



高职高专“十二五”规划教材



机械制造基础

JIXIE ZHIZAO JICHU

主 编 肖 龙

- 掌握概念，强化应用
- 以“工学结合”为切入点，以项目教学和工作过程为导向
- 增加大量的相关实验，培养实际操作能力
- 引入纳米技术等内容，拓展学生的专业知识

上海科学技术出版社



高职高专“十二五”规划教材

东莞职业技术学院图书馆



A00453403

机械制造基础

JIXIE ZHIZAO JICHU

主 编 肖 龙



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础 / 肖龙主编. —上海:上海科学技术出版社, 2012. 8

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5478-0766-8

I. ①机… II. ①肖… III. ①机械制造—高等职业教育—教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 055346 号

333875

上海世纪出版股份有限公司
上海科学技术出版社 出版、发行

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 15.5

字数: 360 千字

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-0766-8/TG·35

定价: 32.80 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向承印厂联系调换

本书结合“基于工作过程”的教学方法,系统地介绍了材料的性能、结构,钢铁零件的热处理,工程材料的选择,机械零件的铸造、锻压、焊接等成形工艺方面的基本原理和基础知识,以及典型零件的选材方法。同时,结合高职院校人才培养要求和学生自身特点,项目中设有学习目标,课后配有思考与练习,突出实验比重,注重理论与实践的结合,增强学生的实际操作能力。

本书可作为高职高专和本科少学时机械类和近机械类专业的教材,也可供有关技术人员参考。

配套电子课件下载说明

本书按其主要内容编制了各项目课件,在上海科学技术出版社网站公布,欢迎读者登录 www.sstp.cn/pebooks/download/ 浏览、下载。

作者名单

Authors

机械制造基础

主 编 肖 龙

副主编 张 娜

参 编 邵 堃 徐 婉 靳兆文

本书在编写过程中,针对高职高专教育的特色,在总结各院校近年来高职高专数控技术及相关专业教育经验的基础上,吸取了各院校的教改经验和成果。本书在编写上有以下特点:

(1) 遵循高职高专“必需、够用、发展”的教育特点,以掌握概念、强化应用为教学重点的原则,教材内容选择和体系构建适应高职高专的教学需求,体现高职高专特色。

(2) 根据职业岗位的需求,以“工学结合”为切入点,以项目教学和工作过程为导向,采用以项目代替传统章节的编写方法,每一项目划分为若干个任务,学生通过把握学习目标,完成学习任务和课后习题,系统全面地掌握知识和技能。

(3) 为加强学生全面分析和解决实际工程问题的能力,培养实际操作能力,增加了大量的相关实验。

(4) 在传统教学内容的基础上,引入纳米技术和锻压工艺等相关先进技术,拓展学生的专业知识。

(5) 在文字表述上,力求准确、通俗、简洁。

本书由河南职业技术学院副院长肖龙教授任主编,河南职业技术学院张娜任副主编。参加本书编写的有:肖龙(项目一、项目七、附录),河南职业技术学院邵堃(项目二)、张娜(项目三、项目四),南京化工职业技术学院徐婉(项目五)、靳兆文(项目六)。全书由肖龙教授统稿、定稿。

在编写本书过程中,得到了相关单位和有关同志的大力支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不足和错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

项目一 零件的材料性质与结构	1	三、钢的退火与正火	54
任务一 工程材料的分类及性能	1	四、钢的淬火	56
一、强度与塑性	1	五、淬火钢的回火	61
二、硬度	4	六、钢的表面热处理	64
三、冲击韧性	6	七、热处理零件的结构	
四、疲劳强度	9	工艺性	69
任务二 金属材料的结构	10	任务二 钢的热处理及性能分析	
一、纯金属的晶体结构	11	实验	73
二、合金的晶体结构	13	一、实验原理	73
三、实际金属的晶体结构	15	二、实验设备、材料	76
四、纯金属的结晶	17	三、实验内容	76
五、合金的结晶	19	任务三 钢的淬透性测定实验	77
六、铁碳合金的基本相	21	一、实验原理	77
七、铁碳合金相图	22	二、实验设备、材料	79
八、碳素钢	29	三、实验内容	79
任务三 金属材料的硬度测定		项目三 工程材料的选择	81
实验	35	任务一 钢和铸铁的选择	81
一、实验原理	35	一、合金钢	81
二、实验设备、材料	39	二、常用合金钢	85
三、实验内容	40	三、铸铁	104
任务四 金相试样的制备实验	40	任务二 有色金属及其合金的选择	111
一、实验原理	41	一、铝及铝合金	111
二、实验设备、材料	44	二、铜及铜合金	116
三、实验内容	44	三、滑动轴承合金	119
项目二 钢铁零件的热处理	45	四、粉末冶金与硬质合金	123
任务一 金属材料的热处理	45	任务三 非金属材料、复合材料与纳米	
一、钢在加热时的转变	46	材料的选择	126
二、钢在冷却时的转变	48	一、高分子材料	126

