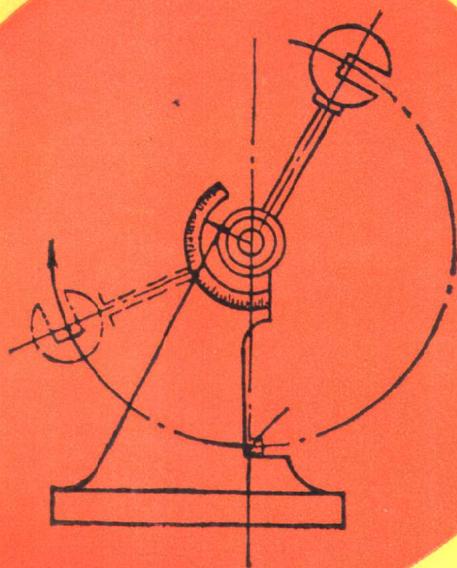




金属机械性能 基础知识问答

杨道明 编著

机械工业出版社

金属机械性能基础 知识问答

杨 道 明 编著

机 械 工 业 出 版 社

本书是作者根据多年来在不同层次的培训班上讲课的经验，以问答的形式，深入浅出地介绍了金属机械性能的基本概念和基本知识，并根据国家标准介绍了有关拉伸、压缩、弯曲、扭转、硬度、冲击、疲劳和断裂韧性等性能指标的测试方法。其特点是，全部采用最新国家标准，并对标准规定的各项性能指标的含义、代号等技术内容通过问题都一一作了讲解。对通常难以理解的位错、疲劳、断裂韧度等知识也作了浅显易懂的讲述。本书一问一答，重点突出，很适合工人考工学习用。同时，全书又按章、节编排，前后连贯，层次分明。本书为理化实验工人和技师岗位培训、考工的理想学习材料，也可供工程技术人员及中等技术学校师生参考。

金属机械性能基础知识问答

杨道明 编著

责任编辑：程淑华 版式设计：张世英
封面设计：田淑文 责任校对：刘思琦 刘秀芝
责任印制：张俊民

机械工业出版社出版（北京阜成门内大街25号）

（北京市书刊出版业营业性印制企业第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $55^{5/8}$ · 字数 118 千字
1990年3月北京第一版·1990年3月北京第一次印刷
印数 0,001—4,100 · 定价：3.90 元

ISBN 7-111-01755-2/TG·443

404251

编 者 的 话

“金属机械性能”，又叫做“金属力学性能”，因为在英文中力学和机械学是一个词——“mechanics”。为了与目前工厂的称呼一致，在本书中我们仍叫金属机械性能。那么，什么是金属机械性能？它包括哪些内容？学习它有什么用？为了回答这些问题，我们下面分几点来说明。

1. 先从永久自行车谈起

永久自行车是大家公认的好车。但实际上永久自行车并不能永久使用，骑上10多年以后，有些地方会因腐蚀出现锈斑，外带、后轴会产生磨损，链条也会因变形而伸长，辐条则可能发生断裂，由于这些原因车子需要大修或更换零件，那些失去原有工作能力而不能继续使用的零件称为失效零件，这种现象称为失效。

实际上，大多数机械零件都会因为腐蚀、磨损、变形和断裂而失效，零件抵抗失效的能力称为结构强度。我们购买任何机械产品总是希望它物美价廉、经久耐用。要保证产品经久耐用，首先必须保证它有足够高的结构强度。实践证明，当零件形状和尺寸一定时，零件的结构强度主要决定于所用材料的机械性能。

2. 什么是金属机械性能

所谓金属机械性能是指在力或能作用（有时还兼有热、介质的共同作用）下，金属材料所表现的行为。由于力施加的方式多种多样，而环境、介质的变化又十分复杂，所以金属在这些条件下所表现的行为就会大不相同，由此可见，金

属机械性能所研究的内容非常广泛，它已发展成为介于金属学和材料力学之间的一门边缘学科，它的任务是从材料角度来研究零件失效问题，分析在力作用下金属材料变形和断裂的规律，并提出金属材料抵抗各种类型失效的相应性能指标（即力学性能判据），讨论影响性能指标的内在因素及外在因素，从而为机械设计时正确选材和用材提供依据，并为充分发挥材料潜力而指明合金化、热处理的发展方向。

由于篇幅所限，在这本小册子里，不能详细介绍有关机械性能的全部内容，作者只希望通过它为从事金相检验、机械性能测试，以及从事热处理、热加工车间的工人和技术人员介绍有关机械性能的概况，全书以问答形式编写。由于编者水平有限，书中错误和不妥之处不少，敬请批评指正。

