

铸造合金材料及凝固

——胡汉起教授论文选集

《铸造合金材料及凝固》编委会 编

北 京

冶金工业出版社

2001

图书在版编目(CIP)数据

铸造合金材料及凝固——胡汉起教授论文选集/《铸造合金材料及凝固》编委会编. —北京:冶金工业出版社, 2001.11

ISBN 7-5024-2924-7

I. 铸… II. 铸… III. ①铸造合金—研究—文集
②金属—凝固理论—研究—文集 IV. TG1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 078682 号

铸造合金材料及凝固 ——胡汉起教授论文选集

出版人 曹胜利(北京东城区沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

编者 《铸造合金材料及凝固》编委会 编

责任编辑 张 卫(联系电话:010-64027930; E-mail: bull.zw@sina.com.cn)

王雪涛(联系电话:010-64062877)

美术编辑 王耀忠

责任校对 侯 珺

责任印制 牛晓波

版式设计 张育红

出版 冶金工业出版社(网址: www.cnmp.com)

发行 冶金工业出版社发行部(电话:010-64044283; 传真:010-64027893;
冶金书店地址:北京东四西大街 46 号 100711; 电话:010-65289081)

经销 全国各地新华书店

印刷 北京源海印刷厂

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 29.375 印张

字数 715 千字

页数 455 页

版次 2001 年 11 月第 1 版

印次 2001 年 11 月第 1 次印刷

印数 1~600 册

书号 ISBN 7-5024-2924-7

定价 58.00 元

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《铸造合金材料及凝固》编委会

主 任:胡汉起

委 员:常国威 关绍康 胡海明 蒋成保
倪 峰 孟 岩 王自东 邢书明
于 艳 张 虎 张维平 翟启杰
王 溪

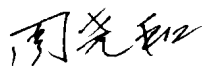
序

大部分金属与非金属材料都要经过凝固过程,其凝固行为直接影响材料的组织结构与组织形态,从而决定其物理性能和力学性能。近年来,随着非线性科学、应用数学、凝聚态物理学、金属学和计算机模拟技术的发展,人们能够定量或半定量地分析材料的凝固过程。我国著名的凝固理论及铸造学者、北京科技大学材料科学与工程学院教授胡汉起先生及其领导的科研组成员,从20世纪80年代开始,一直致力于凝固理论与新材料制备技术的研究和开发,其研究内容较为广泛,在国内外学术刊物及学术会议上发表论文100余篇,取得了一批属国内和国际先进水平的科研成果。本书选编了胡汉起教授近20年来具有代表性的学术论文74篇,按其内容分别归纳为两篇共五章。第一篇为铸造合金材料,包括铸造合金材料及其凝固机制和金属基复合材料;第二篇为金属凝固理论与控制技术,包括金属凝固理论、快速凝固和连续定向凝固与半固态凝固技术。这些论文具有较高的学术水平和科学价值,大大地丰富了凝固理论,对制备高性能结构材料具有重要的指导意义。

胡汉起教授是北京科技大学铸造专业学科带头人,几十年来他兢兢业业地工作在教学和科研的第一线,为我国培养了一批高层次人才,为我国钢铁冶金工业的建设做出了积极的贡献。

在胡汉起教授从事教学与科研事业45周年之际,出版了《铸造合金材料及凝固》这本专著,我非常高兴地将这本具有较高学术价值的专著推荐给同行专家,供大家研读。

中国科学院 院士
西北工业大学 教授
上海交通大学 教授



2001年10月20日

胡汉起教授简历

胡汉起教授,男,1931年11月生,河南省西平县人。1954年毕业于北京钢铁学院(北京科技大学前身)金相热处理专业,从师苏联专家攻读铸造专业研究生,1957年6月毕业后留校任教。1963年起先后任讲师、副教授、教授,1990年由国务院学位委员会批准为第四批博士生导师。曾任北京科技大学铸造教研室主任,从事高等教育工作45年。1996年12月退休后,作为高级顾问继续指导项目组进行研究工作。

胡汉起教授先后为铸造专业本科生主讲过“铸造合金原理”、“铸造合金及熔炼”、“金属学及热处理”等课程,指导过本科生生产实习、工艺课程设计和毕业论文,指导过外单位的进修教师。1979年以后,为硕士研究生主讲“金属凝固原理”,建立了金属凝固与控制实验室,自行研制了在国内外颇具特色的高温定向凝固炉及垂直下引连续定向凝固装置。先后培养了硕士生15名,博士生13名,博士后研究人员2名。

