



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110538977 B

(45) 授权公告日 2021.04.16

(21) 申请号 201910876327.8

G22C 21/02 (2006.01)

(22) 申请日 2019.09.17

G22C 38/02 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G22C 38/04 (2006.01)

申请公布号 CN 110538977 A

G22C 38/44 (2006.01)

G22C 38/46 (2006.01)

(43) 申请公布日 2019.12.06

G22C 1/03 (2006.01)

(73) 专利权人 北京科技大学

(56) 对比文件

地址 100083 北京市海淀区学院路30号

CN 106111950 A, 2016.11.16

(72) 发明人 陈晓华 陈凯旋 王自东 曹裕栋

CN 108500230 A, 2018.09.07

(74) 专利代理机构 北京市广友专利事务所有限

CN 206169221 U, 2017.05.17

责任公司 11237

CN 107498016 A, 2017.12.22

代理人 张仲波

JP S6061152 A, 1985.04.08

US 2961703 A, 1960.11.29

(51) Int. Cl.

US 1310865 A, 1919.07.22

B22D 13/00 (2006.01)

G22C 1/02 (2006.01)

G22C 33/04 (2006.01)

审查员 陈春蕾

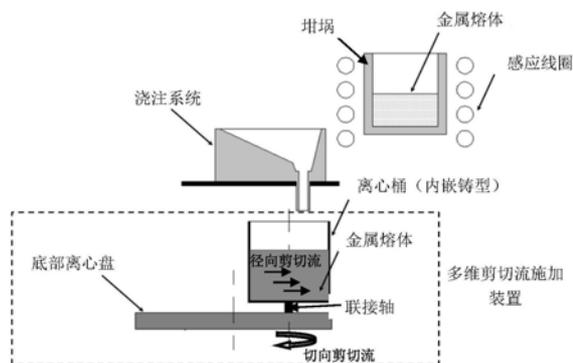
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种减弱合金偏析的多维剪切流铸造装置和方法

(57) 摘要

一种减弱合金偏析的铸造装置和方法。装置由熔炼系统、浇注系统、铸型、底部转动盘，联接轴，离心桶组成，方法采用感应加热法熔炼合金，铸型嵌在多维剪切流施加装置中的离心桶中，离心桶在联接轴驱动下随着底部转动盘共同旋转，使铸型进行复合运动，合金熔体凝固，即实现合金中偏析的减弱甚至消除。本发明采用感应熔炼和多维剪切流技术实现合金铸锭中偏析的显著减少甚至消除。多维剪切流在熔体凝固过程中，一方面促进宏观尺度上熔体浓度的均匀化，另一方面配合各向异性表面张力的作用，引起晶体生长过程中的分裂，促进铸锭晶粒尺寸的细化。本发明消除了M50钢铸锭的宏观偏析，显著减弱Al-7wt%Si合金铸锭的微观偏析，铸造工期短，成本低廉，对产品复杂程度限制少。



1. 一种减弱合金偏析的铸造方法,其特征在于,

所述方法采用如下铸造装置:所述铸造装置由熔炼系统、浇注系统、铸型、底部转动盘,联接轴,离心桶组成;铸型嵌在离心桶内,离心桶通过联接轴与底部转动盘相连;底部转动盘在电机控制下转动,离心桶通过联接轴驱动而旋转,底部转动盘和离心桶的转速比通过更换联接轴齿轮从而调整传动比来实现,其中基于多维剪切流理论设计所述底部转动盘和所述离心桶同时转动的转动模式,使所述铸型进行复合运动;

所述铸造方法为:针对不同的合金,采用不同的铸造工艺参数,包括感应加热功率、控制熔炼温度、过热度、浇注温度、铸型预热温度、控制凝固过程的过冷度、转速比、控制多维剪切流强度、浇注过程中控制过热度,铸造冷却过程中控制过冷度,保证合金熔体内部产生强的多维剪切流;熔炼和铸造过程可根据不同合金的熔炼需求在真空或非真空中进行,具体包括以下步骤:

(1) 准备熔炼所需的原材料;

(2) 将原材料放入熔炼系统的坩埚中,铸型嵌入离心桶中,在铸型和离心桶之间填充耐火保温材料,根据不同合金的需求,对铸型进行预热处理;

