

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101435064 B

(45) 授权公告日 2012. 05. 30

(21) 申请号 200810182454. X

(22) 申请日 2008. 12. 08

(73) 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华大学

(72) 发明人 李建国 何北星

(74) 专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限公司

公司 11327

代理人 陈英俊

(51) Int. Cl.

C22F 3/02(2006. 01)

B22D 27/00(2006. 01)

审查员 吴琛琛

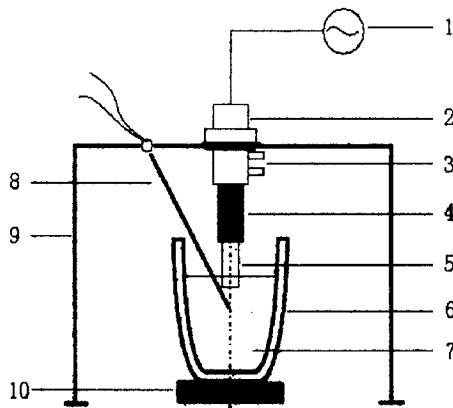
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 5 页

(54) 发明名称

用于金属及合金凝固的高声强超声处理装置及其处理方法

(57) 摘要

本发明提供一种高声强超声处理装置,用于金属及合金高温熔体凝固场合时的晶粒细化、除气及成分均匀化,其包括超声波发生器、换能器、变幅杆和耦合头,其中,所述超声波发生器包括频率锁相跟踪模块,对所述超声波发生器的工作频率自动进行跟踪、检测及调节匹配频率,实现所述超声波发生器与换能器系统的高频共振。通过采用频率锁相跟踪模块,解决了频率下降漂移问题,即使在不同的 高温熔体中,也能获得与在额定频率处开机时相同的超声效果,从而实现金属及合金凝固时的晶粒细化、除气及成分均匀化。



1. 一种高声强超声处理装置,用于金属及合金高温熔体凝固场合时的晶粒细化、除气及成分均匀化,其包括超声波发生器、换能器、变幅杆和耦合头,其特征在于,

所述超声波发生器包括频率锁相跟踪模块,对所述超声波发生器的工作频率自动进行跟踪、检测及调节匹配频率,实现所述超声波发生器与换能器系统的高频共振;

所述耦合头包括直杆状的上部和弯曲或弯折的弯曲部,所述直杆状的上部的中心轴线与所述弯曲部的中心轴线间的夹角为  $5^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ;

所述变幅杆为空心结构,其中通入冷却水或压缩空气进行冷却;

所述的耦合头为空心结构,其中通入冷却水或压缩空气进行冷却。

2. 根据权利要求 1 所述的高声强超声处理装置,其特征在于,

所述耦合头直杆状的上部的中心轴线与所述弯曲部的中心轴线间的夹角为  $5^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的高声强超声处理装置,其特征在于,

所述的耦合头的材料根据熔体不同,选用钛合金、铌合金、氮化硅、金属陶瓷中的某一种。

4. 一种高声强超声处理方法,利用如权利要求 i ~ 3 所述的高声强超声处理装置对金属及合金进行凝固时的晶粒细化、除气及成分均匀化,其特征在于,

所述超声波发生器的有效输出功率为 1000W 以下。

5. 根据权利要求 4 所述的高声强超声处理方法,其特征在于,

当用于金属及合金熔体砂型凝固情形时,使弯曲的耦合头直接插在浇冒口处,一个浇冒口处安置一个耦合头。

6. 根据权利要求 4 所述的高声强超声处理方法,其特征在于,

当用于金属及合金熔体半连铸时,所述耦合头数量依结晶器尺寸不同而不同;当为圆形结晶器且直径小于 300mm 时,采用一个所述耦合头;当直径大于 300mm、但小于 1200mm 时,采用 2 ~ 4 个所述耦合头;耦合头在横断面上均匀分布。

7. 根据权利要求 4 所述的高声强超声处理方法,其特征在于,

当用于金属及合金连续铸轧时,在前箱中设置 1 ~ 3 个的耦合头。

8. 根据权利要求 4 所述的高声强超声处理方法,其特征在于,

当用于铝及铝合金熔体时,耦合头的材质为铌合金或氮化硅。

9. 根据权利要求 4 所述的高声强超声处理方法,其特征在于,

当用于镁及镁合金熔体时,耦合头的材质选用钛合金、铌合金或氮化硅中的某一种。

10. 根据权利要求 4 所述的高声强超声处理方法,其特征在于,

当用于钢铁熔体时,所述耦合头的材质为金属陶瓷。

## 用于金属及合金凝固的高声强超声处理装置及其处理方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种高声强超声处理装置及其处理方法,尤其涉及在金属及合金凝固时可实现晶粒细化、除气及成分均匀化的高声强超声处理装置及其处理方法。

