

模具

表面处理与表面加工

熊惟皓 主编 郑立允 杨青青 编写



 化学工业出版社

模具

表面处理与表面加工

熊惟皓 主编 郑立允 杨青青 编写



化学工业出版社

· 北京 ·

模具是工业生产的基础工艺装备,随着科学技术的进步和市场竞争的需要,工业生产对模具提出了高质量、高效率、高寿命和低成本的要求。精密高效的模具依赖于先进的模具制造技术,而模具表面处理与表面加工是其中的重要环节。

本书分为上、下两篇。上篇模具表面处理分析了模具的服役条件和失效形式,提出并详细介绍了表面化学热处理、气相沉积、电镀与化学镀、热喷涂、激光表面处理、离子注入、电子束强化等先进技术;下篇模具表面加工依次对电火花加工、电化学加工、快速成形与快速模具制造、图形刻蚀与光整加工的相关内容作了详细阐述。本书内容丰富,知识点之间不仅有纵向联系,还有横向对比,对每一工艺技术还给出了相关实例介绍。

本书可供从事模具表面处理与表面加工工作的工程技术人员以及大、专院校模具相关专业的师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

模具表面处理与表面加工/熊惟皓主编. —北京:化学工业出版社, 2006. 6
ISBN 978-7-5025-9014-7

I. 模… II. 熊… III. 模具-金属表面处理 IV. TG76

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第071120号

责任编辑:王苏平

文字编辑:余德华

责任校对:陶燕华

装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:化学工业出版社印刷厂

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张33¼ 字数840千字 2007年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着现代工业技术的发展，材料表面技术在满足机械零件对材料使用性能要求、节省材料和能源、保证机械产品质量和可靠性等方面，日益显示出其重要地位和作用。近 20 余年来，材料表面技术发展迅速，新技术、新工艺不断涌现，是新材料、光电子、微电子等先进产业的基础技术之一，用于模具材料表面处理及表面加工的前景极为广阔，其中某些前沿技术也已陆续进入工业生产领域。

编者浓缩了近二三十年国内外研究开发的有关成果和技术资料，并结合编者在本领域从业 30 余年的实践体会，向广大读者介绍一些正在发展中的模具表面处理及表面加工的新型工艺技术，结合实例阐述其技术内涵、工业应用及发展前景。

全书共分两篇。上篇模具表面处理共分 10 章，第 1 章简要介绍模具的服役条件、失效形式及失效分析；第 2 章介绍模具的表面处理方法；第 3~10 章分别介绍表面化学热处理、气相沉积技术、电镀与化学镀、热喷涂、激光束、电子束及离子束表面处理和新近发展起来的一些表面处理新技术，着重阐述各自的材料表面改性原理、基本工艺方法、应用选择及研究开发动向。下篇模具表面加工共分 5 章，分别介绍电火花加工、电化学加工、快速成形与快速模具制造、图形刻蚀加工、光整加工等模具表面加工技术。

本书由华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室熊惟皓主编，郑立允参编上篇，杨青青参编下篇。熊惟皓教授对全书进行最终定稿。本书编写过程中引用了国内外同行大量资料，并得到了许多单位和同志的支持和帮助，在此一并表示感谢！

由于编者学识水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬祈广大读者不吝赐教。

编者
2006 年 12 月

目 录

上篇 模具表面处理

| | |
|--------------------------------------|----|
| 第 1 章 模具的服役条件、失效形式及失效分析 | 3 |
| 1.1 模具的服役条件及失效形式 | 3 |
| 1.1.1 冷作模具的服役条件及失效形式 | 3 |
| 1.1.2 热作模具的服役条件及失效形式 | 6 |
| 1.1.3 塑料模具的服役条件及失效形式 | 9 |
| 1.2 模具失效分析 | 9 |
| 1.2.1 模具失效 | 9 |
| 1.2.2 影响模具失效的主要因素 | 10 |
| 1.2.3 模具失效分析方法 | 14 |
| 1.2.4 模具失效分析实例 | 15 |
| 参考文献 | 21 |
| 第 2 章 模具的表面处理方法 | 22 |
| 2.1 模具的服役条件对表面处理的要求 | 22 |
| 2.1.1 冷作模具的服役条件对表面处理的要求 | 22 |
| 2.1.2 热作模具的服役条件对表面处理的要求 | 23 |
| 2.1.3 塑料模具的服役条件对表面处理的要求 | 24 |
| 2.2 模具表面处理方式概述 | 25 |
| 2.2.1 模具表面处理的分类与特点 | 25 |
| 2.2.2 表面强化处理在模具中的应用 | 27 |
| 2.2.3 模具表面强化处理时应注意的问题 | 29 |
| 2.2.4 模具常用表面处理方法简介 | 31 |
| 参考文献 | 33 |
| 第 3 章 表面化学热处理 | 34 |
| 3.1 概述 | 34 |
| 3.2 渗碳 | 35 |
| 3.2.1 渗碳的基本原理 | 35 |
| 3.2.2 影响渗碳质量的主要因素 | 36 |
| 3.2.3 渗碳工艺 | 37 |
| 3.2.4 渗碳层的检验及组织缺陷分析 | 45 |
| 3.2.5 渗碳实例 | 46 |
| 3.3 渗氮 | 47 |
| 3.3.1 渗氮的基本原理 | 48 |

