

文章编号 1000-5013(2003)01-0001-10

切削加工技术发展史

于 启 勋

(北京理工大学, 北京 100081)

摘要 介绍中国远古时期——石器时代、铜器时代、铁器时代的切削工具,其切削加工技术也领先于全世界。在近代,从第一次工业革命以后,中国变得落后。文中阐述欧美各国和俄罗斯在切削加工技术、机床设备与切削机理方面的发展。工件与刀具双方交替发展,是推动切削加工技术向前发展的动力。解放后,中国的切削加工技术有很大的发展。

关键词 切削加工, 技术发展史, 刀具材料, 机床, 切削机理

中图分类号 TG 5 T-09

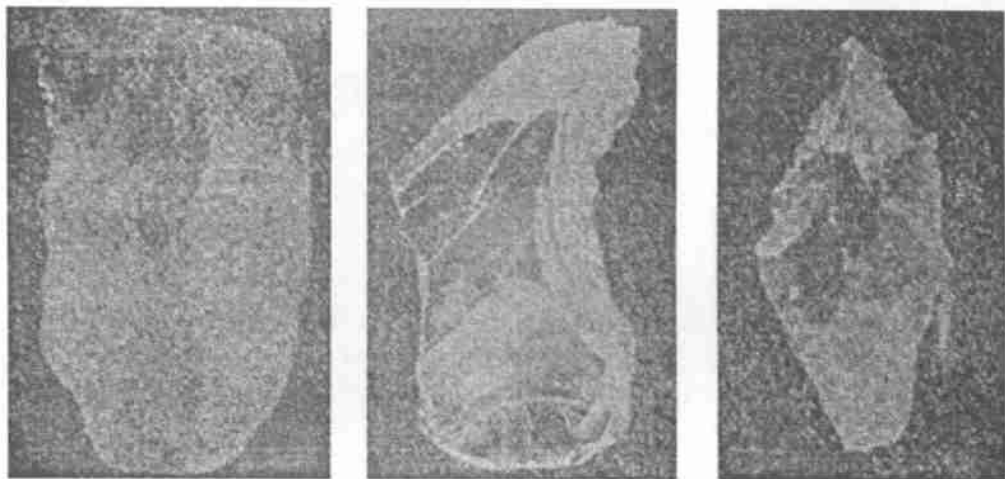
文献标识码 A

1 古代的切削加工

切削加工是机械制造中最基本的加工方法之一,它在国民经济中占有重要地位。切削加工的任务是利用刀具切除被加工对象上的多余材料,从而得到形状、精度和表面质量都符合预定要求的表面。切削加工所用的工具叫刀具,刀具一般用坚硬的材料制成,并具有锋利的切削刃。现代的金属切削加工及其刀具,也是由当时具有世界领先地位的中国古代切削加工、原始带刃工具和兵器发展演变而来的。因而,本节主要介绍中国的古代切削加工。

在切削加工和金属切削加工方面,我国有着悠久的历史。旧石器时代,距今约 170 万 a 的云南元谋猿人就使用过石砍砸器。距今约 50 ~ 60 万 a 的北京猿人,在与大自然搏斗的过程中,制造和使用各种带刃的石器,如砍砸器、刮削器和尖状器(图 1)。砍砸器右部圆秃,可作砸用;左部有锋刃,可作砍用。刮削器和尖状器上则均具有明显的锋利刃部。这些古老的原始工具虽然十分粗糙,但它是一切人为加工的开始,也是研究切削加工起源和发展的宝贵历史资料。到了新石器时代,生产工具有了很大进步。石刀、石斧(图 2)、石镑、石镰等都已制造得相当精致。刀体比较匀称,刃部锋利适用,有凸刃、凹刃、圆刃等。在石器上能打出圆度较高的孔,这是钻孔技术的开端。当时人类已能根据不同的加工对象和需要,制作形状和用途各异的切削工具。出土文物表明,新石器时代的人类会把坚硬的石片镶嵌在骨把上,制成了夹固式的石刃骨刀(图 3)。石器时代的切削工具,多为石质和骨质,加工对象也多为非金属材料(如石头、木头、兽骨等)。一个原始的切削加工过程,已经具备了 3 个基本要素:(1) 刀具(带刃的工具);(2) 被加工对象(生产或生活用品);(3) 切削运动(人用手握持住刀具与被加工对象,并给予一定的力和运动方向)。

刀具的发现和切削加工的应用,在人类历史上具有十分重要的意义.历史学家认为,刀和火的发现和应用是两项伟大的发明,它是人类登上历史舞台的重要标志.从青铜器时代开始,



(1) 砍砸器
(约为原大的 0.5 倍)

(2) 刮削器
(约为原大的 2 倍)

(3) 尖状器
(约为原大的 2 倍)

