

稀 土 在机械工业中的应用

郑州机械科学研究所铸造室编著

第一机械工业部技术情报所

内 容 提 要

本书介绍了稀土镁球墨铸铁、稀土灰铸铁、稀土铸钢和钢材、稀土铝合金、稀土电热合金、稀土刚玉砂轮等各种稀土机械工程材料的成分、性能、生产工艺和应用实例等，并着重叙述了各种稀土镁球墨铸铁铸件的生产工艺和技术。

本书可供机械工业从事稀土应用工作的工人、技术人员和高等院校有关专业的师生参考，对设计人员进行设计选材，也有一定的参考价值。

稀土在机械工业中的应用

(内 部 资 料)

*

第一机械工业部技术情报所编辑出版

北京印刷二厂印刷

北京中国书店（北京琉璃厂西街）经售

*

1977 年 8 月北京

代号：77-1 • 定价 0.76 元



前 言

我国稀土资源极为丰富。充分利用稀土，逐步建立具有我国资源特点的新材料体系，对促进机械工业的发展，加速社会主义建设，具有重要的意义。

十多年来，特别是无产阶级文化大革命以来，我国机械工业广大职工，在毛主席无产阶级革命路线指引下，遵照“独立自主，自力更生”和“打破洋框框，走自己工业发展道路”的教导，积极开展稀土应用的试验研究工作，稀土应用范围从铸铁相继扩展到铸钢、锻钢、有色合金及其它机械工程材料，取得了较大的成绩。

为了普及有关稀土应用方面的基本知识，促进稀土在机械工业方面的应用，根据我们在稀土应用工作中的点滴体会，并参考兄弟单位的先进经验，写成这本技术普及读物，供有关部门和工人、技术人员参考。因水平有限，加之时间仓促，错误、遗漏之处肯定很多，恳请广大读者批评指正。

编 者

一九七六年十二月

目 录

前 言

第一章 稀土元素和稀土合金	1
第一节 稀土元素及其应用概况	1
第二节 机械工业用稀土合金种类	2
第三节 稀土元素在铸铁中的作用	3
第四节 稀土元素在钢中的作用机理	9
第五节 稀土合金的使用防护	10
第二章 稀土镁球墨铸铁	12
第一节 稀土镁球墨铸铁的组织 and 性能	12
第二节 稀土镁球墨铸铁的铁水熔化	18
第三节 稀土镁球墨铸铁的炉前处理	25
第四节 稀土镁球墨铸铁件铸型工艺	33
第五节 稀土镁球墨铸铁的热处理和表面强化	43
第六节 特种稀土镁球墨铸铁件的生产	51
第七节 稀土镁球墨铸铁件的质量检查	56
第三章 稀土灰铸铁	64
第一节 稀土孕育铸铁	64
第二节 稀土高强度灰铸铁	65
第三节 稀土特种合金铸铁	69
第四章 稀土铸钢	71
第一节 稀土炉底辊耐热铸钢	71
第二节 稀土 18—8Ti 不锈钢	74
第三节 稀土铬系不锈钢	80
第四节 稀土高锰铸钢	81
第五章 稀土钢材 (锻钢、型钢、钢板)	82
第一节 稀土 25MnTiB 渗碳齿轮钢	82
第二节 稀土 65SiMn 犁铧钢	87
第三节 稀土 16Mn 汽车大梁钢	89
第四节 其它稀土钢材	89
第六章 稀土在其它机械工程材料中的应用	92
第一节 稀土 66—1 活塞用铝合金	92
第二节 稀土铁铬铝电热合金	96
第三节 稀土刚玉砂轮	98
附录一 稀土镁球墨铸铁的球化分级	101
附录二 稀土镁球墨铸铁的石墨大小	102
附录三 球墨铸铁件国家标准	104

附录四	冶金部部标准——稀土硅铁合金技术条件.....	104
附录五	冶金部部标准——稀土硅铁镁合金技术条件	105
附录六	选用稀土镁球墨铸铁材质的原则和应用实例	105

第一章 稀土元素和稀土合金

稀土及稀土产品的生产已有近百年历史，但长期以来一直被人们认为“稀少”而没有得到实际应用。近年来，人们发现稀土的储量并不稀少，另外在钢铁、有色合金及其它材料中加入少量甚至微量的稀土元素，就可以显著改善、提高它们的各项性能，从而打开了稀土元素应用的广阔天地。

第一节 稀土元素及其应用概况

“稀土”这个名词是从十八世纪沿用下来的名称，因为当时用以提取这类元素的矿物比较稀少，而且只能获得外观似“泥土”的稀土氧化物，故取名“稀土”。其实，稀土元素既不“稀”也不像“土”，而是典型的金属，其储藏量也相当丰富，约占地壳组成的0.015~0.016%，比常见的锌、铅、锡、钼、钨要多好多倍。

稀土元素不是一种元素，而是一族物理化学性质极其相似的元素。它包括原子序数57（镧）到71（镱）的镧系元素，以及与镧系元素在化学性质上近似的钪和钇，共十七个元素，统称它们为“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	镝	钬	铒	铥	镱	镱	钪	钇

