

JIXIE LINGJIAN GONGYIXING SHOUC

机械零件 工艺性手册

第2版

◇ 蔡兰 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机械零件工艺性手册

第 2 版

主 编 蔡 兰

副主编 戴起勋 高传玉 雷玉成

编写人 蔡 兰 戴起勋 高传玉

雷玉成 傅明喜 贾志宏

刘忠德 邵红红 吴 勃

朱 强



机 械 工 业 出 版 社

本手册全面阐述了机械零部件设计和制造的工艺性问题,主要介绍了产品和零部件的结构工艺性和其他各种因素对工艺性的影响。其特点是强调了工艺性的整体性、相对性和灵活性。内容包括铸造、锻造、冲压、焊接、热处理及表面处理、切削加工、装配及维修等工艺过程的工艺性。

本手册内容丰富、概念清楚、举例恰当,结合生产实际。可供机械设计工作者和工艺工作者在产品、零部件设计和制造工作中使用,也可作为大专院校机电类专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械零件工艺性手册/蔡兰主编. —2版. —北京:

机械工业出版社, 2006.12

ISBN 978-7-111-20592-0

I. 机… II. 蔡… III. 机械零件-工艺-性能-手册 IV. TH13-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第155722号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张秀恩

责任编辑:王兴垣 版式设计:霍永明 责任校对:吴美英

封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007年2月第2版·第1次印刷

184mm×260mm·35.25印张·3插页·874千字

7 001—11 000册

定价:68.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379770

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

现代科学技术的发展日新月异,促进了机械产品和零部件生产工艺的不断变革,从而也带来了机械产品和零部件制造工艺性的一些新问题。零部件的结构设计和工艺设计应满足其在制造、维修全过程中各相关条件均符合科学性、可行性和经济性的要求,还应积极地符合资源、能源、安全和环境协调性等要求。本手册第1版出版已有10年,为了满足广大读者的要求,根据机械工业出版社的要求,我们进行了修订。一方面修正第1版中存在的不足和删减不必要的内容,另一方面更新标准,尽可能地更新和补充零部件生产中所涉及到的工艺性新问题。

本手册第2版仍然保留了第1版的主要思路,即应用系统工程的思想介绍机械零件设计、制造过程中的工艺性问题,注重科学性、先进性、实用性。全书力求体现工艺性的整体性、相对性、灵活性等特点和绿色制造的概念。

其主体内容包括零件结构与铸造、锻造、冲压、焊接、热处理和表面处理、切削加工、装配维修等工艺的关系。考虑到第1版中第5章粉末冶金零件工艺性在内容上相对偏少,在第2版中就删除了粉末冶金零件工艺性的内容。第2版各章在内容上都进行了精选,删去了次要的内容,补充了有关工艺性的新问题和新概念,在篇幅上还有所压缩。

铸造工艺性:增加了消失模铸造、双金属离心铸造等最新的铸造方法,更新了标准。为适应国际铸造行业的要求,在工艺设计中增加了铸件尺寸公差设计、铸件重量公差设计、铸件加工余量设计以及铸件的矫形方法与矫形技术。

压力加工工艺性:为避免重复叙述,减少与零件工艺性无直接关系的篇幅,第2版删除了常用锻造材料、常用冲压材料和冲压件的质量分析及控制等部分的内容。

焊接工艺性:更新了国家标准,如焊接术语和各类焊条、焊丝等焊接材料的规格,对各种牌号的焊接材料增加了应用举例。增加了常见焊接缺陷的内容,以表格形式介绍了各种焊接缺陷、产生原因。

材料热处理和表面处理工艺性:在各部分内容有所删减的基础上,增加了材料热处理工艺对环境的影响、铝合金和钛合金热处理工艺性、并行热处理工艺性等内容,表面处理工艺部分也进行了较大的修改和补充了一些新工艺。

切削加工工艺性:在第1版的基础上精炼内容,删减了不太重要或相关性不大的内容。更新了相关的专业术语和国家标准,在切削加工工艺性评价方面,增加了从可持续发展角度的综合评价,即绿色制造的内容。

装配维修等工艺性:对各部分内容进行了较大的修改。主要是删除了装配工作中应

用比较少的刮削和校正的内容,增加了面向装配的设计简介内容,更新了有关的国家标准,对清洗部分进行了修改。

本手册第2版由蔡兰教授担任主编,戴起勋教授、高传玉教授和雷玉成教授担任副主编。各章负责人和编者为:第1章由戴起勋教授和蔡兰教授编写;第2章由傅明喜副教授负责,由傅明喜副教授和贾志宏讲师编写;第3章由刘忠德教授负责编写;第4章由雷玉成教授负责,由雷玉成教授和朱强教师编写;第5章由戴起勋教授负责,由戴起勋教授和邵红红教授编写;第6章由吴勃副教授负责编写;第7章由高传玉教授负责编写。全书的体系和框架由蔡兰教授构思确定,全书各章由戴起勋教授统稿。各章修订时参考了许多文献,主要的文献列于各章之后,在此向所有参考文献的作者表示感谢。第2版主要是在第1版的框架、结构和内容的基础上进行了删减、补充和完善,在此特别要感谢第1版的各章作者和主编组以及所有为第1版作出过贡献的人员。