(3) 采用感应熔炼工艺将坩埚中的原材料加热熔化和保温,保温完成后将合金熔体浇入铸型中;

(4) 开启电机驱动底部转动盘,带动离心桶,离心桶按设定的转速比运动,直至合金完全凝固之后取出;

步骤2中所述铸型的预热以及填充耐火保温材料,确保熔体浇注入铸型后保持液体状态,从而保证多维剪切流对合金熔体的凝固过程发挥作用;

步骤3中所述采用感应加热工艺,确保熔炼过程中合金元素在熔体中的均匀分布,为后期凝固过程中晶体在熔体中的均匀形核和生长提供有利条件;

步骤4中所述底部离心盘和离心桶同时转动,该运动模式在铸锭凝固过程中为熔体内部提供径向及切向的复合剪切流,在凝固过程中合金熔体内部产生多维剪切流;多维剪切流一方面促进凝固过程中温度场和浓度场的均匀化,其原理为:铸型左边缘低温区的熔体在径向剪切流作用下不断地向铸型的中心高温区运动,使中心熔体温度降低,同时铸型中心的熔体不断地向右边缘运动,使右边缘熔体的温度上升;在切向剪切流的作用下,右边缘熔体被带到左边缘,重复上述运动,从而实现熔体温度场和浓度场的均匀化;另一方面与各向异性表面张力协同作用,使晶体在生长过程中发生分裂和细化,最终实现铸锭晶粒尺寸的细化;宏观浓度场的均匀化和晶粒尺寸的细化共同减弱合金中的偏析,抑制粗大偏析相的产生。

一种减弱合金偏析的多维剪切流铸造装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种减弱合金偏析的铸造装置和方法。具体地说,是在合金熔体凝固过程中利用多维剪切流促进元素的均匀分布和晶粒的细化,由此减弱合金偏析的铸造技术。

背景技术

[0002] 成分偏析是在金属凝固过程中溶质再分配造成的,液固界面前沿溶质原子不断富集,在最后凝固的地方产生偏析相[文献一M.C.Flemings,Solidification Processing,McGraw-Hill,New York,1974]。宏观偏析是溶质元素和杂质元素浓缩的液相在某种机制的作用下发生流动,形成与铸坯同等尺度的偏析。连铸大板坯中的中心偏析、小型坯中的V形偏析、铸锭中的逆V形偏析等都是典型的宏观偏析[文献二高宏适.控制等轴晶尺度和形态降低宏观偏析[J].世界金属导报,2019,B08:1-7]。通常,由于偏析产生的脆性偏析相会恶化合金的力学性能[文献三李煦,李丽,韩露,杨光,刘宗杰.1420铝锂合金锻件质量管控措施[J].宇航材料工艺,2017,6:87-90]。对铸锭进行开坯-轧制-扩散热处理,很难使偏析无害化,所以要求开发出铸造时不产生宏观偏析和减弱微观成分偏析的技术[文献二高宏适.控制等轴晶尺度和形态降低宏观偏析[J].世界金属导报,2019,B08:1-7.]。

[0003] 快速凝固是彻底消除偏析的一个极端方法,一般在极高冷却速度($10^4\sim 10^9$ °C)或深过冷(过冷度达几十到几百摄氏度)条件下实现,合金以极快的速度从液态转变为固态,使溶质原子被液固界面捕捉进入固相内部,实现溶质原子的均匀化[文献四P.V.Evans,A.L.Greer.Modelling of crystal growth and solute redistribution during rapid solidification[J].Mater.Sci.Eng.,1988,98:357-361]。然而普通铸造条件下冷却速度一般不会超过100°C/s,很难消除或减弱偏析而实现铸锭的均匀化。

