

稀土-镁球墨铸铁生产

内蒙古工学院机械厂铸工车间三结合技术革新小组编

稀土-镁球墨铸铁生产
内蒙古工学院机械厂铸工车间
三结合技术革新小组编

•

内蒙古人民出版社出版
(呼和浩特西落凤街28号)

内蒙古书店发行
内蒙古新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 3.375

1973年3月第一版

1973年4月第1次印刷

印数: 1—15,450册

统一书号: 15069·04 每册: 0.26元

[]

前 言

遵照伟大领袖毛主席的教导：“抓革命，促生产，促工作，促战备”，“打破洋框框，走自己工业发展道路”，我国铸造战线上的广大工人、革命干部和技术人员，发扬了独立自主、自力更生、艰苦奋斗的革命精神，充分利用我国丰富的稀土资源，将稀土-镁球墨铸铁成功地应用在生产上，在全国得到了广泛的推广。

稀土-镁球墨铸铁，是一种新型的材料。它比镁球墨铸铁有许多突出的优点：“工艺简便，操作安全，铸造缺陷少，机械性能高。”因此，它的出现为“以铸代锻”，“以铁代钢”开辟了广阔途径。

稀土-镁球墨铸铁的广泛应用，可为国家节约大量钢材和较缺少的贵重金属，如镍、铬等。稀土-镁球墨铸铁的废品率较镁球铁可大为下降，从而可以降低成本，节约资金，对促进我国社会主义建设事业的发展具有很大的政治和经济意义。

我区是稀土之乡，这为发展稀土-镁球墨铸铁提供了极为有利的条件。经过各工厂及有关研究单位进行了稀土-镁球墨铸铁的试验与研究，已成功地应用在柴油机、汽车、拖拉机和农业机械生产上。

我院机械厂铸工车间，在院、厂领导的直接关怀下，在工人、干部、下厂教师的共同努力下，也成功地将稀土-镁

目 录

绪 论	(1)
第一章 稀土元素和稀土合金	(4)
§ 1 什么是稀土元素	(4)
§ 2 稀土硅铁合金简介	(5)
§ 3 稀土元素在铸铁中的作用及其使用防护	(8)
第二章 稀土-镁球墨铸铁的组织 and 性能	(11)
§ 1 球墨铸铁的显微组织	(11)
§ 2 稀土-镁球墨铸铁的机械性能	(14)
第三章 稀土-镁球墨铸铁的生产	(16)
§ 1 熔化和配料	(16)
熔化条件	(16)
铁水化学成分的控制	(17)
球化剂和孕育剂	(23)
配料计算	(31)
§ 2 稀土镁中间合金的制备	(36)
稀土镁中间合金的配比分析及计算	(37)
稀土镁中间合金的熔制	(41)
§ 3 炉前处理和检验及缺陷分析	(48)
炉前处理工艺	(48)
炉前检验	(52)
缺陷分析及防止措施	(54)

第四章 稀土-镁球墨铸铁的热处理	(63)
§ 1 正火及回火处理	(63)
§ 2 石墨化退火处理	(67)
§ 3 凸轮轴等温淬火	(70)
第五章 稀土-镁球墨铸铁的检验	(71)
§ 1 金相分析	(71)
§ 2 机械性能试验	(73)
结束语	(76)
附表: 稀土-镁球墨铸铁材质、性能、生产和 应用情况示例	(80)
附表 1 各类稀土-镁球墨铸铁(区内)	(80)
附表 2 高强度稀土-镁球墨铸铁	(82)
附表 3 大截面高强度稀土-镁球墨铸铁	(84)
附表 4 高韧性稀土-镁球墨铸铁	(86)
附表 5 其他类型稀土-镁球墨铸铁	(88)
附 录	(90)
附录一 球墨铸铁标准 (JB298-82)	(90)
附录二 生铁标准	(91)
(一) 炼钢生铁 (GB717-65)	(91)
(二) 铸造生铁标准 (GB718-65)	(92)
附录三 铁合金标准	(93)
(一) 硅铁标准 (YB58-65)	(93)
(二) 锰铁标准 (YB59-65)	(93)
(三) 硅钙标准 (YB525-65)	(94)
附录四 铸造化铁炉焦炭标准	(91)
附录五 球化类型	(95)
附录六 石墨大小	(98)

绪 论

“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”球墨铸铁的出现是在1947年有人在过共晶的铁水中加入稀土元素“铈”，使石墨变成球形，使铸铁机械性能的提高产生了一个“飞跃”。这一发现，使铸铁的发展进入了一个新的领域。但是，由于当时铈的缺乏以及一些别的因素，球墨铸铁没有得到实际应用。在1948年到1949年间，人们用纯镁试制成功了镁球墨铸铁，使它在生产中得到了实际应用。

