



金属切削理论 与技术的新进展

● 主 编 袁哲俊
● 副主编 薄化川 姚英学 左武炘

华中理工大学出版社

金属切削理论与技术的新进展

——中国高校金属切削研究会第五届年会论文集

主 编 袁哲俊

副主编 薄化川 姚英学 左武炘



华中理工大学出版社

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

金属切削理论与技术的新进展/ 袁哲俊 主编

武汉:华中理工大学出版社,1995 年 10 月

ISBN 7-5609-1215-X

I. 金…

II. ①袁… ②薄… ③姚… ④左…

III. 金属切削工艺-切削理论-切削技术

IV. TH16

金属切削理论与技术的新进展

主 编 袁哲俊

副主编 薄化川 姚英学 左武炘

责任编辑:叶见欣 钟小珉

*

华中理工大学出版社出版发行

(武汉·武昌·喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

中科院汉理公司印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:22 字数:560 千字

1995 年 10 月第 1 版 1995 年 10 月第 1 次印刷

印数:1-230

ISBN 7-5609-1215-X/TH·76

定价:68.00 元

内 容 提 要

本论文集是我国高等学校和研究所工厂近年来在切削加工生产技术方面最新科研成果的总结汇编,内容包括:切削、磨削、刀具、实验技术、新加工方法和加工自动化等。本书内容丰富,不少论文研究的是机械制造学科的前沿课题,具有很高的学术水平;有的论文是研究解决生产技术关键和新科学实验方法,具有较大的实用意义。

本书可供机械制造专业的教师、研究生、学生和科研人员使用;也可供工厂科研人员参考使用。

中国高校金属切削研究会第四届理事会学术委员会

主任委员 袁哲俊

副主任委员 于启勋 薄化川

委 员 (按姓氏笔划为序)

于启勋 艾 兴 冯肇锡 田春芳 汤铭权 师汉民 任敬心 肖诗纲
吴序堂 金之垣 陈澄洲 姚南洵 袁哲俊 喻怀仁 薛秉源 薄化川

前 言

中国高校金属切削研究会第五届学术年会于 1995 年 11 月 7 ~ 10 日在武汉召开, 这次大会宣读的论文共 79 篇, 其中大部分论文是由六大分会评选推荐、再经研究会的学术委员会复审通过的, 少数论文是特邀专题报告和作者补寄来的。

由于近年来机械制造技术的极大发展, 机械制造专业教学计划的修改、教学内容的更新和新选修课的增设, 金切研究会会员的教学和研究领域也已经大大扩展, 像过去那样将我研究会的活动交流领域仅限于金属切削的教学和科研, 已经不能满足全体会员的要求。经我们研究会常务理事会扩大研究讨论决定, 今后我们研究会的业务范围扩大到与切削加工生产技术有关的一切教学、科研和生产技术。我们欢迎原有的研究会会员更积极地参加研究会的活动, 同时欢迎有关的非会员亦参加我们的活动, 使我们研究会有更强的生命力, 在机械制造学科的教学、科研、生产中发挥更积极的作用。

这次我们研究会学术大会的论文内容已体现了扩大业务活动范围的精神。这次大会宣读的论文包括下列六个方面: 专题报告 3 篇, 金属切削 20 篇, 磨削 12 篇, 刀具 17 篇, 实验技术 10 篇, 新工艺新加工方法 8 篇, 自动化加工技术 9 篇。这次大会宣读的论文质量是很高的, 有相当部分的论文研究是本学科的前沿课题, 有不少论文理论研究深入, 提出了新见解、新观点, 使用了新的仪器和最新的实验方法, 有的研究成果已在生产中得到应用。这些论文达到很高的学术水平, 代表了我国切削加工生产技术的最新研究和发展, 由此可看到机械制造业的新成就和新发展。

这次论文的作者有老一辈的专家, 同时更有大批的青年学者、博士研究生和硕士研究生, 这批青年学者的成长说明我们事业的兴旺发达、后继有人。

本论文集的编辑工作是在研究会的学术委员会领导下由袁哲俊教授、薄化川教授、姚英学副教授主持下进行的, 在评审、编辑、整理过程中得到各分会、各论文作者的大力支持和很多院校的帮助, 论文的编审出版得到华中理工大学师汉民教授、鲍剑斌副教授和出版社的大力支持和帮助, 谨此表示衷心的感谢。

