

# 特种加工手册

## 材料工程丛书

主 编 胡传炘

副主编 夏志东

北京工业大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

特种加工手册/胡传炘主编. —北京:北京工业大学出版社, 2001. 4

(材料工程丛书)

ISBN 7-5639-0751-3

I. 特… II. 胡… III. 特种加工-技术手册  
IV. TG66-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 14692 号

## 特种加工手册

胡传炘 主 编 夏志东 副主编

北京工业大学出版社出版发行

邮编: 100022 电话: (010) 67392308

各地新华书店总经销

徐水宏远印刷厂印刷

\*

2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 32 开本 20.375 印张 489 千字

印数: 1~3000 册

ISBN 7-5639-0751-3/T·107

定价: 38.00 元

# 序

材料、信息和能源是人类文明的基础，是现代国民经济的三大支柱。材料加工是材料科学与工程的重要组成部分，包括材料制备、加工、使用及后处理在内的各项生产工艺技术。先进的材料加工技术，对加速传统产品的更新换代、推动高新技术的发展是十分重要的。同时，材料加工技术对新材料的开发和应用也有重要作用。

为了适应我国科学技术和工业发展的需要，值此世纪之交，编者及时推出这套材料工程丛书，以满足广大读者处理材料加工问题的需要。

该丛书主要具有以下特色：

1. 综合性。该丛书既有对各种工程材料（金属、非金属、复合材料）的系统叙述，又有对各种材料的加工工艺、原理及应用的详细说明。该丛书既涉及传统加工方法，又有对特种加工方法的论述。

2. 实用性。该丛书对材料的介绍按用途分类，便于读者查询。在各种加工方法的编写上，特别注意到了采纳生产中正在广泛应用的成熟工艺，读者可直接将其应用于指导生产。该丛书图文并茂、数据准确、应用实例丰富。该丛书也是带有相关标准的实用工具书，可供从事材料工程生产、科研、设计、制造、应用及经营方面的科技和管理人员使用。

3. 新颖性。该丛书立足最新的标准。国内标准收集到 1998 年，国外标准收集到 1997 年。可以认为这套丛书反映了新世纪材料工程方面的最新水平。

## 序

---

真诚希望这套丛书的出版发行，能为我国材料工程的生产、科研、开发和应用作出重要贡献。

材料学院院长 史耀武教授

# 目 录

## 前 言

## 第1章 绪 言

|                |     |
|----------------|-----|
| 1.1 特种加工的概念    | (1) |
| 1.2 特种加工的特点    | (1) |
| 1.3 特种加工待解决的问题 | (2) |
| 1.4 特种加工的分类    | (3) |
| 1.5 特种加工方法的选择  | (4) |

## 第2章 激光加工

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 2.1 激光加工的原理和特点            | (8)  |
| 2.1.1 激光加工的基本原理           | (8)  |
| 2.1.2 激光加工的特点             | (8)  |
| 2.2 气体激光器                 | (9)  |
| 2.2.1 CO <sub>2</sub> 激光器 | (9)  |
| 2.2.2 氦-氖激光器              | (13) |
| 2.2.3 准分子激光器              | (14) |
| 2.2.4 高功率 CO 激光器          | (14) |
| 2.3 固体激光器                 | (15) |
| 2.3.1 光泵                  | (15) |
| 2.3.2 谐振腔                 | (16) |
| 2.3.3 工作物质                | (17) |
| 2.3.4 聚光器                 | (19) |
| 2.4 激光加工的导光聚焦系统及激光束参量的测量  | (20) |
| 2.4.1 激光传输与变化             | (21) |

