

国外机械工业基本情况

电加工

机械工业部苏州电加工机床研究所 编

机械工业出版社

一九八八

1
5

本

出 版 说 明

机械工业肩负着为国民经济各部门提供技术装备的重任。为适应四化建设的需要，必须大力发展机械工业。上质量、上品种、上水平，提高经济效益，是今后一个时期机械工业的战略任务。为了借鉴国外机械工业的发展道路、措施方法和经验教训，了解国外机械工业的生产、技术和管理水平，以便探索我国机械工业具有自己特色的发展道路，我们组织编写了第三轮《国外机械工业基本情况》。这一轮是在前两轮的基础上，更全面、系统地介绍了国外机械工业的行业、企业、生产技术和科学研究等方面的综合情况，着重报道了国外机械工业七十年代末和八十年代初的水平以及本世纪末的发展趋向。

第三轮《国外机械工业基本情况》共一百余分册，参加组织编写的主编单位包括研究院所、工厂和高等院校共一百余个，编写人员计达一千余人。本书为《电加工》分册，主编单位是机械工业部苏州电加工机床研究所。编写人员有陈德忠、楚振斌、罗运清、章齐德、许乐明、施曼玢、王建业、陈钟奕。责任编辑：陈慧毅。

机械工业部科学技术情报研究所

目 录

第一章 电火花加工机床	1
一、行业及企业情况	1
二、电火花成型加工机床的当前技术经济水平	3
三、电火花成型加工机床代表性产品综合介绍	6
四、2000年电火花成型加工技术发展情况预测	9
五、电火花线切割加工机床的当前技术经济水平	11
六、电火花线切割加工机床代表性产品综合介绍	18
七、电火花线切割加工技术本世纪末发展情况预测	23
第二章 电解加工机床	24
一、行业和企业情况	24
二、当前的技术经济水平	24
三、代表性产品综合介绍	27
四、本世纪末发展情况预测	41
第三章 其他特种加工机床	42
一、电子束加工机	42
二、离子束加工机	43
三、等离子弧切割机	44
四、放电成形机	44
五、电磁成形机	44
六、磁力研磨机	45
七、放电烧结机	45
八、超声加工机	46
九、激光加工机	50
参考文献	54

第一章 电火花加工机床

一、行业及企业情况

70年代末80年代初,由于模具制造业的迅猛发展,电加工机床的作用日见重要,其需求量不断增长。80年代全世界电加工机床的市场规模约为850~900亿日元,其中40%的销售市场在日本,台数占50%,其次美国占20%,联邦德国占15%,这三国占世界市场的80%以上^[1]。

日本所占比例最大,足见其发展势头之猛,据统计1981和1982年日本电加工机床总产值约为450亿日元^[2],1983年上升至650亿日元^[3]。

一些老牌电加工制造商在生产、销售方面仍占领先地位。如瑞士 Agie 公司,一年约产电火花线切割机床700台^[4],Charmilles公司1983年度电火花加工机床的销售额约为11500万瑞士法郎^[5]日本 Sodick 公司的销售额1982年为83亿日元,1983年增至106亿日元^[6]。

电加工机床主要用于模具制造以及一些工夹具及零部件的生产。图1-1所示为电火花线切割机床在日本的利用率。

各国电加工机床制造商在重视本国销售市场的同时都积极致力于开拓和扩大国际市场。日本、瑞士等国的制造商在海外都有推销公司或代理商推销产品,并兼营技术服务。瑞士 Charmilles 公司自1955~1983年共计生产了15000台电火花加工机床(其中电火花线切割机床不到10%)产品销往日本、美国、联邦德国、法国、英国等60多个国家。截止1983年,出口到日本的累计台数已达1100台,近年来平均每年100台^[9]。Agie 公司的电火花线切割机床95%供出口,其中10%销往日本。累计已达215台。

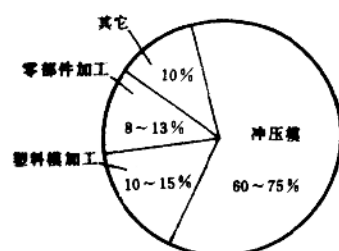


图 1-1 日本电火花线切割机床利用率

最近,由于日本市场上电火花加工机床的需求有增无减,这两家公司也更新了经营方式,以更强的姿态出现。Agie 公司在日本设立了子公司,取名为“Agie 日本”。取代了以往的远东总代理店。在推销产品的同时加强技术服务。Charmilles 公司也与日本 AMADA 公司建起了合办公司。借助该公司在日本的影响,推销其高级机床。合资公司定名为“Charmilles·ADAMA”,ADAMA 公司现虽已停产电火花加工机床,但其在机床行业的影响犹在。特别是与模具行业有很深的关系,选其作为推销的伙伴是不无道理的。

日本 FANUC 公司与美国 ELOX 举办合资企业开发新产品也是近来引人注目的一例。

下面重点介绍几个企业的情况:

1. 瑞士 Agie 公司

该公司成立于1954年,约有工作人员1000名,各部门所占比例大致为:开发部门110人,制造部门400人,销售、服务部门170人,经营、财务部门130人。产品有5种类型的电火花成型机床,3种类型的电火花线切割机床总数已超过2000台,其产品的95%向世界60多个国家出口。

