

文章编号: 1000-2278(2002)02-0145-04

## 国外陶瓷球加工技术及其应用

孙永安 李县辉

(洛阳轴承研究所)

### 摘要

主要综述了国外陶瓷球的加工技术、加工陶瓷球使用的设备、研磨介质和研磨料的选择,介绍了陶瓷球及陶瓷球轴承的应用发展概况。

关键词: 陶瓷球, 加工技术, 应用

中图法分类号: TQ174.4 文献标识码: A

## MACHINING TECHNOLOGY AND APPLICATIONS FOR CERAMIC BALLS IN ABROAD

Sun Yongan Li Xianhui

(Luoyang Bearing Research Institute)

### Abstract

Machining technology for ceramic balls in abroad was reviewed, including equipments, grinding medium and abrasive. Applications and developments of Japanese.

Keywords ceramic balls, machining technology, application

## 1 前言

八十年代以来,工业发达国家在氮化硅粉末制备技术、氮化硅陶瓷球成形与致密化技术、陶瓷球烧结技术等方面的研究取得进展,九十年代各轴承制造公司对陶瓷球加工技术和陶瓷轴承试验与应用技术进行了系列开发。世界著名轴承公司生产的陶瓷球轴承已进入国际市场,如德国的 FAG 公司、SNS 公司,法国的 GEIS 公司,日本的 NSK 公司、KOYO 公司,瑞典的 SKF 公司等。国外陶瓷球制造与加工一般按专业化分工,陶瓷制造商负责毛坯球的制造,陶瓷球的加工和陶瓷

球轴承的制造由轴承制造商来完成。早期瑞典 SKF 公司陶瓷球的加工采用热压氮化硅板材或棒材,用金刚石锯和金刚石砂轮等工具加工陶瓷球,效率低且精度也难保证,随之而来的陶瓷球价格也十分昂贵,每粒球价格为 100 美元。随着研究的深入,目前先进工业国家已掌握陶瓷球批量加工技术,其应用领域也不断扩大。

## 2 德国 FAG 公司陶瓷球加工技术

FAG 公司从七十年代开始陶瓷球加工技术,目前该公司宣称已经掌握陶瓷球的高效加工技术。陶瓷球

毛坯由于受制造技术的限制,陶瓷球坯近似球形,由于表面存在松质层,必需留足够的加工余量,一般为0.5~1.2mm。为此轴承公司要对陶瓷球进行粗磨、精磨、精研等加工。该公司采用金刚石砂轮和铸铁磨盘,由于氮化硅硬度高于一般砂轮硬度,消耗较快。加工中出现的废品主要是陶瓷球表面产生裂纹,为克服裂纹的产生,在精磨、精研中要逐步改用粒度较小的磨料,保证其加工精度和表面质量。

FAG公司陶瓷球的粗磨加工在刚玉( $Al_2O_3$ )砂轮与带沟槽的铸铁磨盘间进行。加工效率与砂轮组织、粒度以及陶瓷球坯的质量、几何尺寸等因素有关。粗磨后的陶瓷球批直径变动量可达0.10mm,球形误差达0.01~0.005mm。

FAG公司陶瓷球的研磨加工所用研磨盘为高硬度( $HB>220$ )耐磨铸铁,在载荷作用下,陶瓷球被锋利硬度高的磨料切削。其研磨效率与磨料种类、粒度、润滑剂等有关。FAG公司粗磨、精研磨料如表1、表2。

表1 FAG公司粗磨磨料

Table 1 Abrasive for rough grinding in FAG company

磨料	平均粒度( $\mu m$ )	球表面粗糙度( $\mu m$ )
碳化硅 100	120~150	5
碳化硅 300	40~50	2~3
碳化硅 500	18~25	1~2
碳化硅 1000	5~10	0.2~0.4
碳化硼	20~40	0.2~3

