精密滚珠丝杠制造技术的变革创新

■ 大连高金数控集团有限公司　（辽宁　116620）　张广明

摘要：分析精密滚珠丝杠制造技术现状，介绍滚珠丝杠螺纹滚道以铣代磨、以车代磨的高效切削技术，阐述高效切削技术对原材料的要求和原材料对滚珠丝杠副产品的影响，提出创新变革现实意义及未来滚珠丝杠副制造技术发展趋势。

1. 滚珠丝杠制造技术现状

随着数滚珠丝杠副制造企业的转型、调整、升级的不断深入，滚珠丝杠高效、可靠、稳定、低成本的新的制造技术的重要性逐渐显现出来。同时，雾霾现象日益严重，已成为当今社会的焦点问题，对制造技术的绿色环保要求必是大势所趋。

传统的滚珠丝杠关键工序——螺纹滚道的加工为磨削加工工序，约占整个加工过程的2/3，与当今世界欧美、日本、中国台湾等国家和地区的滚珠丝杠副制造企业相比，加工效率低下、可靠性差、稳定性差，同时大量的磨削粉尘和油烟对环境污染比较严重，难以应对日益激烈的竞争。以高刚性数控机床的发展和高硬度、高强度刀具材料技术的突破为基础，淬硬切削提供了一种替代磨削的高效切削技术。

2. 滚珠丝杠硬铣技术

硬铣螺纹技术在欧洲已被研究多年，并在20世纪80年代推出了数控旋风铣床，现已广泛应用于滚珠丝杠螺纹加工，磨削螺纹工艺已基本废弃。硬铣工艺工序短，能比传统磨削工艺少3~5道工序。经统计，传统磨削工艺，螺纹磨削时间占整个工艺流程的2/3。螺纹磨削工序有粗磨螺纹、螺纹底沟磨削及精磨螺纹等，这些工序均在滚珠丝杠淬火硬度达58～62HRC后用螺纹磨床磨削，基于螺纹磨削切削用量的限制，并且在磨削过程中要不断地修整砂轮和校直丝杠，工时较长；硬铣螺纹工艺是将螺纹滚道一次成形铣削，不仅减少了工序，而且不必反复修整刀具和校直，在一定程度上降低了螺纹加工所占时间的比例，从而大大缩短了滚珠丝杠加工周期，提高了加工效率。旋风铣加工的滚珠丝杠导程精度等级可以达到P3级（GB/T 17587.3—1998），截形轮廓精度±5μm，圆柱度5μm，表面粗糙度值R_a=0.4μm。

目前，国内滚珠丝杠副生产厂家大连高金、济宁博特及南京艺工均有旋风铣加工设备，但是由于其对滚珠丝杠原材料和刀具要求较高，国产材料和刀具达不到加工要求，致使加工成本相对较高，滚珠丝杠原材料和刀具的国产化是影响硬铣加工降低成本程度的关键因素。

3. 滚珠丝杠硬车技术

在高刚性硬车刀具系统和硬车机床系统得到突破性发展的前提下，以及市场环境对滚珠丝杠副高品质、低成本要求不断提升的情形下，以车代磨的硬车技术应势而生。螺纹滚道硬车削是一种新型螺纹滚道粗加工技术，最大优势是避免在磨削粗加工螺纹滚道过程中，因切削热导致丝杠硬度降低而引起可靠性差问题的发生，并且加工效率高，无油烟粉尘污染、绿色环保。滚珠丝杠硬车工艺的实施，不仅是加工方法的变革，更是滚珠丝杠副可靠性保障的一种手段。

以车代磨螺纹滚道的粗加工技术在日本和中国台湾地区应用较为广泛，国内大连高金数控集团首先打破了这种技术垄断，与大连机床集团联合研制开发了滚珠丝杠专用高刚性数控硬车机床，经过长时间的试验，得到一手滚珠丝杠硬车数据，形成完整的独立自主的硬车技术体系。

硬车粗加工的滚珠丝杠，圆弧滚道的圆度在0.008mm以内，圆柱度在0.01mm以内，表面粗糙度值$R_a \leqslant 1.6\mu m$，达到了工艺设计要求。在生产效率方面，以1m长型号为4010的滚珠丝杠为例，硬车加工滚道所用的时间约为30～45min，相比磨削时间节省约45%左右。