### 背景技术

[0002] 在金属及合金凝固时,如何有效地实现晶粒的不断细化、除气更彻底且成分更均匀,一直是人们研究的热点课题。这是因为,对于各种金属及合金的凝固而言,尽管分别有各自适用的晶粒细化剂及各自的除气方法和成分均匀化方法,但是仍然不同程度地存在细化效果不够理想、除气不彻底、成分不均匀等问题。

[0003] 例如,对铝及铝合金而言,尽管目前有像铝钛硼这样的商用中间合金晶粒细化剂,但至少还存在如下两方面的问题,一是这些中间合金晶粒细化剂不能用于高纯铝的晶粒细化,二是这些中间合金晶粒细化剂不能完全有效地抑制一些合金的凝固偏析。

[0004] 再如,对镁及镁合金而言,人们一直没有找到一种效果显著又没有各种局限性的中间合金来适应各种凝固晶粒的细化要求。例如,有些镁合金凝固晶粒细化时对成分有严格的要求,因而使一些中间合金晶粒细化剂的应用受到限制(如含钙或锶的镁铝系合金);有些镁合金(如镁锰系合金)本来就不能使用或没有中间合金来细化凝固晶粒;有些镁合金(如镁锌系合金),虽然存在有效的中间合金细化方法,但成本较高。

[0005] 因此,寻求使用中间合金晶粒细化剂以外的方法来有效或显著地细化金属及合金的凝固晶粒,就显得尤为迫切与重要。

[0006] 同样,对这些合金的除气或成分均匀化问题而言,也有必要寻求传统技术以外的手段加以一并解决。

[0007] 在现有技术中,针对上述问题,国内外采取的主要对策是运用物理场来细化凝固晶粒和均匀化成分。这里的物理场主要是指电场、磁场和超声场。但是电、磁场细化法投资相对较大,操作复杂,灵活性欠佳,效果有限。另外,在熔体中的作用面积或范围也有相对局限性。超声场作为一种新型的物理手段,可以细化金属及合金的凝固晶粒,进行除气及均匀化合金成分,但是利用这种技术对金属及合金进行处理的研究还不十分发达。究其原因,主要是由于工业生产实际中长时间的连续凝固模式与实验室里的短时间凝固模式有较大差别。当超声耦合头长时间处于高温熔体中时,其共振频率会发生显著的漂移,进而导致阻抗与频率不匹配,最后使得超声处理效果较差。

### 发明内容

[0008] 本发明是为了解决上述问题而提出的,其目的在于提供一种在金属及合金凝固时可实现晶粒细化、除气及成分均匀化的高声强超声处理装置及其处理方法。

[0009] 本发明提供的一种高声强超声处理装置,用于金属及合金高温熔体凝固场合时的晶粒细化、除气及成分均匀化,其包括超声波发生器、换能器、变幅杆和耦合头,其中,所述超声波发生器包括频率锁相跟踪模块,对所述超声波发生器的工作频率自动进行跟踪、检

测及调节匹配频率,实现所述超声波发生器与换能器系统的高频共振。

[0010] 本发明提供了一种高声强超声处理方法,利用上述的高声强超声处理装置对金属及合金进行凝固时的晶粒细化、除气及成分均匀化,其中,所述超声波发生器的有效输出功率为 1000W 以下。

[0011] 根据本发明的构成,通过采用频率锁相跟踪模块,解决了频率下降漂移问题,即使在不同的高温熔体中,也能获得与在额定频率处开机时相同的超声效果,从而实现金属及合金凝固时的晶粒细化、除气及成分均匀化。

[0012] 附图说明

[0013] 图 1 是表示利用本发明涉及的高声强超声处理装置处理凝固熔体时的工作状态的示意图。

[0014] 图 2a、2b 是表示在本发明涉及的高声强超声处理装置中使用的直线型耦合头和弯曲型耦合头的结构的示意图。

[0015] 图 3 是表示在本发明涉及的高声强超声处理装置中使用的具有水冷或气冷结构的耦合头的结构的示意图。

[0016] 图 4a、4b 是表示利用本发明涉及的高声强超声处理装置对 A356 合金进行细化处理前和处理后的合金凝固晶粒大小的显微对比图。

[0017] 图 5a、5b 是表示利用本发明涉及的高声强超声处理装置对 AZ31 合金进行细化处理前和处理后的合金凝固晶粒大小的显微对比图。

[0018] 图 6a ~ 6f 是表示利用本发明涉及的高声强超声处理装置对几种铝合金进行除气处理前(图 6a、6c、6d)和处理后(图 6b、6d、6f)的合金宏观形貌对比图。

