

ZHUANGBEI LINGJIAN ZHIZAO YU  
ZAIZHIZAO JIAGONG JISHU

# 装备零件制造与 再制造加工技术

主 编 田欣利 黄燕滨  
副主编 张其勇 巴国召 吴志远



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 装备零件制造与 再制造加工技术

主 编 田欣利 黄燕滨  
副主编 张其勇 巴国召 吴志远

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书在概要总结了国内外近年来装备零件制造与再制造加工领域的基本概念的基础上,较全面地介绍了装备零件制造中的冷加工和再制造加工的基本原理、基础理论和基本技术。全书共分为八章,包括金属切削原理、机床与机械加工方法、机床夹具、机械加工质量及其控制、机械加工及机械装配工艺规程、机械制造技术的发展,机械再制造技术基础和再制造加工技术。

本书可作为机械工程相关专业本科生的专业基础课教材,也可作为其他相近专业的教材或参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

装备零件制造与再制造加工技术/田欣利,黄燕滨主编.

—北京:国防工业出版社,2010.6

ISBN 978-7-118-06838-2

I. ①装… II. ①田…②黄… III. ①机械制造工艺  
②机械加工 IV. ①TH16②TG506

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 088210 号

※  
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 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

\*

开本 710×960 1/16 印张 18 $\frac{1}{4}$  字数 325 千字

2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 36.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422 发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535 发行业务:(010)68472764

# 前 言

本书以装备零件的全生命周期为对象,根据装备零件在“从生到死”的全生命周期内,制造阶段和再制造阶段所需“冷加工”的特点和规律,重点阐述其机械加工的基础理论和基本技术。装备零件制造部分主要以机械加工工艺规程的制定为主线,重点阐述金属切削的基本原理和基本规律、机械加工方法、夹具设计、机械加工工艺规程等内容;再制造加工部分则突出装备再制造加工的特点和关键技术等内容。在教材编写过程中,吸收了国内外近年来现代加工技术与先进制造技术的最新成果,采用国家最新标准。为便于教学,各章后附有思考与练习题。

全书共分为八章:第一章为金属切削原理,介绍了金属切削的基本概念和切削过程的基本规律、刀具的基本知识以及提高加工质量与切削效率的途径;第二章为机床与机械加工方法,介绍了机床、回转表面加工、平面加工、磨削加工以及数控加工等内容;第三章为机床夹具,介绍了机床夹具概论、工件在夹具中的定位、工件夹紧等内容;第四章为机械加工质量及其控制,介绍了机械加工精度的基本概念、影响机械加工精度的因素、机械加工表面质量等内容;第五章为机械加工及机械装配工艺规程,在介绍了机械加工工艺过程基本概念的基础上,阐述了工件的安装与基准、加工余量与工艺尺寸链、机械加工工艺规程的制定、典型零件的机械加工、机器装配工艺规程以及机械加工工艺的技术经济性与产品的工艺性分析等内容;第六章为机械制造技术的发展,包括特种加工、精密与超精密加工、先进制造技术等内容;第七章为机械再制造技术基础,主要介绍机械再制造技术设计与生产、机械产品再制造技术的应用等内容;第八章为再制造加工技术,主要介绍涂覆层机械加工的特点、涂覆层的车削与磨削加工及其特种加工等内容。本教材可作为机械工程相关专业本科生的专业基础课教材,也可作为其他相近专业的教材或参考书。

本书绪论、第4章、第6章、第8章由田欣利编写,第1章由张其勇编写,第2章由吴志远编写,第3章由巴国召编写,第5章、第7章由黄燕滨编写,全书由田欣利、黄燕滨主编。

本书在编写过程中得到了装甲兵工程学院装备再制造工程系的大力支持,吴志远、陈学荣、杨俊飞以及宋高伟等同志对书稿做了细致的检查和校对,提出了许多修改意见,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2010年3月

