

钻头用含硫 XGML40Cr 钢的开发及其切削性能的改善

黄翠环^{1,2} 秦树超^{1,2} 郭明仪^{1,2} 孔维涛^{1,2}

(1 邢台钢铁有限责任公司技术中心, 邢台 054027; 2 河北省线材工程技术研究中心, 邢台 054027)

摘要 邢钢开发的 0.020% ~ 0.060% S 钻头用 XGML40Cr 钢 (/% : 0.38 ~ 0.44C, 0.17 ~ 0.30Si, 0.60 ~ 0.80Mn, ≤0.035P, 0.020 ~ 0.060S, 0.90 ~ 1.10Cr, ≤0.01Al) 的生产流程为 50 t BOF-LF-285 mm × 320 mm 坯连铸-热轧成 Φ12 mm 线材。对 0.027% S 的 XGML40Cr 和 0.006% S 的 ML40Cr 盘条试样进行进刀量 0.015 mm/r, 切削深度 0.1 mm, 切削速度 12 ~ 30 m/min 的切削试验。试验结果表明, XGML40Cr 断屑性能优于 ML40Cr, 其切削长度为 ML40Cr 钢 1/5 ~ 3/5, XGML40Cr 切削过程产生更低的切削热, 蓝色切屑比例为 10%, ML40Cr 钢为 70%, XGML40Cr 切屑变形系数低于 ML40Cr, XGML40Cr 表面粗糙度 (R_a 10.2 μm) 优于 ML40Cr (R_a 22.4 μm)。含硫 XGML40Cr 钢的力学性能与 ML40Cr 相当, 870 °C 淬火和 500 °C 回火后的力学性能为抗拉强度 1 082 MPa, 断面收缩率 70%, HRC 硬度值 40, 冲击功 A_{KV2} 72 J。

关键词 含硫 XGML40Cr 钢 切削试验 断屑性能 切屑颜色 切屑变形系数 表面粗糙度

Development of Bearing Sulfur Steel XGML40Cr for Drill Bit and Improvement of Its Cutting Performance

Huang Cuihuan^{1,2}, Qin Shuchao^{1,2}, Guo Mingyi^{1,2} and Kong Weitao^{1,2}

(1 Technology Center, Xingtai Iron and Steel Corp Ltd, Xingtai 054027;

2 Hebei Province Wire Engineering Technical Research Center, Xingtai 054027)

Abstract The production flowsheet of developed 0.020% ~ 0.060% S steel XGML40Cr (/% : 0.38 ~ 0.44C, 0.17 ~ 0.30Si, 0.60 ~ 0.80Mn, ≤0.035P, 0.020 ~ 0.060S, 0.90 ~ 1.10Cr, ≤0.01Al) for drill bit at Xingsteel is 50 t BOF-LF-285 mm × 320 mm bloom casting-hot-rolling to Φ12 mm wire rod. The cutting test on 0.027% S steel XGML40Cr and 0.006% S steel ML40Cr with cutting feed rate 0.015 mm/r, depth of cut 0.1 mm and cutting speed 12 ~ 30 mm/min has been carried out. Test results show that the cutting performance of steel XGML40Cr is better than that of steel ML40Cr, i. e. its turning chip length is 1/5 ~ 3/5 that of steel ML40Cr; the heat productivity of steel XGML40Cr during cutting process is lower than that of steel ML40Cr, its blue turning chip ratio is 10% but that of steel ML40Cr is up to 70%; and the cutting deformation coefficient of steel XGML40Cr is lower than that of steel ML40Cr and its surface roughness (R_a 10.2 μm) is better than that of steel ML40Cr (R_a 22.4 μm). The mechanical properties of steel XGML40Cr is about equal to that of steel ML40Cr, its mechanical properties quenched at 870 °C and tempered at 500 °C are tensile strength 1 082 MPa, reduction of area 70%, HRC hardness value 40 and impact energy A_{KV2} 72 J.