[0004] 根据Wang关于液态金属中晶粒由晶核开始生长过程中界面演变的数学物理模型[文献五Mingwen Chen,Zidong Wang,Jian-Jun Xu,Journal of Crystal Growth.385(2014)115-120],凝固过程中,晶体在各向异性表面张力和剪切流的综合作用会在某些界面向内熔化,凹陷的晶体在强剪切流作用下熔断破碎,形成细小的子晶体,最终引起合金晶粒尺寸的细化。晶粒的细化能显著缩短偏析路径,阻碍偏析相的产生[文献六K.X.Chen,X.H.Chen,Z.D.Wang,H.H.Mao,R.Sandström.Optimization of deformation properties in as-cast copper by microstructural engineering.Part I.microstructure[J].J.Alloy.Comp.,2018,763:592-605.]。同时,通过施加多个方向的剪切流,可以促进元素在合金熔体中的均匀分布,进而改善凝固过程中的宏观偏析。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提出一种利用多维剪切流技术减弱甚至消除合金中偏析的铸造装置和方法。

[0006] 为达到上述目的,本发明采用的设备原理示意如图1所示

[0007] 一种施加多维剪切流的装置,其特征是装置由熔炼系统、浇注系统、铸型、底部转动盘,联接轴,离心桶组成;铸型设在离心桶之内,离心桶通过联接轴与底部转动盘相连;底部转动盘在电机控制下转动,同时通过联接轴带动离心桶转动,底部转动盘和离心桶的转速比通过更换联接轴齿轮从而调整传动比实现。

[0008] 一种采用如上所述装置减弱合金偏析的铸造方法,包括以下步骤:

[0009] (1) 准备熔炼所需的原材料;

[0010] (2) 将原材料放入熔炼系统的坩埚中,铸型嵌入离心桶中,在铸型和离心桶之间填充耐火保温材料,根据不同合金的需求,对铸型进行预热处理;

[0011] (3) 采用感应熔炼工艺将坩埚中的原材料加热熔化和保温,保温完成后将合金熔体浇入铸型中;

[0012] (4) 开启电机驱动底部转动盘,带动离心桶,离心桶按设定的转速比运动,直至合金完全凝固之后取出。

[0013] 进一步地,针对不同的合金,采用不同的铸造工艺参数,包括感应加热功率、控制熔炼温度、过热度、浇注温度、铸型预热温度、控制凝固过程的过冷度、转速比、控制多维剪切流强度、浇注过程中控制过热度,铸造冷却过程中控制过冷度,保证合金熔体内部产生强的多维剪切流;熔炼和铸造过程可根据不同合金的熔炼需求在真空或非真空中进行的。

[0014] 进一步地,步骤2中所述铸型的预热以及填充耐火保温材料,是为了使熔体浇注入铸型后维持一定的过冷度,避免熔体快速凝固,确保通过底部转动盘和离心桶的转动在合金熔体中施加多维剪切流。确保熔体浇注入铸型后保持液体状态,从而保证多维剪切流对合金熔体的凝固过程发挥作用。

[0015] 进一步地,步骤3中所述采用感应加热工艺,确保熔炼过程中合金元素在熔体中的均匀分布,为后期凝固过程中晶体在熔体中的均匀形核和生长提供有利条件。

[0016] 进一步地,步骤4中所述底部离心盘和离心桶同时转动,在凝固过程中合金熔体内部产生多维剪切流;多维剪切流一方面促进凝固过程中温度场和浓度场的均匀化,另一方面与各向异性表面张力协同作用,使晶体在生长过程中发生分裂和细化,最终实现铸锭晶粒尺寸的细化;宏观浓度场的均匀化和晶粒尺寸的细化共同减弱合金中的偏析,抑制粗大偏析相的产生。

[0017] 步骤4中底部离心盘和离心桶同时转动的转动模式是基于多维剪切流理论设计的,此运动模式在铸锭凝固过程中为熔体内部提供径向及切向的复合剪切流,从而导致熔体的多维运动。浓度场均匀化的原理示意如图2,铸型左边缘的熔体(低温区)在径向剪切流作用下不断地向铸型的中心(高温区)运动,使中心熔体温度降低,同时铸型中心的熔体不断地向右边缘运动,使右边缘熔体的温度上升;在切向剪切流的作用下,右边缘熔体被带到左边缘,重复上述运动,从而实现熔体温度场和浓度场的均匀化。晶体生长过程中分裂机制的原理示意如图3,多维剪切流一方面实现凝固过程中温度场和浓度场的均匀化,同时使最初形核的晶体随着熔体的运动,不断的进行往复运动。边缘最初形核的晶体在各向异性表面张力和剪切流的综合作用下,使一个晶体分裂为几个子晶体,这些子晶体作为形核质点继续长大,继续分裂,最终实现铸锭晶粒尺寸的细化。晶粒的细化缩短了溶质原子从液固界面排出的路径,减弱偏析;晶粒细化产生大量晶界,这些晶界将偏析相分割,进一步抑制粗大偏析相的产生。

