

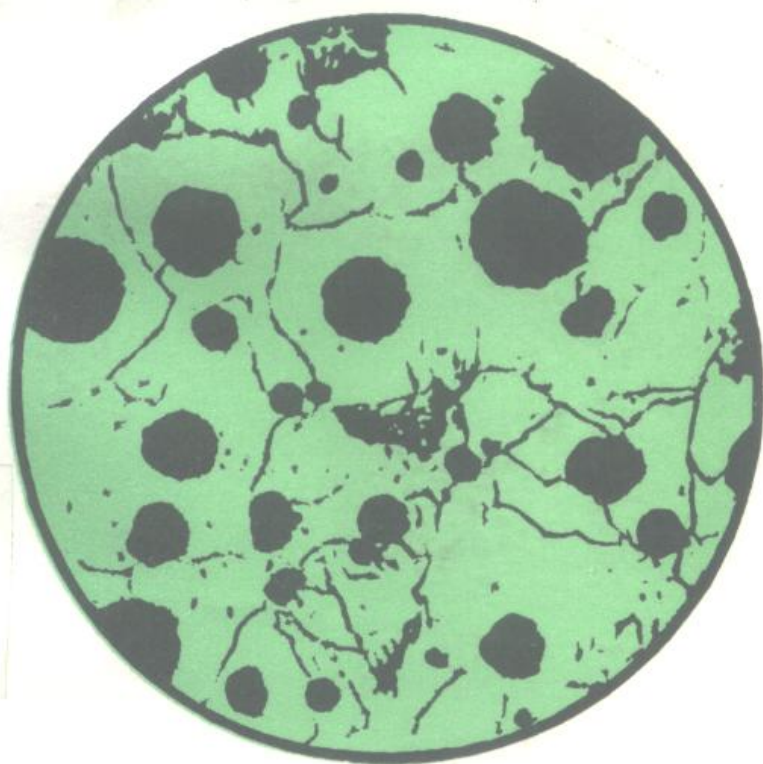
球墨铸铁

—基础·理论·应用—

張 博

〔日〕 明智清明 等編

塙 健三



机械工业出版社

球 墨 铸 铁

—基础·理论·应用—

[日]張 博 明智清明 堀 健三
川野 豊 井ノ山直哉 山本 悟
沢本 崇 李鏞河 吉田英雄 共編著
任善之 葛豊德 王云昭 译
李传枳 校



机械工业出版社

本书系统地、较详尽地介绍了石墨球化理论——气泡理论的理论基础和实验依据。作者用量子力学的基本观点,揭示了合金元素的电子构造和石墨化之间的内在联系及其影响规律,从而对铸铁固态石墨化和孕育机理提出了新的看法。本书还用球化理论和孕育机理的新观点,解释了球墨铸铁生产过程中出现的各种实际问题,并提出了吹气孕育处理、金属型铸造防止白口、粒状石墨铸铁等新的工艺方法。本书具有一定的实用价值。

本书可供从事铸造生产的工程技术人员,高等院校铸工专业的大学生、研究生和教师们,以及研究部门的有关科研人员的参考材料。

球状黑鉛鑄鉄

—基礎・理論・応用—

【日】張 博 明智清明 塙 健三 川野 豊

井ノ山直哉 山本 悟 沢本 崇

李鐸河 吉田英雄 共編著

アグネ1983年3月25日第1版第1刷発行

* * *

球 墨 铸 铁

—基礎・理論・応用—

【日】張 博 明智清明 塙 健三 等編

任善之 葛豐德 王云昭 译

李传斌 校

* * *

责任编辑: 劳瑞芬

封面设计: 方 芬

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证书出字第142号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张12¹/₄·字数263千字

1988年2月北京第一版·1988年2月北京第一次印刷

印数 0.001—3,400·定价: 3.10元

*

ISBN 7-111-00104-4/TG·40



序 言

球墨铸铁自1947年问世以来,作为一种优良的结构材料在机械、冶金、汽车、矿山等工业部门都受到了重视。球墨铸铁具有类似铸钢的强度和塑性,但生产工艺比铸钢简便,且成本低廉,因此球墨铸铁的应用范围也在不断扩大。为了提高球墨铸铁的使用性能和稳定生产工艺,世界各国对球墨铸铁的基础理论研究和应用研究也十分重视并发表了大量论文。