|            |                        |              |
|------------|------------------------|--------------|
| 2.4.2      | 光路及机械结构 .....          | (21)         |
| 2.4.3      | 各种类型的导光聚焦系统 .....      | (21)         |
| 2.4.4      | 激光光束参数测量与控制 .....      | (24)         |
| <b>2.5</b> | <b>金属表面的激光强化 .....</b> | <b>(26)</b>  |
| 2.5.1      | 激光相变硬化(激光淬火) .....     | (26)         |
| 2.5.2      | 激光合金化 .....            | (60)         |
| 2.5.3      | 激光表面熔覆 .....           | (65)         |
| 2.5.4      | 激光非晶化 .....            | (74)         |
| 2.5.5      | 激光冲击硬化 .....           | (77)         |
| <b>2.6</b> | <b>激光打孔 .....</b>      | <b>(79)</b>  |
| 2.6.1      | 激光打孔的原理、物理过程及特点 .....  | (79)         |
| 2.6.2      | 激光打孔的工艺 .....          | (82)         |
| 2.6.3      | 各种材料的激光打孔 .....        | (86)         |
| 2.6.4      | 激光打孔应用实例 .....         | (90)         |
| <b>2.7</b> | <b>激光切割 .....</b>      | <b>(90)</b>  |
| 2.7.1      | 激光切割的特点 .....          | (90)         |
| 2.7.2      | 激光切割的分类及基本原理 .....     | (92)         |
| 2.7.3      | 激光切割的工艺参数 .....        | (93)         |
| 2.7.4      | 常用工程材料的激光切割 .....      | (98)         |
| <b>2.8</b> | <b>激光焊接 .....</b>      | <b>(101)</b> |
| 2.8.1      | 概述 .....               | (101)        |
| 2.8.2      | 热导焊 .....              | (103)        |
| 2.8.3      | 激光深熔焊 .....            | (110)        |
| <b>2.9</b> | <b>激光标记 .....</b>      | <b>(118)</b> |
| 2.9.1      | 激光标记的基本原理 .....        | (118)        |
| 2.9.2      | 激光标记的特点 .....          | (119)        |
| 2.9.3      | 激光标记方法及标记用激光器 .....    | (119)        |

## 第3章 电火花加工

|            |                            |              |
|------------|----------------------------|--------------|
| <b>3.1</b> | <b>电火花加工的基本原理和特点 .....</b> | <b>(121)</b> |
|------------|----------------------------|--------------|

---

|       |                          |       |
|-------|--------------------------|-------|
| 3.1.1 | 电火花加工的基本原理 .....         | (121) |
| 3.1.2 | 放电蚀除的极性效应 .....          | (123) |
| 3.1.3 | 电火花加工的基本工艺规律 .....       | (124) |
| 3.1.4 | 电火花加工特点和应用范围 .....       | (134) |
| 3.2   | 电火花穿孔、成型加工机床 .....       | (136) |
| 3.2.1 | 脉冲电源 .....               | (136) |
| 3.2.2 | 电火花穿孔、成型加工机床 .....       | (138) |
| 3.2.3 | 工作液及工作液循环过滤系统 .....      | (143) |
| 3.2.4 | 工具电极材料 .....             | (145) |
| 3.3   | 电火花成型加工方法 .....          | (151) |
| 3.3.1 | 型腔模电火花加工的工艺方法 .....      | (151) |
| 3.3.2 | 模具穿孔的加工方法 .....          | (154) |
| 3.4   | 工作液强迫循环的应用 .....         | (158) |
| 3.5   | 电火花加工时工具电极的安装和找正 .....   | (159) |
| 3.6   | 电火花加工机床常见故障 .....        | (160) |
| 3.7   | 电火花加工工艺形式及应用 .....       | (162) |
| 3.7.1 | 电火花小孔磨削 .....            | (165) |
| 3.7.2 | 电火花刃磨与切割 .....           | (165) |
| 3.7.3 | 电火花对磨和跑合加工 .....         | (165) |
| 3.7.4 | 共轭回转式电火花加工 .....         | (166) |
| 3.7.5 | 电火花表面强化及刻字 .....         | (166) |
| 3.7.6 | 去除折断工具 .....             | (167) |
| 3.7.7 | 小孔加工 .....               | (168) |
| 3.8   | 电火花线切割加工 .....           | (169) |
| 3.8.1 | 电火花线切割加工原理 .....         | (169) |
| 3.8.2 | 电火花线切割机床 .....           | (170) |
| 3.8.3 | 电火花线切割加工中的脉冲电源 .....     | (182) |
| 3.8.4 | 电火花线切割走丝系统 .....         | (186) |
| 3.8.5 | 电火花线切割典型夹具、附件及工件装夹 ..... | (190) |
| 3.8.6 | 电火花线切割控制系统与编程 .....      | (195) |
| 3.8.7 | 影响线切割工艺指标的若干因素 .....     | (213) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 3.8.8 数控线切割加工工艺路线图及应用 ..... | (222) |
|-----------------------------|-------|