图 1 在周口店北京猿人遗址出土的砍砸器、刮削器和尖状器



图 2 南京北阴阳营及江苏淮安青莲岗出土的新石器时代的石刀和石斧

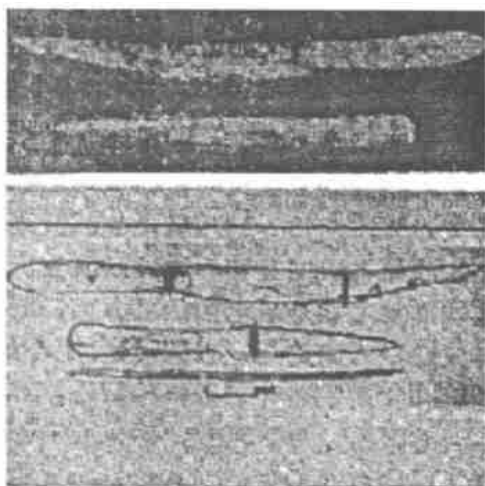


图 3 甘肃永昌鸳鸯池出土的新石器时代的石刃骨刀

就出现金属切削加工的萌芽.早在齐家文化时期(公元前 2 000 a 左右),已用天然铜制造器具.从商代到春秋时期,已经有了相当发达的青铜冶铸业,出现了各种青铜工具.图 4 所示为商代的青铜钻.图 5 为春秋时代的青铜刀、锯、锉.这些刀、锯、锉的结构和形状,已经类似于现代的切削工具.它们的加工对象已经不限于非金属材料,而包括了金、银、铜等金属材料.可以想象,当时这些切削工具发挥了多么大的作用.说明人类已有了很大的进步.商代还曾制作过铁刃铜钺(图 6).铁刀系用陨铁锻造制成,镶嵌在铜质钺体上.曾对河北藁城出土的铁刃铜钺进行过

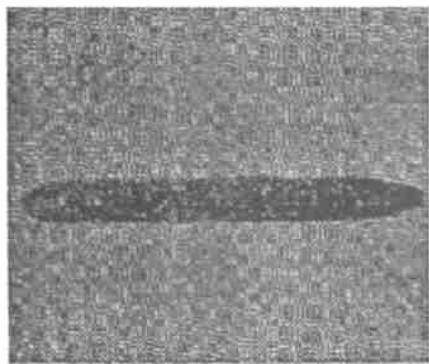


图4 郑州二里冈出土
的商代青铜钻

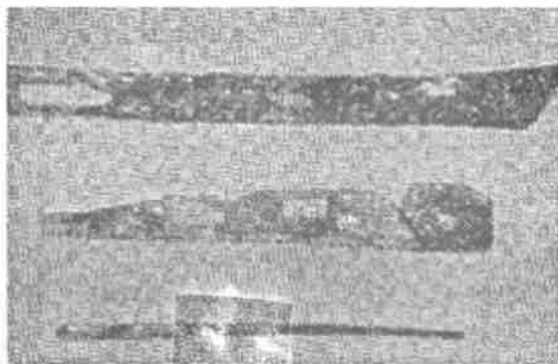


图5 河南汲县山彪镇出土的
春秋时代青铜刀、锯、钺

化验, 刀的基体为铁, 含碳(质量分数, 下同) 0.003 5, 含镍 0.017 6, 另外还含有铜、锡、铝、钴、钛、硅、铅等元素。所以切削刀材料实际上是一种含有多种合金元素的钢材。石刃骨刀和铁刃铜钺, 都是我国古代的杰出创造。说明当时已经认识到刀具切削刃的重要作用, 认识到刀刃和刀体可以分别采用不同的材质。刀刃取稀缺、贵重的坚硬材料, 刀体取价格较低但韧性较好的材料。这种思想认识至今对现代的切削加工和切削刀具仍有指导意义。青铜器时代的大量出土文物表明, 当时的兵器、生产工具和生活用品, 在制造过程中大都要经过切削加工、磨削加工或研磨。磨削和研磨, 实质上也是一种切削加工。

