

# 滚动轴承零件磨超数控技术现状及发展趋势

福优特（洛阳）智能装备有限公司 姚国光

## 一、研究背景及意义

### 1、轴承在工业制造中的重要性

轴承是核心基础零部件，轴承工业是国家基础性战略性产业，对国民经济发展和国防建设起着重要的支撑作用，建国以来，特别是改革开放以来的持续、快速发展，我国轴承工业已形成独立完整的工业体系，我国已成为轴承销售额和产量居世界第三位的轴承生产大国。并向世界轴承强国迈进。特别是“十三五”时期，我国轴承行业的众多企业，奋力拼搏，攻坚克难，逆势而上，保持全行业平稳较快发展，为建成世界轴承强国打下了良好基础。

### 2、国内高精度滚动轴承行业现状

我国已是世界轴承生产大国，但还不是世界轴承强国，产业结构、研发能力、技术水平、产品质量、效率效益都与国际先进水平有较大差距。国内现有近 10000 家轴承及轴承产品相关企业，其中中低端产品占比>80%，全球高端轴承市场容量中，中国企业仅占有 5%。

2023 年，我国轴承累计进口用汇 43.11 亿美元，其中滚动轴承进口用汇 37.73 亿美元，占比达 87.5%。滚动轴承（包括深沟球轴承、角接触球轴承、圆柱/圆锥滚子轴承）精度高、承载能力强，广泛应用于新能源汽车、高档数控机床、机器人、医疗器械、仪器仪表、航空航天和军用装备等机电产品中。随着轴承技术及产业向着高端化（高性能）、智能化、绿色化、服务化方向发展，其性能要求突出表现在高速、重载、高精度、低摩擦、长寿命、低噪声、高可靠性和苛刻环境适应性等方面。由于高精度滚动轴承质量不够稳定，致使近年来，我国高精度滚动轴承严重依赖进口，滚动轴承的高精度加工成

为了我国轴承行业的难题。

### **3、高精密滚动轴承行业发展路线**

中国轴承工业协会编制的《全国轴承行业“十四五”发展规划》中提出了我国轴承工艺装备和滚子技术发展的目标和技术路线，按照未来我国轴承产业转型升级、高质量发展提供强有力的技术支撑这一总的要求，确定我国轴承专用装备的发展目标，精度和精度保持行、性能和性能稳定性、和使用寿命和可靠性，加工效率、自动化智能化程度达到国际先进水平。

## **二、滚动轴承零件磨超加工技术基础**

### **1、滚动轴承的结构与功能**

滚动轴承一般由内圈、外圈、滚动体和保持架四部分组成。内圈与轴相配合，并与轴一起旋转，起到支撑轴的作用。外圈装在轴承座孔内，一般不转动，起到支撑和固定轴承的作用。滚动体是滚动轴承的核心元件，常见的滚动体有滚珠和滚子。滚动体的形状、大小和数量直接影响轴承的使用性能和寿命。保持架将滚动体均匀隔开，避免滚动体之间相互接触，起到润滑和引导滚动体旋转的作用。

### **2、滚动轴承加工工艺发展历程**

轴承工业在 60 年代已形成一个稳定的套圈磨超加工工艺流程及基本方法，即：双端面磨削--无心外圆磨削--滚道切入无心磨削--滚道超精研加工。除了结构特殊的轴承，需要附加若干工序外，大量生产的套圈均是按这一流程加工的。几十年来，工艺流程未出现根本性的变化，但是这并不意味着轴承制造技术没有发展。简要地说，60 年代只是建立和发展“双端面--无心外圆--切入磨--超精研”这一工艺流程，并相应诞生了成系列的切入无心磨床和超精研机床，零件加工精度达到 3~5 $\mu\text{m}$ ，单件加工时间 13~18s(中小型尺寸)。70 年代则主要是以应用 60m/s 高速磨削、控制力磨削技术及控制力磨床大量采用，以集成电路为特征的电子控制技术的数字控制技术被大量采用，从而

提高了磨床及工艺的稳定性,零件加工精度达到 1~3um,零件加工时间 10~12s。80 年代以来,工艺及设备的加工精度已不是问题,主要发展方向是在稳定质量的前提下,追求更高的效率,调整更方便以及制造系统的数控化和自动化。

