

文章编号: 1003-7837(2004)01-0009-06

## 从 ICTP 看塑性技术的发展

孙友松, 章争荣, 刘明俊, 马志国

(广东工业大学, 广东 广州 510090)

**摘要:** ICTP(International Conference on Technology of Plasticity)是目前国际塑性工程界水平最高、范围最广、规模最大的学术会议. 根据世纪之交两次 ICTP 的情况, 对跨入新世纪的塑性技术各领域的现状和发展动向进行了综述. 重点介绍了塑性技术的信息化、自动化、高速化、精密化、细微成形、成形新工艺以及成形加工的可持续发展等.

**关键词:** 综述; 塑性技术; 金属成形

**中图分类号:** TG3

**文献标识码:** A

作为制造技术的重要支柱之一, 塑性技术具有数千年的悠久历史, 在人类社会的发展中发挥了巨大的作用. 现在, 人类社会已进入了 21 世纪, 信息时代已经来临, 知识经济初露端倪. 但是塑性技术并未成为“夕阳技术”走向衰亡, 而是与时俱进, 以青春的活力继续向前发展.

信息技术是改造传统产业的强有力的工具. 塑性加工的信息化也是这门古老技术“返老还童”的强大动力. CAD/CAM/CAPP/CAE 等计算机辅助技术在塑性工程领域的广泛应用, 极大地改变了这一领域的面貌. 一方面, 传统的锻造、冲压、轧制等工艺向着高度自动化、智能化、精密化、高速化发展, 朝着净形成形、近净形成形迈进; 另一方面, 塑性技术正在和其它技术结合, 不断涌现出新的加工技术, 如激光成形、半固态成形、液压成形、渐进成形、细微成形等.

自 1984 年以来, 每三年召开一次国际塑性技术大会 ICTP(International Conference on Technology of Plasticity), 它是目前国际塑性工程界水平最高、范围最广、规模最大的学术会议, 被称之为“塑性技术的奥林匹克”. 每次会议均有 30 个左右的国家数百名代表与会, 交流的论文 300 篇左右. 1999 年 9 月和 2002 年 10 月, 分别在德国纽伦堡和日本横滨召开了第 6 和第 7 届 ICTP. 根据世纪之交的两次大会, 本文就跨入新世纪以来塑性技术的发展概况做一简单

综述.

### 1 塑性加工的信息化

21 世纪是信息技术的时代, 信息技术已经渗透到了全球社会经济的各个方面, “信息化”几乎成了当今技术进步的一个代名词. 传统技术一旦与信息技术结合, 就会重新焕发出青春, 显示出无尽的生命力. 塑性技术也不例外, 传统的塑性技术与现代信息技术的全方位结合, 以实现塑性加工的高度自动化、智能化, 这是当前塑性技术发展的一个最为明显的趋势.

按照现代制造技术的观点, 制造过程是物料流、信息流和能量流的运动过程. 长期以来, 制造过程中的信息处理主要依靠人的脑力劳动. 据分析, 从 1870 年到 1980 年的一个多世纪, 加工过程的效率提高了 20 倍, 但生产管理和产品设计的效率仅分别提高了 80%~120% 和 20% 左右. 这主要是由于在现代信息技术出现之前, 科技的进步(主要是机械化、电气化)主要是改善人的体力劳动, 而对脑力劳动而言, 获益不大. 以计算机为核心的现代信息技术的出现, 从根本上改变了这一状况.

CAD/CAM/CAE/CAPP 技术在塑性加工中的应用日益普遍, 大大提高了生产效率. 柔性制造、计算

收稿日期: 2003-08-02

作者简介: 孙友松(1944-), 男, 湖北建始人, 教授, 硕士.

