

中国高校切削与先进制造技术 研究会第六届年会 论文集

赠书

曾宪唐教授捐赠



袁哲俊 主编
于启翔 副主编

机械工业出版社

中国高校切削与先进制造技术 研究会第六届年会 论文集

袁哲俊 主 编
于启勋 副主编



机 械 工 业 出 版 社

中国高校切削与先进制造技术
研究会第六届年会论文集

袁哲俊 主 编

于启勋 副主编

*

责任编辑：冯 铤 版式设计：霍永明

封面设计：冯 铤 责任校对：高文龙

责任印制：王书来

*

机械工业出版社出版（北京市百万庄大街 22 号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

北京林业大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 25·字数 608 千字

1999 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

印数 00 001—280 定价：50 元

*

ISBN 7-111-00075-7/TG·1279

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

中国高校切削与先进制造技术研究会 学术委员会

主任委员：袁哲俊
副主任委员：于启勋 师汉民
委员：（按姓氏笔划为序）
于思远 艾 兴 吴序堂
姚英学 喻怀仁 薛秉源

学术委员会
教授组

五九二二

前 言

由于市场的激烈竞争和产品更新换代的加快,同时也是由于各种高新技术在机械工业中的大量应用,促使机械制造技术迅速发展,面貌有了很大的变化。面临这样的新形势,世界各国都为提高切削加工效率、发展先进制造技术投入了大量的人力物力。为适应新形势下培养机械制造业专业人才的需要,各高校都积极地进行了教育改革,调整更新了课程,扩大了科研内容。

中国高校金属切削研究会原来的主体是高校中从事金属切削教学和科研的教师。由于机械制造技术的飞跃发展和教育改革的全面展开,原来单纯从事金属切削教学和科技工作的教师,现在都扩大了业务范围,担负起了先进制造技术方面的新课程和科研任务。因此,我们高校金属切削研究会决定也扩大业务范围,同时名称也改为“中国高校切削与先进制造技术研究会”,以便更多的教师和科技人员能参加我们研究会的活动。

本论文集是将于1999年5月在天津召开的我们研究会第六次全国学术年会要宣读的论文。研究会自1981年成立以来,已开过5次全国学术年会。1981年在南京开研究会成立大会并第一次全国学术年会;1984年在合肥开第二次全国学术年会;1987年在长沙开第三次全国学术年会;1991年在南京开第四次全国学术年会;1995年在武汉开第五次全国学术年会。由于全体会员的共同关心与努力,到会代表非常踊跃,发表的学术论文水平很高并兼有教学研究论文,历次会议开得都很成功,与会代表都感到收获很大。这次将要在天津召开的研究会第六次全国学术年会,是我们研究会扩大业务范围、更名为“中国高校切削与先进制造技术研究会”后的首次全国学术年会。

本论文集共收入论文82篇,其中综述性方面的论文4篇,金属切削方面的论文20篇,磨削、研磨、抛光方面的论文5篇,刀具方面的论文19篇,机械制造自动化方面的论文10篇,机械制造实验技术方面的论文8篇,新技术新工艺方面的论文10篇,教学研究方面的论文6篇。这些论文反映了我国机械制造技术的最新蓬勃发展的成果。论文中高水平的学术论文很多,其中有基础理论研究的论文,也有学科前沿的研究论文。论文作者有著名的教授专家,但更多的是青年教师、科技人员和博士、硕士等。这些青年人发表的大量高水平论文,说明我们的事业后继有人,前途无量。

预祝我们研究会这次全国学术大会开得圆满成功,为我国机械制造工业的发展早日达到世界先进水平,为多培养高质量的人才,作出积极的贡献。

中国高校切削与先进制造技术研究会

理事长 袁哲俊

1998.11.

目 录

前言

K—主题报告

1. 金属切削与先进制造技术的新进展	哈尔滨工业大学 袁哲俊 李建广	1
2. 论现代刀具材料的新进展	北京理工大学 于启勋	7
3. 我国陶瓷刀具的发展及其应用	山东工业大学 艾 兴 赵 军 黄传真 邓建新 李兆前 张建华	14
4. 知识经济的来临与制造产业的嬗变	华中理工大学 师汉民	19