虽然滚珠螺纹滚道硬车削效率不及硬旋铣加工，但它较螺纹滚道硬磨削效率提高2～3倍，同时省去了大量的外螺纹磨床，极大地降低了生产制造成本。通常，滚珠螺纹滚道硬车削生产制造成本是螺纹滚道硬磨削成本的1/3～1/2，是螺纹滚道硬旋铣加工成本的1/3～1/4，从成本、效率综合比较，滚珠螺纹滚道硬车削工艺具有广阔的发展前景，将是未来滚珠螺纹滚道半精加工的首选工艺方案之一。

4. 淬硬切削滚珠丝杠原材料保障技术

滚珠螺纹滚道的淬硬切削是国内近几年新兴的一种绿色、环保的高效加工工艺，滚珠螺纹滚道的硬旋铣加工已得到迅速发展，滚珠丝杠各制造厂家已取得较丰厚的成果；滚珠螺纹滚道硬车削的高效加工工艺随绿色、高效加工的发展将成为滚珠螺纹滚道加工的主要、关键手段之一。然而，滚珠螺纹滚道的淬硬切削技术的实施不顺利，这种技术的发展要以国外进口滚珠丝杠原材料为基础。

在引进旋风铣硬铣技术之初发现，处在国际顶尖水准的设备，进口的滚珠丝杠原材料铣削过程中铣削声音清脆，国产原材料则是声音比较沉闷，变形大，铣削结果是国产材料的滚珠丝杠废品率高，刀具磨损快。那么问题出在哪儿呢？答案是原材料。经长时间的试验和经验积累，发现原材料不仅影响了滚珠丝杠的加工，更主要的是它是导致我国的滚珠丝杠副普遍存在疲劳寿命低、可靠性差的根本原因之一，已成为制约国产滚珠丝杠副行业发展的瓶颈。

目前国内滚珠丝杠副生产厂家多以轴承钢GCr15作为滚珠丝杠、螺母的原材料；日本THK公司的高精度丝杠选用AISI4150H，螺母选用渗碳钢SCM420H，精度要求一般的丝杠选用S55C，这种材料相当于国内的55号钢；在欧洲，多数滚珠丝杠厂家选用CF53作原材料；中国台湾上银用的则是ILM-1、ILM-2和ILM-3，经统计，材料成分如附表所示。

从成分上讲，轴承钢GCr15为优质合金钢，不比以上列举的国外、地区厂家所用的材料差。但是，从纯净度上讲，我国的钢材整体水平较差。例如，氧的含量，我国国家标准规定，高碳铬轴承钢氧的质量分数在15×10^{-6}以内，国内钢材含氧量一般在12～15个ppm，而工业发达国家（如日本、瑞典等），轴承钢的氧含量普遍在10×10^{-6}以下即10个ppm以下，甚至达到5×10^{-6}以下，轴承钢纯净度的大幅度提高及氧含量的控制，使得以轴承钢为原材料的产品的疲劳寿命有了提升空间。据日本相关报道，以轴承为例，氧的质量分数平均减少2.5×10^{-6}，则轴承的疲劳寿命提高1～2倍。

我公司借鉴滚动轴承方面的经验，对滚珠丝杠原材料提出氧、硫等微量元素含量要求、晶粒度等级要求、带状组织要求以及纯净度要求等。并采用了能满足设计要求的日本山阳特钢公司生产的SAE4150H作为滚珠丝杠原材料，这种材料的特性是纯净度高，淬火后变形小、硬度均匀。缺点是价格昂贵。经过试验验证，这种材料适应淬硬切削的要求，成品滚珠丝杠副疲劳寿命等性能指标达到国外高端产品的水平，为淬硬切削提供了保证。

原材料乃工业发展的根本，若长期依赖进口，就会受制于人。俗话说得好，巧妇难为无米之炊，滚珠丝杠副的进步和发展要想不受制于人，就离不开国产原材料技术的支持。反之，在滚珠丝杠企业对原材料不断提出要求的情况下，也促使钢铁企业不断进行技术革新。

