

稀土处理钢手册

XITU CHULIGANG SHOUC

TG /42.1-62

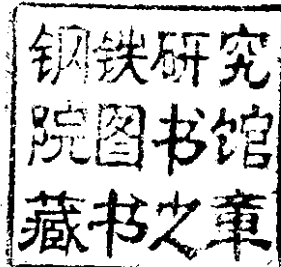
Y

75

C.1

稀土处理钢手册

余景生 余宗森 章复中 主编



冶金工业出版社

223806

(京)新登字 036 号

内 容 提 要

本手册介绍了稀土处理钢的概况、稀土在钢中的物理化学反应、钢的稀土处理工艺、稀土对钢的各种性能的影响、稀土在钢中作用的机理等,并且分钢种介绍了我国现有的稀土处理钢的成分、性能、使用情况、适用范围以及相应的标准,对有些钢种还介绍了主要的生产厂家。

本手册可供从事稀土钢研究、生产和使用部门的技术人员及大专院校有关专业师生参考。

稀土处理钢手册

余景生 余宗森 章复中 主编

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街高碑院北巷36号)

新华书店总店科技发行所经销

河北省阜城县印刷厂印

850×1168 1/32 印张 21 字数557千字

1993年12月第一版 1993年12月第一次印刷

印数00,001~ 1000 册

ISBN 7-5024-1168-2

TF·275 定价 36.00 元

《稀土处理钢手册》

编辑委员会

主	编	余景生	余宗森	章复中
编委会成员		余景生	余宗森	章复中
		方仲华	陈希颖	陈继志
		陈贵杰	张杏华	刘爱生
		谢仕柜	韩云龙	韩永伶
		赵德民	赵先存	赵所琛

前 言

我国拥有的稀土资源其储量之丰富在世界上首屈一指，充分发挥这一资源的潜力，使它为推动我国国民经济的发展服务，是我国科技工作者义不容辞的重大任务。

国内外的大量研究工作和生产实践表明，稀土在钢中可以起到多方面的有利作用，因而运用稀土可以改善钢的性能或发展新的品种。通常稀土在钢中是用于稀土处理，在个别情况下（例如在电热合金中），稀土在钢中的含量较多，对钢基体的行为也有重要的影响。

我国科技工作者通过多年不懈的努力，使稀土处理钢得以发展，特别是近年来发展较快，这是因为大量的实践表明，稀土处理确是提高钢质量的一个很好的手段。稀土处理钢用在国民经济各个领域，起到了很好的作用，取得了显著的甚至是巨大的经济效益和社会效益。

为了进一步推广稀土处理钢的应用，我们编写了这本手册。在本手册中介绍了稀土处理钢的一般情况、稀土在钢中的物理化学反应、钢的稀土处理工艺、稀土对钢的各种性能的影响、稀土在钢中作用的机理等，并且分钢种一一介绍了我国现有的稀土处理钢的成分、性能、使用情况、适用范围以及相应的标准，对有些钢种还介绍了主要的生产厂家。可以说本手册从钢种的角度对迄今为止我国稀土处理钢的研究、生产和应用作了一个比较全面的总结。因此本手册是从事稀土钢研究、生产和使用部门的技术人员及大专院校有关专业师生的很有价值的参考书。

本手册第Ⅰ部分除第3章3.2、3.3节由陈希颖编写外，其余均由章复中编写。第Ⅱ部分主要由在现场从事稀土处理钢研究和生产的同志撰写（编写分工情况附后）。由于多人撰写，虽统编