中国高校金属切削研究会学术委员会

1995 年 6 月 20 日

目 录

一 主题报告

切削加工生产技术的发展展望	哈尔滨工业大学	袁哲俊等	1
集成制造面面观	华中理工大学	师汉民	5
论现代制造系统中的切削技术	北京理工大学	于启勋等	9

二 切 削

加工镍基合金时晶须增韧陶瓷刀具的寿命及损坏机理研究	山东工业大学	赵 军等	13
非自由切削中的排屑干涉	华中理工大学	师汉民等	17
带断屑槽的可转位刀片的流屑角研究	大连理工大学	胡荣生等	21
横向弯曲"C"形屑折断机理的研究	哈尔滨科技大学	徐亦红等	25
金属单晶材料的超精密切削	哈尔滨工业大学	周 明等	29
纯铝精密车削的研究	华中理工大学	左武圻等	33
涂层硬质合金刀具的切削机理及应用	北京理工大学	牧森林等	38
超高速切削加工技术	同济大学	赵仲义等	43
金属切削过程的层间效应模型	北京工业大学	高希正等	49
预报正交切削中剪切角的修正拉格朗日有限元方法	佳木斯工学院	顾立志	53
GH761、GH169 拉削加工性研究	沈阳航空工业学院	庞丽君等	58
DF 深孔钻削中切屑变形与切削力的研究	成都电子机械高等专科学校	高春华等	62
切削Ca—S易切不锈钢时前刀面覆盖膜的分析	东北大学等	石 儒等	66
镍钼基高温合金的低温切削	大连理工大学	王更梅等	70
PCBN 刀具切削淬火钢的试验研究	大连理工大学	丁维军等	74
立方氮化硼刀具车削高硬度热喷涂涂层的试验研究	装甲兵工程学院	翁熙祥等	79
切削用量优化数学模型的解析分析	北京理工大学	庞思勤等	82
石油机械常用材料切削数据库和切削用量计算器	上海大学	周家宝等	87
硼氮型合成切削液的研制	唐山工程技术学院	贾晓鸣等	92
立方氮化硼刀具加工淬硬钢的应用	天津中德技术培训中心	李 林	96

三 磨 削

磨削加工表面残余应力的预报	华南理工大学	胡华南等	100
磨削 ZrO_2 增韧陶瓷的相变研究	华中理工大学等	王西彬等	106
电解机械复合镜面抛光工艺试验的分析研究	西安工业学院	李福援等	110

ELID 镜面磨削用铸铁超硬砂轮修锐质量评价	哈尔滨工业大学	王平等	114
仿人自动研磨陶瓷的试验研究	吉林工业大学	赵继等	118
磨料流加工流动形态的研究	华南理工大学	汤勇等	122
大型零件振动超精研磨的研究	成都科技大学	王有全等	126
磨削加工优化研究	北京理工大学	刘玉桐等	130
论磨削油的粘度与其使用效能的关系	山东工业大学	刘镇昌等	136
平面磨削火花激起之线上监测	台湾“清华大学”	蔡习训等	140
金刚石砂轮磨削特性的研究——单颗粒金刚石对硬质合金的磨削	天津大学	郝永健等	148
磨削中凸型面陶瓷零件时金刚石砂轮的修整	清华大学	冯之敬等	152