二、陶瓷材料	136	三、锻造成形	188
三、复合材料	138	四、板料冲压	198
四、纳米材料	143	五、锻压新工艺简介	200
任务四 铸铁、铜合金、铝合金的显微组织分析实验	148	项目六 金属材料的焊接成形	205
一、实验原理	148	一、焊接成形工艺基础	205
二、实验设备、材料	151	二、常用的焊接方法	210
三、实验内容	151	三、常用金属材料的焊接	219
任务五 金属材料的火花鉴别实验	152	项目七 机械零件的选材与工艺路线的制订	225
一、实验原理	152	任务一 机械零件的毛坯选择	225
二、实验设备、材料	155	一、机械零件的失效形式	225
三、实验内容	155	二、选用材料的一般原则	227
项目四 机械零件的铸造成形	156	任务二 制订典型零件的工艺路线	231
一、砂型铸造	157	一、热处理的技术条件和工序位置	231
二、合金的铸造性能	164	二、典型零件的选材及工艺分析	233
三、铸件的结构设计	169	参考文献	238
四、特种铸造	176		
项目五 零件的锻压成形	181		
一、锻压成形概述	181		
二、金属的塑性变形	182		

项目一

零件的材料性质与结构

任务一 工程材料的分类及性能

【学习目标】

1. 初步具有工程材料强度实验及硬度测试的能力。
2. 掌握材料的强度、塑性、硬度等静态力学性能。
3. 掌握冲击韧性、疲劳极限和断裂韧性等动态力学性能。

金属材料在机械制造行业应用广泛,起着很重要的作用。要设计具有竞争力的产品,首先要掌握金属材料的性能,主要包括使用性能(如力学性能、物理性能和化学性能)和工艺性能。金属材料的力学性能是指在各种不同性质外力作用下所表现的抵抗能力,主要有强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

一、强度与塑性

金属材料的强度与塑性是非常重要的力学性能指标,常采用拉伸试验方法测定。强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。塑性是指断裂前,材料发生不可逆永久变形的能力。

(一) 拉伸试验

拉伸试验是在万能材料试验机上用静拉伸力对标准试样进行轴向拉伸,测量拉伸力和相应的伸长,并测其力学性能的试验。拉伸时一般将拉伸试样拉至断裂。

1. 拉伸试样

试验通常采用圆柱形拉伸试样,试样尺寸按国家标准制作。试样分为短试样($L_0 = 5d_0$)和长试样($L_0 = 10d_0$)两种。拉伸试样如图 1-1 所示, d_0 为标准试样的原始直径, L_0 为标准试样的原始标距长度; d_1 为试样断口处的直径, L_u 为拉断试样对接后测出的标距长度。 L_0 和

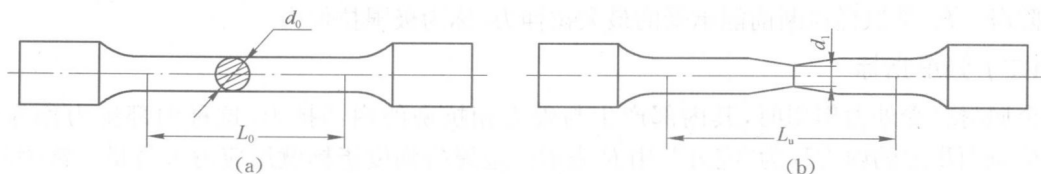


图 1-1 拉伸试样

d_0 有规定的标准值,一般 L_0 为 100 mm 或 50 mm。

2. 拉伸曲线

如图 1-2 所示为拉伸试验机示意图。试验时,将标准试样装在拉伸试验机的上下夹头上,开动拉伸试验机,缓慢加载拉伸,随载荷增加,试样逐渐伸长直至拉断。同时,记录装置记录下拉伸过程中的力-伸长($F-\Delta L$)曲线。如图 1-3 所示为退火低碳钢的力-伸长曲线。