时做了整理，但各章仍难免有不协调之处，此外统编工作中也可能有疏漏和不当的地方，这些都欢迎广大从事稀土钢工作的同志和读者提出批评指正。

编委会

1992年8月

附 第Ⅱ部分 撰写分工情况

- | | | |
|----|-----------------------|-----------------------------|
| 1 | 20RE冷轧薄板 | 章复中 |
| 2 | Y08RE深冲用热轧薄板 | 上钢三厂钢研所 赵所琛 |
| 3 | S20A深冲优质碳素钢 | 齐钢钢研所 洪秀芝 |
| 4 | DY105高强度稀土碳素弹簧钢丝 (简介) | 章复中 |
| 5 | 06CuPRE耐大气腐蚀冷轧薄板钢 | 章复中 |
| 6 | 06MnNbRE低温压力容器用钢 | 章复中 |
| 7 | 08VTiRE深冲用冷轧薄板钢 | 上钢三厂钢研所 赵所琛 |
| 8 | 08PVRE耐海水腐蚀结构用钢 | 鞍钢钢研所 鲁 赤 郭泰清 |
| 9 | 08CuPVRE耐大气腐蚀型钢 | 鞍钢钢研所 郭泰清 鲁 赤 |
| 10 | 09MnRE冷轧钢板 | 鞍钢钢研所 贾常志 |
| 11 | 09CuPRE耐大气腐蚀钢 | 章复中 (攀钢钢研所贾连弟、包头稀土院邵光璐提供资料) |
| 12 | 09CuPTiRE耐大气腐蚀钢 | 武钢钢研所 陈邦文 刘 力 |
| 13 | 09MnTiCuRE钢 | 武钢钢研所 郑 琳 谢正邦 |
| 14 | 10PCuRE钢 | 章复中 (上钢一厂赵献武提供资料) |
| 15 | 10MnNbRE钢 | 包头稀土院靳书林 |
| 16 | 10MnPNbRE钢 | 章复中 (包头稀土院提供资料) |
| 17 | X60, X65石油天然气输 | 武钢钢研所 张月新 |

送管线用钢		
18	12MnPRE钢	包钢钢研所 白景璋
19	14MnMoVBRE钢	上钢三厂钢研所 张庆登
20	14MnVTiRE钢	上钢三厂钢研所 陆国华
21	15MnMoVNRE钢	重钢钢研所 左长仁
22	16MnREL汽车大梁用热轧钢板	鞍钢钢研所 韩云龙
23	16MnRE冷轧钢板	鞍钢钢研所 贾常志
24	16MnRER低温压力球罐用厚钢板	鞍钢钢研所 韩云龙
25	10Cr2AlMoRE耐海水腐蚀用钢	浙江冶金研究所 陈宣钧 党绪邦
26	20Al2VRE化肥用钢	浙江冶金研究所 侯德昌
27	12SiMoWVTiBRE高压锅炉用钢	章复中 (上钢一厂提供资料)
28	30MnNbRE液压支架用钢	包钢冶金研究所 匡信英
29	40MnNbRE高压气瓶用钢	包钢冶金研究所 匡信英
30	30CrMnMoRE铸钢	内蒙金属材料研究所 韩永伶
31	30CrMnMoRE轧制钢	内蒙金属材料研究所 韩永伶
32	30NiMnMoCuBRE铸钢	内蒙金属材料研究所 韩永伶
33	45SiMnRE铸钢	内蒙金属材料研究所 韩永伶
34	30Si2CrMoBRE高强度高韧性耐磨钢	上钢三厂钢研所 陆国妹 陈福兴
35	20MnTiBRE齿轮用钢	章复中 (大冶钢厂提供资料)
36	25MnTiBRE齿轮用钢	大冶钢厂钢研所 方仲华
37	30MnTiBRE齿轮用钢	章复中 (大冶钢厂提供资料)
38	GSiMnRE轴承钢	包头稀土研究院 赵钦福
39	GSiMnVRE轴承钢	包头稀土研究院 赵钦福
40	GMnMoVRE轴承钢	大冶钢厂钢研所 方仲华

- | | | |
|----|----------------------|---------------------------------|
| 41 | GCr17SiMn轧机轴承钢 | 包头稀土研究院 王淑清 宝音等 |
| 42 | 55SiMnRE耐磨钢 | 上钢三厂钢研所 陆国妹 |
| 43 | 55SiMnMoBRE大截面汽车弹簧钢 | 包头稀土研究院 宝音 王淑清等 |
| 44 | 60Si2MnRE汽车弹簧扁钢 | 首钢技术部 安树均 |
| 45 | 65SiMnRE犁铧用钢 | 鞍钢钢研所 钟德惠 |
| 46 | T11NbRE自磨刃犁铧钢 | 章复中 (山东大学由淼提供资料) |
| 47 | T12SiMnVRE羊毛剪机刀片用钢 | 山东冶金设计研究院 刘翰华 |
| 48 | W12Mo2Cr4VRE高速钢 | 贵阳钢厂特钢所叶财超 陆志荣 |
| 49 | W18Cr4VRE高速钢 | 章复中 (首钢特钢蒋亨胜、北京有色金属及稀土所杜文报提供资料) |
| 50 | 86CrMoV7RE大型冷轧辊用钢 | 齐钢钢研所汪润河 姜桂兰 |
| 51 | Cr13Si4NbRE耐硝酸腐蚀用钢 | 上海钢研所 顾菊芳 |
| 52 | 0Cr18Ni18Si2抗应力腐蚀不锈钢 | 包头稀土研究院 刘绍乙 |
| 53 | 3Cr24Ni7SiNRE耐热钢 | 重庆特钢厂陈全昌 北京钢铁研究院胥继华 |
| 54 | ZG20RE渣罐用钢 | 章复中 (包钢机总提供资料) |
| 55 | ZG3Cr20RE半热滑轨用钢 | 章复中 (包钢机总提供资料) |
| 56 | ZGMn6Cr2RE耐磨钢 | 通化钢铁公司机械厂丁成钢 姜书林 |
| 57 | ZGMn13RE铲齿钢 | 山东冶金设计研究院项宏瑶 |