## 第4章 超声加工

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 4.1 超声加工原理及特点 .....      | (224) |
| 4.1.1 超声波及其特性 .....      | (224) |
| 4.1.2 超声加工原理 .....       | (227) |
| 4.1.3 超声加工的特点 .....      | (228) |
| 4.2 超声加工设备 .....         | (229) |
| 4.2.1 超声波发生器 .....       | (229) |
| 4.2.2 超声振动系统 .....       | (230) |
| 4.2.3 超声加工机床本体 .....     | (236) |
| 4.2.4 磨料悬浮液及冷却循环系统 ..... | (237) |
| 4.3 超声加工工艺 .....         | (237) |
| 4.3.1 加工速度 .....         | (237) |
| 4.3.2 加工精度 .....         | (241) |
| 4.3.3 表面质量 .....         | (242) |
| 4.3.4 工具磨损 .....         | (243) |
| 4.4 超声加工应用 .....         | (243) |
| 4.4.1 型孔、型腔加工 .....      | (243) |
| 4.4.2 切割加工 .....         | (245) |
| 4.4.3 清洗 .....           | (246) |
| 4.4.4 超声电解加工 .....       | (248) |
| 4.4.5 超声切削 .....         | (249) |
| 4.4.6 超声化学镀 .....        | (249) |
| 4.4.7 超声波焊接 .....        | (251) |

## 第5章 等离子弧加工

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 5.1 等离子弧加工原理及其特点 ..... | (256) |
| 5.1.1 等离子弧的产生 .....    | (256) |
| 5.1.2 等离子电弧的加工机理 ..... | (257) |

---

|       |                       |       |
|-------|-----------------------|-------|
| 5.1.3 | 等离子弧的类型 .....         | (258) |
| 5.1.4 | 等离子弧的特点 .....         | (259) |
| 5.1.5 | 等离子弧应用限制 .....        | (261) |
| 5.2   | 等离子电弧的主要结构及工艺参数 ..... | (261) |
| 5.2.1 | 喷嘴 .....              | (261) |
| 5.2.2 | 电极 .....              | (262) |
| 5.2.3 | 工作气体及其流量 .....        | (263) |
| 5.3   | 等离子弧焊接 .....          | (265) |
| 5.3.1 | 等离子弧焊接方法 .....        | (265) |
| 5.3.2 | 等离子弧焊工艺参数 .....       | (268) |
| 5.3.3 | 等离子弧焊设备 .....         | (270) |
| 5.4   | 等离子弧切割 .....          | (274) |
| 5.4.1 | 等离子弧切割方法 .....        | (274) |
| 5.4.2 | 等离子弧切割工艺参数 .....      | (276) |
| 5.4.3 | 等离子弧切割设备 .....        | (277) |
| 5.5   | 等离子喷涂 .....           | (279) |
| 5.5.1 | 气稳等离子喷涂 .....         | (279) |
| 5.5.2 | 气稳等离子喷涂设备 .....       | (283) |
| 5.5.3 | 真空等离子喷涂 .....         | (293) |
| 5.5.4 | 水稳等离子喷涂 .....         | (296) |
| 5.6   | 等离子弧喷焊 .....          | (299) |
| 5.6.1 | 原理 .....              | (299) |
| 5.6.2 | 设备 .....              | (300) |

## 第六章 粉末冶金

|       |                    |       |
|-------|--------------------|-------|
| 6.1   | 概述 .....           | (309) |
| 6.2   | 金属粉末生产 .....       | (310) |
| 6.2.1 | 金属粉末生产方法 .....     | (310) |
| 6.2.2 | 金属粉末生产后序工艺 .....   | (315) |
| 6.2.3 | 常用金属粉末的性能和用途 ..... | (317) |

|            |                      |              |
|------------|----------------------|--------------|
| 6.2.4      | 安全生产 .....           | (317)        |
| 6.2.5      | 金属粉末的性能与测试 .....     | (335)        |
| <b>6.3</b> | <b>金属粉末的固结 .....</b> | <b>(341)</b> |
| 6.3.1      | 固结理论 .....           | (341)        |
| 6.3.2      | 固结工艺 .....           | (346)        |
| 6.3.3      | 特种固结工艺 .....         | (366)        |
| 6.3.4      | 后续加工 .....           | (380)        |
| 6.3.5      | 粉末冶金材料的性能测试 .....    | (386)        |
| <b>6.4</b> | <b>粉末系统和应用 .....</b> | <b>(387)</b> |
| 6.4.1      | 金属粉末的用途 .....        | (387)        |
| 6.4.2      | 典型粉末冶金制品 .....       | (396)        |

