

本发明属于镁合金的挤压变形领域，特别涉及一种镁合金挤压变形加工方法。

背景技术

镁合金具有密排六方晶体结构，对称性低，其轴比(c/a)值为1.623，接近理想的密排值1.633，室温滑移系少，塑性变形能力差。在所有的镁合金的变形方式中，挤压变形较为容易，易形成大的生产量，变形后得到的材料的性能也得到较大的提高。塑性是变形镁合金的重要力学性能指标之一，它决定了材料、零件和构件的塑性加工成形性能和使用性能。我国变形镁合金材料的研制与开发仍处于起步阶段，缺少高性能镁合金板、棒和型材，如今国防军工、航空航天用高性能镁合金材料仍依靠进口，民用产品尚未进行大力开发。因此，研究和开发性能优良、规格多样的变形镁合金材料显得十分重要。

目前，工业生产中镁合金的挤压变形所采用挤压方式均为单向挤压，其镁合金坯料的挤压温度通常为350~450℃，挤压速度通常为1m/min~2.5m/min，这种单向挤压方式的挤压温度与挤压速度成正比，挤压温度越低，挤压速度越慢，如果挤压温度降低而挤压速度不随之而减慢，镁合金的成型效果将受影响，导致挤压出的材料出现裂纹，影响产品质量。参见图9，现在公开了的最先进的镁合金的单向挤压变形方式为ECAE (Equal channel angular extrusion) 的等径角挤压，这是一种利用纯剪切变形细化晶粒的大塑性变形加工方法，即将被挤压的镁合金坯料13，通过挤压模12上弯曲成90度角的单向等径挤压通道14进行挤压，使镁合金坯料在一个挤压杆11的压力下，由单向等径挤压通道一端向另一端运动，使镁合金坯料在经过单向等径挤压通道的90度转角时，受到剪切变形，将镁合金晶粒细化，提高被挤压的镁合金材料的力学性能，但是由于这种挤压方式仅仅是一个单向等径通道的挤压方式，挤压比为1，挤压温度为

300~350℃, 挤压速度为 0.6~1.2m/min, 其每挤压一道次后, 镁合金晶粒尺寸细化程度不能达到二分之一, 需经过多道次挤压才能够将镁合金晶粒细化到较小尺寸。如将晶粒为 210 μm 的镁合金坯料采用 ECAE 技术挤压变形, 需经过八道次的挤压, 镁合金的晶粒尺寸才能达到 10 μm 以下, 该方法虽然能够实现将镁合金晶粒细化到很小的程度, 但是因其采用多道次的挤压加工导致其生产效率降低; 并且由于 ECAE 技术的挤压速度为 0.6~1.2m/min, 每道次的挤压时间也相对较长, 同样导致其生产效率降低, 如果要提高单向挤压的挤压速度, 又会产品质量下降。因此, 在工业化生产需要提高生产效率的情况下, ECAE 技术显然存在不足。

发明内容

本发明的一个目的是针对现有技术的不足, 提供一种镁合金挤压变形加工方法, 它采用双向挤压径向变径流动挤压变形, 既能够极大地提高镁合金晶粒的细化效果, 使镁合金材料的综合力学性能得到提高, 又能够实现在低温挤压状态下不降低挤压速度, 提高镁合金挤压变形加工的生产效率。

本发明的又一目的是提供一种能够实现镁合金双向挤压径向变径流动挤压变形的挤压模。

本发明的目的是这样实现的: 首先将镁合金坯料进行均匀化处理, 采用双向挤压径向流动变径成型的挤压模, 把模具加热后在模具挤压通道腔内均匀涂抹润滑剂, 然后将经过均匀化处理的镁合金坯料加热后放入在已加热的模具的挤压通道腔中, 其镁合金坯料温度为 230℃~450℃, 模具温度比镁合金坯料温度高 50℃~100℃, 通过挤压模的两个相向运动的凸模, 同时以 1.5m/min~2.5m/min 的挤压速度、2.5Mpa~5Mpa 的挤压力, 分别从镁合金坯料的两端对镁合金坯料进行双向等速挤压, 使镁合金坯料由中部向模具挤压通道径向的, 截面积小于挤压通道截面积的变径型腔通道流动挤压变形。