Material Index Bearing Sulphur Steel XGML40Cr, Cutting Test, Chip Breaking Performance, Turning Chip Color, Cutting Chip Deformation Coefficient, Surface Roughness

目前市场上部分钻头采用 ML40Cr 盘条进行生产。钻头生产过程, 车削加工使刀具磨损严重。为了改善 ML40Cr 钢的切削性能, 同时保证其强度和硬度, 邢钢开发了钻头用含硫钢 XGML40Cr 热轧盘条, 通过控制钢中微量的硫元素, 改善其切削性能。

1 钢种成分及生产工艺

1.1 钢种成分

钻头用含硫钢 XGML40Cr 采用 50 t BOF-50 t LF-R12 m CCM-开坯-轧制生产工艺, 连铸坯尺寸为 285 mm × 320 mm, 轧制线材产品规格为 Φ12 mm。XGML40Cr 和常规 ML40Cr 钢化学成分见表 1。

1.2 生产工艺

钢中氧含量对 MnS 夹杂物的形态影响较大, 氧含量越高, MnS 的长宽比、圆度越小, 有利于切削性

表 1 试验钢的化学成分 / %
Table 1 Chemical composition of tested steels / %

项目	钢种	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	T[°C]
标准	ML40Cr	0.38 ~ 0.44	0.17 ~ 0.30	0.60 ~ 0.80	≤0.035	≤0.020	0.90 ~ 1.10	≥0.020	-
	XGML40Cr	0.38 ~ 0.44	0.17 ~ 0.30	0.60 ~ 0.80	≤0.035	0.020 ~ 0.060	0.90 ~ 1.10	≤0.010	-
试验钢	ML40Cr	0.39	0.24	0.63	0.010	0.006	0.92	0.033	0.001 6
	XGML40Cr	0.40	0.25	0.61	0.008	0.027	0.91	0.008	0.004 8

能的改善^[1]。为了使 XGML40Cr 钢的 MnS 夹杂物的长宽比更小,又能保证钢液的浇铸性能,在炼钢生产过程采用弱脱氧工艺,提高钢渣氧化性,同时实现降低脱硫率的目的^[2-3]。

经过转炉冶炼的钢水,出钢进行定氧,根据钢中溶解氧含量,加入少量铝粒进行弱脱氧。LF 精炼处理过程,加入预熔渣进行造渣,采用硅铁粉进行脱氧,控制渣系碱度 ≤ 3 ,控制 LF 离站钢液 Al 含量 $\leq 0.010\%$,钢液中溶解氧含量在 $10 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6}$ 。通过摸索在连铸浇注过程钢包中钢液的硫含量的损失,确定 LF 精炼处理钢包离站时钢液硫含量在 $0.040\% \sim 0.060\%$ 。钙处理会使硫与钙结合生成 $\text{CaS}^{[4-5]}$,由于钢中硫含量较低,为了得到更多的 MnS 夹杂物,XGML40Cr 生产过程不采用钙处理。

XGML40Cr 连铸大方坯开坯后进行轧制,加热炉温度 $(1\ 120 \pm 10)^\circ\text{C}$,进精轧温度为 $(900 \pm 15)^\circ\text{C}$,吐丝温度为 $(880 \pm 10)^\circ\text{C}$,吐丝后盘条在斯太尔摩风冷辊道上缓冷,关闭保温罩和风机,使盘条得到均匀铁素体+珠光体(F+P)组织,不出现马氏体(M)组织。线材表面质量良好,轧制过程未出现打滑和劈裂的情况。图1(a)为 XGML40Cr $\Phi 12\text{mm}$ 盘条显微组织照片,盘条组织为 F+P。盘条抗拉强度在 $740 \sim 770\text{MPa}$,经过调质处理后的钻头强度为 $1\ 040 \sim 1\ 100\text{MPa}$ 。

