

从 CIRP 第 34 届 年 会 看金属切削研究动向

刘 培 德*

摘 要

作者根据第 34 届 CIRP 年会情况综述了当前机械制造的总趋势是自动化、精密化和难加工材料的应用。反映在金属切削研究的主导思想仍然是科研必须结合工业需要。切削过程机理的研究、计算机的大量应用和应用优化理论、统计数学进行优化设计,是研究中的三个重要特征。

(一)

国际生产工程研究会,代号 CIRP,是法语 *College International Recherche Production* 第一字母的简称,其英文译名为 *International Institution for Production Engineering Research*。该组织于 1951 年由比利时、法国、英国、瑞士四国的权威人士发起,至今已有 34 个国家的领头科学研究工作者参加,拥有 134 名正式会员和 72 名通讯会员。其目的是促进生产工程的研究,以适应工业的需要。研究对象是固体材料的机械加工、压力加工、装配、检测与产品质量等。近十年来着重搞计算机集成制造系统,研究预测自动化及先进制造方法对人类、社会及经济的影响,该会的理事会设在巴黎,每年八月举行年会,轮流在世界各国举行。其它时间有各种专科委员会活动,组织会员进行研究协作。由于该会的国际性与权威性,我国自 1979 年以来均派人出席年会。南京航空学院张幼楨教授被接受为正式会员,机床研究所总工程师张克昌被接受为通讯会员。

今年的年会在美国威斯康辛州威斯康辛—麦迪逊大学工学院举行,到会代表及被邀请者约二百余人,其中知名人士不少,例如美国的 Merchant、Field、Shaw、Loewen、Boothroyd、Von Turkovich 等,西德的 Koenig、Tonshoff,英国的 Davis、Chisholm,苏联的 Loladze,南斯拉夫的 Peklenik,意大利的 Levi,日本的 Sata、Sato、Uehara 等。本届会长是英国 Salford 大学的教授 A. W. J. Chisholm,副会长是日本东京大学教授 T. Sata 左田登之夫。根据规定,下届会长由副会长左田登之夫继任,年会地点选在意大利的西西里岛。本届年会从八月二十日开始,到二十五日止,共计六天,前三天是宣读论文,后三天是

•兼任中国高校金属切削研究会理事长。

本文 1984 年 9 月 27 日收到。

会务讨论,主要是各专科委员会讨论工作计划。

论文宣读分八个组进行:(1)切削组,主席是 *B. F. Von Turkovich*; (2)物理及化学加工组,主席是 *Ir. C. J. Heuvelman*; (3)压力加工组,主席是 *K. Lange*; (4)磨削组,主席是 *E. Salje*; (5)机床组,主席是 *J. G. Bollinger*; (6)优化及自动化组,主席 *W. Eversheim*; (7)质量控制与检测组,主席 *P. Vanherck*; (8)表面质量组,主席 *A. Wirtz*。八组中论文最多的是切削组和优化组,各进行六个单元(每单元约 1.5 小时);其次是机床组,四个单元。每篇论文报告 20 分钟,讨论 10 分钟。我国这次在会上宣读的论文共二篇:一篇是南航张幼桢教授等写的论文“切屑流向的实验研究及其在切屑控制上的应用,”另一篇是同济大学张曙副教授等写的论文“TOIICAP, 一个对迴转体另体计算机辅助编程的系统”。

以上是会议总的情况。

(二)