-
- | | | | |
|----|---------------------|---------|-----|
| 58 | Fe-Cr-Al电热合金 | 上海电工合金厂 | 孙传岳 |
| 59 | Cr23Al6Y抗渗碳电热合金 | 包头稀土研究院 | 章复中 |
| 60 | FCA-HT型高温Fe-Cr-Al合金 | 包头稀土研究院 | 李 碚 |

目 录

第 I 部分 稀土的物理化学参数和稀土在钢中的基本作用规律

1 稀土元素和钢中稀土的物理化学性质和参数	1
1.1 稀土元素概述	1
1.2 稀土元素的物理性质	5
1.3 稀土元素的化学性质	9
1.4 稀土—铁合金相图	14
2 稀土在炼钢过程中的物理化学	22
2.1 一些稀土化合物的标准生成能	22
2.2 稀土元素在液铁中的脱氧热力学	23
2.3 稀土元素在液铁中的脱硫热力学	25
2.4 稀土元素在液铁中的脱硫脱氧平衡常数	27
2.5 铁液中稀土元素对其他组元的相互作用系数	28
2.6 稀土元素脱氧脱硫产物生成规律热力学	29
3 稀土处理钢的稀土处理工艺和加入方法	36
3.1 钢中应用的稀土添加剂	36
3.2 钢中加入稀土的冶金因素控制	38
3.3 稀土加入钢中的各种方法	41
3.4 水口结瘤的机理及防止结瘤的措施	48
4 稀土在钢中的基本作用规律	51
4.1 稀土对钢中夹杂物的变质作用	51
4.2 钢锭中稀土夹杂物的分布规律	54
4.3 钢中常见稀土夹杂物的特征	55
4.4 稀土元素对钢的凝固过程的影响	55
4.5 稀土在钢中的固溶和晶界偏聚	58
4.6 稀土改善耐热金属材料抗高温腐蚀性的作用	59

4.7 稀土与钢中氢的交互作用·····	61
5 稀土对钢性能的影响·····	65
5.1 稀土通过对硫化物、氧化物夹杂的变质而引起的 钢性能的变化·····	65
5.2 稀土在晶界析聚及与晶界硫、磷、硼和易熔金属 元素的交互作用引起钢性能的变化·····	68
5.3 稀土提高与钢的结晶过程及晶粒长大倾向相关的性能·····	70
5.4 固溶于 α -或 γ -Fe 相中的稀土、稀土金属间 化合物和稀土碳化物的作用·····	72
5.5 几种尚不能用上述作用单独说明的稀土对钢的 性能的影响·····	76

第 II 部分 稀土处理钢种介绍

1 20RE 冷轧钢板·····	81
2 Y08RE 热轧深冲用薄板钢·····	84
3 S20ARE 深冲优质碳素钢·····	92
4 DY105 高强度稀土碳素弹簧钢丝·····	98
5 06CuPRE 耐大气腐蚀冷轧薄板钢·····	100
6 06MnNbRE 低温压力容器用钢·····	105
7 08VTiRE 深冲用冷轧薄板钢·····	108
8 08PVRE 耐海水腐蚀结构用钢·····	117
9 08CuPVRE 耐大气腐蚀型钢·····	126
10 09MnRE 冷轧钢板·····	136
11 09CuPRE 耐大气腐蚀钢·····	149
12 09CuPTiRE 耐大气腐蚀钢·····	157
13 09MnTiCuRE 钢·····	170
14 10PCuRE 钢·····	189
15 10MnNbRE 钢·····	198
16 10MnPNbRE 钢·····	207
17 X60、X65 石油天然气输送管线用钢·····	217
18 12MnPRE 钢·····	260