胡汉起教授先后承担国家自然科学基金研究课题3项,博士点基金研究课题2项,中央部委下达的研究课题3项,厂协研究课题8项。

胡汉起教授先后出版了《铸件的凝固》(北京钢铁学院,1981年)和《金属凝固》(冶金工业出版社,1985年)两本专著,编写了全国统编研究生学位课教材《金属凝固原理》(机械工业出版社,1991年)。发表科研学术论文100余篇,其中发表在《中国科学》、《Journal of Materials Science》、《Science and Technology of Advanced Materials》、《Metallurgical and Materials Transactions B》、《金属学报》、《机械工程学报》等国家一级学术刊物上的论文30余篇。1992年获“假肢体锌铝合金材料”发明专利一项

胡汉起教授主要在以下几个方面研究取得了突出的成就:

1. 稀土元素在钢铁材料中作用机制的研究。
2. 稀土元素在耐热钢中的应用研究。
3. ZA27合金成分、组织与性能的研究。
4. 亚快速凝固条件下合金组织转变机制的研究。
5. 连续定向凝固管、棒材的应用开发研究。
6. 氮在铸铁中作用机制的研究。
7. 小方坯连铸钢坯强制凝固的研究。
8. SiCp/ZA复合材料的研究。
9. 金属表面激光熔敷涂层的研究。
10. 奥-贝球铁耐磨材料的研究。

11. 难变形钢铁材料半固态连铸工艺及组织演变的研究。

12. 铸钢导卫板表面熔渗高合金层的研究。

胡汉起教授先后担任全国高等工业学校铸造专业教学指导委员会委员,甘肃工业大学机械系兼职教授,华中理工大学激光技术国家重点实验室学术委员,西北工业大学凝固技术国家重点实验室学术委员,北京科技大学材料科学与工程学科评议组成员等职务。

胡汉起教授工作认真负责,兢兢业业,科研工作成绩突出,多次获得先进工作者和科研奖励:

1. 1977 年荣获北京钢铁学院“先进科技工作者”称号。

2. 1982 年获北京钢铁学院优秀教材一等奖。

3. 1984 年获北京市科技进步三等奖。

4. 1992 年 10 月 1 日开始享受国务院颁发的“政府特殊津贴”。

5. 1993 年获机械工业出版社优秀图书三等奖。

6. 1995 年获北京科技大学优秀教材二等奖。

7. 1995 年获北京科技大学研究生优秀导师奖。

8. 1996 年获机械部优秀教材一等奖。

9. 1997 年获机械部科技进步三等奖。

10. 1998 年获冶金部科技进步三等奖。

我们祝愿胡汉起教授身体健康,工作愉快,全家幸福!