C—金属切削

1. 自由切削法及其应用	华中理工大学 同 兴 师汉民	26
2. 导电加热切削回路电阻及其在切削过程状态检测的应用	华南理工大学 叶邦彦 周泽华 赵学智	30
3. 不同被膜处理钻头的钻削性能	台湾大华技术学院 陈文洲 骆锦荣 曹中丞	35
4. 水基切削液润滑添加剂的结构与性能	河北理工学院 贾晓鸣 张秀玲	39
5. 机械制造中刀具材料性能的模糊聚类分析	天津纺织工学院 曹式忠	43
6. 刀具最大生产率耐用度新公式的探讨	天津理工学院 王正君 滕琦玮	48
7. 结构陶瓷加工条件对加工表面性能的影响	装甲兵工程学院 田欣利	52
8. Al_2O_3 陶瓷喷涂层超声波振动车削的试验研究	装甲兵工程学院 刘贵民 翁熙祥 林允森	55
9. 超声波振动车削高温合金及形状记忆合金研究	北京航空航天大学 张德远 李光军 董保立	60
10. CBN 刀具精车淬硬轴承钢 (GCr15) 时切削参数的优化	内蒙古工业大学 白 胜 阿古拉 集宁车辆段铁路机修厂 郑 伟	66
11. 剪切角新模型的研究	河北工业大学 李世杰	70
12. 关于贯彻 GB/T 12204—90《金属切削 基本术语》的认识和意见	北京理工大学 于启勋	77
13. 确定切屑折断最小极限背吃刀量的理论探讨	哈尔滨理工大学 李振加 徐亦红	80
14. 导电加热切削对于抑制积屑瘤和鳞刺独具优势	西江大学 吴 拓 华南理工大学 叶邦彦 赵学智	85
15. 基于最大最小的切削力模糊预报研究	东莞理工学院 王卫平 杨秋平	90
16. 不锈钢的切削加工性	南京航空航天大学 何 宁 香港理工大学 李大超 香港科技学院 刘伟成 香港力劲机械厂有限公司 陈少琼	95
17. 振动攻螺纹的理论研究	昆明理工大学 柯建宏 经慧芹 王庭有 庆 华	99
18. PCBN 刀具切削温度的测量与控制	哈尔滨理工大学 刘献礼 陈 波 孟 安 严复钢 李振加 黑龙江省机械制造学校 孙灵敏	105
19. 挤压型削加工外翅片管的飞边现象	华南理工大学 汤 勇 张发英 陈澄洲 罗德伟	110
20. 少无毛刺切削加工技术	江苏理工大学 王贵成	115

G—磨削、研磨、抛光

1. 端面磨削时力和温度的测量 北京工业大学 刘德忠 121
2. 硬质合金磨削热分布的实验研究 河北建筑工程学院 郭秀云 天津大学 于思远
张家口市建筑机械厂 李长胜 126
3. 硅片超精密抛光的模型及优化 沈阳工业学院 李晓鹰 吕玉山 134
4. 精密和超精密加工中的过渡过程 沈阳工业学院 李晓鹰 吕玉山 137
5. 磨削方式对单晶硅表面磨削温度影响的试验研究 天津大学 林 彬 于爱兵 林 滨 胡 军
于思远 徐燕申 神奈川工科大学 桥本洋 今井健一郎 141

T—刀 具

1. 内包容金刚石、CBN 电镀磨粒铰刀结构与工艺探讨
华北航天工业学院 郭晓军 傅建军 齐世恩 147
2. 高效孔加工技术的研究 天津中德技术培训中心 李 林
核工业理化工程研究院 柴德明 152
3. 特定工作条件超薄圆锯片动态特性设计研究 北京林业大学 崔文彬 孙丽川 孙道炎 157
4. 加工渐开线圆柱齿轮的新型剃齿刀 太原重型机械学院 李淑娟 162
5. 金刚石圆锯片的使用分析研究 太原理工大学 丁艳红 穆临平 徐 璞 166
6. 整体硬质合金群钻的开发与应用研究 北京理工大学 庞思勤 于启勋 姬广振
北京 618 厂 柳德春 172
7. 一种新型强力面铣刀的设计 华北工学院 武文革 庞学慧 常 兴
湖北江山机械厂 黄敏辉 176
8. 金刚石厚膜刀具的应用研究 北京理工大学 解丽静 于启勋 庞思勤
北京天地东方金刚石有限公司 侯 立 180
9. 新型深孔麻花钻及成形铣刀 CAD 系统 西安石油学院 陈亚奇 王世清 185
10. 超细深孔内排屑振动钻削钻杆振型分析 西安石油学院 陈亚奇 189
11. 高性能圆柱铣刀的优化设计与精确制造
西安交通大学 毛世民 吴序堂 聂 钢 罗月新 193
12. 先进陶瓷刀具材料的开发及其性能——梯度功能陶瓷刀具材料
山东工业大学 赵 军 艾 兴 张建华 黄传真 199
13. 新型陶瓷涂层刀具的研制 山东工业大学 陈元春 艾 兴 黄传真 203
14. CVD 金刚石薄膜涂层刀具研制及其应用
上海交通大学 陈 明 张志明 胡国锁 许柳英 薛秉源 207
15. 金刚石薄膜刀具失效机理研究
上海交通大学 陈 明 许柳英 胡国锁 张志明 薛秉源 210
16. CVD 金刚石厚膜刀具的制造技术 哈尔滨工业大学 张宏志 姚英学 陈朔东 袁哲俊 216
17. 麻花钻变导程螺旋面刃磨法研究 重庆大学 严兴春 222
18. 群钻提高钻削效率的分析和刃形优化 哈尔滨工业大学 袁哲俊 谢大纲 韩铁秋 226
19. 用标准齿轮刀具加工非标准齿轮的新方法 重庆工业管理学院 王化培
西南交通大学 周汝忠 231
20. 金刚石圆锯片张力处理及适时控制 大连理工大学 吴雪松 付 仲 234

A—机械制造自动化

1. 虚拟车削加工中的工件及属性表示 哈尔滨工业大学 李建广 姚英学 袁哲俊 238
2. 曲线旋转面的计算机数控包络磨削法 北方工业大学 罗学科 艾正青 刘继英 243
3. 计算机辅助连杆工艺规程设计系统
承德石油高等专科学校 刘文杰 蔡广新 赵 杰 248
4. 模具自由曲面自动研磨的研究 吉林工业大学 初秀民 祝佩兴 赵 继 金仁成 251
5. CNC 进给系统的变结构 PID 控制研究 东莞理工学院 杨秋平 王卫平 256
6. 加工中心的加工精度数学模型 上海交通大学 杨建国 薛秉源 262
7. 芯片插装生产线质量检测的机器视觉系统 上海大学 耿一山 林财兴 郁 郎 267
8. 平面轮廓曲线数控加工预处理分析
西南交通大学 王雪梅 杜全兴 廖泰东 龚邦明 272
9. 数控系统的设计及计算机仿真 西南交通大学 刘浩文 杜全兴 275
10. 基于 WINDOWS 平台的铣削自动图形编程系统
四川联合大学 罗 渝 韩彦岭 董 雪 杨治国 278