编者于江苏大学

第 1 版前言

现代化工业生产和科学技术的发展,要求机械产品和零部件具有良好的工艺性,即零部件的结构设计必须满足其在制造、维修全过程中各相关条件均符合科学性、可行性和经济性的要求。机械制造工艺性是现代化工艺生产中提高经济效益、确保生产质量的关键。

本手册应用系统工程的思路和方法全面地介绍了机械零件设计、制造过程中的工艺性问题,注重科学性、先进性、实用性。内容包括零件结构与铸造、锻造、冲压、焊接、粉末冶金、热处理和表面处理、切削加工、装配维修等工艺的关系,突出结构设计、制造方法和材料选择三个方面,正确处理设计与工艺、各工艺之间的联系和矛盾。全书体现了工艺性的整体性、相对性、灵活性的特点。

本手册力求直观实用,对概念与基本原理一般不作详细介绍,所以篇幅不多,查阅方便,直观实用。

参加本手册各章编写及审稿的人员如下:

章	编 写 人	主 审 人
一	刘延山 火树鹏 戴起勤	金瑞琪
二	石庆生 徐 雍	钱天江
三	王华冠 刘忠德	皇甫骅
四	雷玉成	施克仁
五	余正国	陈 昶
六	戴起勤 黄根良	樊东黎
七	刘延山 张慰冰	李思久 郭维军
八	高传玉 张 强	郭维军 李思久

本手册在编写过程中还得到了杨继昌、钱龙珠、张洁等同志的帮助,南京汽车制造厂、上海柴油机厂等单位提供了宝贵的资料,在此一并表示感谢。

编 者
1994 年 1 月

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 机械零件工艺性总论..... 1

- 1.1 工艺性基本概念 1
- 1.2 工艺及工艺性工作的重要性 2
- 1.3 工艺性评价与审查 3
- 1.4 毛坯选择与工艺路线设计 6
- 1.5 综合协调改善机械零件工艺性 11
- 参考文献 14

第2章 铸造工艺性..... 15

- 2.1 铸造工艺性基本指标及零件的铸造工艺要素 16
 - 2.1.1 铸造工艺的基本指标 16
 - 2.1.2 零件的铸造工艺要素 18
- 2.2 铸造合金分类及选用 19
 - 2.2.1 铸造合金的选用依据 19
 - 2.2.2 铸造合金种类 19
- 2.3 常用铸造方法及选用 42
 - 2.3.1 选用依据 43
 - 2.3.2 常用铸造方法的种类及应用 44
- 2.4 铸件结构设计要点 47
 - 2.4.1 铸件外形设计 47
 - 2.4.2 铸件内腔设计 47
 - 2.4.3 常用特种铸造方法对结构设计的要求 53
 - 2.4.4 铸件尺寸公差设计 58
 - 2.4.5 铸件重量公差设计 60
 - 2.4.6 机械加工余量设计 61
 - 2.4.7 铸件壁厚设计 62
 - 2.4.8 铸件加强肋的设计 65
 - 2.4.9 铸件上凸台的设计 67
 - 2.4.10 最小铸出孔设计 67
 - 2.4.11 铸件壁的连接和过渡 69
 - 2.4.12 铸造圆角及结构斜度的设计 75
 - 2.4.13 防止产生铸造缺陷的设计示例 76
- 2.5 铸件后续加工与铸件结构 78

