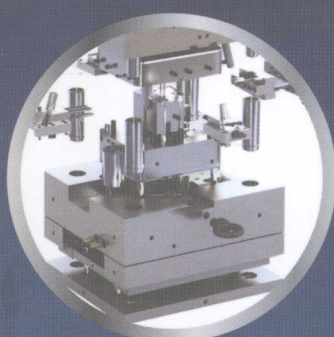
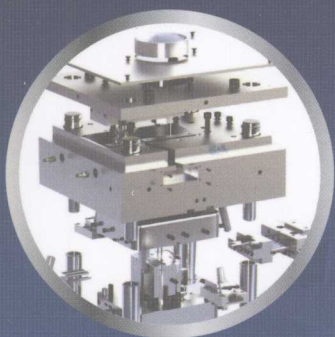
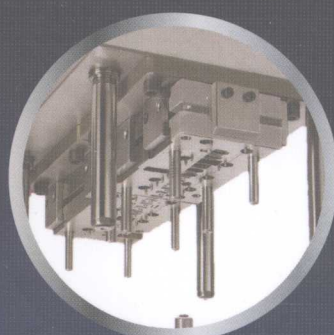
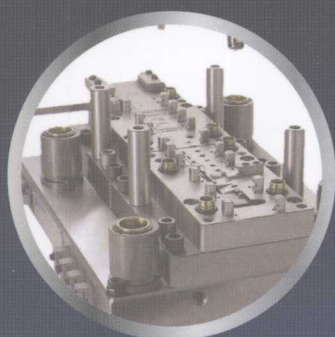


模具制造基础 与加工技术

罗云富 主编 甄瑞麟 主审



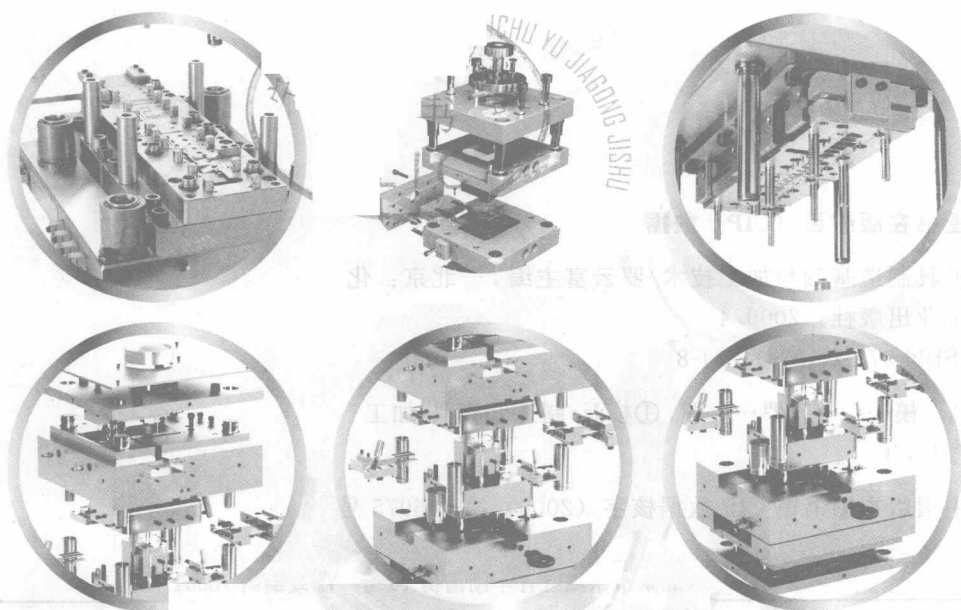
MUJU ZHIZAO JICHU
YU JIAGONG JISHU



化学工业出版社

模具制造基础 与加工技术

罗云富 主编 甄瑞麟 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

ISBN 978-7-122-10000-0

元 00.88 售 定

模具制造基础与加工技术

审主 魏蔚庭 编主 罗云富

图书在版编目 (CIP) 数据

模具制造基础与加工技术/罗云富主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 4

ISBN 978-7-122-04761-8

I. 模… II. 罗… III. ①模具-制造②模具-加工
IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 016975 号

责任编辑: 李军亮

装帧设计: 周 遥

责任校对: 凌亚男

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 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13½ 字数 331 千字 2009 年 4 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: 38.00 元

版权所有 违者必究

前 言

模具在现代工业的规模生产中发挥着越来越重要的作用。用模具生产的制件能达到高精度、高复杂程度、高一致性、高生产率和低耗能、低耗材的要求,因此模具工业在制造业中的地位越来越重要。模具技术已成为衡量一个国家产品制造水平的重要标志之一。

根据国内各模具企业对模具人才的要求和职业院校的教学实践,我们编写了本书。本书结合模具设计与制造专业的培养目标,在编写中力求内容全面,反映国内外较成熟的制造方法,同时增加部分先进技术内容,使学生了解和掌握国内模具行业的技术水平和模具制造技术,为合理设计模具结构以及正确选择模具制造方法打下必要的基础。在编写时,我们对传统的教材结构进行了调整,将《模具材料与热处理》、《机械基础》、《机械制造工艺学》、《模具制造工艺学》等独立的课程进行了有机的整合,取材有详有略,突出综合性,突出理论与实践相结合。使用时,可以按照实际的需要进行取舍,这样既可以满足模具专业教学的需要,又可以减少课程数量,压缩理论教学,保证实践环节的教学时间。

