

电 解 加 工

(典型零件电解加工工艺)

國 防 工 業 出 版 社

电 解 加 工

(典型零件电解加工工艺)

《电解加工》编写组 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共八章，内容主要包括：筒形零件（内孔抛光及膛线加工）、异形孔（内孔零件）、异形零件（外形零件）、模具型腔、涡轮叶片、倒角去毛刺等的电解加工工艺。另外对电解液、工具阴极的设计与计算、电源和自动控制等也作了介绍。附录中列举了电解加工中常用的仪器仪表等。

典型零件加工各章中介绍了零件图纸、加工方法和设备、工艺参数、阴极设计、疵病分析、经济效果等。电解液一章中从实际应用的角度，提供一些必要的参数。工具阴极的设计与计算一章中介绍了成型规律、工艺参数的选择与计算等。自动控制一章中介绍了目前较成功的控制方法和典型线路。

本书可供从事电解加工的工人、技术人员参考。

电 解 加 工

（典型零件电解加工工艺）

《电解加工》编写组 编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可証出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

850×1168¹/₃₂ 印张9¹/₂ 241千字

1978年6月第一版 1978年6月第一次印刷 印数：0,001—3,000册

统一书号：N15034·1659 定价：0.93元

前 言

电解加工的应用在我国已有二十多年的时间，取得了较为显著的成果。为了进一步扩大它的应用范围，给新搞电解加工的单位提供一些必要的数据和参考资料，我们组织了部分工厂有关人员组成了电解加工编辑组，编写了这本书。在编写之前到五机部、三机部、一机部、煤炭部所属有关工厂、研究所、情报所等进行调查研究。在调研过程中得到了各兄弟单位的大力支持。科学院数学研究所秦元勋同志和北京大学数学力学系吴兰成、叶其孝、韩厚德等同志为本书作了公式推导和数据计算工作。哈尔滨工业大学等院校的教师也给了我们许多帮助。在这里对有关单位和同志一并表示衷心的感谢！

由于时间仓卒，水平有限，书中的缺点和错误在所难免，热诚地希望读者提出批评指正。来信请寄北京 2104 信箱转《电解加工》编写组或国防工业出版社。

目 录

绪论	1
第一章 筒形零件加工	4
§ 1-1 枪管内孔抛光	4
§ 1-2 活塞筒的抛光	7
§ 1-3 30炮管内膛加工	9
§ 1-4 30炮管膛线加工	13
§ 1-5 57炮管膛线加工	16
第二章 异型孔加工	25
§ 2-1 单键槽加工	25
§ 2-2 双键槽加工	30
§ 2-3 花键槽加工	39
§ 2-4 异型孔加工	56
第三章 异型零件加工	62
§ 3-1 小型零件加工	63
§ 3-2 齿轮加工	72
§ 3-3 发动机连杆外形加工	76
第四章 型腔和型面加工	83
§ 4-1 锻模加工	83
§ 4-2 药室体内腔加工	106
§ 4-3 分离环弹子槽抛光	112
§ 4-4 滑板加工	116
§ 4-5 涡轮叶片加工	121
第五章 其它电解加工	126
§ 5-1 去毛刺	126
§ 5-2 倒角	128

§ 5-3	套料	131
§ 5-4	电解磨削	140
第六章 电解液		145
§ 6-1	概述	145
§ 6-2	三种常用电解液的主要性能	146
§ 6-3	电解液主要参数的选择	148
§ 6-4	浓度的几种表示法和电解液理化数据	150
第七章 工具阴极的设计与计算		163
§ 7-1	成型规律	163
§ 7-2	工艺参数的选择与计算	197
§ 7-3	精度分析	216
§ 7-4	阴极材料	228
§ 7-5	应用举例	237
第八章 电源与自动控制		247
§ 8-1	直流电源	247
§ 8-2	加工参数的自动控制装置	261
附录一	疵病分析表	277
附录二	直流电流表	279
附录三	直流电压表	279
附录四	流量计	280
附录五	压力表	284
附录六	温度计	284
附录七	离心机	285
附录八	套管缝隙式过滤器	287
附录九	连续式自然沉淀池	291
附录十	刚玉管过滤罐	294
主要符号表		296

绪 论

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。无产阶级文化大革命以来，我国社会主义的建设事业蒸蒸日上，新技术和新工艺大量涌现，电解加工就是在一些工厂和一些产品上得到广泛应用，并取得显著成效的一项新工艺。