根据原子结构、物理性质和在矿石中存在的相似程度，通常将稀土元素分为两组：

1. 钪组（又称轻稀土）：包括镧、铈、镨、钕、钷、钐、铕；
2. 钇组（又称重稀土）：包括钆、铽、镝、钬、铒、铥、镱、镱、镱、钪。

在机械工程材料中，主要应用含有钪组（轻稀土）元素的稀土产品。近几年来，也开始试验研究钇基重稀土合金在球墨铸铁中的应用。

纯的单一稀土金属具有明显的金属光泽和良好的塑性。密度3~9.8克/厘米³，熔点从800°C到1700°C不等，一般地说，钪组（轻稀土）元素的熔点、密度、硬度均较低，钇组（重稀土）元素则较高。稀土与工业上常用的一些金属可熔成合金。但由于稀土元素的原子半径较大，所以其固溶度很小，只有千分之几或万分之几（其中镁、铝、铬、钛除外），如钪在铁中溶解度为0.4%。

稀土元素的化学性质极其活泼，几乎能与所有的元素起作用，特别是与氧、硫、氢、氮等有很大的亲和力，生成极稳定的氧化物、硫化物等。由于稀土元素间的化学性质极为相似，所以在机械工程材料中应用（特别是在铸铁中应用时）或化验其残余量时，通常不将各元素一一区分开，而只考虑“稀土总量”，用符号Re_总代表。

根据用途，稀土金属以各种不同的产品形式应用。采用稀土产品的主要形式有：

1. 单一稀土金属和混合稀土金属；
2. 稀土中间合金（含有其它非稀土金属）；
3. 稀土氧化物、氢氧化物；
4. 稀土元素的盐类：氧化物、氟化物、硫化物、硫氧化物、磷化物、醋酸盐、硝酸盐、硫酸盐等。
5. 特殊用途的化合物：氮化物和六硼化物等。

由于稀土金属及其化合物同时兼有许多优异的性能，其应用范围越来越广泛，除机械制造部门以外，在冶金、石油、化工、玻璃陶瓷、轻工、电讯、农业、医疗和国防工业等各方面均已获得成功的应用，在我国的社会主义建设事业中起到越来越大的作用。

第二节 机械工业用稀土合金种类

在机械工业中，稀土的应用范围主要有：各种牌号的稀土镁球铁，稀土高强度灰铸铁，稀土铸锻钢，稀土铸造有色合金，稀土电热合金，稀土刚玉砂轮等。根据不同的用途和使用要求，机械工业用稀土产品种类大致有如下几种：

一、稀土硅铁合金（R-Si-Fe）：俗称1*合金，是将含有稀土氧化物的矿物熔炼以后，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），而不是以氧化物形式存在。合金中的稀土元素仍保持着纯稀土所具有的活泼的化学特性，主要成份是铈组稀土元素，而铈在稀土总量中的含量又占将近一半。

稀土硅铁合金的熔点为 $1082\sim 1089^{\circ}C$ ，假比重为 $4.57\sim 4.80$ 克/厘米³。

稀土硅铁合金在机械工业中的主要用途是：

1. 在稀土镁球墨铸铁生产中，是配制稀土镁球化剂必不可少的原材料。1*合金一般不直接用作球化剂，而是将它和镁锭等其它炉料按照一定的配比熔制成中间合金。我国绝大多数球墨铸铁生产厂使用1*合金加镁自行熔制成稀土镁球化剂（即下面介绍的6*合金）。

2. 可直接加入铁水和钢水中，制取稀土孕育铸铁，稀土高强度灰铸铁、稀土特种合金铸铁及各种稀土铸锻钢。

二、稀土硅铁镁合金（R-Si-Fe-Mg）：是用1*合金加镁等炉料熔制而成可直接用来作球化剂制取稀土镁球墨铸铁。按其稀土与镁在合金中所占比例不同，又分为4*合金与6*合金两种。

1. 4*合金：是一种稀土含量较高的稀土硅铁镁合金。其稀土总量平均在20%左右，按其含镁量不同分成四个品级，最低者为3~5% Mg，最高者为10~12% Mg。多用于制取中锰抗磨球铁、高硅耐酸球铁、硅铝耐热球铁等特种球墨铸铁。因其稀土含量过高，在一般球墨铸铁生产中使用效果不太理想，容易出现白口。

2. 6*合金：是一种稀土含量较低的稀土硅铁镁合金。其稀土含量与镁含量的比例约为1:1，推荐较好的成份是：R6~8%，Mg7~9%，Si35~40%。实践证明：它是生产稀土镁球铁的一种比较好的球化剂。

三、单一及混合稀土金属：用于铸钢（直接加入钢水中）及铸造有色合金（一般先将混合稀土金属配成与其它有色金属固溶的中间合金，再正式使用）。此外也用于制取稀土电热

合金、稀土永磁合金、稀土仪表弹性合金等。

四、稀土-有色金属合金：包括镁-铈、镁-镧、铝-稀土、铜-稀土等中间合金，可直接用于铸造有色合金。

五、稀土氧化物：在机械工业中应用较少，如采用氧化镨钕富集物制造稀土刚玉磨料及砂轮。

此外，还有一些稀土产品正在进行应用试验，尚未在生产中正式应用。如试验制造球墨铸铁的钇基重稀土硅钙合金、稀土钙镁合金（俗称 M6 合金），试验制造稀土高强度灰铸铁的稀土钙合金等。