# 目 录

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| 绪论 .....                     | 1         |
| <b>第 1 章 金属切削原理 .....</b>    | <b>7</b>  |
| 1.1 金属切削的基本概念 .....          | 7         |
| 1.1.1 切削运动与切削用量 .....        | 7         |
| 1.1.2 刀具切削部分的基本定义 .....      | 9         |
| 1.1.3 切削层参数和切削方式 .....       | 12        |
| 1.2 刀具材料 .....               | 14        |
| 1.2.1 刀具材料应具备的性能与分类 .....    | 14        |
| 1.2.2 高速钢 .....              | 15        |
| 1.2.3 硬质合金 .....             | 17        |
| 1.2.4 其他刀具材料 .....           | 18        |
| 1.3 金属切削过程的基本规律 .....        | 19        |
| 1.3.1 切削变形 .....             | 19        |
| 1.3.2 切削力和切削功率 .....         | 24        |
| 1.3.3 切削热与切削温度 .....         | 29        |
| 1.3.4 刀具磨损与刀具耐用度 .....       | 33        |
| 1.4 提高表面加工质量与切削效率的途径 .....   | 41        |
| 1.4.1 刀具几何参数的合理选用 .....      | 41        |
| 1.4.2 切削用量的合理选择 .....        | 50        |
| 1.4.3 工件材料的切削加工性 .....       | 54        |
| 思考与练习题 .....                 | 58        |
| <b>第 2 章 机床与机械加工方法 .....</b> | <b>60</b> |
| 2.1 金属切削机床 .....             | 60        |
| 2.1.1 机床的分类 .....            | 60        |

|            |                    |            |
|------------|--------------------|------------|
| 2.1.2      | 机床型号的编制方法 .....    | 61         |
| 2.1.3      | 加工表面的种类及形成 .....   | 65         |
| 2.2        | 回转表面加工 .....       | 67         |
| 2.2.1      | 回转表面的种类及加工要求 ..... | 67         |
| 2.2.2      | 车床及车削加工 .....      | 70         |
| 2.2.3      | 钻床及钻削加工 .....      | 77         |
| 2.2.4      | 镗床及镗削加工 .....      | 81         |
| 2.2.5      | 回转表面加工方案分析 .....   | 83         |
| 2.3        | 平面类零件的加工 .....     | 86         |
| 2.3.1      | 平面的种类及加工要求 .....   | 86         |
| 2.3.2      | 铣床及铣削加工 .....      | 87         |
| 2.3.3      | 插床、刨床及其加工 .....    | 92         |
| 2.3.4      | 平面加工方案分析 .....     | 95         |
| 2.4        | 磨削加工 .....         | 96         |
| 2.4.1      | 磨床的种类 .....        | 96         |
| 2.4.2      | 砂轮的构成及特点 .....     | 97         |
| 2.4.3      | 磨削加工的工艺特点 .....    | 102        |
| 2.5        | 数控加工 .....         | 103        |
| 2.5.1      | 数控机床的基本概念 .....    | 103        |
| 2.5.2      | 数控机床的分类 .....      | 106        |
| 2.5.3      | 加工中心 .....         | 110        |
|            | 思考与练习题 .....       | 111        |
| <b>第3章</b> | <b>机床夹具</b> .....  | <b>113</b> |
| 3.1        | 机床夹具概论 .....       | 113        |
| 3.1.1      | 工件的装夹 .....        | 113        |
| 3.1.2      | 夹具的作用 .....        | 114        |
| 3.1.3      | 机床夹具的分类与组成 .....   | 114        |
| 3.2        | 工件在夹具中的定位 .....    | 117        |
| 3.2.1      | 工件定位的基本原理与应用 ..... | 117        |
| 3.2.2      | 常见的定位方式与定位元件 ..... | 122        |
| 3.2.3      | 定位误差分析与计算 .....    | 127        |
| 3.3        | 工件的夹紧 .....        | 130        |
| 3.3.1      | 夹紧装置的组成及基本要求 ..... | 131        |