表 I-1 企业情况

企业名称	Agie	Charmilles	Sodick	JAPAX	三菱电机	FANUC
地 址	Losone Locarno	CH 12H Geneve 10	神奈川县横浜正 港北区新横浜 5-1	神奈川县川崎 市高津区坂戸100	东京都千代田 区丸の内2-2-3	山梨县南都留 郡忍野村忍草字 古马场3586
国 别	瑞 士	瑞 士	日 本	日 本	日 本	日 本
重点产品及 名 牌 产 品 简 介	Agietron EMS系列电火 花成型机床与 Agiecut DEM 系列电火花线切 割机床	Robocut 系 列电火花成型 机床与 F432 DCNC、F532 系列电火花线切 割机床	电火花成型机 床 A3c、A3c R、A5c、A10c 系列及电火花线 切割机床 330 w 453 w、654 w 系列	Dx 45 NC、 Dx 55、Dx 85 系列电火花成型 机床及 LX500A、Lx 500 B、Lx1000S系列 电火花线切割机 床	电火花成型 机床 M35cb、 G30p、M55cb 、G60P系列及 电火花线切割机 床 DWC70F、 DWC90F、 DWC110F系 列	FANUC TAPE cut- MODEL o/p/ Q/R及 SP系列 电火花线切割机 床
产量 (年)	1200台					
产值 (年)	81年 1.60亿瑞士 法郎	83年 1.15亿瑞士 法郎	83年 106亿日元		150亿日元	115亿日元 (83)
固定资产						
设备拥有量						
从业人员	1000名		200名			1200名
发展沿革 和 技术特长			76年成立,其 时销售仅为6 亿日元至83年已 达108亿,足见其 发展之快。电火 花线切割机床工 作液水、油两用 是特长	53年7月设立 日本放电加工研 究所,80年2月 改名为JAPAX 株式会社	机床稳定可靠 精度保持性较长 技术先进为特长	72年从富士通 分出,成立富士 通FANUC,75 年完成电火花线 切割机床研究。 82年7月1日改 名为FANUC株 式会社84年完成 新系列电火花线 切割机床研制
其 他		84年改名:电 火花线切割机床 为:ROBOFIL 200;电火花成 型机 床 为: ROBO FORM 200				兼营数控设 备、电机、机械 手注塑成型机及 其它数控机床

该公司每年用于研究的投资占销售额的15%以上。其设计与开发部门犹为引人注目,它由众多获得过汉诺威工科大学、苏黎世工科大学博士称号的学者组成。坚强的科研阵营保证了公司在技术上始终处于领先地位。

公司十分重视产品质量,这不仅体现在设计、制造等方面,就是在装配过程中,也逐台

用激光测长仪进行测量、调试,确保其机床精度高、稳定性好的美称^{[5][10]}。

2. 日本Sodick公司

该公司成立于1976年,共有职工200名,主要生产数控电火花成型机床与电火花线切割机床。初期是与牧野铣床制作所合作,1979年独立。从成立至今,公司的发展速度是极快的。1976年,其销售额仅为6亿日元,1982年跃为83亿,1983年发展至106亿,为1976年的17.7倍。公司在横滨、福井、盛岡设有3个工厂,另有5个子公司。在美国、联邦德国、新加坡三国设有独资或合资的推销公司。

该公司起步靠的是使数控电火花机床商品化,数控机床出现的初期,市场上并没认识到花钱搞数控的好处。Sodick公司大胆投资研究,终于在1979年秋实现了三轴数控,使加工精度与加工性能大大提高。“FINE SODICK”系列数控成型机使公司崭露头角,站稳了脚跟。

该公司有一个特点,即进行分权经营,如五个子公司,职责分明。“北陆Sodick”专营数控装置及电源的制造;“Sodick Mechatronics”生产价格100~1000万日元的产品;“横滨Sodick Material Center”进行外购件的采购供应;“S&O”生产油之类消耗品、附属机械等价格不到100万日元的产品;“Sodick Lease”搞机床出租业务。据说,以所制产品的价格为基准,设立分公司是因为“生产千万元以上产品的公司如果处理数万元的产品就会不珍惜,使买卖谈不细”^[6]。

上述企业及其它企业的有关情况见表1-1。

二、电火花成型加工机床的当前技术经济水平

1943年,苏联拉扎连柯(Б.П.Лазаренко)发明了电火花加工技术以来,接着又研制了世界上第一台电火花机床。由于这一新技术具有许多优点,所以世界上许多工业发达国家如美国、日本、瑞士、英国、联邦德国、法国等都相继发展了这类机床。

目前,这类机床的拥有量以苏联为最多,日本约有30000台,美国约有20000台,全世界的年产量约为10000台,其中日本占4500台左右。据日本山梨大学向山芳世教授统计,电加工机床在1981年的世界市场上的销售额为900亿日元,日本约占50% (其中NC电加工机床占生产额的78%)。

国外电火花成型加工机床主要的制造厂家有:日本的Japax公司、Sodick公司、三菱公司;瑞士的Charmilles公司、AGIE公司等。

1. 当代国际电加工成型机床的技术经济水平大致体现在以下几个方面

(1) 电火花成型机床的数控化:近年来电火花成型机床的数控技术发展很快,以日本为例见表1-2。

表1-2 日本EDM与NC EDM产量销售额

年 份	1980		1981		1982	
机床种类	EDM	NC EDM	EDM	NC EDM	EDM	NC EDM
产量(台)	1420	420	1180	630	600	1250
销售额(日元)	11.5亿	35亿	105亿	90亿	60亿	190亿