在机械工业中用量较大的 1*、4*、6* 合金的化学成份及应用范围见表 1-2。

表1-2 常用稀土合金的化学成份及应用范围

代号	产品名称	品级	化 学 成 份 (%)								应 用 范 围
			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	高强度灰铸铁；特种合金铸铁；稀土孕育铸铁；稀土钢；配制球化剂
		2	20~24	36~44	21~27	0.5~0.9	0.4~1.3	1~5	2~6	2~6	
		3	24~27	小于42	21~27	0.5~0.9	0.4~1.3	1~5	2~6	2~6	
		4	27~30	"	21~27	0.5~0.9	0.4~1.3	1~5	2~6	2~6	
4*	稀土硅铁镁合金	1	17~20, 20~25	34~42	21~27	0.5~0.9	3~5	1~5	2~6	2~6	中锰抗磨球铁；高硅耐酸球铁；硅铝耐热球铁
		2	17~20, 20~25	34~42	21~27	0.5~0.9	5~8	1~5	2~6	2~6	
		3	17~20, 20~25	34~42	21~27	0.5~0.9	8~10	1~5	2~6	2~6	
		4	17~20, 20~25	34~42	21~27	0.5~0.9	10~12	1~5	2~6	2~6	
6*	稀土硅铁镁合金		6~8	35~40			7~9				一般的稀土镁球墨铸铁件

稀土硅铁合金和稀土硅铁镁合金经过十几年的广泛应用考验，冶金部已于一九七七年正式制订出部颁标准（草案）。新的冶金部标准将稀土硅铁合金按稀土品位分为七级，将稀土硅铁镁合金按稀土和镁的品位不同分为七级。该两标准（“稀土硅铁合金技术条件”和“稀土镁硅铁合金技术条件”）详见附录四和附录五。

第三节 稀土元素在铸铁中的作用

关于稀土元素在铸铁中的作用机理，至今尚缺乏完整统一的结论，还需进一步深入研究。国内有关单位经过试验得出如下一些共同看法，现作一综合介绍。

稀土元素在铸铁中有如下一些作用：

一、改善石墨形状，细化石墨和基体组织

稀土加入后，能提高铁水的表面张力和结晶时的过冷度，从而改善了石墨形状并细化了石墨。图 1-1 至图 1-6 为一组不同稀土加入量对同一炉次灰铸铁石墨形状影响的金相照片，十分形象地表明了稀土元素的上述作用。在不加稀土的原铁水（相当于普通灰铸铁）中，石墨是粗片状的（如图 1-1 所示），它对金属基体有较大的破坏作用。随着稀土加入量的增加，石墨依次先由粗片状变为较细的菊花状（图 1-2）及细片状（图 1-3），又变为厚片状