本发明的又一目的是这样实现的: 挤压模的凹模上设有双向挤压通道, 所述双向挤压通道的中段对称设有至少两个径向延伸的型腔通道, 所述型腔通道与双向挤压通道轴线垂直且贯穿凹模壁, 双向挤压通道的截面积大于型腔通道

的截面积之和；两个凸模分别由凹模的双向挤压通道的两端相向插入双向挤压通道与凹模形成间隙配合。

由于采用了上述方案，采用双向挤压径向流动变径成型的挤压模，通过挤压模的两个相向运动的凸模，分别从镁合金坯料的两端进行双向等速挤压，使镁合金坯料由中部向凹模挤压通道径向的变径型腔通道流动挤压变形。这种挤压方法使镁合金在成型过程中金属流动时发生了原始粗大的晶粒被拉长成为细长的流线形组织，大部分流线区域发生了晶粒破碎现象，增大晶界面积促使再结晶形核，只需一次挤压变形，就能使被加工的镁合金起到极其显著的晶粒细化效果。以 AZ31 镁合金挤压变形为例，挤压前经均匀化处理的晶粒尺寸大小为 $350\ \mu\text{m}$ 的 AZ31 镁合金，只经过一道次挤压，晶粒尺寸就能细化到 $6.5\ \mu\text{m}$ ，其晶粒细化效果远胜于现有的 ECAE 技术，参见下表 1：

表1 晶粒细化效果对照表

挤压方式	挤压前晶粒大小	挤压温度	一道次挤压	二道次	三道次	四道次	八道次
本发明方法	$350\ \mu\text{m}$	250°C	$6.5\ \mu\text{m}$				
ECAE	$210\ \mu\text{m}$	350°C	$125\ \mu\text{m}$	$71\ \mu\text{m}$	$53\ \mu\text{m}$	$30\ \mu\text{m}$	$4\ \mu\text{m}$

由于本挤压方法是通过挤压模的两个相向运动的凸模，从镁合金坯料的两端同时进行双向等速挤压，虽然每个凸模的挤压速度为 $1.5\text{m}/\text{min} \sim 2.5\text{m}/\text{min}$ ，但是由于是两个相向运动的凸模分别从镁合金坯料的两端进行双向挤压，使镁合金坯料的挤压时间缩短，其挤压速度相当于单向挤压的 2 倍，由此提高镁合金挤压变形加工的生产效率。并且由于本挤压方法是使镁合金坯料由中部向凹模挤压通道径向的，截面积小于挤压通道截面积的变径型腔通道流动挤压变形，在挤压过程中金属流动过程中内部组织呈现出一定的方向性且晶粒细小，使晶粒被拉长甚至发生破碎，增加了再结晶形核率，细化了晶粒，即使在挤压温度低于 300°C 的状态下，其挤压速度不降低，仍以 $1.5\text{m}/\text{min} \sim 2.5\text{m}/\text{min}$ 的挤压速度进行挤压，镁合金发生完全的动态再结晶，通过这种动态再结晶过程，镁合金的组织得到细化，晶粒平均直径大大下降（如图 4、图 5、图 6 和图 7 所示）。

同时，还因为本挤压方法能够实现低温挤压成型的工业化生产，在提高工业生产效率的前提下，挤压后的镁合金材料具有抗拉强度高、屈服强度高、延伸性好的力学性能，可以用于对金属材料的综合力学性能要求高的领域，如航空航天、军工等领域。根据国标 GB228-2002 的标准，将 AZ31 镁合金采用本发明挤压方法挤压后的挤压件和采用传统挤压方法挤压后的挤压件，加工成标准拉伸试样进行拉伸试验，通过对照可见采用本发明挤压方法挤压的 AZ31 棒材的综合力学性能优于传统挤压方法挤压的 AZ31 棒材的综合力学性能，参见下表 2、3:

表 2 采用本发明挤压方法 AZ31 棒材的力学性能

挤压速度	坯料温度	抗拉强度 /Mpa	屈服强度 /Mpa	延伸率 (%)
1.5~2.5m/min	250℃	295	210	15.26
1.5~2.5m/min	300℃	288	200	14.75
1.5~2.5m/min	350℃	276	196	14.27
1.5~2.5m/min	400℃	270	194	14.05

表 3 采用传统挤压方法 AZ31 棒材力学性能

挤压速度	坯料温度	抗拉强度 /Mpa	屈服强度 /Mpa	延伸率 (%)
1~2.5m/min	370℃	255	200	12

下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。应理解的是，这些实施例是用于说明本发明，而不是对本发明的限制，在本发明的构思前提下对本发明挤压方法的简单改进，都属于本发明要求保护的范围。

附图说明

图 1 为本发明挤压方法的一种实施例示意图；

图 2 为 AZ31 镁合金铸态放大 200 倍数的微观组织照片；

图 3 为 AZ31 镁合金均匀化处理后放大 200 倍数的微观组织照片；

图 4 为 AZ31 镁合金坯料温度 250℃ 用本发明挤压产生的晶粒细化效果图；

图 5 为 AZ31 镁合金坯料温度 300℃用本发明挤压产生的晶粒细化效果图；
图 6 为 AZ31 镁合金坯料温度 350℃用本发明挤压产生的晶粒细化效果图；
图 7 为 AZ31 镁合金坯料温度 400℃用本发明挤压产生的晶粒细化效果图
图 8 为成型后金属组织图；
图 9 为 ECAE 的单向等径角挤压方法示意图。

具体实施方式

参见图 1，本实施例采用上下双向挤压双径向流动变径成型的挤压模，在立式挤压机上对 AZ31 镁合金棒材进行挤压变形加工。所述上下双向挤压双径向流动变径成型的挤压模的凹模 3 上设有双向挤压通道 4，所述双向挤压通道 4 的中段对称设有两个径向延伸的型腔通道 5，所述型腔通道 5 与双向挤压通道 4 轴线垂直且贯穿凹模 3 壁，双向挤压通道 4 的截面积大于两个型腔通道 5 的截面积之和；两个凸模 2、6 分别由凹模 3 的双向挤压通道 4 的两端相向插入双向挤压通道与凹模形成间隙配合。由于镁合金在铸造过程中，非平衡结晶所带来的各种偏析和存在于晶界及枝晶网络上的金属间化合物，使得铸坯的化学成分和组织很不均匀（如图 2 所示），造成热塑性的降低和加工性能的削弱。为改善铸锭化学成分和组织的不均匀性，由此提高其成型性，需要在铸造后对铸坯进行均匀化退火处理。所述镁合金坯料的均匀化处理是将镁合金坯料加热至 380~420℃保温 6~24 小时，本实施例采用首先将镁合金坯料加热至 400℃保温 15 小时进行均匀化处理，以求达到较佳的均匀化处理效果，经过均匀化处理的铸锭，粗大的枝晶消失，铸锭的化学成分和组织更加均匀（如图 3 所示）。挤压前，把凹模 3 加热至 300℃~550℃后，在凹模 3 的双向挤压通道 4 腔内均匀涂抹润滑剂，润滑剂可选用汽缸油、机油、石墨、玻璃、二硫化钼、植物油等，或者选其几种根据不同情况按不同比例混合使用。本实施例采用的润滑剂为由 74 号汽缸油加粒度 400 目的石墨混合而成的润滑剂，该润滑剂的配制比例的重量百分比为 74 号汽缸油 60~90%，粒度 400 目的石墨 10~40%，为达较佳的润滑效果，以配制比例的重量百分比为 74 号汽缸油 70%，粒度 400 目的石墨 30% 的润滑剂的效果最佳；然后将凹模 3 放置在固定在立式挤压机工作台上的模具底