| | | |
|------------|------------------------|-----------|
| 3.3.2 | 渗氮工艺 | 50 |
| 3.3.3 | 渗氮层的检验及组织缺陷分析 | 55 |
| 3.3.4 | 渗氮实例 | 57 |
| 3.4 | 渗硼 | 59 |
| 3.4.1 | 渗硼层组织与性能 | 59 |
| 3.4.2 | 影响渗硼层质量的主要因素 | 61 |
| 3.4.3 | 渗硼工艺 | 62 |
| 3.4.4 | 渗硼层的检验及组织缺陷 | 66 |
| 3.4.5 | 渗硼实例 | 67 |
| 3.5 | 渗金属 | 68 |
| 3.5.1 | 渗金属的基本原理 | 69 |
| 3.5.2 | 固体粉末渗铬 | 72 |
| 3.5.3 | 硼砂盐浴渗钛 | 75 |
| 3.5.4 | 硼砂盐浴渗铌 | 76 |
| 3.5.5 | 渗钒 | 77 |
| 3.5.6 | 真空渗金属 | 79 |
| 3.5.7 | 离子渗金属 | 79 |
| 3.5.8 | 渗金属实例 | 81 |
| 3.6 | 多元共渗 | 82 |
| 3.6.1 | 硼砂盐浴铬钒共渗工艺 | 82 |
| 3.6.2 | 铬铝共渗工艺 | 83 |
| 3.6.3 | 硼钒共渗工艺 | 84 |
| 3.6.4 | 多元共渗应用实例 | 86 |
| | 参考文献 | 88 |
| 第4章 | 气相沉积技术 | 89 |
| 4.1 | 概述 | 89 |
| 4.1.1 | 气相沉积技术及其分类 | 89 |
| 4.1.2 | 气相沉积技术的应用 | 89 |
| 4.2 | 物理气相沉积 | 90 |
| 4.2.1 | 物理气相沉积概述 | 90 |
| 4.2.2 | 真空蒸镀 | 92 |
| 4.2.3 | 溅射镀膜 | 97 |
| 4.2.4 | 离子镀膜 | 102 |
| 4.2.5 | 物理气相沉积实例 | 110 |
| 4.3 | 化学气相沉积 | 111 |
| 4.3.1 | 化学气相沉积的原理 | 111 |
| 4.3.2 | 化学气相沉积的设备及工艺过程 | 113 |
| 4.3.3 | 化学气相沉积层的组织结构及影响镀层质量的因素 | 114 |
| 4.3.4 | 化学气相沉积的特点及分类 | 116 |
| 4.3.5 | 等离子体化学气相沉积 | 117 |

