

## 含硫齿轮钢 20CrMnTiH 中硫化物对切削性能的影响

申景霞<sup>1,2</sup> 郑艳<sup>3</sup> 张海霞<sup>2</sup> 朱荣<sup>1</sup>

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 莱芜钢铁股份有限公司

2 特钢事业部, 3 技术中心, 莱芜 271104)

**摘要** 在不同切削速度(200~230 m/min)和切削深度(0.5~2 mm)下试验研究了普通 20CrMnTiH 齿轮钢(0.006% S)和含硫 20CrMnTiH 齿轮钢(0.031% S)的切削性能。结果表明,随切削速度增大,刀具的磨损增大,在 200 m/min,0.031% S 钢是 0.006% S 钢刀具的使用寿命的 2.8 倍;在 230 m/min,0.031% S 钢是 0.006% S 钢刀具使用寿命的 2.6 倍;随切削深度增加,切削力增加,但在相同切削深度下,0.031% S 钢的切削力低于普通 0.006% S 钢;由于 0.031% S 钢存在 ≤6 μm 的 MnS 夹杂,使切屑易断,并硫化物夹杂能够包裹 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 尖晶石夹杂,减少刀具磨损,提高钢材的切削性能。

**关键词** 硫 20CrMnTiH 齿轮钢 切削性能

## Effect of Sulphide on Cutting Characteristics of Sulphur Bearing Gear Steel 20CrMnTiH

Shen Jingxia<sup>1,2</sup>, Zheng Yan<sup>3</sup>, Zhang Haixia<sup>2</sup> and Zhu Rong<sup>1</sup>

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Special Steel division, 3 Technology Center, Laiwu Iron and Steel Co Ltd, Laiwu 271104)

**Abstract** The cutting characteristics of common gear steel 20CrMnTiH (0.006% S) and sulphur bearing gear steel 20CrMnTi (0.031% S) with different cutting speed (200~230 m/min) and cutting depth (0.5~2 mm) have been tested and researched. Results show that with increasing cutting rate, the wear of tool increases, with cutting speed 200 m/min the service life of 0.031% S steel is 2.8 fold as long as that of 0.006% S steel and with cutting speed 230 m/min the service life of 0.031% S steel is 2.6 fold as long as that of 0.006% S steel; with increasing cutting depth the cutting force increases, but with definite cutting depth the cutting force of 0.031% S steel is lower than that of common 0.006% S steel; As there are ≤6 μm MnS inclusions in 0.031% S steel, the chips are easily broken, and the manganese sulphide is able to clad Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> spinel inclusions led to decrease of tool wear and increase of cutting characteristics of steel products.

**Material Index** Sulphur, Gear Steel 20CrMnTiH, Cutting Characteristics

硫会对钢的物理性能和化学性能产生很多影响,会使钢产生热脆性,降低钢的延展性和韧性,在锻造和轧制过程中产生裂纹,从钢的洁净度考虑,一般会将硫含量控制在较低水平。然而钢中添加适量硫,可以明显改善钢的切削性能<sup>[1,2]</sup>。本文对莱钢特殊钢厂生产的加硫和不加硫 20CrMnTiH 齿轮钢进行了切削性能对比试验,探讨硫化物对其切削性能的影响<sup>[3]</sup>。

### 1 试验过程

#### 1.1 试验条件

采用 50 t 电弧炉-LF 精炼-VD 真空脱气-连铸-轧制成材的流程来生产普通的和加硫的 20CrMnTiH 齿轮钢,在普通的 No1 20CrMnTiH(硫含量 0.006%)和 No2 含硫的 20CrMnTiH(硫含量 0.031%)齿轮钢 Φ130 mm 轧材上取样,制成切削试验试样,所取试样的化学成分如表 1 所示。试验设备为无级调速 C6140 车床、工具显微镜及 Kistler9257B 动态测力

仪,试验刀具为 YT14 硬质合金机夹式可转位外圆车刀,其主要角度参数如表 2 所示。

#### 1.2 试验方案

根据文献[4,5]确定试验方案:

(1) 刀具磨损试验。后刀面磨损标准为  $V_b = 0.15$  mm,在不使用切削液条件下,进给量  $f_c = 0.2$  mm/r,切削深度  $a_p = 1$  mm。选取切削速度  $v_c = 200$ 、

表 1 试验钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test steel /%

试样	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Al
No1	0.21	0.21	1.03	0.017	0.006	1.17	0.062	0.023
No2	0.21	0.23	1.07	0.016	0.031	1.22	0.065	0.028

