

1215MS 易切削钢中组织与硫化物分析

王高峰¹ 李成良² 张志明² 张盼盼¹ 付建勋¹

(1 上海大学材料科学与工程学院先进凝固技术中心, 上海 200444; 2 广东韶钢松山股份有限公司特钢制造部, 韶关 512123)

摘要 采用光学显微镜、扫描电镜及能谱、显微硬度测量仪以及热力学软件 Thermo-Calc 对 1215MS 易切削钢 $\Phi 12$ mm 盘条金相组织及硫化物夹杂进行了相组成及粒径与硬度解析。结果表明:1215MS 钢中铁素体所占比例 93%~96%, 珠光体比例 4%~5%; 铁素体平均等效直径为 22.30 μm , 珠光体的平均直径为 16.83 μm , 硫化物均匀分布在晶界的边缘和铁素体中, 硫化物的当量直径为 5.077 μm ; MnS 的平均维氏硬度值为 80 HV10, 铁素体硬度值为 100 HV10, 珠光体硬度值为 175 HV10。

关键词 易切削钢 1215MS 铁素体 珠光体 硫化物

Analysis on Structure and Sulfide in 1215MS Free Cutting Steel

Wang Gaofeng¹, Li Chengliang², Zhang Zhiming², Zhang Panpan¹ and Fu Jianxun¹

(1 Center for Advanced Solidification Technology (CAST), School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444; 2 Manufacturing Department, SGIS Songshan Co Ltd, Shaoguan 512123)

Abstract Analysis of phase composition, particle size and hardness of metallographic structure and sulfide inclusions in 1215MS free cutting steel $\Phi 12$ mm coil are carried out by means of optical microscope, scanning electron microscope with energy dispersive spectrometer, microhardness tester and thermodynamic software Thermo-Calc. The results show that, the proportion of ferrite in 1215MS steel is 93%~96%, and the proportion of pearlite is 4%~5%; the average equivalent diameter of ferrite is 22.30 μm , the average diameter of pearlite is 16.83 μm , sulfide is evenly distributed in the edge of grain boundary and the ferrite, the equivalent diameter of sulfide is 5.077 μm , the average Vickers hardness of MnS, ferrite, and pearlite is 80 HV10, 100 HV10, 175 HV10, respectively.

Material Index Free Cutting Steel 1215MS, Ferrite, Pearlite, Sulfide

易切削钢被广泛应用于自动机床和普通机床的切削加工材料,主要用于汽车、仪表、自动化机械等领域的零件加工上^[1-3]。随着机械制造和汽车工业蓬勃发展以及生产日趋高速化和自动化,易切削钢的使用量与产量不断增加^[4-6],机件的加工成本大幅降低^[7]。硫系易切削钢分别占世界和我国易切削钢总产量比例为 70% 和 90%^[8]。1215MS 钢是典型的硫系易切削钢,属于美标 1200 系列硫磷复合型易切削钢,具有切削加工性能良好、易断屑、表面光洁度高、刀具损耗小、生产效率高、能耗低等优点^[9-11]。

目前对 1215MS 易切削钢的认识更多地倾向于对硫化物形态、尺寸方面的研究,对 1215MS 易切削钢的组织有待进一步深入了解。本文通过选取国内钢厂生产的 1215MS 易切削钢材作为试验钢,对其进行了基体组织和硫化物相组成及粒径与硬度解析。

1 生产工艺及成分

钢厂生产 1215MS 易切削钢采用的工艺流程为:120 t 转炉冶炼→120 t LF 精炼→连铸机连铸(150 mm × 150 mm)→热轧工艺($\Phi 12$ mm 盘圆)。采用电感耦合等离子体光谱仪(ICP)对 1215MS 钢的化学成分进行分析,该厂钢材的目标成分及实测化学成分如表 1 所示。

表 1 1215MS 钢的化学成分
Table 1 Chemical composition of 1215MS steel

项目	化学成分/%						Mn/S
	C	Si	Mn	P	S	Pb	
目标成分	≤ 0.08	≤ 0.08	1.10 ~ 1.35	0.04 ~ 0.09	0.26 ~ 0.40	-	3.0 ~ 4.3
实测成分	0.0514	0.022	1.17	0.056	0.34	0.0147	3.44

