

电蚀加工

《电蚀加工》编写小组 编

(上册)

国防工业出版社

电 蚀 加 工

上 册

《电蚀加工》编写小组编

国防工业出版社

1 9 7 1

内 容 简 介

在毛泽东思想的光辉照耀下，我国工人阶级和革命技术人员坚持“独立自主、自力更生”的伟大方针，“打破洋框框、走自己工业发展道路”，使电蚀加工在我国获得了迅速发展和广泛应用，闯出了我国自己发展电蚀加工的新路。

本书较全面和系统地总结了国内有关单位在生产实践和科学实验中所取得的成果和经验。书中列有大量图表和加工实例，并附有电蚀加工装置一览表。全书分为上、下两册。

上册主要介绍弛张式电蚀穿孔加工和高频电蚀穿孔加工的脉冲发生器，自动调正器，机床及加工工艺等。

下册主要介绍长脉冲电蚀穿孔加工和线电极电蚀加工的脉冲发生器，自动调正器，机床及加工工艺等。

本书可供从事电蚀加工工作的工人、科技人员参考使用。

电 蚀 加 工

(上 册)

凭 证 发 行

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 25⁵/₈ 603 千字

1969 年 10 月第一版 1971 年 6 月第三次印刷

统一书号：15034·1202 定价：2.30 元

毛主席语录

人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。这个历史永远不会完结。在有阶级存在的社会内，阶级斗争不会完结。在无阶级存在的社会内，新与旧、正确与错误之间的斗争永远不会完结。在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

目 录

本书常用符号

绪 论

第一节	毛泽东思想照亮了电蚀加工发展的道路	11
第二节	电加工的出现及分类	13
第三节	电蚀加工的基本原理、实现条件及设备的组成	14
第四节	电蚀加工的特点及应用	15
第五节	今后发展方向	16

第一篇 非独立弛张式电蚀穿孔加工

第一章	非独立弛张式脉冲发生器	20
第一节	弛张式脉冲发生器线路及分析	21
第二节	弛张式脉冲发生器的元件选择与电器布局	42
第二章	自动调整器	51
第一节	自动调整器的工作原理、组成及分类	51
第二节	自动调整器的基本环节	54
第三节	自动调整器线路	60
第四节	自动调整器的特性及其设计原则	71
第三章	机床结构	76
第一节	机床本体布局	76
第二节	床身和立柱	81
第三节	工作台和工作液箱	85
第四节	主轴头	90
第五节	工作液循环与过滤装置	117
第六节	机床精度	130
第四章	加工工艺及应用	134
第一节	影响工艺指标的因素	134
第二节	电极设计与结构	146
第三节	电极制造工艺	151
第四节	装夹与定位	161
第五节	钢冲模加工工艺及实例	167
第六节	硬质合金模具加工工艺及实例	192
第七节	型腔模加工工艺及实例	204
第八节	零件加工工艺及实例	216
第五章	小孔电蚀加工	221
第一节	小孔电蚀加工装置	221
第二节	机床结构	231
第三节	小孔加工工艺及实例	241

前 言

万木霜天红烂漫，天兵怒气冲霄汉。

在震撼世界的无产阶级文化大革命取得伟大胜利的时刻，在伟大领袖毛主席“**工人阶级必须领导一切**”的号令下，我国工人阶级浩浩荡荡地登上了上层建筑的斗、批、改的政治舞台，牢牢地掌握革命和生产的领导大权，这是二十世纪六十年代的伟大事件。

战斗在电蚀加工战线上的广大工人和革命技术人员，高举毛泽东思想伟大红旗，在党的第九次代表大会的巨大鼓舞下，意气风发，斗志昂扬，掀起了贯彻落实“九大”提出的各项战斗任务的热潮。革命的大好形势促成了生产的大好形势。一个“**抓革命，促生产，促工作，促战备**”，夺取工业战线新胜利的技术革新的群众运动，正以排山倒海之势在全国蓬勃兴起，将使电蚀加工这项新技术获得迅速的发展，全面地赶超世界先进水平。