- 2.5.1 切削加工工艺性与铸件结构 78

- 2.5.2 热处理工艺与铸件结构 78

- 2.5.3 电镀处理工艺与铸件结构 79

- 2.5.4 装配、涂装、维修工艺与铸件结构 80

- 2.6 铸件的矫形 83

- 2.6.1 矫形方法 83

- 2.6.2 矫形模 85

- 2.7 组合铸件结构 87

- 2.7.1 组合铸件选用依据 87

- 2.7.2 镶嵌结构 87

- 2.7.3 双金属铸件 89

- 2.7.4 铸焊结构的铸件 90

- 2.8 铸件设计举例 91

- 参考文献 94

第3章 压力加工工艺性..... 95

- 3.1 锻造工艺的分类、特点及其应用 95

- 3.1.1 锻造工艺的分类 95

- 3.1.2 锻造工序的分类 96

- 3.2 锻件的结构工艺性 99

- 3.2.1 自由锻件的结构工艺性 99

- 3.2.2 模锻件的结构工艺性 122

- 3.3 锻件节材方法与途径 155

- 3.3.1 合理地选用锻造方法 155

- 3.3.2 改进锻件结构 156

- 3.3.3 精化锻件加工 157

- 3.3.4 采用先进的成形方法 158

- 3.4 冷冲压工艺特点及其应用 159

- 3.4.1 冲压加工的特点 160

- 3.4.2 冷冲压的基本工序及应用范围 160

- 3.5 冲压加工的经济性分析 163

- 3.5.1 冲压件的成本 163

- 3.5.2 降低成本提高经济性的途径 164

- 3.6 冲压件的结构要素 169

- 3.6.1 冲裁件结构设计的基本参数 170

- 3.6.2 弯曲件结构设计的基本参数 175

3.6.3 拉深件结构设计的基本参数	180	5.1.1 零件热处理工艺性的基本概念与 主要内容	308
3.6.4 成形件结构设计的基本参数	184	5.1.2 零件热处理工艺性特点	309
3.6.5 冷挤压件结构设计的基本 参数	190	5.2 材料的热处理工艺性	310
3.7 扩大冲压加工的应用范围	195	5.2.1 淬透性	310
参考文献	200	5.2.2 淬硬性	321
第4章 焊接工艺性	201	5.2.3 耐回火性和热稳定性	322
4.1 常用焊接方法的特点及应用	202	5.2.4 变形和开裂倾向	325
4.2 焊接材料的分类及选择	207	5.2.5 回火脆性和白点敏感性	327
4.2.1 焊接材料的分类	207	5.2.6 过热敏感性	329
4.2.2 焊条	208	5.2.7 氧化脱碳敏感性	330
4.2.3 焊丝	212	5.2.8 铝合金的热处理工艺性	331
4.2.4 焊剂的牌号与型号	214	5.2.9 钛合金的热处理工艺性	334
4.3 金属材料的焊接	215	5.3 零件材料的选择与热处理技术 要求	335
4.3.1 选择金属材料的注意事项	215	5.3.1 零件热处理技术要求的设计	336
4.3.2 钢铁材料的焊接	219	5.3.2 选择材料的基本原则及合 理性	341
4.3.3 常用有色金属及其他材料 的焊接	228	5.3.3 常用金属材料特性及用途	348
4.3.4 异种金属材料的焊接	231	5.4 零件的热处理结构工艺性	358
4.4 焊接应力与变形	238	5.4.1 改善零件热处理工艺性的 结构设计	358
4.4.1 焊接应力与变形产生的原因	238	5.4.2 改善零件结构热处理工艺性的 其他措施	362
4.4.2 焊接残留应力与变形对结构性能 的影响	239	5.4.3 热处理工艺性对齿轮结构设计 的要求	371
4.4.3 焊接应力的调节和消除	247	5.4.4 热处理工艺对环境的影响	376
4.4.4 焊接残留变形的预防和矫正	251	5.5 热处理工艺设计和热处理工艺性	381
4.5 常见焊接缺陷	255	5.5.1 热处理工艺设计	381
4.5.1 焊接缺陷分类	255	5.5.2 热处理新工艺	387
4.5.2 常见焊接缺陷	255	5.5.3 热处理工艺的优化设计	389
4.6 焊接结构工艺性	259	5.6 热处理工序安排和工艺性	390
4.6.1 焊缝符号表示法	259	5.6.1 冷热加工过程中材料组织性能的 变化特点	390
4.6.2 焊接接头形式	271	5.6.2 热处理和切削加工的关系	391
4.6.3 焊接接头的设计	278	5.6.3 热处理工序的合理安排	392
4.6.4 焊接接头强度计算	281	5.6.4 其他影响零件热处理工艺性 的因素	397
4.6.5 机械焊接结构的特点	283	5.7 金属零部件表面处理工艺性	397
4.6.6 按铸件设计焊接结构的方法	284	5.7.1 金属零部件表面预处理	398
4.6.7 常用加强筋的设计	287	5.7.2 电镀	398
4.6.8 机械结构焊接设计	290	5.7.3 电刷镀	404
4.6.9 机器大件焊接结构举例	293	5.7.4 化学镀	406
4.6.10 机器大件结构设计要点	297		
4.6.11 一般零件的焊接结构设计	299		
参考文献	307		
第5章 热处理及表面处理工艺性	308		
5.1 概述	308		

5.7.5 化学转化膜	411	7.1.3 成组技术在装配工作中的 应用	504
5.7.6 热喷涂技术	414	7.2 装配工作法	507
5.7.7 镀膜技术	416	7.2.1 清洗	507
参考文献	422	7.2.2 平衡	513
第6章 切削加工工艺性	424	7.2.3 螺纹联接	517
6.1 切削加工工艺性的概念	424	7.2.4 过盈连接	520
6.1.1 切削加工工艺性的含义	424	7.3 一般装配对零部件装配工艺性 的要求	523
6.1.2 切削加工工艺性的特性	424	7.3.1 面向装配的设计简介	523
6.1.3 切削加工工艺性的评价	425	7.3.2 产品设计中的标准化、 通用化	524
6.2 切削加工工艺性的影响因素	427	7.3.3 一般装配对零部件装配工艺性 的要求	524
6.2.1 零件材料	427	7.3.4 有关装配工艺性的实例分析	541
6.2.2 零件毛坯	432	7.4 自动装配对零部件装配工艺性 的要求	544
6.2.3 零件热处理	433	7.4.1 自动装配的设计要点	544
6.2.4 零件结构	434	7.4.2 自动装配对零部件装配工艺性 的要求	545
6.3 提高切削加工工艺性的措施	439	7.4.3 提高装配自动化水平的主要 途径	549
6.3.1 贯彻标准化	439	7.5 维修对零部件工艺性的要求	550
6.3.2 提高产品继承性	439	7.5.1 减少机器的停工维修时间	551
6.3.3 应用成组技术	440	7.5.2 考虑零件磨损后修复的可能性和 方便性	552
6.3.4 优化结构设计	440	7.5.3 保证拆卸的方便性	552
6.4 典型零件工艺性分析	480	参考文献	553
6.4.1 齿轮	480		
6.4.2 曲轴	488		
6.4.3 箱体	496		
参考文献	499		
第7章 零部件的装配和维修工 艺性	500		
7.1 概述	500		
7.1.1 装配工艺方案的选择	500		
7.1.2 装配工艺规程的制订	503		