[1]

### 3、磨削和超精研的定义与目的

3.1、轴承磨削指用磨具去除材料的过程,通常用于轴承套圈及滚动体的加工。磨削可以分为平面磨削、外圆磨削、内圆磨削、无心磨削等多种类型,具体方法包括顺磨和逆磨两种方式。其目的主要是去除材料,达到所需的尺寸和形状精度。磨削过程中,工件通过砂轮的高速回转和相对运动去除材料,从而获得光滑的表面和准确的尺寸

3.2、超精研是一种光整加工方法,通常在磨削之后进行。它使用细粒度的磨具(如油石)对工件施加很小的压力,并在垂直于工件旋转方向进行快而短促的往复振荡运动,以进一步提高工件的表面质量和精度。其目的是进一步降低工件的表面粗糙度,提高表面质量。通过超精研,可以显著降低工件的表面粗糙度值,提高工件的耐磨性和使用寿命

### 三、滚动轴承零件磨超数控技术的现状

在轴承生产中,磨削加工劳动量约占总劳动量的 60%,所用磨床数量也占全部金属切削机床的 60%左右,磨削加工的成本占整个轴承成本的 15%以上。对于高精度轴承,磨削加工的这些比例更大。另外,磨削加工又是整个加工过程中最复杂,对其了解至今仍是最不充分的一个环节。这个复杂性表现在:所要求的性能指标更多、精度更高:加工成形机理更复杂,影响加工精度的因素众多:加工参数在线检测困难。因此,对于轴承生产中关键工序之一的磨削加工,如何采用新工艺,新技术,以高精度、高效率、低成本地完成磨削过程,便是磨削加工的主要任务。[1]

## 1、数控技术

### 1.1 数控技术的特点及现状

现代数控技术集机械制造技术、计算机技术、控制技术、传感检测技术、网络通信技术和光机电技术于一体，具有高精度、高效率、柔性自动化等特点。数控系统通过编程控制、储存和修改加工循环参数，实现了轴承磨削的智能化和自动化。

数控机床最早生产于 20 世纪 50 年代，在较早时期，数控机床被普遍运用到金属切削加工中，在 20 世纪 80 年代末，一些发达国家的数控技术水平已超过 10%。到上个世纪末，数控技术几乎被全部运用到所有工业领域中。目前，国外生产的数控机床大多数使用的是 32 位系统，而国内受到国外技术的封锁而普遍使用的是 16 位数控系统，这就拉大了国内外数控技术的差距。[2]

### 1.2 对数曲线修整

轴承套圈滚道及滚子外径的母线形状并非直线而是对数曲线，在没有应用数控技术之前，修整对数曲线形状时，只能通过调整砂轮轴向修整轴与砂轮轴线的角度来实现近似对数曲线的修整。随着数控技术的发展，运动机构运动精度的逐步提高，修整控制方式也逐步研究出大圆弧、三段弧、五段弧、多点法（15-70 个）、对数公式控制等一系列修整方式。

### 1.3 自适应磨削及磨削参数调用

在磨削过程中磨粒使金属产生了很大的变形，从而形成了磨削力，在特定的磨削条件下，都有一个最佳磨削力区间，采用该区间的磨削力加工可以获得较高的金属去除率、较小的表面粗糙度和较长的砂轮寿命，因此在对磨削力、主轴振动、主轴电流等参数监测的基础上，通过数据的动态分析，按预定的数值保持恒定磨削力去加工产品就是自适应磨削。并且通过对各磨削参数的保存、调用，能快速对不同型号的产品进行换型，节约换型时间，提

高设备利用率。

## **2、高速磨削技术**

### **2.1 高速磨削技术的应用现状**

一般磨削速度达到 45m/s 以上称为高速磨削，随着砂轮、控制、测量和振动技术的发展，轴承磨削普遍采用高速磨削技术。但目前国内轴承磨床的砂轮线速度普遍在 35~60m/s 之间，而进口设备（TOYO、NOVA、利雪平等）内表面磨削时砂轮的线速度可达 60~80m/s，外表面磨削时线速度可达 120m/s。