电蚀加工是大跃进的产物。用毛泽东思想武装起来的我国广大工人和革命技术人员，高举“**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**”总路线的伟大红旗，坚持“**独立自主、自力更生**”的伟大方针，坚决“**打破洋框框，走自己工业发展道路**。”他们一不怕苦，二不怕死，不靠天，不靠地，不迷信资产阶级的“权威”和洋“专家”，靠的是战无不胜的毛泽东思想，与帝、修、反斗，与大叛徒刘少奇的反革命修正主义路线斗，在短短的几年内，使电蚀加工技术在电源、自动调正器和工艺等许多方面赶上和超过了世界先进水平，开创了这项新技术在我国广泛应用的途径。

革命就是解放生产力，革命就是促进生产力的发展。经过无产阶级文化大革命锻炼的我国工人阶级，怀着对毛主席的赤胆忠心，敢想，敢干，敢于走前人没有走过的道路，敢于攀登前人没有攀登过的高峰，以顽强不屈的革命毅力，突破一个一个技术难关，群策群力，边试验边总结，创制成了独特的具有世界先进水平的光电仿形切割电蚀加工装置，程序控制电蚀加工装置，可控硅长脉冲电蚀加工装置等等，研制速度之快，水平之高，是帝、修、反和资产阶级的“专家”、“权威”臆想不到的。他们在这些辉煌战果面前，吓得丧魂落魄，目瞪口呆！我国工人阶级以自己创造性的劳动，闯出了发展电蚀加工技术的新路，为世界电蚀加工史增添了光辉的一页。这是无产阶级文化大革命的丰硕成果，是战无不胜的毛泽东思想的伟大胜利！是毛主席的无产阶级革命路线的伟大胜利！让我们纵情欢呼：毛主席万岁！毛主席万万岁！

“**在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。**”“**人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。**”总结我国发展电蚀加工的丰富经验早已是广大工人和革命技术人员的强烈愿望。遵照毛主席关于“**在某种意义上来说，最聪明、最有才能的，是最有实践经验的战士**”的伟大教导，我们由来自战斗在电蚀加工第一线的工人和革命技术人员组成的编写小组，在工厂、科研单位的热情支持下，于无产阶级文化大革命前夕写出初稿，并征求了有关单位的意见。出版前因时间仓促，未能进行全面修改，同时无产阶级文化大革命中涌现出来的新成就也来不及总结进去，故仅作为交流资料出版。另外，我们的水平有限，缺点错误在所难免，热烈欢迎批评指正。

“电蚀加工”编写小组

第六章 电蚀磨孔	258
第一节 丝电极电蚀磨孔装置	258
第二节 光学坐标电蚀磨孔装置	260

第二篇 独立式高频电蚀穿孔加工

第七章 高频脉冲发生器	266
第一节 电子管式高频脉冲发生器	266
第二节 闸流管式高频脉冲发生器	311
第八章 自动调整器	355
第一节 电子管式高频电蚀加工自动调整器	356
第二节 磁放大器式高频电蚀加工自动调整器	368
第三节 电液压式高频电蚀加工自动调整器	375
第九章 加工工艺及应用	383
第一节 高频电蚀加工特点及参数配合	383
第二节 影响工艺指标的因素	384
第三节 加工工艺及实例	390

本书常用符号

一、电工符号

A	安培表	i_{fd}	放电电流
AJ	按钮	i_g	栅极电流
AN	按钮	i_k	控制电流
B	变压器	i_o	充电起始电流
BG	半导体管	J	继电器
BJ	按钮	J_i	电流继电器
B_M	脉冲变压器	J_s	时间继电器
B_2	工作气隙磁通密度	K	开关
b_j	磁极宽度	K_i	电流放大系数
b_s	电刷宽度	K_N	变压器匝数比
C	电容器, 接触器	K_P	功率放大系数
CF	磁放大器	K_u	电压放大系数
C_{js}	寄生电容	k_b	畸变因数
CT	插头	k_d	波顶因数
CZ	插座	$k_{u_{jc}}$	充电系数
D	电动机; 半导体二极管	k_x	波形因数
DCZ	电磁振动器	L	电感
DK	电抗器	LB	滤波器
E	直流电源电压	L_{jd}	放电回路电感
e	电蚀间隙等效反电势	L_k	控制线圈电感
F	发电机	L_l	漏感
FD	放大器	L_{lc}	励磁电感
FIDG	辅助电极	N	绕组匝数
FL	分流器	N_k	控制线圈的匝数
FS	风扇	P_a	电子管阳极损耗功率
FY	分压器	P_{ay}	电子管最大允许阳极损耗功率
f_M	脉冲重复频率	P_C	电容器储存的功率
G	电子管	P_{di}	间隙短路时电源的输出功率
H	互感器	P_E	电源的输出功率
I	电流	P_{gzy}	第二栅极最大允许的损耗功率
I_{ao}	静态时的阳极电流	P_L	电感上储存的功率
I_{dl}	短路电流	$\overline{P_{Msc}}$	脉冲输出功率平均值
I_{ei}	额定电流	P_R	电阻上消耗的功率
I_{gx}	工作电流	p	拉氏运算符
I_m	电流幅值	Q	线圈(绕组); 脉冲间隔度; 品质因数
i	电流瞬时值	Q_g	工作绕组
i_a	阳极电流	Q_k	控制绕组
i_c	充电电流	Q_{lc}	励磁线圈

