

·专题讨论·

## 国内外易切削钢的现状和研究进展

王小红

(西南石油学院,成都 610500)

谢兵

(重庆大学,重庆 400044)

冯仲渝

(重庆特殊钢厂,重庆 400032)

**摘要** 易切削钢比普通碳素钢有较好的切削性能和更好的产品表面光洁度。随着自动化加工工业和汽车工业的发展,易切削钢的使用量不断增加。目前,国外普遍采用电弧炉-二次精炼-连铸流程生产易切削钢。工业化国家切削钢已形成标准化系列产品,并伴随连铸技术的广泛采用,使易切削钢具有均匀的切削性能。现有易切削钢种为易切削碳钢、渗碳钢、调质钢和不锈钢,并不断将易切削钢扩展到诸如模具钢、高锰钢、耐热钢、高工钢等钢类。在分析国内外易切削钢发展的基础上,讨论了易切削钢生产工艺、钢种的发展方向。

**关键词** 易切削钢 冶金工艺 进展

## Present Status and Development of Research on Free Cutting Steel at Home and Abroad

Wang Xiaohong

(Southwest Petroleum Institute, Chengdu 610500)

Xie Bing

(Chongqing University, Chongqing 400044)

Feng Zhongyu

(Chongqing Special Steel Co Ltd, Chongqing 400032)

**Abstract** The cutting ability of free cutting steel is better than that of common carbon steel to get better surface degree of finish of products. With developing of automobile industry, the consumption of free cutting steel continuously increases. At present, the cutting steels are wide produced by flow sheet of arc furnace- secondary refining- concasting in abroad. The standardized series products of free cutting steel have been developed and with wide using concasting technology, the free cutting steels have uniform cutting properties. Now the grades of free cutting steel include free cutting carbon steels, carburizing steels, quenching and tempering steels and stainless steels, and steadily add to the steel grades of die steels, high manganese steels, heat resistant steels and high speed and tool steels. Base on the development of free cutting steel at home and abroad, the development trend of production process and steel grade.

**Material Index** Free Cutting Steel, Metallurgical Process, Progress

机加工成本是制造业中零部件制造成本的主要部分,有时甚至超过零部件制造成本的40%<sup>[1]</sup>。因此,人们极希望通过提高钢材的机加工性能来降低加工成本<sup>[2]</sup>。与组成相当的其它普通碳素钢相比,易切削钢有几个明显的优势:产品切削加工时易断屑,加工工具寿命长,产品表面光洁度好,刀具受力小及能耗小<sup>[3]</sup>。例如,加工Y40Mn易切削钢比加工45碳结钢零件,切削效率提高50%,刀具寿命却延长4倍。20易切削钢不但比20碳钢切削性能好,而且切削加工后产品的表面光洁度也更好<sup>[4]</sup>。

### 1 国外易切削钢研究现状

#### 1.1 易切削钢产量现状

日本1954年的易切削钢产量为1.2万t,到1974年跃升到53万t(占当年钢产量的0.58%)。

1981年达88.8万t,1982年为102.3万t,1983年再提高到116.8万t,平均年增长率都在10%左右。近年来,在其年平均钢产量不足1亿t的情况下,易切削钢产量却达到100~130万t,比弹簧钢、轴承钢的产量还高。大同特殊钢公司知多工厂,其年产钢量为140万t,其中易切削钢产量达20万t,占14.8%,比其弹簧钢产量多7.4%,比轴承钢产量多3.7%。由此可见,易切削钢的生产在日本特殊钢的生产中占有重要的地位。

#### 1.2 开发新的易切削品种

各主要工业国家通过80余年的努力,易切削钢已形成标准化系列产品。美国AISI标准中,易切削钢有31种(其中低碳钢18种,易切不锈钢9种)。日本JIS标准中,易切结构钢14种(其中低碳钢9种),易切不锈钢9种。前苏联,在易切削钢研制方面,相对其它钢种来说比较缓慢,但在

1975年标准中,易切削钢由7种发展到20种,除保留原有6种硫系钢号外,增加硒系钢号3种,硫-铅系钢号11种(其中合金钢10种)。除易切削碳钢、易切渗碳钢、易切调质钢、易切不锈钢外,各国正不断将易切削钢扩展到其它钢类(如模具钢、高锰钢、耐热钢、高工钢等)中。

国外各主要钢铁企业正不断努力,以开发出适应环保要求的新型易切削钢。如美国一家钢铁公司最近研制出了一种以铋代铅的不含铅的易切削碳钢,其主要化学成分(%):0.09C、1.25Mn、0.09P、0.45S、0.17Bi<sup>[5]</sup>。Uss/Kobe成功研制并顺利地满负荷生产了1炉200t含锡易切削钢<sup>[6]</sup>。神户公司对以铋代铅的易切削钢也进行了系统研究<sup>[7]</sup>,发现Bi的加入量不到Pb加入量的一半,但Bi易切削钢在切屑去除性及材料可锻性方面均优于铅易切削钢。

