

文章编号: 1003-7837(2006)04-0267-04

# 无铅易切削黄铜的研究现状及其展望

李勇, 许方

(江西理工大学材料与化学工程学院, 江西 赣州 341000)

**摘要:** 针对目前机械制造业普遍使用的易切削黄铜所含铅元素对环境造成的危害, 提出研制无铅易切削黄铜. 根据铅黄铜的易切削原理, 提出无铅易切削黄铜的研制思路, 同时叙述了国内外无铅易切削黄铜的研究现状, 并对无铅易切削黄铜, 特别是铋黄铜的开发应用前景作了展望.

**关键词:** 易切削; 无铅黄铜; 铋黄铜; 研究现状; 应用前景

**中图分类号:** TG146.1      **文献标识码:** A

黄铜具有较好的机械性能, 良好的耐腐蚀性及低廉的成本, 已被广泛应用于供水系统中制作闸阀、龙头等部件. 为了改善黄铜机械加工时的切削性能, 一般在黄铜材料中添加 1%~3% 的铅, 由于铅在水中很容易浸出, 长期饮用含有铅的自来水, 会给人类健康带来不良的影响. 因此, 研制无铅易切削黄铜已成必然. 本文主要阐述了无铅易切削黄铜的研究现状及应用前景.

## 1 传统易切削黄铜的切削原理

常见的金属切削方式有外圆车削和平面车削. 通常切削运动按其所起作用分为主运动和进给运动<sup>[1]</sup>. 剪切理论认为<sup>[2]</sup>: 切屑是工件材料在切削时沿着一系列剪切面破裂而形成的, 通常用一堆滑动的卡片来比拟<sup>[3]</sup>. 工件可视为由一系列很细小的平行四边形组成, 它们与刀具相对运动的方向成斜角. 当工件材料基元的一角接触刀刃时, 首先产生弹性变形, 然后发生塑性变形, 待变形达到一定程度后, 该基元就要相对于紧邻的基元滑动, 直到另一材料基元的一角接触刀刃, 最终形成切屑从工件材料上脱落.

由于铜及铜合金具有中等剪切强度, 判断其可切削性较常用的依据是切屑类型而不是刀具寿命. 传统易切削黄铜如 HPb59-1 和 HPb63-3 中加有铅,

在铅黄铜中, 唯一能改善合金机械切削加工性能的元素是铅, 铅在黄铜中的溶解度较低, 根据 Cu-Pb 合金相图可知, 大部分铅是以游离细小的独立相均匀分布于( $\alpha+\beta$ )两相的黄铜基体中, 加上铅为软质点, 游离态的铅质点既有润滑作用, 又能使切屑呈崩碎状, 可高速切削, 因此能有效地改善铜及铜合金的机械加工性能, 获得光滑的加工表面.

对 40%Zn-Cu 铅黄铜研究的结果表明: 当铅的添加量  $w(\text{Pb}) > 1\%$  时, 在切屑表面形成完整的铅的单原子层, 由于没有第二变形区, 铅的单原子层起到润滑作用; 当铅添加量  $w(\text{Pb}) = 2.8\%$  时, 单位体积能量消耗最少, 且生成不连续切屑; 当铅的添加量  $w(\text{Pb}) > 2.8\%$  时, 除在切屑表面形成铅的单原子润滑层外, 还有 30%~50% 切屑表面形成了“厚”铅层<sup>[4]</sup>. 文献<sup>[5]</sup>报道, 铅粒子的大小、分布以及基体的硬度对切削性能有很大的影响, 基体硬度对切屑形状, 特别是对毛刺影响很大, 基体硬度越高毛刺愈小.