镁球墨铸铁，因其处理工艺复杂，耗镁量又大，以及夹渣、缩松、皮下气孔是它出现较多的弱点，因此，它的普遍应用和推广在某种程度上受到了限制。几十年来，人们为寻求合理的球化剂做了不少努力，后来发现稀土元素加入铁水，不仅有利于石墨球化，而且有很多其它好的作用。我国稀土的蕴藏量很丰富，为稀土-镁球墨铸铁的发展提供了有利的条件。在毛泽东思想的指导下，我国广大铸造工人和革命技术人员经过研究和试验，相继在上海、包头、无锡、南京等地试制成功稀土球铁和稀土-镁球墨铸铁。经过几年的生产实践证明，由于稀土-镁球墨铸铁综合了镁和稀土在铸铁中各自好的作用，避免了其不足之处，因此，在生产中得到了广泛推广和应用，发展很快。例如：在高强度球墨铸铁方面：

广泛地应用在小马力柴油机的曲轴、凸轮轴、各种齿轮等，代替了普通炭素钢的锻件。例如无锡柴油机厂已大量生产球墨铁连杆；高速柴油机、汽车、拖拉机发动机的锻钢曲轴均以球墨铸铁代替。高强度稀土-镁球墨铸铁的性能已达到：抗拉强度 $\sigma_b = 70 \sim 90$ 公斤/毫米²，延伸率 $\delta > 2\%$ ，冲击值 $a_K = 3 \sim 5$ 公斤-米/厘米²。在高强度球墨铸铁中加入少量合金元素（铜、钼），可以生产大断面的大型曲轴（1000~2000马力）和超高强度球墨铸铁。又如沈阳齿轮厂以稀土-镁钼球墨铸铁经过等温淬火生产齿轮，成功地代替了合金钢18铬锰钛。其性能达到：抗拉强度 $\sigma_b = 120 \sim 145$ 公斤/毫米²，硬度 $HRC = 47 \sim 51$ 。

在高韧性球墨铸铁方面：它的性能达到：抗拉强度 $\sigma_b = 40 \sim 60$ 公斤/毫米²，延伸率 $\delta = 10 \sim 25\%$ ，冲击值 $a_K = 10 \sim 20$ 公斤-米/厘米²。它应用在汽车、拖拉机、农业机械制造中，代替了可锻铸铁和中、低碳钢的铸锻件。例如南京汽车制造厂已有57种另件用高韧性球墨铸铁代替。

其他各种耐磨、耐蚀、耐热球墨铸铁也获得了较多的应用，中锰耐磨球墨铸铁生产的球磨机磨球，耐磨性比锻钢球提高一倍；球铁轴瓦已能代替铜瓦；耐热球墨铸铁生产热处理电炉底板，耐热度已达到850~950°C，代替了高镍铬合金铸铁；又如广东佛山水泵厂已试制成功稀土无镁球墨铸铁……等等。

毛主席教导我们：“世界上的事情是复杂的，是由各方面的因素决定的。看问题要从各方面去看，不能只从单方面看。”稀土-镁球墨铸铁在发展的过程中，由于稀土在铸铁中的作用机理不十分清楚，还存在一些问题。归纳起来大致如下：

1. 球化处理工艺不太稳定：球化处理工艺影响因素较多，原铁水化学成分，中间合金质量和处理方法等，生产中往往因上述问题控制不当，出现球化不良和不球化。当前球化处理不稳定的主要原因是中间合金质量问题，其次是铁水温度低，处理工艺不当。

2. 中间合金的合理熔制工艺还没有彻底解决：稀土镁中间合金的质量是关系到石墨能否球化的问题，目前稀土镁中间合金一般均以焦炭地坑炉熔化，因焦炭地坑炉的温度不好控制，所以熔化中镁的烧损不易掌握。因此，中间合金质量受熔化操作影响很大。中间合金质量与其所配炉料的熔化特点有密切关系，而目前对中间合金的炉料选择、配比计算、装料方法等，无论是理论上或实际中均未得到彻底解决。这是稀土-镁球墨铸铁生产中急于解决的一个重要问题。

3. 在球铁质量方面：石墨漂浮、湿型的皮下气孔出现几率还比较多。稀土-镁球墨铸铁要求高碳，且总的碳当量也较高。目前一般均采用铸造生铁生产球铁，常常因原铁水硅量或碳当量的偏高而出现石墨偏析或石墨漂浮。