[0018] 本发明的有益效果是：

[0019] 通过综合采用感应熔炼和多维剪切流技术实现合金铸锭中偏析的显著减少甚至消除。首先，在熔炼过程中，感应加热促进熔体的剧烈流动，进而促进不同浓度区的相互混合，实现熔体浓度的均匀化。随后，熔体注入铸型后，多维剪切流一方面引起熔体的相互混合，促进宏观尺度上浓度场的均匀化分布；多维剪切流配合各向异性表面张力的作用，还会引起晶体的分裂，促进铸锭晶粒尺寸的细化，缩短溶质再分配的路径，减弱偏析，同时晶粒细化所产生的大量晶界将分割偏析相，抑制粗大偏析相的产生。多维剪切流铸造方法简单易行，铸造工期短，成本低廉，能大批量生产，对产品复杂程度限制少，可直接在镍、铝、铁、铜、钛及其合金等金属材料的熔炼和凝固过程中制备出晶粒细小，偏析减弱甚至无偏析的组织，适用于大块体金属材料的均匀化。

附图说明

[0020] 图1通过多维剪切流技术制备铸件的示意图(正视图)；

[0021] 图2金属桶(即铸型)的俯视图，反映多维剪切流作用下熔体运动规律；

[0022] 图3多维剪切流和各向异性表面张力作用下晶体形态演变和循环分裂的示意图；

[0023] 图4多维剪切流技术制备的M50钢偏析检测；

[0024] 图5(a)普通铸造和(b)多维剪切流铸造的Al-7wt%Si合金组织(放大倍数:100×)。

具体实施方式：

[0025] 下面通过示范性实施例详细描述本发明。需指出的是，本领域的技术人员很容易理解，以下实施例仅仅为以举例方式给出的关于本发明的方法的一些示范性实施例，并不意味着对本发明进行任何限制。

[0026] 实施例1：

[0027] 以M50钢为例，研究金属凝固后得到的钢铸锭的宏观偏析。采用中频感应熔炼和多维剪切流铸造工艺制备M50钢铸锭(图1装置)，熔炼前对纯铁进行除油、去锈及干燥处理，以减少外来方式引起的夹杂和气体。熔炼过程中，分批加入不同合金元素的原材料，首先将纯铁放入图1中石墨坩埚中，中频感应加热炉熔炼，在熔化末期加入不容易氧化的合金元素镍、钼、硅、钒等，在1680℃左右保温半小时，保温末期将易氧化的合金元素铬、锰加入，避免受损。保温结束后，为了保证钢在铸型中有足够长的时间呈液态，选取1600℃左右的浇铸温度浇注，整个浇铸过程过热度保持在50~100℃之间，将钢液浇入预热至350℃的石墨铸型中，启动底部转动盘和离心桶，对凝固过程中的钢液施加多维剪切流，处理时间为20分钟。最终获得直径200mm、高度700~800mm的铸锭。采用金属光谱分析仪测得M50钢中元素的含量如表1。利用扫描电镜对M50钢铸锭的边缘、心部和1/2处进行成分分析，发现三个区域的合金元素含量基本一致，无明显偏析现象，如图4。因此，采用本专利技术消除了M50钢铸锭的宏观偏析。

[0028] 表1铸态M50试样的化学成分光谱分析结果

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V
[0029] 含量/wt%	0.84	0.64	0.39	0.026	0.027	5.08	0.13	4.14	0.94

[0030] 实施例2:

[0031] 采用多维剪切流方法制备Al-7wt%Si合金铸锭并检测合金的偏析行为,具体流程为:熔炼采用预制的Al-20wt%Si中间合金和工业纯铝熔炼Al-7wt%Si合金,在图1的石墨坩埚中先将纯铝加入,并利用中频感应加热快速升温至730℃,将预制的Al-20wt%Si中间合金压入液面以下待其熔清后稍微搅拌并保温20分钟,随后采用精炼剂和打渣剂进行打渣精炼3次后将合金液浇入预热至250℃的内部尺寸为70mm×80mm×110mm、壁厚为10mm的长方体石墨铸型中,为了保证合金在铸型中有足够长的时间呈液态,选取浇铸温度为较高的750℃,对浇铸进入石墨型的金属液立即进行多维剪切流处理,处理时间为15分钟。作为对比实验,普通铸造的试样采用相同的合金成分以及相同的熔炼工艺,当熔炼完成以后金属液浇铸入相同的铸型当中,但是铸型保持静置状态。得到的试样相应化学成分如表2所示。利用金相显微镜表征普通铸造和多维剪切流铸造的Al-7wt%Si合金微观组织,如图5所示,发现强烈的多维剪切流促进晶体生长过程中的分裂和细化,最终引起合金组织的细化,晶粒细化同时提高了合金组织的致密性、均匀性,改善了偏析,引起晶界处偏析相的细化。因此,采用本专利技术显著减弱Al-7wt%Si合金铸锭的微观偏析。

[0032] 表2不同工艺制备的Al-7Si合金的化学成分分析 (wt%)