下面我扼要介绍一下会议主要发言和切削组的论文,以便了解国际上金属切削的研究动向。

首先是会长 *A. J. W. Chisholm* 的开幕词。开幕词为什么要介绍?因为它与众不同,不是一篇惯例的讲话,而是以切身的经历讲述对学会工作的意见。他有长期的实际工作经验,又有扎实的理论基础;既当过英国著名的机械工程研究实验所 *MERL* 的负责人,又当过 *Salford* 皇家工学院的机械系主任;他出任英国驻美大使馆参赞期间研究了美国的工业管理,是一位知识面很广而又有较深造诣的专家。他的主要观点是科研要结合工业需要。基础研究与工程研究在古今中外都是科研方向摇摆的两端,必须处理好。英国有教训,出了许多诺贝尔奖金获得者,但生产却落在美国后面,上不去, *Chisholm* 也许是从这一角度出发讲的。*CIRP* 也强调为经济建设服务。我国的方针“科技必须面向经济建设”更是明确。这不是说不要搞基础研究,而是应有适当的比例,不同的单位和个人可以有所侧重,但就多数来说应该重视解决生产实际问题;即使是搞基础研究,也应有明确的为生产服务的目的。不久前我参加过一次科技鉴定会,是中国科学院力学研究所和大连机车车辆厂合搞的激光热处理加工系统,可以提高内燃机车气缸使用寿命,经济效益很大。大功率激光发生器由力学所研制,工艺部分则由机车厂承担,各家发挥各自优势,一年时间就搞成了。这是一个很好的经验。

这次大会上发言的还有三位美国公司分管技术与科研的经理,他们的发言围绕一个共同题目“美国制造环境在变化中”。所谓变化主要指计算机设计、制造与模拟,成组工艺以及柔性制造系统等。

切削组的论文提交年会宣读的共 19 篇。其中和自动化有关的计 12 篇,和切削过程与力学有关的 4 篇,关于难加工材料的有 2 篇,关于工艺过程优化的 1 篇,可见自动化是当前机械制造发展的主要方向,各工业先进国家都很重视。

由于自动化的发展,切削用量的选择非常重要,它影响着整个生产过程的生产率、成本以及加工质量与可靠性。而其中最关键的是刀具寿命问题。刀具能否正常工作不致破损,磨损是否正常,工作多少时间换刀最为经济,这些问题必须很好地解决。以前研究刀具磨损,多以

正常磨损为对象,现在则对脆性破裂也作了较深入的研究。硬质合金端铣刀在重型间断切削时,打刀问题颇为严重,引起许多学者的重视。本次年会上,荷兰 *Van Lutter Velt* 和 *Pekelhaar* 等提出的“硬质合金端铣刀切出时的破损”一文作了较深入的分析。根据刀具和工件的相对部位,切出时的切屑形态可分为四种类型,有的类型招致刀刃破损。他们从切屑类型找出了刀具破损的原因,是一篇很有价值的论文。用高速钢弓锯机加工奥氏体不锈钢时,产生微剥落现象,是这种加工方式刀具磨损的主要特徵。瑞典的 *Chandrasekaran* 等对此问题作了深入的研究。他测量了锯削力的变化,并用光学显微镜和扫描电镜观察微剥现象,发现有二种微剥现象,一种和锯削过程有关,另一种与刀具材料有关。他用有限元法估算了刀齿上的应力,发现在切入、切出和退回时最易破裂。关于正常磨损的研究已发表过很多文章,这次年会香港 *Venuvinod* 等提出了一篇论文,题为“从后刀面接触温度估计控制接触刀具寿命的分析”。文中证明刀具寿命和平均后刀面温度有关,而后者又与切削速度有关,并且得到前刀面控制接触长度减少,刀具寿命增加的结论。在自动化生产中,换刀时间以多长为好也是许多人研究的课题。在本次年会中,有三篇文章讨论这一问题。一篇是意大利的 *Noto La Diega* 等的文章“考虑刀刃跑合时的最佳换刀策略”指出跑合可减少未能预测的刀具破损危险,提出它对换刀策略的影响,以及根据最低成本计算换刀时间的方法。第二篇是瑞典 *Kinnander* 等的“在混合制造系统中控制加工性变动的策略”。在无人混合制造系统中有多种策略可供选择:(1)选择低的、可靠的切削数据;(2)根据工件材料平均加工性选择;(3)根据每把刀的性能选取;(4)根据泰洛公式中实际系数调正。本文对这几种方法的加工费用作了比较,结论是第四种的加工费用最少(不考虑系统投资)。象这类着重经济分析的研究,在我国还很少。第三篇是意大利 *Cumani* 等的论文“多刃刀具切削状况的离散描述”。本文用 *Markovian* 数学模型来识别和估计多刃刀具的磨损过程,可在任一阶段估计刀具的剩余寿命,以便进行寿命控制。