[0019] 图 7a ~ 7d 是表示利用本发明涉及的高声强超声处理装置对 Al-14Si 合金进行均匀化处理前(图 7a、7c)和处理后(图 7b、7d)的合金显微组织对比图。

## 具体实施方式

[0020] 下面,参照附图详细说明本发明的较佳实施方式。

[0021] 图 1 是表示利用本发明涉及的高声强超声处理装置处理凝固熔体时的工作状态的示意图。如该图所示,高声强超声处理装置主要包括超声波发生器 1、换能器 2、变幅杆 4 和耦合头 5。此外,还具有用于供给冷却水的冷却水出入口 3,在容器 6 中装有金属及合金熔体 7,通过插入在熔体 7 中的热电偶 8 可以测量作为处理对象的熔体的温度。该容器 6 被设置在容器支承构件 10 上,并且支架 9 用于支承高声强超声处理装置。

[0022] 以往的超声波发生器只能在常温下及一个额定频率处获得最佳的超声效果,但在高温熔体中由于温度升高、声阻增大并导致频率发生大幅度下降漂移时,此时就不能获得理想的处理效果。因此,在本发明的超声波发生器 1 中采用了频率锁相跟踪技术,保证了高频发生器与换能器的高频共振。作为超声波发生器中使用的锁相技术,例如可以采用利用相位差反馈实现锁相的技术、或者利用电流反馈实现锁相的技术等。

[0023] 本发明通过采用对超声波发生器 1 的工作频率自动进行检测、跟踪及调节匹配频率的电路,解决了频率下降漂移问题后,即使在不同的高温熔体中,当频率在很宽的范围内漂移(如从设计的额定频率 20kHz 漂移到 15kHz)时,也能通过频率跟踪电路进行调节,并且与耦合头 5 在熔体 7 中的实际阻抗相匹配,从而获得与在额定频率处开机时相同的超声

效果。

[0024] 再者,以往的超声波发生器一般设计成连续工作,但本发明中的超声波发生器 1 则根据熔体温度的不同和晶粒细化、除气及成分均匀化的难易,而设计为连续与间断工作两种模式。以往的换能器往往转换效率不高,虽然设计的额定功率很大,但实际转换效率较低。再者,设计功率过大也非常不利于换能器的寿命。

[0025] 本发明中采用的换能器,经过力学计算优化了转换结构,可获得接近理想值的转换效率,因此,当在工业规模下使用时,超声波发生器的有效输出功率仅 1000W 以下即可满足要求。

[0026] 对于在本发明的高声强超声处理装置中的变幅杆 4 而言,通常采用实心结构。但在本实施方式中,根据处理的熔体不同,变幅杆 4 既可采用以往的实心结构,也可以采用空心结构。当设计为空心结构时,其中可以通入水或压缩气体进行冷却,用来降低变幅杆 4 的温度及声阻效应。

[0027] 如图 2a 所示,在超声波装置中使用的耦合头一般设计为直杆状,这有利于加工及节约材料成本。但在本发明的高声强超声处理装置中使用的耦合头 5,可以根据结晶器或铸轧辊的具体情况而设计为直杆状或弯曲状(包含弯折状)。图 2b 示出了一种弯曲型耦合头 5,该耦合头 5 的下部朝某一方向弯曲而形成下部弯曲部,从而使整个耦合头形成弯曲型耦合头。在该弯曲型耦合头 5 中,上部的铅直部分的中心轴线与下部弯曲部的中心轴线所成的夹角(即弯曲角)可以是在  $5^{\circ} \sim 60^{\circ}$  的范围中适当选取,较佳的是  $5^{\circ} \sim 45^{\circ}$  的范围。通过采用如上所述的弯曲型耦合头 5,能够进一步发挥本发明的高声强超声处理装置的声流效应(即在超声场中形成宏观和微观上稳定均匀的液体流动),能够防止进行超声波处理时出现的超声“死角”。

[0028] 图 3 是表示在本发明涉及的高声强超声处理装置中使用的具有水冷或气冷结构的耦合头 5 的结构示意图。以往的耦合头一般是实心结构,但本发明中使用的耦合头 5 可根据处理的熔体不同而设计为中空结构,复杂形状的金属中空结构可通过电子束技术加工,其中流过冷却水或冷却气体,进行水冷或气冷,降低耦合头 5 的温度,从而降低其声阻。例如,对于铝及铝合金熔体,耦合头可设计为空心的水冷或气冷结构。此外,本发明中的耦合头 5 的材料,可根据不同熔体情况选用钛合金、铌合金、氮化硅、金属陶瓷等材质中的一种。