目 录

编者的话

一、单向拉伸载荷作用下金属的变形与断裂	1
1. 金属在单向拉伸载荷作用下的应力-应变关系	1
(一) 拉伸曲线	1
(1) 什么叫变形? 变形量如何表示?	1
(2) 什么叫弹性变形? 什么叫塑性变形?	2
(3) 何谓加工硬化? 加工硬化是有益还是有害的性质?	3
(4) 从低碳钢的拉伸曲线我们可以得到哪些讯息?	4
(5) 材料不同, 拉伸曲线的形状有何异同?	5
(二) 应力-应变关系	6
(1) 为什么要引入应力的概念? 应力和力有什么区别?	6
(2) 何谓应变? 应变如何计算?	8
(3) 低碳钢的应力-应变曲线有何特点?	11
(三) 强度指标	12
(1) 何谓强度? 通过拉伸试验可测定哪些强度指标?	12
(2) 什么是弹性极限? 弹性极限和弹性变形抗力是否是一回事?	13
(3) 何谓屈服现象? 屈服点如何确定? 是否所有材料都有屈服点存在?	14
(4) 抗拉强度 σ_b 和材料的断裂抗力有什么差别?	15
(四) 塑性指标	16
(1) 何谓塑性? 塑性指标如何表示?	16
(2) 伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 之间是否能相互换算?	17
(3) 试样尺寸对 δ 有什么影响?	17

(五) 静力韧度	18
2. 静拉伸机械性能指标的测定方法	19
(一) 拉伸试样	19
(1) 圆柱形试样的形状及尺寸是怎样规定的?	20
(2) 板形试样的形状及尺寸有何规定?	20
(3) 试样加工中应注意哪些问题?	21
(4) 怎样检验试样是否符合要求?	21
(二) 试验仪器	22
(1) 材料拉力试验机有哪些类型? 它们的结构、工 作原理如何?	22
(2) 对试验机有哪些技术要求?	24
(3) 什么是引伸计?	25
(4) 电子式拉伸试验机是怎么回事?	26
(三) 规定非比例伸长应力 $\sigma_{r, 0.01}$ 和规定残余伸长应力 $\sigma_{r, 0.2}$ 的测定	27
(1) 怎样用作图法测定 $\sigma_{r, 0.01}$ 和 $\sigma_{r, 0.2}$?	27
(2) 如何用逐级施力法测定非比例伸长应力 $\sigma_{r, 0.01}$?	27
(3) 如何用卸力法测定规定残余伸长应力 $\sigma_{r, 0.2}$?	30
(4) 如何用指针法和图示法测定屈服点、上、下屈 服点?	32
(四) 塑性指标 δ 和 ψ 的测定	33
(五) 有关拉伸试验条件的规定	36
(1) 进行拉伸试验时, 拉伸速度应如何控制?	36
(2) 在什么情况下拉伸试验结果无效?	36
3. 金属变形的本质及强化机理	36
(一) 弹性变形的物理本质	36
(1) 外力去除后, 弹性变形为什么能恢复原状?	37
(2) 金属弹性变形抗力受哪些因素影响?	38
(二) 塑性变形的物理本质	38

(1) 塑性变形的特点有哪些?	39
(2) 塑性变形为什么具有上述特点?	40
(三) 位错理论概要	42
(1) 什么是位错?	42
(2) 位错的强度如何表示?	45
(3) 位错运动和晶体塑性变形有什么关系?	46
(4) 塑性变形后晶体中的位错是增多了, 还是减少了?	48
(三) 金属强度的本质及强化机理	49
(1) 铁丝为什么弯折次数愈多, 弯折变形愈费劲?	50
(2) 低碳钢拉伸为什么出现上、下屈服点?	50
(3) 为什么高速钢经高温回火后会产生二次硬化?	51
(4) 材料过热为什么会使性能明显变坏?	52
(5) 为什么一些重要机械零件都要进行热处理?	52
4. 金属的断裂与断口形貌	53
(一) 断裂类型	53
(1) 韧性断裂与脆性断裂各有什么特点?	53
(2) 怎样区分沿晶断裂和穿晶断裂?	53
(3) 什么是正断? 什么是切断?	54
(二) 断裂抗力	54
(1) 为什么断裂抗力的理论值与实测值相差很大?	54
(2) 一无限大平板中, 存在 $2a$ 长穿透裂纹(图1-27), 其 实际断裂抗力 σ_c 为多大?	54
(3) 若图1-27中裂纹长为2厘米, 试问 σ_c 与 σ_s 差 别有多大?	55
(三) 金属的宏观断口	56
(1) 圆柱试样的拉伸断口有何特征?	56
(2) 矩形截面(板状)试样断口的宏观形貌有何特征?	58
(3) 对实际构件进行断口分析时, 如何寻找裂纹 源位置?	59