| | | |
|------------|------------------------------|------------|
| 4.3.6 | 激光化学气相沉积 | 119 |
| 4.3.7 | 金属有机化合物化学气相沉积和低压化学气相沉积 | 121 |
| 4.3.8 | 化学气相沉积实例 | 121 |
| | 参考文献 | 124 |
| 第5章 | 电镀与化学镀 | 126 |
| 5.1 | 电镀 | 126 |
| 5.1.1 | 概述 | 126 |
| 5.1.2 | 电镀的基本原理 | 126 |
| 5.1.3 | 电镀铬 | 127 |
| 5.1.4 | 电镀镍 | 135 |
| 5.1.5 | 模具表面电镀实例 | 138 |
| 5.2 | 电刷镀 | 140 |
| 5.2.1 | 电刷镀的基本原理 | 140 |
| 5.2.2 | 电刷镀的设备 | 141 |
| 5.2.3 | 镀液的配制 | 143 |
| 5.2.4 | 电刷镀的表面准备及温度控制 | 147 |
| 5.2.5 | 电刷镀工艺及特点 | 148 |
| 5.2.6 | 镀镍层缺陷的形成原因及预防 | 151 |
| 5.2.7 | 电刷镀应用实例 | 152 |
| 5.3 | 复合电刷镀 | 153 |
| 5.3.1 | 复合电刷镀的基本原理 | 154 |
| 5.3.2 | 复合镀液的制备 | 155 |
| 5.3.3 | 复合电刷镀的工艺特点 | 159 |
| 5.3.4 | 复合镀层的性能 | 160 |
| 5.3.5 | 复合电刷镀的应用 | 163 |
| 5.4 | 化学镀镍磷合金 | 164 |
| 5.4.1 | 化学镀的基本原理 | 164 |
| 5.4.2 | 化学镀镍磷溶液的配制及影响因素 | 165 |
| 5.4.3 | 化学镀镍磷的组织结构 | 167 |
| 5.4.4 | 化学镀应用实例 | 168 |
| | 参考文献 | 171 |
| 第6章 | 热喷涂技术 | 172 |
| 6.1 | 概述 | 172 |
| 6.1.1 | 热喷涂的一般原理 | 172 |
| 6.1.2 | 热喷涂发展历史概况 | 173 |
| 6.1.3 | 热喷涂方法分类与技术特点 | 174 |
| 6.1.4 | 热喷涂材料分类及生产方法 | 174 |
| 6.1.5 | 热喷涂材料的选择 | 176 |
| 6.2 | 火焰喷涂 | 179 |
| 6.2.1 | 线材火焰喷涂 | 179 |

| | | |
|------------|-------------------------|------------|
| 6.2.2 | 火焰粉末喷涂 | 181 |
| 6.2.3 | 高速火焰粉末喷涂 | 181 |
| 6.2.4 | 火焰喷涂的应用 | 184 |
| 6.3 | 电弧喷涂 | 184 |
| 6.3.1 | 电弧喷涂的原理及特点 | 184 |
| 6.3.2 | 电弧喷涂设备 | 185 |
| 6.3.3 | 电弧喷涂材料及其选择 | 185 |
| 6.4 | 等离子喷涂 | 186 |
| 6.4.1 | 等离子喷涂的基本原理及特点 | 186 |
| 6.4.2 | 等离子喷涂工艺 | 187 |
| 6.4.3 | 低压等离子喷涂 | 187 |
| 6.4.4 | 超音速等离子喷涂 | 189 |
| 6.4.5 | 粉末等离子喷焊(堆焊) | 191 |
| 6.4.6 | 等离子喷涂应用实例 | 192 |
| 6.5 | 火焰粉末喷熔及重熔 | 193 |
| 6.5.1 | 火焰粉末喷熔及重熔的基本原理与特点 | 193 |
| 6.5.2 | 火焰粉末喷熔及重熔工艺 | 195 |
| 6.5.3 | 火焰粉末喷熔及重熔技术的应用 | 197 |
| | 参考文献 | 197 |
| 第7章 | 激光表面处理 | 198 |
| 7.1 | 概述 | 198 |
| 7.1.1 | 激光和激光器 | 198 |
| 7.1.2 | 激光加热的特点及用途 | 201 |
| 7.2 | 激光表面相变硬化 | 204 |
| 7.2.1 | 激光相变硬化的原理 | 204 |
| 7.2.2 | 激光相变硬化工艺及特点 | 205 |
| 7.2.3 | 激光相变硬化对模具表面特性的影响 | 207 |
| 7.2.4 | 激光相变硬化应用实例 | 208 |
| 7.3 | 激光熔凝、激光非晶化及激光冲击硬化 | 209 |
| 7.3.1 | 激光熔凝 | 209 |
| 7.3.2 | 激光非晶化 | 210 |
| 7.3.3 | 激光冲击硬化 | 212 |
| 7.4 | 激光表面熔覆 | 212 |
| 7.4.1 | 激光表面熔覆的原理及特点 | 212 |
| 7.4.2 | 激光表面熔覆工艺及特点 | 213 |
| 7.4.3 | 激光表面熔覆材料 | 214 |
| 7.4.4 | 激光表面熔覆应用实例 | 215 |
| 7.5 | 激光表面合金化 | 216 |
| 7.5.1 | 激光表面合金化的原理与特性 | 216 |
| 7.5.2 | 激光表面合金化工艺与设备 | 217 |