## 第7章 电化学加工

|            |                               |              |
|------------|-------------------------------|--------------|
| <b>7.1</b> | <b>电化学加工的基本概念 .....</b>       | <b>(429)</b> |
| 7.1.1      | 电化学反应 .....                   | (429)        |
| 7.1.2      | 电极电位 .....                    | (430)        |
| <b>7.2</b> | <b>电化学加工的基本原理、分类及特点 .....</b> | <b>(434)</b> |
| 7.2.1      | 电化学加工的基本原理及分类 .....           | (434)        |
| 7.2.2      | 电化学加工的特点 .....                | (435)        |
| <b>7.3</b> | <b>电解加工 .....</b>             | <b>(436)</b> |
| 7.3.1      | 电解加工原理 .....                  | (436)        |
| 7.3.2      | 电解加工的极性反应 .....               | (436)        |
| 7.3.3      | 电解加工的电压 .....                 | (438)        |
| 7.3.4      | 电解加工特点 .....                  | (439)        |
| 7.3.5      | 电解液 .....                     | (439)        |
| 7.3.6      | 电解加工工艺 .....                  | (447)        |
| 7.3.7      | 混气电解加工 .....                  | (456)        |
| 7.3.8      | 电解加工设备 .....                  | (458)        |
| 7.3.9      | 电解加工的应用 .....                 | (461)        |
| <b>7.4</b> | <b>电解磨削 .....</b>             | <b>(467)</b> |

|       |                    |       |
|-------|--------------------|-------|
| 7.4.1 | 电解磨削的基本原理及特点 ..... | (467) |
| 7.4.2 | 电解磨削的主要设备及工艺 ..... | (468) |
| 7.4.3 | 电解磨削的应用 .....      | (471) |
| 7.5   | 电铸 .....           | (473) |
| 7.5.1 | 电铸原理 .....         | (473) |
| 7.5.2 | 电铸特点 .....         | (474) |
| 7.5.3 | 电铸加工的设备 .....      | (474) |
| 7.5.4 | 电铸芯模 .....         | (475) |
| 7.5.5 | 电铸工艺 .....         | (478) |
| 7.5.6 | 电铸应用 .....         | (480) |
| 7.6   | 电刷镀 .....          | (481) |
| 7.6.1 | 电刷镀工作原理 .....      | (481) |
| 7.6.2 | 刷镀特点 .....         | (482) |
| 7.6.3 | 刷镀设备及镀液 .....      | (482) |
| 7.6.4 | 刷镀工艺 .....         | (488) |
| 7.6.5 | 刷镀应用 .....         | (491) |

## 第8章 粘 接

|       |                      |       |
|-------|----------------------|-------|
| 8.1   | 粘接材料 .....           | (492) |
| 8.1.1 | 粘接剂的分类 .....         | (492) |
| 8.1.2 | 粘接剂的特性 .....         | (493) |
| 8.1.3 | 粘接剂的选择依据及常用粘接剂 ..... | (495) |
| 8.2   | 粘接工艺 .....           | (516) |
| 8.2.1 | 粘接接头设计 .....         | (516) |
| 8.2.2 | 粘接表面前处理 .....        | (519) |
| 8.2.3 | 胶粘剂的涂敷及固化 .....      | (530) |
| 8.2.4 | 质量检验及缺陷分析 .....      | (535) |
| 8.3   | 常用材料的胶接 .....        | (539) |
| 8.3.1 | 金属的胶接 .....          | (539) |
| 8.3.2 | 塑料的胶接 .....          | (541) |

