



# 电加工 和超声加工

Л. Я. 巴比洛夫著

国防工业出版社



电加工和超声加工丛书一

电加工和超声加工

(参考資料)

Л. Я. 巴比洛夫 著

李根寿译 彭自鱼校



国防工业出版社

DL39/14  
出版者的話

为了滿足我国机械制造工艺人員的需要，我們准备將苏联机械工业出版社的“电加工和超声加工丛书”(Библиотека Электротехнолога и ультразвуковика)陸續翻譯出版。这套丛书共有七册，分別介紹金屬电脉冲加工、金屬阳极机械加工、金屬电化学加工、金屬电接触加工、金屬超声加工等問題，系統地敘述了加工基本方法、原理和工艺以及所用的设备。

这套丛书适于机械制造工厂从事电加工和超声加工的工艺人員、技术工人和工长閱讀。

这一册“电加工和超声加工”綜述电加工和超声加工基本工序的原理，介紹各种加工方法的实质、工序特点、所用設備和应用实例。书中給出了很有参考价值的數據資料，可供工艺人員在生产中选择最合理的加工方法时参考。

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И УЛЬТРАЗВУКОВАЯ  
ОБРАБОТКА

Л. Я. Попилов  
МАШГИЗ 1960

电加工和超声加工

李根寿譯  
彭自立校

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 1/32 印張 4 5/16 90千字

1963年12月第一版 1964年10月第二次印刷 印数：3,501—6,300册

統一书号：15034·694 定价：(科六) 0.55元

# 目 录

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 引言.....                                 | 5  |
| 一、材料的电加工方法、化学-机械加工方法和<br>超声加工方法的概述..... | 7  |
| 材料的电加工方法的基本特性.....                      | 7  |
| 化学-机械加工方法 .....                         | 9  |
| 超声加工方法.....                             | 9  |
| 综合加工方法.....                             | 10 |
| 电加工法, 化学-机械加工法及超声加工法的应用 .....           | 10 |
| 二、电化学方法.....                            | 41 |
| 方法的实质.....                              | 42 |
| 某些工序的特性.....                            | 42 |
| 电抛光用的基本设备.....                          | 52 |
| 三、金属的化学-机械加工 .....                      | 59 |
| 四、金属的阳极-机械加工 .....                      | 62 |
| 方法的实质.....                              | 62 |
| 某些工序的特性.....                            | 62 |
| 不同金属的可加工性.....                          | 67 |
| 设备.....                                 | 73 |
| 五、金属和合金在电解液中的加热.....                    | 73 |
| 六、电接触加工法.....                           | 79 |
| 方法的实质.....                              | 79 |
| 电接触方法应用举例.....                          | 82 |
| 七、电火花加工法.....                           | 88 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 方法的实质.....       | 88  |
| 某些工序的特性.....     | 89  |
| 电火花加工法的某些用途..... | 96  |
| 八、电脉冲加工.....     | 106 |
| 九、材料的超声加工.....   | 114 |
| 超声插削和穿削.....     | 114 |
| 超声清洗.....        | 125 |
| 参考文献.....        | 136 |

## 引 言

近几年来，材料的电加工、化学-机械加工和超声加工等方法在工业上得到了广泛的应用。

有关这方面的许多文献列举了不少关于应用这些方法的事例，用这些方法成功地加工了以普通的机械方法不易或者不能加工的高强度和高硬度的材料。

大家也都知道了一些应用上述方法来改变金属制品表面的机械性能，以增强制品的耐磨性能，改善光学性能以及提高抗腐性和光洁度等的实例。

在现实的条件下，这些加工方法已经不是什么异常新颖的东西了，它已经进入了在每个企业解决工艺问题时获得切实应用的阶段。因此，工业部门已经开始生产有关的设备并发出了一系列有关应用这些方法的指示。但是不能不看到不少工艺人员对于应用这些方法的可能性和特点还不够完全了解，~~甚至~~ ~~在那些~~ ~~方面~~ ~~的~~ ~~专家~~ ~~看来~~ ~~很~~ ~~有~~ ~~效~~ ~~的~~ ~~地~~ ~~方~~，都不能或者难以应用这些方法。这是因为过去在电加工和超声加工方面~~没有~~ ~~根本~~ ~~没有~~ ~~关于~~ ~~利用~~ ~~这些~~ ~~方法~~ ~~完成~~ ~~全部~~ ~~工序~~ ~~的~~ ~~参考~~ ~~资料~~。