图1-1 粗片状石墨,原铁水未加稀土,100×

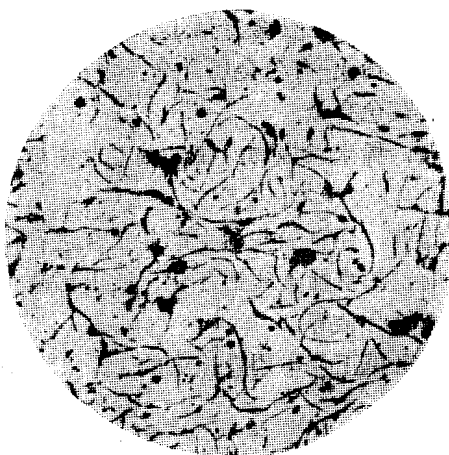


图1-2 菊花状石墨,加少量稀土,100×

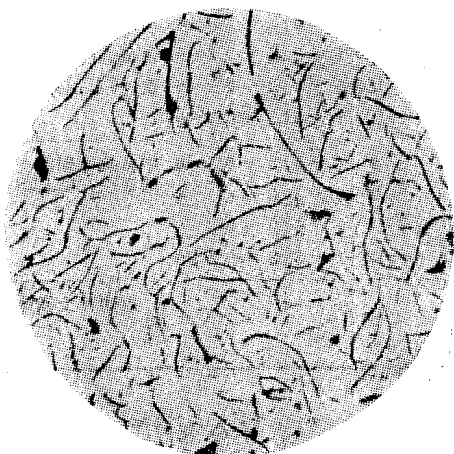


图1-3 细片状石墨, 100×

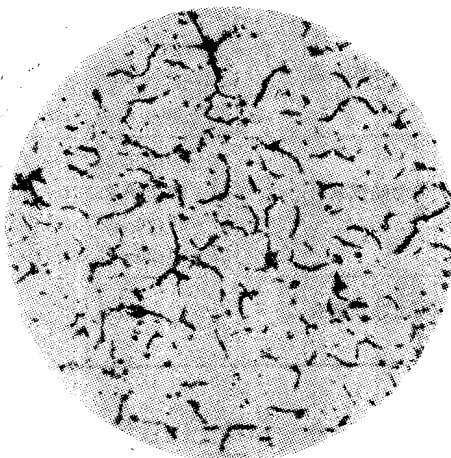


图1-4 厚片状石墨, 100×

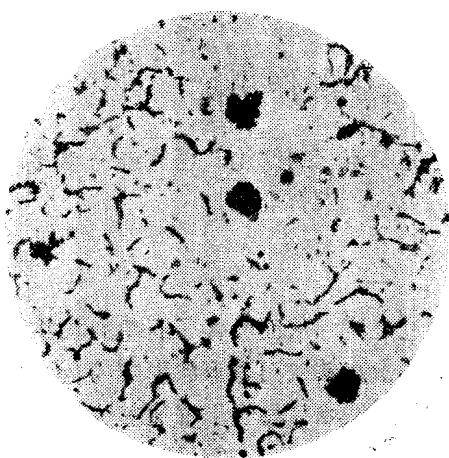


图1-5 厚片状+团状石墨, 100×

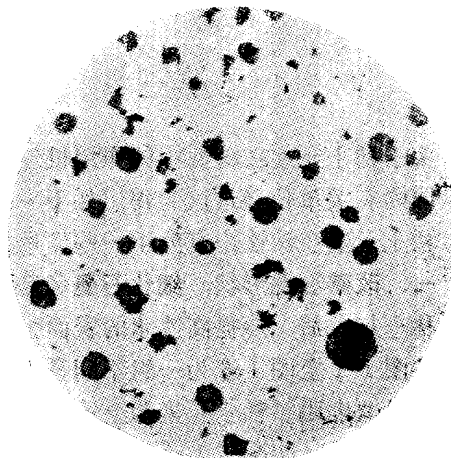


图1-6 球状+团状石墨, 100×

(或称蠕虫状, 见图1-4), 而后开始出现团状及球状石墨(图1-5), 最后全部成为球、团状石墨(图1-6)。随着石墨形状的改善, 铸铁的机械性能也跟着发生渐变和突变(见图1-7), 从不加稀土的低牌号灰铸铁(见图1-7中的a点, 其金相组织相当于图1-1)变为较高牌号的稀土孕育铸铁(相当于图1-3及图1-7中的b点), 又变为具有厚片状的稀土高强度灰铸铁(相当于图1-4及图1-7中的c点), 最后在一定的条件下还可得到球墨铸铁。实践证明: 含硫量小于0.04%的过共晶铁水, 在孕育较为充分的条件下, 加入1.8%左右的稀土硅铁合金, 能获得石墨圆整的无镁稀土球铁。但是单用稀土元素作球化剂, 对原铁水成份要求过于严格, 球化效果不够稳定, 同时加入量大, 球化处理时需要搅拌, 劳动条件较差。所以在制取球墨铸铁时, 一般是采取稀土与镁联合处理, 两者取长补短, 能获得最理想的效果。

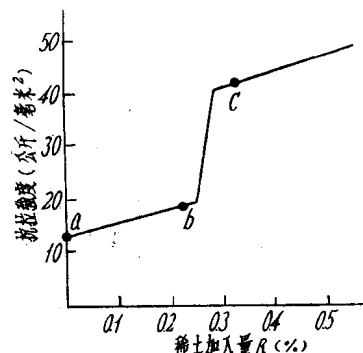


图1-7 灰铸铁中加稀土后机械性能的变化示意图

稀土在改善石墨形状的同时, 还细化了石墨和基体组织, 并可改变非金属夹杂物的形状、大小、分布, 使其在铸铁中呈均匀、弥散分布, 大大减弱它们的不利影响。

二、脱硫除气, 净化铁水, 消除干扰球化元素的有害作用, 降低保证球化所需的残余镁量

稀土元素与氧、硫、氢、氮等有很大的亲和力, 稀土氧化物和硫化物又是熔点远高于铁水的稳定化合物, 易于从铁水中清除, 故稀土元素在铁水中有非常高的脱氧脱硫效果, 使铁水中的含氧量、含硫量大大降低, 净化了铁水。

铁水中以微量存在的锡、钛、铅、锌、铋、砷、锑等元素, 它们不仅会和铁生成低熔点的化合物, 分布在铸铁的晶界处, 降低铸铁性能, 而且它们也是公认的干扰球化元素, 造成镁球墨铸铁的球化不良。稀土加入后, 可以和这些元素形成高熔点的金属间化合物, 且部分成为难熔杂质而从铁水中排除, 从而消除这些干扰元素的有害作用。例如, 生产镁球铁时, 铁水含钛量超过0.06%就会产生球化不良, 而对于稀土镁球铁, 含钛量高达0.25%, 石墨球化仍然良好, 综合机械性能仍然很高。

稀土元素的上述作用不仅扩大了球铁生产用的生铁资源, 利于就地取材。更重要的是可显著地降低保证球化所需的残余镁量, 为提高球墨铸铁质量提供了极为有利的条件。试验表明: 当原铁水含硫量在0.03%左右时, 用纯镁处理, 保持球化所需的残余镁量约为0.04%, 采用稀土镁复合球化剂后, 这个数值减少了一半, 残余镁量在0.02%左右, 就可以保证良好的球化效果。残余镁量的高低是球铁质量水平的重要标志, 降低保证球化所需的残余镁量是提高球铁质量的基础。

三、改善球墨铸铁的铸造性能, 减少铸造缺陷

由于稀土元素的脱硫除气、净化铁水, 显著降低保证球化所需残余镁量的作用, 有利于改善球铁的铸造性能, 从而显著地减少铸造缺陷。

稀土镁球墨铸铁与镁球墨铸铁比较起来, 铸造性能有如下改善:

1. 大大提高铸造流动性;

在同样的浇注温度约(1260℃)、铸型条件和化学成份(C_{当量} = 4.5~4.7%)下,采用螺旋形流动性试样作对比试验证明: 稀土镁球墨铸铁的铸造流动性比镁球墨铸铁约提高40%左右, 也比共晶成份(C_{当量} = 4.3~4.4%)的原铁水好(见图1-8)。