机集成制造、虚拟制造、网络制造等先进技术更是改变着传统的生产模式。模具 CAD/CAM 一直是成形加工中的重点开发领域,经过 30 余年的发展,在研究和应用两方面都取得了巨大进展。国内外不少公司开发了一系列商品化软件,涉及锻造、冲压、锻压等多种工艺。CAD/CAM 软件不仅可完成产品设计、工艺分析、工艺数据处理、模具图纸绘制,且能实现工件优化排样、模具型腔数控加工代码生成、模具加工过程模拟等。以冲裁模为例,采用 CAD/CAM 技术一般可提高模具制造效率 5 倍以上。目前,模具 CAD 正从二维向三维发展,人工智能、网络化设计等新技术也正在得到应用。

加工过程的计算机模拟是目前塑性加工中一个极为活跃的领域。采用这一技术来进行塑性加工工艺过程的模拟,可使人们预知加工过程中金属的流动、应变、应力、温度分布、模具受力、可能的缺陷及失效形式,一部分软件甚至可以预知产品的显微结构、性能以及弹性恢复和残余应力<sup>[1]</sup>。这对于优化工艺参数和模具结构提供了一个极为有力的工具,对缩短新产品的研制周期,降低研制成本有十分重要的意义。

至于目前模拟软件的实用水平,对体积成形而言,二维模拟如轴对称或近似平面应变已比较成熟,三维软件也正在为企业所接受,尤其是板料冲压的三维模拟技术发展较快<sup>[1]</sup>。在模拟中涉及的关键问题有:工件的三维几何造型、有限元网格的划分和再划分、工件及模具材料性能的处理、工件和模具界面摩擦和热传导参数的处理、软件性能的保证(可靠性、运算时间等)等。图 1 为正挤压工艺过程的模拟,图 2 为齿轮淬火后内部组织的模拟。

工序1      工序2      工序3      实验结果

图 1 正挤压工艺过程的模拟

Fig.1 Analogue of positive extrusion process

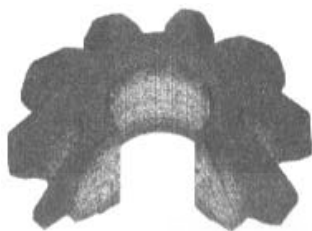


图 2 齿轮淬火组织的模拟

Fig.2 Analogue of hardening structure of gear

## 2 成形加工设备的自动化和智能化

自 20 世纪 80 年代,由于数控技术和计算机技术的发展,成形设备进入了一个飞速发展的时期,显示出信息技术改造传统产业的强大威力。

### 2.1 数控化进程加快

数控技术的日益完善和在成形设备中的应用,使成形设备出现了崭新的面貌。新型数控设备具有效率高、附加值大的优越性,以不可阻挡的形式迅速占领市场。其中 CNC 回转头压力机的发展最快。到 1990 年美国已拥有 CNC 回转头压力机 8205 台,日本在 1988~1990 年三年间就新增 CNC 回转头压力机 4840 台。许多压力机制造厂除纷纷将老产品进行数控改造外,还努力开发新型数控设备,将提高产品的数控化率作为自己的奋斗目标。如意大利的 SALVAGNINI 公司的产品数控化率已经达到 100%。

### 2.2 智能化程度提高

将数控压力机、机器人以及各种辅助装置有机地结合,由计算机统一协调控制,组成柔性制造单元(FMC)或柔性制造系统(FMS),对于多品种、小批量的自动化生产具有巨大的优越性。它无需改变硬件(设备、工具等)就可实现多种不同工件的加工。图 3 为意大利 SALVAGNINI 公司生产的金属板材柔性加工单元。

国外一些新式压力机除实现了润滑、冷却、送料、模具更换等辅助工作的全面自动化外,还安有工艺参数的智能检测-控制系统,可实现加工质量的预测,及时调整工艺参数或更换模具,以确保产品质量。NME 公司的大型压力机还配有可视化的监控系统,定义了 120 多条出错方式。若遇到操作者不能解决的问题,还能拨号与控制中心联系实行远程诊断、校正。

图3 意大利 SALVAGNINI 公司的金属板材柔性加工单元

Fig.3 Flexible processing unit of metal plates from SALVAGNINI Company of Italy

### 2.3 集成化程度越来越高

多工位压力机正越来越多地取代多台单工位压力机生产线,大大减少了占地面积,提高了生产效率.例如,一台三坐标多工位压力机代替由6台压力机组成的汽车车身冲压线,设备投资减少20%~40%,能耗减少50%~70%,占地面积减少40%~50%,生产率提高30%~70%,而总体加工费用可节省40%~50%.至1990年,日本国内247条车身生产线中,多工位压力机占了32%<sup>[2]</sup>.