通讯作者:付建勋,博士,教授,上海大学材料科学与工程学院,上海 200444。

E-mail: fujianxun@shu.edu.cn

1215MS 易切削钢属于硫磷复合型易切削钢,钢中少量的 P、S 元素有利于提高易切削钢的切削性^[12]。钢中的 S 元素是主要易切削元素,为避免 S 含量过高引起钢的热脆性,需要添加适量的 Mn。S 元素会与钢中的 Mn 结合形成高熔点的 MnS 夹杂物,减轻钢材的热脆。同时,发挥 MnS 在切削加工时的缺口效应,使切屑容易断开,进而提高钢材的切削性能。钢中 Si 常作为脱氧元素,可以通过固溶强化使铁素体强化,使延展性和韧性降低。硅含量较高时,易产生硬质硅酸盐夹杂物,保持较低的 Si 含量利于钢的切削性。钢中的 Pb 元素属于残余元素,少量的 Pb 有利于提高易切削钢的切削性。

2 金相制样及分析

在轧材上取 $\Phi 12 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 金相试样,从中心处截断作为轧向观察。试样经打磨、抛光后用 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀,腐蚀时间为 10 ~ 15 s。结合光学显微镜 (Zeiss) 及带有能谱的扫描电镜 (SEM-EDS) 对金相中的基体组织与夹杂物的成分进行观察和分析,使用 MH-5L 自动台显微维氏硬度计对组织进行显微维氏硬度检测。

将侵蚀后的金相试样置于在金相显微镜下观察其显微组织,如图 1 所示。从图 1 不难看出,室温下钢的显微组织有白色物质、黑色物质及很多细小的灰色物质,且细小的黑色物质主要分布在晶界处,少量分布在晶粒内部,且分布均匀。

为探究 1215MS 钢在凝固过程中的相组成及变化,采用热力学软件 Thermo-Calc 针对 1215MS 钢的化学成分进行了热力学计算,结果表明,随着温度的降低,钢液首先在 1511 $^{\circ}\text{C}$ 时析出高温铁素体,直至 1483 $^{\circ}\text{C}$ 钢液完全转变为固相 (即 1215MS 钢液固相

线温度分别为 1511 $^{\circ}\text{C}$ 、1483 $^{\circ}\text{C}$)。MnS 夹杂物析出于钢液液相至固相转变过程中,析出温度为 1491 $^{\circ}\text{C}$ 。随着温度继续下降至 1483 $^{\circ}\text{C}$ 时高温铁素体开始转化为奥氏体,直至 1425 $^{\circ}\text{C}$ 高温铁素体完全转变为奥氏体,最后在 707 $^{\circ}\text{C}$ 时奥氏体转变为铁素体和珠光体。

利用杠杆定理可计算出 1215MS 易切削钢在室温下铁素体和珠光体的比例,计算公式见下式:

$$\text{铁素体} = \frac{0.77 - w(c)}{0.77 - 0.0218} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{珠光体} = \frac{w(c) - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\% \quad (2)$$

铁素体的比例大致为:96.04%,珠光体的比例大致为:3.96%。

参照热力学分析的铁素体、珠光体的比例,参比图 1 可推测白色物质是铁素体、黑色物质是珠光体;由于硫含量高,钢中含有大量硫化物,推测灰色细小物质为 MnS 夹杂物。用 4% 硝酸酒精溶液进行组织侵蚀,对灰色物质和黑色物质进行进一步分析。铁素体、珠光体及硫化物的平均面积及等效直径如表 2 所示。

采用面积为 143 927.26 μm^2 金相组织照片分别对铁素体、珠光体和硫化物进行面积和尺寸统计得出:铁素体总面积为 134 318.52 μm^2 ,占比为 93.32%;珠光体总面积为 7 435.54 μm^2 ,占比为 5.17%;硫化物总面积为 2 173.20 μm^2 ,占比为 1.51%;铁素体平均等效直径为 22.30 μm ,珠光体平均等效直径为 16.83 μm ,硫化物平均等效直径为 5.08 μm 。可进一步认定白色物质为铁素体,黑色物质为珠光体。