由此说明数控机床不断上升,而普通的电火花成型机床逐年下降。

国外数控电火花成型机床 (NC EDM) 一般有以下主要功能: (a) 摇动加工功能; (b) 电极自动交换功能; (c) 程序加工功能; (d) 自动检测自动补偿, 自动定位, 自动找中心功能等。

数控功能还包括: 二轴同时控制的二维轨迹加工, 加工时 Z 轴 (主轴) 旋转 + x-y 轴圆弧直线插补可以用简单电极进行轮廓轨迹加工。例如: 电液伺服阀的阀体加工等; 三轴 (四轴) 同时控制加工 (即 x-y-z-c 轴) 可以进行三维加工, 由于电极损耗及补偿等问题三维加工技术目前还处于研究阶段。

摇动加工功能: 摇动加工机构已发展到与伺服进给机构, 数控装置结合在一起的一体化装置。例如: 日本的 Makino Sodick 公司的 b Loran、瑞士 Charmilles 公司的 ISO-CUT、ROBO-CUT 等。

摇动加工的主要功能: (a) 横向伺服加工和同时二坐标伺服加工; (b) 45° 同时三坐标伺服加工; (c) Z 轴 (主轴) 伺服的同时, X-Y 坐标作轨迹平动; (d) 模型 (Pattern) 加工 (例如: 半球体加工); (e) 正、反锥度加工; (f) 自动扩大加工。

因此摇动加工带来一系列的优点: (a) 粗加工到精加工可以用一个电极, 减少了电极数量, 并且可以用简单形状的电极进行成形加工, 基本解决了以往制造成形电极的许多问题, 减少了电极制造成本。这是电火花成型机床的一大进步; (b) 改善了排屑条件和冷却效果, 使加工得以顺利进行, 并防止电弧的产生; (c) 扩大了应用范围, 例如, 能进行螺纹加工、孔内槽的加工、锥度加工等; (d) 电极损耗得以补偿, 加工精度得以提高; (e) 能降低表面粗糙度, 在加工过程中, 由于摇动运动, 能使表面的尖峰部分得到整平, 从而降低表面粗糙度。

电极自动交换功能: 一般在机床主轴的侧面设有工具电极库, 在工具电极库内一般可存放 6、8、16、24 支电极, 按预编的程序可以自动交换电极。配以自动检测、自动定位、自动找中心等功能, 可以实现复杂型腔用简单电极进行分解加工的工艺。

程序加工功能: 加工条件可存储在 NC 装置中, 存储的内容有加工电流、脉冲宽度、占空系数、回路的切换、加工电压、主轴进给速度、电极极性等。可以按程序自动完成粗——精加工, 并能达到预期的工艺指标, 这样就提高了自动化程度, 不必依赖熟练操作人员进行操作。

自动检测, 自动定位, 自动找中心功能: 由于目前模具的结构越来越复杂, 大多为多型腔 (孔) 的模具, 因此自动定位, 自动找中心具有十分重要意义, 定位精度可达 $0.002 \sim 0.003$ 毫米。

国外 NC EDM 已很普及, 具有代表性的产品如: 日本 Japax 公司的 DX-45 NC 电火花成型加工机床; 日本 Sodick 公司的 A3CR 电火花成型加工机床等。

(2) 镜面加工: 电火花镜面加工是指加工表面粗糙度 $R_{\max} = 0.5 \sim 2$ 微米。镜面加工是一种微小能量的加工, 目前镜面加工在国外已装备在机床上实际应用, 但只能加工较小的面积 (约 100 毫米²)。镜面加工的开发可以对中小型模具等直接进行精密加工, 而不需要抛光工序。

日本 Japax 公司 np 脉冲电源可以实现镜面加工, 还有 np-F 电源, 其加工光洁度可达 $R_{\max} = 1$ 微米。但加工面积都不大, 实际上只能加工约 10×10 毫米的面积。该公司最近研

制的Cool Pulse电源,据说可加工100厘米²的面积,此时表面粗糙度为 $R_{\max} = 3$ 微米。

日本Sodick公司, Makino公司都研制了镜面加工的电源,水平比较接近。

(3) 适应控制技术: 适应控制(AC)在国外电火花成型机床上应用较多,近年来适应控制系统已由单因子发展到四因子(加工电压 u 、脉宽系数 τ 、工作液压力 P 、电极跳动周期 T)适应控制系统,并且将加工状态定量化,又把检测方法和过程检测方法附加在适应控制上。适应控制的检测,目前除了电压检测外,还有声频检测,射频检测,相关检测等方法。适应控制不但能提高机床的自动化程度,而且能防止电极(或工件)的烧伤,以避免工件报废,还能改善工艺条件提高加工效率。

(4) 高精度加工: 由于模具及有关零件的精度提高,高精度电火花成型机床是国外的发展趋向,目前机床精度水平为: 定位精度 $0.002 \sim 0.003$ 毫米,加工通孔精度为 $0.005 \sim 0.01$ 毫米,加工盲孔精度为 $0.01 \sim 0.03$ 毫米。代表性的产品如: 日本Sodick公司A3CR电火花成型机床及瑞士Charmilles公司的220~CNC电火花成型机床。国外除了对提高加工精度进行研究外,对机床本身提高精度进行了研究,具体措施大致有以下几个方面:(1) 合理的部件结构设计。(2) 正确的选材。(3) 合理的时效处理。(4) 采用隔热及冷却措施。