q	电荷	U_m	电压幅值
R	电阻器	U_n	电机内压降
R_a	电子管阳极负载电阻	U_{sc}	输出电压
RD	熔断器	U_{sr}	输入电压
R_{ds}	电枢电阻	u	电压瞬时值
R_{fx}	负载电阻	u_a	阳极电压
R_i	电子管内阻	u_{cf}	触发脉冲电压
R_k	控制线圈的直流电阻	u_g	栅极电压
R_{zn}	阻尼电阻	u_{jc}	击穿电压
r_{fd}	放电间隙电阻	u_{ix}	调制电压
S_k	换向器节距	u_x	信号电压
S_j	极距	V	伏特表
S	电子管跨导	W	电位器；能量
T	周期	WK	限位器；微动开关
t	时间	W_M	单个脉冲能量
t_c	充电时间	X	电抗
t_f	脉冲恢复时间	X	信号灯
t_{fd}	放电时间	Y	导纳
t_j	脉冲下降时间	Z	选择器
t_k	脉冲宽度或放电时延	ZB	自耦变压器
t_s	脉冲上升时间	ZL	整流器
U	电压有效值	ZUL	阻流圈
$\bar{U}$	电压平均值	β	反馈系数
U_{afman}	最大阳极反向电压	ζ	放电系数
U_{ds}	电枢电压	η	效率
U_{fk}	反馈电压	μ	磁导率
U_{gd}	给定电压	ρ	电荷体密度；波阻抗
U_{gu}	过电压	τ	时间常数
U_{gx}	工作电压（间隙电压）	φ	相角；磁通量
U_{hs}	回升电压	ω	角频率
U_{fg}	进给电压	ω_0	固有或谐振角频率
U_{kx}	空载电压		

二、机械符号

A	孔距	f	摩擦系数
A_x	在 x 轴方向孔距	G	液导
a	电极单面增减量	g	重力加速度
B, b	宽度	H	高度或深度；阻尼系数
D	型孔直径；钢球直径	H_{jf}	不平度均方根值
D_{pj}	平均直径	H_{jg}	不平度平均高度
d	电极外径；小孔直径	h	刃口高度
E	刚度；金属弹性模量	K	校孔系数
F	面积	k	弹性系数

k_l	电极长度相对耗损	v_{ks}	短路回升速度
k_m	轉速比	v_F	靠模間隙調整器传动速度
L	长度	v_{kz}	空載进給速度
L_{pj}	平均长度	z	单边加工余量；噴咀-挡扳間的間隙
l	电极长度耗損；长度	α	角度；液导比
M	力矩	β	角度
m	質量	γ	角度；比重；加工生产率
N	轉数	ΔA	孔距誤差
n	轉速；安全系数	ΔD	型孔尺寸扩大量
P	力	ΔS	位移增量
P_m	摩擦力	Δv	速度增量
p	压力	ΔZ	噴咀-挡扳間隙距离增量
Q	流量	δ	电蝕間隙（側面单面）
R, r	半径	δ_0	放电間隙（端面）
S	位移或距离	$\delta_c(\delta'_c)$	粗規准单面下口电蝕間隙（上口）
S_{js}	进給距离	$\delta_j(\delta'_j)$	精規准单面下口电蝕間隙（上口）
S_{jx}	极限距离	$\delta_z(\delta'_z)$	中規准单面下口电蝕間隙（上口）
T_b	摆动周期	θ	角度
V	体积	μ	流量系数
v_{ds}	电蝕速度	$[\sigma]$	弹性材料許用应力
v_F	放电間隙調整器传动速度	σ_{max}	弹性材料最大正应力
v_{gs}	工作进給速度		