|            |                            |            |
|------------|----------------------------|------------|
| 3.3.2      | 夹紧力的确定 .....               | 131        |
| 3.3.3      | 基本夹紧机构 .....               | 135        |
| 3.4        | 机床夹具 .....                 | 138        |
| 3.4.1      | 典型的机床夹具 .....              | 138        |
| 3.4.2      | 现代机床夹具 .....               | 142        |
|            | 思考与练习题 .....               | 147        |
| <b>第4章</b> | <b>机械加工质量及其控制 .....</b>    | <b>148</b> |
| 4.1        | 机械加工精度的基本概念 .....          | 148        |
| 4.1.1      | 机械加工精度 .....               | 148        |
| 4.1.2      | 机械加工精度获得方法 .....           | 149        |
| 4.2        | 影响机械加工精度的因素 .....          | 150        |
| 4.2.1      | 原始误差对加工精度的影响 .....         | 150        |
| 4.2.2      | 机床几何误差对加工精度的影响 .....       | 152        |
| 4.2.3      | 工艺系统受力变形对加工精度的影响 .....     | 156        |
| 4.2.4      | 工艺系统的热变形对加工精度的影响 .....     | 161        |
| 4.3        | 机械加工表面质量 .....             | 164        |
| 4.3.1      | 机械加工表面质量对零件使用性能的影响 .....   | 164        |
| 4.3.2      | 加工表面质量的影响因素 .....          | 165        |
|            | 思考与练习题 .....               | 171        |
| <b>第5章</b> | <b>机械加工及机械装配工艺规程 .....</b> | <b>172</b> |
| 5.1        | 机械加工工艺过程的基本概念 .....        | 172        |
| 5.1.1      | 生产过程与工艺过程 .....            | 172        |
| 5.1.2      | 机械加工工艺过程的组成 .....          | 173        |
| 5.1.3      | 生产类型及工艺特征 .....            | 174        |
| 5.2        | 工件的安装基准 .....              | 176        |
| 5.2.1      | 基准及其分类 .....               | 176        |
| 5.2.2      | 定位基准的选择 .....              | 177        |
| 5.3        | 加工余量与工艺尺寸链 .....           | 179        |
| 5.3.1      | 加工余量及其影响因素 .....           | 179        |
| 5.3.2      | 工序尺寸及其公差确定 .....           | 180        |
| 5.3.3      | 工艺尺寸链分析与计算实例 .....         | 184        |
| 5.4        | 机械加工工艺规程的制定 .....          | 186        |



|              |                       |            |
|--------------|-----------------------|------------|
| 5.4.1        | 工艺规程的作用               | 186        |
| 5.4.2        | 工艺规程设计所需原始资料          | 186        |
| 5.4.3        | 工艺规程的制定步骤与方法          | 187        |
| 5.5          | 典型零件机械加工              | 190        |
| 5.5.1        | 轴类零件的加工               | 190        |
| 5.5.2        | 套类零件的加工               | 193        |
| 5.5.3        | 箱体类零件的加工              | 196        |
| 5.6          | 机器装配工艺规程              | 199        |
| 5.6.1        | 机器装配与装配工艺系统图          | 199        |
| 5.6.2        | 装配精度与装配尺寸链            | 202        |
| 5.6.3        | 保证装配精度的方法             | 208        |
| 5.6.4        | 装配工艺规程                | 213        |
| 5.7          | 机械加工工艺的技术经济性与产品的工艺性分析 | 215        |
| 5.7.1        | 时间定额                  | 215        |
| 5.7.2        | 工艺成本                  | 219        |
| 5.7.3        | 机械产品的机械加工工艺性评价        | 222        |
| 5.7.4        | 机械产品设计的装配工艺性评价        | 228        |
|              | 思考与练习题                | 231        |
| <b>第 6 章</b> | <b>机械制造技术的发展</b>      | <b>233</b> |
| 6.1          | 特种加工                  | 233        |
| 6.1.1        | 电火花加工                 | 233        |
| 6.1.2        | 电解加工                  | 235        |
| 6.1.3        | 高能束加工                 | 236        |
| 6.1.4        | 超声波加工                 | 239        |
| 6.2          | 精密加工与超精密加工            | 240        |
| 6.2.1        | 概述                    | 240        |
| 6.2.2        | 精密磨料加工                | 241        |
| 6.2.3        | 微细加工技术                | 243        |
| 6.3          | 先进制造技术                | 244        |
| 6.3.1        | 计算机集成制造               | 244        |
| 6.3.2        | 并行工程                  | 246        |
| 6.3.3        | 敏捷制造                  | 248        |
|              | 思考与练习题                | 250        |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第 7 章 机械再制造技术基础</b> ..... | 251 |
| 7.1 概论 .....                 | 251 |
| 7.1.1 机械再制造技术的内涵及地位 .....    | 251 |
| 7.1.2 机械再制造技术国内外发展状况 .....   | 253 |
| 7.2 机械再制造技术设计与生产 .....       | 256 |
| 7.2.1 机械产品再制造技术设计 .....      | 256 |
| 7.2.2 再制造产品的工艺 .....         | 258 |
| 7.3 机械产品再制造技术的应用 .....       | 259 |
| 7.3.1 发动机再制造 .....           | 259 |
| 7.3.2 机床再制造 .....            | 262 |
| 思考与练习题 .....                 | 263 |
| <b>第 8 章 再制造加工技术</b> .....   | 264 |
| 8.1 涂覆层机械加工的特点 .....         | 264 |
| 8.2 涂覆层的车削加工 .....           | 265 |
| 8.3 涂覆层的磨削加工 .....           | 270 |
| 8.3.1 影响砂轮切削性能的因素及其选用 .....  | 270 |
| 8.3.2 磨削用量的选择 .....          | 272 |
| 8.4 涂覆层的特种加工 .....           | 274 |
| 8.4.1 电解磨削 .....             | 274 |
| 8.4.2 超声振动车削 .....           | 276 |
| 思考与练习题 .....                 | 279 |
| <b>参考文献</b> .....            | 280 |