在一台设备上实行多种功能的集成,可大大提高设备效率和使用范围.如数控压力机与激光切割头结合,组成激光-压力机,从而以高效、平稳的激光切割代替大型轮廓的步冲,进一步改善了压力机的工作性能.

### 2.4 高速化

高速机械压力机的工作频率已经超过3000次/min,液压数控回转头压力机的最高工作频率也由初期的100次/min提高到了1000次/min,工件移动速度超过了100 m/min.

## 3 精密成形

净形成形 NSF(Net Shape Forming)和近净形成形 NNSF(Near Net Shape Forming),不但可节省大量材料,而且可节约机械加工工时和能量消耗,一直是塑性加工的努力方向.图4为日本丰田公司冷精锻技术的应用情况.

精锻、精冲、摆动碾压、楔横轧、碾环、流动旋压等技术在近年来得到了大力发展.其中精密锻造由于适应范围广,成绩尤为突出.其发展的一个显著特点是,温/冷或热/温/冷复合锻正取代初期的单纯冷锻.特别是由于温锻的一系列优势,受到了广泛的重视.以碳钢为例,温锻温度为750~850℃,与冷锻相比,变形抗力降低2/3,变形程度可增加2~3倍,而精度仅降低1~2IT,具有极为可观的经济效益.冷锻过程中压强高达2.5 GPa,它的一个关键技术是毛坯表面处理和润滑.半个多世纪以前所发明的磷化-皂化技术至今仍在全世界广泛使用,但它带来环境问题.虽然一些单位正开展基于高分子材料的新型润滑技术的研究,但其工业应用尚待时日.

## 4 细微成形加工

近年来,随着电子工业及精密机械的高速发展,细微工件的成形加工显得越来越重要.在近两次 ICTP 会议上,细微件的成形加工均作为专题进行讨论.

一般来说,厘米及毫米级的金属成形,无论从机理上还是从工艺上,均已比较成熟.目前,人们在精密成形中对微米级及亚微米级的成形加工有极大的兴趣,而工业应用中比较普遍的则是500 nm~500 μm范围内的成形加工.据称,纳米及亚纳米级的成形亦已开始通过计算机仿真技术在原子级的水平上进行研究.

德国 M. Geiger 教授等人对细微成形技术进行

了系统的基础研究. 该技术的难点在于: 首先是工件尺寸极小, 常规的成形规律不能适用, 例如流动应力和摩擦状况都很不相同, 其尺寸效应有可能使流动应力减少近 20%; 其次是模具加工难度大, 涉及到微切削加工、微 EDM、微光束加工等. 在第 7 届 ICTP 一些文章中所举的应用实例有  $D\ 60\ \mu\text{m}$  线料的弯

曲、壁厚  $50\ \mu\text{m}$  杯形件的挤压、槽宽  $100\sim 1000\ \text{nm}$  的压印、 $D\ 14\ \mu\text{m}$  冲孔以及  $D\ 120\ \mu\text{m}$  的齿轮加工等. 微成形技术是廉价地大批量生产细微工件的主要方法, 广泛应用于制造计算机硬件、数码相机、IC 插座、引线架等. 预计 2005 年全球对这类微系统的需求将达到 680 亿美元.