第 1 章 机械零件工艺性总论

1.1 工艺性基本概念

机械制造工艺是各种机械制造方法和过程的总称。也就是机电产品或零部件在制造过程中,从原材料或毛坯通过各种加工工艺(如铸造、锻压、冲压、焊接或钎接、切削加工、热处理、表面处理等)一直到成品,然后装配成产品的制造技术的总称。所谓产品或零件的工艺性,是指机电产品的制造和零件加工的难易程度或加工性能的相对优劣。但这样评价工艺性就难以量化,因此,用生产的可行性和经济性来衡量。国家标准 GB/T 4863—1985《机械制造工艺基本术语》中,对产品结构工艺性和零件结构工艺性作如下定义:

产品结构工艺性——所设计的产品在能满足使用性能要求的前提下,制造和维修的可行性和经济性。

零件结构工艺性——所设计的零件在能满足使用性能要求的前提下,制造和维修的可行性和经济性。

机械零部件工艺性是一个复杂的问题,对工艺性内涵的理解上也各不相同。虽然国家标准对工艺性术语作了统一的规定并给出了定义,但在我国的有关手册、专著和文献资料中对工艺性或结构工艺性所作的解释是不尽相同的。有定义为:“结构工艺性是指所设计的产品与零部件的结构,在一定的条件下制造、维修的可行性和经济性。”也有:“结构工艺性良好,是指所设计的零部件,在保证产品使用性能(如效率高、寿命长、安全可靠、保养容易等)的前提下,根据已定的生产规模,能用生产率高、劳动量小、材料消耗少和生产成本低的方法制造出来。”又如:机械设计中综合考虑制造、装配工艺及维修方面各种技术问题,称为机械设计工艺性。机器及其零部件的工艺性,体现于结构设计中,所以又称为结构工艺性。结构工艺性和工艺性两个概念相比,后者的内容要丰富得多,所以工艺性又称为“生产性”。美国军用标准对生产性所作的定义是:生产性是一个综合特性,当对装备进行设计和生产规划时,生产性使装备的制造、装配、检查、试验、校核和验收具有最高的效率和最经济的费用。

根据本书的目的,我们讨论的工艺性是广义的,即工艺性除了与产品或零部件的结构有关外,还与其他多种因素相关。如:

(1) 原材料 材料的力学、物理、化学等性能直接影响着产品或零件的使用性能和质量。材料的工艺性包括各类成形性、可加工性、连接性、热处理工艺性等。材料的选择对制造方法的选用和制造成本的影响很大。

(2) 毛坯选择 不同类型的毛坯在很大程度上决定了制造方法和工艺过程。精密铸造、精锻、精冲、拼焊结构等用少无切削的工艺方法制造毛坯,对提高生产率、降低成本是有益的。

(3) 生产方法 制造方法的可替换性和灵活性能极大地提高零件的工艺性。在设计图样

上不宜直接规定制造方法。如要求表面有一定硬度的零件,只要注明准确合理的技术要求(表面硬度、硬化层深度等),工艺人员可根据零件所选用的材料和技术要求,结合具体生产条件,制定最佳的制造工艺。

(4) 质量技术指标 应根据使用要求合理确定技术指标,过高地提高零件的技术要求即质量富余,会导致需要特殊的加工设备、增加劳动量、提高生产成本,更重要的是有可能增加了制造工艺性的难度。

(5) 生产规模和批量 生产规模和批量决定了设备和工装的专门化程度,因此影响了劳动生产率和成品制造成本。自动化生产和成组技术则能发挥最大的作用和效益。

(6) 标准化和质量检验 标准是以科学技术和实践经验的综合成果为基础的,对重复性事物和概念所作的统一规定。在生产中贯彻标准化工作也是提高制造工艺性和保证零件质量的有效措施。另外,考虑和生产率相适应的质量检验方法对生产性也是很重要的。

(7) 环境和能源问题 现代产品或零件生产过程中,还应考虑制造工艺过程对环境、能源的影响。不同的工艺对环境污染、能源消耗是不同的。工艺人员必须树立环境和能源意识,尽可能地在设计和实施生产工艺时,减少环境污染和合理使用能源。