# 绪 论

## 一、机械制造业在国民经济中的地位及其发展

### 1. 机械制造业在国民经济中的地位

制造业是工业的主体,是提供生产工具、生活资料、科技手段、国防装备等的手段以及它们进步的依托,是现代化的动力源,是现代文明的支柱。人类从原始社会使用石器到现在应用现代化的机器装备和先进的工艺技术,逐步加强了开发和利用自然的能力。制造业为人类创造着辉煌的物质文明。制造技术支持着制造业的健康发展,先进的制造技术可使一个国家的制造业乃至国民经济处于有竞争力的地位。忽视制造技术的发展,就会导致经济发展走入歧途。制造业在国民经济中的地位可以用以下几个简单的数字来进行说明:美国68%的财富来源于制造业;日本国民经济总产值的约49%由制造业提供。在先进的工业化国家中,约有1/4的人口从业于制造业,在非制造业部门中,又有约半数人员的工作性质与制造业密切相关。

在整个制造业中,机械制造业占有特别重要的地位。因为机械制造业是国民经济的装备部,它以各种机器设备供应和装备国民经济的各个部门,并使其不断发展。国民经济各部门的生产水平和经济效益在很大程度上取决于机械制造业所提供的装备的技术性能、质量和可靠性。国民经济的发展速度,在很大程度上取决于机械制造工业的技术水平和发展速度。从总体上来讲,机械制造业是国民经济中的一个重要组成部分。因而,各发达国家都把发展机械制造业放在突出的位置。

纵观世界各国,任何一个经济强大的国家,无不具有强大的机械制造业,许多国家的经济腾飞,机械制造业功不可没。其中,日本最具有代表性。第二次世界大战后,日本先后提出“技术立国”和“新技术立国”的口号,对机械制造业的发展给予全面的支持,并抓住机械制造的关键技术——精密工程、特种加工和制造系统自动化,使日本在战后短短30年里,一跃成为世界经济大国。与此相反,美国自20世纪50年代后,在相当一段时间内忽视了制造技术的发展。美国政府历来认为生产制造是企业界的事,政府不必介入。而美国学术界则只重视理论成果,忽视实际应用,一部分学者还错误地主张应将经济重心由制造业转向高科

技产业和第三产业。结果导致美国经济严重衰退,竞争力明显下降,在汽车、家电等行业被日本赶超。直到 20 世纪 80 年代初,美国开始认识到问题的严重性。美国政府在进行深刻反省之后,重新树立制造业的地位,并对制造业给予实质性和强有力的支持,制定并实施了一系列振兴美国制造业的计划。效果十分明显,至 1994 年,美国汽车产量重新超过日本,并重新占领了欧美市场。

## 2. 机械制造业的发展

人类文明的发展与制造业的进步密切相关。早在石器时代,人类就开始利用天然石料制作工具,用其猎取自然资源为生。到了青铜器和铁器时代,人们开始采矿、冶金、铸锻工具,并开始制作纺织机械、水利机械、运输车辆等,以满足以农业为主的自然经济的需要。那时,采用的是作坊式的以手工劳动为主的生产方式。

直至 18 世纪 70 年代,以瓦特改进蒸汽机为代表引发了第一次工业革命,产生了近代工业化的生产方式,机器生产方式逐步取代手工劳动方式,机械制造业逐渐形成规模。19 世纪中期,电磁场理论的建立为发电机和电动机的产生奠定了基础,从而迎来了电气化时代。以电力作为动力源,使机械结构发生了重大变化。与此同时,互换性原理和公差制度应运而生。所有这些使机械制造业发生了重大变革,机械制造业进入快速发展时期。