緒 論

第一节 毛泽东思想照亮了电蚀加工发展的道路

“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。”伟大领袖毛主席这一伟大教导，给从事电蚀加工工作的我国工人和革命技术人员攀登世界科学技术高峰指明了方向，增添了无穷的智慧和力量。他们身在工厂，心怀祖国，放眼世界，怀着对毛主席的赤胆忠心，与天斗，与地斗，与阶级敌人斗，使电蚀加工技术在我国从无到有，从小到大，在很多方面赶上和超过了世界先进水平，为“独立自主、自力更生”发展电蚀加工闯出了一条新路。这是战无不胜的毛泽东思想的伟大胜利！是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利！

在毛泽东思想的灿烂阳光照耀下，在大跃进的一九五八年，广大工人和革命技术人员以冲天的革命干劲，大搞技术革新，使电蚀加工犹如雨后春笋在全国各地普遍开花。但是，“任何新生事物的成长都是要经过艰难曲折的。”电蚀加工这项新技术就是在惊心动魄的两个阶级、两条道路、两条路线的激烈搏斗中发展起来的。

冷眼向洋看世界

——打倒双隶思想

美帝、苏修及其走狗刘少奇一伙，对我国自力更生发展电蚀加工技术恨得要死，怕得要命，千方百计地进行封锁、阻挠和破坏。苏修“专家”甚至狂妄扬言：“你们只能搞低频线路，没能力搞高频的”。而大叛徒刘少奇一小撮却奴颜婢膝地拜倒在主子脚下，疯狂反对毛主席“独立自主、自力更生”，“打破洋框框，走自己工业发展道路”的伟大方针，竭力推行一套买办洋奴哲学、爬行主义。无耻地叫嚷：“我们的技术不行”，“要老老实实仿制”，“先仿制落后的，向人家买先进的”等等，並污蔑广大工人“边试验，边设计，边推广”是破坏“必要程序”，竟胡说什么：“照抄外国现成资料还抄不过来，搞什么独创？”以后又打出“先立后破”的黑旗，不准工人革命。用毛泽东思想武装起来的工人阶级，对美帝、苏修的挑衅和大内奸刘少奇滔天罪行无比愤恨，以大无畏的英雄气概，冲破了反革命修正主义路线的层层阻挠，粉碎了美帝、苏修的刁难破坏，沿着毛主席的革命路线奋勇前进。他们时刻牢记毛主席“外国有的，我們要有，外国沒有的，我們也要有”的伟大教导，在一无资料，二无经验，三无设备的情况下，土法上马，边试验，边总结。失败了，就共同学习毛主席语录：“下定决心，不怕牺牲，排除万难，去争取胜利。”每攻克一道技术难关，取得一个新成就，他们都看做是为毛主席争气，为中国工人阶级争光，看成是射向帝、修、反的颗颗炮弹。经过反复的斗争和实践，不仅在电源线路上创制了各种类型的弛张式低频线路，而且制成了具有世界先进水平的四管（电子管、闸流管）並联运行做输出级的高频脉冲电源线路，给苏修“预言家”们一记响亮的耳光。在电蚀穿孔机床主轴头传动上，采用了我国工人阶级独创的喷嘴-挡板式液压传动，其结构简单，灵敏可靠。同时还研制成了电蚀磨小孔机床等。这些铁的事实，是对美帝、苏修及其买办洋奴刘少奇之流的最有力的回击。“让那些内外反动派在我們面前发抖罢，让他们去说我們这也不行那也不行罢，中国人民的不屈不挠的努力必将稳步地达到自己的目的。”