特别对电加工机床的热变形越来越被人们重视,因为火花间隙的放电加工使工作台上油槽内油温升高及伺服电机的发热等都能产生热传导影响机床的精度。所以国外精密电火花成型机床采用了隔热及热平衡结构等措施。例如,日本Makino公司的EDNC-32电火花成型机床就具有热平衡及隔热措施。

(5) 不燃性工作液: 最近国外电火花成型机床注意采用水质工作液,而不是传统的油工作液,这多半是出于安全的原因,因为在用大电流加工时,用油做工作液容易起火。例如,日本Japax公司的DC-FDM电火花成型机床,就是采用水质工作液,这种水质工作液是在水中加6%的JBM-16,它是一种在水基上加有二性离子活性材料的工作液。水质工作液的优点是:(1) 加工时不会发生火灾,可以减少拉弧。(2) 没有烟气发生,不会污染环境。

(3) 节能,可以节省大量的油。

2. 电火花成型加工机床所能达到的主要综合技术经济水平如下

(1) 工作精度: 其中包括定位精度和加工精度。加工精度是机床的综合精度,主要指的是加工工件的尺寸精度。例如: 加工通孔(冷冲模)的精度为 $0.005 \sim 0.01$ 毫米。加工盲孔(型腔模)的精度为 $0.01 \sim 0.03$ 毫米。

(2) 精度保持性: 是指机床按规定的精度标准出厂供用户使用后,这些精度指标所能保持的年限,一般为 $5 \sim 10$ 年,这是衡量机床制造水平及使用工艺水平的重要标志。

(3) 加工速度: 是指每分钟工件蚀除的体积,它的单位为毫米³/分。其水平一般为1安培(加工电流)为10毫米³/分。它是衡量电火花成型机床的基本工艺指标的标志之一。

(4) 加工表面粗糙度: 由于各类模具要求的表面粗糙度越来越小,故机床能达到的表面粗糙度越小,其水平愈高,应用范围也愈广。目前电火花成型机床所加工的表面粗糙度可达 $R_{\max} = 1 \sim 2$ 微米。

(5) 可靠性: 机床的故障率越低,设备就越安全可靠。这一标志体现了机床的设计、制造等水平。对故障率有些工业发达国家都有规定。

(6) 数控功能: 其功能已在前述。数控功能可以提高加工工艺指标,扩大机床的应用范围,改善劳动条件。数控功能愈多,一般来说机床的水平也愈高。目前功能约有十几~几十

十种。

(7) 自动化程度: 它的主要目的是减轻操作人员的劳动强度及降低对熟练操作人员的依赖程度。目前可达到昼夜无人操作的程度。

(8) 附件夹具: 附件、夹具愈全, 机床的利用率也愈高, 应用范围也愈广, 装卡定位的水平也愈高。瑞士的 3 R 夹具是广泛应用的一种夹具。

例如: 瑞士Charmilles公司的ROBOCUT 220-C NC 电火花成型机床及日本Sodick公司的A 3 C R 电火花成型加工机床主要技术水平如表 1-3 所示。

表1-3 电火花成型机床水平

序	水平标志		Robocut 220-CNC	A 3 C R
1	工作精度 (毫米)	定位精度	± 0.002	± 0.003
		加工通孔精度	0.005 ~ 0.01	0.005 ~ 0.01
		加工盲孔精度	0.01 ~ 0.03	0.01 ~ 0.03
2	精度保持性(年)		> 5	> 5
3	加工速度 毫米/分	最高加工速度 (50安时)		40安时 5 克/分
		Ra = 1.25 ~ 2.5 微米。 电极相对损耗小于 1% 时		0.057 克/分
4	加工表面粗糙度 (微米)		Ra = 0.1 ~ 0.28	R _{max} = 0.6
5	可靠性 (平均故障时间)			
6	控制功能		Robocut CNC 系统控制。对话式自动编程。 工作液抽吸方式, 伺服灵敏度等都可 编入程序。自动交换电极 8 ~ 24 支	Sodick Maykv 控制除 x、y、z 轴数控外还 有 R 轴
7	自动化程度			
8	附件	功能附件	ISOCUT 装置自动电极交换装置	R 轴旋转头, 自动电极交换装置
		装夹定位附件	3 R 夹具	装夹定位夹具
9	噪音(分贝)		< 80	< 80