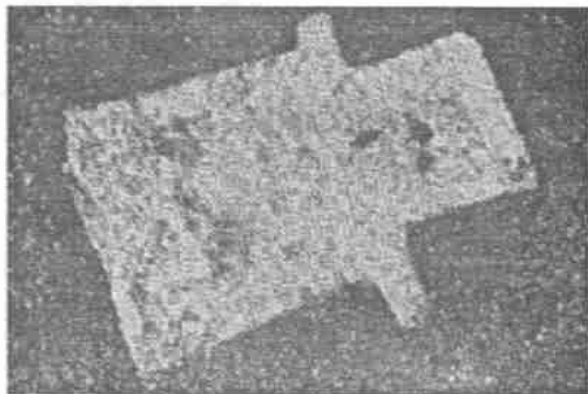


图6 河北藁城出土的商代铁刃铜钺

春秋战国时期, 我国发明了生铁冶铸造技术, 比西欧要早 1 800 a 以上。渗碳、淬火和炼钢技术的发明, 为制造坚硬锋利的工具提供了有利的条件。铁质工具的出现, 使切削加工进入了一个新阶段。这一时期出土的切削工具, 分工比较细致。许多青铜器上, 出现了用金属刻镂的纹饰和钻孔的痕迹。春秋中晚期, 有一部手工艺专著《考工记》, 它是我国现存的一部最早的工程技术著作。其上面记载了各种兵器、生产工具和生活用品的制作规范, 介绍了关于战车的制造工艺, 简述了土木、金工等 30 个专业的技术知识。这本书指出“材美工巧”是制成良器的必要条件。所谓“材美”, 是指采用优良的材质; “工巧”, 是指采取合理、先进的加工工艺。由此可见, 这一时期已能比较熟练地掌握各种加工方法, 包括一部分切削加工。

秦始皇陵墓兵马俑坑中出土的文物表明, 当时的实战兵器很多, 有剑、矛、戈、钺、殳、铍、吴钩等。制作十分精致, 刀刃至今仍然锋利如初, 光亮无锈。有的兵器表面还涂过铬。经化验, 铜剑的成分除以铜为主外, 还含锡 0.212 8, 铅 0.021 8, 锌 0.000 41。铜铍的成分除以铜为主外, 还含锡 0.111 0, 铅 0.077 1, 锌 0.000 98。足见当时对兵器(切削工具)的材质和制作工艺是非常重视的。近年在河北满城一号汉墓(中山靖王之墓)中出土的五铢钱(图7)。其外圆上有车削或

锉削的痕迹, 刀花均匀, 切削振动波纹清晰, 椭圆度很小. 估计是把许多钱穿在方轴上, 然后装夹在木制的车床上旋转, 手执车刀或锉刀加工出来的. 同墓出土的器物中, 还有铁锉、铁凿、三棱形青铜钻、经过渗碳处理的铁剑、书刀、青铜弩机和青铜箭头(图 8)等. 其中, 青铜弩机的结构相当复杂, 但加工精度和表面光洁度很高; 青铜箭头还经过抛光. 说明当时的金属切削加工已经达到了一定的水平. 在西安出土的唐代文物中, 有用铜、银制造的盘、盒和碗. 在这些器具上有明显的车削痕迹, 内孔与外圆的不同心度很小, 刀痕细密, 子母口配合严密, 体现出当时较高的加工精度. 由此推测, 我国最晚在 8 世纪时, 就已经有了原始的金属切削车床.

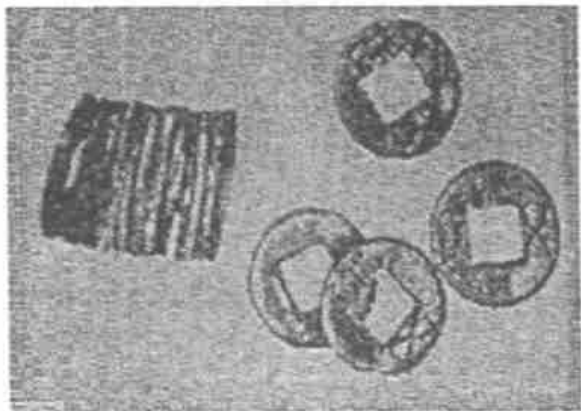
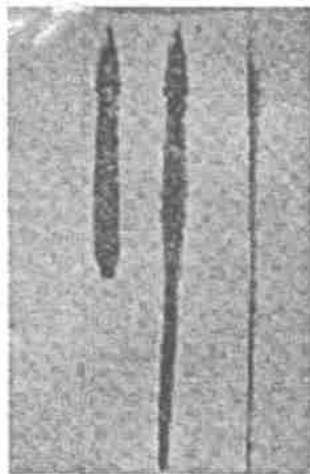


图 7 河北满城一号汉墓出土的西汉时代五铢钱

历代对制造天文仪器都比较重视. 北宋在 100 a 内先后制造了 5 座浑天仪, 有一定的加工



(1) 青铜弩机



(2) 青铜箭头

图 8 河北满城一号汉墓出土的西汉时代青铜弩机和箭头

精度, 分度读数能精确到 0.25° . 元、明、清代都曾制造过一批天文仪器. 制造精度进一步提高. 当时已采用了与近现代相类似的切削加工方法. 仪器上直径达 2 m 多的大铜环, 其外圆、内孔、平面、刻度的加工精度和表面质量都已达到了相当高的水平. 据考证, 大铜环的端面是用图 9(a), (b) 所示的方法, 以畜力带动铣刀和磨石, 进行铣削和磨削而制成的. 图 9(c) 为大铜环制造过程中划线、检测的情景^[1]. 图 10 为铣刀刃磨的装置.