---

|            |                         |              |
|------------|-------------------------|--------------|
| 8.3.3      | 橡胶的胶接 .....             | (544)        |
| 8.3.4      | 其他材料的胶接 .....           | (546)        |
| <b>8.4</b> | <b>粘接技术应用典型实例 .....</b> | <b>(546)</b> |
| 8.4.1      | 船舶尾轴与螺旋桨的胶接 .....       | (546)        |
| 8.4.2      | 模具的胶接 .....             | (547)        |
| 8.4.3      | 硬质合金铰刀的胶接 .....         | (548)        |
| 8.4.4      | 钻头的接长胶接 .....           | (549)        |
| 8.4.5      | 缸盖裂纹的修复 .....           | (549)        |
| 8.4.6      | 机床导轨划伤的修复 .....         | (550)        |
| 8.4.7      | 机床导轨磨损的修复 .....         | (551)        |
| 8.4.8      | 断轴的修复 .....             | (552)        |
| 8.4.9      | 拖拉机水道内壁穿孔的修复 .....      | (553)        |
| 8.4.10     | 铸件砂眼、缺陷的修复 .....        | (554)        |
| 8.4.11     | 变速器裂纹的胶接堵漏 .....        | (555)        |
| 8.4.12     | 压缩机机身回油颈管的胶接堵漏 .....    | (556)        |
| 8.4.13     | 飞机整体油箱的胶接密封 .....       | (557)        |
| 8.4.14     | 飞机透明件的胶接 .....          | (558)        |
| 8.4.15     | 机械加工同心度偏差的修复 .....      | (559)        |
| 8.4.16     | 机械设备的紧固胶接 .....         | (559)        |
| 8.4.17     | 柴油机调整垫片的胶接 .....        | (561)        |
| 8.4.18     | 混凝土构件的嵌缝胶接 .....        | (562)        |
| 8.4.19     | 建筑物隔音绝热层的胶接 .....       | (562)        |
| 8.4.20     | 水利工程的堵渗胶接 .....         | (563)        |
| 8.4.21     | 船舶门窗构件的密封胶接 .....       | (565)        |
| 8.4.22     | 木材的封边胶接 .....           | (566)        |
| 8.4.23     | 人体血管的缝合胶接 .....         | (567)        |
| 8.4.24     | 电子元件的阻燃封装 .....         | (568)        |
| <b>8.5</b> | <b>安全与防护 .....</b>      | <b>(569)</b> |
| 8.5.1      | 胶粘剂的毒性 .....            | (569)        |
| 8.5.2      | 防护措施 .....              | (572)        |

## 第9章 其他特种加工

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| <b>9.1 超塑性成形技术</b> .....      | (574) |
| 9.1.1 超塑性成形概述 .....           | (574) |
| 9.1.2 超塑性挤压成形工艺 .....         | (577) |
| 9.1.3 超塑性气压成形工艺 .....         | (581) |
| 9.1.4 超塑性成形/扩散连接工艺 .....      | (586) |
| <b>9.2 电子束加工</b> .....        | (588) |
| 9.2.1 电子束加工原理及特点 .....        | (588) |
| 9.2.2 电子束加工装置 .....           | (589) |
| 9.2.3 电子束加工的应用 .....          | (592) |
| <b>9.3 离子束加工</b> .....        | (597) |
| 9.3.1 离子束加工原理及特点 .....        | (597) |
| 9.3.2 离子束加工装置 .....           | (599) |
| 9.3.3 离子束加工的应用 .....          | (599) |
| <b>9.4 化学加工</b> .....         | (605) |
| 9.4.1 化学铣削 .....              | (605) |
| 9.4.2 照相制版 .....              | (608) |
| 9.4.3 光刻 .....                | (611) |
| <b>9.5 水喷射加工</b> .....        | (614) |
| 9.5.1 水喷射加工的基本原理 .....        | (614) |
| 9.5.2 水喷射加工的工作参数和基本工艺规律 ..... | (615) |
| 9.5.3 水喷射加工的特点及其应用 .....      | (618) |
| <b>9.6 磨料流加工</b> .....        | (620) |
| 9.6.1 磨料流加工的基本原理 .....        | (620) |
| 9.6.2 磨料流加工的影响因素及基本工艺规律 ..... | (621) |
| 9.6.3 磨料流加工的特点及其应用 .....      | (623) |
| <b>9.7 喷射成形</b> .....         | (626) |
| 9.7.1 基本原理 .....              | (627) |

---

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 9.7.2 特点 .....         | (628) |
| 9.7.3 镍基高温合金喷射成形 ..... | (628) |
| 9.7.4 应用 .....         | (630) |
| <b>参考文献</b> .....      | (631) |

# 第1章 绪 言

## 1.1 特种加工的概念

什么是特种加工？所谓特种加工，就是应用物理的（力、热、声、光、电）或化学的方法，对具有特殊要求（如高精度）或特殊加工对象（如难加工的材料、形状复杂或尺寸特微小的材料、刚度极低的材料）进行加工的手段。

这里指出几点：

（1）某些产品，如高压液压活门、航空陀螺、精密光学透镜，其尺寸精度要求达到  $0.1\ \mu\text{m}$ ，表面粗糙度  $R_a$  达到  $0.01\ \mu\text{m}$ ；

（2）某些材料，如钛合金、硬质合金、耐热不锈钢、淬火工具钢、金刚石、陶瓷、玻璃、锆、硅等，其特点是或高硬度、高强度、高脆性，或高韧性、高熔点、高纯度；

（3）某些产品，如各种模具的立体型面、喷气涡轮机叶片、特殊断面形状的微孔以及狭缝（间隙为几十  $\mu\text{m}$  到  $1\ \text{mm}$ ）的加工，其特点是结构特殊、形状复杂或尺寸微小；