[0029] 为了尽量减少耦合头 5 在熔体中的数量,以利于在实际生产中进行操作,本发明将根据金属及合金铸锭或铸坯尺寸设计耦合头数量及尺寸,但即使对于目前工业上尺寸较大的半连铸坯料(如直径为 1200mm 的圆锭、1200mm $\times$ 400mm 的扁锭),耦合头数量也仅需要 3~4 个即可。

[0030] 当在工业生产实际中使用时,只要将耦合头直接插入金属及合金熔体以下一定深度并打开超声波发生器及水冷或气冷系统即可。耦合头的具体插入位置及深度要根据半连铸时实际结晶器大小或连续铸轧时的容器(例如前箱)位置及大小而确定,但须保证超声波能辐射到正在凝固的固液界面上。

[0031] 在利用本发明中记载的高声强超声处理装置对金属及合金的凝固过程进行处理时,还可以同时利用例如中间合金晶粒细化法。这样,当叠加使用这两种不同的方法时,能进一步加强凝固晶粒的细化效果。这是因为在本发明的高声强超声处理装置所产生的高声

强超声场作用下,通过中间合金晶粒细化剂加入到熔体中的异质核心,获得了更多的形核机会。

[0032] 作为利用上述高声强超声处理装置对金属及合金的凝固过程进行处理的高声强超声处理方法,可以有如下具体实施例。

[0033] (实施例 1) 当直接用于金属及合金熔体砂型凝固情形时,弯曲的耦合头 5 直接插在浇冒口处,一个浇冒口处安置一个耦合头 5,耦合头内部为实心结构即可,如附图 1 所示,此时容器 1 所在的位置相当于砂型。

[0034] (实施例 2) 当直接用于金属及合金熔体半连铸时,其耦合头数量依结晶器尺寸不同而不同;当为圆形结晶器且直径小于 300mm 时,可用一个耦合头;当直径大于 300mm、但小于 1200mm 时,用 2~4 个耦合头即可,耦合头可在横断面上均匀分布;如直径再增大,可依实际情况适当增加耦合头数量;当为金属及合金方锭或扁锭时,若横截面长度方向尺寸在 300~500mm 之间时,选用弯曲的耦合头。

[0035] (实施例 3) 当直接用于金属及合金连续铸轧时,其耦合头数量可依前箱尺寸及轧辊尺寸而定,一般在前箱中设置 1~3 个弯曲的耦合头。

[0036] (实施例 4) 当直接用于铝及铝合金熔体半连铸时,耦合头 5 可选用铌合金或氮化硅材质,其形状可为直杆状,也可为弯曲状(弯曲角从  $5^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$  的范围中适当选取,较佳的是  $5^{\circ}$ ~ $45^{\circ}$  的范围);其内部可为实心结构,也可为空心结构;头部可以是平的,也可以是圆的。

[0037] (实施例 5) 当直接用于镁及镁合金半连铸时,耦合头 5 可选用钛合金、铌合金或氮化硅中的一种材质,其形状可以是直杆状,也可以是弯曲状,头部可为平的,也可为圆的,但内部仅为实心结构。

[0038] (实施例 6) 当直接用于铝及铝合金连续铸轧时,耦合头 5 可选用铌合金或氮化硅材质,其形状可为直杆状,也可为弯曲状(弯曲角从  $5^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$  的范围中适当选取,较佳的是  $5^{\circ}$ ~ $45^{\circ}$  的范围),内部可为实心的,也可为空心的。

[0039] (实施例 7) 当直接用于镁及镁合金连续铸轧时,耦合头 5 可选用钛合金、铌合金或氮化硅材质,其形状可为直杆状,也可为弯曲线(弯曲角从  $5^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$  的范围中适当选取,较佳的是  $5^{\circ}$ ~ $45^{\circ}$  的范围),但内部仅为实心结构。

[0040] (实施例 8) 当用于钢铁熔体时,所述耦合头的材质为金属陶瓷,但内部仅为实心结构。

[0041] (实施例 9) 当直接用于其它金属及合金熔体(如铜合金、锌合金、铁合金等)时,可参考上述的各个实施例进行。

[0042] 将本发明的高声强超声处理装置直接用于铝及铝合金晶粒细化时,其效果如图 4a、4b 所示;当直接用于镁及镁合金晶粒细化时,其效果如附图 5a、5b 所示;当直接用于除去铝与铝合金熔体中的气体时,其效果如附图 6a~6f 所示;当直接用于均匀化铝合金成分、减少偏析时,其效果如附图 7a~7d 所示。从以上各图中可以看到,采用本发明的高声强超声处理装置之后,晶粒细化效果、除气效果及均匀化效果非常明显。其中,如图 7a~7d 所示,在利用本发明进行处理前(图 7-a、7c),在铸锭的上下部位初生 Si 相发生了严重的凝固偏析,利用本发明进行处理后(图 7-b、7d),铸锭上下部位初生 Si 相未发生凝固偏析。

