

110 t EAF-LF-RH-CC-连轧流程 $\Phi 110$ mm ~ $\Phi 150$ mm 22CrMoH 齿轮钢的试制

曹燕光¹ 王毛球¹ 徐乐¹ 刘剑辉¹ 董瀚¹ 胡芳忠² 孙维²

(1 钢铁研究总院特殊钢研究所,北京 100081;2 马鞍山钢铁股份有限公司,马鞍山 243000)

摘要 通过电弧炉留钢操作,控制 EAF 终点[C] $\geq 0.10\%$,LF 精炼白渣时间 ≥ 30 min,利用淬透性预测模型微调钢水中元素含量,控制中间包钢水过热度 $15 \sim 30$ °C、结晶器、铸流和末端电磁搅拌等工艺措施,试制的 $\Phi 110$ mm ~ $\Phi 150$ mm 22CrMoH 齿轮钢(成分:0.20 ~ 0.22C, 0.26 ~ 0.28Si, 0.73 ~ 0.75Mn, 0.007 ~ 0.012P, 0.001 ~ 0.004S, 1.05 ~ 1.09Cr, 0.37 ~ 0.39Mo)的氧含量为 $8 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$,轧材 $J_{15} \Delta$ HRC 值 ≤ 4 ,夹杂物 ≤ 1.0 级,低倍组织 ≤ 1.0 级。

关键词 22CrMoH 齿轮钢 110 t EAF-LF-RH-CC 流程 淬透性带宽 氧含量 试制

Pilot Production of $\Phi 110$ mm ~ $\Phi 150$ mm Gear Steel 22CrMoH by 110 t EAF-LF-RH-CC-Continuous Rolling Flowsheet

Cao Yanguang¹, Wang Maoqiu¹, Xu Le¹, Liu Jianhui¹, Dong Han¹, Hu Fangzhong² and Sun Wei²

(1 Institute for Special Steels, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081;
2 Ma'an Shan Iron and Steel Co Ltd, Ma'an Shan 243000)

Abstract With the process measures including using arc furnace heels operation, controlling EAF end [C] $\geq 0.10\%$, LF refining white slag time ≥ 30 min, using hardenability calculated model to micro-adjusting the elements content in liquid, controlling tundish liquid overheating extent $15 \sim 30$ °C, mold, strands and end electromagnetic stirring, the oxygen content in pilot production of $\Phi 110$ mm ~ $\Phi 150$ mm gear steel 22CrMoH (成分: 0.20 ~ 0.22C, 0.26 ~ 0.28Si, 0.73 ~ 0.75Mn, 0.007 ~ 0.012P, 0.001 ~ 0.004S, 1.05 ~ 1.09Cr, 0.37 ~ 0.39Mo) is $8 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$, the rolled products $J_{15} \Delta$ HRC value ≤ 4 , the rating of inclusions ≤ 1.0 , and the rating of macro-structure ≤ 1.0 .

Material Index Gear steel 22CrMoH, 110 t EAF-LF-RH-CC Flowsheet, Hardenability Band Width, Oxygen Content, Pilot Production

22CrMoH 是一种高淬透性齿轮钢,主要用于生产大、中型载重卡车的后桥齿轮,我国主要齿轮用户企业都有较大的需求量^[1-3]。近年来,齿轮钢生产呈现电弧炉(转炉)大容量化、连铸坯大尺寸化等发展趋势。马钢电炉厂建有 110 t“双超”电弧炉、120 t LF、120 t 双工位 RH、5 机 5 流圆坯连铸机(最大断面为 $\Phi 600$ mm)、 $\Phi 1150/950$ mm 开坯机及六连轧机组。马钢电炉厂装备条件适合开展大规格齿轮钢生产试制。本文主要介绍马钢采用 110 t 电弧炉-LF + RH 流程试制生产直径 $\Phi 110$ mm ~ $\Phi 150$ mm 的 22CrMoH 齿轮钢情况。

1 22CrMoH 齿轮钢的生产工艺

1.1 生产工艺流程

110 t 电弧炉冶炼 \rightarrow LF + RH 精炼 \rightarrow $\Phi 450$ mm 圆坯连铸 \rightarrow 初轧开坯 + 6 机架连轧 $\Phi 95$ mm ~ $\Phi 250$ mm 圆钢 \rightarrow 精整。