2 XGML40Cr 钢切削性能的研究

2.1 MnS 夹杂物的形态

硫化锰夹杂物在钢切削加工时作为内部应力集中源使切屑易断,并在刀具与加工件之间形成润滑作用,降低了刀具的磨损,从而改变了钢的切削性^[6]。取 $\Phi 12\text{mm}$ 规格 XGML40Cr 和常规 ML40Cr 线材试样进行纵剖,利用 Leica DMRE 光学显微镜对 MnS 夹杂物级别和数量进行统计,如表 2,试样检测总面积分别为 600mm^2 。测定分析 XGML40Cr 和 ML40Cr 线材试验钢化学成分见表 1。

无论在铸态中,还是在线材中,随着钢中氧含量的升高,钢中的 MnS 夹杂增大。同种粒径下,氧含量越高,MnS 的长宽比、圆度越小。轧制线材中 $[\text{O}] = 0.0060\%$ 时,钢中夹杂物为纯的 MnS,为第 III 类硫化物,这类硫化物没有氧化物析出,呈单相、易变形。随着钢中氧含量的增加,有利于形成纺锤

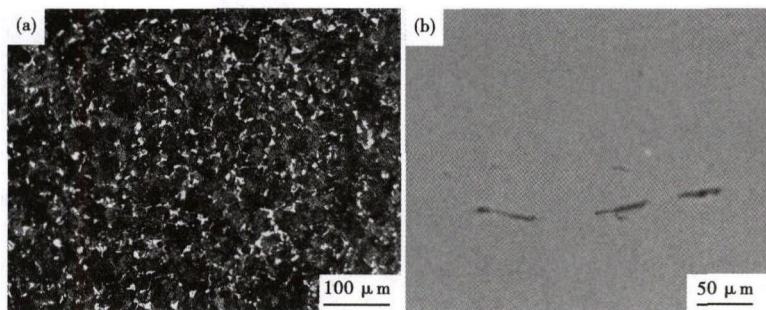


图 1 XGML40Cr 钢 $\Phi 12\text{mm}$ 盘条组织(a)和 MnS 夹杂(b)形貌
Fig. 1 Morphology of structure (a) and MnS inclusions (b) in $\Phi 12\text{mm}$ coil of steel XGML40Cr

表 2 XGML40Cr 和 ML40Cr 钢线材中 A 类 MnS 夹杂物级别及数量

Table 2 Rating and number of A series MnS inclusions in wire rod of steel XGML40Cr and ML40Cr

线材钢	A 类 MnS 夹杂物级别	每平方米毫米 MnS 夹杂物个数
ML40Cr	1.0	0.027
XGML40Cr	1.5e	1.802

形或球形的硫化物夹杂^[7]。本研究中,含硫 XGML40Cr 线材中全氧含量较低,在 $0.0040\% \sim 0.0060\%$,故 MnS 夹杂主要为第 III 类硫化物,线材中 A 系 MnS 夹杂物级别为 1.5e 级,如图 1(b)。由于 XGML40Cr 钢硫含量偏高,所以显微镜下观察,XGML40Cr 钢中 MnS 夹杂物数量较多,而且主要为粗系 MnS 夹杂物。

2.2 切削性能研究

硫系易切削钢可提高切削性的根源就在于硫化物的内部缺口效应,硫以硫化锰(MnS)的形式分布在钢中,由于 MnS 夹杂物作为应力集中源,割断了基体的连续性而使切屑易断,从而改善了钢材的切削加工性能^[8]。本研究取 XGML40Cr 钢和常规 ML40Cr 钢的 $\Phi 12\text{mm}$ 盘条试样在车床上进行切削试验。车削采用固定进刀量和切削深度,进刀量 0.015mm/r ,切削深度 0.1mm ,调整切削速度 $12、18、24、30\text{m/min}$,从断屑性能、切屑颜色、切屑变形系数和工件表面粗糙度对 XGML40Cr 钢和常规 ML40Cr 钢的切削性能进行了对比分析。

2.2.1 断屑性能

XGML40Cr 钢和 ML40Cr 钢切屑形貌见图 2,从切屑形貌看,随着切削速度增大,切屑长度增大,依次为月牙形屑-C 形屑-卷形屑-锯齿状卷形屑。切削速度为 12m/min 时,XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑均为月牙形屑;切削速度 18m/min 时,XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑均为 C 形屑;切削速度 24m/min 时,