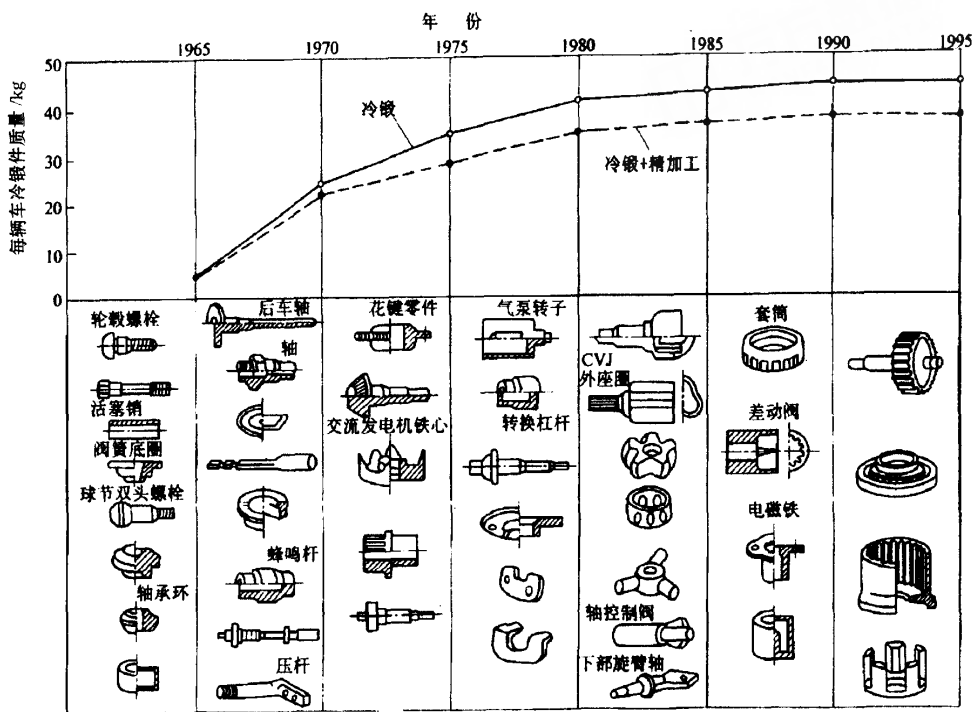


图 4 丰田公司冷锻技术的应用

Fig.4 Application of cold forging technology in TOYOTA Company

图 5 微成形工件

Fig.5 Workpiece of micro-forming

## 5 成形新技术

新的技术和新的工艺向塑性加工领域渗透, 这是当今塑性技术发展的另一特征. 液压成形、激光成形、

渐进成形、半固态成形、电磁成形等, 就是其中的实例.

### 5.1 液压成形

利用流体介质来代替模具传递力以实现金属塑性加工称为液压成形. 这一技术始于上世纪初, 而近

十多年来却引起了塑性工程界前所未有的广泛重视.其主要原因是汽车工业的发展对成形件提出了更轻、更省的要求.液压成形的工件恰恰就能满足这两个要求.液压成形技术的发展,使一些汽车零部件的设计和制造发生了革命性的变化,这也是 ICTP 的热门话题之一.1999 年 10 月在德国斯图加特还专门召开了液压成形国际会议.

液压成形不仅简化了模具结构,缩短了产品的生产周期,而且可以制造出其它方法所不能制造的复杂工件.这对提高汽车性能,减少零件数量和减少汽车自重有十分重要的意义,也是该技术目前引起人们特别重视的主要原因.例如, Dainler Chrysler 公司采用液压成形排气管代替铸造排气管,不但降低了成本,改善了排气流动阻力,降低了噪音,而且质量由 4 kg 降到 2.5 kg.他们还开发了用液压成形生产发动机支架、前传动尾杆、轴类件等系列闭式空心轮廓构件的技术.传统的液压成形生产率较低,难以适应大批量生产的要求.但这一问题正在解决,舒勒公司等研制了用于液压成形的专机.不少欧洲汽车公司液压成形单件产量已达到每天 1 万件以上.

