

· 工艺技术 ·

LF 喂 Ca 线改善易切削钢 Y1Cr13 硫化物形貌的工艺实践

张孟昀 张荣兴 白李国 李广斌 腾艳峰 雷学东

(邢台钢铁有限责任公司不锈钢公司, 邢台 054000)

摘要 试验钢 Y1Cr13 (C: 0.11%, Si: 0.31%, Mn: 1.14%, P: 0.024%, S: 0.28%, Cr: 12.43%, Ca: 0.0011%, Al: 0.012%, O: 0.0084%, Mn/S: 4.07) 的冶金流程为 60 t AOD-LF-150 mm × 150 mm 坯连铸-轧制 Φ12 mm 材。原未加 Ca 的 LF 精炼渣碱度为 1.7~2.1, 用 Fe-Si 脱氧, T[O] 为 0.012%~0.015%, 而改进的加 Ca 工艺为 LF FeSi 脱氧后补加 Al 线深脱氧, T[O] 为 0.007%~0.010%, 加 Ca 线进行夹杂物变性处理。结果表明, 加入实芯钙线使钢中长条型硫化物变性为球形或纺锤型, 线材产品中硫化物长度由最长的 160 μm 缩短为 100 μm, 纺锤形硫化物 (长宽比 ≤ 3) 所占比例由 52.90% 提高至 72.09%, 提高了产品切削性能。

关键词 易切削钢 Y1Cr13 喂钙线 硫化物 变性

Process Practice of Morphology Modification of Sulfide in Free Cutting Steel Y1Cr13 by Feeding Ca Wire during LF Refining

Zhang Mengyun, Zhang Rongxing, Bai Ligu, Li Guangbin, Teng Yanfeng and Lei Xuedong
(Stainless Steel Co, Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 054000)

Abstract Metallurgical flowsheet of tested steel Y1Cr13 (C: 0.11%, Si: 0.31%, Mn: 1.14%, P: 0.024%, S: 0.28%, Cr: 12.43%, Ca: 0.0011%, Al: 0.012%, O: 0.0084%, Mn/S: 4.07) is 60 t AOD-LF-150 mm × 150 mm billet casting-rolled to Φ12 mm products. In original LF refining without adding Ca, the refining slag basicity is 1.7~2.1 and the T[O] is 0.012%~0.015% by only using Fe-Si to deoxidation, while in the improved adding Ca process, after LF Fe-Si deoxidation adding the Al wire is supplied again to deep deoxidation, the T[O] is 0.007%~0.010%, and the Ca wire is fed to modify the inclusions in liquid. Results show that with adding core calcium wire the long stripe sulfide is modified to spherical or spindle sulfide, the max length of sulfide in products reduces to 100 μm from original 160 μm, the ratio of spindle sulfide with length/width ≤ 3 increases to 72.09% from original 52.90% markedly to improve the cutting performance of products.

Material Index Free Cutting Steel Y1Cr13, Feeding Calcium Wire, Sulfide, Modification

硫系易切削钢是向钢中添加 S、Pb 等易切削元素, 从而提高产品切削性能的钢种。由于生成的 MnS 夹杂具有良好的变形能力, 轧制过程中易延轧制方向延展为长条状, 从而降低材料的横向性能^[1]。目前, 降低 MnS 夹杂物塑性可通过以下两种方法: (1) 适当提高钢中 O 含量, 生成 Mn(S、O) 复合夹杂; (2) 降低钢中 O 含量, 后期使用 Ca、稀土等与 S 结合力更强的元素进行钢中硫化物变性, 生成塑性较差的硫化物复合夹杂^[2]。上述两种方法均可明显降低钢中硫化物塑性, 缩短轧制过程中硫化物长度, 从而提高产品切削性能^[3]。本文以中碳钢易切削钢 Y1Cr13 为例, 通过硫化物变性, 提高产品切削性能。

1 硫化物变性理论分析

近年来, Ca 作为钢中硫化物的良好变性剂得到越来越广泛的应用, 但 Ca 元素也属于一种强有力的脱氧剂, 含硫钢中加入 Ca 元素后势必发生 O、S 两元素与 Ca 的争夺, 生成稳定的 CaS 夹杂首先需

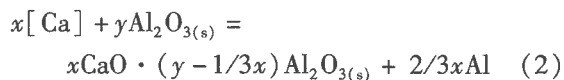
降低钢液中 [O]。

根据平衡常数计算生成 CaS 反应达到平衡状态时的氧含量, 即:

$$\text{CaO}_{(s)} + [\text{S}] = \text{CaS}_{(s)} + [\text{O}]$$
$$K = (a_{[\text{O}]} a_{\text{CaS}}) / (a_{[\text{S}]} a_{\text{CaO}}) \quad (1)$$