唤起工农千百万，同心干

——群众是真正的英雄

伟大领袖毛主席教导我们：“社会主义革命和社会主义建设，必须坚持群众路线，放手发动群众，大搞群众运动。”而大叛徒、大内奸、大工贼刘少奇一伙却倒行逆施，极力兜售“专家治厂”，鼓吹“技术第一”等修正主义黑货。胡说什么“现在我们国家的专家、教授还很少，没有这些人，要把国家建设起来是不行的”，“国家要特别依靠厂长、工程师和技师”，而却大肆污蔑工人“也可能是不能依靠的”。污蔑工人不懂科研，要搞“电蚀加工”是“好高骛远”。另一方面，又抬出资产阶级反动技术“权威”，来压制和垄断电蚀加工的试验和生产，並宣扬什么“大家都干，越干越不易出名”，“人少了易出名，因为只有你一个人”。妄图扼杀电蚀加工等新技术和阻碍它迅速发展。但是广大工人和革命技术人员，坚决用毛泽东思想统帅一切，走无产阶级政治建厂的道路。他们在毛主席“要敢想、敢说、敢干，振奋大无畏的创造精神，不要被名人、权威吓倒”的教导鼓舞下，踢开了这些绊脚石，大搞技术革新的群众运动，昂首阔步地攀登电蚀加工技术高峰。他们以毛泽东思想为指针，群策群力，大搞技术协作，交流经验，取长补短，在很短的时间内，就创制出成型磨削，电极化学腐蚀钢凸模打钢凹模，铸铁电极打钢凹模的整套先进工艺，並进行了普遍推广。甚至一些小厂也能制造四管高频电源穿孔机床。国内外一些资产阶级技术“权威”束手无策的线电极切割机自动线路晶体管烧毁问题，我国工人阶级用简单的办法就解决了，既保证了设备的安全运行，又提高了效率。那些在事实面前碰得头破血流的资产阶级“专家”、“权威”还死把着洋条条不放，硬要在高频电源输出变压器上用国外规定的涡流损耗大，造价昂贵，不易热处理的冷轧硅钢片和坡莫合金。但是，工人阶级和革命技术人员遵照毛主席“破除迷信，解放思想”的伟大教导，甩掉了洋办法，经过研究分析和多次反复试验，成功地选用了铁淦氧铁心，大大地提高了变压器的效率。这些无可争辩的事实，充分证明了：“卑贱者最聪明！高贵者最愚蠢”这个伟大的真理。

任何反动阶级都不会自行退出历史舞台。刘少奇等一小撮走资派不甘心于自己失败，而是不断地变换手法，进行垂死挣扎。当电蚀加工技术获得了进展和成就时，又以“奖金挂帅”，“成名成家”等手段来收买和分化工人阶级。什么“技术革新搞得好的，要给点物资报酬”，什么“在生产上、工作上有卓越成效的人们，要给予充分的奖励”等等，统统见鬼去吧！这些糖衣炮弹丝毫也动摇不了工人阶级无限忠于毛主席的坚定立场。他们心最红，眼最亮，识破了刘贼一伙的卑鄙阴谋，给予了坚决的抵制，使刘贼的反革命修正主义路线宣告彻底破产。

数风流人物，还看今朝

——工人阶级必须领导一切

波澜壮阔的无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力，为我国电蚀加工等新技术开辟了无限广阔的前途。

用毛泽东思想武装起来的我国工人阶级是三大革命运动的主力军，是掌握科学技术的真正主人。战斗在电蚀加工第一线的广大工人和革命技术人员，从一小撮走资派和反动技术“权威”手中夺回了技术领导大权后，组成了以工人为主体的浩浩荡荡的技术革新大军，依靠战无不胜的毛泽东思想，以无产阶级文化大革命中焕发出来的冲天干劲，积极发展电蚀加工技术。特别是在毛主席“工人阶级必须领导一切”的伟大号令下，工人阶级登上了上层建筑

斗、批、改的政治舞台，使我国技术人员队伍发生了深刻变化。工人走上设计舞台，走进实验场地，表现了惊人的创造力。他们在革命知识分子的配合下，以“敢叫日月换新天”的英雄气概，创出了新的奇跡。苏修以失败而告终的光电跟踪线电极仿型加工，在我国工人阶级手中创制成功了。同时还试制成功程序控制仿型线电极切割装置，並以高频脉冲电源和快速走絲，使其生产率极大提高；在长脉冲加工上采用可控硅二极管做电源，大大提高了生产率和光洁度。这正是：“灿烂的思想政治之花，必然結成丰满的经济之果”。我国英雄的工人阶级，以其卓越的贡献捍卫了毛主席的无产阶级革命路线，为伟大祖国赢得了光荣。

“风景这边独好”。在党的“九大”精神的巨大鼓舞下，广大工人和革命技术人员认真贯彻落实“九大”提出的各项战斗任务，狠抓革命，猛促生产，加强战备，以辉煌的成绩迎接社会主义建设跃进的新高潮，为把我国电蚀加工技术全面推向世界最先进的水平而奋斗。