座7上,使定位在模具底座7上的下凸模6由凹模3的挤压通道4下端口部分插入,封住凹模3的挤压通道4的下端腔口,再用垫块垫在凹模3与模具底座7之间,为下凸模6的挤压保留一定行程;然后将经过均匀化处理的镁合金坯料加热至 $230^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$,放入在已加热的凹模3的挤压通道4中。先由立式挤压机的压杆1带动上凸模2以 $1.5 \sim 2.5\text{m/min}$ 的速度单向预压 10mm 后停止,抽去凹模3与模具底座7之间的垫块,让凹模3悬空,再使立式挤压机的压杆1继续施压,通过挤压模的上下两个相向运动的凸模2、6,同时以 $1.5\text{m/min} \sim 2.5\text{m/min}$ 的挤压速度、 $2.5\text{Mpa} \sim 5\text{Mpa}$ 的挤压力,分别从镁合金坯料的上下两端进行双向等速挤压,即当挤压机的压杆1带动上凸模2向下施与压力运动时,下凸模6以同样的压力及速度反作用于坯料,使镁合金坯料由中部向凹模3挤压通道4两侧径向的变径型腔通道5流动挤压变形,其挤压比为挤压通道4的截面积大于两个变径型腔通道5的截面积之和。为使AZ31镁合金挤压加工后的棒材的综合力学性能达到高标准要求,可将镁合金坯料温度加热至 250°C ,放入温度加热至 300°C 的双向挤压径向流动变径成型的挤压模中,通过挤压模的两个相向运动的凸模,同时以 $1.5\text{m/min} \sim 2.5\text{m/min}$ 的挤压速度、 $2.5\text{Mpa} \sim 5\text{Mpa}$ 的挤压力,采用4.5的挤压比,从镁合金坯料的上下两端进行双向等速挤压,使镁合金坯料由中部向凹模3挤压通道4径向的两个变径型腔通道5流动挤压变形,其效果最佳。采用上述挤压方法在挤压机上挤压成棒材后,用吹风机快速冷却,防止晶粒长大,即可加工出各种镁合金棒料产品。

本发明不仅仅局限于在双向挤压时让镁合金坯料由中部向凹模3挤压通道4的两个径向的变径型腔通道流动挤压变形,也可以让镁合金坯料由中部向凹模3挤压通道4的多个径向的变径型腔通道流动挤压变形,其多个径向的变径型腔通道可以为3~6个,不管径向的变径型腔通道有多少,其挤压比为凹模3挤压通道4的截面积大于多个变径型腔通道的截面积之和。

本发明不仅仅局限于加工各种镁合金棒料,还可以根据凹模设置的径向的变径型腔通道的多少,凸模采用适当的挤压行程,还可以挤压出圆周具有多个圆柱体的镁合金特殊型材。

本发明不仅仅局限于上述的立式挤压机，也可以用在卧式挤压机进行双向挤压。采用卧式挤压机进行双向挤压，只需稍微改动模具结构便可实现。或者将模具定位，采用双向施与压力的挤压机同样能够实现对镁合金的双向挤压。

