30CrMoARE稀土抽油杆圆钢生产实践

杨鲁明[1,2],涛 雅[1,2],吕 刚[1,2],赵晓敏[1,2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古自治区稀土钢产品研发企业重点实验室,内蒙古 包头 014010)

摘 要:抽油杆圆钢具有高强度和耐腐蚀性能,通过采用钢包炉喂稀土丝,有效控制S、P等杂质元素含量,合理控制轧制工艺,成功开发出了30CrMoARE稀土抽油杆圆钢。产品夹杂物不大于1级,屈服强度不小于1 027 MPa,抗拉强度不小于1 087 MPa,伸长率不小于14%,冲击韧性不小于144 J,各项性能指标满足用户要求。

关键词:30CrMoARE;稀土;抽油杆
中图分类号:TG142 **文献标识码**:B **文章编号**:1009-5438(2020)04-0059-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.04.016

Production Practice of 30CrMoARE Round Steel with Rare Earth for Sucker Rod

Yang Lu-ming[1,2], *Tao Ya*[1,2], *Lv Gang*[1,2], *Zhao Xiao-min*[1,2]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Enterprise Key Laboratory of Rare Earth Steel Products Research & Development, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The round steel for sucker rod is with high strength and corrosion resistance. The 30CrMoARE round steel with rare earth for sucker rod is successfully developed through adopting ladle furnace to feed rare earth wire, effectively controlling the content of such impurity elements as S and P as well as reasonably controlling rolling technology. The inclusions of product≤grade 1, yield strength≥1 027 MPa, tensile strength≥1 087 MPa, elongation≥14% and impact toughness≥144 J so that all the performance indexes could meet user requirements.

Key words: 30CrMoARE; rare earth; sucker rod

抽油杆在机械采油过程中受拉—压应力的交变作用,进行不间断的往复工作,长期在不同程度的腐蚀环境中承受不对称循环交变载荷作用。由于水、H_2S、CO_2和氯化物等的腐蚀作用,普通抽油杆由于抗腐蚀能力低已不能适用油井开采需求,防腐蚀抽油杆钢的开发成为必然趋势[1]。包钢根据市场需求,开发了稀土抽油杆圆钢,经过对钢种、工艺的设计及工业生产,产品性能完全满足客户要求。

稀土与钢中的氧和硫有较强的亲和力,有利于脱氧、脱硫,降低钢中的氧含量和硫含量,并且可降低磷、氢、砷、锑、铅、锡等低熔点元素在晶界上的危害。稀土可改变硫化物夹杂物的形态,钢中硫化物

收稿日期:2019-11-28
作者简介:杨鲁明(1988-),女,山东省威海市人,工程师,现从事线棒材产品开发工作。

中国知网 https://www.cnki.net

是沿着钢材轧制方向呈长条状分布，加入稀土可使长条状硫化物变成球性或仿锤形，并改变夹杂物的大小，明显改善冲击韧性和疲劳性能。另外，稀土在钢中可显著提高钢的耐腐蚀性，延长抽油杆的使用寿命[2]。

1 试验方案及生产工艺

1.1 试验方案

在美标4130[3]（30CrMoARE）抽油杆圆钢工业生产时进行稀土处理钢试验，一炉未加稀土（熔炼号300599），另一炉加入混合稀土丝（熔炼号300611），稀土加入量0.02%。

1.2 工艺路线

高炉铁水→铁水预处理→转炉顶底复吹冶炼→LF炉外精炼→小方坯（150 mm×150 mm）连铸→缓冷→长材厂棒材生产线轧制。

1.3 炼钢工艺

1.3.1 转炉冶炼

采用顶底复吹转炉，双渣法冶炼。一次出钢，出钢时使用挡渣球或挡渣塞挡渣，采用硅锰、硅铁脱氧合金化，终脱氧采用硅铝钙钡。脱氧剂在钢水出钢至1/3时开始加，合金在脱氧剂加入后开始加，合金加入量根据终点碳和出钢量调整。

1.3.2 LF精炼

转炉出钢后，由天车将钢包运至精炼工位，在全程吹氩状态下进行精炼。采用从低级数到高级数逐渐提高升温速度的方式加热，并根据钢水成分及温度变化进行造渣、微调和升温操作。LF精炼温度控制见表1，LF精炼后喂丝及软吹见表2。

表1 LF精炼温度控制 ℃

温度控制	LF炉结束	WF结束	离位
第一炉及快换第一炉	1 605～1 615	1 600～1 610	1 595～1 605
第二炉及以后炉次	1 577～1 587	1 570～1 580	1 565～1 575