《铸造合金材料及凝固》编委会

目 录

第一篇 铸造合金材料

第一章 铸造合金材料及其凝固机制

铈对高锰钢奥氏体胞晶稳定性及锰的枝晶偏析的影响·····	胡汉起	钟雪友(3)
高锰钢中铈的溶质平衡分配系数 K_0 的测定及铈对锰、 硅 K_0 值的影响 ·····	钟雪友	胡汉起(22)
Ce 对高锰钢奥氏体结晶形貌及 Mn 在枝晶偏析的影响·····	胡汉起	钟雪友(29)
稀土在钢的一次结晶中的作用·····	高端珍	胡汉起(36)
Ce 与 Ca-Si 对低硫 16Mn 钢一次结晶组织的影响 ·····	胡汉起	钟雪友(45)
Ce 对低硫 16Mn 钢凝固组织的影响 ·····	胡汉起	钟雪友(53)
INFLUENCE OF B ON H ₂ S CORROSION-RESISTANCE BEHAVIOR OF FE-BASED AMORPHOUS ·····	HU Hanqi	YANG Zhongshou(59)
灰铸铁中的氮·····	翟启杰	马 蕊 胡汉起(63)
氮在灰铸铁溶液中溶解度的热力学研究·····	翟启杰	胡汉起(68)
氮对灰铸铁平衡及非平衡相变温度的影响·····	翟启杰	胡汉起(71)
稀土改善锌基合金抗蚀性的实验研究·····	赵显欧	胡汉起(76)
RE 对 ZA-27 合金组织和性能的影响 ·····	韩青有	胡汉起(80)
氮对灰铸铁初生奥氏体析出温度的影响·····	翟启杰	胡汉起(86)
氮对灰铸铁中石墨组织的作用·····	翟启杰	胡汉起(90)
SOLUBILITY OF NITROGEN IN MOLTEN GRAY CAST IRON ·····	ZHAI Qijie	HU Hanqi(95)
MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF ZA-27TIRE ALLOY ·····	Zhao Xianou	HU Hanqi(99)
EFFECT OF NITROGEN ON MATRIX STRUCTURE OF GRAY CAST IRON ·····	ZHAI Qijie	HU Hanqi(105)
氮在灰铸铁中的分布·····	翟启杰	胡汉起(109)
氮对灰铸铁初生奥氏体二次枝晶组织的影响 ·····	翟启杰	胡汉起(113)
碳钢表面 Fe-Ni-Cr-Si-B 合金熔敷层的激光处理 ·····	胡汉起	郝启光(117)
离心复合铸铁管件消除铸造应力退火 ·····	吴春京	胡汉起(121)
氮在铸铁溶液中溶解的动力学研究 ·····	翟启杰	武文华 胡汉起(125)
EFFECT OF TRACE ELEMENTS WITH ZERO SELF-INTERACTION COEFFICIENT ON CRYSTALLIZATION TEMPERATURE		

OF IRON CARBON ALLOYS	ZHAI Qiye	HU Hanqi(129)
Bridgman 法铸铁定向凝固一维传热特性的测试分析	倪 锋	胡汉起(132)
稀土在 ZG3Cr20RE 半热滑轨中的应用研究	贾伯垠	胡汉起(137)
悬浮浇注法对轴承钢锭温度场及偏析的影响	于 艳	胡汉起(157)
A COMPARISON STUDY BETWEEN SUSPENSION CASTING PROCESS		
AND LOW SUPERHEAT CASTING PROCESS	YU Yan	ZHAI Qiye HU Hanqi(162)
悬浮浇注对 GCr15 轴承钢凝固过程的影响	于 艳 翟启杰	胡汉起(168)
定向凝固条件下含磷蠕墨铸铁凝固特性研究	龙 锐	胡汉起(173)
硅砂表面高温改性提高水玻璃砂强度的机理	朱王龙	胡汉起(179)

第二章 金属基复合材料

SiCp/ZA22 复合材料组织及性能	胡海明	胡汉起(185)
SOLIDIFICATION MECHANISM OF AL/TiC INTRAGRANULAR COMPOSITES		
FABRICATED BY CONTACT REACTION METHOD	WANG Zidong	HU Hanqi(190)
REACTION MODEL IN Al-Ti-C SYSTEM	WANG Zidong	HU Hanqi(195)
金属基“内晶型”复合材料及其制备	王自东	胡汉起(199)
IN SITU LASER SURFACE COATING OF TiC METAL-MATRIX COMPOSITE		
LAYER	MENG Yan	HU Hanqi(203)
RESIDUAL THERMAL STRESSES OF LASER CLADDING OF INTERMETALLIC-CERAMIC		
COMPOSITE COATINGS	ZHOU Xianglin	HU Hanqi(210)
SiCp/ZA22 复合材料的动态断裂机制	张维平	胡汉起(214)
WCp/Fe-Ni 钢基复合材料的界面	王 溪	胡汉起(218)
WCP/Fe-Ni 钢基复合材料的抗热疲劳特性	王 溪	胡汉起(223)
SiCp/ZA22 复合材料的结构与性能	张维平	胡汉起(229)

第二篇 金属凝固理论与控制技术

第一章 金属凝固理论

多元合金中溶质浓度对二次枝晶臂间距的影响	韩青有	胡汉起(237)
二次枝晶臂等温粗化数学模型	韩青有	胡汉起 钟雪友(249)
A PARAMETER FOR EVALUATING ABILITY OF GRAIN REFINEMENT		
OF SOLUTE ELEMENTS	HAN Qingyou	HU Hanqi(256)
INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC STIRRING ON DENDRITIC STRUCTURE AND		
MECHANICAL PROPERTIES OF LOW SULPHUR STEEL		HU Hanqi(261)
亚快速凝固枝胞的转变	蒋成保	胡汉起(266)