[0043] 虽然上面针对高声强超声处理装置及处理方法描述了本发明的原理以及具体实

施方式,但是,在本发明的上述引导下,本领域技术人员可以在上述实施例的基础上进行各种改进和变形,而这些改进或者变形落在本发明的保护范围内。本领域技术人员应该明白,上面的具体描述只是为了解释本发明的目的,并非用于限制本发明。因此,本发明的思想并不限于以上说明的实施例,本发明的思想范畴不仅包括权利要求书记载的范围,还包括与权利要求等同或者等价的变形。

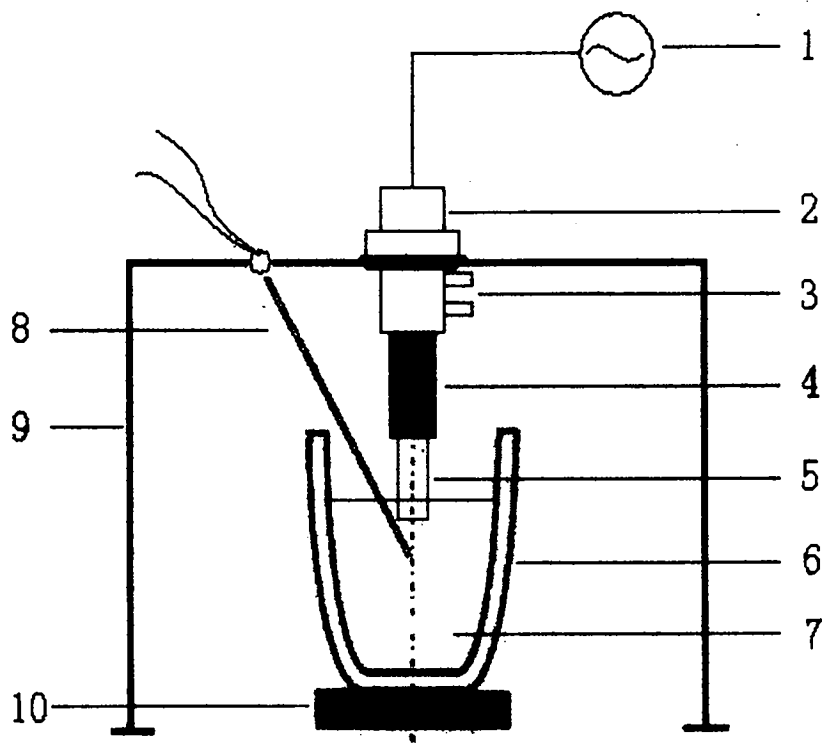


图 1