四 刀 具

异型的渐开线齿轮几何造型原理研究	大连理工大学	姚南旬等	156
齿条刀切削非圆齿轮形成的过渡曲线探讨	华中理工大学	刘辉等	161
剃齿刀齿形修磨的新方法	山东矿业学院	王素玉等	165
圆磨式滚刀的精度与装配方法的探讨	阜新矿业学院	孙海林等	169
剃齿刀计算机辅助设计和重磨参数的计算	太原工业大学	郭文亮等	173
矩形花键滚刀代齿形优化新方法	唐山工程技术学院	王正君等	177
克林贝格机床刀盘工作原理及刀齿研制	唐山高等专科学校	刘信举	181
金刚石薄膜涂层刀具及其应用	哈尔滨工业大学	张宏志等	186
PVD 涂层刀具及涂层设备	大连大学	沈延心等	191
高速钢刀具离子镀氮化钛涂层的研究及应用	北京广用机电高技术公司	高立超	196
硬质合金刮削铣刀盘重磨方法的仿真分析	阜新矿业学院	孙进平等	200
横刃长度可控的钻头后刀面刃磨法	贵州工学院	何林等	204
陶瓷刀具的研制和有效缝长加工的控制	天津城市建设学院	杨贺来等	208
圆体拉刀的优化设计	河北工学院	李世杰	212
弯曲振动镗刀杆的设计及试验研究	吉林工业大学	沈维华等	216
开径向槽圆锯片的动态特性的研究	北京林业大学	崔文彬等	220
不同工况下的刀具可靠性模型	山东工业大学	李兆前等	224

五 实验技术

测力轴承在切削过程监控中的应用与发展	大连理工大学	孙宝元等	228
加工中心刀具破损 AE 信号的检测新方法及其应用	哈尔滨工业大学	姚英学等	232
声发射监控技术在成形磨削中的应用	南京理工大学等	陈明等	237
DF 深孔钻削中动态轴向力的研究	四川联合大学	张春雷等	241

CBN对淬硬钢挤压试验研究	华北航天工业学院	付建军等	245
以热电偶遥测切屑与刀具交界面热通量及温度变化的理论探讨	台湾大华工商专科学校等	陈文洲等	249
用高能激光束标定各种热电偶试验研究	长春汽车工业高等专科学校等	田志勋等	254
金属切削DBJ计算机辅助分析与计算系统	西安公路学院	狄宝晶	260
孔加工微机补偿技术	上海轻工业高等专科学校等	居季成等	264
金刚石强度的分布及其评定方法研究	大连理工大学	李享德等	268

六 工艺新方法

超精密外圆钢球顶磨的实践与分析	上海交通大学	朱训生等	273
非对称表面的金刚石车削研究	哈尔滨工业大学	王晓慧等	277
陶瓷材料超声旋转复合加工法的机理及实验研究	天津大学	谢建东等	281
高速钢磨屑再利用的研究	哈尔滨工业大学等	王 杨等	285
BTA深孔浮动铰削与挤压的研究	太原工业大学	吕 明等	289
冲切法加工塑料微灌地膜小孔的试验研究	内蒙古工业大学	白 胜等	294
213吉普车凸轮轴分电器齿轮优化滚切过程的试验研究	北京广用机电高技术公司	高立超等	298
关于塑料模具型腔表面花纹成形工艺的研究	南京理工大学	夏德荣等	302

七 自动化加工技术

基于特征的可转位刀片检测技术的研究	华中理工大学	石东平等	306
CAPP系统中切削策略的研究	浙江大学	潘晓弘等	310
关系数据库中专家系统式CAPP的建立	华中理工大学	龙剑飞等	315
刀具数据库管理系统	华北航天工业学院	荣瑞方等	318
刀具CAD中自动设计方法的探讨	哈尔滨工程大学	单忠臣	322
轴颈车床微机控制自动加工系统	天津大学分校	赵九长等	326
机夹不重磨刀具微机设计系统	郑州纺织工学院	牛永生	330
论刀具技术中计算机辅助技术应用方法学	北京联合大学	彭伯平	333
基因遗传算法用于连杆检测系统结构参数的优化	华中理工大学	熊良山等	337

CONTENT

Keynote Speech

Prospect of Developments in Cutting and Production Engineering	<i>Yuan Zhejun, et al.</i>	1
General Survey of Integrated Manufacturing	<i>Shi Hanmin</i>	5
On the Machining Techniques For Advanced Manufacturing System	<i>Yu Qixun, et al.</i>	9

