

易切削齿轮钢 22CrMoHS 的开发

乔晓阳 裴小芳 崔冕 周志伟

(江苏苏钢集团有限公司技术中心, 苏州 215151)

摘要 苏钢开发了一种新的易切削齿轮钢 22CrMoHS ($\% : 0.19 \sim 0.25 \text{ C}, 0.80 \sim 1.00 \text{ Mn}, \leq 0.025 \text{ P}, 0.040 \sim 0.060 \text{ S}, 1.00 \sim 1.40 \text{ Cr}, 0.35 \sim 0.45 \text{ Mo}$), S 控制在 0.040% ~ 0.060%; 通过控制电弧炉终点 [C] 在 0.05% ~ 0.12%; LF 精炼初期渣的碱度 (R) 和 Al_2O_3 含量分别为 4 ~ 5 和 25% ~ 35%, 在精炼后期渣碱度 (R) 和 Al_2O_3 含量分别为 3 ~ 4 和 25% ~ 35%; VD 后钙处理, 使钢中 [Ca] 在 0.001 5% ~ 0.002 5%; 连铸二冷比水量 0.81 L/kg, 控制拉速 0.75 ~ 0.80 m/min 等工艺, 钢中硫化物形态主要为球形, 球化率达 95% 以上, 材料的切削性能得到明显改善。

关键词 易切削齿轮钢 22CrMoHS S 含量 硫化物形态

Development of Free Cutting 22CrMoHS Gear Steel

Qiao Xiaoyang, Pei Xiaofang, Cui Mian and Zhou Zhiwei

(Technology Center for Jiangsu Suzhou Steel Group Co Ltd, Suzhou, 215151)

Abstract The free cutting 22CrMoHS gear steel ($\% : 0.19 \sim 0.25 \text{ C}, 0.80 \sim 1.00 \text{ Mn}, \leq 0.025 \text{ P}, 0.040 \sim 0.060 \text{ S}, 1.00 \sim 1.40 \text{ Cr}, 0.35 \sim 0.45 \text{ Mo}$) is developed by Suzhou Steel Group. The range of sulfur content in steel is 0.040% ~ 0.060%. With controlling end point carbon of electric furnace 0.05% ~ 0.12%, beginning refining slag basicity R 4 ~ 5 and (Al_2O_3) 25% ~ 35%, end of refining slag basicity R 3 ~ 4 and (Al_2O_3) 25% ~ 35% at LF, after VD feeding calcium wire to control the calcium content in steel 0.001 5% ~ 0.002 5%, secondary cooling water 0.81 L/Kg, and casting speed 0.75 ~ 0.80 m/min, the sulfide in the steel is mainly spherical, and the spheroidization ratio of sulfide inclusions is up to 90% to greatly improve the cutting performance of steel.

Material Index Free-Cutting 22CrMoHS Gear Steel, Sulfur Content, Sulfide Morphology

目前, 易切削齿轮钢主要通过添加 0.015% ~ 0.040% 的 S 来改善材料的切削性能^[1-2], 但对切削性能的改善效果非常有限。经调查发现, 该类试验钢使刀具的寿命提高不足 20%, 且试验钢车削过程中, 断屑效果也不理想。与此同时, 国内部分齿轮制造企业已经装备了全自动化车削生产线, 故对试验钢的切削性能提出了更高的要求。为此, 江苏苏钢集团有限公司 (下称苏钢) 开发了一种新的易切削齿轮钢 22CrMoHS, 在钢中添加 0.040% ~ 0.060% 的 S, 控制硫化物形态, 进而有效改善了材料的切削性能。

1 试验钢成分设计和工艺

为了改善试验钢的切削性能, 在原有 22CrMoH 钢的基础上, 对化学成分进行了优化设计, 如表 1 所示。将硫元素的含量调整至 0.040% ~ 0.060%, 为了充分发挥 Ca 对硫化物形态控制作用, 氧含量按照 0.000 5% ~ 0.001 2% 控制^[3-4]。

苏钢生产的 22CrMoHS 钢工艺流程为: 电弧炉

(100 t)-LF-VD-CCM (五机五流 240 mm × 240 mm 方坯)。冶炼工艺控制如下:

(1) 电弧炉控制终点钢水的氧化性可减轻精炼炉脱氧负担, 电弧炉终点钢水控制目标: 碳含量 0.05% ~ 0.12%、磷含量 $\leq 0.010\%$, 终点钢水温度: 1 620 ~ 1 680 °C。根据终点碳含量调整铝铁用量, 使钢水中酸溶铝 Als 含量达 0.05% 以上。出钢时做好挡渣, 防止下渣。