5. 滚珠丝杠制造技术发展趋势

随着当今世界工业自动化程度的不断提高，滚珠丝杠的利用率也在不断提升，市场需求将会得到井喷式的发展，从数控机床产业到自动化设备行业、再到汽车领域等，滚珠丝杠的使用无处不在，这对滚珠丝杠制造企业来说，将是难得的机遇。机遇带来的必将是挑战，高效规模化生产是国内滚珠丝杠企业面临的难题之一。

从解决高效规模化生产角度看，滚珠丝杠制造技术的发展趋

材料的化学成分对比表 (%)

牌号	范围	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S	Ni	Cu	Ni+Cu
GCr15	Min	0.95	0.15	0.25	1.40							
	Max	1.05	0.35	0.45	1.65	0.10		0.025	0.025	0.3	0.25	0.5
S55C	Min	0.52	0.15	0.60								
	Max	0.58	0.30	0.90				0.030	0.035			
CF53	Min	0.47	0.17	0.5								
	Max	0.55	0.37	0.8				0.035	0.035			
AISI4150H	Min	0.51	0.21	0.92	0.90	0.13				0.06	0.12	
	Max	0.53	0.22	0.94	0.91	0.15		0.008	0.013	0.07	0.12	
ILM-1	Min	0.55	0.15	0.75	0.10							
	Max	0.60	0.30	1.00	0.40			0.025	0.025			
ILM-2	Min	0.56	0.15	0.75	0.90	0.15	0.10					
	Max	0.62	0.35	1.00	1.05	0.20	0.15	0.025	0.025			
ILM-3	Min	0.53	0.15	1.35	0.10				0.005			
	Max	0.57	0.35	1.65	0.35			0.025	0.030			
SCM420H	Min	0.17	0.15	0.55	0.85	0.15						
	Max	0.23	0.35	0.95	1.25	0.30		0.030	0.030	0.25		

势包括以下几个方面：

（1）滚珠丝杠生产设备专业化。目前国内滚珠丝杠生产企业的加工设备还是常规的通用设备，专有设备工具和专有技术少之又少。为了应对日益激烈竞争的市场需求，大量的专业化生产设备、工具将被研发、应用。例如，专用磨具、刀具和夹具的研发应用，螺母加工专用车铣中心及磨削中心的研发应用，硬加工机床的研发应用，以及自动生产线的研发应用等。

（2）磨制的中等精度等级滚珠丝杠将逐渐被铣制、轧制滚珠丝杠代替。由于数控系统补偿技术得到长足进步和发展，对滚珠丝杠精度要求不再像以往那样地追逐，中等精度等级滚珠丝杠将被更广泛地应用，铣制、轧制滚珠丝杠将在满足中等精度等级要求的前提下占有更大的市场份额。

（3）在高精度等级滚珠丝杠方面，对滚珠丝杠磨削技术的要求将越来越高，不仅要求更精密、而且要求更高效。在电子系统受干扰的航天、航空和军工等领域，高精度的磨制滚珠丝杠具有无可替代的地位。

（4）滚珠丝杠专用材料将被研发和应用。随着滚珠丝杠企业转型升级的不断深入，滚珠丝杠专业化生产将达到史无前例的程度，原材料作为滚珠丝杠的根本，必将会被重视和研究。

6. 结语

精密滚珠丝杠副在我国发展已有数十年历史，滚珠丝杠制造技术也在发生不断的提升和变迁，淬硬切削技术在我国滚珠丝杠副发展过程中起着举足轻重的作用。滚珠丝杠制造技术的变革，带来的是整个与之相关产业的变革，如加工设备、刀具和原材料等。牵一发而动全身，相信某一领域的变革创新，必会带动整个民族工业的发展，精密滚珠丝杠制造技术的变革创新之路任重道远。

参考文献：

[1] 黄祖尧. 滚珠丝杠螺纹制造技术向高效、低耗、绿色方向发展[J]. 金属加工（冷加工），2010（21）：29-32.

MW（收稿日期：20170208）

公 示

根据国家新闻出版广电总局《关于开展新闻记者证2016年度核验工作的通知》（新广出办发[2016]109号）要求，我单位《金属加工（冷加工）》杂志根据通知要求，按照六项核验重点逐项进行严格审核，现将我单位新闻记者证人员名单：梅峰、阎志芳、吕建新进行公示，并接受监督，举报电话：010－83138953。