由张博等人所著《球墨铸铁》一书从基础、理论和应用三个方面论述了球墨铸铁的研究现况。这本书从另一个侧面也反映了日本科技界特别是京都大学工学部的科研人员多年来从事球墨铸铁研究的科研成果。本书虽以球墨铸铁为主,但也论述了铸铁的共性问题,从铁碳合金状态图、石墨的内部结构、石墨化、孕育机理、球化机理、化学成分的影响,到球墨铸铁、蠕墨铸铁的生产方法和热处理工艺,进行了比较全面的论述。全书图文并茂,深入浅出,理论联系实际,不失为一本好的球墨铸铁专著。

本书由哈尔滨科技大学任善之副教授、葛丰德副教授、沈阳铸造研究所王雲昭工程师三人译出,对于希望了解日本球墨铸铁研究现况的广大中国铸造科技人员和材料科技人员来说,这是一本很有价值的参考书。

哈尔滨工业大学
金属材料及工艺系
教授 李庆春

一九八五年二月

前 言

铸铁是随人类的进步而发展的一种材料。它用于人们日常生活中，同时也是促进了生产事业发展的基础。尽管近来各种“新型材料”相继问世，并在这些方面集中精力进行着研究开发，但不能认为铸铁的作用今后将会有所削弱。这是因为铸铁具有以下的长处。其铸造性能、耐磨性和切削性能好，与能考虑的代用材料相比其价格低廉。而且，由在要求延性和韧性的情况下开发可锻铸铁的历史可知，铸铁的材质适应性非常广。随着生产力的发展，除有高强度，高韧性外，还要求材料具有高生产率，以致在一个短时期内人们曾以为铸铁不能适应这些要求。然而，到了第二次世界大战之后，研制成铸态就具有高塑性和高韧性的球墨铸铁，在相当程度上满足了新的要求。于是，球墨铸铁牢固地在许多领域得到应用，产量急剧增加。

然而，对于球墨铸铁中石墨为什么会球化、球化剂究竟起什么作用，这样一些根本性的问题，尽管许多研究人员进行了合作研究，直到现在仍然没有得到解答。本应使这些从产业基层提出来的问题能够得到科学的解释，但仍未见成效。每当选择材料时，经常听到“铸铁不可靠”之类的说法。为了在广阔的领域里扩大铸铁的可靠性，以及提高同其它各种材料的竞争能力，建立铸铁的基础理论是非常必要的。作者认为，科学的最尖端就是要面向这样的领域。

本书是实现上述目的的第一步，以下述三个方面的内容为重点，汇集了作者们的一系列研究成果和现场经验。

第一，本书的目的是从理论上回答石墨为什么能球化的所谓石墨形态方面的问题，从各个角度进行实验性验证以建立石墨球化理论。作者相信，这种理论能够解释球墨铸铁生产中遇到的各种现象，并且是考虑处理这些情况的对策时的指导方针。

第二，力求解决在球墨铸铁生产现场经常遇到的一些实际问题。例如：应使用何种球化剂；怎样进行球化处理更好；什么样的铸造方案最合适等。此外，本书也有助于了解在设计铸造方案时应注意些什么问题。因此，本书不是作一般性的解释，而是通过列举应用方面的成功实例并提供数据，尽可能提示具体的做法。

第三，除讨论球墨铸铁之外，还归纳整理铸铁生产中最基本的石墨化问题、并从理论上解释其要因，也是本书的目的之一。本书还包括经最认真研究的白口铸铁石墨化问题，作为更加重要的根本性问题，指出铸铁在凝固过程中，如何从铁水中不直接析出渗碳体而析出石墨。此外，并试图以促进石墨化的观点说明孕育为什么有利于防止产生白口。在讨论现场防止产生白口的措施时，上述结论会有重要的参考价值。

以下按次序介绍本书的组成。

第一篇中的基础篇Ⅰ，有以下内容。

第1章谈到球墨铸铁的历史和生产动向。

第2章讲述处理有关铸铁问题时，应经常想到的状态图和构成铸铁的主要相。

第3章讨论铸铁中各种形态的石墨构造。

把第4章安排在基础篇Ⅱ中。

第4章论述处理有关铸铁问题时最重要的石墨化问题，

即决定是否石墨化的是哪些因素？并进而说明与此有关的各种元素的影响和孕育的作用。

在第一篇（基础篇）中，不只限于球墨铸铁，还讨论了从理论上研究各种铸铁时不能不涉及的许多重要问题。但是，对球化机理和应用篇有兴趣的读者，可越过基础篇而无妨碍。在阅读理论篇和应用篇的过程中如有疑问，可以再参看基础篇。