表2 FAG公司精研磨料

Table 2 Abrasive for fine grinding in FAG company

磨料	平均粒度( $\mu m$ )	球表面粗糙度( $\mu m$ )
氧化铬	5~7	0.1~0.5
氧化铁	3.5~5	0.05~0.2
中粗刚玉	10~15	0.2~0.5
细刚玉	7~10	0.1~0.3
精细刚玉	5~7	0.08~0.1
碳化硼	3.5~20	0.08~0.5
金刚石油膏	0.5~3	0.05以下

等因素有关,在选择磨料时,通常不是粒度,而只是磨料种类和磨料硬度起决定作用,如果磨料使用过多或过少,都会降低加工精度和研磨效率,只有采用与相应加工工序相协调的磨料和研磨液配比量,才能得到理想的加工效率。同时磨料粒度、加入量及与研磨液混合比例、研磨压力和研磨加工时间的正确选择、研磨机床设计参数、研磨盘材质、沟槽加工精度对陶瓷球加工也有重要影响。陶瓷球加工工序可分为粗磨、精磨、精研和超精研。所用磨料也有变化,粗磨时选用碳化硅、碳化硼,精研时选用刚玉、氧化铁、氧化铬、碳化硼、人造金刚石微粉或天然金刚石粉。精研后的氮化硅陶瓷球的球形误差达0.04 $\mu m$ (相当于我国G3级球)。

FAG公司70年代试制出第一批氮化硅陶瓷球,九十年代陶瓷球作为商品进入市场。

### 3 国外陶瓷球加工设备

日本有关陶瓷球与轴承的文章发表很多,从事陶瓷球与滚子、轴承制造的公司有NSK公司、KOYO公司、TOSHIBA公司与NTK公司等。日本陶瓷球加工技术条件如表3、表4所示。

表3 日本陶瓷球磨加工技术条件

Table 3 Technological parameters for ceramic ball in grinding

磨料	金刚石粉、粒度 $6\mu m$
研磨液	水溶性油剂
研磨液浓度	20%
加磨料时间	15或30分钟加一次
加工压力	10~30N/粒
V形槽角度	90°或120°
下磨盘结构	平板或带V形槽

表4 日本陶瓷球抛光加工技术条件

Table 4 Technological parameters for ceramic ball in finishing

磨料	$Fe_2O_3$
分散介质	水
抛光液浓度	1%
每次抛光液加入时间	3分钟
加工压力	2.5N/粒
上磨盘沟结构	90°或120°
下磨盘沟结构	平板或V型槽

FAG公司认为,陶瓷球的加工与磨料、压力、转速

日本 NSK 公司陶瓷球加工方法未见报导, 根据出国考察人员分析, 其设备采用卧式球磨机, 磨料采用碳化硼、刚玉、金刚砂。该公司是日本销售陶瓷球轴承最多的公司。

法国、德国陶瓷球加工设备型号、规格、加工精度如表 5、表 6 所示。

表 5 法国 GEIS 公司陶瓷球研磨机

Table 5 Milling machine for ceramic ball in GELS company in france

设备型号	JGS720AL
结 构	立式
用 途	初研、精研
加工球范围	$\Phi 3-\Phi 25.4\text{mm}$
研磨盘尺寸	$\Phi 720 \times \Phi 300 \times 80$
主轴转速	17—18r/min(无级调速)
磨盘压力	6kN
输料盘直径	1100mm
装球量	$\text{Si}_3\text{N}_4$ 陶瓷球: 40kg
加工球直径变动量	$\leq 0.13\mu\text{m}$
加工球表面粗糙度	$R_a: 0.006-0.008\mu\text{m}$

表 6 德国 SMS 公司陶瓷球精研机

Table 6 Milling machine for ceramic ball in SMS company in Geramary

设备型号	SLM72
结 构	立式
用 途	精研、抛光
加工球范围	$\Phi 3.175-25.4\text{mm}$
磨盘压力	75kN
球加工精度	直径变动量: $\delta \leq 0.2\mu\text{m}$ 表面粗糙度 $R_a: 0.004-0.006\mu\text{m}$
研磨盘尺寸	$\Phi 720 \times \Phi 290 \times 90$
研磨盘转速	30r/min
输料盘直径	$\Phi 1340\text{mm}$
装球量	$\text{Si}_3\text{N}_4$ 陶瓷球 80kg