当前模具制造发展很快,对加工模具的立铣刀的寿命研究也是大家关心的课题。这次年会意大利 *Kaldor* 等提出了一篇论文“双齿立铣刀后刀面形状的研究。”文中对不同的后角及曲面、平面等后刀面形状进行比较,结论是对立铣刀,后角以 10° 最佳;曲面立铣刀,后角以 12° 最佳。在加工中心上用立铣刀加工一个另件,方案可以很多。采用什么走刀途径、用什么铣刀,切多少刀以及选用什么切削条件等才可以使生产提高,是很有经济价值的一个实际问题。苏联 *Ostafiev* 等提出的论文“集成立铣优化的发展”,是用成组数据处理方法(MDHG)建立复合非均匀系统模型,先求最佳途径,铣刀种类,切削次数,然后用非线性扩大的 *Lagrange* 乘子编程法以求最佳切削用量。由此可见,应用优化理论和统计数学是解决工程问题很重要的工具,大学科研人员应具有这些知识。

在自动化系统中不但要有优化的工艺方案和切削条件,而且要有控制或监视的方法,以保证切削过程的正常进行。监视对象可以是刀具的功能、切屑的形状、加工表面质量或其它切削特性,如切削力、温度或振动等。日本的 *Uehara* 在“声发射检测法识别切屑形成”一文中,利用切削过程中刀刃上发生的弹性波,在刀具以及工件上接收信号,可以分辨切屑形成过程,诸如积屑瘤的存在与否,挤裂切屑与间断切屑的区别,工件材料的特性,剪切面的变形以及刀屑接触面和后刀面的摩擦状态等。以前声发射主要根据频谱分析用于在线测试刀具磨损,而本文大大扩大了它的识别范围,是新颖的发现。在高速、重型间断切削中热疲劳

常是刀具损坏的关键,而热疲劳又是难以检测的一个量。美国的 *Merten* 和 *Von Turkovich* 在“热振作为硬质合金质量发展的手段”一文中,提出了硬质合金热振性能的试验方法和质量指标。他们根据试验结果作出 *Weibull* 失效密度曲线,从而标出 *Weibull* 形状参数、信号水平,以及信号/噪声比,其中信号水平,信号/噪声比最大即为最佳结果。根据作者试验结果,*WC* 合金中含 *CO* 8.5% 而 *WC* 颗粒平均尺寸为 $3\mu\text{m}$ 者热振性最好。他们的研究成果对硬质合金厂和冶金工业很有参考价值,对使用单位选择硬质合金牌号也是有益的。籍切削力监视切削过程已为许多工厂所采用,但对迴转刀具,将电阻丝应变片上的电压传出需经滑环或水银槽装置,增加了接触电阻,容易造成测量误差。日本 *Ikezaki* 等在论文“用光学数据传递法测量迴转刀具的切削力”中介绍了光传递的这种新的非接触式信号传递法。他在立铣床主轴的顶部装一个测量装置,把电阻丝应变片的电压经放大和转换后发出的光信号,在发射器上方安接收装置,连到计算机,以得到力的图象。这种测量方法特别适应于动态测试。

自动化方面还有一篇文章是美 *De Vries* 写的“用计算机图象模拟金属切削”。这是在计算机屏幕上,用切削厚度变化的图象来显示切削过程的动态状况。将切削数据输入,经计算机一系列运算,即可在屏幕上看到待加工表面和已加工表面的波纹图象。