## 2 无铅易切削黄铜的研制思路及研究现状

### 2.1 无铅易切削黄铜的研制思路

由铅黄铜的切削机理可知, 基体中有均匀分布

且起断屑作用的质点,是实现易切削加工性能的前提条件.设想在黄铜基体中存在类似于铅的微小弥散质点,如果这种质点能够均匀分布且起到断屑作用,那么这种新型黄铜的可切削性就与铅黄铜类似.由于普通黄铜基体中的 $\alpha$ 相较软,且其韧性较好,加工时易得到绵长的切屑<sup>[6]</sup>,并交缠在刀具和工件上,严重时会使切削加工过程无法继续<sup>[7]</sup>.黄铜基体中的 $\beta$ 相较 $\alpha$ 相硬,故 $(\alpha+\beta)$ 相的黄铜切削性能优于 $\alpha$ 单相的黄铜.近年来,对高锌低铜合金不断地进行研制,使铜合金中的锌添加量从原来的不超过43%,提高到44%~46%,如俄罗斯的JIKH56-0.3-6合金、澳大利亚的683D合金及美国的ASTMB592合金等,有些高锌低铜合金的锌添加量甚至达到50%(摘自1984年《铜加工》中21国钢材牌号、成分和性能汇编,P412).由于锌添加量的提高,使黄铜组织由 $\alpha$ 单相或 $(\alpha+\beta)$ 两相转变为 $\beta$ 单相或 $(\beta+\gamma)$ 两相.如果 $\alpha$ 相与 $\beta$ 相在各种性能方面的差别较小,而 $\beta$ 相与 $\gamma$ 相在各种性能方面的差别较大,那么就可用 $\gamma$ 相的微小质点来代替铅.当切削车刀与 $\gamma$ 相质点相遇时,切屑会自行断裂,就能研制出无铅易切削黄铜.实践证明<sup>[8]</sup>, $(\beta+\gamma)$ 相黄铜经变质处理后,可得到较软的 $\beta$ 相基体与较硬的 $\gamma$ 相质点的良好匹配,并使 $\gamma$ 相质点弥散分布于基体中.

## 2.2 国外的研究现状

目前,有关无铅易切削黄铜的研制报道很少,仅有美国的贝尔实验室和日本的KITZ公司已研制出用Bi,Se代替Pb的黄铜合金,并已经用于水龙头、阀门等供水器件上.由于国外对环保的要求较高,20世纪90年代日本研究人员就致力于无铅易切削黄铜的研究,开发出了含Bi元素的黄铜.用带显微切削装置的电子扫描显微镜对不同Bi含量的黄铜进行了正交切削试验,不同Bi含量的黄铜组成成分列于表1.试验结果表明:在切削速度为7 $\mu\text{m/s}$ ,Bi含量 $w(\text{Bi})$ 为0.2%~0.3%的条件下,当黄铜中Cu与Zn的质量比为6:4时,铋黄铜的切削呈剪断型;当黄铜中Cu与Zn的质量比为7:3时,铋黄铜的切削呈流动型.铋黄铜的切削角度随Bi含量的增加而增大.当Bi含量 $w(\text{Bi})>1\%$ 时,对切削接触长度的影响比较大,接触长度随黄铜中Bi含量的增加而减小.这说明黄铜中的Bi犹如Pb一样起到润滑作用,因此可用Bi来代替Pb,减少铅的污染<sup>[9]</sup>.

日本新日东金属与住友轻金属研究开发中心共  
万方数据

同开发了NB系列无铅和低铅黄铜合金产品,并已形成产业化规模,向30家左右的公司提供试制品.开发的铋系NB产品为无铅黄铜棒(切削用NB10)和低铅黄铜棒(切削用NB30、锻造用NB40).对于无铅黄铜棒通过控制金属的组织,可使铋系粒子细微并均匀地分布于基体中.因此,它与传统易切削黄铜有相同的切削性和机械性能,主要应用于家电、电子器械及汽车零部件等方面.铅含量 $w(\text{Pb})<0.5\%$ 的低铅黄铜棒,与耐腐蚀合金DR4和DR5具有相同的耐蚀能力,主要应用于阀门零件及热水锅炉.铋系NB产品的无铅黄铜棒(切削用NB70、锻造用NB70)不仅具有同不锈钢相同的硬度和比不锈钢高数倍的耐磨性,而且其机械性能优于传统的黄铜,并与传统的黄铜具有相同的切削性,因此加工成本比不锈钢低<sup>[10]</sup>.