根据相关热力学计算^[4], 可知平衡常数 $K = 5.3 \times 10^{-2}$ 。Y1Cr13 钢种成品 S 含量约为 0.28%, 则生成 CaS 平衡状态下钢中 [O] $\approx 140 \times 10^{-6}$, 即要保证钢液中存在稳定的 CaS 夹杂物, 生产过程中钢中氧含量需小于 140×10^{-6} 。

另外, 因钢液中存在 Al_2O_3 夹杂物, 钙平衡的氧活度比铝平衡的氧活度低, 故钢液中会同时发生如下反应:



通过热力学计算可知, 高硫钢液中加入 Ca 元素不能生成液态钙铝酸盐, 而易于生成高温状态下

表1 Y1Cr13钢化学成分范围和成品分析结果
Table 1 Requirement of chemical composition of steel Y1Cr13 and analysis of finished product

项目	化学成分 / %										Mn/S
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ca	Al	O	
成分范围	0.10~0.13	≤1.00	≤1.25	≤0.045	≥0.25	12.00~14.00	≤0.60	-	-	-	
成品分析	0.11	0.31	1.14	0.024	0.28	12.43	0.07	0.001 1	0.012	0.008 4	4.07

的固态钙铝酸盐,其可作为MnS夹杂的析出核心,从而使钢中硫化物分布更加弥散。

2 试验过程

试验钢种为Φ12 mm规格线材,其化学成分见表1所示。

邢钢易切削钢采用60 t AOD 氩氧精炼炉+60 t LF 精炼炉进行冶炼,AOD 冶炼主要进行钢液的脱碳保铬,控制炉渣碱度 $R=2.0\sim 2.3$,LF 精炼过程中采用FeSi进行脱氧,控制炉渣碱度 $R=1.7\sim 2.1$,检测连铸中间包钢液全氧量为 $[O]=0.012\%\sim 0.015\%$,通过R9 m弧立弯式连铸机进行生产150 mm×150 mm小方坯,后经高线轧制成线材。

硫化物变性生产时,生产过程控制与未变性时一致,但在LF精炼过程中,除了向钢中加入FeSi进行脱氧外,还需补加Al线40 m进行深脱氧(过程 $[Al]\geq 0.015\%$),精炼后期,向钢液中加入纯实芯Ca线约80 m进行夹杂物变性处理,检测连铸中间包钢液全氧量为 $[O]=0.007\%\sim 0.010\%$,钢中可生成稳定的CaS夹杂。文献[5]指出,浇铸过程中较低的氧含量可有效抑制皮下气泡产生,提高铸坯质量。

连铸过程中进行保护浇注,关闭塞棒吹氩孔并密封,防止钢液吸氧被“二次氧化”。结晶器冷却水流量范围1 550~1 600 L/min,二冷段采用中弱冷控制,铸坯拉速为1.1 m/min,浇铸过程液面稳定。

3 实验结果及分析

3.1 铸坯内硫化物形貌

利用金相显微镜对实验钢坯样品进行硫化物形貌检验能谱分析,见图1所示。图1中大部分区域夹杂物呈现球状或纺锤状,极少区域呈现链条状分布,这可能与钢中加入Al元素生成 Al_2O_3 类夹杂物有关。使用扫描电镜对样品夹杂物进行能谱分析。

由能谱分析结果可知,芯部主要元素为:Al(19.94%)、O(17.42%)、Ca(2.81%)、S(4.14%),存在的夹杂物主要为钙铝酸盐与少量CaS混合夹杂;边缘位置主要元素为:Al(6.52%)、Mn(8.39%)、S(6.54%)、Ca(2.81%),分析存在的夹