| | |
|----------------------------|------------|
| 7.5.3 激光表面合金化的工业应用前景 | 221 |
| 7.6 其他激光表面处理技术 | 221 |
| 参考文献 | 222 |
| 第8章 离子注入技术 | 224 |
| 8.1 概述 | 224 |
| 8.1.1 离子注入的发展过程 | 224 |
| 8.1.2 离子注入表面改性的特点 | 224 |
| 8.1.3 离子注入原理及方式 | 225 |
| 8.1.4 离子注入对金属材料的改性作用 | 226 |
| 8.2 离子注入设备 | 228 |
| 8.2.1 离子注入设备的组成 | 228 |
| 8.2.2 离子注入机的分类 | 228 |
| 8.2.3 离子注入机各组成部分简介 | 230 |
| 8.3 离子注入的表面强化机制 | 238 |
| 8.3.1 离子注入物理过程 | 238 |
| 8.3.2 强化作用机制及影响因素 | 239 |
| 8.4 离子注入工艺及注入层的特性 | 241 |
| 8.4.1 离子注入工艺 | 241 |
| 8.4.2 注入层的成分、相结构和性能 | 242 |
| 8.4.3 离子注入技术的发展 | 244 |
| 8.5 离子注入应用实例 | 245 |
| 参考文献 | 247 |
| 第9章 电子束强化技术 | 248 |
| 9.1 概述 | 248 |
| 9.1.1 电子束强化技术 | 248 |
| 9.1.2 电子束的性质 | 248 |
| 9.1.3 电子束与固体的作用 | 249 |
| 9.2 电子束表面相变硬化 | 251 |
| 9.2.1 电子束加热相变原理及其工艺 | 251 |
| 9.2.2 金属材料的电子束相变硬化 | 256 |
| 9.2.3 电子束加热与激光束加热的比较 | 259 |
| 9.3 电子束表面合金化 | 261 |
| 9.3.1 电子束表面合金化原理及其工艺 | 261 |
| 9.3.2 金属材料的电子束合金化处理 | 263 |
| 9.4 电子束熔凝处理 | 265 |
| 9.4.1 电子束熔凝处理原理及其工艺 | 265 |
| 9.4.2 金属材料的电子束熔凝处理 | 268 |
| 9.5 电子束强化应用实例 | 270 |
| 参考文献 | 271 |
| 第10章 其他表面处理技术 | 272 |

| | | |
|--------|---------------------------|-----|
| 10.1 | 镀渗工艺 | 272 |
| 10.1.1 | 概述 | 272 |
| 10.1.2 | 高速钢冷作模具镀渗 Co-W-Ti 三元合金镀渗层 | 273 |
| 10.1.3 | 模具化学镀 Ni-P 合金和渗硼的镀渗处理 | 274 |
| 10.2 | TD 处理工艺 | 276 |
| 10.2.1 | TD 处理的工艺及特点 | 276 |
| 10.2.2 | 涂层的质量控制 | 278 |
| 10.2.3 | 涂层的各项性能 | 279 |
| 10.2.4 | TD 处理应用实例 | 280 |
| 10.3 | 电火花表面处理 | 281 |
| 10.3.1 | 电火花表面处理的基本原理和特点 | 281 |
| 10.3.2 | 强化层的特性 | 284 |
| 10.3.3 | 模具电火花强化工艺 | 286 |
| 10.3.4 | 电火花表面处理应用实例 | 290 |
| 10.4 | 火焰表面淬火 | 292 |
| 10.4.1 | 火焰表面淬火的特点 | 292 |
| 10.4.2 | 火焰表面淬火的工艺及方法 | 293 |
| 10.4.3 | 火焰表面淬火用模具材料 | 294 |
| 10.4.4 | 火焰表面淬火应用实例 | 294 |
| | 参考文献 | 296 |