表 2 试验刀具 YT14 的主要角度参数/°

Table 2 Main geometric parameters of test cutting tool YT14 /°

后角 $\alpha_o$	前角 $\gamma_o$	刃倾角 $\lambda_s$	主偏角 $\kappa_r$	副偏角 $\kappa'_r$
6	10	-3	75	15

230 m/min, 研究 No1、No2 齿轮钢试样在不同切削速度下对刀具的磨损情况。

(2) 切削力对比试验。保持进给量  $f_z = 0.2$  mm/r 和切削速度  $v_c = 200$  m/min 不变, 改变切削深度  $a_p = 0.5、1、1.5、2$  mm, 研究 No1、No2 齿轮钢试样在不同切削深度下所需切削力的情况。

### 2 试验结果与分析

#### 2.1 刀具磨损曲线及加工性

保持进给量和切削深度不变, 当切削速度为  $v_c = 200$  m/min 和 230 m/min 时, 对 No1 和 No2 齿轮钢试件进行刀具耐用度切削对比试验。

从图 1 可以看出, 切削 No1、No2 齿轮钢时, 刀

具磨损曲线较规则, 正常磨损阶段比较明显, 属于标准型磨损曲线, 刀具磨损比较均匀; 随着切削速度的增加, 两种齿轮钢试样对刀具的磨损量均增大。对比 No1、No2 齿轮钢的刀具磨损曲线, 当  $v_c = 200$  m/min 时, No1 齿轮钢刀具耐用度接近 25 min, No2 齿轮钢的刀具耐用度接近 70 min, 含硫齿轮钢的刀具耐用度约为普通齿轮钢的 2.8 倍。当  $v_c = 230$  m/min 时, No1 齿轮钢刀具耐用度约为 17 min, No2 齿轮钢的刀具耐用度接近 45 min, 含硫齿轮钢的刀具耐用度为普通齿轮钢的 2.6 倍以上。说明含硫齿轮钢的切削性能优于普通齿轮钢, 适宜于工厂应用<sup>[6]</sup>。

从图 2 可见, 在所选的切削参数范围内得到的

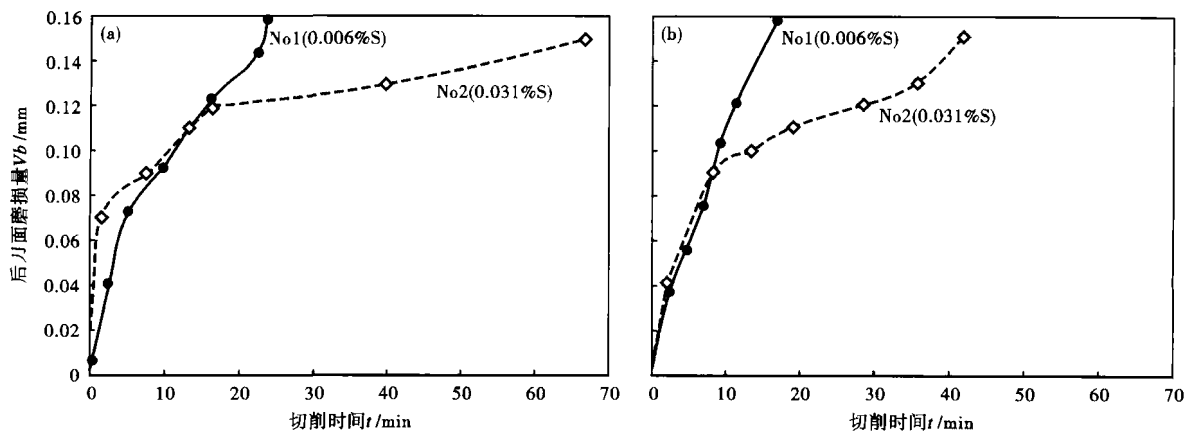


图 1 切削 20CrMnTiH 齿轮钢时刀具的磨损曲线, 切削速度/( $m \cdot min^{-1}$ ): (a) 200; (b) 230  
Fig. 1 Wear curves of tool for cutting gear steel 20CrMnTiH, cutting rate/( $m \cdot min^{-1}$ ): (a) 200; (b) 230