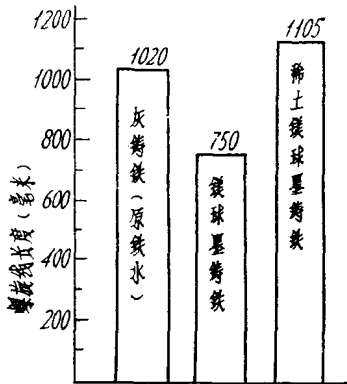


图1-8 稀土对球铁流动性的影响

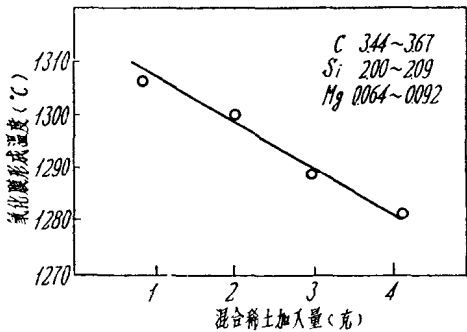


图1-9 稀土对球铁氧化膜形成温度的影响

铸造流动性的提高。有利于消除冷隔、夹渣、缩松、气孔等缺陷。

2. 降低铁水的氧化膜形成温度:

试验表明: 一般镁球铁的氧化膜形成温度(随着温度的下降在发亮的铁水表面刚好被氧化膜盖满时测得的温度)约1280℃, 并随着镁量的增加而提高。而稀土(主要是铈)显著降低氧化膜的生成温度(见图1-9), 一般稀土镁球铁的氧化膜形成温度约1230℃, 比镁球铁降低了约50度, 也就相当于提高浇注温度约50度。

在浇注过程中, 氧化膜被撕碎卷入铸型是形成夹渣缺陷的重要原因, 所以降低氧化膜形成温度对减少夹渣缺陷具有重要的实际意义。

3. 改变球铁的收缩特征, 减少缩松, 减小冒口, 提高铁水利用率:

在相同的铸型条件下试验对比了灰铸铁、镁球铁和稀土镁球铁的线收缩曲线, 试验结果示于图1-10。

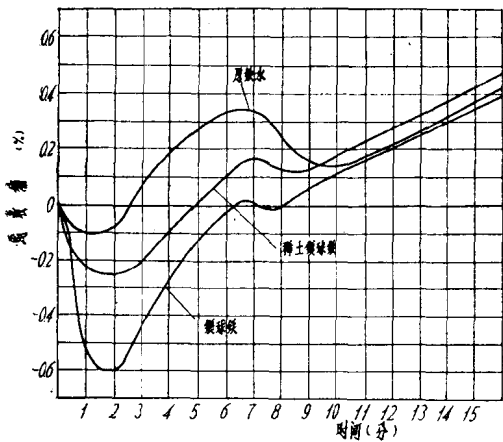


图1-10 几种铸铁的收线缩曲线

线收缩曲线上的一次石墨化膨胀值(即收缩前膨胀值)的大小对缩松缺陷的产生影响很大。在同样的铸型刚度条件下, 收缩前膨胀值越大, 越容易造成铸件外形胀大而产生缩松。从图1-10可以看出: 灰铸铁的收缩前膨胀值最小, 约为0.1%左右。稀土镁球铁的收缩前膨胀值约为0.2~0.3%, 比灰铸铁的数值大一些, 但比镁球铁的数值(0.6%左右)显著降低了。这是因为稀土镁球铁中残余镁量和稀土量都较低, 使得其收缩特征更近于灰铸铁, 因而减弱了球墨铸铁本身形成缩松的倾向。

此外，由于收缩特征的改变，提高了冒口的补缩能力，从而减小了冒口，提高了铁水利用率（工艺出品率）。如 110 型柴油机曲轴，由镁球铁改用稀土镁球铁制造后，冒口重量可减少 60% 左右。

由于上述铸造性能的显著改善，因而稀土大大减少了球铁生产中常见的缩松、夹渣、皮下气孔等缺陷。如某厂在 1964 年稀土镁球铁曲轴试生产初期，对比了稀土镁球铁曲轴和镁球铁曲轴的缩松废品率，结果如表 1-3 所示。

表1-3 稀土降低70曲轴缩松废品率的效果

组 别	稀 土 镁 球 墨 铸 铁			镁 球 墨 铸 铁		
	生产量(根)	报废量(根)	废品率(%)	生产量(根)	报废量(根)	废品率(%)
№ 1	94	1	1.06	184	85	46.2
№ 2	66	1	1.51	341	63	18.2
№ 3	207	7	3.38	352	79	22.4
合 计	367	9	2.45	877	227	25.9

由表中数据可以看出：由于稀土的加入，十分显著地减少了缩松缺陷（缩松废品率平均由 25.9% 降至 2.45%）。表中第 1 组是在同样的原铁水化学成份、浇注温度和铸型工艺条件下进行对比试验的，缩松废品率由 ~45% 降至 ~1%。