为鉴别钢中黑色物质和灰色物质是否为同一成分,利用 MH-5L 自动台显微维氏硬度计对金相组织进行显微维氏硬度检测分析,图 2 为显微维氏硬度计对组织进行显微维氏硬度检测的硬度测试点。

图 3 为 1215MS 易切削钢轧材灰色物质、铁素体、黑色物质的硬度分析。由图 3 可知,通过用硬度计对组织进行显微维氏硬度检测分析得出:黑色物

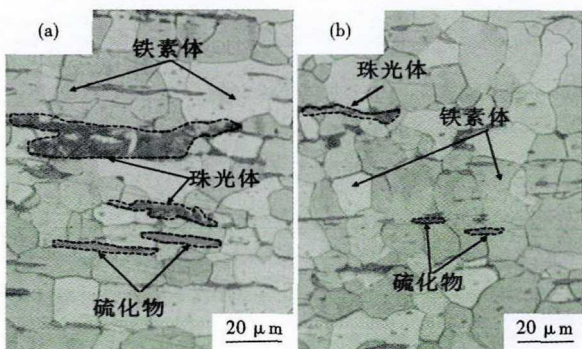


图 1 1215MS 钢 $\Phi 12 \text{ mm}$ 热轧材中铁素体-珠光体组织和硫化物形貌

Fig.1 Morphology of structure of ferrite-pearlite and sulfide in 1215MS steel hot-rolled product

表 2 1215MS 钢中铁素体、珠光体和硫化物的面积及尺寸
Table 2 Area and size of ferrite, pearlite and sulfide in 1215MS steel

类别	平均面积/ μm^2	平均等效直径/ μm	总面积/ μm^2	总面积比例/%
铁素体	1 561.84	22.30	134 318.52	93.32
珠光体	297.42	16.83	7 435.54	5.17
硫化物	24.14	5.08	2 173.20	1.51

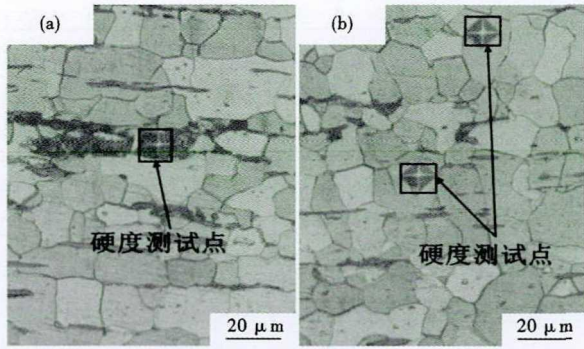


图 2 1215MS 钢显微硬度测试点
Fig. 2 Micro-hardness test points of 1215MS steel

质硬度远大于铁素体和灰色物质硬度,灰色夹杂物硬度最小,灰色物质平均硬度值为 80 HV10,铁素体平均硬度值为 100 HV10,黑色物质平均硬度值为 175 HV10,即灰色物质硬度 < 铁素体硬度 < 黑色物质硬度。根据白色物质和黑色物质的比例统计及杠杆定理可以初步确定黑色物质为珠光体。根据硬度值分析,可以确定黑色物质为珠光体,灰色物质有可能是硫化物,将需要进一步验证。

为了进一步检测灰色物质是否为硫化物,将腐蚀后的试样放入扫描电镜 (Phenom Pro) 内进行观察。

通过扫描电镜观察到白色铁素体,黑色珠光体

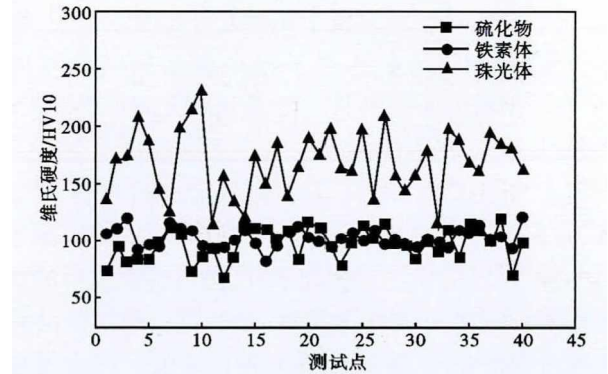


图 3 1215MS 热轧材中硫化物、铁素体和珠光体维氏硬度检测数据

Fig. 3 Vickers hardness test data of sulfide, ferrite and pearlite in 1215MS steel hot-rolled product