全书以模具制造基础和现代模具加工方法为主线,重点突出基础性和实用性,较全面系统地阐述了模具制造的基本原理、特点和加工工艺。全书共分4篇15章,主要内容包括:模具材料与热处理、模具常用零件、模具制造工艺基础、模具零件加工及装配等。既有传统制造技术的基本知识,也有新技术、新知识的介绍。在编写中,尽量从够用角度出发进行详细的叙述,力求教材内容的充实。书中的名词术语、计量单位、材料牌号、技术标准均采用现行的国家标准。

本书由台州市黄岩区机械模具职业学校罗云富主编;台州市路桥区中盛塑料厂总工程师郑玉英副主编;台州市黄岩区机械模具职业学校张欣、童锋、邬仁期,台州市路桥区蓬街私立中学陈红参编;陕西国防工业职业技术学院甄瑞麟教授主审。全书由罗云富统稿。

本书在编审过程中得到浙江宏振机械模具集团有限公司、台州市西得机械模具有限公司、台州市黄岩区机械模具职业学校领导、工程技术人员、相关老师的大力支持,并提出了很多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢!

本书既可作为职业教育三年制(或二年制、五年制)模具设计与制造专业的教材,也可供从事模具设计与制造的技术人员参考。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者给予批评指正。

编者

目 录

第1篇 模具材料与热处理

第1章 模具材料的性能	1
1.1 模具材料的物理性能	1
1.2 模具材料的化学性能	1
1.3 模具材料的力学性能	2
1.4 模具材料的工艺性能	6
第2章 常用模具材料	7
2.1 碳素钢	7
2.2 合金钢	8
2.3 铸铁	11
2.4 有色金属及合金	12
2.5 硬质合金	13
2.6 模具零件的失效与寿命	14
第3章 模具材料的热处理	15
3.1 退火与正火	16
3.2 淬火	16
3.3 回火	17
3.4 表面热处理	18
3.5 典型零件热处理分析	19
3.6 热处理缺陷与预防措施	19

第2篇 模具常用零件简介

第4章 机械传动	22
4.1 螺纹传动	22
4.2 齿轮传动	27
4.3 直齿圆柱齿轮的主要参数和几何尺寸计算	29
4.4 渐开线齿轮的啮合特点	31
4.5 其他齿轮传动简介	32
4.6 齿轮的根切、最少齿数、精度和失效	34
4.7 蜗杆传动	37
4.8 带传动和链传动	40
4.9 轮系	46
第5章 常用机构	48
5.1 平面连杆机构	48

5.2	凸轮机构	53
5.3	变速机构和变向机构	55
第6章	轴系零件	60
6.1	键连接和销连接	60
6.2	轴	63
6.3	轴承	65
6.4	联轴器、离合器和制动器	69
第7章	液压传动	74
7.1	液压传动的基本知识	74
7.2	液压元件	78
第3篇 模具制造工艺基础		
第8章	毛坯的加工	95
8.1	铸造	95
8.2	锻压	95
8.3	焊接	99
第9章	车削加工	101
9.1	概述	101
9.2	车床与车削	101
9.3	车圆锥	103
9.4	车刀基本知识	104
9.5	车床常用附件	108
9.6	螺纹加工	110
第10章	刨削、铣削、磨削	112
10.1	刨削加工	112
10.2	铣削加工	114
10.3	磨削加工	117
第11章	钳工	124
11.1	概述	124
11.2	钳工知识及锉削操作	124
11.3	划线及锯切操作	128
11.4	錾削与钻削操作	131
11.5	攻丝、套扣装配	134
第12章	特种加工	136
12.1	电火花加工	136
12.2	电火花线切割加工	143
第13章	模具加工工艺过程	147
13.1	工艺基本概念	147
13.2	工件的装夹和基准选择	152
13.3	加工工艺的拟定	156

第4篇 模具零件的加工和装配

第14章 典型模具零件的加工	160
14.1 冲模模架的加工	160
14.2 注射模模架的加工	165
14.3 冷冲模的凸模加工	169
14.4 凹模型孔加工	175
14.5 型腔加工	179
第15章 模具装配工艺	187
15.1 装配尺寸链	187
15.2 装配方法及其应用范围	188
15.3 冲模的装配	190
15.4 塑料模的装配	196
参考文献	206

第1篇 模具材料与热处理

第1章 模具材料的性能

模具材料具有良好的使用性能和工艺性能。所谓使用性能是指模具材料在使用过程中表现出来的性能，包括力学性能、物理性能、化学性能。所谓工艺性能是指模具材料在各种加工过程中所表现出来的性能，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。

1.1 模具材料的物理性能

① 密度 材料的密度是指单位体积中材料的质量，常用符号 ρ 表示。不同的材料其密度不同，一般将密度小于 4.5g/cm^3 的金属称为轻金属，密度大于 4.5g/cm^3 的金属称为重金属。抗拉强度 σ_b 与密度 ρ 之比称为比强度；弹性模量 E 与密度 ρ 之比称为比弹性模量，两者也是某些模具零件选材时考虑的重要性能指标。