(2) LF 精炼需保证钢水的纯净度同时保证硫的收得率, 精炼初期渣的碱度 R 和 Al_2O_3 含量分别控制在 4 ~ 5 和 25% ~ 35%, 在精炼后期进行补渣, 控制渣的碱度 (R) 和 Al_2O_3 含量分别为 3 ~ 4 和 25% ~ 35%; 精炼时间 $\geq 40 \text{ min}$, 保白渣时间 $\geq 20 \text{ min}$ 。

(3) VD 破空后, 立即对钢水进行钙处理, 钙处理在 1 600 °C 以上进行, 保证试验钢中有效 [Ca] 在 0.001 5% ~ 0.002 5%; 钙处理后保持吹氩, 控制氩气压力与流量, 使渣面微动。

(4) 连铸二冷比水量 0.81 L/kg, 拉速 0.75 ~

表1 22CrMoHS 钢的化学成分/%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.19 ~ 0.25	0.17 ~ 0.37	0.80 ~ 1.00	≤0.025	0.040 ~ 0.060	1.00 ~ 1.40	0.35 ~ 0.45

表2 22CrMoHS 钢氧含量和硫含量/%

炉序	[O]	[S]
1	0.001 1	0.055
2	0.000 8	0.051
3	0.000 8	0.050
4	0.000 9	0.053

0.80 m/min^[3-7]

2 材料检验与分析。

2.1 纯净度及硫含量

22CrMoHS 钢氧含量和硫含量的控制情况如表 2, 可满足当前行业氧含量 ≤0.001 5% 的技术要求,

表3 100 mm² 中不同长宽比硫化物的数量

硫化物类别	长宽比 <2	长宽比 2~4	长宽比 >4
数量/个	5 352	103	23

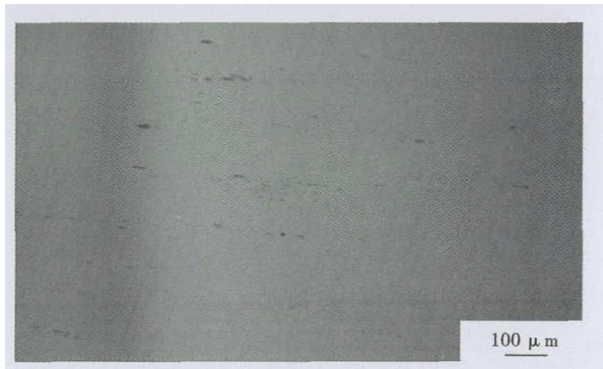


图1 22CrMoHS 钢的硫化物形貌, 光学显微镜
Fig.1 Morphology of sulfide of 22CrMoHS steel, OM

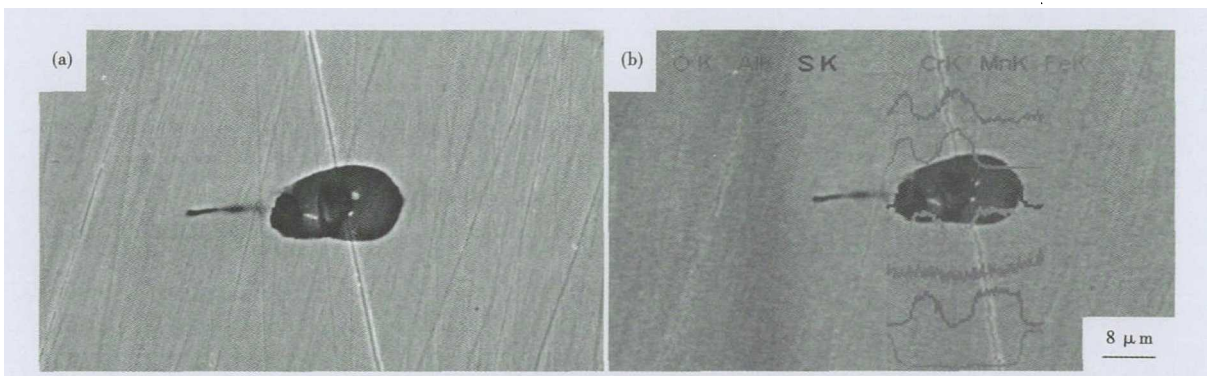


图2 22CrMoHS 钢硫化物扫描电镜形貌
Fig.2 Morphology of sulfide of 22CrMoHS steel, SEM

表4 试验钢 22CrMoH 和 22CrMoHS 钢的化学成分/%

试验钢	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
22CrMoH	0.21	0.25	0.85	0.009	0.025	1.12	0.39
22CrMoHS	0.21	0.23	0.84	0.008	0.051	1.10	0.40

表5 22CrMoHS 钢和 22CrMoH 钢的拉伸、冲击试验结果
Table 5 Test results of tensile and impact properties of steel 22CrMoHS and steel 22CrMoH