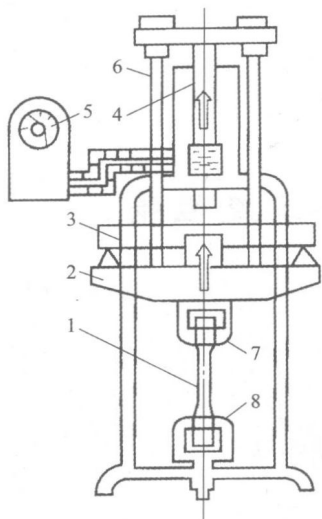


图 1-2 拉伸试验机示意图

- 1—试样; 2—工作台; 3—立柱; 4—工作活塞
5—表盘; 6—拉杆; 7—上夹头; 8—下夹头

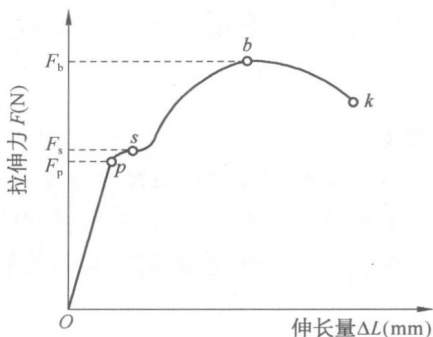


图 1-3 退火低碳钢的力-伸长曲线

由拉伸曲线可知, $F=0$ 时, $\Delta L=0$, 载荷增大到 F_p 的过程中, 试样的伸长量 ΔL 与拉伸力 F 之间成正比例关系, 在力-伸长曲线图中为斜直线 Op 。在此范围内卸除载荷, 试样能完全恢复到原来的形状与尺寸, 符合胡克定律, 即试样处于弹性变形阶段。图中 F_p 是试样保持弹性变形的最大拉伸力。

当载荷不断增加, 超过 F_p 时, 试样将产生塑性变形, 卸载后变形不能完全恢复, 塑性伸长将被保留下来。当载荷继续增加到 F_s 时, 力-伸长曲线在 p 点后出现水平或锯齿形线段, 表示载荷不再增加的情况下, 试样也会继续伸长, 这种现象称为“屈服”, F_s 称为屈服拉伸力。

当载荷超过屈服拉伸力 F_s 后, 试样抵抗变形的能力将会增强, 此现象为冷变形强化, 即抗力增加现象。在力-伸长曲线上表现为一段上升曲线, 随着塑性变形量的增大, 试样变形抗力也逐渐增大, 即试样处于冷变形强化阶段。

当载荷增至最大值 F_b 时, 试样伸长量迅速增大而截面迅速减小, 形成“缩颈”现象。由于缩颈处截面的急剧缩小, 单位面积承载大大增加, 最后到 k 点试样被拉断, 即试样处于缩颈与断裂阶段。 F_b 是试样拉断前能承受的最大拉伸力, 称为极限拉伸力。

(二) 强度指标

金属材料受外力作用时, 其内部产生与外力相抗衡的内部抗力, 这种内部抗力称为“内力”, 单位面积上的内力称为“应力”, 用 R 表示。金属的强度指标就用应力来度量。常用的强度指标有屈服强度与抗拉强度。

1. 屈服强度

屈服强度是指试样在拉伸试验过程中力不增加(保持恒定),试样仍然能继续伸长(变形)时的应力值。屈服强度用符号 R_e 表示,单位为 MPa。屈服强度 R_e 的值可用下式计算:

$$R_e = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 F_s ——试样屈服时的拉伸力(N);

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

工业上使用的一些金属材料,如高碳钢、铸铁等,在进行拉伸试验时屈服现象不明显,也不会产生缩颈现象,测定很困难,因此国家标准规定此类材料以产生 0.2% 塑性变形量时的应力值定为屈服强度,用 $R_{p0.2}$ 表示。

金属零件和结构在工作中一般是不允许产生塑性变形的,所以设计零件、结构时屈服强度 R_e 是重要的设计依据,工程技术上极为重要的力学性能指标之一。

脆性材料(如灰口铸铁)拉伸时几乎不发生塑性变形,不仅没有屈服现象,也不产生缩颈,断裂是突然发生的,最大载荷即是断裂载荷。

2. 抗拉强度(强度极限)

抗拉强度是指试样断裂前能承受的最大应力值,用符号 R_m 表示,单位为 MPa。 R_m 可用下式计算:

$$R_m = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 F_b ——试样承受的最大拉伸力(N);