和灰色物质,为了证明钢中灰色夹杂物是 MnS,将通过能谱分析进一步验证其成分,面扫区域如图 4 (a) 所示。

通过用扫描电镜得出的图片进行能谱检测分析如图 4 (b、c、d、e) 分别为 Fe、Mn、S、C。因此,可以得出白色基体为铁素体,黑色物质为珠光体,灰色长条状物质为 MnS。

根据试样切削过程中刀具切割试样及切削部位温度分布^[13],分布均匀的珠光体硬度比铁素体高,切削时易断屑。但是珠光体的硬度高,所需切削力

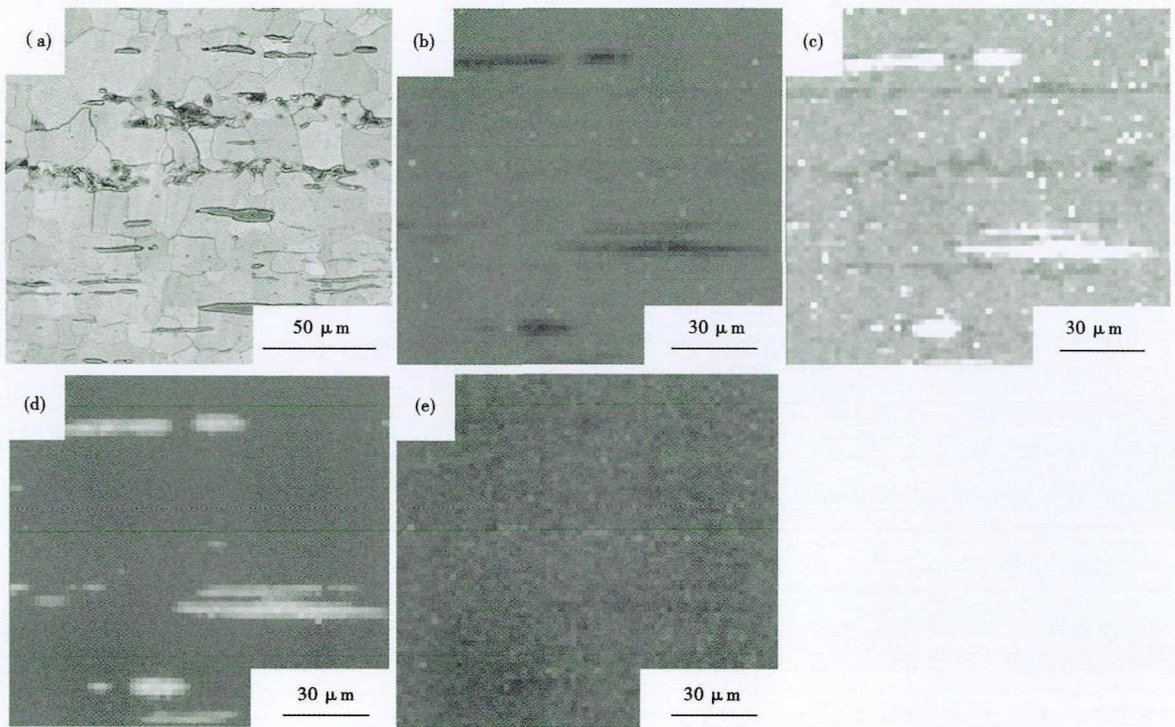


图 4 面扫区域图 (a) 及能谱检测分析图 (b) Fe; (c) Mn; (d) S; (e) C
Fig. 4 Face scanning area mapping (a) and energy detection spectrum analysis (b) Fe; (c) Mn; (d) S; (e) C