#### 4.1 自回转控制研磨法

日本金泽大学报导的自回转控制研磨法是在传统研磨方法的基础上加以改进的。因为传统研磨方法受已有研磨盘结构限制, 不能改变球自旋角。自回转控制研磨法使上研盘和下研盘(分离成内侧研盘和外侧研盘)同时转动, 来达到控制球自旋回的目的。在研磨过程中可以适当改变上研磨盘和下研磨盘内外两侧研磨盘的转速, 强制改变球自旋角, 使整个球表面快速地被研磨, 提高研磨效率, 同时还能降低球形误差。

#### 4.2 磁悬浮化学机械抛光工艺(CMP)

传统的陶瓷球抛光一般采用金刚石磨料作为抛光介质, 抛光转速较低, 在高载荷下使用金刚石磨料会在陶瓷球表面产生凹坑、划伤和微裂纹。为减少陶瓷球这些表面缺陷, 需要一个较“温和”的抛光环境, 即采用低而可控的载荷, 低硬度的磨料, 较高的抛光转速, 更高的磨削率和更短的抛光周期的磁悬浮化学机械抛光工艺。

磁悬浮化学机械抛光技术利用磁流体在磁场作用下可悬浮包含磨料在内的非磁物的磁流体动力学性能, 通过悬浮的聚丙烯材料下板, 对陶瓷球实现一个软支撑加工, 采用硬度低于被加工氮化硅材料的  $\text{CeO}_2$  磨料, 在加工过程中, 介质首先与氮化硅本体发生化学反应, 生成硬度远低于磨料的化学膜, 随之被  $\text{CeO}_2$  颗粒刮除, 露出新表面, 继续反应, 如此循环。加工过程中磨料施加于陶瓷球的力非常小(1N/球)并且可以控制, 表面缺陷大幅度降低,  $R_a \approx 3.8\text{nm}$ ,  $R_t \approx 0.029\mu\text{m}$ , 抛光主轴转速可以大幅度提高, 加工效率也随之提高。

### 5 国外陶瓷球轴承应用情况

发达国家对陶瓷球及陶瓷球轴承应用与开发非常重视, 已开发出一定规模的市场, 并继续对陶瓷球轴承的基础性能进行研究, 如润滑方式、润滑剂的选择、接触疲劳寿命等; 在产品开发上扩大应用范围、提高陶瓷球轴承转速; 对角接触陶瓷球轴承进行优化设计。

KOYO 公司、NSK 公司、FAG 公司、SKF 公司认为陶瓷球轴承在下述领域有一定潜在市场。

耐腐蚀工业方面: 纺织、化工、钢铁、食品、一般产业机械、电机、机床等。

耐高温工业方面: 钢铁、化学、汽车、真空设备, 一般机械、电机等。

高转速机械行业方面: 机床、汽车、飞机、卫星、电机、一般产业机械、真空设备等。

要求重量轻机械行业:飞机、卫星、汽车、车辆、机器人等。

要求绝缘产业方面:机床、输送机械、地铁车辆等。

非磁性下工作机械方面:原子能反应堆、半导体装置等。

### 参 考 文 献

- 1 Ming Jing·R·Komanduri·On the finishing of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  balls for bearing applications·Wear, 1998. 251; 267—278
- 2 北村和久·セラミツワ軸受の市场动向わよび技术动向·月刊トライボロツ, 1998. 5; 43—45
- 3 Shigeki Ichikawa·Proposal of new lapping method for ceramic balls·Annals of the CIRP, 1995. 42(1); 421—424
- 4 C·Girel·陶瓷球磨损的影响因素·国外轴承技术, 1995. 2; 18—22
- 5 R·T·CUNDILL·轴承用陶瓷材料·国外轴承技术, 1994. 1; 9—17
- 6 Werner Simon·氮化硅轴承球的加工·国外轴承技术, 1993. 2; 33—37
- 7 黒部利次·陶瓷球的超精密研磨·国外轴承技术, 1992. 2; 46—52
- 8 セラミツワ軸受·NSK·日本精工株式会社, 1991. 376