E—机械制造实验技术

1. 微型压电执行器技术 大连理工大学 孙宝元 283
2. 瞬态切削力微机测试系统 太原工业大学 吕 明 郑晓华 291
3. 切削原理与测力技术在引信分解中的应用 军械工程学院 杨润泽 程金生 陈兴国 296
4. 压电陶瓷微位移工作台驱动电源的设计与研究
天津大学 侯 亮 林 滨 纳米尔 李世杰 于思远 300
5. 一种新型压电式磨铣测力仪的优化设计 大连理工大学 钱 敏 孙宝元 305
6. 感应供电式四维钻铣切削力遥测刀柄 同济大学 刘晓东
台湾大华技术学院 陈文洲 309
7. 活塞裙部横向廓形参数评定方法的比较研究 上海水产大学 楼文高
上海大学 喻怀仁 314
8. 应用于超精密车床的激光测量闭环系统 哈尔滨工业大学 谢大纲 袁哲俊 栾殿荣 318

N—新技术新工艺

1. 虚轴机床的研究与进展 北京航空航天大学 陈五一 陈鼎昌 322
2. 内燃机活塞环表面涂覆超硬膜的研究与发展 北京广用机电高技术公司 高立超 328
3. 金属切削与快速成型复合数控机床的研究与开发
华北工学院 张吉堂 郭平英 王爱玲 333
4. 微机械材料的准分子激光直接刻蚀加工研究
西北工业大学 马炳和 苑伟政 李晓莹 337
5. 磁场电解加工的试验研究
西安工业学院 李福援 范植坚 孙立庭 李 彬 王大勇 马 涛 周 静 王天诚 341
6. BTA 钻削装置进液环空中液体流动特性研究 西安交通大学 高本河 吴序堂
西安石油学院 熊镇芹 王世清 345
7. 不同条件下锥管螺纹载荷传递特性的有限元分析
西安交通大学 习俊通 梅雪松 吴序堂 351

VIII

8. ZrO_2 陶瓷激光加热材料性能变化的研究

哈尔滨工业大学 王 扬 袁哲俊 韦随心 曲存景 355

9. 数控激光雕刻机关键技术分析

四川联合大学 张春雷 吴 军 361

10. 铁基金刚石节块冷压烧结的试验研究

南京航空航天大学 刘 奎 左敦稳 王 珉 梅胜敏 365

Ed—教学

1. 机械制造专业基础综合课教材编写思路

清华大学 冯之敬 369

2. 展成法齿轮加工的图形仿真及其在教学中的应用

唐山高等专科学校 郭子利 李庆利 刘学江 371

3. 计算机辅助刀具设计

北京联合大学机械工程学院 雷 红 林世生 彭伯平 374

4. 专业课程计算机考查软件

北京联合大学机械工程学院 雷 红 林世生 彭伯平 379

5. 加强 NC 和 CIMS 实验中心建设, 培养跨世纪工程技术人才

华北工学院 郭平英 张吉堂 王爱玲 382

6. 重庆大学高等工程教育改革机械类 97 试点方案简介

重庆大学 袁绩乾 张济生 李 俊 严兴春 汪海云 386

K—主题报告

1. 金属切削与先进制造技术的新进展

哈尔滨工业大学 袁哲俊 李建广

【摘要】 本文论述了机械制造业面临的形势，并重点介绍了金属切削和先进制造技术（精密和超精密、纳米技术、机械制造自动化）的最新技术发展。

【关键词】 金属切削 精密和超精密加工 纳米技术 机械制造自动化

一、面临新形势的机械制造业

鉴于剧烈的市场竞争和发展尖端国防工业的急需，对提高加工生产技术提出了迫切的要求。提高加工效率、降低生产成本、提高加工质量、快速更换产品，是机械制造业竞争和发展的基础。发展尖端技术产品，在加工中采用新技术，解决特殊高精度、高难度零件和特殊材料的加工，是发展尖端技术国防工业的迫切需要，也是机械制造业技术水平的标志。因此，现在世界各国都把发展先进制造技术放在发展国民经济中的极重要的位置，都投入大量人力物力进行这方面的开发研究和生产技术的更新发展。这使机械制造技术发展迅速，面貌有了较大变化。