Cutting

Study on Life and failure Mechanisms of Whisker Reinforced Ceramic		
Cutting Tool in Turning Nickel-Based Alloys	<i>Zhao Jun, et al.</i>	13
Study on Chip Interference in Non-free-cutting Process	<i>Shi Hanmin, et al.</i>	17
Study on the Chip Flow Angle of Indexable Inserts With a Chip Former	<i>Hu Rongsheng, et al.</i>	21
The Research on Breaking Mechanism of "C" Type Cross-Bending Chip	<i>Xu Yihong, et al.</i>	25
Ultraprecision Cutting of Metallic Single Crystals	<i>Zhou Ming, et al.</i>	29
Analysis of Precision Turning on Pure Aluminium	<i>Zuo Wuxin, et al.</i>	33
The Cutting Mechanism of Coated Carbide Tools and Its Application	<i>Mu Senlin, et al.</i>	38
On High-speed Cutting Techniques	<i>Zhao Zhongyi, et al.</i>	43
The Model of Layer Effect in Metal Cutting Process	<i>Gao Xizheng, et al.</i>	49
A Modified FEM for Shearing Angle Prediction in Orthogonal Cutting Process	<i>Gu Lizhi</i>	53
An Experimental Study on Broaching Feasibility of GH761 and GH169 Material	<i>Pang Lijun, et al.</i>	58
Research of the Chip Deformation and Cutting Force in DF		
Deep-hole Drilling	<i>Gao Chunhua, et al.</i>	62
Study on Adhering Layer Formed on Rake Face in Machining		
Free-cutting Stainless Steel	<i>Shi Ru, et al.</i>	66
Study on Low-temperature Cutting of Hastelloy	<i>Wang Gengmei, et al.</i>	70
An Experimental Study on Cutting Hardened Steel with PCBN	<i>Ding Weijun, et al.</i>	74
An Experimental Study on Turning High Hardness Thermal Spraying		
Coating Using CBN Tools	<i>Weng Xixiang, et al.</i>	79
The Analytical Study of Mathematical Models for the Optimization of		
Cutting Output	<i>Pang Siqin, et al.</i>	82
Machining Data Bank for Petroleum Machinery and Machining		
Data Calculator	<i>Zhou Jiabao, et al.</i>	87
Development of B-N-type Synthesis Cutting Fluid.	<i>Jia Xiaoming, et al.</i>	92
Application of CBN Tool in Hardened Steel Cutting	<i>Li Lin</i>	96

Grinding

On Prediction of Residual Stress in Grinded Surface	<i>Hu Huanan, et al.</i>	100
The Transformation of ZrO ₂ Toughened Ceramics During Grinding	<i>Wang Xibin, et al.</i>	106
Research on the Test of Electrolytic Abrasive Mirror Finishing	<i>Li Fuyuan, et al.</i>	110
Evaluation of Dressing Quality for Cast Iron Bonded Superabrasive		
Used in ELID Mirror Surface Grinding	<i>Wang Ping, et al.</i>	114
An Experimental Study on Automatically Polishing of Industrial		
Ceramics with Robot	<i>Zhao Ji, et al.</i>	118

Study on Fluidic Morphology in Abrasive Flowing Machining	Tang Yong, et al.	122
Study on Precision Lapping of Heavy Parts With Vibration	Wang Youquan, et al.	126
Optimization of Grinding Process	Liu Yutong, et al.	130
On the Relations of Grinding Viscosity and Its Grinding Performance	Liu Zhenchang, et al.	136
In-process Detection of Initial Spark In Face Grinding Process With Accoustic Emission	Cai Xixun, et al.	140
Research on Grinding Characteristics of Carbide Grinding with Single Point Diamond	Hao Yongjian, et al.	148
A Method for Diamond Wheel Dressing in Grinding Convex Surface of Ceramics	Feng Zijin, et al.	152