晶体生长方向对亚快速凝固结晶形貌的影响	蒋成保	胡汉起(272)
扰动对单相合金定向凝固固液界面生长形态的影响	王自东	胡汉起(276)
NONLINEAR DYNAMICS THEORY ON THE STEADY STATE		
INTERFACE PATTERN DURING SOLIDIFICATION OF A		
DILUTE BINARY ALLOY	WANG Zidong	HU Hanqi(282)
NONLINEAR EQUATIONS ON CONTROLLING INTERFACE PATTERNS DURING		
SOLIDIFICATION OF A DILUTE BINARY ALLOY	WANG Zidong	HU Hanqi(290)
NONLINEAR THEORY ON DYNAMIC CONTROLLING INTERFACE PATTERNS		
DURING SOLIDIFICATION OF A DILUTE BINARY ALLOY	WANG Zidong	HU Hanqi(302)
电流改变定向凝固单相合金枝晶间距机理	常国威	王自东 胡汉起(313)

第二章 快速凝固

细胞晶间距及其选择机制初探	蒋成保	胡汉起(321)
深过冷对 Nd-Fe-B-Si 合金凝固组织的影响	关绍康	郭进毅 胡汉起(326)
大过冷 Ni-Sn 合金的凝固行为及组织的研究	关绍康	吕述祖 胡汉起(329)
亚快速凝固结晶取向对结晶形态选择的影响	蒋成保	胡汉起 张 虎(333)
熔体热历史条件对快凝铝铁基合金显微组织不均匀性的影响	关绍康	胡汉起(337)
快速凝固 Al-Fe 基合金条带中准晶相的形成及稳定性	关绍康	胡汉起(340)
FORMATION OF QUASICRYSTALLINE PHASE IN RAPIDLY		
SOLIDIFIED Al-Fe-V-Si ALLOY	GUAN Shaokang	HU Hanqi(344)
快凝 Al-Fe-M-Si 合金的显微结构对熔体热历史的敏感性	关绍康	胡汉起(349)
MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS AND STABILITY IN A RAPIDLY SOLIDIFIED		
Al-Fe-Nb-Si ALLOY	GUAN Shaokang	HU Hanqi(355)

第三章 连续定向凝固与半固态凝固技术

一种新型定向凝固方法	张 虎	胡汉起(363)
连续定向凝固中临界牵引速度及其相关因素	常国威	王自东 胡汉起(368)
搅拌条件下晶体游离模型探讨	邢书明	胡汉起(374)
电流作用下凝固界面形态稳定性与对组织形态的影响	常国威	胡汉起(380)
WAYS OF STABILIZING CONTINUOUS UNIDIRECTIONAL SOLIDIFICATION		
PROCESS AND VERIFICATION TESTS	CHANG Guowei	WANG Zidong HU Hanqi(385)
电流作用细化电渣重熔铸态组织机理的探讨	常国威	胡汉起(393)
半固态连铸过程的滞留层尺寸预测	邢书明	曾大本 胡汉起(398)
半固态连铸过程拉漏(断)机理研究	邢书明	胡汉起(403)
半固态连铸技术经济分析与研究进展	邢书明	胡汉起(409)
EFFECT OF PROCESS FACTORS ON MICROSTRUCTURE OF SEMISOLID		
CONTINUOUS CASTING BILLETS	XING Shuming	ZHAI Qijie HU Hanqi(416)

工艺因素对电渣感应连续定向凝固过程稳定性的影响	常国威 胡汉起(422)
MODEL OF STABILIZING CONTINUOUS UNIDIRECTIONAL SOLIDIFICATION	
PROCESS	HU Zhang CHANG Guowei HU Hanqi(428)
不锈钢连续定向凝固的试验研究	常国威 王自东 吴春京 胡汉起(432)
MECHANISM OF REDUCTION OF COLUMNAR DENDRITE SPACING IN UNIDIRECTIONAL	
SOLIDIFICATION CAUSED BY ELECTRIC CURRENT PASSING THROUGH SOLID-LIQUID	
INTERFACE	CHANG Guowei HU Hanqi(437)
EFFECT OF ELECTRIC CURRENT ON STABILITY OF SOLIDIFICATION INTERFACE	
MORPHOLOGY	CHANG Guowei HU Hanqi(444)
STABILITY CONDITION OF SEMISOLID CONTINUOUS CASTING	
PROCESS	XING Shuming HU Hanqi(450)