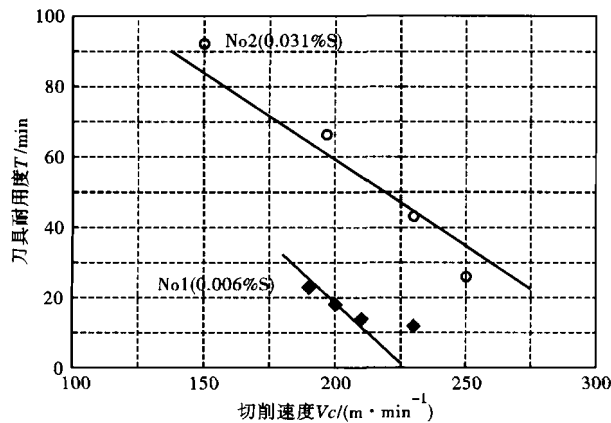


图 2 试验刀具切削 No1 (0.006% S)、No2 (0.031% S) 齿轮钢时的 T-V 曲线对比  
Fig. 2 Comparison between T-V curves of test tools cutting No1 (0.006% S) gear steel and No2 (0.031% S) gear steel

含硫齿轮钢的 T-V 曲线位于普通齿轮钢的 T-V 曲线上方, 说明含硫齿轮钢的切削性能优于普通齿轮钢; 普通齿轮钢的 T-V 曲线的斜率明显大于含硫齿轮钢

的 T-V 曲线的斜率, 说明切削速度对普通齿轮钢的刀具耐用度影响更大。对两种齿轮钢的切削数据进行回归, 得出刀具耐用度与切削速度关系的经验公式:

$$\text{含硫齿轮钢: } T = 2.71^{16.7087} \times v_c^{-2.4029}$$

$$\text{普通齿轮钢: } T = 2.71^{20.9020} \times v_c^{-3.3969}$$

#### 2.2 切削过程和形态

试验中在所选用切削参数范围内, 普通齿轮钢的切削过程不稳定, 打刀情况较为明显, 切屑主要呈带状屑(图 3a), 不易排屑, 切屑呈浅蓝色、蓝色, 加工表面粗糙度较高; 含硫齿轮钢的切削过程平稳, 切屑主要呈 C 形(图 3b), 排除顺畅, 切屑呈黄色、浅蓝色, 加工表面粗糙度较低, 表明含硫齿轮钢适于在数控机床和加工中心上批量加工。

#### 2.3 切削力对比试验及分析

由图 4 可见, 当保持进给量和切削速度不变, 两种齿轮钢切深抗力  $F_y$  受切削深度的影响不大, 进给抗力  $F_x$ 、主切削力  $F_z$  以及切削合力  $F_{\text{合}}$  随着切削

深度的增大明显增大;影响切削合力的主要因素为主切削力  $F_z$ 。主切削力  $F_z$  与切削深度  $a_p$  的关系接近线形。

在相同切削深度下,切削 No1 齿轮钢时的主切削力、切削合力、进给力、切深抗力均略高于切削 No2 齿轮钢。主切削力的增大会直接影响单位面积切削力,即增大前刀面切削时承受的压强,从而增加切削加工时的摩擦力,提高切削温度,降低刀具耐用度。切削过程中含硫齿轮钢的切屑颜色为黄色、浅蓝色,而普通齿轮钢的切屑颜色为浅蓝色、深蓝色,这证明了切削普通齿轮钢的切削温度要高于切削含硫齿轮钢。

#### 2.4 硫化物对 20CrMnTiH 齿轮钢切削性能的影响

从表 3 可见,加入硫线后钢中夹杂物的数量大幅提高,VD 样品夹杂物在各当量直径区间的数量都比另外两个样品多。夹杂物尺寸较小,当量直径大都  $\leq 6 \mu\text{m}$ ,其中 LF、VD 夹杂物当量直径  $\leq 2 \mu\text{m}$  的均达到 89% 以上,轧材夹杂物当量直径  $\leq 2 \mu\text{m}$  的达到 81% 以上。而在未加硫的齿轮钢中硫化物夹杂明显较少。加硫齿轮钢中大量硫化物夹杂的存在,割断基体的连续性以及应力集中源作用而使切屑易断,并且硫化物夹杂能够包裹  $\text{Al}_2\text{O}_3$  等硬质夹杂,避免刀具的磨损。

表 3 0.031% S 齿轮钢 LF、VD 精炼钢水和轧材中夹杂物分布  
Table 3 Distribution of inclusion in 0.031% S gear steel LF, VD liquid and rolled products