项目	R _{p0.2} /MPa	R _m /MPa	A/%	Z/%	Ku2/J
技术要求	≥880	≥1 100	≥12	≥30	≥47
22CrMoH	1 213	1 545	14	51	71
22CrMoHS	1 128	1 419	15	55	67

硫含量可稳定控制在内控要求的 0.045% ~ 0.055%。

2.2 硫化物形态

图1 为 22CrMoHS 钢硫化物形态及分布图, 从

图1 中可以看出, 硫化物几乎均为球形, 且分布弥散。

用光学显微镜在 100 mm² 的检测面积内, 对不同长宽比的硫化物进行了统计, 结果如表 3, 球化率高达 95% 以上, 硫化物形态控制达到国内先进水平。对硫化物进一步进行电镜分析, 硫化物为以 Al₂O₃ 为核心, 外裹 (Ca, Mn)S 的复合夹杂。该结果与简龙等人^[7] 关于含硫非调质钢中硫化物形态控制的试验结果相吻合, 见图 2。

表6 22CrMoHS 钢和 22CrMoH 钢的车削试验结果

试验钢	断屑效果	刀具寿命
22CrMoH	螺旋屑	118 件齿轮
22CrMoHS	C 字短屑	167 件齿轮

2.3 力学性能

将试验钢 22CrMoHS 与硫含量为 0.025% 的 22CrMoH 试验钢的力学性能进行对比。两种试验钢的化学成分如表 4。分别将两种试验钢制成直径为 15 mm 的毛坯样,热处理工艺为:(860 ± 10) °C,保温 30 min,油淬,(200 ± 10) °C 回火,保温 90 min,空冷。试验结果如表 5,两种材料的拉伸与冲击性能无明显差异,均满足技术要求。

2.4 切削性能试验

用硫含量为 0.025% 的 22CrMoH 试验钢和新材料 22CrMoHS 试验钢进行车削对比试验。将两种试验钢锻打为环形齿坯,经过等温正火处理后,进行车削。从表 6 中可以看出,硫含量提高后,试验钢断屑效果明显变好,其易切削性能大幅改善,可使刀具寿命提高约 40%。

3 结论

(1) 通过控制电弧炉终点 [C] 在 0.05% ~ 0.12%;精炼初期渣的碱度(R)和 Al₂O₃ 含量分别控制在 4~5 和 25%~35%,在精炼后期进行补渣,控制渣的碱度(R)和 Al₂O₃ 含量分别为 3~4 和 25%~35%;钙处理在 1600 °C 以上进行,保证钢中 [Ca] 在 0.0015%~0.0025%,钙处理后保持吹氩等工艺,可

使试验钢获得细小弥散的球状的复合硫化物,硫化物球化率达 95% 以上。

(2) 在 22CrMoHS 钢中通过添加 0.040% ~ 0.060% 的硫,对比硫含量 0.015% ~ 0.040% 的 22CrMoH 钢,前者切削性能大幅提升,刀具的寿命可提高 40%。

参考文献

[1]冯光,王长路. 齿轮工业年鉴[M]. 吉林:科学技术出版社,2018.

[2]徐秋香,邵亮. 硫易切削齿轮钢的开发[J]. 特殊钢,2002,23(1):83-84.

[3]谈盛康,吴晓东,张仰东. 钙处理对 20CrMo 齿轮钢硫化物夹杂的影响[J]. 钢铁,2012,28(2):52-55.

[4]林平,刘浏,王福利,等. 含硫齿轮钢 20CrMnTiH1 钙处理热力学和控制技术的研究[J]. 特殊钢,2010,31(4):1-4.

[5]姜玉龙,郑万. 150 t LF 精炼喂钙线处理钢中夹杂物的演变[J]. 特殊钢,2016,37(3):8-12.

[6]Ohta H, Suito H. Activities in CaO-SiO₂-Al₂O₃ Slag and Doxidation Equilibria of Si and Al[J]. Metallurgical and Materials Transactions B,1996,27:943-953.

[7]简龙,陈伟庆. 含硫非调质钢中硫化物形态的控制[J]. 钢铁,2006,41(10):74-77.

乔晓阳(1986-),男,硕士(2012年东北大学),工程师,2006年河北理工大学(本科)毕业,特种钢的研发。
E-mail:qiaoxiy@sugang.com.cn

收稿日期:2019-11-28

尊敬的投稿作者:《特殊钢》现无网站投稿平台,如发现有伪造特殊钢投稿网站欺骗作者,请及时电话告知

地址:湖北省黄石市黄石大道316号、新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社

邮编:435001 电话:0714-6297386 6297313 投稿邮箱:E-mail: tsghs@sina.com