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

R_m 是金属由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值,也是金属在静拉伸条件下的最大承载能力。对于塑性金属来说,拉伸试样在承受最大拉应力之前,变形是均匀一致的;但超过 R_m 后,金属开始出现缩颈现象,即产生集中变形。

抗拉强度表示材料抵抗塑性变形和断裂的最大能力,测试数据较准确,因此,有关手册和资料提供的设计、选材的强度指标是抗拉强度 R_m 。

(三) 塑性指标

用拉伸试样断裂时的最大相对变形量来表示金属的塑性指标,常用断后伸长率和断面收缩率表示。

1. 断后伸长率

拉伸试样在进行拉伸试验时,在力的作用下产生塑性变形,原始试样中的标距会不断伸长。试样拉断后的标距伸长量与原始标距的百分率称为断后伸长率,用符号 A 表示。 A 可用下式计算:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_u ——拉断试样对接后测出的标距长度(mm);

L_0 ——试样原始标距(mm)。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分率。断面收缩率用符号 Z 表示。 Z 值可用下式计算:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积(mm^2);

S_u ——试样断口处的横截面积(mm^2)。

断后伸长率和断面收缩率的数值大,表示金属材料的塑性变形能力大,塑性好。金属制品进行压力加工,应选择 A 与 Z 值大的金属材料。因为,机械零件工作时突然超载,如果材料塑性好,就能先产生塑性变形而不会突然断裂破坏。所以,大多数机械零件,除要求满足强度要求外,还必须有一定的塑性要求。但是,铸铁、陶瓷等脆性材料,塑性极低,拉伸时几乎不产生明显的塑性变形,超载时会突然断裂,使用时必须注意。

二、硬度

硬度是指材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。

硬度试验和拉伸试验都是在静态力下测定材料力学性能的方法。硬度测定的设备简单,操作方便,试验基本上不损伤工件,不需要制作专门试样,而且可以直接在工件上进行测试。因此,被广泛应用于检验原材料和热处理件的质量,以及鉴定热处理工艺的合理性。硬度是一项综合力学性能指标,从金属表面的局部压痕即可以反映出材料的强度和塑性,因此在零件图上常常标注各种硬度指标,以作为技术要求。

常用硬度测定方法有压入法、划痕法、回弹高度法等,其中压入法的应用最为普遍。压入法是在规定的静态试验力作用下,将压头压入金属材料表面层,然后根据压痕的面积大小或深度测定其硬度值。目前,用压入法测材料硬度,常用的测试方法有布氏硬度(HBS 或 HBW)、洛氏硬度(HRA、HRB、HRC)和维氏硬度(HV)试验法。

(一) 布氏硬度 HB

布氏硬度的试验原理如图 1-4 所示。用一定直径的淬火钢球或硬质合金球,以规定的试验力压入试样表面,经规定的保持时间后,去除试验力,测量试样表面的压痕直径 d ,然后根据压痕直径 d 计算其硬度值。

布氏硬度值是指压痕球面积上所产生的平均抗力。选择淬火钢球压头时,用符号 HBS;选择硬质合金球压头时,用符号 HBW 表示。布氏硬度值可用下式计算:

$$\text{HBS(HBW)} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——试验力(N,单位用 kgf 时,去掉 0.102);

D ——球体直径(mm);

d ——压痕直径(mm)。

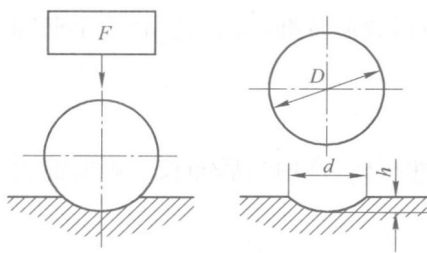


图 1-4 布氏硬度试验原理图

式中只有 d 是变数,因此试验时只要测量出压痕直径,就可通过计算或查布氏硬度表得出 HBW 值。布氏硬度计算值一般都不标出单位,只写明硬度的数值。

布氏硬度的标注方法是,测定的硬度值应标注在硬度符号的前面,应在硬度符号的后面用相应的数字注明压头直径、试验力大小和试验力保持时间。当钢球直径 D 为 10 mm,试验力为 3 000 kgf(29.42 kN),保持时间为 10~15 s 的试验条件时,试验条件可以不标明。例如:500 HBW5/750 表示用直径为 5 mm 的硬质合金球,在 750 kgf(7.355 kN)试验力作用下保持 10~15 s 测得的布氏硬度值为 500。