机电产品或零部件是通过各种工艺制造而成的。在制造过程中的各个环节都有良好的工艺性是最理想的,但事实上难以有这样完美的条件。当各个工艺之间在工艺性上发生矛盾时,应综合权衡。要有系统最优化的概念,使产品或零件的整体工艺性最佳。不能改善了某一工序的工艺性而恶化了其他工序的工艺性。有时,从局部看某工艺性是好的,但从整体看是不利的,局部应服从整体。所以,本书讨论的工艺性是整体的工艺性或叫综合工艺性。结构工艺性仅为工艺性的内容之一。零件的工艺性是指所设计的零件在能满足使用要求的前提下,制造、维修的可行性、经济性和环境性。本书后面各章将就各种制造工序的工艺特点和要求,阐述其工艺性。

值得强调的是,工艺性在某种意义上具有相对性。在某一生产条件下,该零件的工艺性是良好的,但在另一具体生产条件下,其工艺性不一定是良好的。随着科学技术的发展和进步,昨天工艺性差的结构,今天可能变得并不差了。在考核和评价工艺性时应予以注意。

1.2 工艺及工艺性工作的重要性

科学技术成果转化为生产力,必然要通过工艺技术、工艺装备等生产制造过程来实现,而且工艺技术、生产流程、仪器设备等本身也是在不断进步。技术改造及更新对于一个企业的可持续发展与提高竞争力是非常重要的。科学技术是第一生产力。产品的生产是由各个工艺过程来完成的,所以企业中的工艺及工艺装备水平代表了企业的水平、生产力的水平和产品的质量保证。

科学技术的发展使工艺装备更先进、精密、高效,生产工艺的机械化、自动化和系统化水平越来越高。因此,产品的质量越来越好,产品的功能越来越多,与此同时产品的淘汰与更新也越来越快。工艺工作是机电制造行业的基础。“工欲善其事,必先利其器”很恰当地表示了工艺技术与产品制造之间的关系。

工艺技术是新产品开发、老产品更新换代的重要技术保证。产品的水平是研究、设计、制造工艺以及包括工艺管理在内的管理水平的综合体现。新产品开发和老产品更新换代,一

般不仅是外形尺寸的变化,而是产品性能、功能、结构等方面的改进和提高,所以,对设计、工艺、材料等技术关键都会有更高的要求。先进的工艺是产品发展的前提和条件,对产品的开发和创新起着重要的作用。从产品设计与工艺技术的关系来看,先进的设计可促进新工艺、新技术、新工装备的开发,而先进的工艺技术又可为设计水平的提高创造条件。例如葛洲坝大型水轮机发电机组的研制成功,得力于十年前就开始的大型叶片材料、工艺等方面的研究成果。

在产品或技术引进过程中,硬件是可以买到的,但工艺技术和成分配方等技术是很难得到的,尤其是制造技术的关键、技巧,更是保密。所以引进产品或生产线的国产化的关键是制造技术。

产品(零部件)的制造工艺水平是影响机械产品质量的主要原因。大量的事实表明:产品存在的质量问题,大部分是由于生产单位的工艺水平落后所造成的,包括工艺管理不善、工艺纪律不严。

工艺技术和管理也是提高劳动生产率、降低成本、提高经济效益的重要途径。以工艺进步为基本内容的技术进步是生产发展的主要动力。例如,热加工工艺是传统技术,通过采用计算机技术控制工艺过程、优化和调节工艺参数等,保证了工艺质量,同时也给工艺管理提出了新的要求。实践证明:在企业现有的装备、技术和人员素质水平条件下,通过加强工艺管理、严格工艺纪律,可以使产品的质量、经济效益、生产率提高不少。另外,加强工艺管理在节约各种材料方面也有较大的效益。

1.3 工艺性评价与审查

1. 工艺性评价

工艺性评价是企业生产技术活动中不可缺少的环节。在工艺性评价过程中,通常要对原产品或零部件设计和制造工艺进行修改和完善。表 1-1 的评价指标和改进途径可供参考。

工艺性具有相对性和综合性的特点,而且各工艺指标之间相互关联和相互制约,在评价时要抓住可行性和经济性这个主要矛盾,作出科学合理的结论。

表 1-1 产品结构工艺性评价指标

主要评价指标		计算公式	符号说明	改进途径
单位成本或单位工艺成本	按单位重量计算的总成本	$K_{SM} = \frac{S}{G_0}$	S —产品成本(元) G_0 —产品总重量(kg或g) G_K —外购配套零部件的重量(kg或g) C_K —外购配套零部件的售价(元) n_p —按其计算成本的可比参数的总值 S_T —产品的工艺成本(元)	减少劳动量和材料消耗量,提高通用化和标准化水平,以加大生产批量
	扣除外购配套零部件后,按产品的单位重量计算的总成本	$K'_S = \frac{S - C_K}{G_0 - G_K}$		
	按单位可比参数计算的总成本	$K_{Snp} = \frac{S}{n_p}$		
	扣除外购配套零部件后,按产品的单位重量计算的工艺成本	$K_{STM} = \frac{S_T}{G_0 - G_K}$		
	按单位可比参数计算的工艺成本	$K_{STMP} = \frac{S_T}{n_p}$		