Cutting Tool

Research on Geometric Forming Principle for the Involute Gear with Special Shape	Yao Nanxun, et al.	156
Study on Transition Curve Formed by Gear Rack Tool Cutting Non-circular Gear	Liu Hui, et al.	161
A New Method for Modifying-Grinding the Shaving Cutter	Wang Suyu, et al.	165
Research into Precision of Inserted Blade Hobs and Assembly Method	Sun Hailin, et al.	169
Computer-Aided Design and Regrinding Calculation of Shaving Tool	Guo Wenliang, et al.	173
A New Optimizing Method of Hob Approach Profile	Wang Zhengjun, et al.	177
The Principle of Klingelnberg Gear Genarating Machine and Development of its Cutter	Liu Xinju	181
Diamond Film Coated Tool and its Application	Zhang Hongzhi, et al.	186
Coating Tool and Coating Equipment	Shen Yanxin, et al.	191
Investigation of TiN-coated HSS Tool with Ionic Plating and its Application	Gao Licao	196
Simulation of Resharpening Carbide Finishing Cutter	Sun Jinping, et al.	200
A Regrinding Method of Drill Flank with Controllable Chisel Edge Length	He Lin, et al.	204
Study of Ceramic Cutter and the Processing of the Effective Lines Length are Controlled	Yang Helai, et al.	208
Majoryizing Design of Round Broach	Li Shijie	212
Design and Experimental Investigation of Bending Vibration Boring Bar	Shen Weihua, et al.	216
Study on the Dynamic Characteristics of Circular Saw with Radial Slots	Cui Wenbin, et al.	220
Reliability Models for Tools Under Different Cutting Conditions	Li Zhaoqian, et al.	224

Experimental Techniques

Study on Applications of Intelligent Force-measuring Bearings to Cutting Process Monitoring	Sun Baoyuan, et al.	228
On a New Method for AE Signal Detection in Machining Center and its Application in Tool Monitoring	Yao Yingxue, et al.	232
Application of AE Technique in Form Grinding Process	Chen Ming, et al.	237
Research on Dynamic Axial Force in Deep-hole Drilling	Zhang Chunlei, et al.	241
The Study of Squeezing Hardened-Steel by a CBN	Fu Jiangjun, et al.	245
Determination of the Temperature Responses at the Rake Face of Cutting Tools Using a Thermocouple	Chen Wenzhou	249
The Study of Thermocouples Calibrated by Laser Beams	Tian Zhixun, et al.	254
A Computer-Aided Experiment System for Metal-Cutting Experiments	Di Baojin	260
PC Compensation Technique for Hole Machining	Ju Jicheng, et al.	264
The Strength Distribution and its Evaluation of Diamond Grains	Li Xiangde, et al.	268

New Techniques In Machining

Investigation on Ultraprecision Grinding of Cylindrical Surface with a Spheroidal Center Head	Zhu Xunsheng, et al.	273
Study of Diamond Turning for Asymmetrical Surface	Wang Xiaohui, et al.	277
An Experimental Study on Ultrasonic-Grinding Compound Machining of Ceramics	Xie Jiandong, et al.	281
The Study of Regeneration for Grinding Chip of HSS	Wang Yang, et al.	285
The Study of BTA-Floating Reamming and Extruding Deep Holes	Lu Ming, et al.	289
A study on the Punching Method of Slow-irrigation Land-covered Plastics Film Orifice	Bai Sheng, et al.	294
An Experimental Study on Optimization of Hobbing Process in Machining Camshift Timing Gear of 213 Jeep	Gao Licao, et al.	298
A New Technique for Producing Decorative Figure on the Inner Surface of Mould for Plastic Products	Xia Derong, et al.	302

Automation

Study of Feature-Based Indexable Insert Testing Technology	Shi Dongping, et al.	306
Research of Cutting Strategy in CAPP System	Pan Xiaohong, et al.	310
The Plant of CAPP of Expert System in Related Database	Long Jianfei, et al.	315
A Management System for Cutting Tool Database	Rong Ruifang, et al.	318
Investigation in Automatic Design Method of Cutter's CAD	Shan Zhongchen	322
A Microcomputer Control System for Axle Journal Turning	Zhao Jiuchang, et al.	326
A Program of Designs of Clamping Indisposable Cutting Tool	Niu Yongsheng	330
On the Application Methodology of Computer-Aided Technology in Cutting Tool Design and Manufacturing	Peng Boping	333
Applying Genetic Algorithms to the Optimization of Structure Parameters of Precision Instruments for Measuring Conrods	Xiong Liangshan, et al.	337

切削加工生产技术的发展展望

袁哲俊 姚英学

(哈尔滨工业大学)