本册~~是~~ ~~本书~~ ~~其他~~ ~~各~~ ~~册~~ ~~有~~ ~~原~~ ~~则~~ ~~上~~ ~~的~~ ~~不~~ ~~同~~。本书出版的目的是为了~~给~~ ~~工~~ ~~艺~~ ~~人~~ ~~员~~ ~~提~~ ~~供~~ ~~一~~ ~~些~~ ~~必~~ ~~要~~ ~~的~~ ~~综~~ ~~合~~ ~~参~~ ~~考~~ ~~资~~ ~~料~~，以便他们在解决生产问题时能有效地选择电加工和超声加工的方法。

读者从本书的参考表中可以得到为选择这种或那种加工

方法和从工艺上评价它们的适用性所需要的资料，同时也可以了解到各种方法的实质和重要特点，这就使读者能较容易地掌握今后在这方面将陆续出版的其它几册的内容。本书的内容采用表格的形式加以叙述，因为这样可以节省篇幅，便于大家对资料的查考，以及在完成所需的工序时对不同方法作明显的对照。

由于这项工作是为电加工技工出版参考资料的初次尝试，缺点在所难免，作者事先对提出宝贵意见的读者表示感谢。

## 一、材料的电加工方法、化学-机械 加工方法和超声加工方法的概述

下面叙述的材料加工方法，在最近5~10年来才得到了发展，并在工业上获得了应用，因此，这些方法对于广大的生产者来说还是比较新颖的。

将这些在物理性质上各不相同的加工方法——电的、化学-机械的和超声的方法合并在一起讨论，是因为这些方法在工艺上的应用多半是由一些相同的原因所促成的，而它们的应用的目的和对象是相同的。

### 材料的电加工方法的基本特性

材料的电加工法是这样的一些方法：用这些方法加工时材料的破坏或排除，材料的迁移，以及材料形状的变化或者组织转变是在电能直接作用于加工部位时发生的，而无需预先使电能变换成机械能或者其它形式的能。

金属的电加工方法分为两类：一类是基于电流的化学作用的电化学方法；一类是基于电流的热作用的电热方法。

属于第一类的有：

电铸；

电镀；

电化学氧化和电化学着色；

阴极腐蚀；

电解除油;

在熔融物中阴极除氧化皮;

电抛光;

阳极腐蚀;

电化学特形加工和电化学磨锐;

电化学磨削和电化学光制;

阳极-机械研磨, 阳极-机械光制, 阳极-机械抛光;

阳极-机械磨削, 阳极-机械插削, 阳极-机械光磨, 阳极-机械车削, 阳极-机械特形加工, 阳极-机械切割, 阳极-机械剥皮;

电化学钻孔, 电化学穿削, 电化学整平, 电化学特形加工。

属于第二类的有:

用于热加工、熔炼、钎焊、焊接及其它加工的工业频率电流、较高频率电流和高频率电流的加热;

用于任何目的电阻加热;

淬火用的接触电加热;

所有形式的接触电焊;

电机械车削和电机械整平;

电接触切割, 电接触刃磨, 电接触除氧化皮;

电接触强化和电接触熔焊;

振动接触堆焊;

高速电铣;

电接触深孔钻削;

用于任何目的电解液中加热;

电制合金和电解渗碳;

电容焊接;  
 电液压加工;  
 电火花加工;  
 电脉冲加工;  
 电弧焊接, 电弧切割, 电弧熔炼, 电弧清理等。

### 化学-机械加工方法

材料的化学-机械加工法是在加工时依靠在加工部位的化学反应或电化学反应及伴随着它的机械作用使材料破坏或者排除(相应地形状变化), 机械作用能促使加工过程加速和破坏物从加工部位排除。

化学-机械加工方法分为三类:

1. 利用表面活性物质的化学-机械加工法;
2. 利用电解液的化学-机械加工法;
3. 利用化学活性介质的化学-机械加工法。

第一类方法用于任何金属和合金的研磨、精光制和磨削; 第二类方法用于硬质合金的光制、磨削和分割; 第三类方法用于黑色金属和合金的研磨和磨削。

### 超声加工方法

材料的超声加工法或工艺过程的超声加速法是在加工时加工部位处在高频率(所谓频率高于16~20千赫的超声振动)的弹性机械振动作用之下, 振动促使工艺过程加速进行或者引起加工部分在工艺上发生必要的变化。

超声振动用于下列的目的:

1. 硬质材料和超硬质材料的机械加工(穿削、插削、钻

削、分割、磨削)；

2. 分散作用和乳化作用 (获得乳胶体和悬浊体, 制造极細的粉末, 防止水垢沉积, 加速固体的溶解)；

3. 对冶炼过程的作用 (在熔融金屬結晶时减小晶粒, 熔融体的排气, 在热处理时改善金屬組織, 制取几种互不混合金屬的合金)；

4. 排除表面膜和污垢 (表面除油, 清除氧化皮和鉄锈, 排除表面上的各种污垢, 鋁及其合金的钎焊)；

5. 材料的接合 (金屬的焊接, 塑料的焊接, 气溶胶的凝結)；

6. 对电化学过程的作用 (加速电镀过程, 沉积复杂的合金, 电解沉积时减小晶粒等)。

### 綜合加工方法

电加工、化学-机械加工及超声加工能同时配合进行, 形成一系列的**綜合加工法**。属于这类方法的有下列几种: 电化学-机械加工; 附加超声振动的阳极-机械加工; 附加超声振动的电火花加工等等。

#### 电加工法, 化学-机械加工法及超声加工法的应用

表1~5指出了这些方法的应用范围和应用效果的簡要技术-經济特性。这些方法的主要优点是加工速度、生产率和加工质量与被加工件的机械性能无关; 不需要使用比加工对象更硬的专用工具; 能完成用机械方法无法完成的工序; 自动化不复杂; 經济效果好等等。

表 1 利用电加工法、化学-机械加工法及超声加工法完成的某些工序

| 序号        | 工序内容    | 加工方法或工序名称                                                | 图号                      | 主要应用范围和对象                                                                   | 掌握情况                  | 工序的效果和特点                                                       |
|-----------|---------|----------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------|
| 金属表面的装饰加工 |         |                                                          |                         |                                                                             |                       |                                                                |
| 1         | 抛光和光泽加工 | 电抛光<br>电化学-机械抛<br>光                                      | 2,6和<br>2,8<br>—        | 形状复杂的零件和制品; 内腔;<br>贵重材料制品; 大量生产的均质<br>纯金属或合金的制品; 镀硬层<br>大尺寸的平面、旋轉体及圓柱<br>形孔 | II<br><br>III         | 减少劳动量, 消除体力<br>劳动, 提高生产率, 改进<br>制品质量<br>获得优质表面, 能机械<br>化, 降低成本 |
| 2         | 无光泽加工   | 电化学氧化<br>阳极腐蚀<br><br>电蚀加工(磨削,<br>强化)<br>在磨料悬液介<br>质中超声磨削 | 2,6<br>1,6<br>17,6<br>— | 主要是铝、铝合金及镁合金<br>主要是大量生产的任何金属和<br>合金制品<br>任何金属和合金的制品<br>任何材料的制品              | II<br>II<br>JI<br>III | 设备和工艺简单, 劳动<br>量小<br>同上<br><br>能使任何金属和合金得<br>到预定的粗糙度<br>工艺简单   |
| 3         | 着色      | 阳极加工                                                     |                         | 能使某些用别种方法不能着色的<br>金属和合金制品着上各种不同<br>的颜色                                      | III                   | 得到优质牢固的彩色层                                                     |