表2 LF精炼后喂丝及软吹

CaSi线/m	软吹时间/ min
100～300	≥10

1.3.3 连铸

采用小方坯（150 mm×150 mm）连铸工艺，过热度与拉速控制良好，表3为连铸工艺参数。

表3 30CrMoARE连铸工艺参数

熔炼号	过热度/℃	拉速/（m·min^{-1}）
300599	30	2.0
300611	30	2.0

表4 30CrMoARE化学成分（质量分数） %

熔炼号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	RE
300599	0.30	0.21	0.54	0.013	0.008	0.937	0.182	
300611	0.30	0.26	0.58	0.012	0.010	0.929	0.177	0.000 05
技术协议	0.26～0.33	0.17～0.37	0.40～0.70	≤0.025	≤0.025	0.80～1.10	0.17～0.25	

钢中有害元素P、S控制较低，$w[P]\leqslant 0.015\%$、$w[S]\leqslant 0.010\%$。Cr含量按照协议窄成分控制，Mo含量按照协议下限控制，表4为连铸成品成分。

钢包加稀土丝属稀土处理钢范畴，稀土存量不作为验收条件。稀土经成品样检测分析，可以看出钢中RE含量为痕量，稀土在钢中起净化钢液作用。

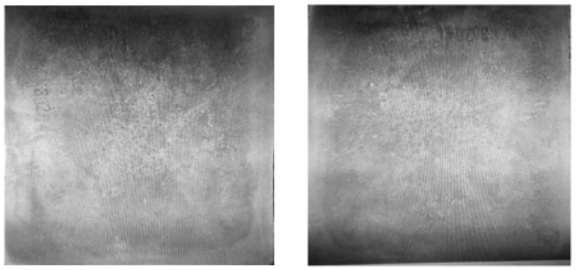
1.3.4 铸坯质量

铸坯试样进行热酸低倍检验，检验结果及铸坯低倍照片分别见表5和图1。

表5 30CrMoARE热酸检验结果 级

熔炼号	流号	中心疏松	缩孔	中心裂纹	中间裂纹	皮下裂纹	角部裂纹	皮下气泡	夹杂物
300599	403	1.0	无	1	无	无	无	无	1
300611	103	0.5	无	无	无	无	无	无	1

中国知网 https://www.cnki.net



（a）　　（b）

图 1　铸坯低倍照片

从表 5 及图 1 可以看出，铸坯质量良好，中心疏松 0.5 级、一般疏松 0.5 级、偏析 0 级，无肉眼可见的缩孔、气泡、裂纹、翻皮及白点等缺陷。

1.4　轧钢工艺

长材厂棒材作业区进行了轧制，规格为 Φ19 mm圆钢。轧制过程中未发现目视可见的裂纹、折叠、结疤等缺陷。经现场检测外形、尺寸满足标准要求，表 6 为轧制工艺控制。

表 6　30CrMoARE 轧制工艺　　℃

开轧温度	终轧温度
1 000 ± 20	950 ± 20

1.4.1　力学性能

取样进行 860 ℃水淬及 540 ℃回火。热处理后，进行成品材力学性能检验，表 7 为力学性能指标。

表 7　30CrMoARE 力学性能

熔炼号	R_{el} /MPa	R_m /MPa	A/%	Z/%
300599	1 027	1 084	13	59
300611	1 027	1 087	14	57
技术协议	≥795	965 ~ 1 195	≥12	≥45

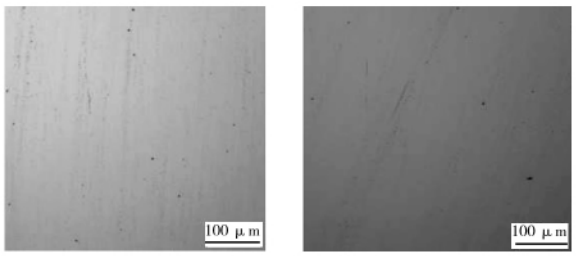
加稀土与不加稀土产品力学性能相当，均满足协议要求。

1.4.2　非金属夹杂物

从成品材上取样进行钢中夹杂物检验，检验结果见表 8 及图 2、图 3、图 4。

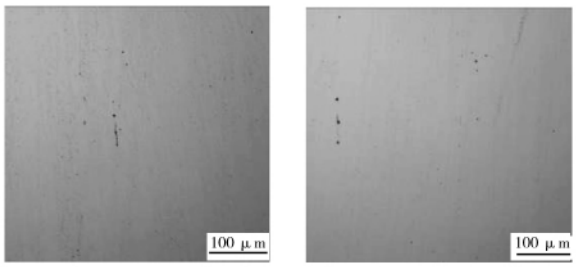
表 8　30CrMoARE 夹杂物检验结果　　级

熔炼号	钢种	A	B	C	D	Ds
300599	30CrMoA	1	1	0.5	1	0.5
300611	30CrMoARE	1	1	0.5	1	0.5
标准要求[4]		≤2	≤2	≤2	≤2	