摘 要 切削加工生产技术近年有了极大发展提高,本文对先进制造技术发展的主要领域如切削、磨削、精密、超精密加工和自动化等方面的新成就和发展趋向作了概括介绍。

1 概述

由于对产品数量、质量、品种要求不断提高,产品更新日益加快和国防尖端技术不断提出新要求,同时由于数控技术、计算机技术、微电子技术、自动控制、人工智能、自动检测等多种高新技术在机械制造中的应用,在过去十多年中机制工业发展迅速面貌有了极大的变化。

剧烈的市场竞争和发展尖端国防工业的急需都对提高切削加工生产技术提出迫切的要求。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。

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,美国的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,但到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),指出必需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,其中有第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。我国“九五”规划中也已将先进制造技术列为重点发展项目。

近年来切削加工生产技术发展迅速,新技术不断涌现,我们必须及时应用和发展这些新技术,加速发展提高我国的机械制造技术水平。下面是切削加工生产技术主要的发展动向。

2 新形势时切削与磨削技术的要求

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,由于机械产品性能的不断提高,绝大部分机械零件最后需经机械加工。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。因此提高切削加工的效率和质量仍是机械制造业的重要课题,切削加工是机械制造的基础不容忽视。

机械制造自动化和精密加工的发展对切削技术提出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。由于这些新机床设备的价格十分昂贵,提高切削加工效率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亦有一定进展。国外在加工中心上使用的高效高精度成套刀具已有优质定型产品,我国在这方面还有相当差距。

国外发展高效强力磨削已很有成效,大吃深缓进给磨削已在生产中使用。而我国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 $60 \sim 80 \text{ m/s}$,生产中使用的磨削速度亦远较国外为低。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。

3 精密和超精密加工技术

精密和超精密加工技术在尖端技术和现代武器制造中有非常重要地位。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放在极重要位置。这是因为尖端技术和国防工业的发展离不开精密和超精密加工技术,同时很多新机电产品要提高加工精度,促使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 0.5 nm ,将引起 100 m 的射程误差和 50 m 的轨道误差。再如激光陀螺的平面反射镜,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 $R_{a \max} \leq 1 \text{ nm}$,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 $R_a \leq 0.01 \mu\text{m}$, 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。因为集成电路要求电路中各种元件微型化, 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 年代开始开发这项高技术, 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 $0.05 \mu\text{m}$, 加工形状精度 $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$, 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 型卧式大型金刚石车床, 可加工 $\Phi 2100\text{mm}$, 重 4500kg 的工件; 1984 年 9 月研制成功 LODTM 型立式大型光学金刚石车床, 可加工 $\Phi 1625 \times 500\text{mm}$, 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 $2500 \times 2500\text{mm}$, 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, 现有加工方法和设备已很难满足要求, 要再提高加工精度不仅难度大, 而且加工成本急剧提高。因此在线测量和误差补偿成为超精加工的重要方向。误差补偿可使加工轴的精度自 50nm 提高到 $10 \sim 20\text{nm}$, 导轨运动直线度自 50nm 提高到 $10 \sim 20\text{nm}$ 。

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。

纳米技术是超精密加工中的一个极重要新发展, 已是国外研究的热点, 英国成立了纳米技术战略委员会, 美国将纳米制造技术列为发展重点。微型机械已在多国进行研制, 扫描隧道显微镜已逐渐成熟应用, 并且发展原子力显微镜、应用隧道效应进行原子级的加工, 实现原子搬运。我国这方面工作开展较晚, 亟应投入力量, 加强这方面工作。

4 机械制造自动化的新发展

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。

汽车的大量自动化生产是美国发明的, 使美国在很长时间处于世界领先地位, 但是由于产品多变的要求, 计算机自动控制技术的发展, 使刚性自动化成为落后技术, 数控技术、柔性自动化技术正在逐步改变机械制造面貌。

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音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)应用日广。现在正在研究计算机集成制造系统(CIMS),不仅使工厂和车间生产自动化,而且将工艺准备、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。在相当时间CIMS的呼声甚高,认为是机械制造的发展方向。

