

向显德 编著



电化学擦削技术

国防工业出版社

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

电化学擦削技术/向显德编著. 北京:国防工业出版社,1994

ISBN 7-118-01244-0

I. 电… II. 向… III. 电解加工 IV. TG456.1

电化学擦削技术

向显德 编著

责任编辑 肖志力

*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京市王史山胶印厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 4 7/8 118 千字

1994 年 8 月第 1 版 1994 年 8 月北京第 1 次印刷 印数 1—2 000 册

ISBN 7-118-01244-0/TQ·31

定价:5.30 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由**国防科技图书出版基金**资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第一届评审委员会组成人员

主任委员：冯汝明

副主任委员：金朱德 太史瑞

委员：尤子平 朵英贤 刘琯德
(按姓氏笔画排列)

何庆芝 何国伟 张汝果

范学虹 金 兰 柯有安

侯 迁 高景德 莫梧生

曾 铎

秘书长：刘琯德

序

电加工学会理事、享受政府特殊津贴有突出贡献的专家向显德高级工程师,积 30 年电解加工的理论 and 实践经验,发展了电化学机械研磨复合加工技术,他和欧迪君助理工程师一起发明了电化学擦削方法及其装置。

电解加工是电加工、特种加工新工艺、新技术中的主要加工和技术之一。它与常规切削、磨削加工相比有以下特点:

1. 可加工任何硬度和强度的金属材料,如淬火钢、合金钢、硬质合金等;
2. 可加工复杂、特殊的三维表面,如扭曲叶片、模具、小孔、深孔、窄缝、薄壁零件等;
3. 可同时有较高的生产率和较好的表面粗糙度,效果最佳时能达到铣削的生产率和磨削的表面粗糙度;
4. 有电极工具在理论上不会损耗的优点。

但电解加工也有机床设备体积庞大,初投资大、工艺不易掌握、对环境易产生污染等缺点。

何显德、欧迪君发明的电化学擦削技术在小型化、便携式上下了很大功夫,取长补短,克服了不少以前电解加工存在的缺点。设计研制出了小型的电化学擦削电源和多用途的阴极擦削工具和一整套的电化学擦削工艺,可用于中小型零件的成型加工,模具型腔、型面的抛光和返修,金属标牌、文字、图案、花纹的蚀刻,印刷电路板的制作等,具有独特的新颖性、显著的先进性、广泛的适用性和开发前景。

此项技术先后获国家科委“火炬杯”优秀项目奖和国家发明三等奖,并列入“八五”国防科技成果重点推广计划。

在科技是第一生产力、发展市场经济的今天,同行竞争日益激烈,人们往往把创新性、实用性、经济效益较高的工艺技术保密、封锁起来,不愿公开使之成为社会的共同财富。

何显德编著的《电化学擦削技术》,把多年积累的理论和实践提供给国内同行,实属难能可贵,这也是一种奉献精神。

在历史的长河中,人生一世来亦匆匆,去亦匆匆。但如能为社会添砖加瓦,多积累一点物质财富、技术财富和精神财富,那么也就不虚此行了。

祝愿各位读者能在此书中学习、掌握电化学擦削技术,能为我国的生产发展和科技进步做出更大的贡献。

中国机械工程学会电加工专业学会理事长

全国高校特种加工教学研究会理事长

刘晋春

哈尔滨工业大学特种加工研究室主任、教授

前 言

“电化学擦削技术”是基于阳极电化学溶解原理,利用多功能电解枪对金属零件进行中、精加工的一种新方法;是针对传统电解加工设备复杂、投资大、技术难度高,不易普及推广和已有相关技术功能单一、应用范围窄等问题,研究成功的一项具有普遍推广价值的新的电解加工实用技术。

电化学擦削技术在 1991 年荣获国家发明三等奖。该技术具有设备简单、投资少、操作容易、加工效率高、生产成本低、经济效益显著等特点。广泛适用于金属零件外形和内孔的二维或三维面面的精加工。能高效率地解决机械加工中一些高难度、高硬度、高精度和高光度的技术难题。特别适用于淬火后零件的型孔、键槽和模具型腔的精修。尤其是加工高铬、高碳合金钢和硬质合金等效果更为显著。