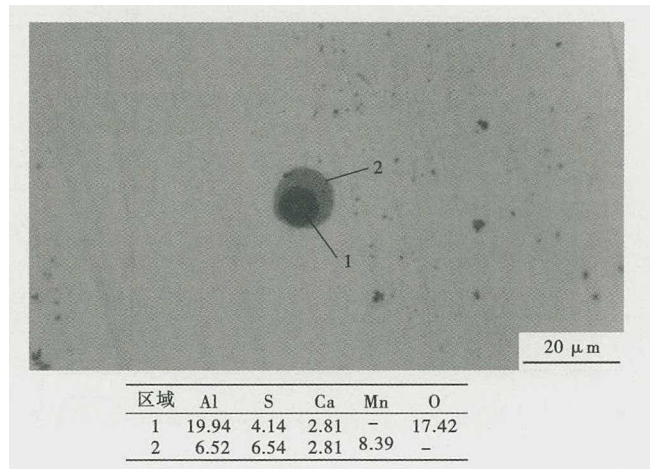


图1 Y1Cr13钢坯中硫化物形貌和能谱分析

Fig.1 Morphology of sulfide in steel Y1Cr13 billet and energy spectrum analysis

杂物主要为MnS及少量的CaS夹杂,变性后的硫化物特点是芯部为钙铝酸盐,外围包裹MnS及少量CaS的复合夹杂物。

3.2 线材内硫化物形貌对比

钢坯高温轧制过程中,硫化物会延轧制方向变形,由球形或纺锤形变化为长条形状。对比硫化物变性前后热轧线材中形貌,见图2。

通过对线材中硫化物形貌进行对比发现,变性后硫化物分布更加短簇、弥散,硫化物轧制后长度由160 μm缩短至105 μm,使用Image-Proplus图像处理软件对两样品中硫化物长度分布进行统计,统计结果见图3所示。

一般认为,硫化物长宽比 ≤ 3 时属于纺锤形夹杂^[6],对提高产品切削性有利。通过对比,经变性的硫化物,轧制延展后其纺锤形硫化物占比由56.90%增长至72.09%。

3.3 产品切削屑形态对比

为进一步对比硫化物变性后对产品切削性能的影响,对成分相近的未变性样品1与变性样品2进行热处理(热处理工艺均为840℃保温4 h,后缓慢冷却至室温),后进行切削性试验,切削速度750 r/min,进刀量0.02 mm/r,通过观测切削屑形貌对比改进效果,见图4所示。

由图4(a,b)对比可知,在相同切削速度和进刀

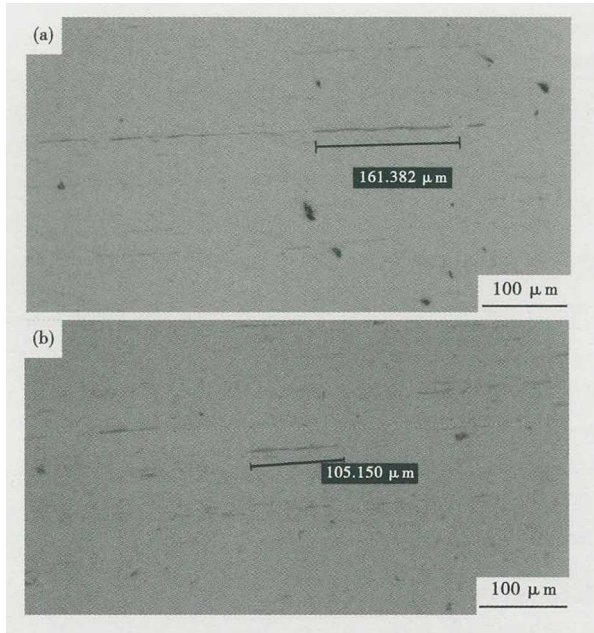


图 2 未钙处理(a)和钙处理(b)Y1Cr13 钢 Φ12 mm 热轧材中硫化物形貌

Fig. 2 Morphology of sulfide in Φ12 mm hot-rolled products of steel Y1Cr13 without calcium treatment (a) and with calcium treatment (b)

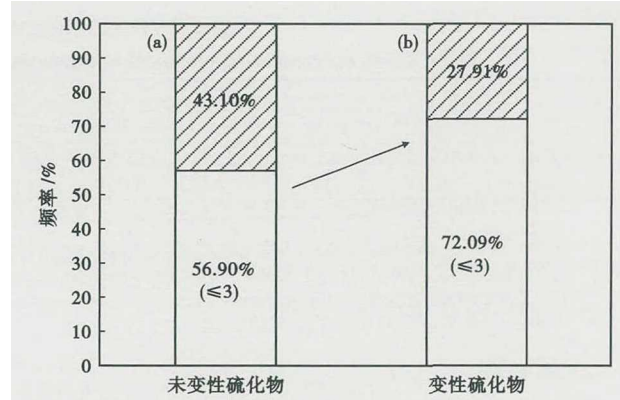


图 3 未钙处理(a)和钙处理(b)Y1Cr13 钢 Φ12 mm 热轧材中硫化物长宽比(≤3)的分布

Fig. 3 Distribution of ratio of length/width (≤3) of sulfide in Φ12 mm hot-rolled products of steel Y1Cr13 without calcium treatment (a) and with calcium treatment (b)