下篇 模具表面加工

| | | |
|---------------|----------------------|-----|
| 第 11 章 | 电火花加工 | 299 |
| 11.1 | 电火花加工的基本原理、特点与分类 | 299 |
| 11.1.1 | 电火花加工的基本原理 | 299 |
| 11.1.2 | 电火花加工的特点 | 303 |
| 11.1.3 | 电火花加工的分类 | 304 |
| 11.2 | 电火花穿孔成形加工 | 305 |
| 11.2.1 | 电火花穿孔成形加工机床的结构与分类 | 305 |
| 11.2.2 | 电火花穿孔成形加工中的基本规律 | 317 |
| 11.2.3 | 电火花穿孔成形加工方法 | 325 |
| 11.2.4 | 工具电极 | 329 |
| 11.2.5 | 工件的准备 | 336 |
| 11.2.6 | 工具电极和工件的装夹与校正定位 | 336 |
| 11.2.7 | 电规准的选择和转换 | 339 |
| 11.2.8 | 数控电火花穿孔成形加工的手工编程 | 340 |
| 11.2.9 | 电火花穿孔成形加工在模具加工中的应用实例 | 342 |
| 11.3 | 数控电火花线切割加工 | 345 |
| 11.3.1 | 电火花线切割加工的原理 | 345 |

| | | |
|---------------|--------------------|------------|
| 11.3.2 | 电火花线切割加工的特点 | 346 |
| 11.3.3 | 数控电火花线切割加工机床 | 347 |
| 11.3.4 | 电火花线切割加工中的基本规律 | 353 |
| 11.3.5 | 工件的装夹和找正 | 358 |
| 11.3.6 | 电极丝位置的调整和垂直度的校正 | 360 |
| 11.3.7 | 电规准的选择 | 361 |
| 11.3.8 | 变频进给速度的调整 | 362 |
| 11.3.9 | 数控电火花线切割加工编程 | 363 |
| | 参考文献 | 370 |
| 第 12 章 | 电化学加工 | 372 |
| 12.1 | 电解加工 | 372 |
| 12.1.1 | 电解加工的原理 | 373 |
| 12.1.2 | 电解加工的特点 | 374 |
| 12.1.3 | 电解加工的设备 | 375 |
| 12.1.4 | 电解液 | 379 |
| 12.1.5 | 电解加工中的基本规律 | 384 |
| 12.1.6 | 电解加工在模具加工中的应用实例 | 395 |
| 12.2 | 电解磨削 | 396 |
| 12.2.1 | 电解磨削的原理 | 396 |
| 12.2.2 | 电解磨削的特点 | 398 |
| 12.2.3 | 电解磨削设备 | 398 |
| 12.2.4 | 电解液 | 399 |
| 12.2.5 | 电解磨轮 | 400 |
| 12.2.6 | 电解磨削中的基本规律 | 402 |
| 12.2.7 | 电解磨削方式 | 404 |
| 12.2.8 | 电解磨削工艺 | 404 |
| 12.3 | 电铸 | 408 |
| 12.3.1 | 电铸的原理 | 409 |
| 12.3.2 | 电铸的特点 | 409 |
| 12.3.3 | 电铸设备 | 410 |
| 12.3.4 | 电铸的工艺流程 | 410 |
| 12.3.5 | 电铸工艺在模具加工中的应用实例 | 413 |
| | 参考文献 | 414 |
| 第 13 章 | 快速成形与快速模具制造 | 415 |
| 13.1 | 快速成形 | 415 |
| 13.1.1 | 快速成形的原理 | 415 |
| 13.1.2 | 快速成形的特点 | 416 |
| 13.1.3 | 快速成形的工艺流程 | 416 |
| 13.1.4 | 快速成形的材料 | 419 |
| 13.1.5 | 典型快速成形工艺 | 419 |