第二篇（理论篇）的各章有如下的内容。

第5章概括地介绍了气泡说的原理及其理论根据。

第6章叙述用三种方法直接向铁水中导入气泡，得到球状石墨，及用实验方法验证气泡说的情况。

第7章用气泡说的观点阐述各种元素对石墨球化所起的作用。

第8章以自固相向气孔中析出石墨为实验依据，对固相条件下的气泡说作了验证。

第9章叙述铸铁粉末冶金时烧结材料中生成的球状石墨，这是气泡说的有力证据。

第10章用气泡理论阐述球化剂的衰退及在凝固过程和固相退火过程中石墨形态由球状产生畸变的各种原因。

第11章根据周期表整理示出加在铸铁中的各种元素对石墨球化的作用。

在上述第二篇（理论篇）中详细地叙述了气泡说的原理以及从各个角度用实验方法进行验证的结果，可以说已使石墨球化理论臻于完善。但是，对于只想求得理解应用篇所必要的知识的读者，仅阅读第五章也就可以理解气泡学说的基本原理了。

第三篇（应用篇）中，从对现场立见成效的一些最新研

究成果及现在虽没应用但却很有意义的一些新的尝试中，选以下各项加以介绍。

第12章对球墨铸铁生产过程中的一些重要问题，如铁水化学成分的选择，球化处理方法，球化剂（特别是硅铁镁合金）的使用方法，防止衰退和夹杂的措施等进行了叙述。

第13章详细介绍了有关近年来重新受到重视的无冒口铸造方案和细颈速凝冒口铸造方案的情况与实例，以及应注意事项。当然也谈到了湿型冒口方案的注意事项。

第14章详细地说明了蠕虫状石墨铸铁的形成机理，各种制造方法以及材质的控制等问题。

上述三章的目的在于回答现场中常常所发生的一些问题。

第15章中说明：将共晶石墨反复加热，借助于石墨的分段和粒状化而获得机械性能高和耐热性好的铸铁。

第16章中叙述通过向铁水中吹入气体进行处理，能改善孕育效果，并能使易产生白口的铁水不致产生白口。

第17章讨论球墨铸铁金属型铸造时，防止白口和孕育效果相关的加Al或Ca的作用。

第18章叙述球墨铸铁件热处理中以强韧化效果显著而引人注目的等温淬火处理的具体方法及应注意的事项。

最后，作为附录的有：(1)石墨球化的各种学说；(2)介绍关于孕育机理的各种学说并对这些学说进行了讨论；(3)就生产球墨铸铁件各阶段因各种原因而产生缺陷的显微组织照片加以整理，提供了38张典型显微组织照片，并说明其产生的原因和防止办法。

此外，为了易于理解本书，在重要处将详细的实验方法之类记述于注解中。对于希望知道更详细的内容和实验方法

的读者，请参考卷末列举的“作为本书基础的作者原始论文”（加※记者）。

作者

1983年2月

推荐者的话

作为铸造合金，铸铁的铸造性能良好，因成分不同可有大不相同的性能，加工性能良好并具有其他物理性能上的特点，因而，其用途也广，从大型铸件到小型产品都可采用。也就是说，有灰铸铁件，球墨铸铁件、可锻铸铁件以及合金铸铁件等，各自发挥其特点，可在极其广泛的范围内使用。特别是球墨铸铁，自其开发以来我国的产量持续急剧增加，现在年产量 160 万 t，约占整个铸铁件产量的 30%。就其用途来说，球铁管和汽车铸件约占 78%，其他方面用途所占的比重尚不高，所以，希望球铁在这些方面切实地有所发展。为发展球墨铸铁，有必要就复杂的二元状态图所示的 Fe-C 系的组成和凝固时的状态变化，建立基础理论，以提高铸造工业的水平和用户的信赖性。

为此目的，本书以阐明石墨球化理论（通过从理论上说明铸铁最重要的石墨化问题，并用实验加以验证）和提出有关制造球墨铸铁的具体问题的解决方法（球化剂、球化处理方法及铸造方案等）为重点，并汇集了京都大学工学部金属系教研室的铸铁研究者和其它铸铁研究者多年的研究成果。此外，还涉及球墨铸铁的金属型铸造法，蠕墨铸铁的制造法以及粒状石墨铸铁制造法等最新成果。现在由アグネ出版社出版本书的确是及时的。