由于液压成形时良好的应力状态,它可以比其它成形方法获得更大的变形程度,还可以与弯曲、压印、冲孔等工序复合,取得更大的经济效益.它还可以采用反向液压预成形的方法来增加箱类拉深件底部的变形以产生冷作硬化,解决传统拉深件底部强度不足的问题.

### 5.2 激光成形与快速原型制造

激光由于其功率强、可控性好,在制造业得到越来越广泛的应用,如激光切割、焊接、快速原型制造等.近年来,人们又试图将激光用于渐次成形工艺以实现金属板材的无模柔性成形加工.激光成形是依靠激光使板材局部快速加热及冷却,在热应力作用下,金属产生微小变形;反复加热选择的部位,就可获得所需的形状.这种技术的关键是精度与形状的控制.德国 Erlangen-Nuremberg 大学研制了一种用于型材激光三维弯曲的闭环控制系统,包括几何形状的三维检测、计算机模拟及生成数控指令.该大学实验室向大会代表演示了盒形件的激光成形过程.据称,采用这一技术,制造出了新型汽车车门的样件.

激光快速原型制造技术(RP)发明于 1988 年,仅有十多年的历史,但由于其特殊的优越性,发展十分迅速,十年就发展成了 10 亿美元的产业,近年来其年增长率更高达 40% 以上. RP 是激光、数控、CAD/CAM、新材料等先进技术的结合,它可以根据 CAD

模型,在短时间内制造出实物.初期采用 RP 仅能造出塑料、纸质等非金属原型.而目前采用 RP 后再用选择性烧结的方法,可直接造出铜、不锈钢甚至高速钢的实物,这就为成型加工的快速制模开辟了新的途径,具有十分重要的意义.

### 5.3 渐进成形

渐进成形具有抗力小、设备吨位小的特点,在制造业中得到广泛应用,例如摆辗、旋转锻造、冷辗环等.在第 7 届 ICTP,美国学者介绍了汽车内花键套的成形工艺,其最小壁厚 2 mm,内齿数 32,采用热锻-摆辗-旋压工艺,实现了净形成形.再如汽车长轴类工件,使用旋转锻造法重量可减轻 40%~50%.

近年来,基于 CAD/CAM/CNC 技术的渐进成形具有新的特点,即柔性化,日本松原茂夫发明了单点成形技术,采用的单点成形工具,按照 CAD 模型的等高线将金属板材逐层压制成形,无需专门的模具,就可代替拉深,制造出各种三维金属板料制品.日本 AMINO 公司已经生产出这种设备的系列产品,并用于汽车覆盖件的无模成形,成形工件最大尺寸 2000 mm × 1350 mm × 500 mm,工件最大厚度 2 mm(钢),4 mm(铝),对于新产品样件和淘汰产品配件的制造十分方便,省去模具的制造和存放.我国华中科技大学亦开发了类似技术.无模多点成形则采用了另一种工作方式.其上下模具由若干可独立控制的点阵组成,可调节成任意的三维曲面.其优点除无需专门模具,可压制各种三维曲面的金属板件外,压制的中间过程也可控制,可实现路径优化;还可方便地消除工件回弹,提高加工精度.我国吉林大学已实现该技术产业化.

### 5.4 轻型汽车开发中的新材料和成形加工新技术

减轻汽车自重是目前汽车工业追求的一个重要目标.第 6 届 ICTP 对轻型材料的加工进行了专题讨论,共有 5 篇文章交流.

据称,2005 年将使汽车二氧化碳的排放量较 1987 年减少 25%,而油耗减少 50%.为此,汽车自重需减少 30%.汽车轻型化的主要途径是:(1)使用高强度或超高强度钢;(2)使用铝、镁、塑料等轻质材料;(3)改进零件结构设计,如空心齿轮轴等.(4)采用新的成型工艺:如液压成型、发泡铝板、拼接毛坯、多层板料等.