四、降低共晶点，稳定碳化物

稀土元素显著降低铸铁的共晶温度（约 50°C）同时使共晶点稍向右移（见图 1-11），从而加大了铁水的过冷度，因而使其有促进碳化物形成的作用。

由于稀土同时具有良好的脱氧去硫效果，所以当铸铁中残留稀土量较低时（对于稀土镁球铁来讲，小于 0.03~0.04%，对于稀土高强度铸铁，小于 0.06% 时），稀土反而有明显的石墨化作用并能细化残存的碳化物。只有当稀土残留量较高时，稀土才有明显的促进碳化物生成的作用，特别是由于稀土多聚集在晶界，所以在稀土镁球铁生产中如控制不当（如硅量偏低、孕育不足、正火时奥氏体化温度过高等）易在晶界上出现网状碳化物。所以在稀土镁球铁生产中，要注意控制残余稀土量不要过高。

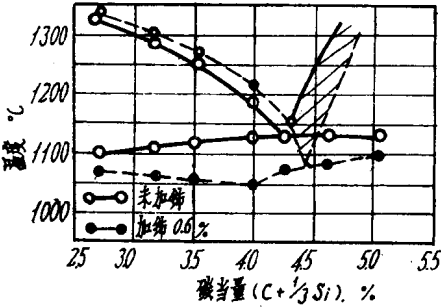


图1-11 加铈对铸铁液相线温度及共晶温度的影响

五、提高铸铁的机械性能和使用性能

由于稀土在铸铁中具有上述改变石墨形状，细化晶粒，脱硫除气，净化铁水提高铸造性能等作用，同时并有少量稀土元素固溶于基体中，强化了金属基体。因此，稀土元素对各种类型铸铁的机械性能和使用性能均有不同程度的提高。

在不加废钢的高碳量普通灰铸铁中，加入适量的稀土合金，可以使其提高 1~2 个牌号，最高可达到 HT40-68 的水平。

生产实践证明：由于稀土的作用，也不同程度的提高了球墨铸铁的常规机械性能、疲劳强度及耐磨性。

某厂在稀土镁球铁曲轴投产初期，在同样的化学成份和热处理工艺条件下对比了稀土镁球铁和镁球铁的常规机械性能，如表1-4所示。

表1-4 稀土镁球铁、镁球铁热处理后机械性能

球 铁 种 类	试 棒 性 能			曲 轴 轴 颈 性 能			备 注
	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)	α_k (公斤米/厘米 ²)	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)	α_k (公斤米/厘米 ²)	
镁球墨铸铁	75~80	2.4	3.37	76.6	2.9	3~3.5	均指平均值
稀土镁球墨铸铁	90	3	3.5~4.0	82.2	3.17	3.5~4.0	
稀土镁球铁较镁球铁性能 提高百分比	10~15	10~15	10~15	10.7	11.0	11.4	

另据某厂统计的稀土镁球铁曲轴正式投产后开始生产的十三个包次，和投产前夕最后生产的十个包次镁球墨铸铁曲轴的梅花试棒，经热处理后的机械性能，结果如表1-5所示。

表1-5 稀土对球铁常规机械性能的影响

球化剂类型	机 械 性 能								
	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)			延伸率 (%)			冲击值 (公斤·米/厘米 ²)		
	最 高	最 低	平 均	最 高	最 低	平 均	最 高	最 低	平 均
镁	84.0	74.0	78.9	4.0	1.9	2.9	>5.3	1.5~1.8	3.1
稀土镁	86.5	77.0	81.8	4.0	2.1	3.1	>6.3	1.8~2.0	4.1

从表1-4、1-5两表可清楚地看出，稀土镁球铁的各项常规机械性能均比镁球铁高。

另外在相同的球化类型、珠光体数量条件下，弯曲疲劳试验结果表明：稀土镁球铁的弯曲疲劳强度也略有提高(由镁球铁的26.7公斤/毫米²提高至27.4公斤/毫米²)。

稀土镁球铁机械性能较高的原因在于：

1. 缩松、夹渣缺陷少，铸件较致密；
2. 石墨球细小而均匀；

表1-6列出了稀土镁球铁与镁球铁的金相对比数据。每炉两包球铁的试验条件完全相同，

表1-6 稀土对石墨球大小的影响

炉 次	包 次	球 化 剂	化 学 成 份 (%)					石 墨 球 大 小 (mm)
			C	Si	Mn	P	S	
I	1	纯镁	3.90	1.83	0.80	0.066	0.007	0.06左右
	2	镁+稀土	3.86	1.76	0.75	0.066	0.0031	0.04左右
II	1	纯镁	4.05	1.98	0.85	0.066	0.0067	0.06左右
	2	镁+稀土	4.03	1.89	0.73	0.069	0.0051	0.04左右

只是一包加入稀土金属(同时降低镁量), 结果石墨球尺寸平均小一级左右(由0.06mm减小到0.04mm), 石墨球小, 有利于提高机械性能。

3. 稀土元素的强化作用: 电子探针微区分析表明, 稀土元素在基体中有一定的溶解度, 并偏聚于晶界上, 使晶格扭曲, 另外, 还能细化珠光体, 从而提高其强度。

由于上述原因, 稀土镁球墨铸铁的耐磨性, 比起镁球铁来同样也有显著的提高。表1-7为在阿姆斯拉耐磨试验机上灰铸铁、稀土镁球铁、镁球铁的耐磨性能对比数据。

表1-7 稀土对球墨铸铁耐磨性的影响

材 料	金 相 组 织				运转50万次磨损量		备 注
	球化类型	石墨大小	珠光体量 (%)	硬 度 HB	外 径 (毫米)	重 量 (毫克)	
HT28—48			95	229		34.0	铸态
镁球墨铸铁	2B	中/小	90	277	0.00321	15.9	正火
稀土镁球墨铸铁	2B	中/小	90~95	277	0.00118	5.5	正火