历史证明，哪个国家忽视机械制造技术的发展，都必然会影响国民经济的发展，受到历史的惩罚。美国在第二次世界大战后，机械制造业是世界最先进的，其工业产品大量出口到全世界，成为工业的霸王。但是，由于美国忽视机械制造技术的提高发展，忽视机械制造人才的培养，使美国的工业生产走了下坡路，不仅出口锐减，而且大量进口国外工业产品。例如汽车工业，美国过去是汽车出口国，但到 1987 年，进口汽车在美国的销售量达到 31%，在 1967 年到 1987 年的 20 年间，汽车的贸易逆差达 600 亿美元。微电子工业是美国创造的，晶体管、半导体芯片、大型和小型计算机等开始也是世界购买美国产品，但到 1987 年，美国的半导体生产已只占世界总产量的 40%，某些重要的集成电路，日本产品已占世界市场的 75%；家用电器如电视机、录相机是美国先发展的，但现在美国市场都被日本等国外产品所占有；美国过去是一个机床出口国，但 1986 年美国有 50% 的机床是进口的，机床产量仅为高峰期的一半。美国货在国际市场的剧烈竞争中日益失去优势，以致 1987 年贸易赤字高达 1610 亿美元，主要部分来自工业生产。美国关于工业竞争的总统委员会的报告中，检讨“美国在重要而又高速增长的技术市场中失利的一个重要因素是没有把自己的技术应用到制造业上”。美国麻省理工学院 MIT 的 16 位教授对美国工业的衰退问题进行了系统调查研究，调查了汽车、民用飞机、半导体和计算机、家用电器、机床等 8 个工业部门的 200 多家公司，访问 550 位专家，查阅大量资料，经多年写成《美国制造业的衰退及对策——夺回生

产优势》(美国 1990 年十大畅销书之一),指出必须重视发展机械制造业。美国中东战争后提出应当给予扶植的“对于国家繁荣与国家安全至关重要的”22 项关键技术中,第 3 材料加工,第 8 灵活的计算机一体化制造技术,第 9 智能加工设备,第 10 微型和纳米制造技术等 4 项都是直接和制造技术有关的。最近日本、美国、德国等工业发达国家都把发展先进制造技术列入工业、科技的重点发展技术。由于给予了较大重视,近年来美国的机械工业重又兴起,汽车、机床、微电子工业等又获得较大发展。

我国的机械制造业近年来虽有一定的发展,机械制造技术水平也有不小的提高,但和国外先进水平相比差距甚大。我国现在拥有的机床数量达 400 万台,等于美国、日本和英国三国拥有机床数量的总和,但这些机床中大部分是低效通用机床,且加工技术落后。我国机械工业每人的生产率仅为先进国家的 $1/10 \sim 1/30$;机电产品的交货期我国为 1~2 年,而国外仅 3~6 个月;材料利用率我国为 60%,而国外为 80%。先进的机电产品每年大量进口,1996 年进口机床达 23 亿美元,且都是价格昂贵的精密高效机床(其中数控机床 16 亿美元),相当于同年我国全国机床的总产值。因此,提高我国机械制造业的技术水平、降低生产成本、研究发展先进制造技术,是我国机械制造业面临的迫切需要解决的重大任务。

下面是机械制造技术发展的主要动向。

二、机械制造的基础—切削技术的发展

切削加工(含磨削)不仅现在而且到 21 世纪仍是机械制造业的主导加工方法,绝大部分机械零件最后需经机械加工。切削加工是机械制造的基础,不容忽视。目前切削加工约占整个机械加工工作量的 95%。据专家估计,到 21 世纪,切削加工仍将占机械加工量的 90% 以上。提高切削加工的效率和质量是机械制造业的重要课题。

机械制造自动化和精密加工的发展对切削技术提出了一系列迫切需要研究解决的新问题。随着数控机床、加工中心和柔性制造系统在机械制造业中的应用,机械加工的辅助工时大大缩短,切削工时成为总工时的主要部分,因而提高切削加工效率已成为降低成本的主要因素。为此,要求研究高效切削的新刀具材料、高效刀具、自动优选最佳切削参数,发展自动快速换刀结构、柔性自动化用的刀具系统,提高刀具的可靠性和在线刀具监控系统等。零件精度的提高对加工表面完整性提出新的要求。例如制造集成电路的基片,不仅要求表面粗糙度值极小,而且要求无划伤、无表面变质层。激光反射镜,不仅要求极高的几何精度和极小的表面粗糙度值,而且要求极小的表面变质层和残留应力,否则将影响反射率。

近年来,国外在发展新的高性能硬质合金材料和超硬刀具材料方面有不小进展。在提高难加工材料和新材料的切削效率、研究发展超高速切削方面亦有较大进展。新产品的加工中心主轴使用陶瓷轴承后,转速提高到 $15000 \sim 50000 \text{ r/min}$,进给系统采用直线电动机后,进给速度提高到每分钟数十米,切削效率比过去大大提高。我国现在生产中使用的切削速度明显低于国外。进口的机床改用国产刀具后,因国产刀具质量不如国外,不得不降低切削用量。我国现已有工厂生产整体硬质合金小铣刀、小钻头等,但优质的这类硬质合金小刀具仍需使用国外进口的硬质合金毛坯。国产的聚晶金刚石、聚晶 CBN 复合片因质量不如国外的,每年仍需进口数量较多的金刚石和立方氮化硼复合片。国外在加工中心上使用的高精度高效成套刀具,已有定型产品,我国在这方面还有很大差距。

国外发展高效强力磨削已很有成效,大切深缓进给磨削已在生产中使用。而我国因受砂

轮和机床限制还用得不多。国外高速磨削速度达 $100 \sim 150\text{m/s}$ ，我国仅 $60 \sim 80\text{m/s}$ ，生产中使用的速度也远较国外为低。使用金刚石和立方氮化硼等超硬磨料砂轮的磨削，国外已较多生产使用，而我国则使用不多。日本最近研制成功的在线电解修整砂轮的 ELID 磨削，对于精密磨削和镜面磨削极为有效，已在生产中推广。我国哈尔滨工业大学已在实验室试验成功，应尽快推广使用。