(续)

主要评价指标		计算公式	符号说明	改进途径
材料利用率	单个毛坯材料利用率, 指标数值为 0.5~0.7	$K_{Mi} = \frac{g_D}{g_Z}$	g_D —单个产品零件的重量(kg 或 g) g_Z —与某单个零件对应的材料消耗工艺定额(kg 或 g)	1. 合理设计零件形状、尺寸、精度, 减少余量 2. 采用以焊或铸、锻、焊联合结构代替铸件或锻件 3. 尽量采用少无切削加工, 减少废料 4. 合理利用焊接方法, 制造出零件上挡块、凸起等结构要素
	分品种(型材、铸件、锻件)毛坯利用率	$K'_{Mi} = \frac{\sum_{i=1}^n g_{Di}}{\sum_{i=1}^n g_{Zi}}$	i —所采用的毛坯品种 n —扣除外购配套零部件后余下的产品零件总数或毛坯品种数	
	材料的均方根利用率	$K_M = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n K_{Mi}^2}$		
标准化通用化继承性	结构继承性系数, 指标数值为 0.4~0.5(发动机制造)	$K_S = \frac{N_j + N_t}{N_Z}$	N_j —由其他产品继承并重复使用借用件总数 N_Z —产品中零件总数	1. 建立通用产品的参数系列, 在企业、行业和跨行业规模上实行通用化 2. 合理地重复采用现有零件的结构 3. 将尺寸相差不多的结构要素合理地结合为一个统一的优化系列, 并在标准化基础上统一尺寸规格
	结构标准化系数, 指标数值为 0.27~0.35	$K_{St} = \frac{N_b}{N_Z}$	N_b —产品中标准化零件总数。 N_Z 和 N_b 中均不含紧固件和小五金	
	标准件、通用件和借用件的总采用率	$K_{Zt} = \frac{N_b + N_t + N_j}{N_Z}$	N_t —通用零件总数 H_{KE} —全部专用零件同一结构要素的尺寸规格数	
	零件结构要素统一化系数(在标准化基础上统一尺寸规格)	$K_{YE} = \frac{H_{KS}}{H_{KE}}$	H_{KS} —全部专用零件中同一结构要素采用统一的尺寸规格数	
装配和维修的难易程度	可装配性和组合化系数 K_{CB}	$K_{CB} = \frac{1}{n_u} \sum_{i=1}^n N_i$	N_i —加入组件、部件或装配总成中的零件数量 n_u —全套产品中的零件数量	1. 将一套产品分解为可拆装的(动配合或静配合)部件、组件 2. 在连接部位加入可在装配和使用过程中能按要求的精度进行调整的补偿环节 3. 为采用流水线装配方法和机械化装配工具创造条件
	可装配性和组合化系数 K'_{CB}	$K'_{CB} = \frac{N_e}{N_0}$	n —可独立和平行装配的组件、部件和单个装配总成的数量 N_e —产品中独立装配总成(包括外购)的数 N_0 —产品中各组成部分(不含装配总成的零件和标准紧固件)总数	
	修配劳动率指标数值, 0.10~0.15	$K_{xp} = \frac{T_{xp}}{T_p}$	T_{xp} —修配工作总劳动量 T_p —装配工作总劳动量	
加工精度和粗糙度	加工精度系数	$K_c = \frac{C_g}{C_z}$	C_g 、 C_z —分别为产品(零件)中有公差要求的尺寸数和尺寸总数	1. 合理标注精度和表面粗糙度 2. 努力采用精化毛坯工艺 3. 合理利用强化工艺
	表面粗糙度系数	$K_r = \frac{B_e}{B_z}$	B_e 、 B_z —分别为产品(零件)中有粗糙度要求的表面数和表面总数	

2. 工艺性审查

在产品的设计阶段应进行工艺性分析与审查,其目的在于:早期发现产品或零件设计中不必要或过高的技术要求,经核算并修改;使设计尽可能与本企业的生产条件及环境相适应;发现产品或零件制造工艺的难点,以便提前进行工艺试验和技术攻关;早期发现制造过程所需的关键设备、工艺装备及原材料等问题,以便作好生产准备;为设计工艺方案作准备,以缩短工艺设计周期。

在进行工艺性审查时应综合考虑:产品种类、结构特点和复杂程度;生产纲领、批量和类型;本企业生产环境、条件,如现有的仪器设备、工艺装备及设计制造水平、人员素质和外协外购条件等;工艺原则和方案;目标成本和技术经济指标;产品的发展前景、市场预测和竞争能力等。