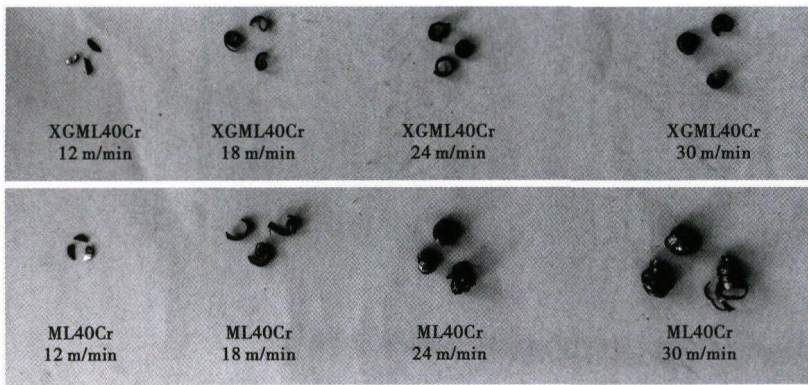


图 2 XGML40Cr 和 ML40Cr 钢 Φ12 mm 线材切屑形貌

Fig. 2 Morphology of cutting chip of steel XGML40Cr and ML40Cr in Φ12 mm wire rod

XGML40Cr 切屑长度明显小于 ML40Cr, XGML40Cr 切屑长度为 10 ~ 20 mm 的小卷形屑, ML40Cr 出现较多长度约 50 mm 的卷形屑; 切削速度 30 m/min 时, XGML40Cr 钢切屑主要为 20 ~ 30 mm 的锯齿状卷形屑, ML40Cr 钢切屑主要为长度 50 mm 以上的锯齿状卷形屑。表明 XGML40Cr 断屑性能优于 ML40Cr。

2.2.2 切屑颜色

表 3 为不同切削速度下 XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑颜色。随着切削速度增大, 产生较多的切削热, 使切屑产生不同颜色^[9]。切削速度为 12 m/min 时, XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑均为银色; 切削速度为 18、24 m/min 时, XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑均表现为银色和金黄色, 但是 XGML40Cr 钢大部分切屑为银色, 少量切屑为金黄色; ML40Cr 切屑则大部分为金黄色, 银色切屑的比例较低。当切削速度 30 m/min 时, XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑均出现蓝色, 但是 ML40Cr 钢切屑为蓝色的比例约 70%, 而 XGML40Cr 钢切屑为蓝色的比例约为 10%。

MnS 的弹性模量不足钢基体的 50%, 而且剪切变形的屈服-塑性流变也远低于基体, 同时 MnS 在钢中起到应力集中源作用, 降低刀屑之间的摩擦力^[8], XGML40Cr 钢中 MnS 夹杂物数量较多, 所以

表 3 不同切削速度下 XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑颜色
Table 3 Color of turning chip of steel XGML40Cr and ML40Cr with different cutting speed

切削速度/ (m · min ⁻¹)	XGML40Cr	ML40Cr
12	银色	银色
18	银色和金黄色	银色和金黄色
24	银色和金黄色	银色和金黄色
30	金黄色和蓝色	金黄色和蓝色

产生较低的切削热。另一方面, ML40Cr 钢采用 Al 脱氧, 铝含量较高, Al₂O₃ 类夹杂物数量较多, 产生较多的硬质质点, 增大了对刀具的磨损, 也导致切削过程产生更多的切削热, 所以 XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑表现出明显的颜色区别。

2.2.3 切屑变形系数

由于断屑性与切屑变形系数有关, 在切削过程, 切削层在车刀的推挤作用下被压缩, 切屑变形系数能够衡量切屑变形的程度, 所以对 XGML40Cr 和 ML40Cr 钢的切屑变形系数进行分析。