但按现在的概念建立CIMS需要极大的硬件投资,要建庞大的数据库、编制大量的软件,不仅需要大量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的概念应该更新,不应强调全盘自动控制,而应多考虑各部分的灵活制造(Agile Manufacturing)和智能制造,以适应迅速的技术发展和多变的产品及快速的产品更新。在过去的二十多年中美国的汽车工业基本上属于大量生产,而日本开拓了一种灵活的制造方法。按照这种方式,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。在美国工厂更换模具需要8~24小时,而在日本工厂5分钟即可更换完毕,并使产品质量一次合格,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,因此日本可以根据用户要求生产不同品种汽车,而美国汽车品种少,结果使日本汽车大量进入美国市场,因此即使在产量很大的汽车工业中灵活制造方式亦有很大的优越性,而在其他多变产品的制造部门优越性就更大了。

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制造方式,因它有较大的灵活性,可以在多种的生产条件下推广使用。

CAD/CAM一体化技术的发展应用大大的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)的思想现在已被更多的人接受,在保证产品性能要求的前提下大大减少了制造成本,缩短了生产周期。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3.5分钟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。

在现代机械制造自动化中多项新技术新概念的应用,使自动化出现新面貌,人工智能技术、神经网络模糊控制、并行工程、多媒体技术使机械制造自动化达到了新的科学高度。

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,为我国的机械制造业早日达到世界先进水平而努力。

Prospect of Developments in Cutting and Production Engineering

Yuan Zhejun, Yao Yingxue

(Harbin Institute of Technology)

Abstract Great progress in cutting techniques and production engineering is made in recent years. This paper introduces the new achievements and prospect of further developments in advanced manufacturing technology.

集成制造面面观

——探源、展望、反思和对策

师汉民

(华中理工大学)

摘 要 本文反映作者本人对于制造系统的集成以及计算机集成制造系统的认识和见解,着重从信息技术的水平及其发展来探讨制造系统组织结构和运行方式的演变,并且将 CIMS 作为以计算机为中心的现代信息技术条件下的新一代制造系统来加以考察和研究。文章对我国的 CIMS 实践进行了反思,并论述了我国实施 CIMS 的国情与策略。

关键词 制造系统;计算机集成制造系统

1 制造系统的集成

制造产业是人类社会赖以生存和发展的基础,是社会物质财富的主要来源。由于市场的国际化与生产的高度社会化,今天,全球的制造产业正在集成为一个复杂、庞大的制造系统。制造系统内部各环节、各子系统之间,以及制造系统与外部的错综复杂的关系和联系,形成今天人类经济生活的一大特色。今天,制造系统中的某一个局部的变化,可能会波及全局,造成大面积、长时间的影响。在现代复杂多变的市场环境中,制造系统正在不断地经历着动态的扰动,进行着动态的调整。这种情况要求我们必须以系统的观点和动态的方法来看待制造系统,而孤立的、静止的观点和方法是决不可能奏效的。

制造系统包含市场调查、投资决策、产品设计、加工、销售与售后服务以及管理等组成环节或单元,而在这些环节之间流动的物质材料、能量与信息则是组成现代制造系统的三大要素。

自从人类的制造活动出现专业分化和行业分工以来,在制造系统中各环节、各单元的有效集成,就一直是制造活动得以正常进行的基础。所谓集成,其实质就是制造系统的组织结构与运行方式的问题,也就是如何将制造企业的各部门、各环节组成一个有机的整体,使之成为具有共同目标的系统;这个目标就是企业的全局最佳效益和长期稳定效益。由此可见,制造系统的集成,并不是一个新出现的问题。

制造企业的集成方式,即它的合理结构与有效运行方式是随着制造技术的发展而不断演化的,它经历了早期的手工业作坊模式,发展到泰勒模式和福特模式直到现代模式。贯穿在这一发展过程中的一条主线是制造系统内外的信息沟通与交流的问题。事实上,信息的沟通和交流是系统集成的基础和关键。在任何时代,制造系统的集成方式是受到当时的信息技术水平的制约的。泰勒和福特时代的线性结构、顺序决策、精细分工、流水作业以及集中领导和分级管理的模式,是与当时以蓝图和工艺卡作为沟通与交流制造信息的信息技术水平相适应的。泰勒和福特的模式被我国大多数制造企业一直沿用至今。以今天的眼光来看,这种模式明显地存在调度不灵、响应迟缓、缺乏柔性、抗扰动能力差以及资金周转不快等弱点,不适应今天市场多变、竞争激烈的现状。可是在原有信息技术的水平上,新一代的企业组织结构和运行模式是不可能设想、更无从付诸实践的。