(續)

| 序号            | 工序内容          | 加工方法或工序名称                   | 图号                | 主要应用范围和对象                                                                                                         | 掌握情况            | 工序的效果和特点                                   |
|---------------|---------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|
| 切削工具的刃磨       |               |                             |                   |                                                                                                                   |                 |                                            |
| 4             | 单刃和多刃工具的刃磨    | 电化学磨制锥度, 电化学磨制针状物<br>阳极机械刃磨 | 1, B和1, 2<br>5, 2 | 用于有很薄刀刃的碳钢或合金钢工具 (针状物, 医疗器械)<br>主要用于高生产率自动机床或多位机床的金工和木工金属陶瓷硬质合金的成型刀具<br>在不能用其它方法刃磨时或在高生产率的专用机床上; 磨有硬质合金的金工工具和木工工具 | II<br>II<br>III | 节省磨料, 提高生产率, 改善刃磨质量<br>节省磨料, 刃磨质量高<br>节省磨料 |
| 工具断头和固定件断头的取出 |               |                             |                   |                                                                                                                   |                 |                                            |
| 5             | 工具断头和固定件断头的取出 | 电火花(电脉冲)取出工具和固定件<br>电接触取出法  | 14, 6             | 工具 (丝锥, 钻头, 铰刀等) 或固定件折断在任何金属制品和零件内的所有情况<br>同上; 适用于较大的和不重要的制品                                                      | II<br>II        | 减少废品<br>减少废品                               |

改变金属表面性能

|   |          |                                     |               |                                                                                                    |            |                                        |
|---|----------|-------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------|
| 6 | 减小摩擦系数   | 电抛光                                 | 2, 6          | 在电抛光后能得到表面光洁度很高和光亮度很强的纯质和均质金属与合金制品; 摩擦损失 (压头, 功率等等) 和表面的截观几何形状有关的制品; 特种制品在加工过程相应地机械化的条件下任何金属与合金的制品 | II         | 得到预定技术性能的高质量表面, 减少劳动量, 提高生产率           |
|   |          | 电化学-机械抛光                            | —             |                                                                                                    | II         | 能加工大尺寸的表面                              |
| 7 | 提高摩擦系数   | 阳极腐蚀及阳极氧化<br>电镀加工 (阳极-机械加工, 电火花加工等) | 1, 6<br>17, 6 | 对于尺寸精确度和形状要求不高的任何金属与合金制品需要在任何金属与合金上得到很粗糙的表面时                                                       | III<br>III | 生产率高, 设备简单, 对任何金属都适用能在任何金属与合金上得到预定的粗糙度 |
| 8 | 提高抗腐蚀性   | 电抛光                                 | 2, 6 和 2, B   | 需要临时提高抗腐蚀性, 推迟腐蚀开始时间 (在储藏期间等) 能很好承受电抛光的金属和合金制品                                                     | II         | 大大提高质量, 减少劳动量, 工序简单                    |
|   |          | 阳极氧化                                | 2, 6          | 只用于铝合金和钛合金                                                                                         | II         | 生产率高, 工艺简单                             |
| 9 | 提高光的反射系数 | 电抛光<br>电化学-机械抛光                     | 2, 6          | 尺寸不大的和表面形状复杂的能很好承受电抛光的金属和合金制品难以进行机械抛光或电化学抛光的任何金属和合金制品                                              | II<br>II   | 大大改善表面的光学特性<br>能改善表面的光学特性              |

(續)

| 序 号          | 工 序 内 容                         | 加 工 方 法<br>或 工 序 名 称                     | 图 号                            | 主要应用范围和对象                                                                                 | 掌握<br>情况      | 工序的效果和特点                                                  |
|--------------|---------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|
| 10           | 降低电真空<br>仪器零件的冷<br>放射           | 电抛光                                      | 2, 6                           | 放射性能与表面微观几何有关的<br>的金属和合金零件                                                                | III           | 提高制品质量                                                    |
| 11           | 消除冷硬化<br>层和表面应力                 | 电抛光, 阳极腐<br>蚀<br>在电解液中加热                 | 2, 6<br>1, 6<br>8, a 和<br>8, 6 | 能承受电抛光的, 以及在加工<br>后允许减小尺寸的任何金属和合<br>金制品<br>在尺寸和形状不变的条件允许<br>热处理作用下的任何金属和合金制品              | II<br><br>III | 提高制品质量<br><br>—                                           |
| 涂复表面层或改变表面組織 |                                 |                                          |                                |                                                                                           |               |                                                           |
| 12           | 涂复不同金<br>属和合金, 包<br>括陶瓷硬质合<br>金 | 电火花强化<br><br>电接触强化和电<br>弧强化或金属与合<br>金的涂复 | 14, b 和<br>17, 6<br><br>17, 6  | 主要用于对表面光洁度要求不<br>高的需要涂以薄硬质层的黑色金<br>属和合金制品<br>主要用于能获得较厚涂层并能<br>承受磨削, 但受热影响较大的黑<br>色金属和合金制品 | II<br><br>III | 能在制品不烧热的情况<br>下涂复高硬度材料的强化<br>层<br>能获得很厚的涂层, 而<br>制品不需显著烧热 |
| 13           | 涂复不同金<br>属和合金                   | 振动接触堆焊                                   | 11, 6                          | 要求产品在涂复后不被强烈烧热的情况<br>下涂复上层的硬质合金的黑色金属与<br>合金的旋轉体型制品                                        | III           | 能在制品烧热程度相当<br>小的情况下在各种制品上<br>堆焊硬质层                        |