书中系统地总结了作者的专项研究成果,同时也对传统电解加工和国内外最新相关技术进行了简要介绍。详尽地阐述了该技术的工艺特点和操作方法。探讨了影响加工效果的基本规律和保证加工质量的有效措施。举例说明了有关典型模具和产品零件采用电化学擦削加工所取得的良好效果。

经过近年来的实际应用,解决了军、民品科研生产中大量技术难题。电化学擦削技术已显示出其独特的优越性和强大的生命力。在机械制造行业,特别是在模具加工中有着可观的推广前景。不仅适用于大、中型企业,而且对于小型乡镇和个体企业更有着广泛的实用效果和较强的应变能力。

为了让更多的单位和个人了解、掌握电化学擦削技术,并加速这一新技术的推广应用,促进企业的技术进步,编著者撰写了这本

工艺专著。欧迪君同志承担了本书全部图稿的绘制工作。在编审过程中得到了厂科技委领导秦有定、李正明、刘太昌等同志和国防科技大学漆仕速教授、毛声镛副教授的支持和指导。在此一并表示诚挚的谢意。

由于我们水平有限,难免有误,诚望读者批评指正。

目 录

第一章 电解加工简介	1
§ 1 电解加工的发展简史	1
§ 2 电解加工的工艺特点	2
§ 3 电解加工的适用范围	5
第二章 国内外相关技术发展概况	6
§ 1 电解复合加工	6
§ 2 电解去毛刺、倒角	11
§ 3 电解蚀刻	14
§ 4 电解法取丝锥	16
§ 5 电化学擦削技术的研制背景	19
第三章 电化学擦削的基本原理	21
§ 1 电化学擦过程中两极上的反应	21
§ 2 电极电位	22
§ 3 电极的极化	28
§ 4 金属的钝化	32
§ 5 电化学擦削的电极反应过程实例	35
第四章 电化学擦削的设备装置	37
§ 1 设备装置的组成与使用	37
§ 2 电化学擦削电源	38
§ 3 多功能电解枪	40
§ 4 电解液容器	46
第五章 电化学擦削的工艺特点	49
§ 1 独特的新颖性	49
§ 2 显著的先进性	52

§ 3 广泛的适用性	54
第六章 电化学擦削的基本规律	56
§ 1 加工速度及其影响因素	56
§ 2 表面质量及其影响因素	65
§ 3 加工精度及其影响因素	70
第七章 电化学擦削的操作工艺	79
§ 1 工艺参数的选择与计算	79
§ 2 电解液的选择与净化	81
§ 3 绝缘屏蔽材料的选择及涂覆	83
§ 4 加工前的准备	85
§ 5 加工中的控制	87
§ 6 加工后的处理	87
第八章 产品零件的加工与返修	89
§ 1 产品零件的精加工	89
§ 2 产品零件的成型加工	97
§ 3 产品零件的返修	102
第九章 模具加工	109
§ 1 模具抛光与返修	109
§ 2 模具中图案、字标的蚀刻	117
§ 3 冲压凸凹模的配套加工	124
§ 4 冲裁模落料孔加工	125
§ 5 硬质合金拉丝模的加工	126
第十章 在其它领域的应用	129
§ 1 金属制品的刻印	129
§ 2 印制电路板的加工	132
§ 3 机床主轴定位面的精修	133
§ 4 高精度量具的精加工	134
§ 5 钻套的精修	135
§ 6 电擦削去毛刺	135
§ 7 印、压花辊的制作	136

§ 8 金属工艺美术品的制作	136
第十一章 电化学擦削技术展望	138
§ 1 具有广泛的应用领域	138
§ 2 拥有巨大的潜在能力	138
§ 3 有待进一步开拓提高	139
§ 4 有着广阔的发展前景	139
参考文献	

第一章 电解加工简介

电解加工是近代综合利用电能和化学能对金属零件进行成型加工的新方法。它是以电解原理为基础,以阳极强制性溶解为手段,以除去金属、成型工件为目的的一种新工艺。是电加工工艺的一个重要分支。其加工过程如图 1-1 所示。