20 世纪初,内燃机的发明,使汽车开始进入欧美家庭,引发了机械制造业的又一次革命。流水生产线的出现和泰勒科学管理理论的产生,标志机械制造业进入“大批量生产”(Mass Production)的时代。以汽车工业为代表的大批量自动化生产方式使得生产率获得极大提高,机械制造业有了更迅速的发展,并开始成为国民经济的支柱产业。

第二次世界大战后,电子计算机和集成电路的出现,以及运筹学、现代控制论、系统工程等软科学的产生和发展,使机械制造业产生了新的飞跃。传统的大批量生产方式难以满足市场多变的需要,多品种、中小批量生产日渐成为制造业的主流生产方式。传统的自动化生产方式只有在大批量生产的条件下才能实现,而数控机床的出现使中、小批量生产自动化成为可能,科学技术的高速发展,促进了生产力的进一步提高。

伴随着计算机的出现,机械制造自动化从刚性自动化向柔性自动化方向发展:从自动化专机→自动化生产线(Production Line)→数控机床(CNC)→加工中心(MC)→柔性加工单元(FMC)→柔性制造系统(FMS)。同时机械设计、工艺规程编制、计算机辅助数控加工编程、车间调度、车间和工厂管理、成本核算等都采用了计算机管理,这样就出现了 CAD/CAM 一体化。

20 世纪 80 年代以来,信息产业的崛起和通信技术的发展加速了市场的全

球化进程,市场竞争呈现新的方式。为了适应新的形势,在机械制造领域提出了许多新的制造理念和生产模式,如计算机集成制造(CIM)、精益生产(LP)、快速原型制造(RPM)、并行工程(CE)、敏捷制造(AM)等。

进入 21 世纪,机械制造业正向自动化、柔性化、集成化、智能化和清洁化的方向发展。现代机械制造技术发展的总趋势是机械制造技术与材料科学、电子科学、信息科学、生命科学、环保科学、管理科学等交叉、融合。在机械制造业,综合考虑社会、环境、资源等可持续发展因素的绿色制造技术以及再制造技术,将朝着能源与原材料消耗最小,所产生的废弃物最少并尽可能回收利用,在产品的整个生命周期中对环境无害等方面发展。

## 二、制造与制造技术

### 1. 产品制造的含义

产品制造是把原材料通过加工变为产品的过程。制造系统可看作一个输入输出系统,其输入的是生产要素,如厂房、机床、刀具、能源、工人等,输出的是生产财富,包括有形的财富(产品)和无形的财富(服务)。这是广义“制造”的概念。按照这样的理解,制造应包括从市场分析、经营决策、工程设计、加工装配、质量控制、销售运输直至售后服务以及再制造的全过程。在当今的信息时代,广义制造的概念已为越来越多的人所接受。

但在某些情况下,制造及制造过程被理解为从原材料或半成品经加工或装配后形成最终产品的具体操作过程,包括毛坯制作、零件加工、检验、装配、包装、运输等。这是狭义“制造”的概念。按照这种理解方式,制造过程主要考虑企业内部生产过程中物料形态的转变过程,即物质流,而较少涉及生产过程中的信息流。

### 2. 制造技术

制造技术是完成制造活动所需的一切手段的总和。这些手段包括运用一定的知识和技能,操纵可以利用的物质和工具,采取各种有效的方法等。制造技术是制造企业的技术支柱,是制造企业持续发展的根本动力。

对制造技术的理解也有广义和狭义之分。广义理解制造技术涉及生产活动的各个方面和全过程,被认为是一个从产品概念到最终产品的集成活动和系统,是一个功能体系和信息处理系统。狭义理解制造技术则重点放在机械加工和装配工艺上,即从原材料或半成品经加工或装配后形成最终产品的过程以及在此过程中所用的一切手段的总和。

### 三、再制造的基本概念

再制造工程是以机电产品全生命周期设计和管理为指导,以废旧机电产品实现性能跨越式提升为目标,以优质、高效、节能、节材、环保为准则,以先进技术和产业化生产为手段,对废旧机电产品进行修复和改造的一系列技术措施或工程活动的总称。简单概括,再制造是废旧机电产品高科技维修的产业化。再制造的重要特征是再制造产品的质量和性能要达到或超过新品,成本仅是新品的50%左右,节能60%、节材70%以上,对保护环境贡献显著。在国家可持续发展战略和“以人为本,全面、协调、可持续的人口、资源、环境协调发展”的科学发展观指导下,再制造工程已成为发展循环经济、构建节约型社会的重要组成部分。