铸造合金材料

第一章

铸造合金材料及其凝固机制

原书空白页

铈对高锰钢奥氏体胞晶稳定性 及锰的枝晶偏析的影响

胡汉起 钟雪友 力 航

(北京科技大学铸工教研室)

摘 要 作者对铸造用高锰钢采用定向凝固并严格控制工艺参数获得了稳定的奥氏体胞晶组织,发现随着铈量增加,胞晶前沿转向枝晶发展,并有孪晶出现。与此同时,用电子探针微区分析考察了铈对高锰钢中锰在定向凝固条件下获得的胞晶、柱状晶及等轴晶内偏析的定量影响。在前人研究成果的基础上,考虑到固相板扩散这一因素,导出了高锰钢中锰元素的溶质分布表达式,通过对实验数据进行理论分析,发现溶质平衡分配系数 K_0 值是影响枝晶偏析的决定性因素。

1 前 言

稀土元素缩小钢铸锭(件)中的柱状晶区、扩大等轴晶区并细化晶粒的作用已为不少文献所报道^[1,2,3,4]。稀土元素的这一作用被认为是稀土夹杂的非均质形核作用造成的。大桥彻郎通过自己的过冷度实验并根据 Bramfit 的非均质形核匹配度的计算证明稀土氧化物比 Al_2O_3 、 SiO_2 等更可能成为非自发晶核^[5]。近年来国内陆续报道了稀土元素在铁基合金中能够固溶,并有合金化作用的效果^[2,6,7,8]。作者最近采用定向凝固工艺获得了高锰钢单相奥氏体的平面晶组织,在此基础上测定了 Ce 的溶质平衡分配系数 K_0 值^[9]。这就更加明确了稀土元素加入钢中之后除了形成夹杂外,剩余的量将会溶解于钢液并在长大着的晶体固-液面上进行溶质的平衡分布,即稀土元素以原子状态一部分固溶于已凝固相之中,同时在固液界面前沿的液相一侧造成富集。这些新的研究成果势必会扩大我们对稀土元素在细化钢的结晶组织方面所起作用的认识。为此,有必要用实验手段来证明稀土元素在凝固前沿的富集作用对结晶组织的影响。

稀土元素改变钢中其他合金元素的枝晶偏析已为不少研究成果所证实^[2,3,4,10]。但是,以往的工作多是在工业条件下进行的,凝固工艺参数控制不易严格,要深入考察稀土元素对钢的凝固及偏析的影响,必须严格控制工艺条件,即液相温度梯度 G_L 与凝固速度 R 值,否则,这些外界因素的影响可能会掩盖稀土元素的作用。20 世纪 60 年代以来,许多研究者对金属的枝晶生长及溶质元素的显微偏析从理论到实验做了大量工作并导出了描述合金元素显微偏析的表达式^[11~14],这就大大推动了凝固理论的发展。只是这些研究成果多是在有色金属二元合金的条件下得到验证的,有的甚至还处于理论分析阶段。它们是否适用于多元的铁基合金还有待于更多的实验加以考察。另外,在影响显微偏析的很多因素中找出主要因素,这将是具有实际意义的。

2 试验装置与试样制备

本实验用的定向凝固炉系采用立式的钼丝电阻加热方式,并用高纯 H_2 气保护, $\phi 65\text{mm}$ 刚玉管作钼丝衬管。用机械传动使炉体上升,而凝固坩埚(刚玉管)通过其下端的水冷结晶器固定在支架上,由于炉体加热区相对于坩埚产生的向上运动,使钢液定向凝固。使用 KTDJN200/210 型可控硅温控电源控制炉温。钢料加热熔化及定向凝固期间通入 Ar 气保护。炉体的行走速度通过改变直流电机的输入电压来控制。设备的结构框图及炉体结构图见图 1 和图 2 所示