由于布氏硬度测定的压痕面积较大,可不受金属内部组成相细微不均匀性的影响,测得的硬度值比较准确,数据重复性强。一般材料布氏硬度值小于 450 时选用淬火钢球压头,布氏硬度值在 450~650 时选用硬质合金压头。目前我国布氏硬度试验常用的压头主要是淬火钢球。由于布氏硬度压痕大,对金属表面的损伤也较大,硬度高的材料、薄壁工件和表面要求高的工件,不宜用布氏硬度测试。通常布氏硬度测定适用于有色金属、低碳钢、灰铸铁和经退火、正火和调质处理的中碳结构钢等。

(二) 洛氏硬度 HR

洛氏硬度也是用压入法测定的,如图 1-5 所示,试验原理是以锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球作压头压入试样表面,先加初试验力 F_1 (98 N),再加主试验力 F_2 ,压入试样表面后去除主试验力,在保留初试验力的情况下,根据试样压痕深度来衡量金属的硬度大小。

图中 0—0 位置为金刚石压头还没有和试样接触时的原始位置;1—1 为加上初试验力 F_1 后压入试样的位置;2—2 为压头受到总试验力 F 后压入试样的位置;经规定的保持时间,卸除主试验力 F_2 ,仍保留初试验力 F_1 ,试样弹性变形的恢复使压头上升至 3—3 位置。此时压头受主试验力作用压入的深度为 e ,金属越硬, e 值越小。为适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念,故人为地规定常数 K 减去压痕深度 e 作为洛氏硬度指标,并规定每一个洛氏硬度实验单位为 0.002 mm。则洛氏硬度值为

$$HR = \frac{K - e}{0.002}$$

式中压痕深度 e 的单位为 mm。使用金刚石圆锥体压头时,常数 K 为 0.2;使用淬火钢球压头时,常数 K 为 0.26。

由压痕深度可直接得出数值,所以洛氏硬度计不用计算,可从表盘上直接读出硬度值。洛氏硬度根据试验时选用的压头类型和试验力大小的不同分别采用不同的标尺进行标注。常采用的标尺有 A、B、C,试验条件及应用范围见表 1-1。根据 GB 230—91 规定,硬度数值写在符号的前面,HR 后面写使用的标尺,如 52HRC 表示用“C”标尺测定的洛氏硬度值为 52。

洛氏硬度测定操作简便,可直接读数,测量范围大,压痕小,对试样表面损伤小,因此可广泛应用于各种材料不同工件以及薄、小和表面要求高的工件测定。由于压痕小,对内部组织和性能不均匀的材料,测量结果可能不够准确典型,所以在测试洛氏硬度时通常都选取不同位置的三点测出硬度值,再计算平均值作为被测金属的硬度值。

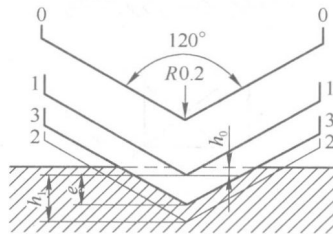
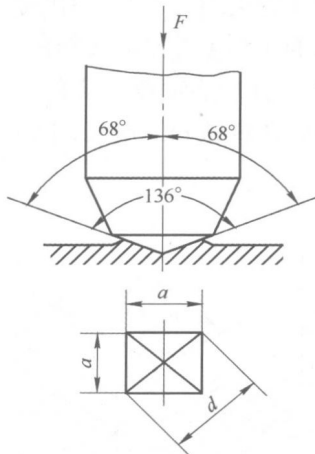


图 1-5 洛氏硬度试验原理

表 1-1 洛氏硬度试验规范

硬度符号	压头类型	总试验力 $F_{\text{总}}/\text{kgf(N)}$	硬度值 有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	60(588.4)	60~88	硬质合金,表面淬火、渗碳钢等
HRB	$\phi 1.588\text{ mm}$ 淬火钢球	100(980.7)	20~100	有色金属,退火、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥体	150(1 471.1)	20~70	淬火钢,调质钢等



(三) 维氏硬度 HV

维氏硬度的测定原理与布氏硬度基本相似,也是根据压痕单位面积承受的压力大小来测量的。如图 1-6 所示,将夹角为 136°的正四棱锥体金刚石压头,以选定的试验力压入试样表面,经规定保持时间后,去除试验力,在试样表面上压出一个正四棱锥形的压痕,测量压痕两对角线的平均长度,计算硬度值。维氏硬度是用正四棱锥形压痕单位表面积上承受的平均压力表示硬度值,用符号 HV 表示。维氏硬度的计算式为

