稀土微合金化钢稀土加入工艺的选择

贺景春

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 总结了稀土在钢中的作用,提出了稀土微合金化钢的定义,对比研究了不同稀土加入工艺,研究表明结晶器喂丝是当前稀土微合金化钢生产的最为合理的稀土加入工艺。

关键词: 稀土; 微合金化钢; 加入工艺; 结晶器喂丝

中图分类号: TF762$^+$.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)02-0001-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.02.001

Selection of Adding Process for Rare Earth Microalloyed Steel

HE Jing-chun

(*Technical Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: This paper summarizes the effects of rare earth on steel, puts forward a definition of rare earth microalloyed steel, comparatively analysis different rare earth adding processes. The study shows that the process of feeding cladded rare earth wire into mould is currently the most reasonable adding process for rare earth microalloyed steel production.

Key words: rare earth; microalloyed steel; adding process; feeding cladded rare earth wire into mould

白云鄂博稀土资源储量位居世界前列,其中镧、铈、钕的含量最为丰富。白云鄂博稀土精矿通过分离、冶炼提取出的钕绝大多数用于钕铁硼(一种应用极广的稀土永磁材料)的生产,部分铈用做高等级抛光粉的原料,剩余的大量镧和铈用于开发具有特殊性能优势的稀土微合金化钢是当前最有前景的应用领域。

1 稀土在钢中的作用

稀土在钢中的应用已经有几十年的历史,取得了大量的研究成果,发现了许多规律。通过梳理,可以将稀土在钢中的作用概括为如下四大类[1-2]:①深度净化钢液;②改善非金属夹杂物形态;③改善凝固组织;④微合金化作用。由于稀土元素具有极强的化学活性、4f壳层能价态可变和大原子尺寸等特点,其微合金化作用十分活跃,在钢材的耐磨、耐蚀、耐热、耐低温、抗疲劳、抗氧化、耐高温持久、改善电磁性能等方面均表现出良好的作用[3],因此,稀土微合金化钢的开发仍将是新型钢铁材料开发的热点领域之一。充分发挥我国稀土资源优势大量开发具有特殊性能的稀土微合金化钢对于提高我国钢铁产业竞争力意义重大。

2 稀土钢的分类

稀土钢可以按加入稀土的目的划分为“稀土处理钢”和“稀土微合金化钢”[4]。以净化钢液和改善夹杂物形态为目的而加入稀土的钢,称为“稀土处理钢”。以通过稀土元素的微合金化作用来改善特殊性能为目的而加入稀土的钢,称为“稀土微合金化钢”。

收稿日期: 2017-03-22

作者简介: 贺景春(1968-),男,内蒙古包头市人,金属材料正高级工程师,现从事无缝钢管质量及产品开发工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在20世纪后半叶当时的钢铁冶金工艺和装备条件下，钢的洁净度水平较低，深度脱氧脱硫以及夹杂物控制还是钢材生产的主要矛盾之一，钢中加入稀土的作用主要体现在钢液的净化和夹杂物形态的改善，虽然加入稀土的微合金化作用有所体现，但与钢材宏观性能(如冲击韧性)的明显改善相比仍显得微不足道，此时的稀土钢多为“稀土处理钢”。稀土处理钢对钢材中稀土金属含量没有明确要求，只是对加入量有要求，用今天的标准看，稀土处理钢属于稀土在钢中的粗放型应用。

进入21世纪后，以智能炼钢、精炼、真空处理、连铸等工艺、装备的普及为标志，世界钢铁冶金进入到一个高水平阶段，钢中的氧、硫含量降至很低的水平(通常钢中 w [O] $\leqslant 15\times10^{-6}$，$w$ [S] $\leqslant 50\times10^{-6}$)，夹杂物控制水平很高，甚至可以将夹杂物控制为高度弥散的1 μm左右的夹杂物质点，起到细化晶粒的良好作用，钢液的净化和夹杂物形态的改善和控制不再是炼钢的主要矛盾。这个阶段稀土元素在钢中的微合金化作用越来越得到重视，加入稀土主要是为了收获一些特殊性能的改善。稀土在钢中的应用进入了“稀土微合金化钢”的时代。微量稀土元素在各类钢种中的应用和主要作用见表1。

表1 微量稀土元素在各类钢种中的应用和主要作用[5]

钢类	钢种	主要作用
低合金钢	低碳镇静钢	纯化和细化铸态组织，提高塑性
	低碳高磷钢	降低磷钢的低温脆性
	耐候钢	改善耐蚀性、韧性和冷成型性，降低磷钢的低温脆性
	汽车用热轧钢板	改善等向性，提高冲压成型性和耐蚀性
	船板钢	改善韧、塑性和等向性
	工程机械用钢	提高强度、韧性，改善焊接性能
	硅锰系高强钢	提高强度、改善韧、塑性
	高强钢筋	提高强度、改善韧、塑性
合金结构钢	弹簧钢	减少偏析，降低白点敏感性，提高低温冲击韧性，降低韧脆转变温度，改善韧、塑性，提高疲劳性能、氢致延迟断裂性能，改善回火脆性及表面质量
	齿轮钢	
	轴类、螺栓钢	
	镍铬、铬钼结构钢	
耐热钢不锈钢	经济耐热钢	提高高温强度、抗氧化、抗腐蚀性能，节约40% ~50% Ni
	不锈钢	改善热裂性、抗腐蚀性能
	镍铬不锈钢	改善镍铬奥氏体型不锈钢表面质量、加工性能、塑性、韧性、抗氧化性以及耐腐蚀性，提高热强性
	耐热合金	
硅钢	变压器、电机硅钢	提高高温强度、抗氧化性，改善热塑性
工模具轴承钢耐磨钢	重轨钢	减小珠光体片间距，提高低温韧性，提高耐磨性
	轴承钢	改善接触疲劳，提高耐磨性，耐磨寿命成倍提高
	特种高速钢	提高疲劳性能
	高性能模具钢	细化铸态莱氏体，改善热塑性
	工具钢	改善等向性、冷、热疲劳性、抗冲击性、抗氧化性
	硬线用钢	改善加工性能，减少碳化物偏析，改善人塑性