三、电火花成型加工机床代表性产品综合介绍

1. 日本Japax公司DX 系列电火花成型机床见表1-4, 其中DX 45NC 电火花 成型机床见图 1-2。

2. 日本Sodick公司A3C-R, A5C, A10C 电火花成型机床见表1-5, 其中A3C-R电火 花成型机床见图 1-3。

3. 日本三菱电机的 M35C 6 - G30P、M55C 6 + G66 P电火花成型机床的主要技术参数

表1-4 DX系列电火花成型机床

国 别 厂 名	日本Japex		
机 床 型 号	DX45NC	DX55NC	DX85NC
工作台尺寸(长×宽) 毫米	760×400	700×500	1000×700
加工槽尺寸(长×宽×高) 毫米	950×600×450	1400×800×500	1750×1050×700
工作台行程(横向×纵向) 毫米	450×350	800×400	1300×600
最大工件重量 公斤	1000	1000	3500
主轴上下行程 毫米	250	250	450
控制方式	三轴同时控制	同左	同左
最大电极重量 公斤	100	150	500
最大平均加工电流 安	np10c:50 np20c:100	同左	同左
电源输入 千伏安	4: 8	同左	同左
机床外形尺寸(长×宽×高) 毫米	1480×1840×2450	2290×2640×3280	3380×3000×3975
机床重量 公斤	2400	4500	9500
NC装置形式	JAPT33A	同左	同左
电源型式	np电源	同左	同左
定位精度 微米			
加工精度 微米			
加工速度 g/min	6		
电极损耗 %			
表面光洁度 微米	Rmax3		

表1-5 Sodick公司电火花成型机床

国 别 厂 名	日本 Sodick		
机 床 型 号	A3C·R	A5C	A10C
工作台尺寸(长×宽) 毫米	600×300	700×500	1800×800
加工槽尺寸(长×宽×高) 毫米	750×470×320	900×700×400	2300×1200×750
工作台行程(横向×纵向) 毫米	300×200	480×390	1000×500
最大工件重量 公斤	400	1000	5000
主轴上下行程 毫米	250	320	500
控制方式	四轴同时控制	三轴同时控制	同左
最大电极重量 公斤	15	100	500
最大平均加工电流 安	40	40	80
电源输入 千伏安	40+0.75	4.0+1.9	7.0+6.65
机床外形尺寸(长×宽×高) 毫米	1120×1150×2470	1484×1615×2665	2650×2900×4050
机床重量 公斤	1700	3000	12000
NC装置型式	MARK V型	同左	同左
电源型式	MARK V型	同左	同左
定位精度 微米			
加工精度 微米			
加工速度 g/分	3.8		
电极损耗 %			
表面光洁度 微米	Rmax1~2		
自动更换电极	有(16)	有(12)	无
摇动加工			
电极夹具	专用SNT夹具	专用TP夹具	同左

表1-6 日本三菱电机和瑞士Charmilles公司电火花成型机床的比较

国 别 厂 名	日本三菱电机		瑞士Charmilles	
机 床 型 号	M35Cb + G30P	M55Cb + G60P	D440 ISO CUT	ROBOUT 220 CNC
工作台尺寸 (长×宽) 毫米	700 × 500	800 × 600	850 × 570	450 × 340
加工槽尺寸 (长×宽×高) 毫米	800 × 500 × 310	1000 × 650 × 430	1000 × 625 × 450	650 × 475 × 385
工作台行程 (横向×纵向) 毫米	350 × 250	450 × 350	410 × 200	280 × 240
最大工件重量 公斤	500	1000	600	300
主轴上下行程 毫米	350	350	200	150
控制方式	四轴同时控制	同左		
最大电极重量 公斤	75	200	150	30
最大平均加工电流 安	30	60	300 ~ 400 (连附加电源)	50
电源输入 千伏安	10	14	1.5	6
机床外形尺寸 (长×宽×高) 毫米	1718 × 1818 × 2495	1983 × 2118 × 2595		1250 × 1500 × 2200
机床重量 公斤	2500	3500	2000	1500
NC装置型式	C6	C6		自制CNC
电源型式	G30P	G60P	ISOPULSE 80	ISOPULSE 80
定位精度 微米				
加工精度 微米				
加工速度 克/分	3	7		
电极损耗 %	0.8 ~ 1% 以下	0.8 ~ 1% 以下		
表面光洁度 微米				
自动更换电极	有	有		有
摇动加工				自制或用 3R 夹具
电极夹具				

表1-7 EMS系列电火花成型机床的主要技术参数

国 别 厂 名	瑞 士 A G I E	
机 床 型 号	EMS2-20	EMS3-30
工作台尺寸 (长×宽) 毫米	490 × 370	630 × 500
加工槽尺寸 (长×宽×高) 毫米	710 × 520 × 465	945 × 650 × 465
工作台行程 (横向×纵向) 毫米	320 × 220	420 × 320
最大工件重量 公斤	600	800
主轴上下行程 毫米	200	400
控制方式		
最大工件重量 公斤	200	500
最大平均加工电流 (安培)	35	65
电源输入 千伏安	7	10
机床外形尺寸 (长×宽×高) 毫米	2200 × 1525 × 1395	2740 × 1880 × 1790
机床重量 (公斤)	1300	1800
NC装置型式		
电源型式	30L DDL	60L DDL
定位精度 (微米)		10
加工精度 (微米)		
加工速度 (克/分)	2	4.2
电极损耗 %		0.5 ~ 1% 以下
表面光洁度 (微米)	R max = 3	R max = 3
自动更换电极	无	无
摇动加工		有 (平动头)
电极夹具	3R 夹具	3R 夹具