三、精密、超精密加工和纳米技术的新发展

精密和超精密加工技术在尖端技术和现代武器制造中占有非常重要地位。各国在发展先进制造技术的规划中，都把发展精密和超精密加工技术放在极重要位置。精密和超精密加工技术的发展和推广，提高了整个机械制造业的加工精度和技术水平，使机械产品的质量、性能和可靠性得到普遍的提高，大大提高了产品的竞争力。

例如导弹的命中精度决定于惯性仪表的精度。例如美国民兵 II 型洲际导弹的命中精度为 500m ，换上高精度陀螺仪后的 MX 导弹命中精度达到 $50 \sim 150\text{m}$ ，提高了一个数量级。如果 1kg 重的陀螺转子，其质量中心偏离其对称轴 0.5nm ，将引起 100m 的射程误差和 50m 的轨道误差。再如激光陀螺转子，要求平面度为 $0.03 \sim 0.06\mu\text{m}$ ，表面粗糙度为 $R_a 0.012\mu\text{m}$ ，反射率为 99.8% 。人造卫星的仪表轴承是真空无润滑的轴承，它的孔和轴的表面粗糙度要求达到 $R_a < 1\text{nm}$ ，圆度和圆柱度也是纳米级。红外探测器中接收红外线的反射镜是红外导弹的关键零件，要求表面粗糙度 $R_a < 0.01\mu\text{m}$ ，只有采用金刚石超精密车削才能达到要求。大规模集成电路的发展，促进了微细工程的发展，并且密切依赖于微细工程的发展。由于集成电路要求电路中各种元件微型化，因而减小电路微细图案的最小线条宽度就成了提高集成电路集成度的技术关键。国外制造大规模集成电路的线宽已达 $0.1\mu\text{m}$ ，实验室中已能制造 $0.01\mu\text{m}$ 的线宽，而我国现在还只能达到微米级的线宽。

超精密切削是超精密加工中的重要部分，国外自 50 年代开发这项高技术。它是加工陀螺仪、激光反射镜等的关键技术。超精密切削的关键是极锋锐的金刚石刀具和超精密的机床，现在都已发展到极高的水平。不久前，日本大阪大学和美国 LLL 实验室合作研究超精密切削的极限，成功地实现了 1nm 切削厚度的稳定切削，使超精密切削达到新的水平。

现在中小型超精密机床发展已成熟稳定，其代表是美国 Moore 公司的 M-18AG 型，Pneumo 公司的 MSG-325 型，荷兰 Phillips 公司的 Colath 型等数控非球面金刚石车床。这些超精密机床达到的精度：主轴回转精度 $0.05\mu\text{m}$ ，加工表面粗糙度 $R_a 0.01\mu\text{m}$ 以下。

大型超精密机床代表现代最高机床水平，其代表作是下面三台大型超精密机床：美国 LLL 国家实验室 1983 年 7 月研制成功的 DTM-3 卧式大型光学金刚石车床，可加工 $\phi 2100\text{mm}$ 、重 4500kg 的工件；1984 年 9 月研制成 LODTM 型立式大型光学金刚石车床，可加工 $\phi 1625\text{mm} \times 500\text{mm}$ 、重 1360kg 的工件；英国 Cronfield 公司 1991 年研制成功 OAGM-2500 大型超精密机床，工作台面积 $2500\text{mm} \times 2500\text{mm}$ ，上面装有精密转台，是一台可用于超精密车削、磨削和坐标测量的多功能机床。机床有三坐标联动的精密数控系统，因此可精磨各种精密非对称曲面反射镜块（组装成大型 X 射线天体望远镜的反射镜）。这三台机床采用了在线误差补偿微量进给、隔振防振、恒温控制等多项新技术，使机床达到极高精度。美国 LODTM 金刚石车床采用的激光在线测量系统分辨率达 0.7nm 。我国北京机床研究所、北京 303 所和哈尔滨工业大学研制超精密机床已达一定水平，但尚未有定型产品，应加强这方面的开发研究，并

开始研制大型超精密机床。

超精密加工要求的不断提高,在线测量和误差补偿成为超精加工的重要方向。误差补偿可使主轴的精度自 50nm 提高到 10~20nm,导轨运动直线度自 50nm 提高到 10~20nm。

微细加工技术近年发展很快,电子束光刻技术由于集成电路要求的提高达到很高水平。激光加工和激光测量已得到日益广泛的应用。

纳米技术是科技发展的一个新兴的领域,世界各国都给予极大的重视,美国已将纳米技术列为国家重点发展的领域,英国成立了纳米技术战略委员会,日本政府制定大规模开发纳米技术的 10 年计划。

纳米技术主要包括:①纳米级表面形貌和表层物理力学性能检测;②纳米表面的加工——原子搬迁、去除和重新组合;③纳米级微传感器和控制电路;④纳米材料;⑤超微型机械。

自从 1981 年扫描隧道显微镜发明以来,其应用得到迅猛的发展,已远远超过单纯显微观察的范围。原子力显微镜等的出现,原子搬迁技术的发展,使 STM 含义从扫描隧道显微镜扩展为扫描隧道显微探针技术。1990 年美国 IBM 公司 D.M.Eigler 等人在绝对温度 4K 的超真空环境中用 STM 将 Ni(110)表面吸附的 Xe 原子在针尖电场作用下逐一搬迁,最终以 35 个 Xe 原子排成“IBM”,每个字母高仅 5nm, Xe 原子间的距离约 1.2nm。1991 年日本 H.Hosoki,在 MoS₂ 表面用原子空位写成“PEACE’91HCRL”字样,每个字母尺寸仅为 2nm。原子和分子的搬迁、去除应该认为是达到极限的超精密加工。