产品设计各阶段的工艺性审查内容见表1-2,零件结构工艺性审查内容见表1-3。

表 1-2 产品设计各阶段的工艺性审查内容

设计阶段	主要内容
方案设计阶段	1. 从制造观点分析产品(零件)结构设计方案合理性 2. 分析产品(零件)结构的继承性 3. 分析产品(零件)结构的标准化与系列化程度 4. 分析产品主要组成部分是否便于装配、调换、维修 5. 分析主要零件的材料选用和技术要求是否合理 6. 分析零件加工的可行性和环境性
技术设计阶段	1. 分析产品各组成部件进行平行装配和检查的可行性 2. 分析总装配的可行性和装配时避免或减少切削加工的可行性 3. 分析关键零件在本单位制造的可行性和特殊零件外协加工的可行性 4. 分析产品主要参数的可检查性和主要配合精度的合理性 5. 零件结构要素尽可能统一,能使用通用设备和标准刀具加工 6. 零件结构应尽量便于多件同时加工,应有利于先进工艺方法的采用

表 1-3 零件结构工艺性审查的基本内容

工艺性类型	基本内容
零件结构的铸造工艺性	1. 铸件结构壁厚应合适,尽量均匀,不得有突然变化 2. 不同尺寸截面的过渡应合理,铸件壁间不能锐角连接 3. 铸件圆角要合理,不能有尖角。铸造最小孔径应合理 4. 铸件结构应尽量简化。有合理的起模斜度,减少分型面、型芯 5. 加强肋的厚度和分布要合理;突耳、凸台、悬臂支架和其他带有凸出部分的铸件应设计成从铸型中自由取出模型,其厚度也应合理
零件结构的压力加工工艺性	锻压件 1. 分型线应合理 2. 模锻件应有合理的锻造斜度和圆角半径 3. 结构应力要简单、对称;截面、筋、凸部应设计合理 4. 复杂锻件可考虑分拆与合成

(续)

工 艺 性 类 型		基 本 内 容
零件结构的压力加工工艺性	冲裁件	1. 形状结构应简单、对称,并考虑节约材料 2. 结构上不能有过窄的部分,孔径与孔的位置设计合理 3. 外形和内孔应尽量避免尖角,圆角半径大小应有利于成形
	弯曲件	1. 合理确定弯曲圆角半径 2. 形状要求对称,弯曲的两边弯曲数尽量相等 3. 工艺孔、工艺槽和缺口的增加应合理
	拉深件	1. 形状应简单、对称;拉深件各部分尺寸比例应恰当 2. 矩形工件的圆角半径、法兰宽度、高度应合理 3. 内壁应有合适的斜度,圆角半径应设计合理 4. 孔的位置不能离拉深件底边太近
	精冲件	1. 棱角处一定要有圆角过渡,圆角半径合理 2. 孔径和槽宽设计正确,壁厚尺寸、孔口倒角和沉孔设计合理
	冷挤压件	1. 避免挤压内锥体;尽量采用轴对称形状 2. 避免设计辐板、十字筋;避免锐角、壁上的环形槽 3. 避免挤小的深孔;避免侧壁上有径向孔
零件结构的焊接工艺性		1. 焊缝的位置应便于操作,有利于减小焊接应力和变形,应避开最大应力和应力集中处,避开加工表面 2. 焊接接头的形式、位置和尺寸应能满足焊接质量的要求
零件结构的热处理工艺性		1. 热处理件的结构应尽量避免尖角、锐边和不通孔 2. 形状力求简单、对称;应有足够的刚度 3. 尽量使截面均匀、质量均衡,避免结构尺寸厚薄悬殊、断面突变 4. 对大件、长件,设计时应考虑便于热处理装卡、吊挂 5. 热处理技术要求应合理、明确和完整
零件结构的切削加工工艺性		1. 精度、表面粗糙度的要求应经济合理 2. 加工面的形状应尽可能简单,便于加工 3. 零件结构应便于装夹、加工和检查 4. 有相互位置要求的表面,最好能在一次装夹中完成加工 5. 零件应有合理的工艺基准,并尽量与设计基准一致
零件结构的装配与维修工艺性		1. 零部件应有正确的装配基面;尽量组成单独的部件或装配单元 2. 考虑零部件装配和拆卸的方便性 3. 避免装配时的应力集中,考虑装配的零部件之间结构的合理性 4. 考虑螺纹联接的工艺性,密封的可靠性 5. 避免装配时的切削加工,减少外观修整的工作量

1.4 毛坯选择与工艺路线设计

1. 合理选择零件毛坯

正确选择毛坯具有重大的技术经济意义。毛坯直接影响零件的材料用量、加工余量、工艺路线、加工工序和生产成本,在设计时应予高度重视。

(1) 常用毛坯类型及特点

1) 铸件。形状复杂的毛坯宜采用铸造方法制造。铸造方法有砂型铸造、金属型铸造、离心铸造、压力铸造等类型,其中砂型铸造在生产中使用较多。各类铸造毛坯的特点见表1-4。

2) 锻件。锻件毛坯有自由锻件、模锻件和精密锻件等。自由锻件精度低、加工余量大,适用于单件、小批量生产及大型锻件。模锻件精度较高,加工余量较大,锻件形状可复杂些,适用于产量较大的中、小型锻件。各类锻造与冲压毛坯特点见表1-5。