在长期的实践中, 古代很早就注意总结刀具刃部的切削作用. 明代张自烈著《正字通》(图 11)^[1]中总结了前人的经验, 对“刀”、“刃”、“切”、“挤”等不同的事物和作用, 都写出了明确的含义. 指出: “刀为体, 刃为用, 利而后能截物, 古谓之芒”; 以及“刃从坚则钝, 坚非刃本义也”. 由此



(a) 铣削

(b) 磨削

(c) 划线和检测

图 9 明代天文仪器上大铜环的加工

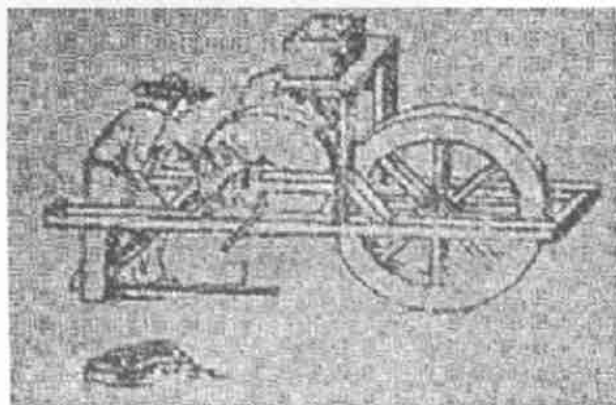


图 10 明代铣刀的刃磨



图 11 明代《正字通》上的刀刃

说明, 古人十分强调刀刃的重要性, 正确阐明了刀刃‘利’与‘坚’的关系, 对切削原理已有了一些朴素的唯物辩证的认识. 从以上资料可以看出, 我国古代在切削加工和金属切削加工方面有着光辉的成就.

2 近代的切削加工

公元 1750 ~ 1900 年这段历史时期内, 机械工程迅猛发展, 它是从别的工程中分离出来, 成为一个独立的工程和学科. 切削加工在这一时期内也得到迅速发展. 1847 年, 英国在伯明翰成立了机械工程师协会, 而美国则到 1880 年才成立了机械工程师协会.

机械工程和切削加工的发展, 是和从英国开始的工业革命密切相关的. 当时, 蒸汽机的出现和纺织工业、采矿工业、军事工业的兴起, 对加工技术不断提出新的要求. 每一种新产品的发明和设计, 必须解决相应的加工技术, 才能付诸实现. 社会的需要, 推动着机械制造(包括切削加工)技术迅速提高. 最早的蒸汽机在很大的程度上是用手工方法加工出来的. 1760 年 10 月, 英国有一位叫雷诺兹(Reynolds R)的工程师制造一台矿井中抽水用的蒸汽机, 它的铸铜汽缸长 3 m, 内孔直径为 0.933 m. 他写下了一段日记描述当时加工汽缸的情形: “.....将汽缸固定在工场的地面上. 然后请来一位铅匠, 要他在汽缸内浇铸一个重约 1.52 t 的铅块. 他用木板和泥砂挡住汽缸的两端, 于是他真的做出一个外形与汽缸内孔吻合的铅块, 这样就加快了磨光汽缸的工作. 然后我在铅块上绕上两根铁条, 铁条上系上绳子. 由 6 个强壮敏捷的工人, 拉住绳子, 来回地拉动铅块. 在汽缸体内涂上金钢砂和鲸油. 不久, 铅块下面的汽缸内孔就被磨光了.”

接着将汽缸转动一下,内孔的这一部分也迅速被磨光.这样继续进行下去,经过艰苦的努力和繁重的劳动之后,终于把整个汽缸内孔磨光到这样的圆度,即它的最大直径与最小直径之差不大于我的手指的厚度.这使我非常高兴,因为这是迄今所知道的最好的加工方法”^[8].根据这一段日记,绘制了一幅加工汽缸内孔的图画,如图 12 所示.由此可知,最早的蒸汽机所用的材料(如铸铜、铸铁、熟铁等)并不太难加工,但由于缺少先进的机床和工具,加工方法非常落后,因而工作效率很低,且加工精度不高.1776 年,瓦特(Watt J)成功地制成第 1 台新的蒸汽机,遇到的最大困难是汽缸的镗孔加工.由于加工方法落后,汽缸与活塞之间空隙较大,漏汽严重,即使填满了布、皮革或油脂也无济于事.幸而铁器制造商威尔金森(Wilkinson J)帮助瓦特解决了汽缸加工的问题.威尔金森于 1775 年制造了 1 台炮管钻孔机,可以加工直径达 72 mm 的内孔,并使误差不超过 1 mm.它的刀杆有 5 m 长.经过改装成为卧式镗床,可以加工蒸汽机的汽缸并满足精度要求.于是,瓦特的蒸汽机才得以顺利制成.威尔金森对瓦特帮助很大,他为瓦特铸造和加工汽缸达 20 a 之久.从威尔金森和瓦特的合作过程可以很清楚地看到,提高工艺水平和加工技术,对于实现机械产品的发明和设计是非常重要的.