② 熔点 是指材料的熔化温度。金属及合金是晶体，都有固定的熔点。合金的熔点取决于它的化学成分。按照熔点的高低，可将模具材料分为易熔金属和难熔金属两类，易熔金属如 Sn、Pb 等；难熔金属如 W、Mo、V 等。

③ 热膨胀性 材料随温度变化而出现膨胀和收缩的现象称为热膨胀性。一般来说，材料受热时膨胀，而冷却时收缩。材料的热膨胀性通常用线胀系数 α_L 来表示，它表示每变化 1°C 时引起的材料相对膨胀量的大小。对精密模具来说，线胀系数是一个非常重要的性能指标；在异种模具材料的焊接过程中，会因为材料的线胀系数相差过大而使焊件产生焊接变形或破坏。

④ 导电性 材料传导电流的能力称为导电性，一般用电阻率表示。通常模具材料的电阻率随温度的升高而增加，模具材料一般具有良好的导电性。

⑤ 导热性 材料传导热量的能力称为导热性，一般用热导率（也称为导热系数） λ 表示，其单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。材料的热导率越大，则导热性越好。一般来说，模具材料越纯，其导热性越好。

1.2 模具材料的化学性能

① 耐腐蚀性 是指材料抵抗介质侵蚀的能力，材料的耐蚀性常用每年腐蚀深度（渗蚀度） K_a ($\text{mm}/\text{年}$) 表示。一般非模具材料的耐腐蚀性比模具材料高得多。提高材料的耐腐蚀性的方法很多，如均匀化处理、表面处理等都可以提高材料的耐腐蚀性。

② 抗氧化性 材料在加热时抵抗氧化作用的能力称为抗氧化性。模具及其合金的抗氧化机理是模具材料在高温下迅速氧化后，可在其表面形成一层连续而致密并与母体结合牢固

的氧化薄膜,阻止模具材料的进一步氧化。

③ 化学稳定性 是材料的耐腐蚀性和抗氧化性的总称,高温下的化学稳定性又称为热稳定性。

1.3 模具材料的力学性能

材料受力后就会产生变形,材料力学性能是指材料在受力时的行为。描述材料变形行为的指标是应力 σ 和应变 ϵ , σ 是单位面积上的作用力, ϵ 是单位长度的变形,它是机械零件设计和选材的主要依据。常用的力学性能有:强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度等。

(1) 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗变形或断裂的能力。由于所受载荷的形式不同,模具材料的强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。各种强度间有一定的联系,而抗拉强度是最基本的强度指标。

材料受外力时,其内部产生了大小相等方向相反的内力,单位横截面积上的内力称为应力,用 σ 表示。通过拉伸试验可以测出材料的强度指标。模具材料的强度是用应力值来表示的。从拉伸曲线可以得出三个主要的强度指标:弹性极限、屈服强度和抗拉强度。

① 弹性极限 材料产生完全弹性变形时所承受的最大应力值,用符号 σ_e 表示

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \text{ MPa}$$

式中 F_e ——试样产生完全弹性变形的最大载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

② 屈服强度(屈服点) 材料产生屈服现象时的最小应力值,用符号 σ_s 表示

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \text{ MPa}$$

式中 F_s ——试样产生屈服的最小载荷, N。

有些模具材料,如高碳钢、铸铁等,在拉伸试验中没有明显的屈服现象。所以国标中规定,以试样的塑性变形量为试样标距长度的0.2%时的应力作为屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \text{ MPa}$$

式中 $F_{0.2}$ ——试样塑性变形量为标距长度的0.2%时的载荷, N。

③ 抗拉强度 材料断裂前所能承受的最大应力值,用符号 σ_b 表示

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \text{ MPa}$$

式中 F_b ——试样断裂前所承受的最大载荷, N。

弹性极限是弹性元件(如弹簧)设计和选材的主要依据。绝大多数机械零件(如紧固螺栓)在工作中不允许产生明显的塑性变形,所以屈服强度是设计和选材的主要依据。抗拉强度表示材料抵抗断裂的能力,脆性材料没有屈服现象,则常用 σ_b 作为设计依据。

(2) 塑性

塑性是指模具材料在载荷作用下,产生塑性变形而不破坏的能力。模具材料的塑性也是通过拉伸试验测得的。常用的塑性指标有伸长率和断面收缩率。

① 伸长率 试样拉断后标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比,用符号 δ 表

示,即

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_0 ——试样原始标距长度, mm;

l_k ——试样拉断后的标距长度, mm。

长试样和短试样的伸长率分别用 δ_{10} 和 δ_5 表示, 习惯上 δ_{10} 也常写成 δ 。伸长率的大小与试样的尺寸有关, 对于同一材料, 短试样测得的伸长率大于长试样的伸长率, 即 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。因此, 在比较不同材料的伸长率时, 应采用相同尺寸规格的标准试样。