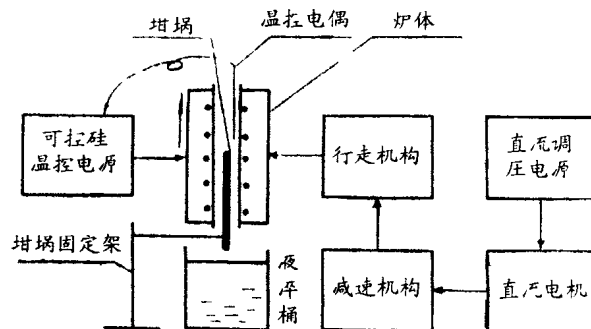


图 1 定向凝固炉结构框图

坩埚材料的选择要防止试验过程中高温钢液内稀土元素对它的强烈作用,以保证钢液在定向凝固过程中有一定的稀土残留量。根据几种常用的耐火材料与稀土元素 Ce 相互作用的热力学和动力学曲线(图 3,图 4)可以看出 Al_2O_3 对 Ce 有较好的热化学稳定性,同时其来源也较方便。

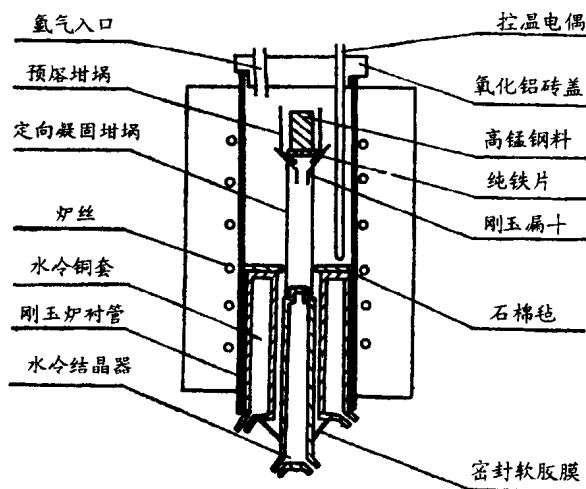


图 2 加料时的炉体纵剖面图

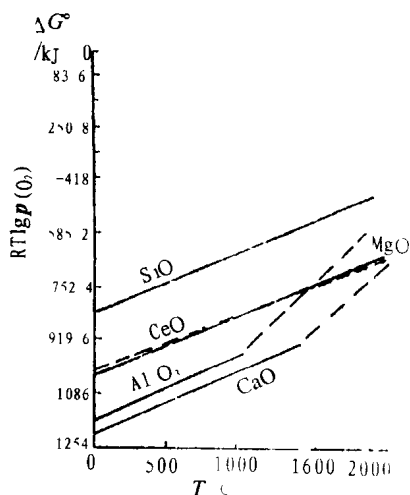
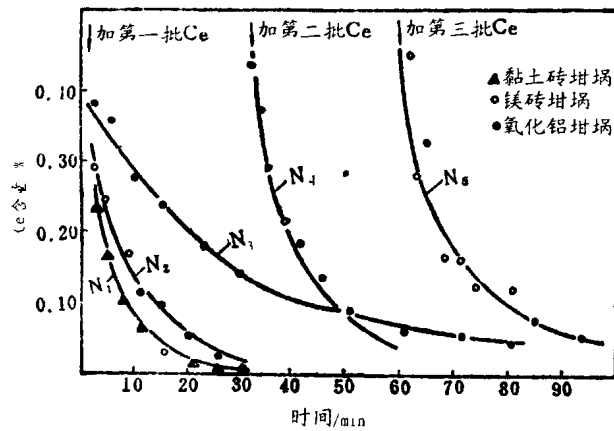
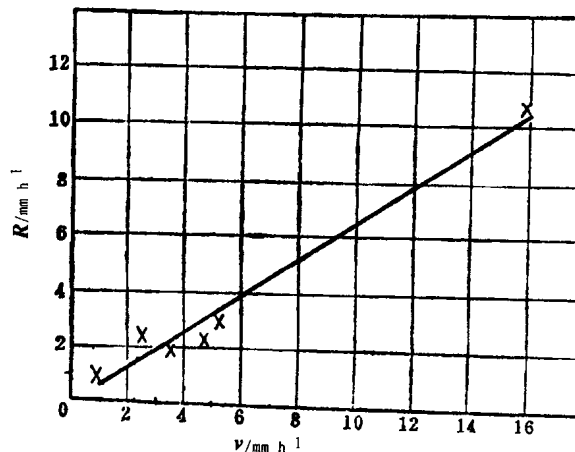


图 3 某些常用耐火材料及 CeO_2 的生成自由能曲线^[15]