合金种类	Si	Fe	Al
[0033] 普通铸造 Al-7wt%Si	7.43	0.23	余量
多维剪切流铸造 Al-7wt%Si	7.00	0.24	余量

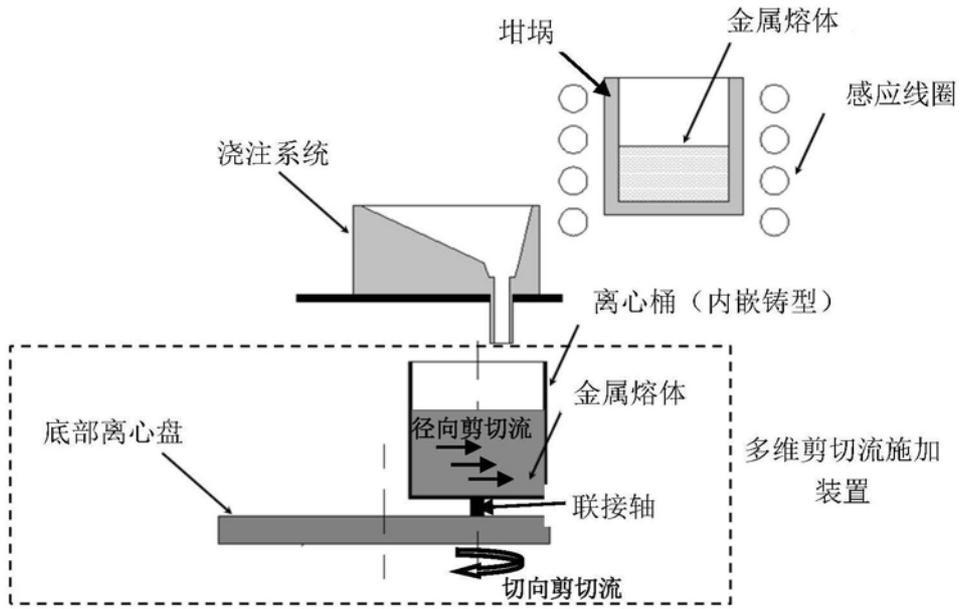


图1

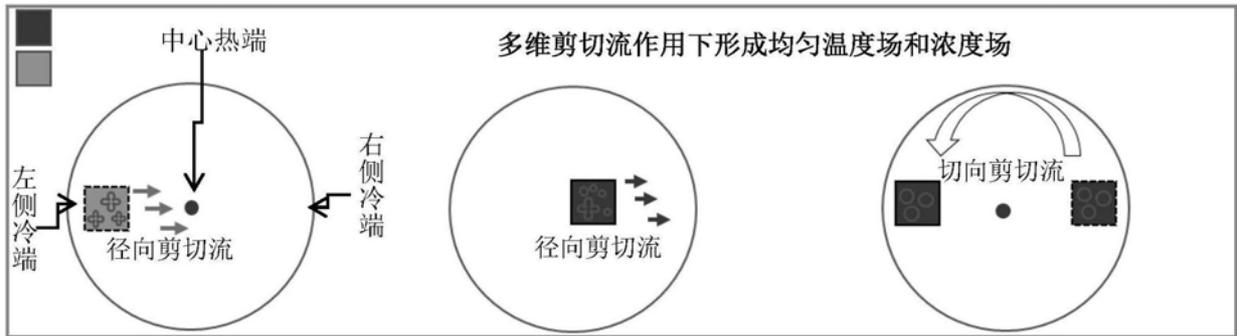