② 断面收缩率 试样拉断后, 缩颈处横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比, 用符号 ψ 表示, 即

$$\psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_k ——试样拉断处的最小横截面积, mm^2 。

断面收缩率与试样尺寸无关, 因此能更可靠地反映材料的塑性。材料的伸长率和断面收缩率愈大, 则表示材料的塑性愈好。塑性好的材料, 如铜、低碳钢, 容易进行轧制、锻造、冲压等, 塑性差的材料, 如铸铁, 不能进行压力加工, 只能用铸造方法成形。而且用塑性较好的材料制成的模具零件, 在使用中万一超载, 能产生塑性变形而避免突然断裂, 增加了安全可靠性。因此, 大多数模具零件除要求具有较高的强度外, 还必须有一定的塑性。

(3) 硬度

硬度是材料表面抵抗局部塑性变形、压痕或划裂的能力, 它表示金属体内抵抗变形或破裂的能力, 是重要的力学性能指标。材料的硬度与强度之间有一定的关系, 根据硬度可以大致估计材料的强度。因此, 在模具设计中, 零件的技术条件往往标注硬度。热处理生产中也常以硬度作为检验产品是否合格的主要依据。

硬度是通过硬度试验测得的。硬度试验方法简单、迅速, 不需要专门的试样, 也不会损坏工件, 因此在生产和科研中得到广泛应用。测定硬度的方法很多, 常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度试验方法。

① 布氏硬度 布氏硬度的测定是在布氏硬度机上进行的, 其试验原理如下: 用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球做压头, 在试验力 F 的作用下压入被测金属表面, 保持规定的卸除试验力, 则在金属表面留下一压坑 (压痕), 用读数显微镜测量其压痕直径 d , 求出压痕表面积, 用试验力 F 除以压痕表面积 S 所得的商作为被测金属的布氏硬度值, 用符号 HB 表示

$$HB = \frac{F}{S} \quad \text{MPa}$$

式中 F ——试验力, N;

S ——压痕表面积, mm^2 。

布氏硬度值可通过上式计算求得, 但在实际应用中, 常根据压痕直径 d 的大小直接查布氏硬度表得到硬度值。

用淬火钢球作压头测得的硬度用符号 HBS 表示, 适合于测量布氏硬度值小于 450 的材料; 用硬质合金球作压头测得的硬度用符号 HBW 表示, 适合于测量布氏硬度值 450~650 的材料。在硬度标注时, 硬度值写在硬度符号的前面, 例如 120HBS, 表示用淬火钢球作压头测得材料的布氏硬度值为 120。我国目前布氏硬度机的压头主要是淬火钢球, 故主要用来

测定灰铸铁、有色金属以及经退火、正火和调质处理的钢材等的硬度。

布氏硬度压痕大，试验结果比较准确。但较大压痕有损试样表面，不宜用于成品件与薄件的硬度测试，而且布氏硬度整个试验过程较麻烦。

② 洛氏硬度 洛氏硬度的测定在洛氏硬度机上进行。与布氏硬度试验一样，洛氏硬度也是一种压入硬度试验，但它不是测量压痕面积，而是测量压痕的深度，以深度大小表示材料的硬度值。用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬火钢球作压头，先加初载荷，再加主载荷，将压头压入金属表面，保持一定时间后卸除主载荷，根据压痕的残余深度确定硬度值。硬度值用符号 HR 表示，

$$\text{HR} = K - \frac{h}{0.002}$$

式中 h ——压痕的残余深度，mm；

K ——常数（用金刚石压头， $K=100$ ；淬火钢球作压头， $K=130$ ）。

为了能在同一洛氏硬度机上测定从软到硬的材料硬度，采用了由不同的压头和载荷组成的几种不同的洛氏硬度标尺，并用字母在 HR 后加以注明，常用的洛氏硬度是 HRA、HRB 和 HRC 三种。表示洛氏硬度时，硬度值写在硬度符号的前面。便如，50 HRC 表示用标尺 C 测得的洛氏硬度值为 50。

洛氏硬度试验操作简便迅速，可直接从硬度机表盘上读出硬度值。压痕小，可直接测量成品或较薄工件的硬度。但由于压痕较小，测得的数据不够准确，通常应在试样不同部位测定三点取其算术平均值。

③ 维氏硬度 维氏硬度试验原理基本上与布氏硬度相同，也是根据压痕单位面积上的载荷大小来计算硬度值。所不同的是采用相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石作压头。试验时，用选定的载荷 F 将压头压入试样表面，保持规定时间后卸除载荷，在试样表面压出一个四方锥形压痕，测量压痕两对角线长度，求其算术平均值，用以计算出压痕表面积，以压痕单位面积上所承受的载荷大小表示维氏硬度值，用符号 HV 表示，维氏硬度适用范围宽（5~1000 HV），可以测从极软到极硬材料的硬度，尤其适用于极薄工件及表面薄硬层的硬度测量（如化学热处理的渗碳层、渗氮层等），其结果精确可靠。缺点是测量较麻烦，工作效率不如洛氏硬度高。各种硬度间没有理论的换算关系，但可通过查 GB 1172—74 几种常用硬度换算表进行近似换算。