定向凝固所使用的原始高锰钢料的成分为:1.36% C, 1.02% Si, 13.73% Mn, 0.055% P,

图4 在不同坩埚中铁液内Ce变化的动力学曲线^[16]

0.007% S, Al 微量。其凝固温度为 1370°C 。在对高锰钢液进行定向凝固之前, 必须在另一个预熔坩埚内对高锰钢料进行熔化与过热。钢液注入凝固坩埚之后应将炉温继续升至 $1560 \sim 1580^{\circ}\text{C}$ 。为使试样在固-液界面上达到热平衡, 在此温度下保温半小时即可开始进行定向凝固。在定向凝固过程中经测量 G_L 值为 $135^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 。凝固速度 R 与炉体上升速度 v 之间的关系图见图5所示。

图5 炉体行走速度 v 与凝固速度 R 的关系

各种试样的制备情况如下。

2.1 胞状晶试样的制备

第一组试样1号、2号。将炉温控制在 1560°C , 保温 0.5h 后, 分别以炉体上升速度 $v = 2.2\text{mm/h}$ 和 $v = 4\text{mm/h}$ 进行定向凝固, 10min 后迅速打开固定结晶器的夹紧装置, 将试样淬入加冰的盐水中即得。试样纵向打磨、抛光、腐蚀后进行金相与电子探针检查。

第二组试样 3~8 号。将炉温控制在 1580℃, 0.5h 后, 炉体以 $v = 1\text{mm/h}$ 的速度行走 0.5h, 以获得平面晶的凝固前沿。之后将含 Ce40% 的 Fe-Ce 合金加入定向凝固的钢液内, 保持 2min 后, 将炉体行走速度提高到 5.6mm/h, 行走 15min 后淬火。为进行对比, 在工艺参数相同的情况下, 3 号试样不加稀土。4~8 号试样加稀土, 定向凝固后淬火, 液相内的铈残留量见表 1。

表 1 试样中的 Ce 的残留量

元 素	试 样	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号
	含 量					
Ce 残留量/%		0 15	0 20	0 33	0 38	0 47

2.2 胞晶、柱状晶及等轴晶共存试样的制备

本组试样为 9 号和 10 号。在开始阶段制备胞状晶的工艺与上述相同。只是 9 号试样不加 Ce, 10 号试样加 Ce。另外, 以炉体行走速度 $v = 5.6\text{mm/h}$ 制备胞晶, 10min 后关闭行走机构, 使定向凝固坩埚在炉内以 48℃/mm 的降温速度降至 1200℃左右 (约为高锰钢的固相线温度), 立即淬火, 以抑制凝固后的溶质元素固相反扩散的进行。10 号试样定向凝固后其淬火液相内的 Ce 残留量为 0.41%。试样淬火后纵向打磨、抛光、腐蚀后进行金相与电子探针检查。制得的 9 号和 10 号试样, 其显微组织从激冷端到末端区分别为平面晶、胞状晶、柱状树枝晶与等轴晶。

1~10 号试样制备工艺、结晶形貌, Ce 残留量等情况列于表 2。经测定, 定向凝固过程中 Mn 从原料中的 13.72% 降为 12.53%, C 无变化。

表 2 试样制备过程工艺参数

试样号	炉 温 /℃	炉体行走速度 /mm h ⁻¹	制备工艺	结晶形貌	Ce 残留量	主 要 目 的
1 号	1560	2.2	液 淬	胞 晶	无	比较 R 对胞晶形貌及偏析的影响
2 号	1560	4	液 淬	胞 晶	无	
3 号	1580	5.6	液 淬	胞 晶	无	1 观察不同 Ce 量对胞晶前沿形貌的影响
4 号	1580	5.6	液 淬	胞 晶	0.15	
5 号	1580	5.6	液 淬	胞 晶	0.20	
6 号	1580	5.6	液 淬	胞 晶	0.33	
7 号	1580	5.6	液 淬	胞 晶	0.38	
8 号	1580	5.6	液 淬	胞 晶	0.47	2 比较不同 Ce 量对胞晶 Mn 偏析的影响
9 号	1580	5.6	炉冷后液淬	胞 柱 } 晶 等轴	无	同 上
10 号	1580	5.6	炉冷后液淬	胞 柱 } 晶 等轴	0.41	