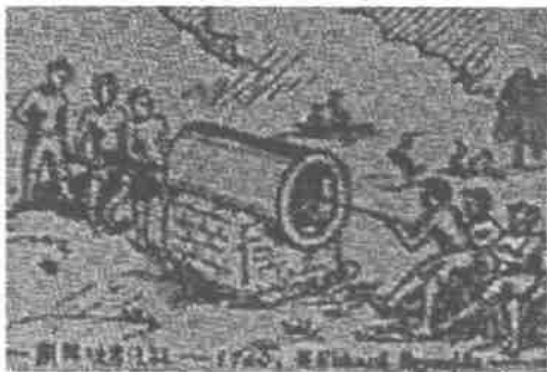


图 12 1760 年英国加工汽缸内孔的情形

在 18 世纪中叶以前,工程结构所用的材料主要是木材.当时切削加工所用的机床多数是木制的.在此之后,由于工业革命的推动,金属切削机床迅速发展.大约经过 100 a 的努力,完成了金属切削机床的革命,解决了各种各样加工问题.1750 年,法国人西奥(Thiout A)在车床上装了一个刀架,用丝杠驱动纵向进给,比过去用手握持车刀进给前进了一大步.1770 年,英国人拉姆斯登(Rarasden J)首先在车床上车制螺丝.1818 年,美国人惠特奈(Whitney E)发明了铣床,用单齿铣刀进行工作.1829 年,苏格兰人内斯密斯(Nasmyth J)制成了分度铣床,1836 年,他又发明了刨床.1835 年,英国人惠特沃思(Whitworth S J)设计了第 1 次由丝杠同时驱动纵向和横向进给的车床.1855 年,美国的罗宾斯和劳伦斯公司(Robbins & Lawrence)制造出转塔车床,可装 8 把刀具,轮流进行 8 道工序的加工.1865 年,在巴黎举行的国际博览会上,展出了各种各样品种齐全的金属切削机床,标志着机床和切削加工已经发展到一个崭新的历史阶段.此后,在 1892 年,美国人诺顿(Norton W P)发明了用手柄换挡的变速箱.这是机床变速机构的一次重要变革.这种变速机构很快被应用到各种机床上.有关资料记载,1887 年美国人格兰特(Grant G B)发明滚齿机,1890 年出现了立式镗床,1895 年发明伞齿刨床.1908 年,泰勒(Taylor F W)发明齿轮磨床.1910 年,万能铣床已经基本完善.1912 年,制成座标镗床.20 世纪初,世界上各主要工业国家的机床工业已具有相当规模.机床是“工作母机”,又被称为“机械工业的心脏”.机床工业的发展,标志着切削加工和整个机械工业的进步.

自从切削加工技术发展 to 一定水平后,人们开始注意探讨切削过程中的现象和规律,研究切削的理论,并用以指导生产.研究工作主要从 19 世纪,特别是从 19 世纪后期开始的.最早研究金属切削的人要数英国人罗姆福德(Rumford),他于 1789 年研究过炮身加工时的切削热和

切削功. 1851 年, 法国人考克夸尔哈特(Cocquilhat M) 直接测量钻削时切除单位体积金属所需的功. 1873 年, 德国人哈蒂格(Hartig E) 发表了切削功的表格. 1870 年俄国人基麦(ТКБ) 和 1873 年法国人特雷沙(Tresca H) 都曾解释过切削形成过程. 1881 年英国人马洛克(Mallock A) 指出, 切削过程基本上是在刀具推挤下使工件材料发生剪切而成为切屑的过程, 还强调刀具前刀面上摩擦作用的重要性. 他曾将切屑试样经抛光、腐蚀进行观察, 还研究过润滑剂的影响、刀刃锋利性对切削过程的影响, 以及切削过程中引起颤振的原因. 1900 年, 德国人鲁莱克斯(Reuleaux F) 提出, 金属切削时, 在刀具的刃前区工件材料存在一个裂纹, 其过程象劈木头一样. 这种认识是错误的, 由此对切削过程的理解比马洛克又倒退了一步. 19 世纪后期至 20 世纪初期, 美国人泰勒(Taylor F W) 对金属切削加工的规律、理论和科学管理进行了深入的研究. 1906 年他发表了一篇著名的科学论文《论金属切削的技艺》^[1], 这篇论文总结了二十余年调查研究和实践的资料. 1941 年, 美国人厄恩斯特(Ernst H) 和麦钱特(Merchant M E) 发表了关于金属切削过程力学的著名论文, 他们曾进行了大量的基础研究工作.