它将工件作为阳极、工具作为阴极,中间通以一定压力和流速的电解液,然后接通直流电源,这样,作为阳极的工件就逐渐发生电化学反应,从而达到成型加工的目的。

电解加工的成型工具,统称为阴极,一般工作部分多用黄铜所作,它能加工比它硬很多的淬火钢和硬质合金材料的工件。因此,电解加工也可以说是一种以柔克刚的加工方法。

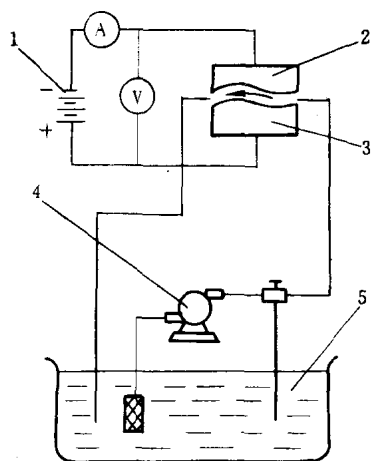


图 1-1 电解加工示意图

1—阴极;2、3—工件;4—泵;

5—电解液。

§ 1 电解加工的发展简史

从电解加工研究和应用的历史来看,它和其他特种工艺相比,几乎和激光、喷射加工同时间世于 50 年代中期,它是近代科学技

术迅速发展的必然产物。

随着近代科学技术的蓬勃发展,特别是国防工业中航空、航天技术和兵器等尖端技术的迅速发展,高强度、耐高温材料的应用日益广泛。与此同时还出现了一些形状复杂、精度和表面质量要求很高的产品零件。一般金属切削工艺很难胜任。因此近 30 年来,出现了多种不同于一般机械加工的所谓特种加工工艺。

电解加工就是继电火花加工之后发展较快、应用较广的一种特种加工方法。它的问世给金属成型加工开辟了一条崭新的道路。最早由于加工航空发动机叶片及锻模的成效显著,因而受到国内外的较大重视。自 60 年代以来,我国已将这一新工艺成功地应用于炮管膛线、涡轮叶片、锻模型腔以及花键、型孔等复杂型面的加工。近 10 年来,我国电解加工的水平有了新的提高。以兵器工业为例,在异型深孔、长花键孔、深孔大余量高效整平以及异型零件的自紧反水电解加工等方面不仅在国内居领先地位,在国外亦属先进行列。此外,在低浓度复合电解液、脉冲振动、小间隙加工和电脑控制等方面都获得了新的进展。有人将我国电解加工的水平与国外进行比较后,用四句话进行了概括,即“先进的工艺,落后的设备,高超的阴极,低能的检测”。这一说法虽不尽全面,但基本上反映了我国电解加工技术的现状。国内外的大量实践证明,电解加工技术有着较为广阔的应用前景,它是金属加工技术的一个重要发展方向。

§ 2 电解加工的工艺特点

工件在电解加工过程中,金属是以离子溶入的形式而被去掉,而切削加工是利用切削力使金属产生塑性变形的原理加工工件。因此电解加工与切削加工相比,具有完全不同的工艺特点。电解加工除了具有优质高产、经济效益好等优点之外,还有一些独特的优点。当然,作为一种新的工艺也存在一些新的问题。

一、电解加工的突出优点

1. 加工效率高

电解加工能进行大面积、高电流密度的加工,而且可以同时加工几个零件,代替多道工序。因此具有较高的生产率。与切削加工相比,一般工效可提高数倍乃至数十倍。

2. 能获得较高的精度和表面质量

电解加工的精度与被加工零件的几何形状和复杂程度有关。加工外圆精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$;加工内孔精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$;加工型腔精度一般可达 $\pm 0.1\text{mm}$;较高可达 $\pm 0.03\text{mm}$ 。最小圆弧半径 R 可达 0.125mm 。

电解加工的表面粗糙度与工件材料和热处理状态有关,一般 R_a 可达 $2 \sim 0.8\mu\text{m}$;经调质处理的合金钢 R_a 可达 $0.5 \sim 0.2\mu\text{m}$ 。