(4) 断口分析时, 应怎样保护和清洗断口?	59
(四) 金属的微观断口	60
(1) 进行微观断口分析需要哪些设备, 它们各有 什么优缺点?	60
(2) 什么是韧窝? 它是怎样形成的?	61
(3) 什么是解理断裂? 它的微观断口特征是什么?	62
(4) 什么是准解理断裂? 它的微观断口有何特征?	62
(5) 什么是沿晶断口? 在什么条件下容易出现沿晶 断口?	63

复习题	65
-----------	----

二、在其它静载荷作用下金属的机械性能

1. 关于应力状态的概念	66
(1) 单向拉伸时, 应力状态软性系数 α 等于多少?	67
(2) 在复杂加载方式下, α 值如何计算?	67
(3) 应力状态的软、硬对材料变形和断裂有何影响?	69
(4) 什么是力学状态图?	69
2. 压缩机械性能指标	71
(1) 脆性材料通过压缩试验可测定哪些性能指标?	71
(2) 怎样测定脆性材料的抗压强度 σ_c 和弹性模量?	72
(3) 怎样测定塑性材料的规定非比例压缩应力?	72
(4) 圆柱试样压缩时为什么容易出现腰鼓形? 加工 压缩试样有什么要求?	72
3. 弯曲机械性能指标	74
(1) 怎样才能实现弯曲加载?	74
(2) 弯曲时的变形如何表示?	75
(3) 如何进行弯曲试验?	75
4. 扭转机械性能指标	76
(1) 扭转试样的形状和尺寸有何规定?	77
(2) 扭转性能指标有哪些? 如何测定?	77

(3) 用扭转试验方法评定材料性能有何优点?	78
5. 金属的硬度	79
(1) 什么是布氏硬度? 测定布氏硬度时应注意哪些问题?	79
(2) 如何根据压痕直径, 查得被测材料的布氏硬度值?	81
(3) 对于一些大锻件、大铸件无法在布氏硬度计上测硬度时, 试问有何方法可测定其近似的布氏硬度值?	82
(4) 什么是洛氏硬度? 洛氏硬度标度方法有几种? 测量时, 应注意哪些问题?	83
(5) 何谓表面洛氏硬度? 哪些情况下应采用表面洛氏硬度计测量硬度?	85
(6) 什么是维氏硬度? 什么是显微硬度?	85
(7) 什么是肖氏硬度?	87
(8) 硬度试验有哪些特点? 在生产检验部门为什么得到了广泛的应用?	87
复习题	89
三、金属的缺口效应、冲击韧性和冷脆现象	89
1. 缺口效应	89
(1) 一块钢板上有一圆孔或一椭圆孔, 孔边上的应力有多大?	91
(2) 怎样表示缺口尖端的应力集中程度?	91
(3) 为什么缺口会促使金属脆性断裂倾向增加?	91
(4) 怎样评定材料的缺口敏感程度?	93
2. 加载速度对材料性能的影响	94
(1) 工程构件承受冲击载荷时, 为什么容易发生脆断?	94
(2) 子弹穿过玻璃时, 玻璃上将留下一小圆孔而不会粉碎, 这是为什么?	95

(3) 人造金刚石是石墨制成的, 对吗?	95
3. 冲击试验	95
(1) 金属夏比(V型缺口)冲击试验如何进行?	96
(2) 金属夏比(U型缺口)冲击试验如何进行?	97
(3) 冲击韧性值代表什么物理意义? a_{KV} 和 a_{KU} 有什么区别?	98
(4) 为什么冲击试验在生产实际中得到广泛的应用?	99
(5) 进行冲击试验时, 应注意哪些问题?	100
4. 钢的冷脆现象	101
(1) 低温冲击试验如何进行?	101
(2) 怎样测量和评定冷脆温度?	101
(3) 为什么有些金属材料会产生冷脆?	102
复习题	103
四、金属的断裂韧性	104
1. 裂纹顶端的应力分布	105
(1) 一无限大平板内有 $2a$ 长穿透裂纹, 两端受拉应力 σ 时, 裂纹顶端附近各点的应力有多大?	105
(2) 应力强度因子 K_I 是一个什么物理量?	106
(3) 断裂韧性 K_{IC} 和 K_{IS} 是个什么物理量?	107
(4) 断裂力学设计原则是什么? 根据它可以解决哪些问题?	109
2. 裂纹顶端屈服区大小及其修正	110
(1) 裂纹顶端塑性区有多大?	110
(2) 塑性区内松弛的应力跑到哪里去了?	111
(3) 怎样对塑性区的影响加以修正?	111
(4) 裂纹顶端塑性区很大时怎么办?	112
3. 断裂韧性 K_{IC} 的测试	112
(1) 测试 K_{IC} 的试样有哪几种? 其尺寸如何确定?	112
(2) 测试 K_{IC} 试样的最小尺寸应如何确定?	113