随着单原子操纵技术的进展,日本 Y.Wada 提出做原子继电器,在一维原子链中嵌入开关原子,通过电场使开关电子进出原子链使其呈导通或截止状态。单原子操纵器的大规模集成,纳米级微传感器和控制电路,已开始取得进展。

纳米材料是超微粒材料,被称为“21 世纪新材料”,具有许多特异性能。例如用纳米级金属微粉烧结成的材料,强度和硬度大大高于原来的金属;纳米金属居然由导体变成绝缘体。一般的陶瓷强度低并且很脆,但纳米级微粉烧结成的陶瓷不但强度高,并且有良好的韧性。纳米材料的熔点会随超细微粉直径的减小而降低,例如金的熔点为 1064℃,但 10nm 的金粉熔点降低到 940℃,5nm 的金粉熔点降低到 830℃,因而烧结温度可以大大降低。纳米陶瓷的烧结温度可大大低于原来的陶瓷。纳米大的催化剂加入汽油中,可提高内燃机的效率,加入固体燃料内可使水箭的燃烧速度加快;药物制成纳米微粉,可以注射到血管内顺利进入微血管。我国的纳米材料研究近年也取得很大进展,中科院安徽机电所不久前建成激光制造纳米氮化硅陶瓷微粉的中试基地,成功地制出纳米氮化硅陶瓷微粉。

微型和超微型机械也是当前世界上的研究热点。美国克利夫兰西卡塞大学已建立微型电机实验室。加利福尼亚贝克莱大学制成微机械手和微型电动机,只有在高倍显微镜下才能看到。英国卢瑟福—阿普尔顿实验室制成纳米涡轮,可帮助医生进行切除白内障手术。

精密、超精密加工和纳米技术直接影响尖端技术和国防工业的发展,涉及保密和限制出口,我国这方面和国外差距很大,应投入人力物力,大力开展这方面的研究工作。

四、机械制造自动化技术的新发展

自动化是现代先进制造技术的最重要部分之一,是机械制造的发展方向。

使用现代多坐标数控机床和加工中心可以加工出一致性很好的非常复杂的高精度零件,并且可以随时改变加工零件,这一方面加快了新产品的试制和投产,并且可解决某些关键件

的加工。如日本东芝公司向前苏联出口四台大型多轴数控铣床,可加工直径 9m 的大型螺旋桨,由于提高大螺旋桨的精度使核潜艇噪声降低并使航空母舰的速度提高,为此美国参院 1987 年通过了一项“制裁东芝机械公司的法案”,引起很大风波。

柔性自动化制造技术在各工业发达国家已经得到广泛的生产应用,数控机床、加工中心、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)应用日益广泛。计算机集成制造系统(CIMS)不仅使工厂和车间生产自动化由计算机控制管理,而且工艺准备、产品设计、车间调度、产品供销、成本核算、人事管理、工厂的生产决策也都用计算机统一管理,实现工厂的全盘计算机管理自动化生产。按 CIMS 的概念,全厂应是一个统一整体,要求统一计划、统一调度、统一管理。在 80 年代前期,CIMS 呼声甚高,认为是机械制造的发展方向。但按这种概念建立 CIMS 需要极大的硬件投资,要建庞大的数据库,编制大量软件,不仅需要大量的资金,而且需要大量的人力和较长的开发建设时间。由于技术的飞跃发展和产品的不断更新,CIMS 系统很可能在尚未建设完成时已经落后,因此现在 CIMS 的概念必须更新,不应过分强调全盘统一计划、统一管理,而应该给各基层单位更多的自主权,更多的灵活性;不应过分强调中央集权,而应考虑给基层分权。只有这样,才能适应迅速多变的生产,各部分能采用最新技术及时更新生产方式。

自动化生产中独立制造岛概念是德国提出的,我国张曙教授进行了大力宣传推广。独立制造岛实质上是局部有相对独立性的灵活自动化制造方式,它注重软件,硬件条件则根据条件许可,由低到高逐步改善。因为它有较大的灵活性,可以在多种不同自动化程度的生产条件下使用,在我国推广使用是比较适宜的。

应该认识到 CIMS 实际上只是解决了使用计算机来组织和管理生产,只是解决了组织和管理方法的问题,至于用什么指导思想来组织管理生产,在 CIMS 概念中并未涉及。今后的自动化生产中计算机管理是必须使用的,但是应该是人通过计算机管理生产,而不是计算机来管人,把 CIMS 提到不应有的高度。

用什么指导思想来组织管理生产,日本的精益生产(Lean Production)提出了不少很好的新思想。在第二次世界大战后,日本发展汽车制造时没有采用美国大规模自动化生产的模式,而是走日本自己的道路。美国强调工作人员分工明确,日本精益生产方式则是以小组生产为基础;质量标准美国是符合图样要求,而日本则是用户满意;发现有质量问题时,美国工人无权停止流水线,只能在总装后调整、修理时解决,日本则要求质量问题当时解决,有缺陷零件不下传;日本还提出即时生产(Just in time),消灭中间库存的新生产组织方式,大型模具快速更换方法和计算机管理总装线上同时装配多种不同型号汽车的方法等,工厂可以在几分钟内从生产一种型号汽车变换成另一种型号。在美国,一种新汽车从最初概念到汽车开出装配线,周期长达 13~15 年,而在日本,周期只有 7.5 年。其结果,日本汽车大量进入美国市场。