（4）冲击韧度

强度、塑性、硬度都是在缓慢加载即静载荷下的力学性能指标。实际上，许多模具零件常在冲击载荷作用下工作。所谓冲击载荷是指以很快的速度作用于零件上的载荷。对承受冲击载荷的零件，不但要求有较高的强度，而且要求有足够的抵抗冲击载荷的能力。

模具材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力称为冲击韧度。材料的冲击韧度值通常采用摆锤式一次冲击试验进行测定。冲击试验是在摆锤式冲击试验机上进行的，其试验原理如图 1-1 所示。

将带有缺口的标准冲击试样安放在冲击试验机的支座上，试样缺口背向摆锤冲击方向。把质量为 m 的摆锤从一定高度 h_1 落下，将试样冲断，冲断后，摆锤继续升到 h_2 的高度。摆锤冲断试样所消耗的能量称为冲击吸收功，用符号 A_{KU} 表示。冲击吸收功可从冲击试验机刻度盘上直接读出。将冲击吸收功除以试样缺口底部横截面积，即得到冲击韧度值，冲击韧度用符号 α_{KU} 表示

$$\sigma_{KU} = \frac{A_{KU}}{S} \quad \text{J/cm}^2$$

式中 S ——试样缺口底部横截面积, cm^2 ;

A_{KU} ——冲击吸收功, J 。

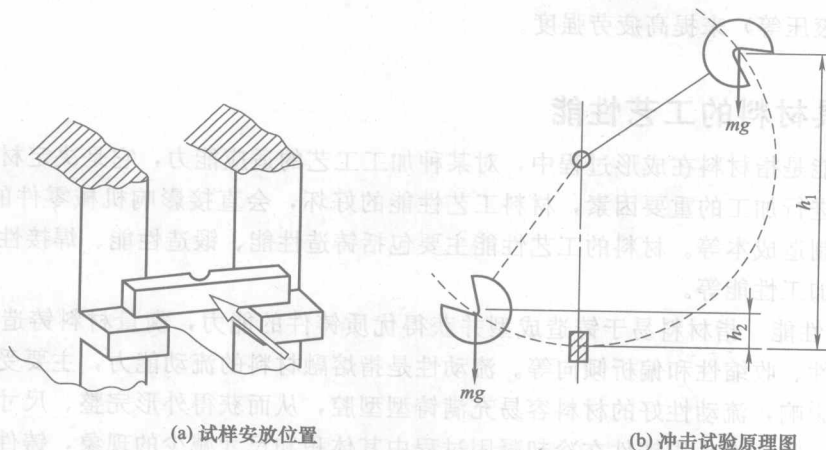


图 1-1 摆锤式冲击试验原理示意图

冲击韧度值 A_{KU} 愈大, 表明材料韧性愈好。实际上 A_{KU} 值的大小就代表了材料韧性的高低, 故目前国际上许多国家直接用冲击吸收功作为冲击韧度的指标。冲击韧度值是在大能量一次冲断试样条件下测得的性能指标。但实际生产中许多模具零件很少是受到大能量一次冲击而断裂, 多数是在工作时承受小能量多次冲击后才断裂。材料在多次冲击下的破坏过程是裂纹产生和扩展的过程, 是每次冲击损伤积累发展的结果, 它与一次冲击有着本质的区别。

(5) 疲劳强度

许多模具零件都是在交变应力 (即应力的方向、大小、方向随时间作周期性变化) 下工作。虽然应力通常低于材料的屈服强度, 但零件在交变应力作用下长时间工作, 也会发生断裂, 这种现象称为疲劳断裂。疲劳断裂事先没有明显的塑性变形, 断裂是突然发生的, 很难事先觉察到, 因此具有很大的危险性, 常常造成严重事故。

通过疲劳试验可测得材料所承受的交变应力 σ 与断裂前的应力循环次数 N 之间的关系曲线, 称为疲劳曲线, 如图 1-2 所示, 应力值愈低, 断裂前应力循环次数愈多, 当应力低于某一数值时, 曲线与横坐标平行, 表明材料可经受无数次应力循环而不断裂。表示材料经受无数次应力循环而不破坏的最大应力称为疲劳强度。对称循环应力的疲劳强度用 σ_{-1} 表示。工程上规定, 钢铁材料应力循环次数达到 10^7

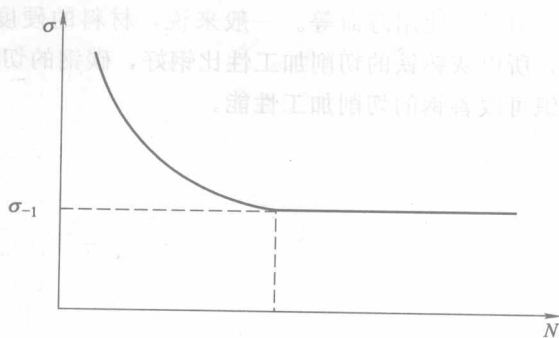


图 1-2 钢铁材料的疲劳曲线

次, 有色金属应力循环次数达到 10^8 次时, 不发生断裂的最大应力作为材料的疲劳强度。经测定, 钢的 σ_{-1} 只有 σ_b 的 50% 左右。

疲劳断裂的过程，往往是在零件的表面，有时也可能在零件的内部某一薄弱部位产生裂纹，在交变应力作用下，裂纹不断扩展，使材料的有效承载截面不断减小，最后产生突然断裂。提高疲劳强度的方法很多，如设计时，尽量避免尖角、缺口和截面突变，可避免应力集中引起的疲劳裂纹；还可以通过降低表面粗糙度和采用表面强化的方法（如表面淬火、喷丸处理、表面滚压等）来提高疲劳强度。