以上是有关自动化方面的论文,对切削过程力学方面的文章也 4 篇。其中一篇是澳大利亚 *Kopalinsky* 与 *Oxley* 合写的“用负前角刀具加工时进给与前角对进给力/切削力之比的影响的探讨”。大家知道,用负前角刀具切削时,进给力/切削力之比增大。当切削深度小时此比数也增大。对后者的解释,如按通常说法,是由于摩擦系数增大。这从一般滑动摩擦理论说不通。*Oxley* 等从他们提出的切削理论,以刀屑接触面的材料剪切强度代替摩擦系数则可解释。这里牵涉到接触面的温度问题,当切削深度小时,接触面温度低,材料的剪切强度大,故进给力/切削力比数增大。第二篇文章是中国张幼楨等写的“切屑流向的实验研究及其对切屑控制的应用”。这篇文章以大量实验研究了十一个因素对切屑流向的影响,并用数学统计方法求出回归方程,并以此设计断屑槽参数。计算结果与实验符合,并得出结论:斜槽断屑槽效果最好。第三篇文章是比较占头三种磨法的占削力和扭矩。作者是澳大利亚 *Armarego* 和 *Wright*, 题目是“预测占削力和扭矩的模型”。本文是根据切削原理中的分析,材料剪切应力,切屑长度比以及影响刀具基本角度(如法向前角等)的几何形状,对三种顶刃磨法(平面、圆锥面、双平面)作了分析比较。预测的占削力和扭矩与实验结果相符。三种磨法的占削力和扭矩力相差不大。计算公式是复杂的,需用计算机运算,作者把它们简化了,以便在生产中应用。第四篇文章是法国 *Gilormini* 等人提出的“三种加工方法:拉削铰丝和插削的分析。”他们从切屑排除、切削速度、冷却液和材料成份等方面来比较单位切削力的差异,运用切削原理的若干共同规律而又考虑了各种加工方法的特点。

难加工材料的加工也是大家关心、研究的一个方面。这次提出了二篇论文。一篇是日本 *Matsuo* 等的研究“用硬质合金刀具车削砂轮”,另一篇是民主德国 *Weber* 等的论文“用超声振动刀具车削可加工玻璃陶瓷”。校正砂轮是很费工时的一道工序,应选用什么砂轮,什么切削用量最佳,是一个有实际意义的课题。同时它的切削机理也和一般材料不同,值得探讨。*Matsuo* 在不同切削条件下研究切削力变化和刀具磨损情况,得出了有益的结论:用 *KO1* 切削最好;增加切削速度,不但加速磨损,也增加切削力;进给对磨损影响较小等等。这篇文章对切削脆性材料有参考价值。玻璃陶瓷也是属于难加工的脆性材料之一,用超

声振动切削法有利。它的切削机理也不同于一般钢材，切削层主要是碎裂下来，即我们所说的“崩碎切屑”，施加振动有助于使材料破裂，减少切削力，同时提高刀具寿命。根据 Weber 的试验，可提高刀具寿命 20 倍。超声振动切削並有助于断屑、防止积屑瘤等，很值得研究。

以上是切削组选中宣读的论文梗概，由此可以想见国际上金属切削研究的动向。

(三)

会议期间我们还抽空参观了威斯康辛——麦迪逊大学工学院的机械制造系统实验室。

该系的制造系统工程是颇负盛名的，有教授 J. Bollinger, S. M. Wu (吴贤铭)，M. Devries, N. Duffie 等多人。经费充足，每年在一百万美元以上。有九个实验室（精密加工、制造工艺、数控机床、占削、计算机控制、精密测量、机械手等）。设备齐全，有 IBM 赠送的九轴大型机械手、有加工中心、柔性制造系统模型、激光测试设备及用于设计、加工、控制绘图的各种计算机。在该系研究和攻读学位的中国学者和研究生很多，特别是在吴贤铭教授指导下的更多。吴教授在该系以招收研究生人数众多著称。我们参观了他的实验室和研究课题，获得了深刻的印象，概括起来，有以下一些特色：