当然，不单是与生产铸铁件有关的人士，就是与使用铸件的有关的人士，也都把球墨铸铁视为至关重要的事。由于本书对上述有关铸铁件的各方面人士是极好的参考材料，所

x

以推荐给各位，务请一读。

京都大学名誉教授
工学博士 尾崎良平
1983年2月

目 录

第一篇 基础篇 I

第 1 章 球墨铸铁的历史和用途.....	1
1.1 球墨铸铁的发明	1
1.2 产量和主要用途	3
第 2 章 状态图和组成铸铁的主要相.....	11
2.1 相平衡状态图	11
2.1.1 Fe-C 系二元状态图.....	12
2.1.2 Fe-C-Si 系三元状态图.....	15
2.2 构成铸铁的主要相	20
2.2.1 石 墨	20
2.2.2 渗碳体 (Fe_3C).....	22
2.2.3 奥氏体 (γ 相).....	26
2.2.4 铁素体 (α 相).....	27
2.2.5 珠光体	28
第 3 章 铸铁中的石墨及其内部结构——用电子显微镜观察石墨——	29
3.1 借助电子显微镜了解些什么	29
3.2 观察石墨的方法	30
3.3 各种石墨的观察	31
3.3.1 集结石墨	31
3.3.2 片状石墨	40
3.3.3 共晶石墨	44
3.3.4 蠕虫状石墨	46
3.3.5 球状石墨	47
3.3.6 聚集状石墨	51

3.4 总结	52
--------------	----

基础篇 II

第4章 渗碳体与石墨化和孕育	57
4.1 渗碳体的稳定性和石墨化	57
4.1.1 添加元素对可锻铸铁石墨化的影响	58
4.1.2 添加元素对球墨铸铁的铸态铁素体化的影响	59
4.1.3 添加元素对铸钢和高碳钢中石墨化的影响	60
4.1.4 添加元素对于向低碳钢表面析出石墨的影响	61
4.2 添加元素在铸铁和钢中作用的情形	63
4.3 添加元素如何影响石墨化	68
4.3.1 阻碍石墨化的元素的作用	68
4.3.2 促进石墨化元素的作用	73
4.3.3 有时促进、有时又阻碍石墨化的元素的作用	75
4.4 退火气氛对石墨化的影响	77
4.5 渗碳体的形成和孕育	80
4.5.1 孕育	80
4.5.2 孕育剂的基本组成元素及效果	80
4.5.3 因孕育而致的组织和材质上的变化	82
4.5.4 孕育机理——对孕育的理解	83
4.6 因真空熔化而促进石墨化	86

第二篇 理论篇

第5章 球状石墨的形成机理	90
5.1 石墨球化理论的条件	90
5.2 球状石墨的形成过程	91
5.2.1 决定外形和内部结构的机理	92
5.2.2 非平衡（急冷为何有利）	95
5.2.3 非常态（衰退的起因）	96

5.2.4 球状石墨中的夹杂物	97
第 6 章 由直接导入气体而生成球状石墨	99
6.1 直接吹入氩、氮和二氧化碳等气体	99
6.2 利用 N 的溶解度与压力的关系导入 N_2 气泡	102
6.3 由粉末成形体熔化导入气泡 (Ni-C 系)	104
第 7 章 借添加元素生成球状石墨	109
7.1 添加本身气化的元素	109
7.1.1 加镁	109
7.1.2 加硫、硒、碲	114
7.1.3 加铋、铅	121
7.2 添加放出吸收氢的元素	128
7.2.1 加铈、钇、镧	128
7.2.2 加锆、钛	134
第 8 章 自固相中析出石墨及其球化	137
8.1 在凝固缩孔和裂纹内析出的石墨	137
8.2 球状石墨的析出	138
8.2.1 铸铁粉急热熔化并急冷凝固形成的白口铸铁的 退火	139
8.2.2 加镁并急冷凝固形成的白口铸铁的退火	145
8.3 缺陷的移动、消失和析出石墨分布情况的变化	150
8.3.1 预退火在 Fe-Sn-C 合金析出石墨球状化方面的 作用	150
8.3.2 过共析钢的凝固速度和石墨的形状及分布	152
8.4 镁和硫在石墨球化方面的作用	153
8.4.1 因加硫方法不同而致的退火石墨的形状变化	155
8.4.2 同时加入镁和硫	155
8.4.3 镁和硫都能使石墨球化但其作用不同	156
第 9 章 铸铁粉的粉末冶金	161
9.1 Ni-C 粉的烧结	162