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中 F ——试验力(N);

d ——压痕两条对角线长度的算术平均值(mm)。

图1-6 维氏硬度试验原理图

试验时,用测微计测出压痕的对角线长度,算出两对角线长度的平均值后,经查表就可得出维氏硬度值。

维氏硬度的标注方法与布氏硬度相同,硬度数值写在符号的前面,试验条件写在符号的后面。对于钢及铸铁,当试验力保持时间为 10~15 s 时,可以不标出。例如:

600HV30 表示用 30 kgf 试验力保持 10~15 s,测定的维氏硬度值为 600;

640HV30/20 表示用 30 kgf 试验力保持 20 s,测定的维氏硬度值为 640。

由于维氏硬度测试的压痕为轮廓分明的正方形,便于测量,误差小、精度高,测量范围大,所以适用于各种软、硬金属,尤其适用于极薄零件和渗碳、渗氮工件的硬度测定。但其操作不如洛氏硬度测定方便,效率不高,不宜用于大批量生产工件的常规测定。

三、冲击韧性

机械零部件在工作过程中不仅受到静载荷和变动载荷的作用,而且还会受到不同程度的冲击载荷的作用,如锻锤的锤杆、冲床的冲头、内燃机的活塞销与连杆等。冲击载荷的速度高、作用时间短。易引起材料的局部变形和断裂。因此,对于在冲击载荷条件下工作的机器零件进行选材或设计时,必须考虑其冲击韧性。评定材料的冲击韧性,应用最普遍的试验方法是夏比冲击试验。

(一) 夏比冲击试验

夏比冲击试验是在摆锤式冲击试验机上进行的,试验原理如图 1-7 所示。

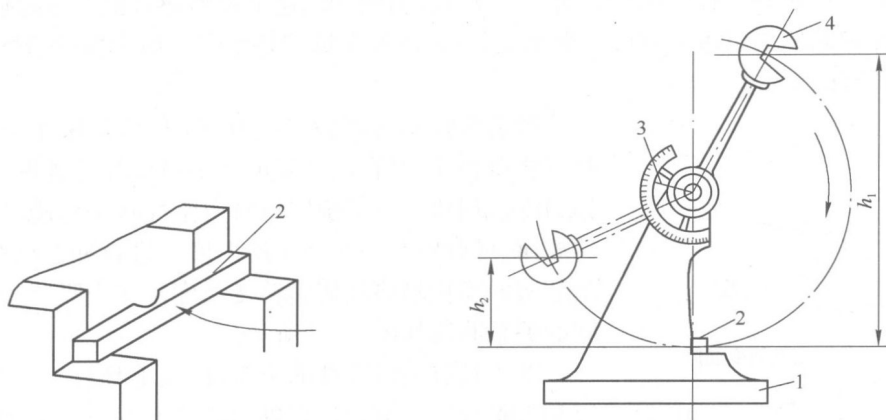


图 1-7 夏比冲击试验原理图

1—固定支座；2—带缺口的试样；3—指针；4—摆锤

试验时,将带有缺口的试样放在试验机的机架上,使其缺口位于两固定支座中间,并背向摆锤的冲击方向。将一定质量的摆锤升高到 h_1 ,使摆锤具有一定的势能 A_{KV1} (V 型缺口试样),再使其自由落下,将试样冲断后,摆锤继续升高到 h_2 ,此时摆锤的剩余势能为 A_{KV2} 。摆锤冲断试样所失去的势能 A_{KV} (J) 为

$$A_{KV} = A_{KV1} - A_{KV2}$$

A_{KV} 就是规定形状和尺寸的试样在冲击试验力一次作用下折断时所吸收的功,称为冲击吸收功。 A_{KV} 可以从试验机的刻度盘上直接读出,用试样的断口处截面积 S_N (cm^2) 去除 A_{KV} (J),即得到冲击韧度,用 a_{KV} 表示,单位为 J/cm^2 ,其表达式为

$$a_{KV} = \frac{A_{KV}}{S_N}$$

为使试验结果不受其他因素影响,冲击试样要根据国家标准制作,如图 1-8 所示。带 V 型缺口的试样,称为夏比 V 型缺口试样;带 U 型缺口的试样,称为夏比 U 型缺口试样。使用 U 型缺口试样进行冲击试验时,相应的冲击吸收功用符号 A_{KU} 表示,冲击韧度用 a_{KU} 表示。