3) 焊接件。主要有气焊、电弧焊及电渣焊等。

4) 型材。主要有圆钢、方钢、角钢、槽钢等。

(2) 毛坯选择及影响因素 毛坯的制造方法很多,各有不同的特点,应根据零件的要求和生产批量及企业条件等因素合理地选择毛坯类型。选择毛坯时制约因素比较多,即应考虑的问题较多。通常应把零件制造经济性放在首位来考虑。在满足零件使用性能的前提下,应易于制造加工,使零件的加工时间最短,生产成本最低。而成本又与生产批量密切相关。生产批量不同,采用的毛坯种类有可能不同。一般原则是大批量生产时,应采用高效率、高精度的毛坯制造方法;小批量生产则可因陋就简,毛坯精度也可适当低些。按照最低成本的原则来选择加工方法可用画成本曲线求交点的方法来决定其经济批量。图1-1是连杆按三种不同毛坯制造方法的毛坯成本与生产批量之间的关系。三根曲线相交的 a 、 b 、 c 三点分别表示采用三种毛坯制造方法的经济批量临界值。当毛坯批量小于 a 点(11件)时,以自由锻件最经济;大于 c 点(393件)时,以模锻最经济;大于 a 而小于 c 点时,以铸钢最经济。

表1-4 各类铸造毛坯的特点

特 点		砂型铸件	金属型铸件	离心铸件	熔模铸件	低压铸件	压铸件
零 件	材 料	任 意	铸铁、有色金属	铸铁、铜合金为主	所有金属,以铸钢为主	有色金属为主	锌合金、铝合金
	形 状	任 意	用金属芯时,有一定限制	以自由表面为旋转面时为主	任 意	用金属型与金属芯时有一定限制	有一定限制
	重量/kg	0.01~300000	0.01~100	0.1~4000	0.01~10(100)	0.1~3000	<50
	最小壁厚/mm	3~6	2~4	2	1	2~4	0.5~1
	最小孔径/mm	4~6	4~6	10	0.1~1	3~6	3(锌合金0.8)
	致密性	低~中	中~较好	高	较好~高	较好~高	中~较好
	表面质量	低~中	中~较好	中	高	较好	高
成 本	设备成本	低(手工)~中(机器)	较高	较低~中	中	中~高	高
	模具成本	低(手工)~中(机器)	较高	低	中~较高	中~较高	高
	工时成本	高(手工)~中(机器)	较低	低	中~高	低	低

(续)

特 点		砂型铸件	金属型铸件	离心铸件	熔模铸件	低压铸件	压铸件
生 产 条 件	操作技术	高(手工)~ 中(机器)	低	低	中~高	低	低
	工艺准备 时间	几天(手工)~ 几周(机器)	几周	几天	几小时 ~几周	几周	几周~数月
	生产率/ [件/(型·h)]	<1(手工)~ 100(机器)	5~50	2(大件) ~36(小件)	1~1000	5~30	20~200
	最小批量 /件	1(手工)~ 20(机器)	≈1000	≈10	10~1000	≈100	≈10000
产品举例		机床床身,缸 体,箱体	铝活塞,铜套	缸套,污水管	汽轮机叶片	大功率柴油 机活塞	微型电机外 壳

表 1-5 各类锻造与冲压毛坯特点

特 点		锻 件			挤压件	冷锻件	冲 压 件			
		自由锻件	模锻件	平锻件			落料、 冲孔件	弯曲件	拉深件	旋压件
零 件	材 料	各种形变合金			各种形变合金,特别 适用于铜、铝合金和低 碳钢		各种形变合金板料			
	形 状	有一定限制						一端封 闭的筒体 和箱体	一端封 闭的旋转 体	
	重量/kg	0.1 ~ 200000	0.01 ~ 100	1 ~ 100	1 ~ 500	0.001 ~ 50				
	最小壁厚 或板厚 /mm	5	3	φ3 ~ φ200 棒料	1	1	≤10(板厚)	≤100	≤10	≤25
	最小孔径 /mm	10	10		20	5	(1/2 ~ 1) 板厚		< 3	
	表面质量	差	中	中	中 ~ 好	较好 ~ 好	好	好	好	好
	成 本	设备成本	较低 ~ 高	高	高	高	中 ~ 高	中	低 ~ 中	中 ~ 高
模具成本		低	较高 ~ 高	较高 ~ 高	中	中 ~ 高	中	低 ~ 中	较高 ~ 高	低
工时成本		高	中	低 ~ 中	中	中	低 ~ 中	低 ~ 中	低 ~ 中	中
生 产 条 件	操作技术	高	中	中	中	中	低	低 ~ 中	中	中
	工艺准备 时间	几小时	几周 ~ 几月	几周 ~ 几月	几天 ~ 几周	几周	几天 ~ 几周	几小时 ~ 几天	几周 ~ 几月	几小时 ~ 几天
	生产率 /(件/h)	1 ~ 50	10 ~ 300	400 ~ 900	10 ~ 100	100 ~ 10000	100 ~ 10000	10 ~ 10000	10 ~ 1000	10 ~ 100
	最小批量 /件	1	100 ~ 1000	100 ~ 10000	100 ~ 1000	1000 ~ 10000	100 ~ 10000	1 ~ 10000	100 ~ 10000	1 ~ 100