表1 各种铋黄铜的组成成分

Table 1 The components of each Bi brass

编号	组成成分
1	40.49%Zn-Cu
2	0.19%Bi-39.98%Zn-Cu
3	1.0%Bi-39.90%Zn-Cu
4	1.72%Bi-40.12%Zn-Cu
5	2.93%Bi-39.85%Zn-Cu
6	1.02%Bi-29.86%Zn-Cu

## 2.3 国内的研究现状

我国在无铅易切削黄铜方面的研究起步较晚,报道也较少.广东工业大学的肖寅昕对 $(\alpha+\beta)$ 两相黄铜的研究发现,虽然 $\beta$ 相的强度、硬度比 $\alpha$ 相高,但通过冷、热加工,特别是热加工,其塑性比 $\alpha$ 相还好.而 $\gamma$ 相则不同,它是个硬而脆的相,铸态下以星花状分布于基体中,严重影响黄铜的机械加工性能.为了实现黄铜的易切削性并保证良好的热加工性能,需在黄铜中加入硅(硅的添加量大于1%),并添加一定量的变质剂,可得到细粒状 $\gamma$ 相在 $\beta$ 相基体中均匀分布的黄铜,并在进行机械加工时,细小的 $\gamma$ 相可起断屑作用(摘自1984年《铜加工》21国铜材牌号、成分和性能汇编).但用硅元素代替铅元素的黄铜的切削性能只能达到HPb59-1的70%~80%<sup>[11]</sup>,所以还不能应用于实际生产中.切削性能的对比试验结果列于表2.

表 2 切削性能对比结果<sup>[11]</sup>

Table 2 Comparison of the cutting property

试样	切削性/%
标准牌号 HPb59-1	100
标准牌号 H62	40
1	85
2	80
3	65
4	80
5	75
6	65
7	55

宁波甬灵有色合金公司成功研制出无铅易切削黄铜, 产品的各项性能指标均达到或超过铅黄铜。这项技术可为汽车、电信、建筑、五金、供水工程及装饰等行业提供可靠的新型绿色环保材料, 填补了国家环保新材料的空白(摘自《中国科技产业》2004 年第 8 期 P79)。

浙江海亮集团有限公司的汪治军、张天莉<sup>[12]</sup>对无铅易切削黄铜进行了研究, 研制出了 HB-20 无铅黄铜棒, 其切削性能与 C3604(日本标准的易切削铅黄铜棒)黄铜棒相当, 且耐腐蚀性能比普通铅黄铜棒的耐腐蚀性能好, 失锌层深度为 502  $\mu\text{m}$ 。图 1 为 HB-20 黄铜棒的切屑, HB-20 黄铜棒与 C3604 黄铜棒的切削力对比列于表 3。

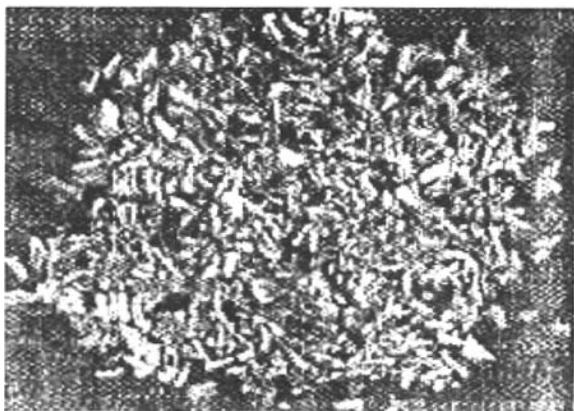


图 1 HB-20 黄铜棒的切屑

Fig. 1 The chip of HB-20 brass rod

表 3 HB-20 黄铜棒与 C3604 黄铜棒的切削力

Table 3 The cutting force of the HB-20 and C3604 brass rod

试样	送刀力/N	进刀力/N
HB-20	85.8	122.5
C3604	87.2	124.3

### 3 无铅易切削黄铜的应用前景展望

随着生活水平的提高, 环保意识的增强, 人们对健康也越来越重视, 因此, 无铅环保黄铜的应用前景十分广阔。近几年, 国内有关院校及科研机构都在对无铅易切削黄铜如砷黄铜、铋黄铜、硒黄铜、硅黄铜进行研究和探索<sup>[13]</sup>。

铋黄铜的发展前景最为看好。这是由于 Bi 是一种脆而硬、有桃红色闪光的银白色无毒金属, 密度 9.8  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 熔点 271 $^{\circ}\text{C}$ , 凝固时体积膨胀。Bi 作为“绿色金属”, 除用于医药行业外, 还广泛应用于半导体、超导体、阻燃剂、颜料、化妆品、化学试剂、电子陶瓷等领域, 大有取代铅、镉、汞等有毒元素的趋势。