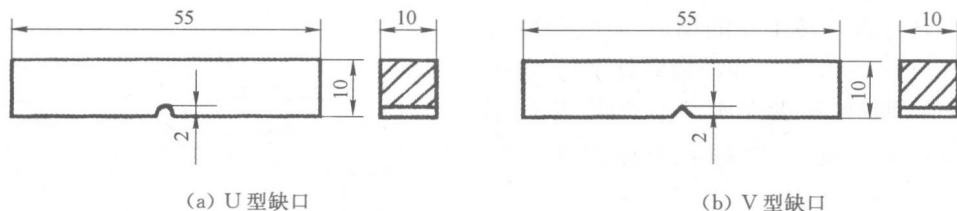


图 1-8 标准冲击试样

在试样上开缺口的作用:在缺口附近造成应力集中,使塑性变形局限在缺口附近;并保证在缺口处发生破断,以便正确测定金属承受冲击载荷的能力。

对一般钢材来说,所测冲击吸收功 A_{KV} 越大,表示金属抵抗冲击试验力而不破坏的能力就

越强,材料的韧性越好。长期实践证明, A_{KV} 和 a_{KV} 对组织缺陷非常敏感,能够灵敏地反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化,因而冲击试验是生产上用来检验冶炼和热加工质量的有效方法之一。

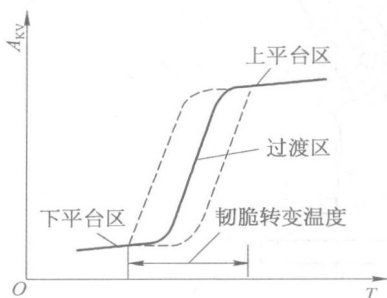


图 1-9 冲击吸收功-温度曲线

冲击吸收功与试验温度有关,有些金属在室温试验时并不显示脆性,而在较低温度下则可能发生脆断,这种现象称为冷脆现象。为了确定材料由塑性状态向脆性状态变化的规律,可分别在一系列不同温度下进行冲击试验,即可测出金属的脆化趋势和韧脆转变温度。冲击吸收功与温度之间的关系曲线如图 1-9 所示。

对于具有低温脆性的金属,曲线上具有上平台区、过渡区和下平台区三部分。在进行不同温度的一系列冲击试验时,随试验温度的降低,冲击吸收功总的变化趋势是随温度降低而降低的。当温度降至某一数值时,冲击吸收功急剧下降,金属由韧性断裂变为脆性断裂,这种现象称为冷脆转变。

金属由韧性状态向脆性状态转变的温度称为韧脆转变温度。韧脆转变温度是衡量金属冷脆倾向的指标。金属的韧脆转变温度愈低,说明金属的低温抗冲击性能就愈好,这对于寒冷地区和低温下工作的机械结构尤为重要。比如非合金钢的韧脆转变温度约为 -20°C ,在较寒冷(低于 -20°C)地区使用的非合金钢构件,如车辆、桥梁、运输管道等在冬天易发生脆断现象。因此,在选择金属材料时,应考虑其工作条件的最低温度必须高于金属的韧脆转变温度。

(二) 多次冲击试验

冲击韧度 a_{KV} 是在大能量一次冲断标准试样时所得到的数据。实际上,不少承受冲击的零件如锤杆、活塞杆等,以往在设计和选择时,由于过分强调 a_{KV} 值,往往会降低材料的强度水准,经实践证明,不仅使零件粗大笨重、浪费材料,而且零件的使用寿命也不长。这些受冲击的零件经过一次冲击断裂的情况极少,一般总是在很多次($>10^3$)冲击后才会断裂,而且所承受的冲击能量也远小于一次冲断的能量。所以把这种冲击称为小能量多次冲击,简称多次冲击。

金属在多次冲击下的破坏过程是由裂纹产生、裂纹扩张和瞬时断裂三个阶段组成的,是每次冲击损伤的累积和发展的结果,它与一次冲击的损坏过程有本质的不同,用 a_{KV} 值衡量抗冲击能力是不合适的,而应进行小能量多次冲击试验测定其多次冲击抗力。

多次冲击试验机一般为落锤式,通过冲锤重量、主轴转速及回转半径的调节,可变换冲击能量($E = 1.4 \sim 15 \text{ J}$),冲击频率有 450 r/min 及 600 r/min 两种,可做多次冲击弯曲、拉伸和压缩试验。多次冲击弯曲试验如图 1-10 所示。