| 14        | 表面塗以高熔点金属或非金属(氧化物、硅酸盐、氮化物、碳化物) | 等离子塗复    | —     | 表面上要求塗复一层高熔点金属(鉍、鎢等)或非金属(氧化物、氮化物、硅酸盐、碳化物、等)的任何制品 | III | 能获得用其它方法不能得到的耐热性高的保护层; 工艺过程能机械化           |
|-----------|--------------------------------|----------|-------|--------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------|
| 15        | 铝、铝合金及其它易氧化金属的塗锡               | 超声塗锡     | 20, 6 | 铝、铝合金及其它易氧化材料的零件和制品                              | II  | 塗锡不用助熔剂, 提高质量, 加速工艺过程                     |
| 16        | 加速金属电镀过程并改善沉积质量                | 超声加速电镀过程 | 19, 8 | 鍍銀、鍍銅、鍍錫、鍍鉛及其它过程                                 | III | 大大加速工艺过程                                  |
| 材 料 的 接 合 |                                |          |       |                                                  |     |                                           |
| 17        | 金属薄板的焊接                        | 超声点焊     | 21, a | 任何成分的金属薄板和塑料                                     | III | 能在不加热制品的情况下进行焊接, 加速工艺过程, 减小表面状态的影响, 能焊非金属 |
|           |                                | 超声縫焊     |       | 任何成分的金属薄板和塑料                                     | III | 能在不加热制品的情况下进行焊接, 加速工艺过程, 减小表面状态的影响, 能焊非金属 |

(續)

| 序 号            | 工 序 内 容        | 加 工 方 法<br>或 工 序 名 称 | 图 号   | 主要应用范围和对象                                               | 掌握<br>情况 | 工序的效果和特点                        |
|----------------|----------------|----------------------|-------|---------------------------------------------------------|----------|---------------------------------|
| 18             | 无氢化钎焊          | 在电解液中加热              | 9, B  | 在一般的硬钎焊时在空气中易氧化的金属和合金的零件                                | II       | 设备简单, 提高质量, 减少废品, 速度大           |
| 19             | 易氧化金属的钎焊       | 超声钎焊                 | 20, a | 铝、铝合金和其它易氧化金属和合金的零件和制品                                  | II       | 能用软焊料进行钎焊, 不用助焊剂, 减少劳动量, 改善钎焊质量 |
| 20             | 在电接触焊时改善焊接点的組織 | 超声-电接触焊              | 21, a | 适于用电接触焊的制品                                              | III      | 改善焊接处的质量, 简化焊接过程                |
| 21             | 改善电渣焊时的焊缝的质量   | 超声-电渣焊               | —     | 适于用电渣焊的制品                                               | III      | 改善焊缝处金属的組織                      |
| 金屬表面的清理和塗复前的准备 |                |                      |       |                                                         |          |                                 |
| 22             | 排除牢固地附着在鋼上的氧化皮 | 阳极腐蚀                 | 1, 6  | 在没有喷丸法或水压喷砂法清理时按形状和尺寸能放入电解槽的大型零件和大型制品; 大量生产的小毛坯、小制品和小零件 | II       | 节省磨料, 提高生产率, 改善被清理表面的质量         |