9.2 Fe-Si-C混合粉的烧结	166
9.3 铸铁粉的烧结	172
第10章 阻碍石墨球化的主要因素	177
10.1 加镁和铈后的衰退	178
10.1.1 加镁以后的衰退	178
10.1.2 加铈时的衰退	184
10.2 球墨铸铁的凝固过程与石墨的生长	191
10.2.1 球状石墨的形成及其后奥氏体壳的生成(凝固初期)	193
10.2.2 球状石墨被奥氏体壳包围后的生长(凝固的中、后期)	196
10.2.3 总结	201
10.3 从固相析出的石墨发生偏离球形畸变的主要原因	202
10.3.1 晶界对气孔形状的影响	202
10.3.2 球状石墨形状的变化	203
10.3.3 局部熔化	207
第11章 各元素对石墨球化的影响	211
11.1 有石墨球化作用的元素	211
11.2 各元素阻碍石墨球化的机理	213
11.3 工业生产用石墨球化元素的条件	216

第三篇 应用篇

第12章 球墨铸铁的制造方法	218
12.1 确定铁水化学成分时应注意的事项	219
12.2 球化处理方法	221
12.3 用铁硅镁合金做球化剂时应注意的事项	227
12.3.1 最佳残余镁量和铁硅镁合金中的含镁量	228
12.3.2 防止衰退的措施	234
12.3.3 防止夹渣的措施	234

第13章 球墨铸铁的冒口设计	238
13.1 铁水由浇注终了至凝固终了时的体积变化	238
13.2 球墨铸铁铸件的冒口设置方案	243
13.2.1 无冒口铸造方案的基本条件	244
13.2.2 细颈冒口方案(补给液态收缩)——无冒口方案的改良	253
13.2.3 用于湿型的冒口方案	254
第14章 蠕墨铸铁的制造方法	263
14.1 蠕虫状石墨的生长机理	263
14.2 以气泡说为依据的蠕墨铸铁制造方法	266
14.2.1 采用所谓阻碍球化元素的方法	267
14.2.2 加入钙或含铈的混合稀土合金(MM)	268
14.2.3 利用镁处理后的衰退	269
14.2.4 单独加入少量铁硅镁合金	270
14.2.5 用原铁水稀释球墨铸铁铁水的方法	273
14.2.6 快速重熔球墨铸铁回炉料	275
14.3 蠕墨铸铁的材质管理方法	276
14.3.1 由断口判断	276
14.3.2 用热分析的方法	278
14.3.3 用声波判断	280
第15章 用热处理法制造粒状石墨铸铁	283
15.1 如何通过热处理使石墨粒状化	283
15.2 制造粒状石墨铸铁的热处理工艺	285
15.2.1 试样的制备及热处理方法	285
15.2.2 热处理对机械性能的影响	286
15.2.3 石墨粒状化的判断及其对拉伸性能的影响	288
15.3 适于进行粒状化热处理的铸铁	289
15.3.1 化学成分	290
15.3.2 石墨形态	290

15.4	粒状化石墨铸铁的抗氧化与抗胀能力	292
15.5	进行粒状化热处理的实用铸铁 (连续铸造铸铁棒)	
	举例	293
第16章	吹气处理提高孕育效果	296
16.1	吹入气体为什么会提高孕育效果	296
16.2	通过吹入气体去除夹杂物	297
16.3	吹气处理和孕育效果	299
16.4	吹入气体的种类和吹气效果	303
第17章	用金属型铸造法制造球墨铸铁	306
17.1	加Al或加 Al 后再加Ca的灰铸铁的金属型铸造	306
17.2	球化处理后的石墨化程度与球化率	309
第18章	通过热处理使球墨铸铁强韧化——等温淬	
	火	315
18.1	奥氏体化的温度和时间	316
18.2	盐浴温度和保持时间	316
18.3	壁厚的影响	318
18.4	加入合金元素的效果	318
18.5	不完全等温淬火	322
18.6	等温淬火处理的改进	323
18.7	能耗与成本计算举例	324
附录		327
附录1	对有关石墨球化机理的诸学说的讨论	327
附录2	关于孕育促进石墨化的机理的各种学说的综述	344
附录3	球墨铸铁的组织缺陷及其防止方法——缺陷照	
	片及其主要原因	346
参考文献		360
后记		373