大,容易造成局部切削温度提高,连续切削过程中出现“粘刀”现象^[14]。铁素体作为 1215MS 易切削钢中的主要基体,硬度比珠光体低、加工时切削力小、对刀具的磨损较小,但是含量过高则会造成切削时产生积屑瘤以及表面粗糙度、刀具热磨损程度增加,使切屑难以碎断,降低钢的切削性能^[15]。硫化锰夹杂物在高速切削时不仅起到了破坏钢基体组织的连续性和应力集中的作用,使基体形成显微裂纹,造成切屑脆化、折断,而且还能在刀具面形成一层保护膜,发挥其润滑的作用,降低切削阻力^[15-17]。

3 结论

(1)通过用 4% 硝酸酒精溶液对试验钢进行组

织侵蚀可知:1215MS 易切削钢中组织含有铁素体、珠光体和 MnS 夹杂物。

(2)铁素体和珠光体是 1215MS 易切削钢中主要的基体组织,铁素体的比例在 93% ~ 96%,珠光体的比例在 4% ~ 5%;铁素体平均等效直径为 22.30 μm,珠光体的平均直径为:16.83 μm,硫化物均匀分布在铁素体中和晶界的边缘,硫化物的当量直径为 5.077 μm。

(3)1215MS 易切削钢中,MnS 的平均维氏硬度值为 80 HV10,铁素体硬度值为 100 HV10,珠光体硬度值为 175 HV10。

国家自然科学基金项目(51874195,51671124)资助

参考文献

[1]马艳杰,李秋京,戴 静. 1215 易切削钢中硫化物夹杂行为研究[J]. 价值工程,2018,37(7):195-196.

[2]陈俊东,关晓光,汪云辉. 热变形工艺对低硫易切削钢中硫化锰形态演变的影响[J]. 金属热处理,2019,44(2):125-130.

[3]胡 娟,刘春林,张志明,等. 1215MS 易切削钢产品质量分析及工艺改进[J]. 南方金属,2018(3):15-18.

[4]张 帆,范植金,罗国华,等. WY1215 易切削钢的研制[J]. 武钢技术,2014,52(6):10-13.

[5]夏艳花. 易切削钢种类及其特性分析[J]. 武汉工程职业技术学院学报,2014,26(1):18-20+24.

[6]陈洪星,周 平,陈爱洁,等. 汽车用易切削钢 45MnS25 的开发[J]. 特殊钢,2001,22(1):54-55.

[7]张永军. 基于渗碳体石墨化研究开发的亚共析结构钢[C]. 中国金属学会. 第十一届中国钢铁年会论文集-S06. 钢铁材料. 中国金属学会,2017:36-41.

[8]蒋光辉,古隆建,施 哲,等. 易切削钢现状与发展趋势[J]. 四川冶金,2006,28(5):10-14.

[9]周成宏,纪仁峰,钟 凡,等. 含硫易切削钢表面裂口缺陷分析及改进[J]. 南方金属,2017(2):14-17.

[10]杨忠林,苏建勇,马 陆,等. 压缩机支架铸件切削加工性能的改善方法[J]. 现代铸铁,2019,39(3):19-22+29.

[11]王小红,谢 兵,冯仲渝. 国内外易切削钢的现状和研究进展[J]. 特殊钢,2005,26(4):26-28.

[12]戴永刚. 精炼渣组分对硫易切削钢夹杂物含量和形态的影响[J]. 特殊钢,2016,37(1):60-63.

[13]Mills B. Redford, A H. Machinability of Engineering Materials; Applied Science Publishers; London, UK; New York, NY, USA, 1983: 11-12.

[14]杨普国,孙余一,周 遐,等. 影响材料切削加工性的各种因素探析[J]. 有色金属设计,2010,37(4):49-52+56.

[15]靳晓勤. 特殊含硫钢夹杂物的生成和控制研究[D]. 鞍山:辽宁科技大学,2014.

[16]伏存田,夏云进,王世俊. 热处理工艺对含硫易切削钢中硫化锰夹杂物的影响[J]. 材料热处理学报,2015,36(S1):117-121.

[17]王宏斌,林腾昌,段飞虎,等. 低碳高硫易切削钢的切削性能研究[J]. 钢铁,2011,46(11):82-85.

王高峰(1994-),男,硕士生,2019 重庆科技学院(本科)毕业,高品质特殊钢研究。
E-mail:wanggf907@163.com

收稿日期:2020-01-20

“讲文明树新风”公益广告

绿化环境
从我做起