遙望昔日工业革命的西方资本主义，已是“日薄西山，气息奄奄，人命危浅，朝不虑夕”。而伟大的毛泽东思想光辉照耀下的中国无产阶级工业革命，却永葆其青春，正是立于高山之颠远看东方已是光芒四射，噴薄欲出的一轮朝日。

让我们高举毛泽东思想伟大红旗，在伟大领袖毛主席的英明领导下，团結起来，爭取更大的胜利！胜利一定是属于我们的！

紧跟伟大领袖毛主席奋勇前进！

第二节 电加工的出现及分类

近几十年来，许多尖端科学技术部門，诸如噴气技术、飞行器、宇宙航行、无线电电子学、原子能动力学、计算技术等都获得了飞跃的发展。很多机器设备都向高温、高压、高速度和高精度方面发展，具有各种特殊物理机械性能的新型材料不断湧现，各种特殊结构和工艺要求的零件越来越多，加工已经成了当前十分薄弱的环节。这样，人们除了进一步完善现有的机械加工方法之外，还借助现代科学技术的成就，创造了崭新的有別于机械加工的所谓“特种加工法”，而电加工就是其中的一种。由于电能是十分经济而方便的一种能量，它可以转变为其他各种能量形式来作功，又因为电技术和无线电电子学的发展十分迅速，电加工便成了发展最快、前途最大的一种新的加工方法。

历史悠久的机械切削加工的实质是依靠刀具（工具）和工件材料相接触，对被加工表面施以机械力和能量，使之分离和变形，以达到加工的目的，因此，机械加工必须具备下列两个最基本的条件。

(1) 加工所使用的刀具（工具）材料的硬度必须大于工件材料的硬度。虽然近几十年来不断出现新的刀具材料（例如硬质合金刀具等），但是越来越多的零件的材料硬度，已经接近甚至超过一般刀具材料的硬度，导致加工生产率越来越低，甚至无法加工。

(2) 依靠作用在刀具（工具）上的切削力使工件材料分离或变形，这就不只是要求工具材料要有很高的硬度，而且还要求有一定的强度和刚度，同时能设法使切削力作用于加工部位上，因此就限制了诸如小孔、深孔、窄縫、复杂型孔和低刚度薄壁零件的加工。由于工件一刀具一夹具一机床系统中存在有很大的切削力，因此，对机床、夹具部件的强度和刚度就有很高的要求，既增大了它们的体积和重量，又不可避免地会影响加工精度。

由此可见，以上两个基本条件，在某种程度和某些范围内限制了这一工艺方法的使用和发展。电加工恰恰能够克服这些矛盾，成了一项十分重要的新的加工技术领域。

关于电加工的定义目前尚无定论,不过,广义而言,凡是利用电能的各种效应(电能、化学能、机械能、热能、磁能、光能等等)进行材料加工的方法统称为电加工,包括电蚀加工(又叫电火花加工),电子束加工,离子束加工,等离子体射流加工,液中放电成形加工,电磁成形加工,电化学加工,光束加工(莱塞加工)等等;而狭义而言,电加工大多指直接利用电能(放电)进行材料加工的方法,通常包括电蚀加工,电子束加工,离子束加工,等离子体射流加工等。

第三节 电蚀加工的基本原理、实现条件及设备的组成

金属表面在自激放电作用下所产生的破坏现象叫做金属的电蚀。

电蚀加工乃是利用火花放电对导电材料所产生的电蚀现象,这种电蚀现象是由于电、热和流体动力综合作用的结果。电蚀现象早在一百多年前就被人们发现了,例如,在电气开关触点闭合或断开时,往往出现电火花而把接触部分电蚀损坏。长期以来,人们一直把这种电蚀现象看作是有害现象,特别是近几十年,随着自动学和远动学的发展,人们对于电蚀问题给予很大注意,研究它的原因,寻找避免或减小它的途径和方法。一直到1938~1943年期间,人们对电蚀现象作了深入研究之后,才提出并实现了把这种有害现象用来为生产服务。这就是1943年发明的电火花加工法(又称电蚀加工法),从而开创了直接利用电能进行加工——电加工的新领域。

电蚀加工必须利用火花放电,而避免电弧放电。这是因为电弧放电与火花放电特征不同,它们之间的主要区别如下:

(1) 电弧放电是稳定的放电过程,其持续时间为 $10^{-3} \sim 10^{-1}$ 秒,而火花放电是非稳定的放电过程,其持续时间为 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ 秒,因此火花放电具有明显的脉冲特性。

(2) 在大气压力下,它们的伏安特性不同,火花放电的伏安特性曲线具有负值,而且电流激增时,极间电压相应下降。

(3) 电弧放电的通道形状呈圆锥形,阳极与阴极斑点大小不同,因此阳极与阴极上的电流密度不同,前者为2800安/厘米²,后者为300安/厘米²。火花放电的通道呈鼓形,阳极与阴极的斑点大小实际相等,两极上电流密度一样,并且很高,达到 $10^5 \sim 10^6$ 安/厘米²。

(4) 电弧放电通道和电极上的温度约7000~8000°C,而火花放电的温度高达10000~12000°C。

(5) 电弧放电的击穿电位低(20~40伏/厘米),而火花放电的击穿电位高(≥ 36 千伏/厘米)。

(6) 电蚀特性不同:电弧放电中,阴极腐蚀得多,而在火花放电中,多数情况是阳极腐蚀得多,阴极腐蚀得少,这种现象叫做极性效应。

综合上述,火花放电必须在瞬间把密度很高的能量脉冲式地送向尺寸极小的被加工部位,而在各放电之间的一定停歇时间内,电极间的介质必须来得及消电离,且不转变为电弧放电,只有这样,才能实现电蚀加工。

电蚀加工在液体介质中进行(电蚀强化除外)。液体介质的作用可归纳为以下几个主要方面:

(1) 绝缘作用——两电极之间必须有绝缘的介质(至少要具有一定的绝缘电阻),才能产生火花击穿和脉冲放电,而液体介质容易在较小的电极间隙下击穿。

(2) 压缩放电通道的作用——液体介质有助于压缩放电通道，使通道能量更加集中，不仅能提高仿形精度，而且也能提高电蚀能力。

(3) 高压作用——在脉冲放电作用下，由于液体介质的急剧蒸发和惯性效果，则产生局部的高压，既有利于把受热的金属抛出，又有利于把电蚀产物从加工区域中排除，并防止两极金属相互迁移。

(4) 冷却作用——液体介质可以冷却受热的电极，防止放电的热作用扩散到不必要的地方去，有助于保证表面质量和提高电蚀能力。

(5) 消电离作用——液体介质有助于减少放电后所残留的离子和避免电弧放电。

由于上述原因，在液体中的电蚀能力比空气中大得多，而液体介质成分不同也影响着电蚀能力。

火花放电是在极间最近的微观不平点上进行的，每次放电后在阴阳极承受作用的表面上各产生一个小圆穴(凹坑)，小圆穴的几何尺寸决定于脉冲参数、电极对材料和液体介质成分。电蚀加工过程便是在连续放电作用下大量小圆穴重叠的结果，所以加工后的表面将由许许多多小圆穴组成，而工具电极（以下简称为电极）的轮廓形状便相当精确地复印在工件上。由此可见，电蚀加工工艺指标归根结底还是建立在小圆穴的几何尺寸基础上的。

实现电蚀加工的设备通常叫做电蚀加工装置（也有叫电蚀加工机床的），它由三大部分组成。

脉冲发生器——用来产生所需的重复脉冲，加至电极上，产生击穿和放电。

自动调整器——火花放电必须在一定电极间隙下才能产生，两极短路和空载（即间隙过大）都不能产生放电，而且间隙大小与电蚀效果之间有一最佳值，因此，自动调整器的任务是经常维持一定的间隙值，使之产生连续的火花放电。

机床本体——它可以包括两部分，一部分是用来实现电极和工件的装夹固定和运动的机械系统，另一部分是工作液循环过滤系统。

第四节 电蚀加工的特点及应用

电蚀加工基于火花放电过程，而火花放电的一系列特点，决定了它的优越性和广泛的应用范围。

(1) 火花放电的电流密度很高，产生的高温足以熔化和气化任何导电材料，因此这种方法可以加工任意导电材料，包括高硬度的金属陶瓷和难熔化合物，高脆性的磁钢，高粘度的耐热合金，高纯度的原子能材料以及热处理后的各种高硬度钢及合金，而与其物理机械性能无关。此外，也可以加工半导体材料。