当量直径范围/mm	数量/(个· $\text{mm}^{-2}$ )		
	LF	VD	轧材
0~0.002	422	881	198
0.002~0.004	50	76	41
0.004~0.006	0	17	3
>0.006	0	6	0

#### 4 结论

(1) 在相同的切削速度下,含硫齿轮钢的刀具耐用度明显高于普通齿轮钢。

(2) 含硫齿轮钢的切屑主要为 C 形,排除更顺

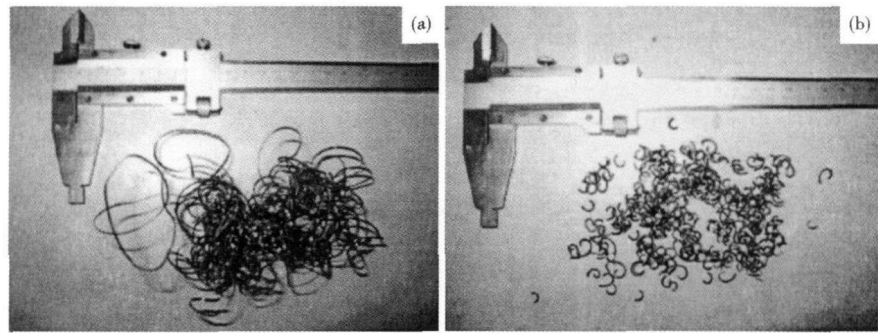


图 3 切削 No1 (0.006% S) (a) 和 No2 (0.031% S) (b) 齿轮钢时切屑对比  
Fig. 3 Comparison between chips of cutting No1 (0.006% S) (a) and No2 (0.031% S) (b) gear steel

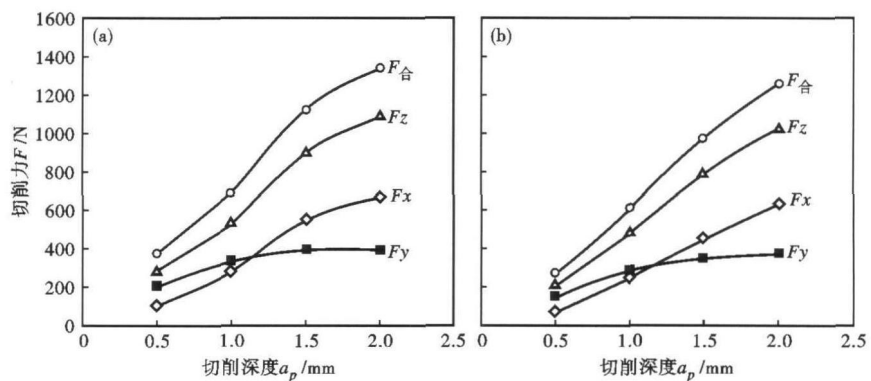


图 4 切削 No1 (0.006% S) 齿轮钢 (a) 和切削 No2 (0.031% S) 齿轮钢 (b) 时的切削力曲线

Fig. 4 Cutting forces for cutting No1 (0.006% S) gear steel (a) and No2 (0.031% S) gear steel (b)

畅;从切屑颜色上判断,含硫齿轮钢的切削温度明显低于普通齿轮钢的切削温度。

(3) 在同一切削深度下,含硫齿轮钢的主切削力、切削合力、进给力、切深抗力均低于普通齿轮钢,说明含硫齿轮钢具有更加良好的切削性能。

#### 参考文献

- Bannenberg. Combined Decrease of Sulphur, Nitrogen, Hydrogen and Total-Oxygen in Only One Secondary Steelmaking Operation. Steel Research, 1992, 63 (10): 41
- 夏速萍. 易切削钢的新技术与发展方向. 南钢科技, 2003 (1): 68
- Hans K T, 任民恩. 低硫钢的性能和切削性. 国外低合金钢-合金钢, 1994 (14): 125
- 张鹏, 王化培, 唐其林, 等. YTi4 加工 20CrMnTi 钢切削试验. 重庆工学院学报, 1997, 11 (4): 20
- 周宏, 吴秀芝. 硫含量和铝脱氧对钙处理钢中夹杂物变性和切削性能的影响. 机械工程材料, 1995, 19 (3): 22
- Toen H K, 傅建梅. 低硫钢的性能和可切削性. 国外钢铁, 1994 (7): 34

申景霞 (1961-), 男, 北京科技大学博士研究生, 高级工程师, 钢铁冶金研究。

收稿日期: 2011-11-26