(1) 用动态数据系统 *Dynamic Data System* 方法分析数据，求得变量的数学模型，用以研究加工精度、机床振动、钻孔监视、铣刀优化设计、纸浆漂白及油井占探等问题。

(2) 有关航空工程的课题较多，因为加工对象的精度高，形状复杂，工作量大，自动化程度高，而且使用难加工材料较多。该系研究课题中的占孔、铆钉、壁板加工等都是为飞机工业服务。

(3) 计算机应用十分普遍。例如我国的群点，是金切界先进代表的卓越创造，可以提高生产功效，延长刀具寿命，提高占孔精度，应予大力推广，可是实际推广並不普遍，主要原因在用手工磨刀难以保证质量。如果能有计算机控制的自动化磨床，这个问题就解决了。吴贤铭教授正是抓住了这个关键，成功地设计了占头磨床，不但深受企业欢迎，还便于占头形状的优化设计。参加这一课题的大部分人员是中国学者，试想，群占这一我国首创的先进刀具为什么不能在我国发扬光大呢？

吴贤铭教授和 Eman 教授合编了一份材料，刊登了他们在 1983 年的 46 个研究课题，归纳为 8 个领域，现列表如下

领 域	博士研究生	硕士研究生	访问学者
(1) 加工动力学	3	1	2
(2) 加工精度	3	1	2
(3) 在线监视和测试	2	3	4
(4) 机械手与自动化	7	4	
(5) 占孔研究	1	4	9
(6) 计算机辅助设计与制造系统	3	4	2
(7) 系统分析——非线性与随机的	3	2	1
(8) 造纸过程	3		

近二十年来,他们的研究课题有如下的变化:

- (1) 1962年由决定型模型向统计型模型发展;
- (2) 1970年由静态分析向动态发展;
- (3) 1977年由停车识别与控制到“在线”发展;
- (4) 1983年由线性分析发展到向非线性发展。他们的这些经验很值得我们借鉴与深思。

(四)

作为本汇报的结束,我想谈两个问题,作为个人的感受:一是金属切削研究的方向;二是高级研究人才的培养。

从这次年会宣读论文来看,兴趣集中在自动化,计算机应用(设计、制造、控制、检测等),优化,难加工材料等方面。

九月初在芝加哥要举行1984年的国际机床展览会和第二届国际机床技术双年会,会议将讨论:现代化机床控制,机械手和用于制造,检验与运输,无人工厂,近代切削磨削技术,计算机辅助设计,质量控制与管理,柔性制造系统,激光应用等。

得凑巧,十月初将在麻省理工学院召开一个“制造科学和将来工艺”的国际学术会议,这个会议的主题是:集成设计与制造,工艺过程自动计划,成组工艺,精密工程,测试仪器,非传统加工方法,在线控制,产品和系统设计的一般方法,管理信息系统,决策支持系统。总的说来就是计算机用于生产;先进生产方法和设计;以及生产的科学基础。

由此看来,当前机械制造发展的趋势是:

(1) 自动化

自动化可以提高生产效率,保证产品质量,降低成本和安全生产,是生产发展的必然趋势,特别是计算机应用解决了小批、单件生产的经济性问题。自动化的发展对制造系统,生产设备,检测手段,控制方法,切削用量选择等带来一系列的变化,提出了新的要求。

(2) 精密化

精密化是由电子工业、宇航工业及现代尖端技术发展的需要。精密加工要求有精密的机床,耐磨的刀具,新型的加工方法,精密的测试手段,和应用科学的理论和方法来预测和补偿产生的误差。

(3) 难加工材料的应用

新材料的发展是近代技术革命的特点之一。新的高强度合金、高分子合成材料、陶瓷材料、纤维复合材料以及石材等都是难加工的,因此对刀具材料提出更高的要求,同时也促使非传统方法加工的发展。在这次会议上切削组的重点报告就是Konig教授等提出的“硬材料的加工”。

机械制造发展的这些趋势对金属切削原理与刀具学科有什么关系呢?