图2

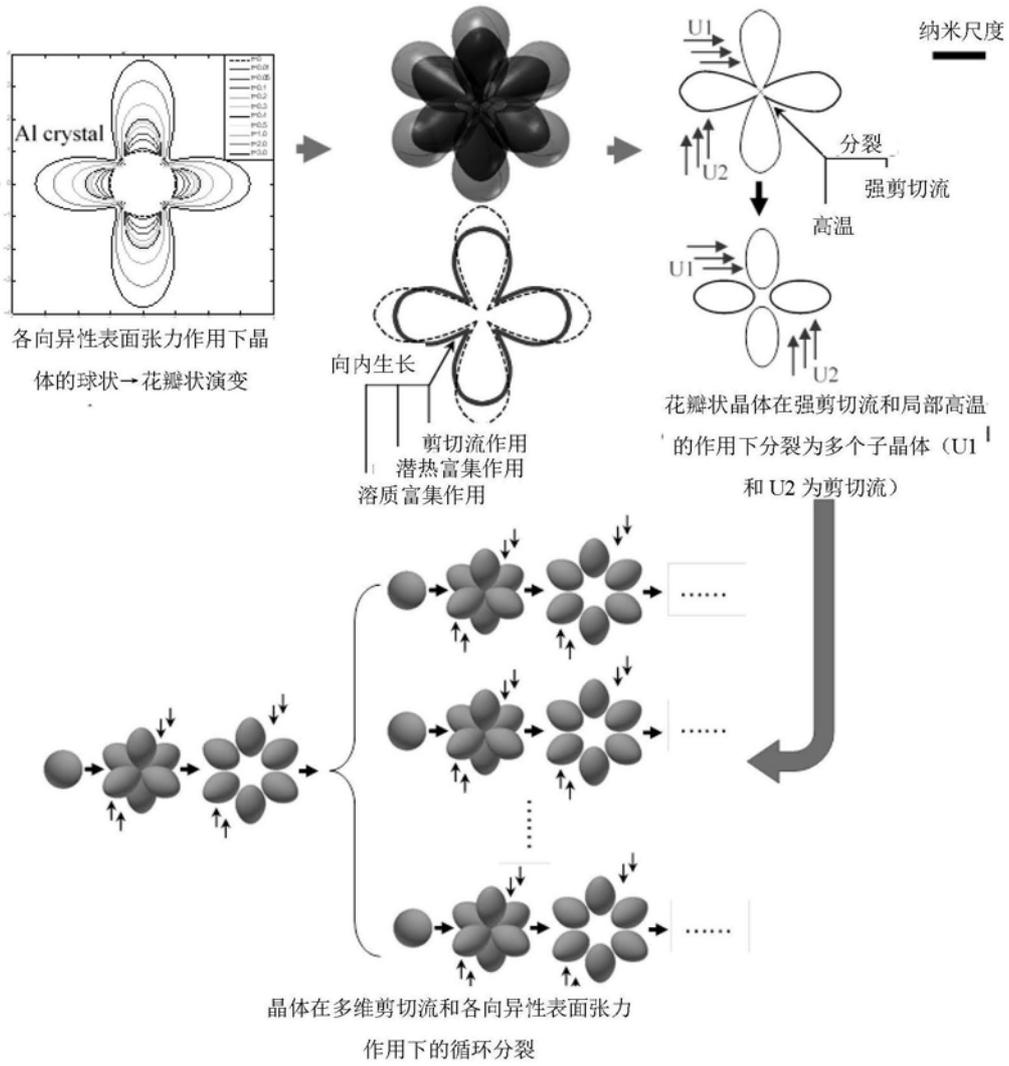


图3

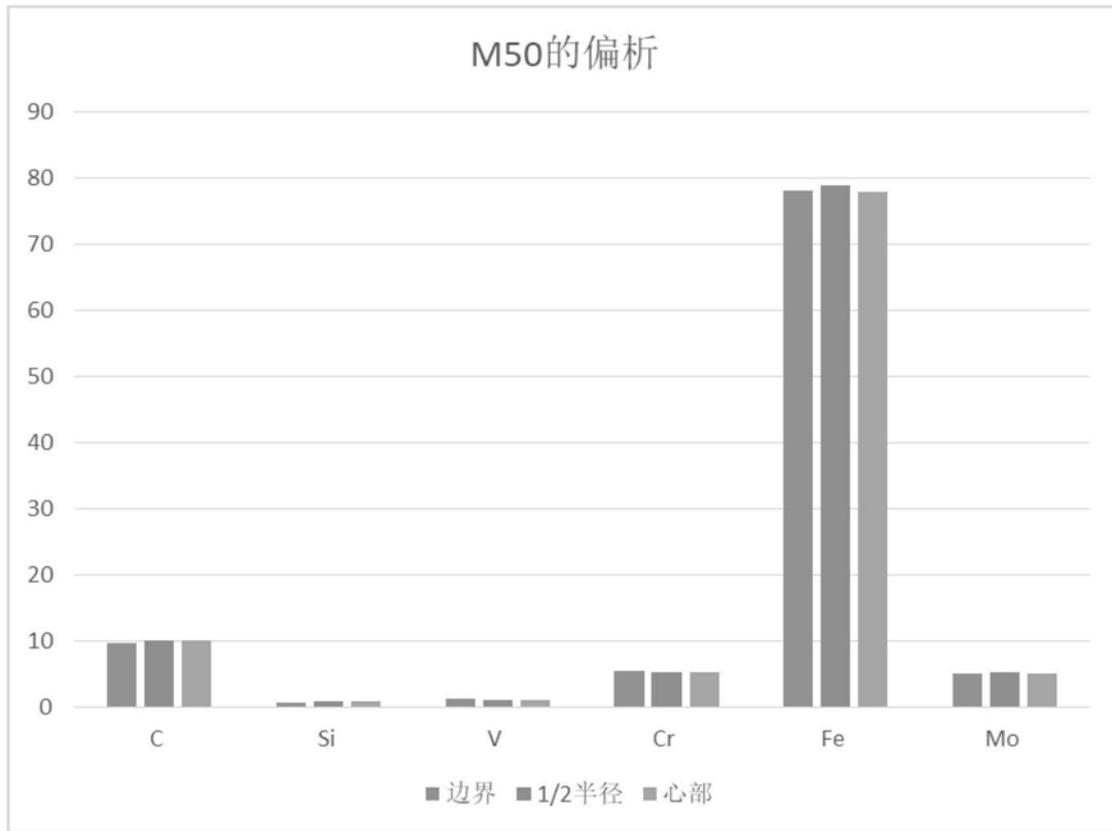


图4

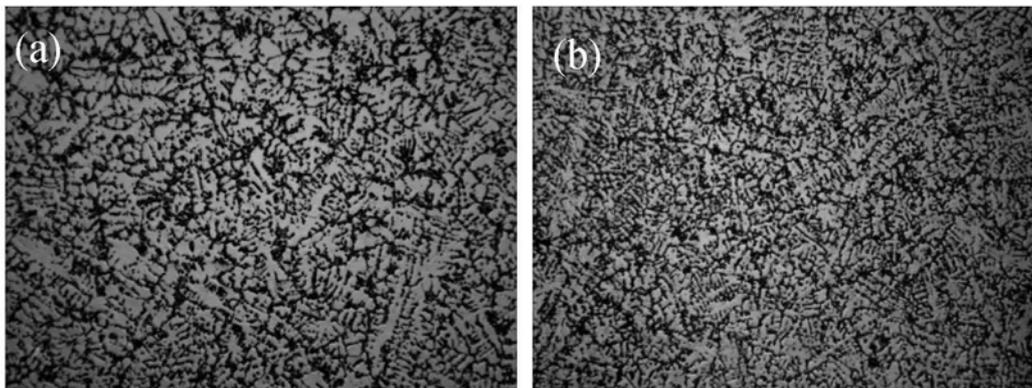


图5