由表中可知, 三种材料中以稀土镁球墨铸铁的耐磨性为最佳。稀土镁与镁球墨铸铁的磨损曲线如图1-12所示。

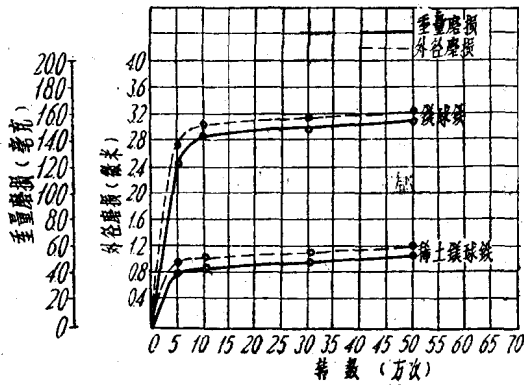


图1-12 稀土镁与镁球墨铸铁的磨损曲线

柴油机曲轴实际运转后耐磨性的对比数据(见表1-8), 更加说明稀土提高球墨铸铁耐磨性的显著效果。由表1-8中的数据可以看出: 稀土镁球铁曲轴的耐磨性不仅大大优于锻钢曲轴, 比起镁球铁来, 耐磨性也成倍的提高。

表1-8 各种材料的曲轴运转磨损情况

曲 轴 类 别	热 处 理 工 艺	运 转 时 间 (小时)	主 轴 颈 磨 损 (毫米)	曲 柄 销 磨 损 (毫米)
锻钢曲轴	表面淬火	1000	0.020~0.060	0.030~0.110
镁球铁曲轴	正火	1509	0.020~0.024	0.001~0.033
稀土镁球铁曲轴	正火	1500	0.002~0.006	0.001~0.004

第四节 稀土元素在钢中的作用机理

稀土元素在钢中的作用机理可大体上概括为两大方面, 即净化作用和合金化作用。

一、稀土元素的净化作用

所谓净化作用系指稀土元素作为钢水的工艺添加剂的有利影响。它包括除去钢水中有害杂质,改善结晶条件,保证非金属夹杂物的有益形状和尺寸等。稀土元素的净化作用主要表现在如下几个方面:

1. 由于稀土元素与硫、氧、氢、氮等有很强的亲和力,其反应自由能比锰、铝、镁、钙都大,能形成稳定的难熔化合物,这些脱硫除气的反应产物又比较大,易于从钢水中除去,所以稀土元素能有效的除去钢中的有害杂质。

稀土元素的这种脱硫、除气,纯化钢液的作用,显著地改善了钢的铸造性能(铸造流动性、抗热裂性、收缩特性等)、热加工性能、焊接性能等各种工艺性能;提高了钢的机械性能,特别是韧性、塑性及低温性能;此外对某些钢的耐腐蚀性能、电磁性能等使用性能亦产生良好的影响。

2. 由于稀土元素的原子半径较大($1.73\sim 2.04\text{\AA}$),故多分布于组织比较疏松的晶粒边界,从而净化、强化了晶界。另外还能细化晶粒。

稀土元素净化、强化晶界,细化晶粒的作用,不仅提高了钢的机械性能,更重要的是显著提高与晶界条件有关的各种性能水平。如显著提高耐热钢的高温抗氧化性能、高温持久强度、抗蠕变性能;显著提高不锈钢的抗晶间腐蚀性能;改善钢的淬透性及回火脆性等。

3. 稀土元素不仅减少非金属夹杂物的数量,还改善了它们的大小、形状和分布形式,使夹杂物呈分散的球状分布,从而最大限度地减弱了它们的有害影响。

夹杂物的有益尺寸、形状和分布形式,不仅提高了钢的机械性能,同时还显著地改善钢材的冲压、轧制、锻造性能,大大减少上述压力加工中的开裂现象。

二、稀土元素的合金化作用

稀土元素的上述净化作用是肯定的,但对加入钢中是否有合金化的作用,尚有不同看法。这主要因为稀土元素的原子半径较大,在铁中的固溶度较小,故与铁形成固溶体的可能性是很小的。另外,验证稀土元素合金化作用的证据尚不够有力。提出可供讨论的证据有:

1. 稀土元素能降低钢的过热倾向性;
2. 稀土元素对基体有一定的强化作用,如加稀土元素的 α -铁硬度有所提高;
3. 稀土元素能改变某些钢种的基体组成,如可减少18-8Ti钢中的铁素体含量;
4. 稀土元素与其它元素生成第三相强化了晶界,也可认为是广义的合金化作用。

总之,目前对于稀土元素在钢中作用机理的认识和解释尚很不完善,尤其对它的合金化作用更需进一步研究探索。

另外,在生产稀土钢时,要注意选择合适的稀土加入量和加入方法,才能发挥最好的效果。

第五节 稀土合金的使用防护

稀土元素本身无放射性,但稀土矿中含有微量天然放射性元素(主要是钍),在冶炼提取过程中绝大多数已被分离除去,但也难免还有少许未被清除,这是稀土合金具有微量放射性的根源。