3. 不怕材料硬

由于电解加工是利用阳极电化学溶解去掉金属,因此,对金属材料除铅以外,不论硬度多高都可以加工。特别是对淬火后的钢制件和硬质合金,加工效果既快又好。

4. 工具阴极不易损耗

在加工过程中,阴极工作部分不与工件直接接触,不会产生机械磨损。由于阴极工具接于直流电源的负极,因此,阴极材料本身也不参与电极反应。如果不短路或碰坏,在正常情况下,具有相当长的使用寿命。

5. 不产生切削力和切削热

电解加工过程中,不产生集中的切削热和切削力,因此,工件不存在残余应力,不易变形,不破坏金相组织,不影响强度和硬度。特别适合薄壁零件的加工。

6. 能一次成型复杂特殊型面

电解加工能一次成型各种余量不等、深度不一、形状复杂的工件。适合于各种金属模具和产品的特殊型孔、型槽、型腔和型面的成型加工。

7. 易揭露材料和组织的缺陷

在电解加工中,只有金属材料才发生电化学溶解,一般非金属不能溶解。不同金相组织溶解速度也不相同。因此加工中,工件材

料和组织的缺陷都将暴露无遗。有利于发现材料、组织的疵病。

8. 设备通用性大

电解加工设备除了一些专用机床外,一般分为卧式电解加工机床和立式电解加工机床两大系列。卧式机床可代替车、铰、镗、磨、拉等工序;立式机床能代替钻、铣、刨、磨、钳等工序。因此一台电解机床能顶几台机械加工设备使用。

9. 应用范围广

从加工材料看,电解既能加工黑色金属又能加工有色金属。从加工产品类型看,既能加工简单零件也能加工复杂型孔、型腔和型面。应用范围相当广泛。

10. 操作安全

电解加工采用的是低电压、大电流,所用直流电源或脉冲电源的额定电压一般都低于安全电压。生产中所用的工作电压一般低于 24V。操作时能确保安全。

二、存在的主要问题

1. 设备复杂、投资大

一般电解设备由主机、电源、液压、加热、冷却、排氢、电控等 7 个系统组成。国产设备每台价格低则数万元,高则 20 余万元。进口设备的价格更为昂贵。

2. 技术难度高

影响电解加工精度和表面质量的因素十分复杂,包括机、电、液、具等 20 多种因素,不易掌握和控制。工具阴极的设计和制造也比较困难。需要专职技术人员从事阴极、装置的设计和生产工艺的编制。

3. 产品、设备容易生锈

电解加工的工件如清洗不佳,用过的装置和设备维护不好很快就会锈蚀。务必严格按照电解加工零件的清洗工艺和电解加工机床的维护保养守则进行处理。否则,将严重影响产品质量和导致设备故障。

§ 3 电解加工的适用范围

根据日本“金属材料”杂志和“机械学会报告会”提供的有关资料,对电解加工、电火花加工、超声波加工、激光加工、喷射加工、化学加工、等离子体加工和电子束加工等八种特种加工工艺进行了比较,以电解加工的适用范围最广,其次是电火花加工。在资料列举的 15 种加工对象中,电解加工适合的有 12 种,尚可加工的有一种,不适合加工的只有两种。而其余的特种工艺,适合加工者最多不超过一半。

电解加工主要适用于以下情况:

(1) 具有型面的零件,如涡轮叶片、整体涡轮、花键孔及其他异形孔、炮管膛线、锻模、链轮等。

(2) 一般精度要求不很高的表面,但对精度较高而不太长的内孔和外圆表面亦较适用。

(3) 碳钢、合金钢、高温合金、钛合金。亦可用于铝合金、铜合金、硬质合金、半导体材料和其他金属的加工。

(4) 批量较大而又适合发挥其特点的有关产品零件,如薄壁筒形零件和异型零件等。

(5) 机械加工和其他工艺不能加工或很难加工的零件。

(6) 扩孔、套料、开槽、内孔抛光、去毛刺、取丝锥、切割等。

总之,随着电解加工水平的不断提高和新的尖端技术产品的迅速发展,电解加工将在国防和民用工业、科研、生产中发挥更大的作用。