苏联很重视科学技术史的研究. 在苏联金属切削教科书或参考书中, 经常写入一些名人的传略. 现予举例. 1870~1877 年, 彼得堡矿业学院教授基麦(ТКБ) 对切削过程进行研究: (1) 认为韧性金属的切削是挤压过程; (2) 决定了挤裂角和收缩系数; (3) 提出了切屑的种类及切屑形成的 4 个阶段; (4) 初步分析了切削力, 但未考虑摩擦和塑性变形的影响. 1893 年, 俄国科学家慈伏雷金(Цвѣтков) 在切削力的主要问题上作了许多研究工作. (1) 制作了直接测定切削力的测力仪. (2) 在实验基础上, 建立了切削力的双因素公式为

$$P = k \cdot b \cdot a^{\frac{2}{3}},$$

式中 P 为切削力, b 为切削宽度, a 为切削厚度, k 为常数. 以往, 只知道切削力与切削面积的大小有关. 慈伏雷金发现了切削厚度对切削力的影响小于切削宽度的影响, 当然是一件了不起的事情. 1902~1921 年, 彼得堡工业学院主任技师乌沙乔夫(Ушаков Г) 进行了很多研究工作: (1) 创造了用热电偶测量切削温度的方法; (2) 用金相方法研究切削过程, 发现了滑移面; (3) 创造了图解分析试验结果, 寻找切削规律的方法. 1918~1925 年, 俄国人契留斯金(Челюскин) 进一步建立了多因素的切削力公式为

$$P_z = k \cdot \frac{\delta}{60} \cdot \frac{1}{(\sin \varphi)^{0.25}} \cdot t \cdot s^{0.75},$$

式中 P_z 为主切削力, k 为常数, δ 为切削角, φ 为主偏角, t 为切削深度, s 为进给量.

俄国和前苏联的科学家们在金属切削方面, 有过很多贡献. 然而在金属切削理论与实践的领域内, 作过多方面深入研究, 并在生产实际中收到显著经济效益而为人们所重视的, 还应首推美国工程师泰勒. 泰勒是 19 世纪末到 20 世纪初美国金属切削界的发明家和科学管理家, 对金属切削加工技术及其科学管理有过主要贡献. (1) 研究了切削条件和刀具材料对刀具寿命的影响规律, 确定经验公式, 从而优选切削条件. 泰勒进行了高标准的系统的刀具寿命试验, 得到所谓“泰勒公式”或“泰勒方程”的关系式为

$$v = A / T^m,$$

式中 v 为切削速度, T 为刀具寿命, A, m 为与刀具材料、工件材料及切削条件有关的常数和指数. 泰勒公式是金属切削科学中最重要的经验公式, 至今还在应用. (2) 研究发现, 刀具上的切削温度控制着刀具磨损的速率. (3) 1898 年, 泰勒和冶金学家怀特(White M) 成功研制了高速

钢,并作广泛的、系统的切削实验.在1906年,他们确定的高速钢最佳成分为 $C=0.0067$, $W=0.1891$, $Cr=0.0547$, $Mn=0.0011$, $V=0.0029$,其它为余量 Fe .他们还研究了高速钢的热处理方法与规范.高速钢可用 $30\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度切削钢材,比原用的碳素工具钢、合金工具钢提高了好几倍.高速钢的问世,引起了金属切削的重大变革,获得了巨大的经济效益.当时伯利恒钢铁公司的机械加工车间使用了高速钢,并与改进车间管理结合起来,曾使生产提高了5倍.最初几年,美国机械制造行业,由于使用了价值2000万美元的高速钢,从而增加了80亿美元的产值.时光已经过去了80a,高速钢W18Cr4V的化学成分仍然同泰勒、怀特当年规定的成分相近.(4)泰勒首创‘时间研究’(Time Study)和‘动作研究’(Motion Study).他提倡对工厂的机械加工进行科学的管理.1911年,他发表了《科学管理原理》(Principle of Scientific Management)一书,受到欧美科技界及工商界的重视.泰勒把身体最健壮、技术最灵巧的生产工人进行操作的情景拍成影片,最精确地计算出该工人每一动作所花费的时间,从中剔除掉各种多余动作和浪费的时间,找出时间最省、效率最高的操作方法.资本家曾使之成为一种固定制度,强迫工人去实行.这种制度后来被称为‘泰勒制’.

对于‘泰勒制’,曾有过各种不同观点的评论.有人认为,泰勒制度被资本家阶级利用,起着剥削工人的作用.列宁对泰勒制有过全面的论述^[6].列宁指出,一方面,它‘是资本阶级剥削的最巧妙的残酷手段’;另一方面,它‘是一系列的最丰富的科学成就,即按科学来分析人在劳动中的机械动作,省去多余的笨拙的动作,制定最精确的工作方法,实行最完善的计算和监督制等等’.列宁又指出,‘在这方面无论如何都要采用科学和技术上一切宝贵的成就’;因此,‘应该在俄国研究与传授泰勒制,有系统地试行这种制度,并且使它适应下来’.由此可见,列宁并没有简单地否定泰勒制,而是作了客观的、全面的分析.总之,泰勒对金属切削所做出的贡献,是不容抹煞的.