### 1.3 易切削钢生产工艺研究

国外易切削钢主要采用电弧炉熔炼+二次精炼+连铸工艺进行生产,该工艺成熟、产品质量可靠,已逐渐取代了电弧炉熔炼+模铸的生产方式。国外易切削钢典型生产工艺流程如表1所示<sup>[8]</sup>。

表1 国内外易切削钢生产典型工艺流程

Table 1 Representative flow sheet of production of free cutting steel at home and abroad

| 生产厂家        | 工艺流程   |
|-------------|--|
| 日本大同知多厂     | 70 t EAF-IJ-LF-RH-CC<br>(弧形2流,370 mm × 480 mm)               |
| 日本爱知知多厂     | 80 t EAF-VSC-LF-RH-CC<br>(370 mm × 480 mm 或 185 mm × 185 mm) |
| 德国 GMH      | 125 t DC. EAF. EBT. -LF-VD-CC<br>(200 mm × 240 mm)           |
| 西班牙 Sidenor | 70 t EAF-LF-VD-CC<br>(155 mm × 155 mm)                       |

对日本和德国进口钢材的解剖表明<sup>[9]</sup>,用连铸工艺代替模铸工艺生产的易切削钢硫化物形态主要为纺锤形且分布均匀,切削性能与模铸钢材相当甚至超过模铸材水平。该种工艺生产成本低,市场竞争力强。

### 1.4 易切削钢连铸和模铸工艺对比

根据 Nippon Steel Corp 和 Inland Steel Co 在采用连铸和模铸工艺生产 AISI1215 易切削钢时所进行的研究,分别就采用两种工艺时硫化锰、氧化物等因素对切削性能的影响进行讨论。AISI1215 的化学成分如表2所示。

表2 易切削钢 AISI1215 的化学成分/%

Table 2 Chemical compositions of free cutting steel AISI1215 /%

| C           | Si     | Mn          | P           | S           | Pb       | O           | N             |
|-------------|--------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|---------------|
| 0.06 ~ 0.10 | < 0.15 | 0.90 ~ 1.10 | 0.05 ~ 0.08 | 0.27 ~ 0.35 | 0 ~ 0.35 | 0.01 ~ 0.03 | 0.002 ~ 0.007 |

采用模铸工艺时,硫的偏析是造成其切削性能不均的一个主要因素。硫在钢锭头部形成正偏析,在钢锭尾部形成负偏析,因此,在锭的不同位置,其含量偏差很大,而采用连铸工艺生产时不会有这种偏析出现。

连铸坯凝固速度快,因而硫化锰夹杂颗粒小(比模铸钢锭中硫化锰颗粒小)。大断面的连铸坯由于凝固速度慢,因而其硫化锰颗粒尺寸与模铸钢锭的硫化锰颗粒尺寸接近。

易切削钢钢液中氧含量很高,故极易生成硬的氧化物质点。在模铸锭中,氧化物易在底部集中,从而使钢材切削性能变化较大。连铸坯不存在氧化物偏析问题。

对两种工艺进行的切削性能试验表明,低碳富硫易切削钢连铸材具有与模铸材相当的切削性能,并且连铸材切削性能更均匀。同时,采用连铸工艺可提高易切削钢冷拉材的表面质量,这是因为氧化物会导致冷拉钢材表面起皱或其它缺陷。连铸材几乎没有这方面的缺陷,从而在蜗流探伤时报废率较模铸材低。

从以上的讨论和测试结果可见,采用连铸工艺生产易切削钢使硫化锰夹杂物分布更加均匀,从而使钢材的切削性能也更加均匀,并且由于对氧含量及氧化物夹杂的控制不同,从而使用连铸工艺生产的易切削钢冷拔钢材具有较好的表面质量。

## 2 国内易切削钢研究现状

我国易切削钢生产始于20世纪50年代,但到目前为止,易切削钢年产量却不到2万t<sup>[10]</sup>。随着机械加工业的发展,尤其是汽车工业的快速发展,我国易切削钢需求量快速增加。根据我国汽车产量的年增加量并以日本汽车工业用易切削钢的需求比例进行估算,到2005年,我国易切削钢需求量为40~50万t。

我国生产的易切削钢系列,虽经几次标准的修订,成为现行的GB8731-88的9种钢,但大部分却是沿袭前苏联1954年标准,能生产的品种也十

分有限。尽管如此,我国对易切削钢的研究还是取得了明显的进展:(1) 20 世纪 90 年代,重庆特殊钢厂在国内率先开始进行易切削钢连铸工艺试验,同时,抚顺特钢公司开始了半镇静易切削钢生产工艺的研究<sup>[11,12]</sup>,上海钢铁研究所研究用电弧炉配合电渣精炼炉生产高含硫量易切不锈钢的工艺<sup>[13]</sup>;(2) 成功开发了系列中碳易切削非调质钢,不但加工及使用性能较原来的调质钢优越,且经济效益显著<sup>[14-16]</sup>;(3) 用计算机模拟凝固过程及热加工过程中易切削钢夹杂物变形,及用有关热力学数据对易切削钢中夹杂物类型的预测方面取得了显著进展<sup>[17-19]</sup>。这意味着我国易切削钢研究从经验积累、感性认识阶段逐步转向数值分析和科学预测阶段。