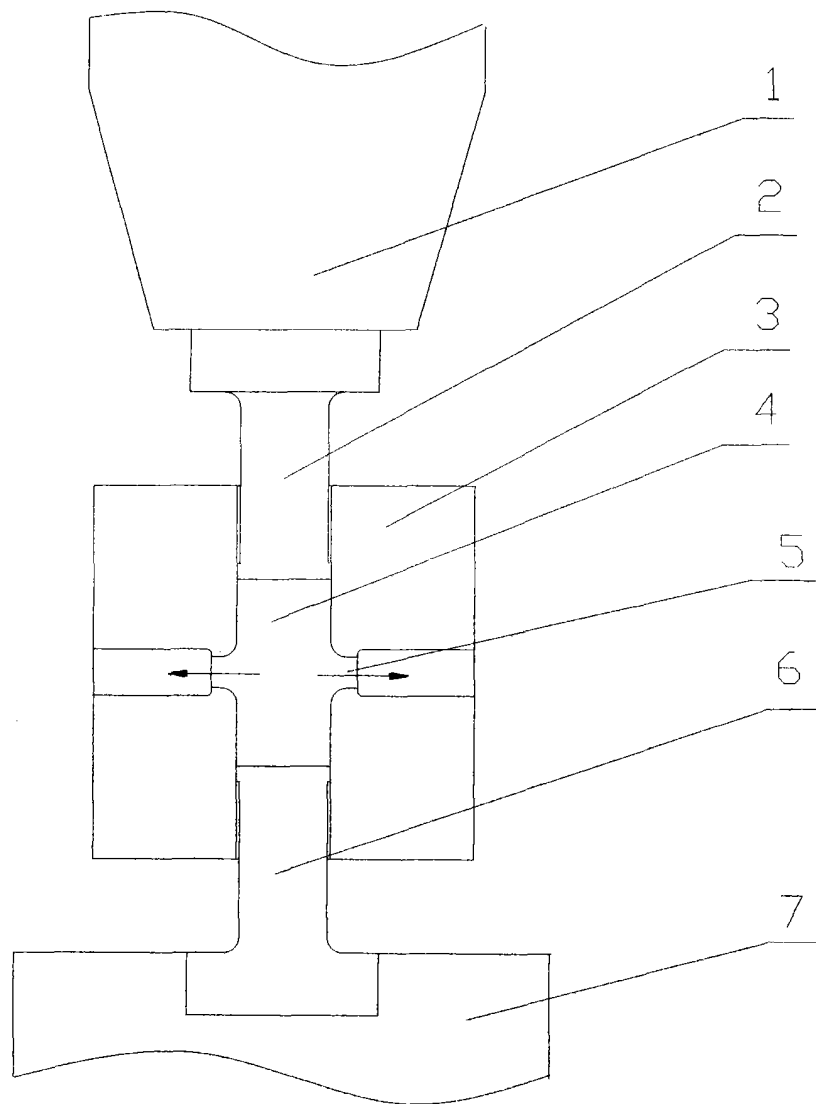


图1

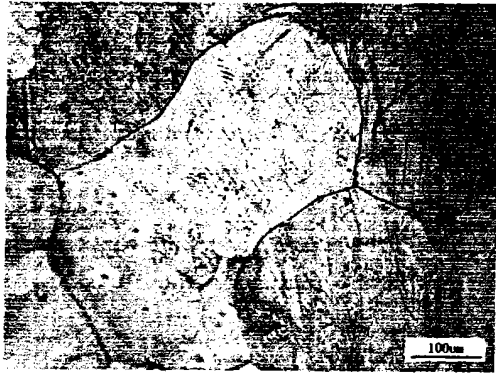


图 2

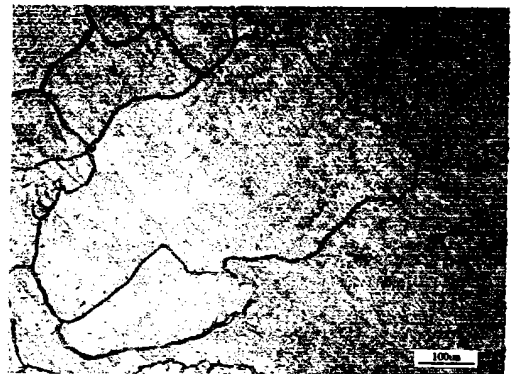


图 3

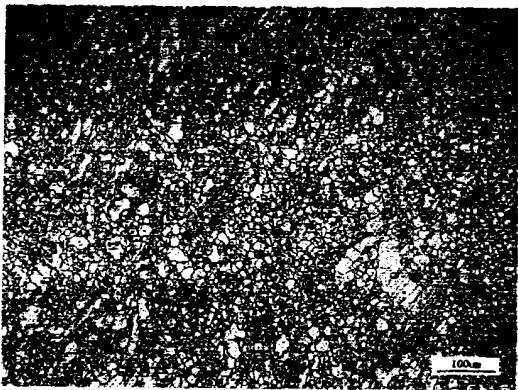


图 4