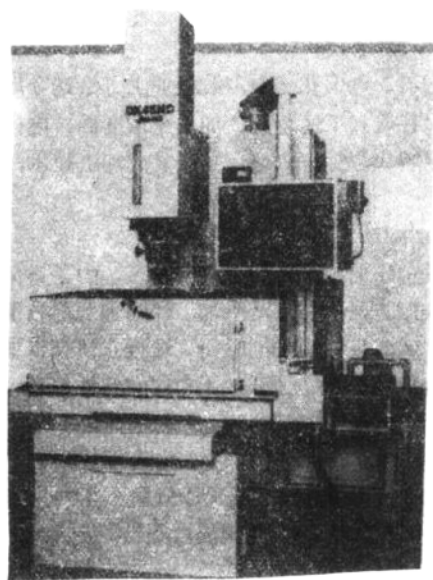


图1-2 DX45NC电火花成型机床外形

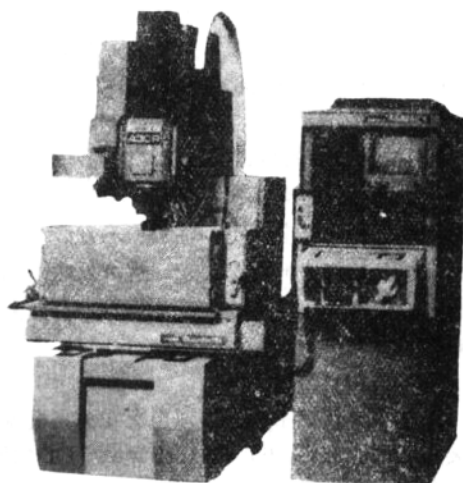


图1-3 A3CR电火花成型机床外形

见表1-6。

4. 瑞士Charmilles公司的D440ISOCUT、ROBOCUT——220CNC电火花成型机床的主要技术参数见表1-6。

5. 瑞士AGIE公司的EMS系列电火花成型机床的主要技术参数见表1-7。

四、2000年电火花成型加工技术发展情况预测

2000年电火花成型机床国际技术水平的发展主要将体现在以下几个方面：

1. 电火花成型加工中心的发展

以模具加工的例子来说，目前的电火花成型加工只限于加工各种型腔，今后发展趋势为可以进行多功能的加工，例如能加工型腔（孔）模定位孔，螺钉孔等，因此，它不但具有自动交换电极功能，而且还能自动装夹定位，自动检测等。

2. 机电一体化的发展

机电一体化不但包括机电仪一体化的机床结构，而且包括机电一体化的加工功能，目前的电火花成型机床越来越与机加工机床相结合，例如：坐标磨床，坐标镗床等。发展机电一体化加工能充分改善电加工及机加工存在的不足，是实现高精度模具加工的发展方向。

3. 简单电极的三坐标成型加工

目前电火花成型加工的电极制造：特别是复杂形状及高精度电极的制造是一大难题，因此目前已开始研究简单电极加工复杂型腔的加工工艺，但三坐标加工目前还存在许多问题，

特别是电极损耗影响加工精度的问题，今后的发展方向为：研究电极损耗规律，采用计算机对加工过程进行修整补偿；或研究无损耗电源为简单电极的三维加工创造条件。

4. 复合加工技术的发展

在电火花成型加工中采用电火花—电解成型加工，电火花—超声波等加工方法是今后的发展方向。由于电火花加工相对电解加工来说，存在着加工速度低，加工光洁度低，电极损耗等问题，但加工精度较高。因此研究电火花—电解成型加工机理，发展复合加工技术，也是今后发展的方向。

5. 框架结构的电极展成加工方法

该项工艺已在电解加工中进行了初步试验，目前正向电火花加工方向发展，为了避免电极损耗，正在研究电火花—电解加工方法。这种加工方法的特点是待加工件的加工部分不是以粉末状而是成块地加工下来，这可以在粗加工时大幅度减少加工时间。最近正研究框架式电极进行轮廓形状的展成加工计算机多坐标数控电火花机床，还开发了专门的软件，是一个新的发展方向。

6. CAD/CAM系统

以型腔模具加工为主，以电火花成型机床作为加工系统的CAD/CAM是今后的课题，主要是软件的开发，以及NC-EDM及EDM加工中心作为CAM实现的可能性。所设想的框图如图1-4所示。