| | | |
|-------------|----------------------|------------|
| 13.2 | 快速模具制造 | 432 |
| 13.2.1 | 直接快速模具制造 | 433 |
| 13.2.2 | 间接快速模具制造 | 434 |
| | 参考文献 | 442 |
| 第14章 | 图形刻蚀加工 | 443 |
| 14.1 | 机械雕刻 | 443 |
| 14.1.1 | 仿形雕刻 | 443 |
| 14.1.2 | 数控雕刻 | 445 |
| 14.2 | 化学刻蚀 | 446 |
| 14.2.1 | 化学刻蚀的原理 | 446 |
| 14.2.2 | 化学刻蚀的特点 | 447 |
| 14.2.3 | 化学刻蚀的工艺流程 | 447 |
| 14.3 | 照相腐蚀 | 449 |
| 14.3.1 | 照相腐蚀的原理 | 449 |
| 14.3.2 | 照相腐蚀的特点 | 449 |
| 14.3.3 | 照相腐蚀的工艺流程 | 449 |
| 14.4 | 电火花雕刻 | 455 |
| 14.4.1 | 电火花成形电极雕刻 | 455 |
| 14.4.2 | 计算机辅助电火花雕刻(电火花展成法雕刻) | 456 |
| 14.4.3 | 电火花刻字 | 457 |
| 14.5 | 激光雕刻 | 458 |
| 14.5.1 | 激光雕刻的原理 | 458 |
| 14.5.2 | 激光雕刻的特点 | 458 |
| 14.5.3 | 激光雕刻机 | 459 |
| | 参考文献 | 459 |
| 第15章 | 光整加工 | 460 |
| 15.1 | 研磨 | 460 |
| 15.1.1 | 研磨的原理 | 461 |
| 15.1.2 | 研磨的特点 | 461 |
| 15.1.3 | 研磨的方法 | 462 |
| 15.1.4 | 研磨剂 | 462 |
| 15.1.5 | 研具 | 465 |
| 15.1.6 | 自动研抛装置 | 468 |
| 15.1.7 | 研磨效率和研磨质量的影响因素 | 471 |
| 15.1.8 | 手工研磨工艺 | 474 |
| 15.1.9 | 超精密研磨 | 475 |
| 15.1.10 | 浮动研磨 | 475 |
| 15.1.11 | 弹性发射加工 | 476 |
| 15.2 | 抛光 | 478 |
| 15.2.1 | 抛光的原理 | 478 |

| | | |
|--------|------------------|-----|
| 15.2.2 | 抛光工具 | 478 |
| 15.2.3 | 抛光质量的影响因素 | 478 |
| 15.2.4 | 抛光工艺 | 479 |
| 15.2.5 | 弹性体蠕动抛光 | 480 |
| 15.2.6 | 可挠曲片状油石抛光 | 481 |
| 15.2.7 | 液体磨料与铁粉刷抛光 | 481 |
| 15.3 | 超精研抛 | 481 |
| 15.3.1 | 超精研抛的原理 | 481 |
| 15.3.2 | 超精研抛的特点 | 484 |
| 15.3.3 | 超精研抛具 | 484 |
| 15.3.4 | 超精研抛液 | 486 |
| 15.3.5 | 超精研抛的工艺参数 | 486 |
| 15.4 | 电解抛光 | 487 |
| 15.4.1 | 电解抛光的原理 | 488 |
| 15.4.2 | 电解抛光的特点 | 489 |
| 15.4.3 | 电解抛光质量的影响因素 | 489 |
| 15.4.4 | 电解抛光的工艺流程 | 491 |
| 15.5 | 化学抛光 | 492 |
| 15.5.1 | 化学抛光的原理 | 492 |
| 15.5.2 | 化学抛光的特点 | 493 |
| 15.5.3 | 化学抛光质量和效率的影响因素 | 493 |
| 15.6 | 电解修磨抛光 | 494 |
| 15.6.1 | 电解修磨抛光的原理 | 494 |
| 15.6.2 | 电解修磨抛光的特点 | 494 |
| 15.6.3 | 电解修磨抛光装置 | 495 |
| 15.6.4 | 电解修磨抛光质量和效率的影响因素 | 497 |
| 15.6.5 | 电解修磨抛光工艺 | 497 |
| 15.7 | 磁力研抛 | 498 |
| 15.7.1 | 磁力研抛的原理 | 498 |
| 15.7.2 | 磁力研抛的特点 | 499 |
| 15.7.3 | 磁力研抛装置和磁性磨料 | 499 |
| 15.7.4 | 磁力研抛质量和效率的影响因素 | 500 |
| 15.7.5 | 磁力研抛在模具加工中的应用实例 | 502 |
| 15.8 | 超声波抛光 | 502 |
| 15.8.1 | 超声波的特性 | 503 |
| 15.8.2 | 超声波抛光的原理 | 503 |
| 15.8.3 | 超声波抛光的特点 | 504 |
| 15.8.4 | 超声波抛光设备 | 504 |
| 15.8.5 | 超声波抛光中的基本规律 | 509 |
| 15.8.6 | 超声波抛光在模具加工中的应用实例 | 512 |