1. 火炮膛线的电解加工，应用得很早。中小口径炮管膛线的电解加工，已稳定地用于生产。大口径炮管膛线的电解加工也陆续试验成功。

2. 型腔和模具的电解加工，是近十年来进展最快的一个方面。在某些大型工厂中电解加工已承担了本单位锻模型腔加工中的百分之五十甚至百分之八十以上的生产任务，投产品种在三十到五十种以上。

3. 电解加工在涡轮叶片的加工中占有很大的比例。单件叶片的加工在生产中已应用多年，近来整体叶轮叶片的加工也取得了显著的效果。

4. 异型孔的电解加工用得也比较广。如对方孔、六角孔、半圆孔、花键孔的加工等。

5. 异型零件（外形较复杂的零件）的电解加工，近几年来发展得也很快。

6. 零件内外部位的倒角或去毛刺都有应用电解加工的。

近来，采用电解加工的零部件仍不断增多，生产规模也在不断扩大。

电解液中应用最广的是氯化钠，其次是硝酸钠，氯酸钠实际应用尚不多。今后研究发展的趋势是在电解液中加入添加剂或者用几种成分组成的混合液以改善电解液的性能。在小深孔加工中也有用稀硫酸等的水溶液当作电解液的。混气（喷雾）加工在日本

应用得最广。

用氯化钠电解液时，阴极设计用概略公式计算 ($\Delta_{\text{阴}} = \Delta_{\text{理}} / \sin \alpha$) 和半试验设计法；用硝酸钠或氯酸钠电解液时，采用等间隙设计和反拷法制造阴极。

电解加工是具有许多独特优点的新技术，可以解决目前机械加工难以解决的一些问题。它的主要优点是：

1. 生产率高。被加工零件选择得合适时，电解加工比机械加工的生产效率要高得多。例如，模具型腔、炮管膛线等的电解加工效率比机械加工高 3~25 倍；倒角、去毛刺的效率则比机械方法高 50 倍以上。

2. 加工质量好。电解加工突出的优点是光洁度高。加工后的零件光洁度一般不低于 $\nabla 7$ ，加工精度目前可达到的水平是：加工型孔时，精度可达 0.05 毫米；加工型腔模具时，精度可达 0.1 毫米。

3. 形状复杂的型腔或各种曲面零件，用机械加工的方法需要多道工序才能完成，而用电解加工可一次加工完成。

4. 电解加工不受被加工材料机械性能的限制，可以加工强度很大、硬度很高的金属材料，如硬质合金。

5. 工具阴极损耗小。型孔加工的工具阴极比机械拉刀简单得多，制造容易，成本低。

6. 操作比较简单，便于实现自动化。

事物都是一分为二的。电解加工的优点虽然很多，但是也有它的缺点：

1. 只能加工金属材料，且加工后的零件易带磁性。

2. 不易得到小的内圆角半径，目前只能达到 0.2 毫米。

3. 氯化钠电解液的腐蚀性大，所以机床和工件通常都要采取防腐措施。

4. 耗电量比较大。

5. 通用电解加工机床比较复杂，附属设备多（专用电解加工机床非常简单）。

近年来电解加工发展得虽然比较快，但仍然不能满足社会主义建设的需要。为了进一步推广电解加工工艺，更好地为社会主义建设服务，我们必须以“鞍钢宪法”为指针，走三结合的道路，发扬自力更生艰苦奋斗的精神，不断克服我们前进中的困难。在目前情况下，以下几项工作是非常重要的。

1. 提高加工精度，扩大应用范围是首要任务。必须从机床与控制、理论与研究与阴极设计，以及电解液性能改进等方面着手，进一步提高加工精度。在扩大应用范围时要借鉴成熟的经验，可对已基本掌握规律的项目入手。从品种方面来说，应从异型孔或异型零件；批量较大的型腔或模具；以及倒角和去毛刺工序等方面积极推广。

2. 研制专用和通用电解加工机床，也是一项重要任务。目前，国内通用电解加工机床生产很少，工厂自行改装的电解加工机床往往性能不能满足需要。所以，要以自力更生，艰苦奋斗的精神设计制造简单专用的电解加工机床，同时也要设计制造高质量的通用电解加工机床，为稳定生产、保证精度、扩大应用创造良好条件。