上面提到威尔金森、惠特沃思、基麦、泰勒等人,都是历史上对金属切削有过卓越贡献的先辈^[6].见诸历史的,多为工程师、教授和专家一类的知名人物.在历史长河中,还有为数更多的劳动者,如工人、工匠和从事切削加工的技术人员,也曾对切削加工作出过重要贡献.我们虽然不知道他们的名字,但是应该同样地怀着崇敬的心情来纪念他们.

中国的科学技术和机械工业在近代历史中是处于落后状态的.自19世纪中叶起,中国才开始有了少量的机械工业,主要有3个方面.(1)外国人经营的船舶修造厂和铁路工厂等.(2)清朝政府兴办的军事工业,如江南制造局、金陵机器局、福建船政局、天津机器局等.(3)民族资本经营的机器制造厂,这类厂家一般规模都比较小.值得写记的有,1862年安庆军械所造出我国第1台蒸汽机;1921~1922年间,由江南制造局发展而成的江南造船所曾为美国建造过4艘万吨运输船;1915年上海荣昌泰机器厂造出国内第1台车床(仿英4尺脚踏车床);1916年,上海王岳记机器厂造出我国第1台3号万能铣床;1926年上海丰泰祥机器厂和福昌祥机器厂分别造成1号和2号万能铣床.抗日战争前,日本帝国主义在东北建立了很多规模较大的机械制造厂,自成体系,为发动侵略战争作准备.中国自己的机械工厂集中在上海等少数沿海城市,实力很弱.七·七事变后,内迁了许多工厂,国民党在大后方(主要在重庆、昆明、成都、贵阳)又设立了一些机械工厂.解放区为了抗战需要,也曾设立了一些小型兵工厂,从事军械修理,并制造少量的枪、炮等武器.据统计,到1947年,我国民用机械工业共有3119个企业,职工10.7万人,拥有机床2.37万台,年用电量 $1.4\times 10^6\text{ kW}\cdot\text{h}$.当时,有少数的机床修造厂和工具厂能自

制一些普通车床、刨床、铣床、台钻, 以及生产少量的麻花钻头、丝锥等简单刀具和量具。可以想象, 旧中国的金属切削加工是非常落后的。解放后 30 a 来, 新中国已经建立了自己庞大的机械制造工业。目前, 全国拥有机床设备达 300 余万台, 飞机、轮船、汽车、各种机床、兵器, 以及冶金、矿山、石油化工等大型机械产品和装备都能自制。可以说, 中国已经作为机械工业的大国、切削加工的大国, 屹立于寰球。百孔千疮、贫弱衰败的旧中国已经一去不复返了。

3 工件与刀具的交替发展及其动力

在切削加工过程中, 刀具与工件有着对立和统一的关系。当一方有了进展或提出新的问题时, 经常推动另外一方的发展与前进。

一般来说, 由于生活、生产或战争的需要, 工件一方的情况经常发生变化。例如, 工件材料的机械性能(如强度、硬度)不断提高、产品的品种和批量逐渐增多、加工精度的要求日益提高、工件的结构及形状不断复杂化和多样化等。这样, 就不断向刀具提出更新、更高的要求。当刀具不能满足这些要求时, 就促使人们改进刀具, 提高其性能, 以适应新的情况。刀具性能提高了, 反过来推动工件进一步发展, 接着工件又推动刀具继续前进。

要全面论述这个问题, 要用很大篇幅和很多资料。本文先从工件、刀具双方材料的发展来加以说明。从 18 世纪中叶到 19 世纪中叶, 工件材料多为灰铸铁、熟铁和钢合金, 它们较易加工, 当时所用的高碳工具钢刀具在切削性能方面已可胜任。19 世纪中叶以后, 由于采用了转炉和平炉炼钢, 钢的产量迅速增加, 逐步代替了灰铸铁、熟铁等, 成为主要的结构材料。钢的加工要难一些。用高碳工具钢刀具加工普通钢材, 只能采用 $5 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 的切削速度。生产率过低, 于是高碳工具钢已不能适应新的加工要求。1865 年, 英国人墨希特(Mushet R)发明了合金工具钢, 使切削速度提高到 $8 \sim 12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 。这样的提高幅度, 仍是很有限制的。1898 年, 泰勒和怀特发明了高速钢, 切削普通钢材的速度一下子提高到 $30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 。这就使切削加工效率得到大幅度的提高, 成为金属切削历史上的一次重大变革。