通过测量切屑的厚度, 计算出切屑变形系数, 如图 3。切屑变形系数计算公式如式(1)。

$$\varepsilon = \frac{\bar{h}_{ch}}{h_D} \quad (1)$$

式中: ε - 切屑变形系数; \bar{h}_{ch} - 为切屑厚度的平均值; h_D - 切屑层厚度。

从图 3 可以看出, XGML40Cr 钢切屑变形系数低于 ML40Cr, 这是由于 XGML40Cr 钢中 MnS 夹杂物数量较多, 切削过程应力集中源的作用明显, 降低了刀屑之间的摩擦力, 所以切屑变形系数较小^[8,10]。当切削速度低于 24 m/min 时, 随着切削速度增大, 切屑变形系数减小, 这主要是由于切削速度增大使刀屑接触长度增大导致的^[11]。当切削速度达到 30 m/min 时, 由于切削速度较高, 刀具与工件材料之间发生强烈作用, 包括摩擦和剪切变形, 剪切变形区温度升高, 产生锯齿形切屑^[12], 所以切屑变形系数在数值上升高。

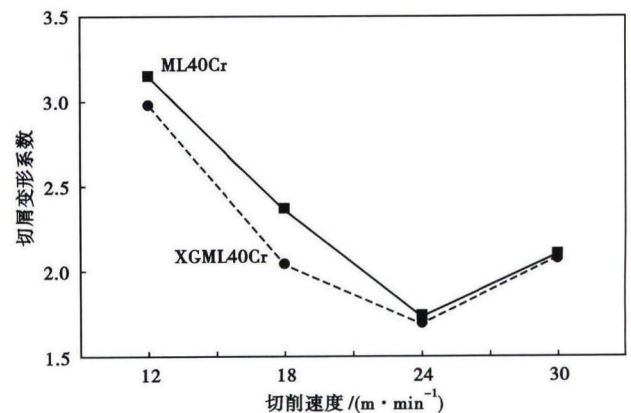


图 3 XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑变形系数随切屑速度的变化

Fig. 3 Variation of chip deformation coefficient of steel XGML40Cr and ML40Cr with cutting speed

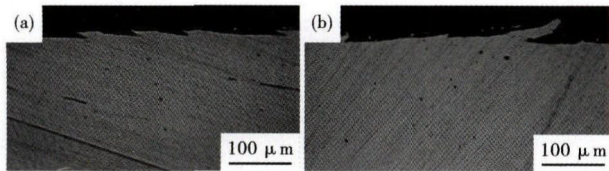


图4 切削加工后的线材断面形貌:(a) XGML40Cr 钢,表面粗糙度 Ra 10.2 μm ; (b) ML40Cr 钢,表面粗糙度 Ra 22.4 μm

Fig. 4 Morphology of section of wire rod after turning: (a) steel XGML40Cr, surface roughness Ra 10.2 μm and (b) steel ML40Cr, surface roughness Ra 22.4 μm

2.2.4 粗糙度

车削加工过程影响工件表面粗糙度的因素较多,包括进给量、切削速度、切削深度等^[13-15],本研究在相同切削参数下,对 XGML40Cr 和 ML40Cr 钢在切削速度 30 m/min 加工后的线材断面形貌进行观察,如图 4 所示。XGML40Cr 钢表面粗糙度约为 Ra 10.2 μm , ML40Cr 钢表面粗糙度约为 Ra 22.4 μm 。XGML40Cr 钢表面粗糙度明显低于 ML40Cr 钢,表面更光洁。

表4 试验钢 XGML40Cr 和 ML40Cr 的力学性能对比
Table 4 Comparison of mechanical properties of tested steel XGML40Cr and ML40Cr

项目	试验钢	抗拉强度/ MPa	断面收缩 率/%	硬度值	冲击韧性 A_{KV2}/J
盘条	XGML40Cr	758	65	99(HB)	62
	ML40Cr	766	61	101(HB)	63
调质 处理后	XGML40Cr	1 082	70	40(HRC)	72
	ML40Cr	1 065	72	39(HRC)	71