以计算机为中心的新一代信息技术,包括微电子技术、传感和检测技术以及现代通讯技术的崛起和高度发展,已经从根本上改变了制造工程中信息技术的面貌与水平,并引发了其组织

结构和运行模式的革命性的变化和飞跃。

2 计算机集成制造系统

所谓计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System—CIMS),即指以计算机为中心的现代信息技术条件下的新一代的制造系统。其真谛在于以计算机来辅助制造系统的集成,即以充分的信息交流或信息共享,促进制造系统或制造企业组织结构的优化与运行优化,其目的则在于提高企业的竞争能力和生存能力。由此可见,CIMS之新,就新在现代信息技术的应用,以及在这种技术环境下制造系统的新的组织形式和运行方式。

作为新一代的制造系统,CIMS与传统的制造系统比较起来,具有突出的特点和质的差异。

2.1 信息共享和全局最优

借助于现代计算机网络技术和CAD、CAM、STEP、MAP、TOP和MRP(Ⅱ)等计算机辅助设计,制造与管理软件系统,可以高效率地在一个制造企业的设计、工艺、供销和管理部门之间,在各车间、以及各生产设备之间、以及在一个集团的各企业之间、乃至企业与客户之间充分地、及时地沟通信息,包括产品信息、工艺信息、供销信息和管理信息等,实现信息资源共享,并在此基础上保证制造系统内部各环节、各部门步调的高度协调,以便在市场波动条件下,确保企业的最优整体效益。

这里必须强调,“集成”固然必须以信息的沟通为前提,但“集成”并不止于信息的沟通,单纯的信息沟通只是“连结”,而不是“集成”。集成是要构成具有总体目标的系统,为此,除了信息的沟通以外,还必须有对于信息的理解,以及基于完善的系统模型的对于信息的实时处理与反馈操作。

2.2 分布性与并行性

高效的、通畅的信息交流和实时的信息处理与操作,使得制造企业的组织结构和运行方式发生了质的变化。泰勒和福特式的线性结构为平等式的环状结构所取代,顺序决策为并行决策所取代,精细分工和流水作业为工序集中的柔性生产设备、独立制造岛或具有综合功能的工作队(work teams)所取代,而集中领导和分级管理,则为分布式、平等式的管理模式所取代。在这种模式下,制造系统中的各个子系统或各个单元可根据其所处的环境信息,自行决策,“各行其是”,而在总体上又能自然地相互协调、相互适应,形成一种最合理的结构与最优的运行方式。这是一种自然天成的系统。在这种系统中,其上级主管部门或上层计算机(host computer)仅起监督、仲裁或立定“规矩”的作用,而并不控制系统的日常运行,可以说是“无为而制”。

2.3 柔性、鲁棒性和动态适应能力

如前所述,充分的信息沟通形成一种强有力的“信息键”,它将制造系统的各部分联接成为一个整体,以保证步调的协调一致。可是一个耐人寻味的事实是,这种信息的沟通和信息键的联接,不仅没有限制系统中各单元的自由度,反而在保证系统总体效益和长期效益的基础上,使系统的各组成单元享有充分的独立性和自主决策能力。而这种独立性和自主决策能力极大地增强了整个系统的柔性、容错性、抗环境扰动或突发事件的鲁棒性(Robust)和动态适应能力。而这种特性和能力,对于处在多变的市场环境和激烈竞争中的现代制造企业来讲,具有关键的意义。

这里来回顾一下制造业和制造系统形成和发展的历史,也许是有启发的。早期的手工业者基本上是一些自然并存的实体,其间没有(或很少有)信息的沟通与交流。他们在生产中可以、也必须自作主张,各自为政,享有充分的独立性。可是,这种独立性实质上是一种分散性和盲目性。不足以构成一个系统,亦无总体效益可言。随着制造业的发展、信息的沟通、制造系统的形成和对于总体效益的追求,系统中各组成单元必然要以牺牲某种程度的独立性或自主性为代