1.4 模具材料的工艺性能

工艺性能是指材料在成形过程中，对某种加工工艺的适应能力，它是决定材料能否进行加工或如何进行加工的重要因素，材料工艺性能的好坏，会直接影响机械零件的工艺方法、加工质量、制造成本等。材料的工艺性能主要包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能、切削加工性能等。

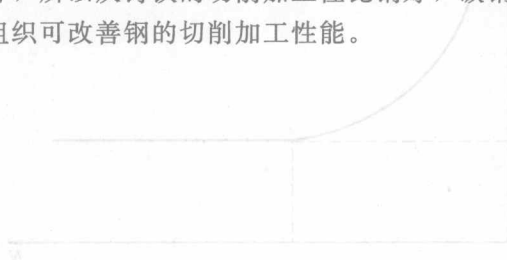
① 铸造性能 指材料易于铸造成型并获得优质铸件的能力，衡量材料铸造性能的指标主要有流动性、收缩性和偏析倾向等。流动性是指熔融材料的流动能力，主要受化学成分和浇注温度的影响，流动性好的材料容易充满铸型型腔，从而获得外形完整、尺寸精确、轮廓清晰的铸件；收缩性是指铸件在冷却凝固过程中其体积和尺寸减少的现象，铸件收缩不仅影响其尺寸，还会使铸件产生缩孔、疏松、内应力、变形和开裂等缺陷；偏析是指铸件内部化学成分和显微组织的不均匀现象，偏析严重的铸件其各部分的力学性能会有很大差异，降低产品质量。

② 锻造性能 是指材料是否容易进行压力加工的性能。它取决于材料的塑性和变形抗力的大小，材料的塑性越好，变形抗力越小，材料的锻造性能越好。如纯铜在室温下有良好的锻造性能；碳钢的锻造性能优于合金钢；铸铁则不能锻造。

③ 焊接性能 是指材料是否易于焊接并能获得优质焊缝的能力。碳钢的焊接性能主要取决于钢的化学成分，特别是钢的碳含量影响最大。低碳钢具有良好的焊接性能，而高碳钢、铸铁等材料的焊接性能较差。

④ 热处理性能 是指材料进行热处理的难易程度。热处理可以提高材料的力学性能，充分发挥材料的潜力。

⑤ 切削加工性能 是指材料接受切削加工的难易程度，主要包括切削速度、表面粗糙度、刀具的使用寿命等。一般来说，材料的硬度适中（180~220HBS）其切削加工性能良好，所以灰铸铁的切削加工性比钢好，碳钢的切削加工性比合金钢好。改变钢的成分和显微组织可改善钢的切削加工性能。



硬度与切削加工性能的关系图

第2章 常用模具材料

2.1 碳素钢

碳素钢：含碳质量分数小于2.11%而不含有特意加入合金元素的钢，称为碳素钢。

(1) 碳素钢的分类

① 按钢的含碳质量分数分类

低碳钢，含碳质量分数 $W_C \leq 0.25\%$ ；

中碳钢，含碳质量分数 $W_C = 0.25\% \sim 0.60\%$ ；

高碳钢，含碳质量分数 $W_C \geq 0.6\%$ 。

② 按钢的质量分类 根据钢中含有害元素磷、硫质量分数划分：

普通碳素钢， $W_S \leq 0.050\%$ ， $W_P \leq 0.045\%$ ；

优质钢， $W_S \leq 0.035\%$ ， $W_P \leq 0.035\%$ ；

高级优质钢， $W_S \leq 0.025\%$ ， $W_P \leq 0.025\%$ 。

③ 按用途分类

碳素结构钢：用于制造各种机械零件和工程结构件，这类钢一般属于低碳、中碳钢。

碳素工具钢：用于制造各种刀具、量具和模具，这类钢一般属于高碳钢。

④ 按脱氧方法分类

沸腾钢：不完全脱氧。

镇静钢：完全脱氧。

半镇静钢：介于沸腾钢和镇静钢之间。

在实际使用中，钢厂在给钢的产品命名时，往往将成分、质量和用途三种分类方法结合起来，如将钢称为优质碳素结构钢、高级优质碳素工具钢等。

(2) 碳素结构钢

根据质量可分为普通碳素结构钢和优质碳素结构钢。

a. 普通碳素结构钢

牌号：普通碳素结构钢的牌号由“Q”（表示屈服点的汉语拼音字首）、一组数据（表示屈服强度，单位MPa）、质量等级符号（质量分A、B、C、D四个等级）和脱氧方法符号（F为沸腾钢、b为半镇静钢、Z为镇静钢、TZ为特殊镇静钢，通常Z、TZ可省略）四个部分按顺序组成。例如Q235-A·F表示脱氧方法为沸腾钢、质量等级为A级、屈服强度为235MPa的普通碳素结构钢。