机床的自动控制对稳定生产提高精度有重要意义。在已取得稳流、稳压、短路保护、电导率补偿等方面经验的基础上，应进一步试验研究间隙自动控制、数字显示程序控制等方面的技术问题，力争尽快地应用于实际生产中去。

3. 加强理论研究工作是促进电解加工进一步发展的一个重要一环。当前应加强对成型规律等方面的研究工作。

4. 电解液的性能在电解加工中有着重要的作用。它影响加工后零件的精度、光洁度、生产效率、对机床设备和工件的腐蚀以及生产安全问题等。所以应根据上述问题积极探讨改进电解液的性能及提高电解液的过滤办法等，以确保生产的稳定。

5. 要积极采取措施，开展综合利用，解决电解产物对环境的污染问题。

第一章 筒形零件加工

本章包括内孔抛光及炮管膛线的电解加工（属于等截面加工类型）。内孔抛光利用电解加工是应用得最早的一项加工方法。电解抛光内孔最基本的问题是整平问题，其计算方法可参阅公式 7-23 a。炮管膛线的电解加工，也是应用得最早的一项，目前从小口径、中口径到大口径炮管的加工均分别投产或定型，加工质量比较稳定，生产效率提高约四倍到六倍。阴极设计的形式以不突出式为主，突出式为辅。采用不突出式阴极加工膛线生产稳定，阴极制造简单，寿命长。但加工出的膛线的内圆角半径比较大——约等于膛线深（经实践证明不降低火炮性能）。采用突出式阴极，可以得到较小的圆角半径；膛线较深时，阴极尺寸（长度）可以设计得小一些，以减轻重量。