图 5

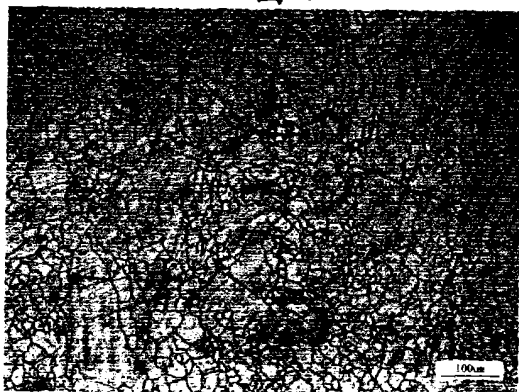


图 6

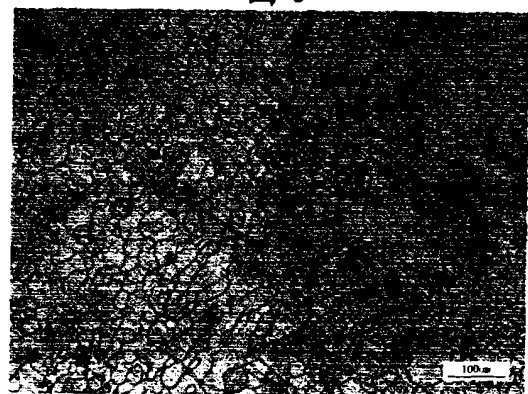


图 7

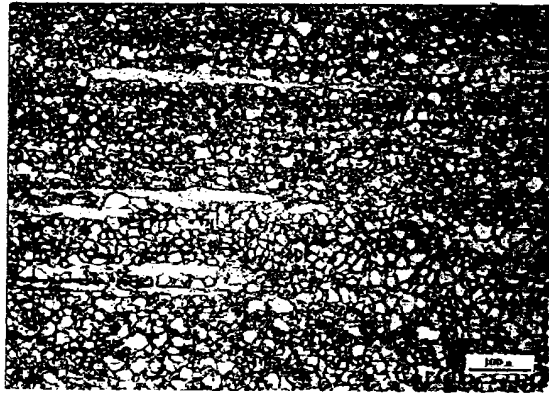


图 8

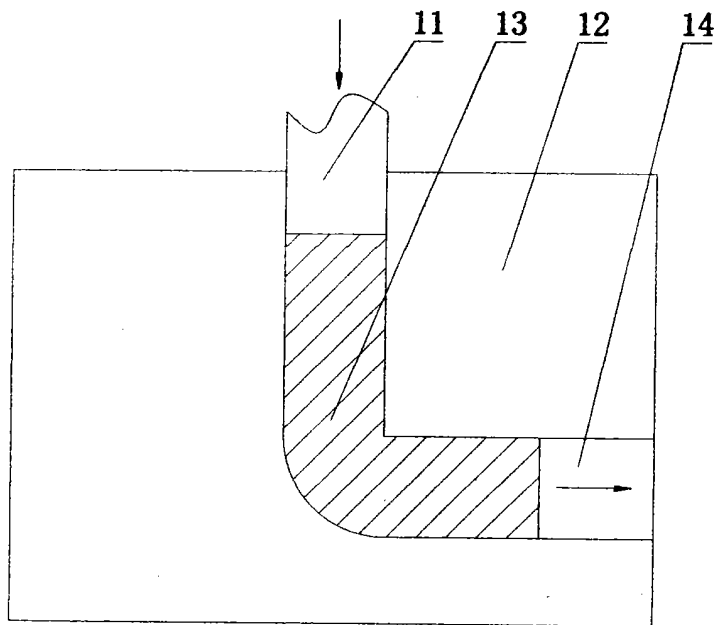


图9