用途：碳素结构钢Q195、Q215、Q235塑性好、焊接性好、强度较低，主要用于工程结构和制造受力不大的机器零件；Q255、Q275的强度较高，可用于制作受力中等的普通零件。

b. 优质碳素结构钢

牌号：优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示，这两位数字代表钢的平均含碳质量分数的万分之一。例如45表示平均含碳质量分数为0.45%的优质碳素结构钢。按照钢中锰的含

量不同,可分为普通含锰量钢($W_{Mn} \leq 0.80\%$)和较高含锰量钢($W_{Mn} = 0.7\% \sim 1.2\%$)两种,如果是后一种钢,则在两位数字后面加上 Mn,如 45Mn 表示平均含碳质量分数为 0.45% 的较高锰优质碳素结构钢。

用途:优质碳素结构钢既保证力学性能又保证化学成分,而且钢中的有害杂质硫、磷质量分数较低,质量较高,故广泛用于制造较重要的零件。

(3) 碳素工具钢

由于碳素结构钢要求高硬度和高耐磨性,故工具钢含碳质量分数都在 0.7% 以上,都是优质钢和高级优质钢。

牌号:以汉语拼音字母“T”后面加阿拉伯数字表示,其数字表示钢中平均含碳质量分数的千分之几。例如 T8 表示含碳质量分数为 0.80% 的碳素工具钢。若为高级优质碳素工具钢,则在牌号后面标以字母 A,如 T12A 表示平均含碳质量分数为 1.20% 的高级优质碳素工具钢。

用途:主要用于制造刀具、模具、量具以及其他工具。

2.2 合金钢

合金钢:为了改善钢的性能,特意加入其他合金元素的钢。常用的合金元素有硅、锰、铬、镍、钨、钼、钴、铅、钛和稀土金属等。

(1) 合金钢的分类

① 按用途分类

a. 合金结构钢 可分为机械制造用钢和工程结构用钢等,主要用于制造各种机械零件、工程结构件等。

b. 合金工具钢 可分为刀具钢、模具钢、量具钢三类,主要用于制造刀具、模具、量具等。

c. 特殊性能钢 可分为抗氧化用钢、不锈钢、耐磨钢、易切削钢等。

② 按合金元素含量分类

a. 低合金钢 合金元素的总含量在 5% 以下。

b. 中合金钢 合金元素的总含量在 5%~10%。

c. 高合金钢 合金元素的总含量在 10% 以上。

③ 其他分类方法 除上述分类方法外,还有许多其他的分类方法,如按工艺特点可分为铸钢、渗碳钢、易切削钢等;按质量可以分为普通质量钢、优质钢和高级质量钢,其区别主要在于钢中所含有害杂质(S、P)的多少。

(2) 合金结构钢

合金结构钢按用途可分为:低合金结构钢和机械制造用钢两大类。

牌号:合金结构钢的牌号采用两位数字(表示平均含碳质量分数万分之几)+元素符号(表示钢中含有主要合金元素)+数字(表示合金元素含量,凡合金元素含量 $<1.5\%$ 时不标出;如果平均含量为 1.5%~2.5%时,则标为 2;如果平均含量为 2.5%~3.5%时标为 3;以此类推)。

① 低合金结构钢 低合金结构钢虽然是一种低碳、低合金的钢,但具有高的屈服强度和良好的塑性和韧性,具有良好的焊接性和一定的耐蚀性,因此广泛用于桥梁、船舶、车辆

等领域。

② 机械制造用钢

a. 合金渗碳钢 指用于制造渗碳零件的钢。合金渗碳钢的含碳质量分数 $W_C = 0.10\% \sim 0.25\%$ ，加入合金元素主要有铬 ($W_{Cr} < 2\%$)、镍 ($W_{Ni} < 4\%$)、锰 ($W_{Mn} < 2\%$) 等，经过渗碳后，再进行淬火+低温回火，从而达到表面高硬度、高耐磨性和心部高强度并有足够韧性。20CrMnTi 是应用最广泛的合金渗碳钢。

b. 合金调质钢 一般指经过调质处理（淬火+高温回火）后使用的合金结构钢，合金调质钢的基本性能是具有良好的综合力学性能。合金调质钢的含碳质量分数一般在 $0.25\% \sim 0.50\%$ ，主要加有铬、镍、锰、硅等合金元素，以增加淬透性，同时还能起固溶强化作用。