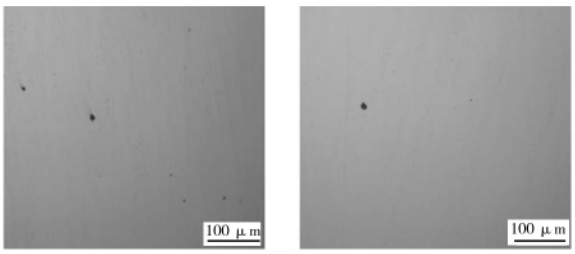
（a）熔炼号300599　　（b）熔炼号300611

图 2　A 类夹杂物



（a）熔炼号300599　　（b）熔炼号300611

图 3　B 类夹杂物



（a）熔炼号300599　　（b）熔炼号300611

图 4　D 类夹杂物

从表 8 及图 2—图 4 可以看出，加入稀土与不加稀土炉次 A 类、B 类、Ds 类夹杂物评级结果相同，但加稀土炉次夹杂物数量少于不加稀土炉次，说明稀土具有脱氧、脱硫、细化夹杂物作用。稀土元素与氧和硫有较强的亲合力，稀土在钢液里与钢中的 O、S 等有害元素反应生成化合物，并以夹杂物形式从钢液中排除，使钢中夹杂物数减少，从而达到净化钢液的作用。加稀土与不加稀土钢中夹杂物均满足国

中国知网　https://www.cnki.net

标 GB/T 26075—2010 要求[4]。

钢中稀土以两种方式存在: 固溶稀土和夹杂稀土。固溶稀土可以强化晶界,提高强度,起到固溶强化的作用; 夹杂稀土中,稀土则与其它易氧化元素共同形成稀土复合夹杂物。

1.4.3 冲击韧性检验

取试样进行了冲击韧性检验,表9为冲击韧性检验结果。加稀土炉次冲击韧性平均值144.2 J,不加稀土炉次冲击韧性平均值136.3 J,加稀土炉次冲击韧性高于不加稀土炉次,二者冲击韧性均满足标准要求。

表9 30CrMoARE 冲击韧性

熔炼号	钢种	规格	试验温度/℃	冲击试验值 KU_2/J
300611	30CrMoARE	10 mm×10 mm×55 mm	常温	135.4 152.1 145.1
300599	30CrMoA	10 mm×10 mm×55 mm	常温	147.3 139.3 122.3
国标[4]			≥71	

1.4.4 轴向疲劳检验

取试样在 PLG-200 高频疲劳试验机上进行了实物轴向疲劳检验。在试验应力406 MPa条件下,实物疲劳周次 500 万次未断裂,达到 SY/T 5029—2006 标准中疲劳循环周次大于 100 万次的要求[5]。

2 结论

(1) 采用脱硫铁水→转炉冶炼→LF 精炼→小方坯连铸→棒材轧制工艺生产抽油杆圆钢工艺顺行,产品质量稳定良好,具备规模化工业生产条件。

(2) 铸坯试样进行热酸低倍检验,缺陷级别不大于1级,铸坯质量良好。

(3) 稀土加入后具有脱氧、脱硫、细化夹杂物作用,30CrMoARE 与 30CrMoA 相比 A 类、B 类、Ds 类夹杂物数量有所减少。

(4) 30CrMoARE 与 30CrMoA 力学性能相当。30CrMoARE 冲击韧性平均值 144.2 J,30CrMoA 冲击韧性平均值 136.3 J,冲击韧性较 30CrMoA 有所提升。

(5) 30CrMoARE 与 30CrMoA 抗拉强度、屈服强度、延伸率、面缩率、冲击性能等均满足标准要求。

(6) 在试验应力 406 MPa 条件下,实物疲劳周次 500 万次未断裂,满足国标要求。

参 考 文 献

[1] 张彦甫. K 级和 KD 级防腐蚀抽油杆用钢的开发[J]. 河北冶金. 2015,238(10):47-49.

[2] 肖振会,穆敬. KD 级抽油杆用钢 3130 的开发生产[J]. 山东冶金,2014,36(1):7-9.

[3] AISI 4130, Chromium-molybdenum steel[S].

[4] GB/T 26075—2010,抽油杆用钢[S].

[5] 李明奇,孟繁中. 高强度抽油杆用钢的腐蚀疲劳行为[J]. 中国腐蚀与防护学报,1995,15(3):196-197.

中国知网 https://www.cnki.net