参考文献

- [1] 夏云进,王福明,王金龙,等. 氧含量对易切削钢中硫化物生成行为的影响[J]. 北京科技大学学报,2010,32(10):1271-1276.
- [2] 王妮燕,蒋仕军,罗军,等. Y45S20 易切削钢的工艺优化[J]. 钢铁,2002,37(10):48-51.
- [3] 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.
- [4] 刘洋,王文军,王新华,等. 低硫微合金钢中硫化锰析出规律分析[C]//2010年全国炼钢-连铸生产技术会议论文集. 河北迁安:中国金属协会,2010:390-394.
- [5] 高建伟. 转炉生产易切削钢 45BS 工艺技术[J]. 辽宁科技学院学报,2012,14(1):1-3.
- [6] 袁武华,王峰. 国内外易切削钢的研究现状和前景[J]. 钢铁研究,2008,36(5):56-62.
- [7] 段飞虎,朱荣,林腾昌. 硫系易切削钢中氧含量对硫化物形成的影响[J]. 钢铁研究学报,2012,24(1):36-39.
- [8] 陈明,刘钢,张晓辉,等. 新型低碳硫系易切削钢切削性能试验[J]. 机械工程学报,2007,43(9):161-166.
- [9] 王继梅,于军华,管旭. 不锈钢 1Cr18Ni9Ti 切屑形态研究[J]. 铸造技术,2015,36(4):1084-1087.
- [10] 郝春水,吴凤春. 稀土硬质合金刀片切削性能[J]. 东北大学学

2.3 力学性能研究

取 $\Phi 12$ mm 规格 XGML40Cr 和常规 ML40Cr 钢线材试样进行力学性能检验,检验结果如表 4,测定分析盘条化学成分见表 1,盘条加工成钻头后进行调质热处理,淬火温度 870 $^{\circ}\text{C}$,回火温度 500 $^{\circ}\text{C}$ 。

3 结论

含 0.027% S 的 XGML40Cr 和含 0.006% S 的 ML40Cr 盘条试样在车床上进行切削试验。

(1) XGML40Cr 钢切削性能明显优于常规 ML40Cr 钢。

(2) 随着切削速度增大,XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑变化为月牙形屑-C 形屑-卷形屑-锯齿状卷形屑。切削速度 12、18 m/min 时,XGML40Cr 和 ML40Cr 钢试样切屑形貌一致,切削速度 24、30 m/min 时,XGML40Cr 钢切屑长度明显低于 ML40Cr 钢。

(3) 随着切削速度增大,XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑颜色为银色-金黄色-蓝色,XGML40Cr 和 ML40Cr 钢切屑颜色的差异表明 XGML40Cr 钢切削过程产生更低的切削热。

(4) XGML40Cr 钢切屑变形系数低于 ML40Cr 钢。

(5) 在切削速度为 30 m/min 时,XGML40Cr 钢表面粗糙度约为 Ra 10.2 μm , ML40Cr 钢表面粗糙度约为 Ra 22.4 μm 。XGML40Cr 钢表面粗糙度明显低于 ML40Cr 钢。

报,1994,15(5):499-502.

- [11] 刘华. 刀屑接触长度对切削变形的影响[J]. 包头钢铁学院学报,1998,17(1):36-39.

- [12] 段春争,王敏杰,于海洋. 高速切削淬硬钢切屑变质层微结构及形成机理[J]. 材料科学与工艺,2012,20(3):127-131.

- [13] 陈锡渠,彭晓南. 金属切削原理与刀具[M]. 北京:中国林业出版社,2006.

- [14] 侯书林,朱海. 机械制造基础(下册):机械加工工艺基础[M]. 北京:中国林业出版社,2006.

- [15] 陆剑中,孙家宁. 金属切削原理与刀具[M]. 北京:机械工业出版社,2005.

黄翠环(1985-),女,硕士(2010年东北大学),工程师,2008年东北大学(本科)毕业,冷镦钢研究和开发。

E-mail: zhanglj@xtsteel.com

收稿日期:2017-02-9