| | | |
|------------|-------------------------------|------------|
| 15.8.7 | 超声波电解复合抛光 | 512 |
| 15.8.8 | 超声波电火花复合抛光 | 514 |
| 15.9 | 挤压珩磨 | 516 |
| 15.9.1 | 挤压珩磨的原理 | 516 |
| 15.9.2 | 挤压珩磨的特点 | 516 |
| 15.9.3 | 挤压珩磨装置 | 517 |
| 15.9.4 | 挤压珩磨工艺参数的选择 | 519 |
| 15.9.5 | 挤压珩磨在模具加工中的应用实例 | 519 |
| 15.10 | 玻璃珠喷射加工 | 520 |
| 15.10.1 | 玻璃珠喷射加工的原理 | 520 |
| 15.10.2 | 玻璃珠喷射加工的特点 | 521 |
| 15.10.3 | 玻璃珠喷射加工装置 | 521 |
| 15.10.4 | 玻璃珠喷射加工质量和效率的影响因素 | 521 |
| | 参考文献 | 522 |
| 附录一 | 准备功能 G 代码 (JB 3082—83) | 525 |
| 附录二 | 辅助功能 M 代码 (JB 3082—83) | 526 |

上 篇

模具表面处理

- 第 1 章 模具的服役条件、失效形式及失效分析
- 第 2 章 模具的表面处理方法
- 第 3 章 表面化学热处理
- 第 4 章 气相沉积技术
- 第 5 章 电镀与化学镀
- 第 6 章 热喷涂技术
- 第 7 章 激光表面处理
- 第 8 章 离子注入技术
- 第 9 章 电子束强化技术
- 第 10 章 其他表面处理技术

第1章

模具的服役条件、失效形式及失效分析

1.1 模具的服役条件及失效形式

1.1.1 冷作模具的服役条件及失效形式

冷作模具是指对常温下的材料进行压力加工的模具。冷作模具的种类繁多，主要用于完成金属或非金属材料的冲裁、弯曲、拉深、锻造、挤压等工序。典型的冷作模具有冲裁模、拉深模、冷镦模和冷挤模。由于加载方式及被加工材料的性质、规格不同，不同种类的冷作模具，其具体服役条件差别很大，因而其失效形式也各具特点。

(1) 冲裁模 冲裁模是一种带有刃口、工作中使被加工材料发生分离的模具。它包括落料冲孔模、切边模、冲头和剪刀等。图 1-1 为采用弹性卸料板的冲裁示意图。当板料放置在凹模 4 上以后，卸料板 2 下行，并压住板料，然后凸模 1 下行，依靠凸模与凹模的刃口使板料分离。在板料冲裁中也可以采用刚性卸料板结构。

冲裁模的工作部位是刃口，在冲裁厚板时，特别是在厚板上冲小孔时，凸模和凹模的应力很大。落料冲孔模和切边模实际上是一种特殊的剪刀，它们的工作条件和剪刀很相似。工作时模具的刃口部分承受着冲击力、剪切力和弯曲力，同时还受到被剪切钢材的强烈摩擦。所以，这几种模具都要求刃口部分有高的硬度和耐磨性、高的抗弯强度和一定的韧性。冲头是用以落料冲孔的凸模，在工作时受到冲击、弯曲、剪切、摩擦和挤压。所以冲头除要求有足够的硬度和耐磨性外，还要求一定的强度和韧性。为了防止细长的小冲头弯折和断裂，对其强度和韧性的要求尤为重要。

冲裁模是在室温下分离板料，且受力主要集中于刃口附近，因此，它的正常失效主要是由于磨损，但也常因结构不合理或热处理不当而出现崩刃、镦粗、折断等现象，导致模具过早损坏。从磨损机理上看，磨损失效种类主要为黏着磨损，同时也伴有磨粒磨损，使用时间过长会产生疲劳磨损。从部位来看，可细分为刃口磨损、侧面磨损、端面磨损。由于凸、凹模刃口处于端面最大压应力和侧面最大压应力的交汇处，同时也处在端面最大摩擦力和侧面最大摩擦力的交汇处，因此凸、凹模的刃口工况最恶劣，磨损也最严重。

通常情况下，凸模刃口的压应力大于凹模刃口的压应力，同时，在完成一个冲裁动作