欧洲一些公司应用新材料和塑性加工技术开发新型汽车已取得了很大成功.例如奥迪公司采用全铝轻车架及多种先进成形技术生产 AUDI A8 车,1997 年已达到 15,500 辆,该车型 1998 被评为年度最佳豪华车<sup>[1]</sup>.



## 6 塑性加工的可持续发展

可持续发展(Sustainable Development)是20世纪80年代末期国际上出现的一个重要议题.它定义为“满足当代人的需求而又不危及未来人们满足自身需求的可能性”.1993年在日本成立了生态与制造国际委员会(International Committee on Environment & Manufacturing, ICEM).在两次 ICTP 上, ICEM 均组织了关于生态制造专题的讨论,其中日本学者的文章占了一半以上,说明日本对此项研究十分重视.

一个普遍的观点认为,人类物质文明发展的基础是开发各种自然资源,制造出满足人类自身需要的各种产品.开发和制造以及产品的使用过程中消耗了能源,破坏了环境,还形成大量废弃物质.为了实现可持续发展,必须将这样的经济体系转化为一个循环的经济环境,资源须能循环使用,废弃物量应小于大自然的净化能力.目前这方面比较热门的话题有:终身战略(End-of-Life Strategies),零排放(Zero Emission),节能(Energy Conservation),生态材料(Eco-Materials),生命循环评价(Life Cycle Assessments)等.

关于塑性加工与可持续发展问题,会议讨论了两方面的内容,其一是新制造工艺对可持续发展的作用,其二是如何在成形工艺中减少对环境的影响.目前,汽车废气是世界上最大的污染源之一,而减轻汽车自重则是减少废气排放量的一个重要途径.汽车自重每减少100 kg,则每百公里油耗会减少0.3~0.5 L.所以,如何采用新的材料和成形工艺,如镁合金及液压成形和激光成形等,使汽车重量减轻,对可持续发展有十分重要的意义.但在成形加工过程中

产生的污染会影响可持续发展.对此,有学者提出了在板料拉深过程中消除润滑剂污染的两种方法:一是用水加适当的清洁剂来取代油润滑;二是用可完全挥发的流体代替传统的拉深润滑剂.日本学者介绍了粉末冶金中消除去脂污染的两种方法:一是在金属粉末注射成型中用水溶性粘结剂取代常规粘结剂,该法去粘仅需水浸1天,强度不受影响,不但消除了污染,而且节省了能源;另一种是用超临界二氧化碳去除粉末冶金制品中的粘合剂以降低能耗和减少污染.而日本的 K. Takaishi 介绍了,他们在电工钢冲裁工艺中在模具表面镀类金刚石膜,不用润滑油,不但消除了油污染,而且模具寿命也提高了3~9倍.

## 7 结束语

塑性技术是制造技术的重要组成部分,它在国民经济中具有十分重要的作用,近几十年来发展十分迅速. ICTP 是目前国际塑性工程界水平最高、范围最广、规模最大的学术会议,被称之为“塑性技术的奥林匹克”.笔者虽参加了最近两次 ICTP,但由于水平所限,未能全面理解、消化会议内容,本文所述仅为笔者的一孔之见.仅供大家参考.

### 参考文献:

- [1] Proceedings of 6th ICTP. Nuremberg (German): Springer, 1999.
- [2] Proceedings of 7th TCTP. Yokohama (Japan): JSTP, 2002.
- [3] 北京机电研究所. 国外机械工业基本情况: 锻压[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

## The development of plasticity technology from the view of ICTP

SUN You-song, ZHANG Zheng-rong, LIU Ming-jun, MA Zhi-guo  
(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

**Abstract:** International Conference on Technology of Plasticity (ICTP) is the highest in academic standard and biggest in scale on the technology of plasticity in the world. According to the 6th and 7th ICTP in the turn of the century, this paper gives a summary of the current states and development trends of plastic technology, especially in the areas of combining with information, automation, intelligence, high speed, precision, micro forming and sustainable development in plasticity technology etc..

**Key words:** summary; technology of plasticity; metal forming