§ 1-1 枪管内孔抛光

一、零件

名称：枪管。

材料：50B（淬火：HRC=23）。

加工前内孔： $\phi 7_{-0.1}$ ；光洁度 $\nabla 6$ 。

加工后内孔： $\phi 7.39^{+0.04}$ ；光洁度 $\nabla 7$ 。

二、加工方法及工艺参数

1. 加工方法如图 1-1 所示。

2. 设备

电解液泵：自制齿轮泵

压力：20公斤/厘米²；

流量：200升/分；

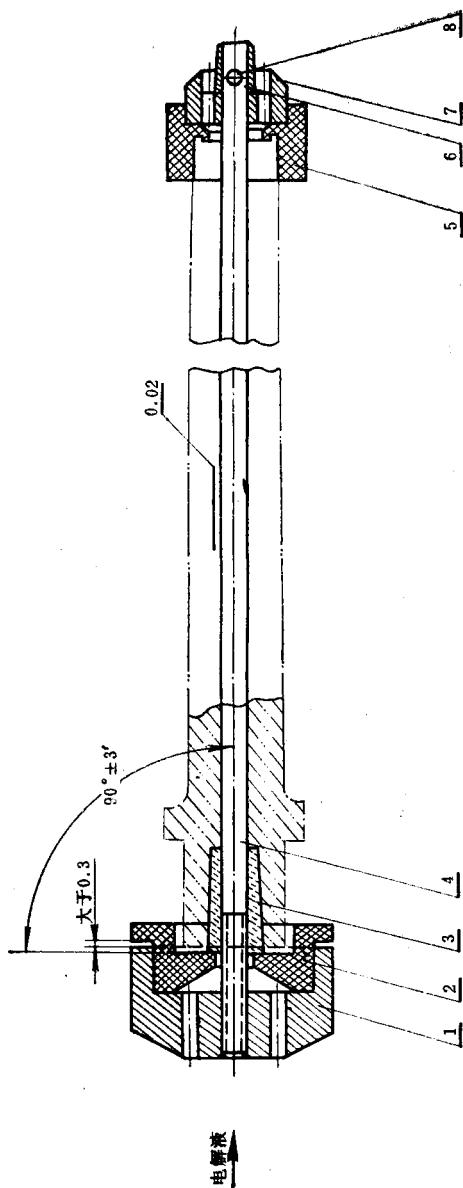


图1-1 枪管的内孔抛光

1—球状支座；2—绝缘体；3—下中心套；4—阴极；5—上中心套；6—盖；7—上帽；8—柱销。

电源：直流发电机组，ZJ-30型。

3. 工艺参数

(1) 电解液参数

成分：NaCl；

浓度：10~13%；

温度：20~50℃；

压力：8~15公斤/厘米²。

(2) 电参数

电压：12伏；

电流：1500安。

(3) 其它参数

加工余量：直径加工余量为0.39毫米；

起始间隙：1毫米；

加工时间：30秒。

4. 操作规范

(1) 加工前零件内孔的处理

① 去油：沸腾的去油槽中洗20分钟；

去油溶液成分：NaOH 180~220克/升；

Na₃PO₄ 20~30克/升；

② 热水清洗；

③ 擦净、抽检；

④ 按内孔尺寸分组，每0.02毫米为一组。

(2) 加工后零件的处理

① 清水中擦洗；

② 热水(80℃)中清洗；

③ 清洗液中擦洗；

清洗液成分：肥皂 10~15克/升；

Na₂CO₃ 5~10克/升；

④ 擦净涂油。

§ 1-2 活塞筒的抛光

一、零件

名称：活塞筒。

材料：40Cr（调质 HB=241~285）。

加工前内孔： $\phi 159.8 \pm 0.155$ ；光洁度 $\nabla 6$ 。

加工后内孔： $\phi 160.12^{+0.02}$ ；光洁度 $\nabla 8$ 。

二、加工方法及工艺参数

1. 加工方法如图 1-2 所示。

2. 设备

机床：T716 改装

电解液泵：2DGY-3×3 离心泵（自制）；

压力：22 公斤/厘米²；

流量：19 米³/时；

功率：30 千瓦；

电源：直流发电机组 ZJ-30 型。

3. 工艺参数

(1) 电解液参数

成分：NaCl；

浓度：8%；

温度：25°C；

压力：6 公斤/厘米²。

(2) 电参数

电压：6 伏；

电流：2600 安；

电流密度：2.9 安/厘米²。

(3) 其它参数

工作面积：88600 毫米²；

加工余量：0.25~0.35 毫米；

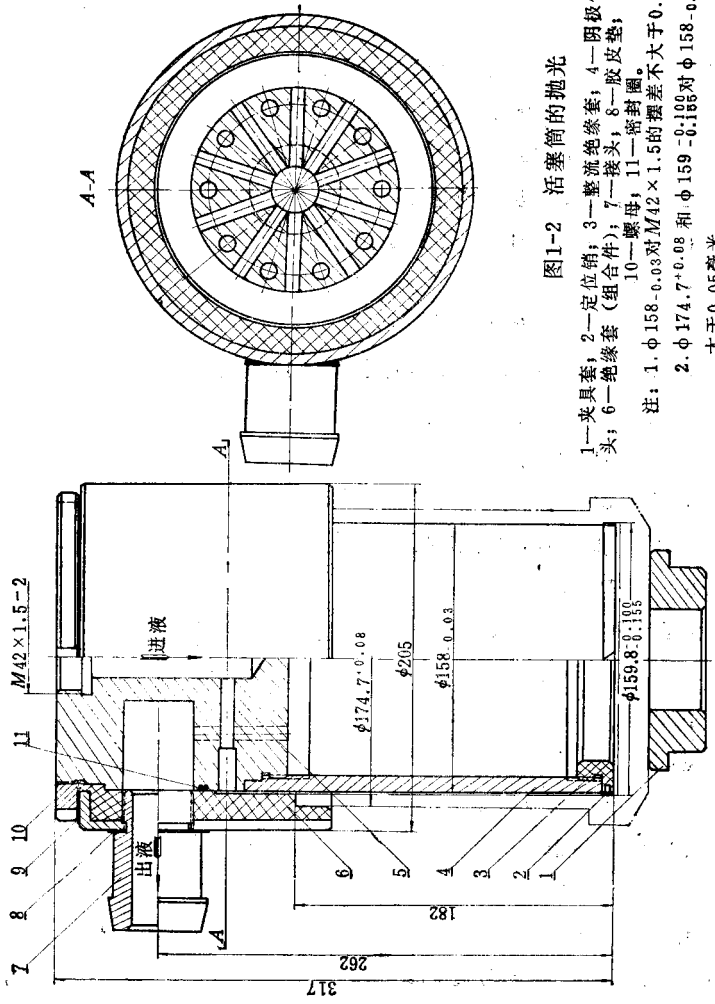


图1-2 活塞筒的抛光

- 1—夹套；2—定位销；3—整流绝缘套；4—阴极体；5—反水头；6—绝缘套（组合件）；7—接头；8—胶皮套；9—胶皮套；10—螺母；11—密封圈。

注：1. $\phi 158.0.03$ 对 $M42 \times 1.5$ 的摆差不大于 0.05 毫米；
 2. $\phi 174.7 \pm 0.08$ 和 $\phi 159.8 \pm 0.155$ 对 $\phi 158.0.03$ 的摆差不大于 0.05 毫米。