CAD/CAM 一体化技术的发展应用大大地缩短了产品的研制开发周期,同时也促进了设计思想的变化,设计考虑制造(DFM)和设计考虑装配(DFA)的思想现已被更多的人接受,在保证产品性能要求的前提下大大减少了制造成本。并行工程是将设计、工艺准备、加工制造装配、调试工作从串联作业改为前后衔接的并行作业,大大缩短生产周期。美国 IBM 公司的某种打字机是一个极好的例子。该种打字机样品研制成功后,组成设计、制造、装配、使用等多名专家的联合设计组,通过联合设计最后使零件数从样品的 160 个减少到 60 个,最后组装工人

只需用 3.5min 即完成一台打字机的组装, 因此不仅节省了组装工时, 而且节省了一个高度自动化的昂贵的组装车间。

最近提出的敏捷制造 (Agile manufacturing) 技术将柔性自动化技术发展到一个新的高度。由于 internet 的发展, 使不同工厂间、不同地区间的通讯和信息交流变得极为方便和迅速, 这样就有可能将不同的工厂、不同地区的生产有机地组织起来, 发挥各自的特长, 快速、高效、优质、低成本地生产需要的产品。现代的敏捷制造技术, 主要包括三部分内容:

(1) 基层单位的计算机管理和自动化。这是机械制造自动化和敏捷制造的基础。但这里不强调全盘自动化和无人, 在用计算机管理更经济时就采用自动化, 否则就由人参加管理、参加操作。

(2) 计算机仿真和虚拟制造。这在新产品设计和研制时, 不仅可大大加快进度, 并节省大量加工时间和人力。

(3) 通过 Internet 网将不同工厂、不同地区的单位有机地组织起来, 实现资源信息共享、有偿使用, 发挥各单位的特长, 实现异地设计、异地制造和装配, 达到产品的快速、高效、优质、低成本生产。

敏捷制造技术对国防工业、军品民品生产结合特别有效, 因此敏捷制造技术的发展得到美国国防军工部门的大力支持。在平时新的武器装备的研制时, 通过 CAD 设计, 先进行虚拟制造和装配, 再进行试制和性能试验, 完成后全部设计制造资料可以用软件形式保存, 而工厂则生产民品。一旦有需要, 可以通过 Internet 网, 很快地将生产任务、加工资料软件下达达到各工厂, 可以在极短时间内组织起全面的生产, 迅速地生产出要求的产品。

敏捷制造技术是柔性自动化制造技术的新发展, 是适应现代机械制造业面临的迅速多变中小批量产品要求达到迅速、高效、优质、低成本生产而发展起来的最新制造技术。

让我们及时掌握切削加工生产技术的发展动向, 研究开发先进制造技术, 密切结合生产实际, 为我国的机械制造工业早日达到世界先进水平而努力。

参 考 文 献

- 1 何光远. 世纪之交的中国制造业. 中国机械工程学会会刊. 1998, (1)
- 2 李杰. 制造全球化的挑战及研究战略. 中国机械工程. 1997, 8 (1)
- 3 袁哲俊. 金属切削理论与技术新进展——切削加工生产技术的发展展望. 武汉: 华中理工大学出版社, 1995
- 4 Zhang Shu, etc.. DNPS-A Continuously Developable Production Mode in the Global Manufacturing ERA. Proc. of the 8th IMCC Conference. Singapore, 1998
- 5 T. V. Vorburger, etc.. Industrial Uses of STM and AFM. The Annals of CIRP. 1997, 46 (2)

New Development in Metal Cutting and Advanced Manufacturing Technology

Yuan Zhejun, Li Jianguang (Harbin Institute of Technology)

ABSTRACT

In this paper, new development in metal cutting, precision & ultraprecision machining, nano-technology and automation in machine manufacturing was given.

[Keywords] Metal cutting, Precision & ultraprecision machining, Nano-technology, Automation in machine manufacturing

2. 论现代刀具材料的新进展

北京理工大学 于启勋

〔摘要〕 本文论述了刀具与刀具材料在人类历史发展中所起的重要作用。在现代与未来，刀具材料仍占重要位置。文章阐述了各种新型刀具材料（高速钢、硬质合金、陶瓷、超硬刀具材料）化学成分与制造方法的演变，它们的应用范围，现代刀具材料的新发展及对下一世纪的展望。

〔关键词〕 刀具 刀具材料 切削加工

一、引言——刀具材料的重要作用

刀具材料的发展与人类的生活、生产有着极为密切的关系。在古代，“刀”和“火”是两项最伟大的发明，它们的发明和应用是人类登上历史舞台的重要标志。刀具材料的改进曾推动着人类社会文化和物质文明的发展。例如，在人类历史中，曾有过旧石器时代、新石器时代、青铜器时代和铁器时代等。

材料、结构和几何形状是决定刀具切削性能的要三要素，其中刀具材料起着关键作用。20世纪是刀具材料大发展的历史时期。各种难加工材料的出现和应用，先进制造系统、超高速切削、超精密切削的发展和付诸实用，都对刀具提出了更高、更新的要求。预计，21世纪中切削加工工艺不会衰退，刀具和刀具材料将有更大的进展。