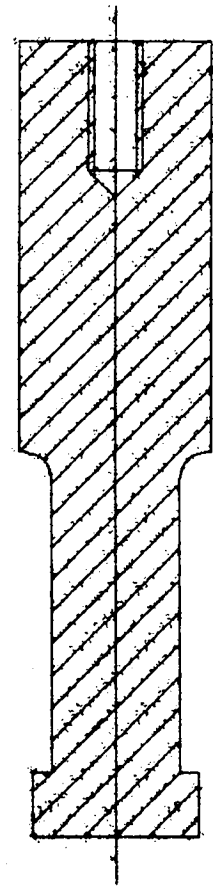


图 2a



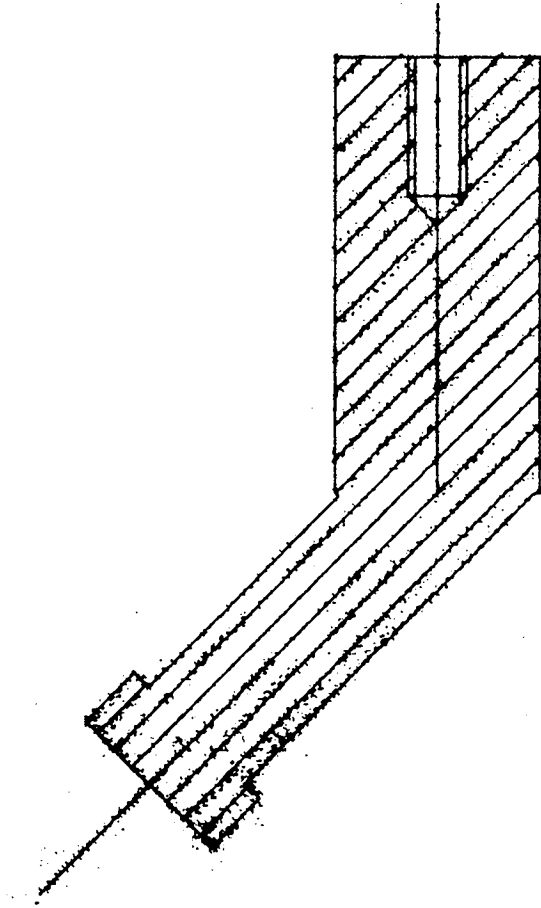


图 2b

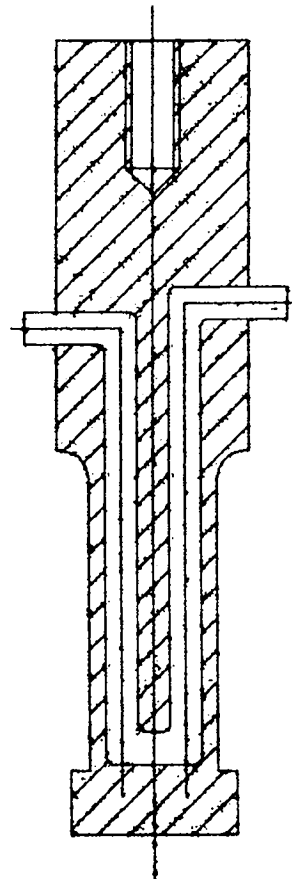


图 3

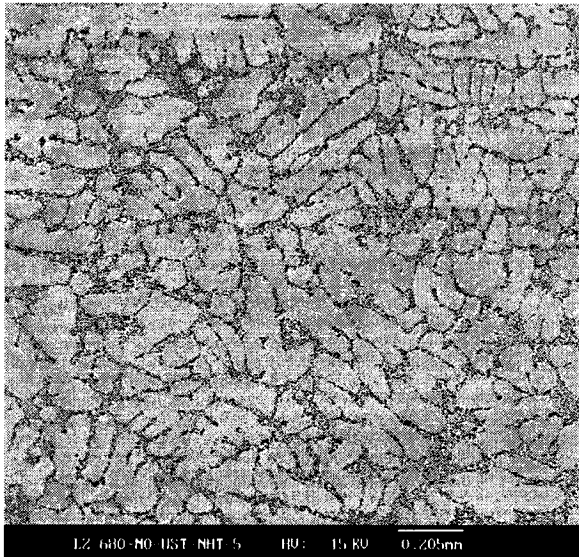


图 4a

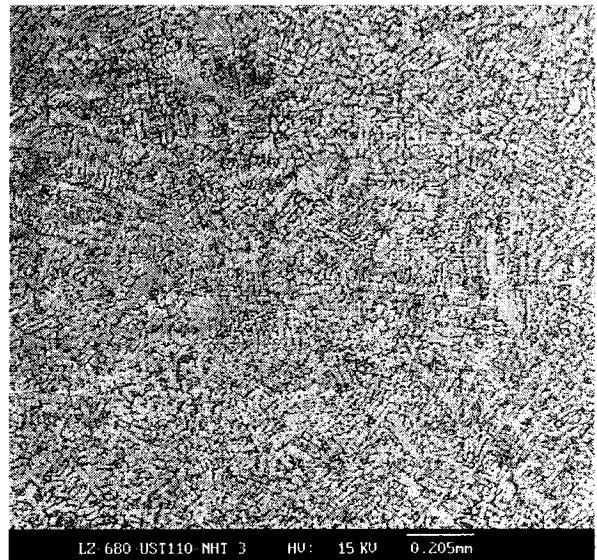


图 4b

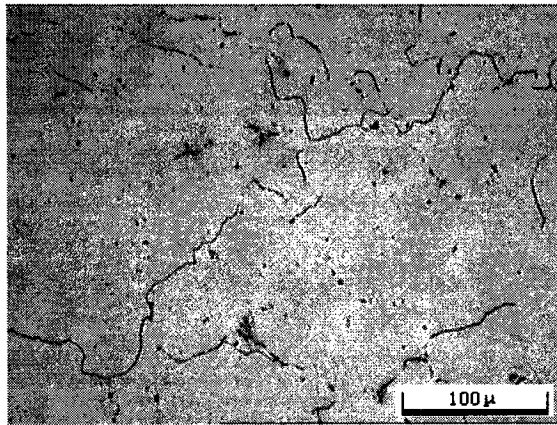