刚刚发明高速钢时, 刀具材料对于当时加工的需要大体上是适应的。然而, 进入 20 世纪以后, 作为主要工件材料的各种合金钢和铸铁, 其机械性能日益提高。尤其是 20 世纪中叶以来, 各种高强度钢、高锰钢、不锈钢、高硬耐磨铸铁、高温合金、钛合金, 以及各种非金属材料、复合材料等难加工材料相继出现, 高速钢刀具加工这些材料时效率又嫌太低, 或者根本切不动。于是, 人们又改进高速钢的化学成分与热处理方法, 提高高速钢的切削性能, 出现了很多新型高速钢, 如含钴、高钒超硬高速钢等。另外又利用高硬度的高温碳化物和金属粘结剂, 经粉末冶金工艺制成硬质合金。本世纪 20 年代至 30 年代初, 先后制成钴钨类和钨钛钴类硬质合金, 并逐步用于生产。硬质合金刀具加工某些金属的效率, 可比高速钢提高 $4 \sim 10$ 倍。而且硬质合金硬度很高, 可以切削高速钢所加工不了的材料。但是, 硬质合金脆性较大, 可加工性又差, 因此只能在部分加工范围内代替高速钢使用。随后, 又出现了陶瓷、立方氮化硼、人造金刚石等更为先进的刀具材料, 它们的硬度和耐磨性又超过了硬质合金。然而, 这些新刀具材料都因为过脆, 加上价格昂贵、或对某些加工情况不适应等原因, 直到最近它们的使用面还不够广。目前, 切削加工仍处在大量使用高速钢与硬质合金的时代, 高速钢材料约占全部刀具的 $40\% \sim 50\%$, 硬质合金约占 $50\% \sim 60\%$ 。用硬质合金、陶瓷等先进刀具材料, 可以切削硬度达 HRC60 以上的淬硬钢和冷硬铸铁, 也能够解决其它各种难加工材料的加工问题。正因为如此, 这些难加工材料

才能够用于工业生产. 而在 19 世纪或 20 世纪初, 要加工这些材料, 是根本不可想象的.

表 1 列出了几种主要刀具材料的最早出现的年代、维持切削性能的最高温度, 以及切削速度的大致比值. 从表中可以大体了解刀具材料的发展进程. 可以预期, 更难加工的工件材料今

表 1 刀具材料发展概况

最早出现的年代	刀具材料	维持切削性能的最高温度/()	切削速度大致比值
18 世纪	碳素工具钢	200 ~ 250	0.32 ~ 0.40
1865 年	合金工具钢	300 ~ 400	0.48 ~ 0.60
1898 年	高速钢	550 ~ 600	1
1923 ~ 1925 年	钨钴硬质合金	800	3.2 ~ 4.8
1929 ~ 1931 年	钨钛钴硬质合金	900	4 ~ 8
1938 年	氧化铝陶瓷	1 200	8 ~ 12
1957 年	立方氮化硼	1 400 ~ 1 500	—
1965 年	人造金刚石	700 ~ 800	> 25(加工有色金属)

后还会不断出现, 对刀具将提出更高要求, 然后再出现更为先进的刀具材料. 刀具对于被加工工件(或材料)从适应到不适应, 再适应, 再不适应, 二者交替发展, 不断推动切削加工技术前进, 这就是切削加工的历史规律.

桂育鹏、田玉顺等同志参加本文部分资料的搜集和整理工作, 特此致谢.

参 考 文 献

1 古今图书集成编纂部编. 古今图书集成: 第九十四卷仪象部[M]. 北京: 清康熙五十二年刊本, 1714. 70 ~ 80

2 张自烈, 廖文英撰编. 正字通[M]. 北京: 清康熙四年刊本, 1666. 55 ~ 56

3 布思罗伊德 G 著. 金属切削加工的理论基础[M]. 山东工业学院机械制造教研室译. 济南: 山东科技出版社, 1980. 44 ~ 50

4 Taylor F W. On the art of cutting metals[J]. Trans. ASME, 1906, 28: 13 ~ 20

5 列宁. 列宁选集: 中文译本第二卷[M]. 北京: 人民出版社, 1972. 110 ~ 120

6 Trent E M. Metal cutting[M]. London: Butterworths Publishers Ltd., 1997. 10 ~ 100

Technograph of Cutting Technology

Yu Qixun

(Beijing Institute of Technology, 100081, Beijing, China)

Abstract The cutting tools in Chinese remote antiquity—the Stone Age, the Bronze Age and the Iron Age, are described. Actually, Chinese cutting technology had held a safe lead in the whole world. But in modern times, China fell behind after the First Industrial Revolution. The auther elaborates here the development of England, U.S.A. and Russia in cutting technology, machine tool equipment and mechanism of cutting. The alternative development of workpieces and cutter is the motive force pushing forward the development of cutting technology. After 1949, Chinese cutting technology shows significant development.

Keywords cutting technology, technograph, material of cutter, machine tool, mechanism of cutting