自动化要求对切削过程中的许多现象,如力、温度、寿命等参数能够监视或予测,通过计算机运算加以调正、控制、优化,因而对切削机理的认识掌握要求更高了。自动化对刀具的要求也更高了:刀具必须寿命长,性能稳定可靠,保证断屑。

精密加工要求刀具锋利、耐磨,切削过程中获得高质量的加工表面,不但光洁度合格,

而且残余应力和工件金相结构要符合要求。因此要更好地研究、了解精密加工的机理。在这方面,现在的知识还很粗浅。

难加工材料的加工也对切削机理和刀具提出更高的要求。它们往往是促使这一学科发展的动力。钛合金的切削机理和钢铁很不一样,脆性材料又更不同。现在我们能切砂轮,明天我们将要切割更硬的材料。

当前我们面临新的技术革命的挑战,更要重视机械——电子技术的发展,亦即把微电子技术和机械、电工、测试、控制等技术溶合起来,使传统机械产品提高到一个新水平,不但可以大幅度提高社会生产力和劳动生产率,而且有利于加速国防现代化。

看了国外的情况,对照国内,感到差距很大。人家在做的工作,我们为什么没有搞起来?他们有那末多数控机床、加工中心、柔性制造系统、机械手、计算机应用,而我们则屈指可数。他们许多论文应用了统计数学、有限元法、优化理论,新的测试手段,而国内尚不普遍。差距很大,为何赶上?关键还在人才培养。设备可以做、可以买,可以在新的领域开展科研,不久的将来就可以赶上。回顾我国的人才知识结构,由于多年来闭关自守,加以知识分子政策不落实,形成许多不足之处。总的说来,一是外文水平差,能说一口流利的英语的人不多;二是知识面窄,不但许多新的学科如计算机应用等不大熟悉,即在同一行业内,隔行如隔山,适应性差;三是基础也跟不上,因为近年来科学技术突飞猛进,原来的基础已不够了,特别是数学的应用,它的重要性越来越为人们所认识。我和外国同行接触。过去我们熟知的许多切削专家,如 *Merchant*, *Loewen*, *Chisholm*, *Boothroyd* 等,他们现在干什么去了? *Merchant* 在研究无人工厂, *Boothroyd* 在这次会议发表的重点报告题目叫“机器人装配”, *Chisholm* 在这次会上提出的报告题为“在计算机集成系统中人的因素”, *Loewen* 则对“在超精加工今后发展中可预见的限度”问题在园桌问题上作了专题发言。可见外国专家兴趣广泛,适应性强,始终跟着形势发展的需要,不断学习新的知识,研究新的问题。吴贤铭教授擅长统计数学,他的研究课题涉及制造行业的八个领域,指导研究生、访问学者达数十人,这种情况国内罕见。所以今后我们培养研究生,一定要他们的英语学好,数学基础打得很扎实,计算机应用要熟悉,动手能力要强,视界要开阔,才能适应时代发展的需要。我们这一辈所不能做到的事,应该让下一代去实现。精心培养他们,严格要求他们,鼓励他们要有攀登科学高峰的雄心壮志,有艰苦奋斗的坚强毅力。青出于蓝,中国才有希望。

On the Tendency of Metal Cutting Research from the 34 th Conference of CIRP

Liu Peide

Abstract

This paper reports briefly on the author's investigation of the recent international situation about metal-cutting from the 34 th Conference of CIRP held in Wisconsin, U.S.A this August.

He sums up that the chief tendency of metal-cutting is automation, precision and the application of difficult-to cut materials. He emphasizes that the guideline for research work is to serve the industry.

Now, there are three important features in metal-cutting research work: A better understanding of the mechanism of the cutting process, more extensive application of computer and optimization with optimizing theory and statistical mathematics.