1.2 生产工艺要点

(1) 电弧炉出钢采用留钢留渣操作,严防下渣,控制终点[C] $\geq 0.10\%$,出钢全过程吹氩搅拌,直至精炼工位。

(2) 在 LF 精炼过程中,加入适量 FeSi 粉和 SiC 粉进行脱氧,保证白渣精炼时间 ≥ 30 min。根据不同技术标准,利用淬透性预测模型预报特定淬透性值的成分,在炉渣白时取样测定钢液成分,然后利用计算机根据目标成分和钢液量补加合金料,对 C、Mn、Cr、Mo、Si、Al 等对淬透性影响较大的合金元素进行在线微调,以保证稳定的化学成分和窄的淬透性带宽。

(3) 采用 RH 精炼进行真空循环脱气,在真空度达到 60 Pa 以下保持一定时间,破真空后继续吹氩,控制[H] $\leq 1.5 \times 10^{-6}$, [O] $\leq 12 \times 10^{-6}$ 。

(4) 连铸过程,中间包过热度严格控制在 $15 \sim 30$ °C。结晶器、铸流及末端采用 3 段电磁搅拌,可以有效地减小枝晶偏析,保证化学成分的均匀分布,获得较窄的淬透性带宽。

表 1 22CrMoH 齿轮钢化学成分 / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	[O]
标准范围	0.19 ~ 0.25	0.17 ~ 0.37	0.55 ~ 0.90	≤ 0.030	≤ 0.035	0.85 ~ 1.25	0.35 ~ 0.45	≤ 0.002 0
内控范围	0.20 ~ 0.22	0.20 ~ 0.30	0.70 ~ 0.80	-	-	1.05 ~ 1.10	0.37 ~ 0.39	≤ 0.0015
实测值	0.20 ~ 0.22	0.26 ~ 0.28	0.73 ~ 0.75	0.007 ~ 0.012	0.001 ~ 0.004	1.05 ~ 1.09	0.37 ~ 0.39	0.000 8 ~ 0.001 0

2 齿轮钢质量分析

2.1 化学成分

22CrMoH 轧材化学成分分析结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出,22CrMoH 钢的化学成分完全满足国标 GB/T5216-2014 要求,并在内控范围之内。试制的 22CrMoH 齿轮钢的 C、Si、Mn、Cr、Mo 等主要化学成分波动很小,实现了化学成分的精准控制,保证了淬透性和力学性能的稳定^[4]。

试制的 22CrMoH 钢氧含量为 $8 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$,显著低于内控范围提出的 15×10^{-6} ,优于资料报道的国内外主要企业生产的 SCM822H 钢氧含量水平^[3],这得益于 LF 精炼过程较长的脱氧精炼时间和 RH 精炼过程较高的真空度。钢中氧含量对材料的疲劳性能影响很大。研究表明,齿轮钢中氧化物夹杂数量随着氧含量降低而减少,渗碳部件的使用寿命得到显著地提高,当钢中氧含量从 25×10^{-6} 降低至 11×10^{-6} 时,试样的接触疲劳强度提高近 4 倍^[5]。由此可见,氧含量的有效控制是生产高品质齿轮钢的一个关键点。

此外,在试制 22CrMoH 齿轮钢连铸坯和轧材不同位置上取样,对 C 含量进行了分析,结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,连铸坯 C 含量峰值为 0.25%,在心部和近表面位置;最小值为 0.20%,在接近心部的 3/4 半径处。熔炼成分中的 C 含量为 0.22%,代入式(1)计算得出,其中心 C 偏析系数 S_c 约为 1.14。轧材上 C 含量最大值为 0.22%,在心部位置和 1/2 半径处,最小值为 0.20%。可见,轧材上的 C 偏析较连铸坯上有了明显的改善。

$$S_c = \frac{C_0}{C} \quad (1)$$

式中: C_0 - 心部 C 含量; C - 熔炼成分中的 C 含量。

2.2 淬透性

图 2 所示为 22CrMoH 钢($\Phi 110 \text{ mm} \sim \Phi 150 \text{ mm}$)淬透性分布曲线。显然,22CrMoH 钢淬透性均在 GB/T5216-2014 要求范围之内。结合表 2 可以看