试验时将试样放在试验机支座上,使试样受到试验机锤头的小能量多次冲击。测定被测试样在一定冲击能量下,开始出现裂纹和最后破断的冲击次数,并以此作为多次冲击抗力指标。

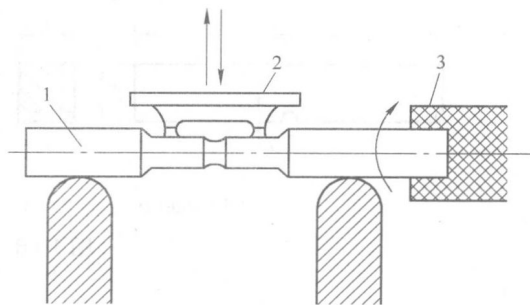


图 1-10 多次冲击弯曲试验示意图

1—试样; 2—锤头; 3—橡皮夹头

多次冲击抗力是一个取决于材料的强度和塑性的综合力学性能。如果条件不同,其强度和塑性的作用和要求也不同。小能量多次冲击的脆断问题主要取决于金属的强度;大能量多次冲击的脆断问题主要取决于金属的塑性。

四、疲劳强度

许多机械零件(如轴、齿轮、弹簧)和工程结构都是在循环应力和应变作用下工作的,它们工作时所承受的应力通常都低于材料的屈服强度。循环应力和应变是指应力或应变的大小、方向都随时间发生周期性变化的一类应力和应变。材料在循环应力和应变作用下,在一处或几处产生局部永久性累积损伤,经过一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂,这种现象称为材料的疲劳。

疲劳失效与静载荷下的失效不同,疲劳断裂前都不产生明显的塑性变形,断裂是突然发生的,因此具有很大的危险性,常常造成严重的事故。据统计,80%以上损坏的机械零件都是因金属疲劳造成的。因此,工程上十分重视疲劳规律的研究,疲劳现象对于正确使用材料、进行合理设计具有重要意义。

工程规定,无裂纹材料的疲劳性能判据有疲劳强度(疲劳极限)和疲劳缺口敏感度等。材料在指定循环基数下不产生疲劳断裂所能承受的最大应力称为疲劳强度。在交变载荷下,金属材料承受的交变应力 R 和断裂时应力循环次数 N 之间的关系,通常用疲劳曲线来描述,如图1-11所示。金属材料承受的最大交变应力 R 越大,则断裂时应力循环次数 N 越小;反之 R 越小,则 N 越大。当应力低于某值时,应力循环无数次也不会发生疲劳断裂,此应力称为材料的疲劳强度,用 R_D 表示。常用钢铁材料的疲劳曲线(图1-12a)有明显的水平部分,其他大多数金属材料的疲劳曲线(图1-12b)上没有水平部分,在这种情况下,规定循环次数 N_0 断裂时所对应的应力作为条件疲劳极限,以 R_N 表示。

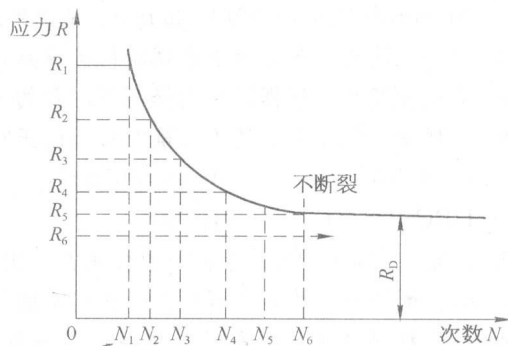


图 1-11 疲劳曲线示意图

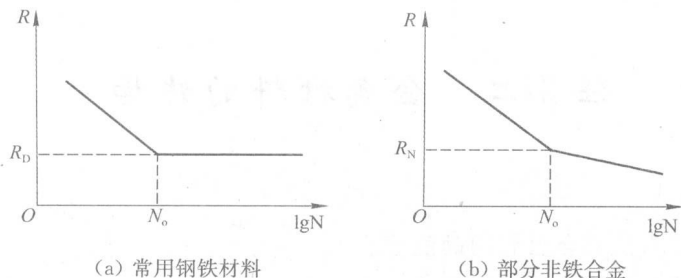


图 1-12 两种类型疲劳曲线

通常材料疲劳性能的测定是在旋转弯曲疲劳实验机上进行的。具体试验方法请参阅 GB/T 4337—2008《金属材料 疲劳试验 旋转弯曲方法》。

由于疲劳断裂通常是从机件最薄弱的部位或缺陷所造成的应力集中处发生,因此疲劳失