再制造的对象是广义的。它既可以是设备、系统、设施,也可以是其零部件;既包括硬件,又包括软件。

传统的产品生命周期是“研制→使用→报废”,其物流是一个开环系统;而理想的绿色产品生命周期是“研制→使用→再生”,其物流是一个闭环系统,如图0-1所示。

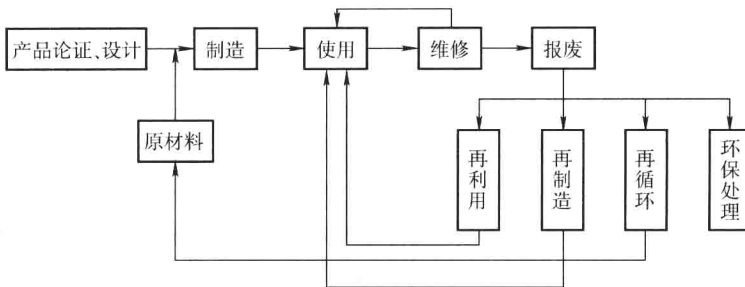


图0-1 再制造在产品全生命周期中的位置

在产品到达寿命后,有的零件可以直接再利用;有的零件通过再制造加工或技术改造可以继续使用;有的零件是受当前技术条件的限制无法再制造,或者进行再制造的经济性很差,则通过熔炼等办法变成原材料重新使用;还有的零件是既不能再利用、再制造,也不能进行再循环的零件,只能进行环保处理。对废旧机电产品的再利用、再制造和再循环统称为废旧机电产品资源化。废旧机电产品资源化的目标是使再利用、再制造的部分尽量增多,使再循环的部分尽量减少,使需要环保处理的部分尽可能没有。

### 四、制造与再制造的关系

#### 1. 制造与再制造的主要区别

两者除在研究内容、研究对象、关键技术等方面有明显不同外,还有以下几

个方面的区别。

#### 1) 供应源

新品制造是以新的原材料作为输入,经过加工成为产品,供应是典型的内部变量,其时间、数量、质量是由内部决定的。而再制造是以废弃产品中那些可以继续使用或通过再制造加工可以再使用的零部件作为毛坯输入,供应基本上是一个外部变量,很难预测。因为供应源是从消费者流向再制造商,所以相对于新品的制造活动,具有逆向、流量小、分支多、品种杂、品质参差不齐等特点。

#### 2) 毛坯

制造的毛坯是经铸、锻、冲压、轧制及其他加工方法得到的质地较为均匀、品质一致性较好的新材料,而再制造毛坯是已经加工成形并经过服役的零部件,要恢复甚至提高其使用性能,有较大的难度和特殊的约束条件。

#### 3) 产品性能

再制造产品的性能可以达到甚至超过新品。再制造的特性决定了再制造生产中能敏锐地不断吸纳最先进的表面工程技术,使得再制造产品的性能不断提升以赢得用户的信赖,其成本不断下降以增强市场竞争力,其制造过程中节约能源、节约材料、保护环境的作用更加突出。而对于机电产品的原始制造而言,即使仍然在进行生产,也很少吸纳新材料、新技术、新工艺等方面的成果,因为调整工艺流程,更换工装设备将引发“牵一发动全身”的效应。制造商只好把新的科技成果引入到下一代的产品中,而不轻易改动老产品的制造技术和工艺。

#### 4) 生产

再制造生产区别于制造生产的最大特点之一是:要充分地协调两个零件供应系统,即新零件供应系统和再制件供应系统。在典型的再制造系统中,拆卸车间负责废旧品拆卸,获得可恢复的零件;维修恢复车间负责对可恢复零件进行修复;购买无法恢复的零部件;在装配车间进行产品的组装生产。协调工作的最大挑战来自再制造企业所回收的废旧品质量状态差异较大,到来时间具有较大的不确定性,获得合格零件的产量具有很大的随机性。

#### 5) 物流

制造系统的物流是正向物流,而再制造系统的物流属于逆向物流。再制造过程中产品从消费者到再制造商,经再制造后又回到销售市场的流动过程称为再制造产品的物流。相对于制造系统的正向物流,再制造产品的逆向物流有六个特点:回收产品到达的时间和数量不确定;回收与需求间的平衡不确定;产品的可拆卸性及拆解时间不确定;产品的可再制造率不确定;再制造加工路线和加工时间不确定;对再制造产品的销售需求不确定。