湿型生产球铁时，皮下气孔是常见缺陷，因皮下气孔产生原因较多，目前对其形成机理还不太清楚，虽有些防止措施，尚不能彻底解决。

综合以上所述可见，要使稀土-镁球墨铸铁的生产工艺日臻完善，球化处理趋于稳定，还需做一定的努力。

本书主要是叙述稀土-镁球墨铸铁生产的实际工艺过程以及其缺陷的防止，对生产中的重要问题从原理上进行了阐明，并介绍了稀土-镁球墨铸铁的检验和国内、区内一些工厂的生产数据，使它能对我区稀土-镁球墨铸铁的推广起一定的有益作用。

第一章 稀土元素和稀土合金

稀土金属是工业生产中应用很广的一种宝贵材料。长期以来一直被人们认为“稀少”而没有得到实际应用。直到近几十年,人们才发现在钢铁和有色金属中加入稀土元素,可以大大提高它们的性能,从而打开了稀土元素应用的广阔天地。

随着稀土金属生产的发展,稀土元素在铸铁中的应用越来越广泛。为了生产的需要,我们在讨论稀土-镁球墨铸铁之前,先介绍一些当前比较清楚的有关稀土元素及其合金的特性,以及它们在铸铁中的具体作用。

§1 什么是稀土元素

“稀土”这个名词的来由是,因它的氧化物外表与当时被称为“泥土”的碱土金属氧化物很相似,而且它比碱土金属较为稀少,故定名为“稀土”。

“稀土”其实它既不象“土”,也不稀少,而是典型的金属。它在地壳中的蕴藏量是相当丰富的,约占地壳组成的0.01%,比常见的锌、锡、铅、钼要多得很多。所以,现在看来,这个名词仅仅是用来称呼这一族元素而已。

稀土元素,是化学周期表中第三族第六周期内第57号到71号的15个元素,因为这些元素是从“镧”开始,所以称为“镧系元素”。另外还有两个它们的同族元素“钪”、“钇”,因这两个元素在化学性质上与它们十分相似,而且又和“镧系元

素”常常共存在一起,因此,把这十七个元素统称为“稀土元素”,化学元素符号用“R”表示(见表1-1)。

表 1-1 稀土元素

符 号	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	21 Sc	39 Y
名 称	镧	铈	镨	钕	钷	钐	铕	钆	铽	镱	铒	铥	镱	镱	镱	钪	钇

稀土元素按其原子结构和物理特性又分为两组:

1. 钪组(又称轻稀土): 包括镧、铈、镨、钕、钷、钐、铕、钆、铽、镱、铒、铥、镱、镱、钪、钇;

2. 钇组(又称重稀土): 包括钆、铽、镱、铒、铥、镱、镱、钪、钇。

铸铁中应用的稀土合金中主要是含有钪组(轻稀土)元素。

稀土元素的物理特性如下: 熔点 $310\sim 1800^{\circ}\text{C}$ 、比重 $3.1\sim 9.8\text{克/厘米}^3$ (一般轻稀土在下限, 重稀土为上限)。稀土元素的化学性质很活泼, 几乎能和所有的元素起作用, 特别是与氧、硫、氢、氮、磷有很大的结合力, 这是它们的共性。

稀土元素分布很广, 目前已知的稀土矿物有250多种。

§2 稀土硅铁合金简介

稀土硅铁合金, 是将含有稀土元素的矿物熔炼之后, 在一定的碱度下, 加入硅铁还原而得到。稀土元素在稀土硅铁中是以稀土硅化物的形式存在(RSi 、 RSi_2 等), 而不是以氧化物的形式存在。稀土合金中, 主要是含有钪组稀土元素。

稀土硅铁合金的物理性质(以包头1号稀土硅铁合金为

例) 如下:

合金熔点: 当稀土氧化物 (R_2O_3) 为20~31%, 含硅量为37~41%时, 测得合金熔点为1082~1089°C。

合金假比重: 当稀土氧化物在24~30%, 含硅量在35~42%时, 测得合金假比重为4.57~4.8克/厘米³, 平均假比重为4.7克/厘米³。

稀土合金的化学性质仍然具有稀土元素的活泼性, 几乎能和所有的元素起反应, 特别是和硫、氧、氢等。

稀土硅铁合金在铸铁中起作用的稀土元素是钪、镧、铈、铈, 其中主要是钪。

目前国内在铸铁中应用的稀土硅铁合金主要是下列几种:

稀土硅铁合金 (称1#合金): $R-Si-Fe$

稀土硅铁镁合金 (称4#合金): $R-Si-Fe-Mg$

稀土硅铁钙合金 (称3#合金): $R-Si-Fe-Ca$

稀土硅铁合金的化学成分见表1-2。

根据有关生产单位介绍, 稀土硅铁合金应用情况如下:

1# 稀土硅铁合金: 此合金在铸铁中应用最多, 将它加入普通灰铸铁中, 能细化组织, 提高机械性能, 可以代替废钢。有的单位经过试验证明: 适当的稀土加入量, 一般能使铸铁性能提高一个牌号。也可单独使用 1# 稀土合金作球化剂, 生产稀土球墨铸铁。目前多是以1#稀土合金和镁及其它金属熔制成中间合金作球化剂, 生产稀土-镁球墨铸铁。

1#稀土合金按其稀土含量分为四个品级: 一级品: 稀土含量 $R = 17 \sim 20\%$; 二级品: $R = 20 \sim 24\%$; 三级品: $R = 24 \sim 27\%$; 四级品: $R = 27 \sim 30\%$ 。生产使用证明, 高品位稀土合金好使用。1#稀土合金的缺点是比重轻、易偏析。

表 1-2 稀土硅铁合金化学成分

代号	产品名称	品级	化 学 成 分 (%)							
			稀土总量(R)	Si	Fe	Al	Mg	Ca	Mn	Ti
1*	稀土硅铁合金	1	17~20	36~44	21~27	0.5~0.9	0.4~1.3	1~5	2~6	2~6
		2	20~24	"	"	"	"	"	"	"
		3	24~27	小于42	"	"	"	"	"	"
		4	27~30	"	"	"	"	"	"	"
3*	稀土硅铁	1	20~24	38~42	"	"	"	大于5	"	"
	钙合金	2	24~27	"	"	"	"	"	"	"
4*	稀土硅铁	1	17~20 20~25	34~42	"	"	3~5	1~5	"	"
		2	17~20 20~25	"	"	"	5~8	"	"	"
		3	17~25 20~25	"	"	"	8~10	"	"	"
	镁合金*	4	17~20 20~25	"	"	"	10~12	"	"	"

* 稀土硅铁镁合金每一品级分为两类，“稀土总量”栏中，左上方属第一类，右下方属第二类。

目前各工厂对稀土硅铁合金中稀土量的分析，只能分析稀土氧化物，而稀土氧化物与稀土总量之间存在如下换算关系：

$$\text{稀土总量/稀土氧化物} = 0.835$$

4*稀土硅铁镁合金：应用在耐热、耐酸球铁和可锻铸铁的生产中；也有的用它作球化剂使用，但因稀土量过高（R = 20~25%），球化效果不好。

生产证明,稀土镁中间合金(其中含镁 $Mg = 8.0 \sim 9.0\%$, 稀土 $R = 7 \sim 8\%$) 是比较好的球化剂。沈阳铸造研究所综合了大量球铁生产实践,总结出一种新的低稀土硅铁镁合金,成分见表1-3。

表 1-3 低稀土硅铁镁合金成分

元素名称	稀 土 (R)	镁 (Mg)	硅 (Si)	铁 (Fe)
百分含量 (%)	5~11	5~10	<44	40

该合金定名为6*合金,实质上就是稀土镁中间合金,它可以直接作为球化剂使用。

当前大量生产、供应的是1*稀土合金,是稀土-镁球墨铸铁生产中广泛应用的一种合金。

§3 稀土元素在铸铁中的作用 及其使用防护

稀土元素在铸铁中应用的时间不长,因此,关于稀土元素在铸铁中的作用机理目前还缺乏完整统一的结论。十多年来,经过有关工厂和科研单位的试验和研究,得出一些对稀土元素在铸铁中作用的共同看法,它对指导生产实际具有实践意义。现作一综合介绍,以使用以分析稀土-镁球墨铸铁生产中出现的问題和进一步探讨稀土元素在铸铁中的作用机理。

1. 变质作用

稀土加入铁水以后,变质作用表现在两个方面。其一是改变石墨形状。因稀土元素具有一定的球化能力,使石墨变

为球状或厚片状(蠕虫状)，从而大大提高铸铁的机械性能。资料表明，稀土中镧、铈、钕均具有一定的球化能力，其中主要是“铈”。

其二是稀土能细化组织，改变非金属夹杂物的形状、大小、分布。使非金属夹杂变为粒状且细小；在铸铁中呈均匀、弥散分布，大大减弱它们的不利影响，使铸铁质量提高。

2. 合金化作用

在铸铁中残留的稀土和稀土化合物，它们能微量溶入铸铁，使铁的结晶晶格发生歪扭，使铸铁性能提高。

3. 净化作用

稀土加入铁水，因其化学性质相当活泼，它可以去气、去硫，生成高熔点的硫化物和氧化物而从铁水中排出。

铁水中的锡、钛、铋、铅、砷，它们不仅对球化有干扰，而且有些元素可以和铁生成低熔点的化合物，分布在铸铁的晶界处，使铸铁性能降低。稀土的加入，可以和这些元素形成高熔点的金属间化合物，成为难熔杂质而从铁水中排除。因而它既可以抵消其对球化干扰的作用，又使球铁晶界净化，从而使性能提高。