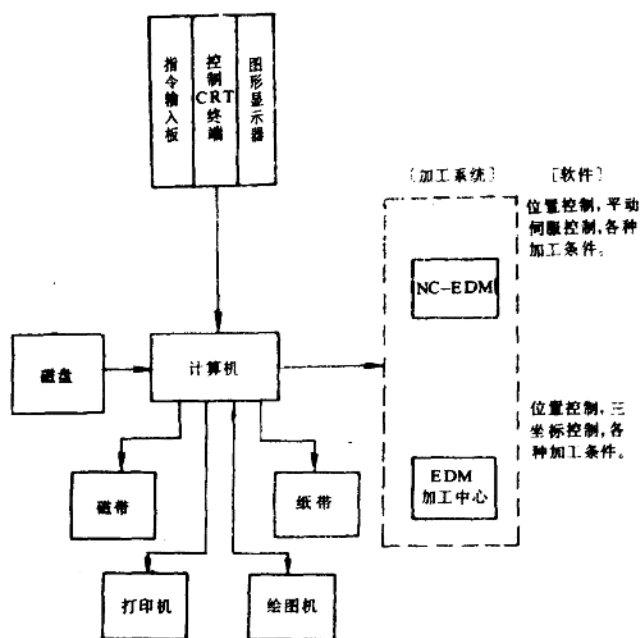


图1-4 型腔模制造CAD/CAM系统框图

参 考 文 献

- [1] 《プレス技術》1984. Vol.22, No.2
- [2] 《電気加工学会誌》Vol.17, No.33
- [3] 《電気加工技術》Vol.5, No.13
- [4] 《プレス技術》1985. Vol.23, No.1
- [5] 《生産財マーケティング》1983.7
- [6] 《同上》1984.7
- [7] 《金属プレス》1983.9
- [8] 《プレス技術》1984. Vol.22, No.7
- [9] 《生産財マーケティング》1983.12
- [10] 《プレス技術》1984. Vol.22, No.1
- [11] 斎藤長男: 电火花加工的现状及研究课题 《電気加工技術》1982. Vol.5, No.13, P.1~8
- [12] 《The Situation of EDM Machines in Japan》JSEMF Jan.31 1979
- [13] 何山芳世: 电火花加工的进展 《電気加工学会誌》1983. Vol.17 No.33, P.1~17
- [14] 《機械ヒ工具》1984.1, P90~99
- [15] 《1984年日本金属加工機械技術展覧会简介》日本貿易振興会 (JETRO)
- [16] 増田隆久、向山芳世: 电火花加工 (连载 今后的研究课题) 《精密機械》74卷, 12号, 1981. 12号106~107

五、电火花线切割加工机床的当前技术经济水平

电火花数控线切割机床应用面之广, 产量之大, 功能之完善在所有数控机床中是居首位的。据日本东京大学福井雅彦的统计, 日本电火花线切割机床的拥有量, 1983年为11000台, 1984年为13000台。每月生产量: 1983年为168台, 1984年为200台^[1]。投入使用的线切割机床有7000余台^[2]。每月的开动率约360小时。

从各国的产品分析, 不仅产量急剧上升, 而且技术水平也有明显提高, 主要表现在加工指标、加工工艺以及自动化程度等方面。

1. 加工指标大大提高

目前线切割机床加工精度可达直线度 $1 \sim 2$ 微米; 节距精度为2微米; 椭圆度2微米; 拐角处的塌角近似零。加工表面粗糙度可达 $R_{\text{max}} = 2 \sim 3$ 微米^[2]。加工速度 (又称加工效率) 可达200毫米/分^[1]。由此电火花线切割的加工技术跨入精密、高效、高光洁度的领域。

2. 加工工艺日趋完善

为了求得加工指标的进一步提高, 除了改进机床结构, 脉冲电源以及控制系统外, 另一个重要的方面是研究线切割加工工艺, 所以各国的大学、研究所和制造厂都为此花费相当大的力量。研究结果说明要创造精密加工采用“二次加工”的方法 (又称“多次加工”) 是目前较实用的途径。这一认识是电火花线切割加工史上重要的一页。

表1-8为二次加工的实例^[1]。试件为SKD-1厚度为20毫米。

3. 自动化程度愈来愈高

最近几年问世的电火花线切割机床几乎全是CNC控制系统, 附有自动编程装置 (包括

表1-8 二次加工实例

	加工次数	加工精度 (毫米)	表面粗糙度 R_{max} (微米)	花费时间比
粗加工	1	± 0.02	18~20	1
二次加工	2	± 0.01	8~10	0.3~0.5
	3	± 0.007	5~6	0.3~0.5
	4	± 0.005	2~3	0.3~0.5

编程、打印程序清单、穿孔纸带、绘图以及复制纸带等)；还有自动加工穿丝孔装置；自动接线装置以及自动上料机构等。至此机床完全可以昼夜自动运行，无须操作者参与。表1-9为日本几家公司产品的自动化情况。

表1-9 日本线切割机床自动化情况

	贾派克斯	法那科	三菱电机
	I 系列	MODEL系列	DWC系列
自动停机	0	0	0
自动停电后恢复	0	0	0
自动接线	0	0	0
自动加工预孔	0	0	—
自动上料	0	—	—
自动回退	0	0	0

注：表中0表示具有该自动化功能

4. 电火花线切割机床的三化——标准化、通用化和系列化程度

标准化——各个制造厂都有企业标准、行业标准，有的国家还制订该类产品的国家标准。每台产品出厂经过本厂检验部门检验签字后填写产品质量保证书。一般企业标准要高于行业标准或国家标准，产品的实际指标要高于保证书上所列的标准，这样才能在市场上竞争。例如：日本富士通FANUC公司生产的线切割机床H型，其几何精度就略高于日本电气加工会制订的线切割机床行业标准^[3]。

标准化还包括产品设计者尽量采用市场上有供应的标准件，如滚珠丝杠、滚珠导轮、轴承、陶瓷导轮、防护罩等等。即保证质量，又降低成本，缩短产品设计与更新的周期。

通用化——各部件的通用化对发展系列产品十分重要，因此一台基型产品研制成功后，就很自然的向两头系列产品延伸。一般制造厂机械零部件通用化比例相当大，至于脉冲电源控制箱、过滤器以及其他标准附件（例如：加工锥度装置、自动接线装置、工作液冷却器以及编程器等）更是通用的。