图 5a

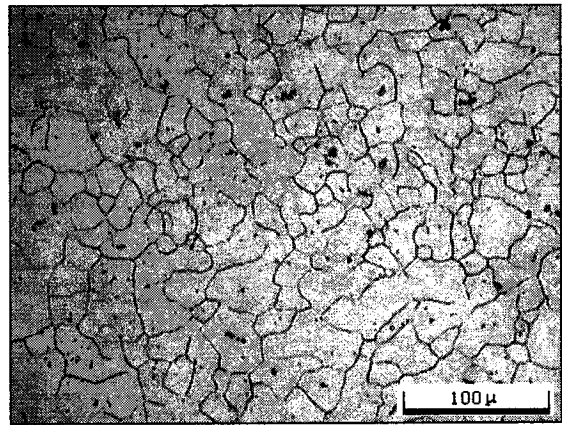


图 5b

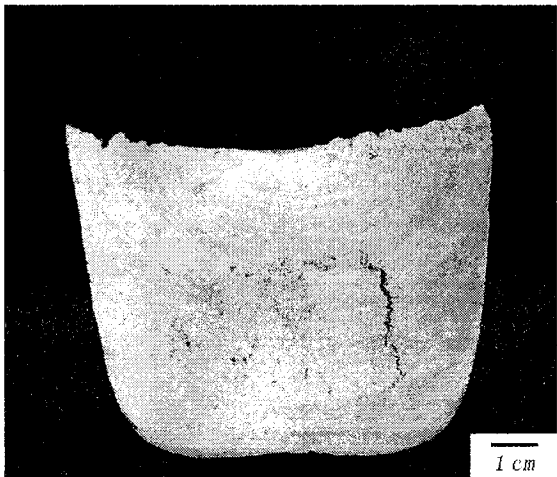


图 6a

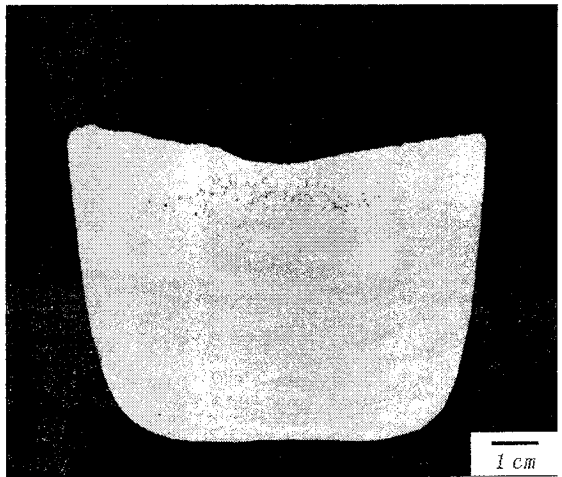


图 6b

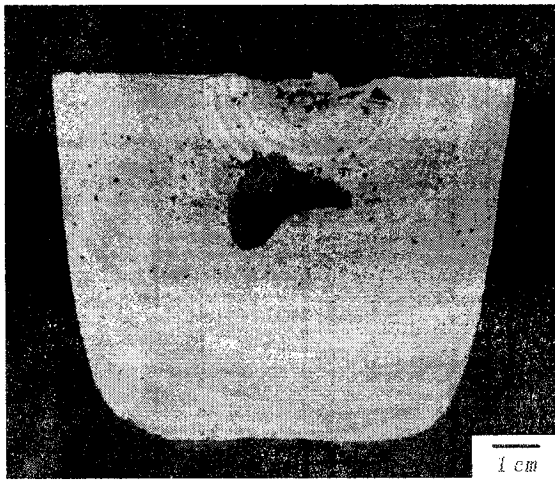


图 6c

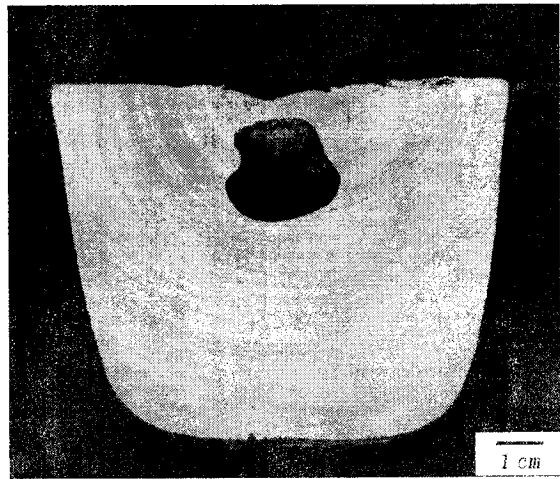


图 6d