目前，高速钢和硬质合金仍然是切削刀具中用得最多的两种刀具材料；而陶瓷和超硬刀具材料也有较大发展，各在一定范围内得到应用。本文将阐述各种刀具材料的新品种、新牌号；化学成分和制造方法对刀具材料性能的影响及其发展规律；在使用中，刀具材料应与工件材料正确匹配。对下一世纪中刀具材料的发展，提出了预测和展望。

二、刀具材料的化学成分

在古代，人类所用的刀具材料多为天然物质，如石材、天然金刚石等，甚至还用过陨铁。到近、现代，绝大多数刀具材料使用人造的材料，可保证大量供应，并使质地均匀、可靠。

纵观各种刀具材料，除人造金刚石的原料为石墨（碳元素）外，其他品种都离不开碳化物、氮化物、氧化物和硼化物。这些化合物都具有高硬度、高熔点、高弹性模量（见表1至表4），正是刀具材料所需要的性质。

如碳素工具钢，其主要成分是 Fe_3C ，即渗碳体。合金工具钢中有复合碳化物，如合金渗碳体 $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ 等。高速钢中有更多的复合碳化物。硬质合金的硬质相主要为 WC 和 TiC ，但经常加入 Ta 、 Nb 等元素而形成复合的固溶体，且必须用 Co 、 Ni 等为粘结材料。陶瓷的基体材料常用 Al_2O_3 和 Si_3N_4 ，但又加入了碳化物、其他氧化物、氮化物，甚至硼化物。立方氮化硼则是一种非金属的氮化物。

在刀具材料中，碳化物用得最多。各种金属碳化物分1型、2型、3型、6型、7型、23型等，即 MC （如 TiC 、 ZrC 等）、 M_2C （如 MO_2C 等）、 M_3C （如 Cr_3C_2 ， Fe_3C 等）、 M_6C （如

$\text{Fe}_3(\text{W}, \text{Mo})_3\text{C}_6$ 等)、 M_7C (如 Cr_7C_3 等)、 M_{23}C_6 (如 Cr_{23}C_6 等)。各型碳化物的生成, 均遵循一定规律。它们也可形成复合碳化物, 但其物理、力学性质难以查到确切的数据。

碳化物、氮化物、氧化物、硼化物的种类如此众多, 在刀具材料的研制和使用中发挥了很大作用。但已被用上并为人所熟知的还只是其中的少数, 多数尚未付诸应用, 这一情况从表 1 至表 4 中可以看出。因此, 人们在研制新刀具材料时, 在化学组分上尚有选择余地和很大的潜力可挖。当然, 表中所列的化合物并非都有用上的可能, 因为不能仅考虑物质的性能, 还应顾及资源、价格、工艺等因素。

表 1 各种碳化物的性质^[2,1]

碳化物 性质	TiC	ZrC	HfC	VC	TaC	NbC	WC
密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	4.85 ~ 4.93	6.44 ~ 6.9	12.20 ~ 12.70	5.36 ~ 5.77	14.48 ~ 14.65	7.82	15.6 ~ 15.7
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	3180 ~ 3250	3175 ~ 3540	3885 ~ 3890	2810 ~ 2865	3740 ~ 3880	350 ~ 3800	2627 ~ 2900
硬度 (HV)	2900 ~ 3200	2600	2533 ~ 3202	2800	1800	2400	2400
弹性模量/GPa	316 ~ 448	323 ~ 489	433	260 ~ 274	371 ~ 389	344	536 ~ 721
碳化物 性质	MO_2C	B_4C	SiC	Cr_3C_2	Cr_7C_3	Cr_{23}C_6	Fe_3C
密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	8.90	2.50 ~ 2.54	3.21 ~ 3.22	6.68	6.92	6.97 ~ 6.99	—
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	2690	2350 ~ 2470	2200 ~ 2700 分解	1895	1782	1518	1650
硬度 (HV)	1500	2400 ~ 3700	3000 ~ 3500	1800	1882	1663	860
弹性模量/GPa	544	295 ~ 458	345 ~ 422	380	—	—	—

表 2 各种氮化物的性质^[2,1]

氮化物 性质	TiN	ZrN	HfN	VN	TaN	NbN	Nb_2N
密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	5.44	7.35	13.94	6.08	14.1	8.26 ~ 8.40	8.33
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	2900 ~ 3220	2930 ~ 2980	3300 ~ 3307	2050 ~ 2360	2980 ~ 3360	2050	2420
硬度 (HV)	1800 ~ 2100	1400 ~ 1600	1500 ~ 1700	1500	1060	1400	1720
弹性模量/GPa	616	—	—	—	587	493	—
氮化物 性质	BN (立方)	Si_3N_4	AlN	CrN	Cr_2N	Mo_2N	WN
密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	3.48 ~ 3.49	3.18 ~ 3.19	3.25 ~ 3.30	6.1	6.51	8.04	—
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	2720 ~ 3000 分解	1900 分解	2200 ~ 2300 分解	1500	—	—	800
硬度 (HV)	7000 ~ 8000	2670 ~ 3260	1225 ~ 1230	1000 ~ 1188	1522 ~ 1629	630	—
弹性模量/GPa	720	470	281 ~ 352	—	—	—	—