用途：用于制造重载作用下同时承受冲击载荷作用的一些重要零件。一般的热处理方法是淬火后高温回火，如果除要求材料具有良好的综合力学性能外还要求表面层有良好的耐磨性，对调质处理零件还要进行表面淬火及低温回火处理。

c. 合金弹簧钢

定义：合金弹簧钢是用于制造各种弹簧的专用合金结构钢。

基本性能：是具有高的弹簧极限、高疲劳强度，足够的塑性和韧性，良好的表面质量。合金弹簧钢的含碳质量分数一般在 $0.5\% \sim 0.7\%$ 之间。

用途：合金弹簧钢主要适用于各种机构和仪表、弹性元件。

热处理方法：淬火后进行中温回火处理。

d. 滚动轴承钢

定义：滚动轴承钢是制造各种滚动轴承的滚动体和内外套圈的专用钢。

基本性能：是具有高的接触疲劳强度、高硬度和高耐磨性，高的弹性极限和一定的冲击韧性，并有一定的抗蚀性。

用途：常用于制造刀具、冷冲模具、量具以及性能要求与滚动轴承相似的零件。

热处理方法：球化退火、淬火和低温回火。

牌号：为表示钢的用途，在钢号前冠以汉语拼音 G，而不标出含碳质量分数，铬的含量用千分之几表示，其余元素含量仍与其他合金结构钢表示方法相同。如 GCr15 表示为含铬质量分数为 1.5% 的滚动轴承钢。GCr15SiMn 表示含铬质量分数为 1.5% ，含硅、锰质量分数均小于 1.5% 的滚动轴承钢。

(3) 合金工具钢

定义：合金工具钢是在碳素工具钢的基础上，为改善性能，再加入适量的合金元素的钢。

基本性能：比碳素工具钢具有更高硬度、耐磨性、更好的淬透性、红硬性和回火稳定性等。

用途：可以制造截面大、形状复杂、性能要求高的工具。

分类：合金工具钢按用途可分为刀具钢、模具钢和量具钢。

牌号：一位数字（表示平均含碳质量分数的千分数）+元素符号（表示钢中含有主要合金元素）+数字（表示合金元素含量，表示方法与合金结构钢相同）。如 9SiCr 表示其中平均含碳质量分数为 0.9% ，Si、Cr 的质量分数都小于 1.5% 的合金工具钢。

① 合金刀具钢

a. 低合金刀具钢

定义：低合金刀具钢是在碳素钢的基础上加入少量合金元素（一般为3%~5%）形成的钢。

基本性能：硬度、耐磨性、强度和淬透性都比碳素工具钢好。

用途：主要适宜于制造形状复杂、尺寸较大、切削用量较大的刀具，如车刀、刨刀、钻头、铰刀等。

常用热处理的方法：球化退火、淬火加低温回火。

b. 高速钢

定义：高速钢是一种红硬性、耐磨性较高的高合金工具钢。

基本性能：红硬性高达600℃，有高的强度、硬度、耐磨性和淬透性。

用途：主要适宜于制造切削速度较高的刀具（如车刀、钻头等）和形状复杂、负载较重的成形刀具（如铣刀、拉刀等）。此外高速钢还可用于制造冷冲模、冷挤压模以及某些耐磨零件。常用的高速钢有钨系高速钢，如W18Cr4V；钼系高速钢，如W6Mo5Cr4V2等。

② 合金模具钢

定义：主要用来制造各种模具的钢称为模具钢。

a. 冷变形模具钢 用于制造冷态金属成形的钢称为冷变形模具钢。如冷冲模、冷压模等。冷变形模具钢的性能特点是高的硬度和高耐磨性，具有足够的强度、韧性和疲劳强度。常用的冷变形模具钢有9SiCr、Cr12和Cr12MoV等。

b. 热变形模具钢 用于制造使金属在高温下成形的模具。如热锻模、压铸模等。性能特点是在高温下能保持足够的强度、韧性和耐磨性，以及较高的抗热疲劳性和导热性。其最终热处理一般为淬火后中温或高温回火。目前常采用5CrMnMo和5CrNiMo制作热锻模，采用了3Cr2W8制作热挤压模等。

③ 合金量具钢

定义：合金量具钢是用于制造测量工具（如游标卡尺、千分尺、塞规、量规等）的钢。

主要性能：高硬度、高耐磨性、高的尺寸稳定性和足够的韧性。一般采用微变形钢制造精度要求较高的量具，如CrWMn、CrMn、GCr15等。一般的量具可以用碳素工具钢、合金工具钢和滚珠轴承钢来制造。

(4) 特殊性能钢

定义：特殊性能钢是指具有特殊物理、化学性能的钢。

① 不锈钢耐酸钢 是指在腐蚀介质中具有高的抗腐蚀能力的钢，又称为不锈钢。常用的不锈钢主要有铬不锈钢和铬镍不锈钢。

a. 铬不锈钢

用途：铬不锈钢主要用于制造在海水、蒸汽、酸性环境下工作的零件。

常见牌号：1Cr13、2Cr13、3Cr13和4Cr13，常称为Cr13型不锈钢。

常用的热处理方法：淬火+低温回火。

用途：1Cr13、2Cr13适于制造汽轮机叶片、水压机阀等。3Cr13、4Cr13适于制造弹簧、医疗器械及在弱腐蚀条件下工作而要求高强度的耐蚀零件。

b. 铬镍不锈钢

定义：铬镍不锈钢主要用于制造在强腐蚀介质（硝酸、磷酸、有机酸及碱水溶液等）中工作的设备。

常见的牌：0Cr18Ni9、1Cr18Ni9。