4. 改善铸造性能

因稀土加入铁水后，有利于铁水中夹杂物和气体的上浮，从而能显著提高铁水的流动性，并使铸件的成分偏析减少。由于稀土的良好作用，使铸件的缩松、夹渣大大减少，提高了球铁质量，降低了废品率。

5. 稀土有稳定碳化物的作用

稀土在铁水中，能加大铁水的过冷度，使铁水在结晶时易于生成渗碳体(Fe_3C)。因此，铁水中残留稀土量愈大，铸件的白口倾向愈大。这一作用的突出表现是“反白口”，

“反白口”就是因稀土的偏析所造成。

关于稀土使用的防护问题：谈到稀土，往往使人们想到“放射性”，感到放射性的存在和长期接触，对人的生命总是一种“威胁”。其实不然，稀土元素虽然具有微量放射性，但它的放射穿透能力很低，一般用一张白纸即可挡住。所以穿工作服进行操作，就可防止稀土的放射性对人体的影响。

但不允许稀土进入人体内部，因侵入人体以后，虽然放射能力低，但长期照射对人体是有害的，应该采取必要的防护措施。一般只要操作时戴口罩和手套，工作完后洗手、漱口，即可保证安全生产。口罩、手套使用一段以后要销毁，不要再用。严禁使用含有稀土的金属材料做食用器具，以免损害健康。稀土合金应存放在工作地外偏僻处，防止人们乱动而引起不良后果。

第二章 稀土—镁球墨铸铁的组织性能

稀土—镁球墨铸铁能够代替碳钢、优质钢和部分合金钢，以及一些有色金属，这已是大家知道的。但是，球墨铸铁为什么能够代钢？这就需要从球墨铸铁的组织性能来分析。

§1 球墨铸铁的显微组织

铸铁组织是由基体和石墨组成，而钢中不存在石墨。由于石墨对基体的破坏作用，使铸铁性能远远不及钢的高。因此，提高铸铁性能的主要关键就是石墨问题。只有设法尽量减少石墨对基体的破坏作用（使石墨变为球形），才能经过必要的热处理手段改变基体组织，达到提高铸铁性能的目的。弄清石墨、基体以及它们与机械性能之间的关系是保证球铁质量的基本因素。

一、石墨

石墨是碳在铸铁中以单独的、自由形式存在的部分，它的强度、硬度和塑性很低。在铸铁中把它近似地看为金属基体中的空洞和裂缝。因石墨将基体割裂，破坏了基体对性能提高的有效作用。

在讨论铸铁石墨时，首先要抓住石墨存在的特点，这个

特点就是石墨的形状、数量、大小和分布形式。它和机械性能有直接关系，必须有明确的认识。

石墨的形状有：片状、团絮状、球状（见图 2-1）。



图2-1 石墨的形状

普通铸铁中为片状石墨，孕育铸铁的石墨是细片状，可锻铸铁中是团絮状，球墨铸铁中为球状石墨。

球状石墨对金属基体的破坏作用最小，这是因为球状石墨与同体积的片状石墨相比，它的表面积与体积之比最小；当铸铁受力时，石墨周围的应力也大大减小，这样基体对性能的作用就充分发挥出来。一般能发挥强度的70~90%，且塑性和韧性也得到了相应的提高。石墨的大小、数量及分布情况与机械性能的高低有直接影响。球墨铸铁正因为石墨形状得到了彻底变革，于是铸铁的机械性能就产生了一个“突变”，使“以铁代钢”成为现实。

这个问题用个比喻就能直观地理解：我们用毛笔蘸上水，在一张白纸上画一些横七竖八的长道（代表片状石墨）；另一张同样的白纸上点些数量相同的圆点（表示球状石墨）。当分别撕这两张纸时，画长道的轻而易举的被撕破，有圆点的就不那么容易，用力大小显然不同，这就是上面所谈的道理。

稀土-镁球墨铸铁球化情况的评定是生产中的一个重要问题，特别是稀土-镁球墨铸铁的石墨球形不及镁球铁的圆整，而且常常会同时出现几种形状的石墨。由于稀土的其他