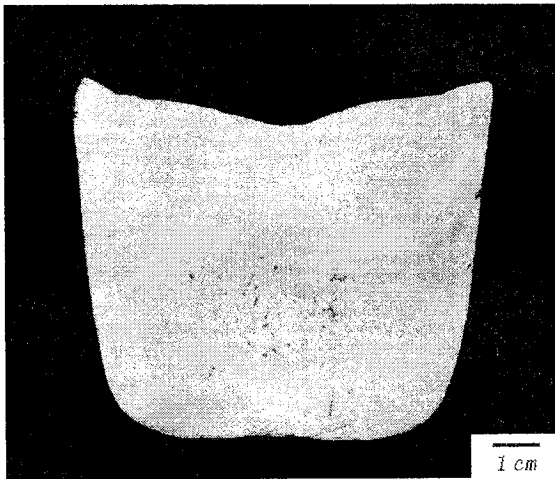


图 6e

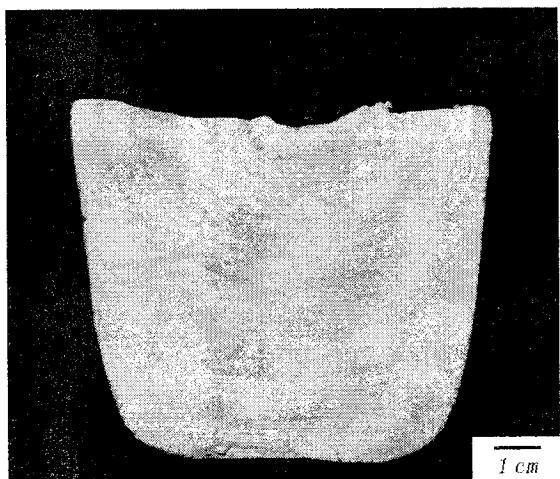


图 6f

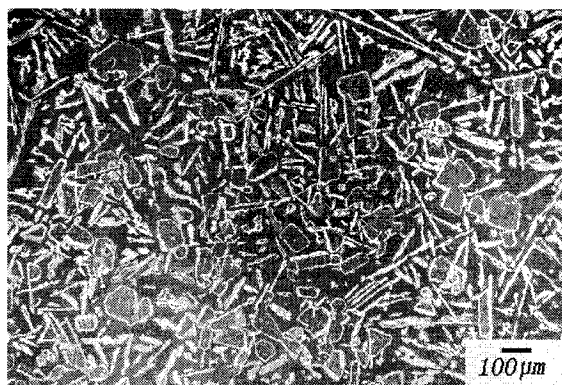


图 7a

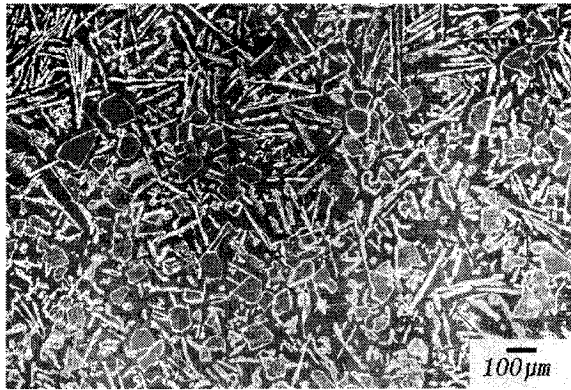


图 7b

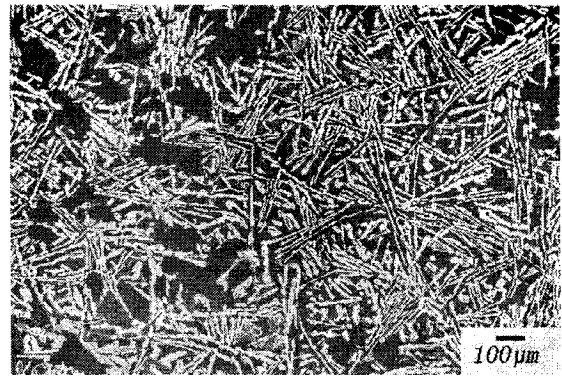


图 7c

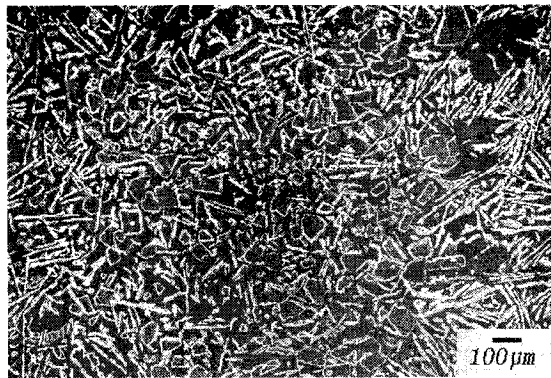


图 7d