19	14MnMoVBRE钢	264
20	14MnVTiRE钢	269
21	15MnMoVNRE钢	282
22	16MnREL汽车大梁用热轧钢板	292
23	16MnRE冷轧钢板	303
24	16MnRER低温压力球罐用厚钢板	325
25	10Cr2AlMoRE耐海水腐蚀用钢	338
26	20Al2VRE化肥用钢	347
27	12SiMoWVTiBRE高压锅炉用钢	353
28	30MnNbRE钢	363
29	40MnNbRE钢	375
30	30CrMnMoRE铸钢	389
31	30CrMnMoRE轧制钢	394
32	30NiMnMoCuBRE铸钢	399
33	45SiMnRE铸钢	404
34	30Si2CrMoBRE高强度高韧性耐磨钢	406
35	20MnTiBRE齿轮用钢	416
36	25MnTiBRE齿轮用钢	421
37	30MnTiBRE齿轮用钢	437
38	GSiMnRE轴承钢	440
39	GSiMnVRE轴承钢	447
40	GMnMoVRE轴承钢	452
41	GCr17SiMn(RE)轧机轴承用钢	470
42	55SiMnRE耐磨钢	481
43	55SiMnMoBRE大截面汽车弹簧钢	494
44	60Si2MnRE汽车弹簧扁钢	502
45	65SiMnRE犁铧用钢	510
46	T11NbRE低淬透性犁铧钢	516
47	T12SiMnVRE羊毛剪机刀片用钢	523
48	W12Mo2Cr4VRE高速钢	529

49	W18Cr4VRE高速工具钢	549
50	86CrMoV7RE大型冷轧辊用钢	557
51	Cr13Si4NbRE耐硝酸腐蚀用钢	567
52	0Cr18Ni18Si2RE抗应力腐蚀不锈钢	571
53	3Cr24Ni7SiNRE耐热钢	578
54	ZG20RE渣罐用钢	598
55	ZG3Cr20RE半热滑轨用钢	602
56	ZGMn6Cr2RE耐磨钢	607
57	ZGMn13RE铲齿钢	616
58	Fe—Cr—Al电热合金	632
59	Cr23Al6Y抗渗碳电热合金	646
60	FCA-HT型高温Fe—Cr—Al合金	652

第 I 部分

稀土的物理化学参数和 稀土在钢中的基本作用规律

1 稀土元素和钢中稀土的物理化学性 质和参数

1.1 稀土元素概述

我国有极其丰富的稀土矿物资源，储量居世界前列。随着科学技术的发展，稀土在冶金、石油、玻璃、陶瓷、电子、功能材料及化工等方面已经得到了愈来愈广泛的应用。

稀土元素通常是镧系元素再加上钪 (Sc)、钇 (Y) 的总称，常用符号“RE”表示。镧系元素包括原子序数从57~71的15个元素，即镧 (La)、铈 (Ce)、镨 (Pr)、钕 (Nd)、钷 (Pm)、钐 (Sm)、铕 (Eu)、钆 (Gd)、铽 (Tb)、镝 (Dy)、钬 (Ho)、铒 (Er)、铥 (Tm)、镱 (Yb)、镥 (Lu)。其中钷为人造放射性元素。也有人把钪包括在稀土元素中。

稀土元素原子有特殊的电子结构，表1-1-1给出了稀土元素的外层电子分布。由表1-1-1可见，基态电子分布对镧系元素来说多数可以用 $4f^{n+1}6s^2$ 来表示，只有镧、铈、钆和镨是 $4f^n5d6s^2$ 。在表1-1-2中列出的是稀土元素在纯金属状态时的外层电子分布，它们的5d和6s电子合在一起组成导带。

各个稀土元素的化学性质均十分相近，镧、钆、镨外围的

表 1-1-1 稀土元素的外层电子分布

元 素	固态或液态时电子分布				气态(气态)电子分布		
	通 常		非 通 常		电 子 数		
	4f电子	价电子	4f电子	价电子	4f	5d	6s
La	0	3	—	—	0	1	2
Ce	1	3	0	4	1	1	2
Pr	2	3	1	4	3	—	2
Nd	3	3	—	—	4	—	2
Pm	4	3	—	—	5	—	2
Sm	5	3	6	2	6	—	2
Eu	6	3	7	2	7	—	2
Gd	7	3	—	—	7	1	2
Tb	8	3	7	4	9	—	2
Dy	9	3	—	—	10	—	2
Ho	10	3	—	—	11	—	2
Er	11	3	—	—	12	—	2
Tm	12	3	—	—	13	—	2
Yb	13	3	14	2	14	—	2
Lu	14	3	—	—	14	1	2
Y	0	3	—	—	0	1(4d)	2(5s)
Sc						1(3d)	2(4s)

表 1-1-2 稀土金属在298K, 101kPa压力(1atm)时的外层
电子分布

金 属	4f电子数	价电子数	金 属	4f电子数	价电子数
La	0	3	Tb	8	3
Ce	1	3	Dy	9	3
Pr	2	3	Ho	10	3
Nd	3	3	Er	11	3
Pm	4	3	Tm	12	3
Sm	5	3	Yb	14	3
Eu	7	3	Lu	14	3
Gd	7	3	Y	—	3