3 稀土微合金化钢的定义

3.1 稀土微合金化钢的特征

比照微合金化钢的概念，稀土微合金化钢应当具有以下4个特征：

(1) 某种或某几种稀土元素作为微合金元素设计在钢种中；

(2) 对钢种中的每一种稀土元素均有明确的成分范围要求；

(3) 钢种中每一种稀土元素均有其明确的策划依据(为了收获某些特殊性能的改善)；

(4) 钢材成品收获了策划的那些特殊性能的改善。

3.2 稀土微合金化钢反向判据

推理可知，“稀土微合金化钢”还应有三个反向

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

判据:

(1) 如果不加稀土,策划的那些特殊性能的改善随即消失;

(2) 稀土元素的含量低于钢种设计下限,策划的那些特殊性能就不能满足设计要求;

(3) 稀土元素的含量高于钢种设计上限,策划的那些特殊性能就过剩或者恶化。

综上所述,对“稀土微合金化钢”可以做出如下定义: 为了收获某些特殊性能(耐磨、耐蚀、耐热、耐低温、抗疲劳、抗氧化、耐高温持久、电磁等) 的改善在钢种化学成分范围中明确列入一种或几种稀土元素的微合金钢叫做“稀土微合金化钢”。

4　稀土微合金化钢稀土加入工艺的选择

根据上述稀土微合金化钢的定义,可以获得两个有关稀土微合金化钢生产的明确的信息,一是稀土元素需要单独控制(加入单一稀土元素),二是设计的一种或者几种稀土元素均须成分命中。

加入单一稀土元素需要单一稀土元素的金属或者合金材料,成分命中率与加入工艺有关。20 世纪 60 年代以来,国内进行了多项钢中加入稀土工艺的试验研究,在各自历史条件下均实现了规模生产,主要有: 大包投入法、大包压入法、包内喷吹稀土粉法、模注中注管喂丝法、模内吊挂稀土金属棒法、钢包喂丝法、中间包喂丝法、结晶器喂丝法等八种方法。随着历史条件的变迁以及实践水平的不断提高,目前通行的方法主要集中在: 钢包喂丝法、结晶器喂丝法这两种方法上。表 2 对这两种稀土加入工艺做一个对比分析。

表 2　钢包喂丝法、结晶器喂丝法效果比较

方　法	合金化收得率/%	铸坯断面稀土分布均匀性	生产是否顺行
钢包喂丝法[6]	1 ~ 15	均匀	堵水口
结晶器喂丝法[7-9]	80 ~ 90	均匀	顺　行

可见,钢包喂丝法合金化收得率极低,稀土资源浪费严重,常常堵水口导致生产不顺行,因而被大多数钢厂所放弃。结晶器喂丝法合金化收得率高达 80% ~90%,资源利用率很高,铸坯断面稀土分布均匀,生产顺行,已经成为目前多数钢厂生产稀土钢的主流工艺。

从表 2 可知,钢包喂丝法合金化收得率极低无法保证成分命中,钢包喂丝法合金化收得率稳定在 80% ~90%,可以保证成分的命中,因此,结晶器喂丝法是稀土微合金化钢稀土加入工艺的最佳选择。

5　结论

(1) 稀土钢可以按加入稀土的目的划分为“稀土处理钢”和“稀土微合金化钢”。

(2) 以净化钢液和改善夹杂物形态为目的而加入稀土的钢,称为“稀土处理钢”。

(3) 为了收获某些特殊性能(耐磨、耐蚀、耐热、耐低温、抗疲劳、抗氧化、耐高温持久、电磁等) 的改善在钢种化学成分范围中明确列入一种或几种稀土元素的微合金钢叫做“稀土微合金化钢”。

(4) 当前钢液的净化和夹杂物形态的改善和控制不再是炼钢的主要矛盾,稀土在钢中的应用进入了“稀土微合金化钢”的时代。

(5) 结晶器喂丝法是稀土微合金化钢稀土加入工艺的最佳选择。

参　考　文　献

[1] 戢景文. 用稀土——发展 21 世纪钢的重要途径[J]. 稀土,2001,22(4): 7 -24.

[2] 王龙妹,杜挺,卢先利,等. 微量稀土元素在钢中的作用机理及应用研究[J]. 稀土,2001,22(4):37 -40.

[3] 李春龙. 稀土在钢中应用与研究新进展[J]. 稀土,2013,34(3):78 ~85.

[4] 苗如林,贺景春,麻永林. 发展稀土钢提高包钢油井管竞争力[J]. 稀土,2005,26(5):90 -93.

[5] 王龙妹. 发展新一代高强韧钢的重要元素——稀土[J]. 产业研究,2014,(9):18 -23.

[6] 任新建,陈建军,王云盛. 连铸稀土加入工艺试验[J]. 稀土,2003,24(5):22 -25.

[7] 周兰聚,国秀元,董胜峰,等. 钢中稀土加入工艺技术研究与应用[J]. 山东冶金,2004,26(1):40 -43.

[8] 马海涛,吴迪,张永富. 稀土添加工艺及其在重载汽车车轮钢中的作用[J]. 中国稀土学报,2008,26(2):200 - 204.

[9] 赵成林. 稀土元素在钢水中的作用机理及加入技术研究[J]. 鞍钢技术,2017,(1):20 -24.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net