我国铋资源得天独厚, 主要分布在湖南、江西、广东、福建等南方各省, 其工业储量和远景储量均居世界第一位, 这为我国成为铋的生产大国、占领世界市场创造了有利条件。但我国铋产品的深加工技术还相当落后, 仅在医药行业应用较多, 在其它行业中的应用受到限制。因此, 加快铋黄铜产品深加工的研究步伐, 扩大铋的应用范围, 对大幅度提高我国铋行业的经济效益将有十分重要的意义<sup>[14]</sup>。2002 年日本已将铋黄铜应用到工业生产中, 这对我国铋黄铜的研究提供了一定的借鉴, 相信铋黄铜一定会以优良的环保性能得到长足的发展。

### 4 结语

近年来, 无铅易切削黄铜的研制取得了很大的进展, 但无铅易切削黄铜大规模应用于工业生产中, 还存在以下问题:

(1) 当用 Si 代替 Pb 时,  $\gamma$  相的形态、数量、分布及性质是影响无铅易切削黄铜性能的关键, 而这些影响因素与变质处理的效果有直接关系。所以, 变质剂的选择及熔炼过程中变质处理工艺对无铅易切削黄铜的易切削性能影响很大。

(2) 用 Bi 代替 Pb, 由于 Bi 的密度较大, 在熔炼过程中易产生成分偏析, 而且在铸造过程中易产生二次氧化, 影响铸锭的内部质量。因此, 熔炼技术、变质处理技术及塑性加工技术都有待于进一步提高。

#### 参考文献:

[1] 南京化工学院, 无锡轻工学院. 金属切削原理[M]. 福州:

- 福建科学技术出版社,1986.
- [2] 马福昌. 金属切削原理及应用[M]. 济南: 山东科学技术出版社,1982:18-19.
- [3] 北京市《金属切削理论与实践》编委会. 金属切削理论与实践(上册)[M]. 北京: 北京出版社,1985.
- [4] 陈日曜. 金属切削原理[M]. 北京: 机械工业出版社,1985.
- [5] 王玉妹. 易切削铜合金的显微组织与切削性[J]. 上海有色金属,1996,17(4):173-175.
- [6] 米尔基 B,雷德福 A H. 工程材料的可切削性[M]. 北京: 国防工业出版社,1989:436-448.
- [7] 庞晋山. 无铅易切削黄铜的研制及其性能研究[D]. 广州: 广东工业大学,2001.
- [8] 肖寅昕,匡同春. 新型高锌加工黄铜变质处理研究[J]. 特种铸造及有色合金,1998(5):21-23.
- [9] 《重有色金属材料加工手册》编写组. 重有色金属材料加工手册(第一分册)[M]. 北京: 冶金工业出版社,1979:63-64.
- [10] 杨晓婵. 日本开发无铅、低铅黄铜合金[J]. 现代材料动态,2002(11):8.
- [11] 庞晋山,肖寅昕. 无铅易切削黄铜的研究[J]. 广东工业大学学报,2001,18(3):63-66.
- [12] 汪治军,张天莉. 绿色易切削无铅黄铜棒的研制[J]. 有色金属加工,2004,33(6):10-11.
- [13] 王祝堂,田荣璋. 铜合金及其加工手册[M]. 长沙: 中南大学出版社,2002.
- [14] 邱宏. 铜水管在我国的应用及前景[J]. 世界有色金属,1998(12):28-29.

## Research situation and outlook of free-cutting nonleaded brass

LI Yong, XU Fang

(*Institute of Material and Chemical Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China*)

**Abstract:** In accordance with the pollution caused by the lead contained in the free cutting brass which is widely used in machine-made industry, this paper analyzes the principles of the free-cutting brass. And the methods of manufacturing the free-cutting nonleaded brass are advanced. The research situations of free-cutting nonleaded brass in domestic and overseas are introduced in details. The author looks forward to the development and application prospect of the free-cutting nonleaded brass especially the Bi brass.

**Key words:** free-cutting; nonleaded brass; Bi brass; research situation; application prospect