(2) 脉冲能量可以间歇地以极短时延作用于材料上，材料表面可以少受或几乎不受热的影响，这样，既可以减小或避免热影响缺陷层，又可以保证加工的尺寸精度，而电弧放电却做不到这一点。因此，特别适于加工热敏感很强的材料。

(3) 加工时材料的蚀除不是靠刀具的机械力作用，所以材料没有由机械力而引起的变形或缺陷，这对加工某些不能承受机械力的小孔、薄壁和窄槽零件十分有利（如蜂窝结构和栅网等）。

(4) 由于放电能量可以集中在极小的一定尺寸内，也可以任意分割能量，因此，放电仿形精度很高，光洁度也可以很高，能够进行很精细的加工和复杂形状零件的加工。

(5) 脉冲参数很容易调节, 在一个装置上不需更换工具, 只需变化电规准就可进行粗、中、精以至极精的加工, 大大减少了工序和设备品种及数量, 也缩小了占地面积, 降低了成本。

(6) 加工时工具与工件不相接触, 因此无须采用复杂和昂贵的切削刀具。这样, 就可以节约大量高合金工具钢, 也不需熟练的工具制造工人。

(7) 直接用电能进行加工, 容易实现加工过程自动化, 操作容易, 因此能减轻工人体力劳动, 实现一人多机管理, 提高劳动生产率和缩短工人培养的时间。

电蚀加工也存在一些缺点, 最主要的是需要电极 (如在穿孔加工中) 或靠模 (如在线电极加工中), 而电极或靠模的制造精度一般不低于被加工件; 此外, 电极或靠模在加工过程中有耗损, 这些都在一定程度上影响到电蚀加工的应用范围。

到目前为止, 电蚀加工的应用范围大致如下。

(1) 加工各种冲裁模, 包括落料模、复合模和级进模的型孔, 也可以加工凸模。

(2) 加工各种型孔的拉丝模和引伸模。

(3) 加工各种型腔模的型腔, 包括锻模、压铸模、胶木模、塑料模、挤压模等。

(4) 加工各种小孔件, 包括微孔 (如数十微米)、小深孔 (深度与直径比可达数十乃至上百) 和多孔, 还可以加工曲线孔 (如螺旋孔)。

(5) 加工各种窄缝件, 缝宽可小至数十微米, 如金属栅网及慢波结构等。

(6) 加工各种复杂形状的零件、成型刀、样板、螺纹、夹具、量具等。

(7) 打印铭牌和标记等。

(8) 拔除折断在零件中的丝锥和钻头。

(9) 除穿孔和切割外, 电蚀加工还可以进行磨削和强化表面以及修复已磨损件等工作。

由于电蚀加工一系列优异的特点, 它具有许多其他加工方法所难有的加工能力, 为各种新型材料的发展和应用开辟了途径, 也为机械产品提高设计和制造水平提供了有利的条件。随着国防尖端工业的发展, 随着现代科学技术的发展, 电蚀加工法必日臻完善, 获得越来越广泛的应用, 成为一项重要的新工艺新技术。

第五节 今后发展方向

电蚀加工新工艺的发展是与生产实践需要分不开的, 而这种需要也是随着阶级斗争、生产斗争和科学实验的发展不断扩展的。现阶段生产上对电蚀加工的需要可以概括为以下几个主要方面。

(1) 模具加工。模具加工是当前生产上十分关键的问题, 而恰恰又是电蚀加工最能发挥特长的对象。在冲模方面, 除了巩固现有的成绩外, 迫切需要扩展它的应用范围。一方面要求解决以无线电电子仪表工业为代表的小型高精度 (如公差为数微米)、高光洁度 (如 $\nabla\nabla\nabla 8\sim 9$) 复杂形状的冲模, 另一方面, 以电机、电器甚至汽车、拖拉机工业为代表的大型冲模 (如周长在 1 米以上) 也提到日程上来了。除了落料模和复合模外, 级进模的加工也迫切需要解决。

除了冲模外, 各种胶木模、塑料模、锻压模和粉末冶金压模的加工问题也极待解决。

(2) 硬质合金制品的加工。采用硬质合金制造各种模具、量具、刀具、夹具以及机器中的易磨损零件, 不仅能延长它本身的寿命, 而且也能提高产品的质量和扩大品种。因此, 广泛采用硬质合金是生产发展的必然趋势, 而电蚀加工为硬质合金制品的广泛采用创造了良好的前提。