## 6) 制造加工与再制造加工的区别

一般情况下,制造的毛坯是经铸、锻、冲压、轧制及其他加工方法得到的质地较为均匀、品质一致性较好的新材料,所以加工过程相对比较平稳。而再制造毛坯由于其表面的堆焊层、热喷涂层、熔覆层等往往高低不平,以及该表面层内部遍布硬质点及孔隙等,都会使加工时的切削力呈波动状态,致使加工过程产生较大的冲击与振动,刀具容易崩刃和产生非正常磨损,从而使得刀具耐用度很低。且加工过程中由于切削力和切削热的原因涂覆层易剥落,需采取专门的方法进行加工。

### 2. 制造与再制造关系的发展前景

#### 1) 制造技术和再制造技术之间的关系越来越紧密

先进制造和再制造两者之间存在共性技术、兼容性技术和互补性技术:

(1) 共性技术:如激光技术、虚拟现实技术、柔性生产技术等;

(2) 互补性技术:如切削刀具的表面强化与再制造技术、机床再制造技术、面向再制造的机械加工技术、面向再制造的特种加工技术等;

(3) 兼容性技术:可以预言,在不久的将来,某些先进制造技术和理念应用于再制造技术必将具有广阔的发展空间,如精益生产的理念、制造资源计划的思想、成组技术的方法应用于再制造的物流和生产管理等。

#### 2) 产品设计将从完全面向制造的设计转向注重再制造的设计

环境和资源的压力将迫使政府和制造商制订措施,从产品生产源头考虑末端产品的再制造。末端产品的可再制造能力——再制造性是影响产品再制造的主要因素。产品设计阶段可以决定产品 2/3 的再制造性,因此产品设计阶段的再制造性设计也必然会成为制造领域的重要研究内容。再制造性设计包括设计产品易拆解、易清洗、易检测、易维修、易装配、标准化、模块化等内容。在产品设计阶段提出再制造性的指标并进行量化的评价,以指导产品末端时最优化的再制造保障。随着原设备制造商逐渐地参与自己产品的再制造,他们在设计过程中考虑再制造性的积极性会得到很大的调动。



# 第 1 章 金属切削原理

## 1.1 金属切削的基本概念

金属切削过程是刀具与工件相对作用的过程。在此过程中,为了能将工件上多余的金属材料切除掉,对刀具的几何参数及其材料需提出相应的要求。本章主要介绍刀具的几何参数、材料,金属切削过程的基本规律,以及提高表面加工质量与切削效率的途径。

### 1.1.1 切削运动与切削用量

#### 1. 切削运动及其构成

金属切削机床的基本运动有直线运动和回转运动。按切削时工件与刀具相对运动所起的作用来分,切削运动可分为主运动和进给运动两种类型。

(1) 主运动。它是进行切削的最基本运动。通常主运动的速度最高,所消耗的功率最大。在切削运动中,主运动只有一个,它可由零件完成,也可以由刀具完成;可以是旋转运动,也可以是直线运动。

例如,车床上工件的旋转运动,龙门刨床刨削时工件的直线往复运动,牛头刨床刨刀的直线往复运动,铣床上的铣刀、钻床上的钻头 and 磨床上砂轮的旋转等运动都是切削加工时的主运动,如图 1-1 中的  $v$ 。

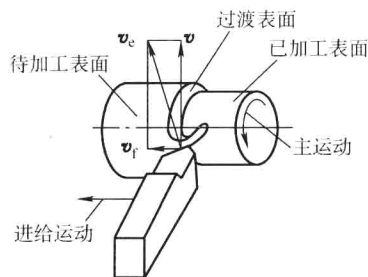


图 1-1 外圆车削

(2) 进给运动。它与主运动配合,保持切削工作连续或反复进行,从而切除切削层形成已加工表面。进给运动一般速度较低,消耗的功率较少,可由一个或多个运动组成。它可以是连续的,也可以是间断的。

在主运动和进给运动同时进行的切削加工中,常在选定点将两者按矢量加法合成,称为合成切削运动。合成运动的速度向量  $v_c$  等于主运动速度向量  $v$  与进给运动的速度向量  $v_f$  之和,如图 1-1 所示,即

$$v_c = v + v_f \quad (1-1)$$