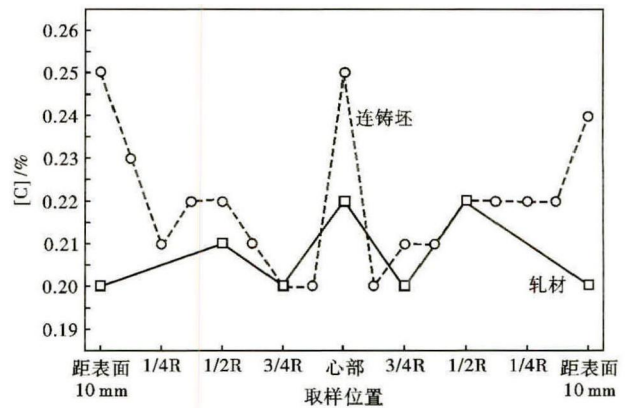


图 1 22CrMoH 齿轮钢连铸坯($\Phi 450 \text{ mm}$)和轧材($\Phi 150 \text{ mm}$)断面的 C 含量分布

Fig.1 Distribution of C content at cross section of $\Phi 450 \text{ mm}$ casting bloom and $\Phi 150 \text{ mm}$ rolled products of gear steel 22CrMoH

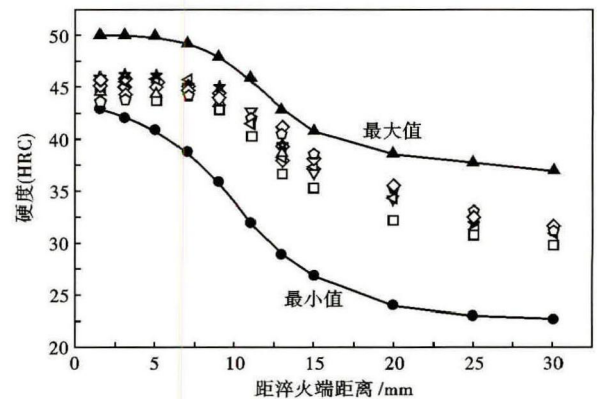


图 2 22CrMoH 齿轮钢($\Phi 110 \text{ mm} \sim \Phi 150 \text{ mm}$ 轧材)的淬透性带

Fig.2 Hardenability band of $\Phi 110 \text{ mm} \sim \Phi 150 \text{ mm}$ rolled products of gear steel 22CrMoH

表 2 22CrMoH 齿轮钢淬透性, HRC 硬度值

Table 2 Hardenability and HRC hardness value of gear steel 22CrMoH

项目	J_{15}			J_{25}		
	上限	下限	带宽	上限	下限	带宽
GB/T5216-2014	41	27	14	38	24	12
内控范围	39	33	≤6	35	-	≤6
实测值	38.8	35.4	3	33.4	31.0	2

出,在距淬火端 15 mm 处,淬透性波动仅为 3 HRC,满足内控目标要求。这主要是由于 LF 精炼过程计算机成分微调、淬透性预测技术以及连铸过程三段电磁搅拌的应用,最大限度地降低了化学成分的波动,实现了窄淬透性带宽的控制,达到了国内先进水平。

2.3 低倍组织

22CrMoH 钢连铸坯和轧材低倍组织形貌见图 3,其评级结果如表 3 所示。连铸坯一般疏松在 0.5

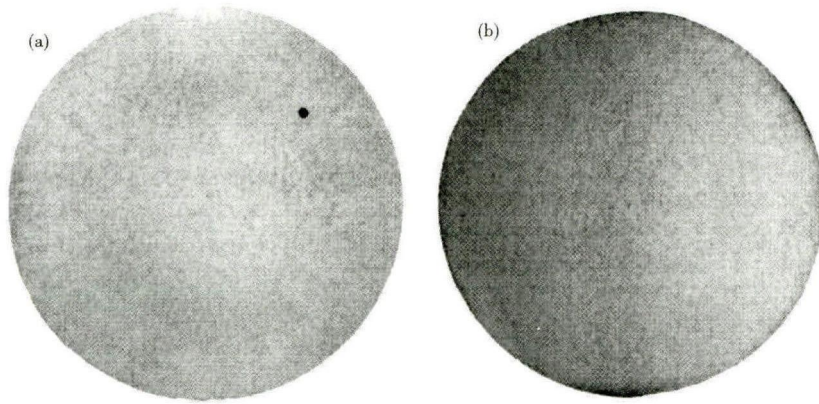


图3 22CrMoH 齿轮钢低倍组织形貌:(a)连铸坯,Φ450 mm;(b)轧材,Φ150 mm

Fig.3 Morphology of macrostructure of gear steel 22CrMoH: (a) casting round bloom, Φ450 mm; (b) rolled product, Φ150 mm