3 实验结果

3.1 凝固速度 R 对胞晶形貌及锰、硅偏析影响的观察

1 号和 2 号试样制备工艺的差别仅在于后者 R 值大于前者(表 2), 它们的金相照片及距淬火固液界面 $50\mu\text{m}$ 处胞晶间锰、硅分布电子探针的线扫描见图 6。可以看出, 当凝固速度增加时, 胞晶间距变小, Mn、Si 偏析增大, 说明溶质元素的偏析对工艺参数是敏感的

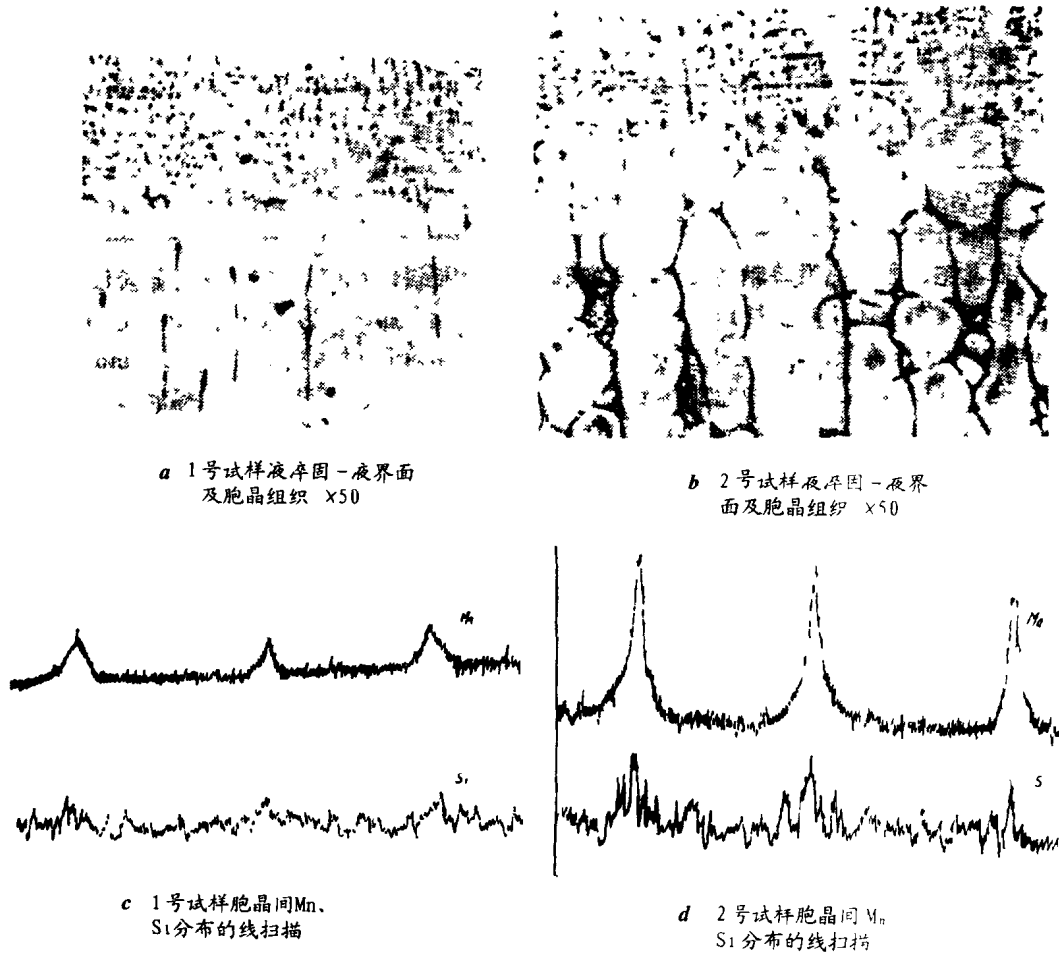


图 6 1 号、2 号试样胞晶组织及胞晶间 Mn、Si 分布情况

3.2 铈量对胞晶形貌及溶质偏析影响的考察

(1) 3~8 号试样制备工艺相同, 只是含铈量不同, 它们的金相照片见图 7。可以看出, 当铈的残留量超过 0.33%(6 号试样)后, 胞晶前沿开始出现紊乱, 即由胞晶向枝晶方向发展, 同时出现枝晶缩颈与游离晶。胞晶前沿的紊乱程度随残留铈量的增加而加剧, 图 8 表明