量前提下,样品 1(图 4a)切削屑形貌为“C 型 + 螺旋型”,图 4(a)中的方框区域甚至存在 5 次螺旋未断的较长切削屑;反观样品 2(图 4b)切削屑形貌为“C 型 + 圆型”,未发现较长螺旋型切削屑。说明硫化物变性后其在钢中的分布更加弥散,切削加工时增

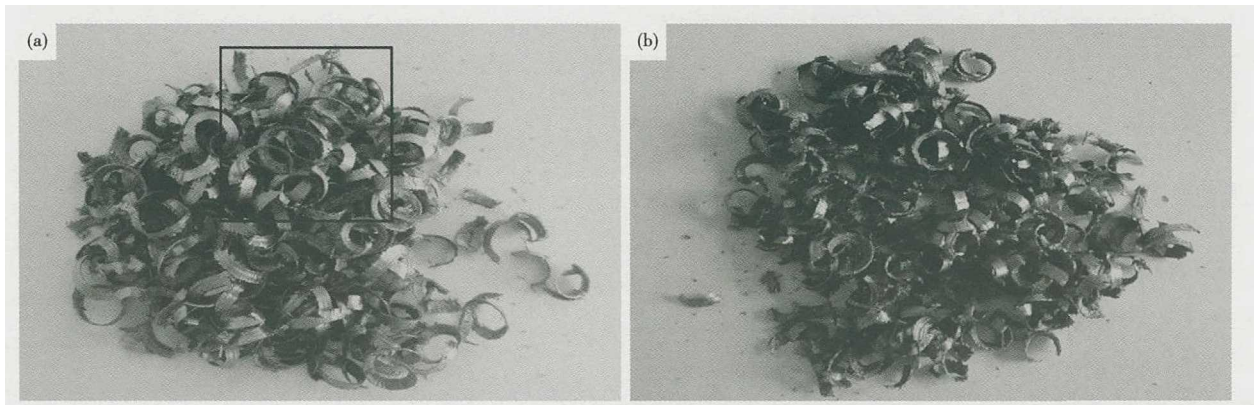


图 4 未钙处理(a)和钙处理(b)Y1Cr13 钢切削屑形貌

Fig. 4 Morphology of cutting chip of steel Y1Cr13 without calcium treatment (a) and with calcium treatment (b)

加了脆性质点,更有利于切削屑的断裂。

4 结论

(1) 1 600 ℃ 条件下,易切削钢 Y1Cr13 氧含量 < 140 × 10⁻⁶,可保证 CaS 夹杂稳定存在。

(2) 易切削钢 Y1Cr13 精炼后期采用 Ca 处理后,钢中硫化物由 MnS 单一夹杂变性为芯部为钙铝酸盐外部包裹 (Ca、Mn)S 的复合夹杂物。

(3) 硫化物变性后,轧制线材中纺锤形(长宽比 ≤ 3)夹杂物占比由 56.90% 增长至 72.09%,切削屑以“C 型 + 圆型”为主,改善了易切削钢产品切削性能。

参考文献

[1] 李艳梅,朱伏先,崔凤平,等. 中厚钢板分层缺陷的形成机制分析

[J]. 东北大学学报(自然科学版),2007,28(7):1002-1005.
 [2] Henri R Gaye. Inclusion Formation in Steel[M]. The AISE Steel Foundation,2003:16-19.
 [3] 严国安,秦 哲,田志红,等. 中碳钙硫易切削钢夹杂物形态控制[J]. 北京科技大学学报,2007,29(7):685-688.
 [4] 王新华. 钢铁冶金学(炼钢学)[M]. 北京:高等教育出版社,2014:226-227.
 [5] Takashi, Soh-ichi and Yoshiji, et al. Development of a Low-Carbon Resulfurized Free Cutting Steel by Continuous Casting, and Its Properties[J]. Kawasaki Steel Technical Report,1983(8):77-85.
 [6] 张海霞,梁 娜. 易切削钢中硫化物形态的研究[J]. 莱钢科技,2011(12):49-51.

张孟昀(1987-),男,硕士(内蒙古科技大学),工程师,河北理工大学(本科)毕业,炼钢质量控制和工艺研究。
E-mail:zhmengyun2022@126.com

收稿日期:2018-02-08