（4）某些产品，如细长和薄壁工件（有的厚度仅几十  $\mu\text{m}$ ）、弹性元件，其特点是刚度极低。

对于上述产品或材料的加工，应用传统的切削加工方法难以实现，正是在这种情况下，特种加工发展起来。

## 1.2 特种加工的特点

特种加工与传统切削（或磨）加工的本质区别是什么？其区别在于应用加工的能量形式不同。传统切削加工依靠机械能并通

过刀具实现，而特种加工则或者也用机械能，或者干脆不用机械能，而用其他形式的能，且不一定要通过刀具来实现。这就决定了特种加工具备下述特点。

(1) 不用机械能，与加工对象的机械性能无关。有些特种加工方法，如激光加工、电火花加工、等离子弧加工、电化学加工等，是利用热能、化学能、电化学能，这些加工方法与工件的硬度、强度等机械性能无关，故可加工各种高强、高硬度材料。

(2) 非接触加工，不一定需要工具。有些特种加工不需要工具，有的虽使用工具，但与工件不接触，因此，工件不承受大的作用力，工具硬度可低于工件硬度。故使刚度极低元件及弹性元件得以加工。

(3) 微细加工，工件表面质量高。有些特种加工，如超声、电化学、水喷射、磨料流等，加工余量的去除大都是微细进行，故不仅可加工尺寸微小的孔或狭缝，还能获得高精度、极低粗糙度的加工表面。

(4) 简单进给运动，加工复杂型面工件。有些特种加工，仅需简单的进给运动，即可加工出复杂的型面。

### 1.3 特种加工待解决的问题

特种加工是 20 世纪 40 年代以后才发展起来的新技术。虽然已解决了传统切削（或磨）加工难以加工的许多问题，在提高产品质量、生产效率和经济效益上显示出很大的优越性，但目前它还存在不少有待解决的问题。

(1) 加工机理、参数选择及稳定性 不少特种加工的机理（如超声、激光等加工）还不十分清楚，其工艺参数选择、加工过程的稳定性均需进一步提高。

(2) 废液、废气处理 有些特种加工（如电化学加工）加工过程中的废液、废气若排放不当，会产生环境污染，影响工人健康。

(3) 加工精度及生产率 有些特种加工（如快速成形、等离子弧加工等）的加工精度及生产率有待提高。

(4) 经济性 有些特种加工（如激光加工）所需设备投资大、使用维修费高，亦有待进一步解决。

尽管特种加工有上述欠缺，但已成为制造业中不可缺少的一部分，且特种加工中各项技术均处于迅速发展，必将不断完善并扮演着重要角色。

## 1.4 特种加工的分类

至今，特种加工方法的分类尚无明确规定，按加工能量形式及加工原理可将其分类，见表 1-1。

表 1-1 常用特种加工方法分类

| 序 号 | 加工方法           | 能量类型    | 加工机理     | 符 号     |
|-----|----------------|---------|----------|---------|
| 1   | 磨料流加工          | 机械能     | 切蚀       | AFM     |
| 2   | 磨料喷射加工         |         |          | AJM     |
| 3   | 水喷射加工          |         |          | WDM     |
| 4   | 超声波加工          | 声能、机械能  |          | USM     |
| 5   | 离子束加工          | 电能、机械能  |          | IBM     |
| 6   | 粉末冶金           | 热能、机械能  | 热压成型     | PTM     |
| 7   | 超塑成形           | 机械能     | 超塑性      | UPM     |
| 8   | 快速成形           | 热能、机械能  | 热熔化成型    | QDM     |
| 9   | 爆炸加工           | 化学能、机械能 | 爆炸       | EDM     |
| 10  | 激光加工           | 光能、热能   | 熔化、气化    | LBM     |
| 11  | 电火花加工          | 电能、热能   | 熔化、气化    | EDM     |
| 12  | 等离子弧加工         |         |          | PAM (C) |
| 13  | 电子束加工          |         |          | EBM     |
| 14  | 电化学加工          | 电化学能    | 离子转移     | ECM     |
| 15  | 化学加工<br>(刻蚀技术) | 化学能     | 腐蚀       | CHM     |
| 16  | 光化学加工          | 光能、化学能  | 光化学 + 腐蚀 | PCM     |
| 17  | 粘接             | 化学能     | 化学键      | ASM     |