包头冶金研究所等单位对稀土应用过程中放射性浓度,曾做过多次测定。检测结果表

明：在稀土合金堆放和使用场所虽有微量放射性物质，但其放射性指标远低于国家关于放射性工作场所的允许标准。

在机械工业各种稀土应用场所，包括稀土镁球铁、稀土灰铸铁、稀土钢等生产单位的测定结果是：实测空气中放射性气溶胶浓度大致从 $0.001 \times 10^{-11} \sim 0.143 \times 10^{-11}$ 居里/升，远低于国家允许标准(3×10^{-11} 居里/升)，而且钷的射线种类大多是穿透能力最弱的 α 射线，用一张纸即可挡住，因此可不必顾虑稀土合金的外照射，但是在长期使用稀土合金的过程中，如果不注意卫生防护，而将稀土粉尘吸入体内，时间一长，也会给人体健康带来一定的影响与危害。因此要以战略上藐视，战术上重视的原则，正确对待稀土合金的使用防护问题，既不要顾虑重重，也不能麻痹大意。事实证明：只要认真做好卫生防护工作，稀土所具有的这点微量放射性对人体的健康是没有什么影响的。

一般来讲，应用稀土合金时，要采取如下一些措施：

一、稀土合金的贮存和破碎最好设在偏僻、固定、通风良好的地方。

二、破碎和使用稀土合金时，应备有专用的劳保用品。工作时一定要戴口罩和手套，口罩、手套使用一段以后要销毁，不要再用。

三、食具和食物不要带入破碎和使用等稀土粉尘飞扬较多的工作场所，更不应在这些场所吃东西或吸烟，严防放射性物质通过食物等媒介进入体内。

四、工作完毕后，要及时洗手、漱口和洗澡除尘。

第二章 稀土镁球墨铸铁

球墨铸铁是近二十多年来发展起来的一种金属材料，由于它具有优良的使用性能和工艺性能，生产简便，成本低廉，因此近年来发展很快。

我国早在一九五〇年就试制成功球墨铸铁并在五十年代获得了工业应用。但由于当时采用纯镁作球化剂，处理工艺复杂，缩松、夹渣、皮下气孔等铸造缺陷也较难克服，所以发展较慢。坚持使用的少数工厂废品率也很高，平均高达50%，严重地影响球墨铸铁的进一步推广应用。六十年代初期，我国南京汽车厂、无锡柴油机厂、一机部机械科学研究院等单位广大职工，遵照伟大领袖毛主席关于“打破洋框框，走自己工业发展道路”的教导，发扬了敢想、敢干的革命精神，根据我国资源的特点，利用稀土合金和镁作复合球化剂，试制成功稀土镁球墨铸铁，充分发挥了稀土元素的球化、净化、消除干扰元素影响等积极作用，大大降低了因铸造缺陷引起的废品率。由于稀土镁复合球化剂反应平稳，以后又采取非常简便的冲入法代替钟罩法和压力加镁法，大大简化了球铁生产工艺。具有我国特点的球化剂和球化处理工艺的变革，为我国的球墨铸铁发展创造了良好条件，使得我国球铁生产水平提高到一个新的阶段。

与国外相比，我国目前球墨铸铁生产的最大特点就是球化剂中稀土含量高，充分发挥了我国富产稀土资源的作用。国外广泛采用镁系球化剂，稀土加入量甚微。我国广泛采用的稀土镁球化剂，其 $\text{Re} \times \text{Oy}$ 含量与镁含量的比例约为 1 : 1，大多数工厂采用 $\text{Mg} 7 \sim 9\%$ ， $\text{Re} \times \text{Oy} 6 \sim 8\%$ ， $\text{Si} 35 \sim 40\%$ 的球化剂，这种球化剂着重发挥了稀土元素的有利作用，有利于采用简易的冲入法，适应我国的球铁生产方式和原铁水质量水平，对促进我国球墨铸铁的发展起了很大的作用。

我国稀土镁球铁生产已遍及全国各省、市、区，应用范围越来越广，已在柴油机、拖拉机、农机具、汽车、机床、矿山冶金机械、石油化工机械、电机等各主要机械工业部门得到广泛的应用。其中农机和汽车是两个最主要的应用部门，球铁生产在加速实现农业机械化方面起到很大的作用。

我国稀土镁球铁的规格、品种也不断增加，在要求高强度、高韧性、耐磨性、抗磨性、耐蚀性、耐热性等各方面，都有相应的球铁件生产，用以代替部分铸钢、锻钢、型钢及20铬、40铬、40铬钼、35铬钼、42铬钼、18铬锰钛、高锰钢、低锰钢、不锈钢、耐热钢、滚铬15轴承钢等合金钢，以及可锻铸铁和部分铜合金。其中在某些零件上，如大马力柴油机曲轴（代替35铬钼、42铬钼等锻钢）、汽车传动轴总成（代18铬锰钛钢及40铬钢）、汽车拖拉机传动齿轮（代18铬锰钛钢）、农用轴承（代滚铬15轴承钢）、拖拉机履带板（代高锰钢）、农机耙片（代65锰钢）等，代用水平均比较高。

第一节 稀土镁球墨铸铁的组织 and 性能

稀土镁球墨铸铁从铁碳合金的分类来看属于铸铁，它在含碳量、生产方式及铸造工艺性