起始间隙：1 毫米。

4. 经济效果

与机械抛光相比较，工效高 15 倍。

三、疵病分析及解决方法

在试验中曾从侧面单管或双管进水，由上面出水（与现在的流动方向相反），结果在进水处下端有一片呈三角状的产物粘结，约 2~3 毫米²，影响工件几何精度。后来改为从上边进水，从侧面管出水，从而解决了这个疵病问题。

§ 1-3 30 炮管内膛加工

一、零件

名称：炮管。

材料：30CrNiMoVA。

热处理：毛坯淬火后回火。

技术要求：

加工前内孔 $\phi 29.30$ ；光洁度 $\nabla 6$

1. 允许孔较大，但光洁度不低于 $\nabla 6$ ；
2. 锥度、椭圆度均不得大于 0.02 毫米。

加工后内孔 $\phi 30.02^{+0.06}$ ；光洁度 $\nabla 8$

1. 在口部 15 毫米长和尾部 120 毫米长的范围内，允许不通样柱通过；
2. 光洁度达不到时，允许用铰刀精铰，但光洁度不得低于 $\nabla 7$ 。

二、加工方法及工艺参数

1. 设备

(1) 机床：D3603 卧式电解加工机床

行程范围：1800 毫米；

变速范围：16~260 毫米/分。

(2) 电源：ZJ-30 型直流发电机组。

(3) 电解液泵: 2GC-7 离心泵

压力: 25~30公斤/厘米²;

流量: 10米³/小时。

(4) 电解液槽: 10米³普通水泥池。

2. 工艺参数

(1) 电解液

成分: NaCl;

浓度: 14~18%;

压力: 15~20公斤/厘米²;

温度: 30~40°C。

(2) 电参数

电压: 12~13伏;

电流: 1740安;

电流密度: 20安/厘米²。

(3) 阴极进给速度: 120毫米/分。

(4) 加工方式: 采用拉式加工, 恒进给速度; 恒电流加工。

3. 操作程序及注意事项

(1) 加工前的准备工作:

① 工作表面先用热水清洗, 再用汽油擦洗;

② 测量工件的内孔尺寸并按尺寸分组。

组 别	1	2	3	4	5
尺寸(毫米)	φ 29.1	φ 29.2	φ 29.4	φ 29.5	φ 29.7

(2) 加工中的操作顺序为: 电解液泵, 电源, 进给。当阴极全部进入工件时, 电流应调到所规定的电流值, 并在加工过程中保持电流恒定不变(在加工终止阶段, 阴极由工件内移出的过程中, 电流下降, 同时控制电压均匀下降 1~2 伏)。

(3) 加工后的清洗

- ① 用清水擦洗加工表面；
- ② 用肥皂水清洗内孔（含皂量 1.5~3 克/升，肥皂水温度 80~90°C）；
- ③ 涂油。

三、阴极结构及计算

1. 阴极结构如图 1-3 所示。

2. 阴极计算：

(1) 阴极直径

$$D_k = D_1 - 2\Delta_0$$

式中 D_1 ——加工前孔径；

Δ_0 ——加工前选取的初始间隙。

(2) 阴极体长度 L_k

$$L_k = \frac{I}{\pi D_k i}$$

式中 I ——加工电流(安)；

i ——阴极表面电流密度，根据电解液压力等选取。

(3) 出液孔直径 d 出液孔总截面积应大于阴阳极之间的最大过液截面积

$$d \geq 1.05 \sqrt{\frac{D^2 - D_k^2}{n}}$$

式中 D ——加工后的孔径；

n ——出水孔的数目。

孔数 n 的确定既要考虑到电解液流场的均匀，又要考虑到使阴极在出水孔处有足够的导电面积和机械强度。孔径大，孔数多时，可使各孔分布在几排上，排与排之间各孔的位置应交错排列。

(4) 前后引导部分的直径和长度 前后引导主要是对阴极起定心作用，所以应与加工前后的孔径有配合要求。前引导一般选用第二种动配合，后引导一般可用第三种动配合。前引导长度可选用 40~70 毫米，后引导长度可选用 20~50 毫米。