### **2.2 高速磨削技术应用的难点**

高速磨削能很好的改善磨削表面粗糙度，提高金属去除率，进而提高磨削效率，降低加工成本。但需要机床设备刚性强、主轴驱动扭矩大、主轴振动小、砂轮具有足够的强度及良好的磨削性能，另外，冷却装置也是实现高速磨削不可缺少的装置之一，国内设备在这些方面还需要有进一步的突破才能将高速磨削技术推广开。

## **四、滚动轴承零件磨超数控技术的发展趋势**

### **1、智能化与柔性化自动产线的应用**

尽管近年来我国轴承行业的智能制造发展和发达国家还有一定的差距，但是我国已经具备发展轴承行业的智能制造的基础和条件。我国许多大型轴承企业都在积极尝试智能制造转型升级。尽管没有成为试点示范项目，但是通过智能化改造，很多企业都收获了超出预期的回报，发展智能制造已成为所有轴承企业的共识。

人本集团先后投入 6000 多万元建立产品信息和管理信息统一平台，实现 MES 和 ERP 的高效协同与集成。基于自动化程度的提升和系统数据协同的改善，车间人员数量减少 50%，生产效率提升近一倍，设备运行率由 74.47% 提高到 95.31%，产品质量显著提高。瓦轴集团《新一代先进轨道交通轴承智能制造新模式》项目目前已实现在线加工、检测、装备的全过程自动化，并与

西门子签署战略合作协议，以“轨道交通轴承数字化产线项目”为起点，共同推进瓦轴智能化、数字化建设的实施和落地。轴研所《精密轴承数字化车间标准研究与试验验证》项目计划通编制《精密（高端）轴承数字化车间通用要求》、《精密（高端）轴承数字化车间数据采集及分析》和《精密（高端）轴承数字化生产过程装备监控与在线检测》三项标准，制定出数字化车间信息数字化模型所采用的总体系统架构、应用场景、实现架构等系统级技术架构。

## **2、滚动轴承磨超工艺和磨超设备的融合**

随着轴承行业的发展，产品的迭代速度越来越快，各类新型轴承需要快速的应用于终端市场，对于滚动轴承的磨超工艺来说，传统的一台设备加工一个工序的磨超工艺已无法满足的需求。挡边外径与滚道一次磨、内外表面同步磨、滚道与小端面一次磨等复合磨削工艺已经在一台设备中实现多工序加工，还有更多的复合加工工艺亟待解决。

## **五、福优特公司简介**

福优特（洛阳）智能装备有限公司地处“九朝古都”洛阳，专注于自主研发制造高品质轴承磨加工设备和超精研设备，提供定制化改造的技术支持及咨询服务。公司具备研发设计、生产制造、安装调试轴承套圈磨床、超精机床和圆柱圆锥滚动体磨超设备及其智能产线的技术实力。拥有成熟的供应链、完整的加工工艺、严格的质量保证体系、专业的服务团队。

生产的高精度数控轴承磨床、超精设备及智能化产线，可批量稳定达到P4级以上精度等级，具有高可靠性、高精度、高效率、智能化等特点。福优特尽管才成立3年多，但凭借先进的经营理念，凝聚了一批高水平的技术和管理人员，实现了永磁同步直连动静压主轴应用、高精度对数曲线修整、静压导轨+直线电机等多项先进技术的应用，开发了挡边的带凸度磨床、铁路内圈滚道及挡边外径磨床、内圈小端面及滚道同步磨床等定制化复合磨床，在

国内中大型定制化轴承装备行业中处于领先水平。

## 六、结论与展望

综上所述，当前滚动轴承零件的加工精度基本满足需求，需要进一步解决设备的可靠性、稳定性问题，提高设备生产效率，通过数控技术将轴承加工工艺与设备融合，研发出新一代智能化设备及自动产线。

### 【参考文献】

[1] 工艺工装专业委员会. 轴承套圈磨超加工新技术及其国内外发展状况

[2] 宋春华. 数控技术的现状及发展趋势[M]. 装备制造技术, 2011, (3): 114-117.