### 3 我国易切削钢的研究方向

易切削钢是世界三大难以连铸的钢种之一,其连铸工艺开发的难点主要在于:易切削钢的高氧含量、高硫含量大大降低了钢水的表面张力,使钢渣分离困难,从而造成钢渣混卷,形成大量表面及皮下缺陷,甚至造成漏钢,使连铸生产难以进行;易切削钢中锰、氧含量高,在高温下会与耐火材料中的某些成分发生理化反应,使耐火材料浸蚀,在连铸生产中造成溢钢或中间包漏钢等现象;易切削钢钢液粘度大,流动性差,为保证其可浇性

必须提高浇注温度,但同时易切削钢又是裂纹敏感钢种,必须采用弱冷制度,这些相互矛盾的要求使易切削钢由模铸工艺转变为连铸工艺非常困难,一度成为连铸工作者的禁区。

因此,目前在易切削钢连铸工艺的开发过程中应着力解决的几个问题是:化学成分的优化控制,最佳氧含量的确定及脱氧制度的选择,耐火材料的研发或选型,连铸工艺参数尤其是温度制度和冷却制度的确定,结晶器保护渣的研制及合理的后续轧制制度的配合。

近年来,冶金技术的不断进步,尤其是二次精炼、连铸技术及耐火材料、保护渣的飞速发展,为我国不断优化易切削钢生产工艺带来了新的契机。但迄今为止,还未见到国内钢铁企业成功开发出易切削钢连铸工艺的详细报道。

### 4 结论

(1) 预计到 2005 年我国仅汽车行业易切削钢市场需求量为 40 ~ 50 万 t。但到目前为止,我国年易切削钢产量仅为 2 万 t,出现了严重的供不应求的状况。

(2) 国外经验证明,用连铸工艺生产易切削钢可减轻易切削钢中夹杂物的偏析,改善夹杂物的形态及分布,提高钢材切削性能,是当前易切削钢生产工艺改革的方向。

### 参考文献

- 1 Vaccari J A. Free-machining Steels. American Machinist & Automated Manufacturing, 1986(8): 115
- 2 殷瑞钰. 钢的质量现代进展(下篇)特殊钢. 北京:冶金工业出版社, 1995, 497
- 3 Jha G and Sharma S. Development of Free Machining Steels. Tool & Alloy Steels, January 1990: 5
- 4 Fastcut. 20 and 45 Carbon Steels. Alloy Digest, August 1994
- 5 郭永铭. X00105 易切削钢中以锡代铅. 特殊钢, 2000, 21(1): 57
- 6 李福秀. 无铅易切削钢. 湖南冶金, 1995(2): 64
- 7 Somekawa M, Kaiso M, Matsushima Y, et al. Free Cutting Steels Without Lead Addition. Research and Development Kobe Steel Engineering Reports, 2001, 13
- 8 千 勇, 王忠英. 特钢连铸技术和生产的现状及发展. 特钢技术和大方坯连铸研讨会论文汇编, 2002, 1
- 9 许 俊, 徐德生, 李良策. 国内外易切削钢切削性能对比分析. 汽车科技, 2003(1): 28
- 10 张静纬. 易切削钢的新技术和发展方向. 天津冶金, 2003(3): 59
- 11 赵 光. Y12b 及 Y15b 易切削钢的研究. 辽宁冶金, 1997(3): 21
- 12 封顺怀, 孙爱梅. 半镇静易切钢的工艺特性. 钢铁, 1996, 31(12): 18
- 13 Li B. Improvement to the Thermo-plasticity of Free Cutting Stainless Steel Containing High Sulphur Amount. Shanghai Metals, May 2001, 16
- 14 邱玉贵, 周 舰. 易切削钢 Y35TiS 试验的研究. 汽车工艺与材料, 1993(2): 28
- 15 封顺怀, 邱玉贵, 季立环. 中碳易切钢 Y35TiS 的研制. 特殊钢, 1994, 15(2): 17
- 16 刘焕牢. YF45V 易切削非调质钢中 MnS 夹杂物作用机理的研究. 机械开发, 1998(2): 25
- 17 娄德春, 崔 崑, 吴晓春, 等. 硫复合系易切削钢在凝固过程中夹杂物形成的计算机模拟. 金属学报, 1996, 32(10): 1028
- 18 娄德春, 崔 崑, 吴晓春, 等. 硫复合系易切削钢中夹杂物热变形行为的数值模拟. 机械工程材料, 1997, 21(1): 12
- 19 娄德春, 崔 崑, 吴晓春, 等. 易切削钢中稀土夹杂物类型的预测. 钢铁研究, 1995, 23(3): 29

王小红(1972-), 女, 讲师, 1993 年毕业于重庆大学材料科学与工程学院。从事金属材料研究及连铸工艺开发。