表1-10为电火花线切割机床产品的通用化情况^[4]。

系列化——为了满足用户的生产需要，必定要发展不同规格、不同功能的系列产品。规格有大、中、小或特殊专用机床。并有普通型、精密型、超密型等。此外结构设计，外形等都保持各厂的特色。

表1-11为各国电火花线切割机床的产品系列^[5]。有时系列产品中某些部分改进，如控制

表1-10 线切割机通用化情况

制造厂	产品型号	控制箱	脉冲电源	过滤器
索台克	330 W	0	0	0
ソライツク	654 W	0	0	0
西部	E W 300 E	0	0	0
电机	E W 400 E	0	0	0
贾派克斯				
シヤバックス				
牧野	E C 3025	0	0	0
铣床	E C 7050	0	0	0
日立	H C U T 304	0	0	0
精工	H C U T 406	0	0	0
恰米莱斯	F 432	0	0	0
Charmilles	F 532	0	0	0

注: 0——表示通用

表1-11 各国线切割机床系列产品

国别	制造厂	产品型号
瑞士	恰米莱斯 Charmilles	F 432, F 422, F 532, F 522
	阿奇 Agie	DEM250 DEM400 DEM700
日本	三菱电机	DWC 70 DWC 90 DWC 110 DWC 200
	阿马达 アマダ	WPAM1, WPAM2 WPAMF WPAM3F WPAM4F
	索台克 ソライツク	330 W 654 W
	西部电机	E W 25 E W 30 E W 300 E E W 400 E
	法那科 ファナック	MODEL E, H, I, J, MODEL K, L, M, N MODEL O, P, Q, R
	贾派克斯 ジヤバックス	L 200 A, L 250 A, L 300 A, L 350 A, L 450……
	日立精工	H C U T 304 H C U T 406
	索尼洛 シイロ	F 431 F 430 F 420 F 530
	兼松江商	DEM250 DEM400 DEM700
	牧野铣床	EC 3025, EC 3040, EC 7940
西班牙	渥那 ONA	25-50 50-70

箱或脉冲电源, 则整个系列都更新。日本法那科公司1980年的系列产品为E、H、I、J型, 1982年改为K、L、M、N型, 1983年又改为O、P、Q、R型。不仅在外形上, 尤其是性能上都有较大的改进。

表 1-12 为日本法那科公司系列产品的性能变化情况。

表 1-12 法那科公司系列改进及性能变化

系列型号	生产率 mm^3/min	功 能
E、H、I、J	80	自动接线装置
K、L、M、N	110	自动接线装置加工条件自动设定
O、P、Q、R	240	自动接线装置 加工条件自动设定、高速加工起始孔装置

5. 机械本体

机床按各种规格尺寸可分小型、中型、大型和超大型。一般小型机床呈C型结构，配置十字坐标工作台，结构紧凑。中、大型机床则为门式结构，线架在横梁上运动，工作台只有一个坐标移动。门式结构机床刚性强，承载能力大。线切割机床的床身多数为箱形的铸件，热变形小，稳定易保持精度。高精度的机床对箱形床身还须作热稳定处理，防止因环境变化机床产生较大的变形。对于普及型的机床有的工厂采用钢管焊接床身，其优点是：产品改型更新快，床身加工周期缩短，在结构上便于配置，且重量轻；缺点是：焊接件变形大，内应力难于消除，故影响机床精度，因此只适合于普通级的机床，如日本FANUC公司的系列产品就采用焊接床身，该公司的高精度机床——FANUC TAPE CUT MODEL SP则采用门式结构，铸铁床身，且非常重视机床的热变形及刚性问题。

为了达到精密传动，机床的关键件是滚珠丝杠和滚动导轨。要保证承载力，刚性及灵敏度，则对导轨要加预紧力，增加支承长度，丝杠则要提高精度及刚度。日本FANUC公司的产品采用双支承块的滚动体，有四条自循环的滚动体，接触面大，导向准确，调节及装配方便，该滚动导轨由日本THK公司提供，经过严格检验后成对供应，保证使用精度。

6. 线切割机床采用的水质工作液

工作液为离子水，有水质自动监测装置，机床的防锈问题很重要。所以工作台及工作液箱等都采用不锈钢材料，为防止工件在加工过程中生锈（对于大型工件更突出），有的工厂考虑浸入式加工（瑞士Charmilles F系列机床），即工件完全浸入水中，与空气隔绝也不易生锈。

净化工作液一般采用加助滤剂的过滤器，也有用纸质滤芯的。助滤剂是属硅藻土类的白色粉末，目的是使电蚀产物凝聚结成团状后沉淀下来。过滤器有单级和多级，随弃式和再生式等等，某些高精度的机床过滤器多台串联应用，水质纯净度非常高，对于加工精密细微零件是很重要的。

工作液箱尽可能设计大一点，但长时间加工后水温上升，因而有些产品附加冷却器，以保持水温恒定。为了不因水温变化影响机床的热变形，一般工作液自成组件，与机床分开。

7. 线切割机床的附件

附件较多，有些功能作为附件形式，如切削锥度附件，电极丝断线后自动接线装置，加工起始孔（又称穿丝孔）装置以及电极丝自动找垂直附件等。

8. 脉冲电源

高效电源的研究，这是近年来发展最快的方面，加工速度提高相当大，可达200~300毫米/分。主要提高峰值电流（最大达500安培），增加放电的频率，应用窄脉宽。如日本三菱