表3 22CrMoH 齿轮钢低倍组织/级

Table 3 Macrostructure of gear steel 22CrMoH /rating

项目	一般疏松	中心疏松	偏析
内控范围	≤2.0	≤2.0	≤2.0
连铸坯	0~0.5	1.0~1.5	0
轧材	1.0	1.0	0.5~1.0

表4 22CrMoH 齿轮钢非金属夹杂物级别

Table 4 Rating of nonmetallic inclusions of gear steel 22CrMoH

项目	A		B		C		D	
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗
内控范围	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤1.5	≤2.0	≤1.5
实测值	0.5~1.0	0	0~0.5	0	0	0	0.5~1.0	0

级以内,中心疏松为1.0~1.5级,未观察到明显偏析;轧材一般疏松和中心疏松均为1.0级,偏析为0.5~1.0级,完全满足内控不超过2级的要求。

2.4 非金属夹杂物

22CrMoH 钢非金属夹杂物检验结果如表4所示。可见,22CrMoH 钢非金属夹杂物控制的非常好,A类(细系)、B类(细系)和D类(细系)夹杂物均控制在1.0级以内,未见其它夹杂物,这与日本爱

知特钢生产的超纯 SCM420H 齿轮钢水平相当^[3],优于日本爱知特钢生产的一般脱气 SCM420H 齿轮钢和国内钢材报道数据^[6]。这与马钢生产试制 22CrMoH 齿轮钢冶炼时 O、S 含量控制得很低有关。

3 结论

马钢 110 t 电弧炉→LF + RH 精炼→连铸工艺试制 22CrMoH 齿轮钢化学成分控制精确,钢中各元素的波动范围为(%) : 0.02C, 0.02Si, 0.02Mn, 0.005P, 0.003S, 0.02Cr, 0.02Mo, 淬透性波动低于 4 HRC。氧含量控制在 10×10^{-6} 以下,轧材夹杂物 ≤1.0 级,各项低倍组织 ≤1.0 级。

参考文献

- [1] 宋广胜,刘相华,王国栋,等. 22CrMo 钢渗碳淬火过程组织与应力变化的数值模拟[J]. 钢铁研究学报,2006,18(10):36-40.
- [2] 郑绪新. SCM822H 窄淬透带的稳定与控制[J]. 四川冶金,2011,33(1):39-42.
- [3] 李国忠,惠 荣. 短流程大方坯工艺生产 SCM420H、SCM822H 高级汽车齿轮钢[J]. 江苏冶金,2001,4:19-23.
- [4] 殷瑞钰. 钢的质量现代进展[M]. 北京:冶金工业出版社,1995.
- [5] 涂小龙. 重型汽车齿轮热处理变形控制[D]. 浙江:浙江大学,2005.
- [6] 孙洪刚. 汽车齿轮钢 SCM822H 的研制[C]. 2005 中国钢铁年会论文集(3). 北京:冶金工业出版社,2005.

曹燕光(1985-),男,博士研究生(钢铁研究总院),2009 年北京科技大学(本科)毕业,合金结构钢研究。

E-mail:ustbeao@163.com

收稿日期:2014-12-19

下 期 要 目

35 t 三流不对称中间包流场的物理数学模拟和应用	朱守欣等
Ca-Si 线与 FeS 合金化模式对低碳结构钢硫化物形态的影响	戴雨翔等
180 t 转炉底吹和顶-底复吹射流与熔池作用的水模型研究	包丽明等
耐腐蚀油井管用钢专利技术研发进展	陈 妍等
100 t 转炉炉衬侵蚀因素的分析 and 长寿炉龄的工艺实践	张 毅等
Nb-Ti 微合金化含铬 J55 石油套管用钢的生产实践	吕国成等
冷却速率对无取向硅钢中夹杂物析出行为的影响	陈凌峰等