(3) 试样上的疲劳裂纹应怎样预制?	115
(4) 测试断裂韧性 K_{Ic} 需要有哪些仪器设备?	117
(5) 测试 K_{Ic} 的试验步骤及注意事项有哪些?	118
(6) 怎样根据试验结果求出材料的 K_{Ic} 值?	119
4. 在腐蚀介质中金属材料的断裂韧性	120
(1) 什么是应力腐蚀? 产生应力腐蚀的条件是什么?	121
(2) 为什么会产生应力腐蚀? 材料抵抗应力腐蚀开裂 的指标是什么?	121
(3) 什么是氢脆? 为什么会产生氢脆?	122
5. 断裂韧性与冲击韧性之间的关系	122
(1) 是否能够通过测量冲击韧性来评定材料的断裂 韧性?	123
(2) 冲击韧性与断裂韧性之间的差别由何而来?	123
复习题	124
五、金属的疲劳	125
1. 交变应力作用下的疲劳过程	125
(1) 什么是交变应力?	125
(2) 在交变应力作用下为什么容易诱发疲劳裂纹?	125
(3) 疲劳裂纹是通过什么方式扩展的?	128
(4) 从断裂力学的观点怎样解释疲劳断裂?	130
2. 疲劳宏观断口特征	130
(1) 典型疲劳宏观断口的特征是什么?	130
(2) 在不同应力状态下疲劳宏观断口有何区别?	132
3. 疲劳抗力指标	133
(1) 疲劳试样在加工制造中应注意哪些问题?	134
(2) 对疲劳试验机有何要求? 简述疲劳试验机的工作 原理	135
(3) 怎样测定旋转弯曲条件疲劳极限 σ_{-1} ?	136
(4) 疲劳曲线上的倾斜部分代表什么意思?	138

(5) 为什么承受交变载荷的构件其表面加工精度要求很高?	139
(6) 能否从材料的静拉伸性能指标来估算材料的疲劳极限?	140
4. 影响疲劳抗力的因素	140
(1) 什么叫热疲劳? 为什么会产生热疲劳?	141
(2) 什么叫腐蚀疲劳? 为什么会产生腐蚀疲劳?	141
(3) 什么是接触疲劳?	142
(4) 残余应力对零件的疲劳寿命有何影响?	142
(5) 材料的成分、组织对疲劳极限有何影响?	145
复习题	146
六、从机械性能观点谈结构强度与零件失效分析	146
1. 结构强度与材料强度之间的关系	147
(1) 如何根据材料强度来确定零件的结构强度?	147
(2) 机械性能指标那么多, 到底应根据哪个指标来确定许用应力?	147
(3) 安全系数 n 如何确定?	148
(4) 设计时已经考虑了安全系数, 为什么有些零件还是不安全?	149
(5) 使用机械性能指标时, 应注意哪些问题?	149
2. 失效原因	151
(1) 在设计方面造成失效的原因有哪些?	152
(2) 材质不良引起失效的原因有哪些?	152
(3) 由于热处理缺陷而引起失效的原因有哪些?	153
(4) 零件在使用过程中由环境因素引起的失效有哪些?	154
3. 失效类型	154
4. 失效分析与可靠性设计	157
(1) 进行失效分析有什么重要意义?	157

(2) 失效分析怎样进行?	151
(3) 什么是产品的可靠性? 怎样才能保证产品可靠?	159
复习题	160
附录一 机械性能指标索引	161
附录二 有关力学量的符号、单位以及与其它 单位的换算系数	163
附录三 金属机械性能试验方法国家标准索引	166

一、单向拉伸载荷作用下金属的变形与断裂

沿着一个方向对金属材料试棒缓慢施加拉伸载荷，并同时记录载荷大小与伸长量之间的关系，这种试验称为金属拉伸试验。拉伸试验是生产中广泛采用的机械性能试验。通过这种试验可以测定材料的强度指标（如 $\sigma_{p0.01}$ 、 $\sigma_{0.2}$ 、 σ_b ）和塑性指标（如 δ 、 ψ ），同时对单向拉伸载荷作用下金属的变形与断裂已进行过大量的研究，积累了大量的资料。因此，不论是从理论上还是从实际上了解金属材料在单向拉伸载荷作用下的变形与断裂规律，掌握拉伸性能指标的测定方法都具有重要意义。它是学习金属机械性能的重点，也是深入学习金属机械性能的基础。

1. 金属在单向拉伸载荷作用下的应力-应变关系

（一）拉伸曲线

将加工好的试样安装在拉伸试验机上，开动机器缓慢加载，随着载荷的增大，试样的变形量也随之增加，此时试验机的记录器上可以自动记录载荷 F 与变形量 ΔL 的关系曲线来，这种曲线称为拉伸曲线，见图1-1。为了清楚地理解拉伸曲线的意义，必须首先了解下面几个概念。

（1）什么叫变形？变形量如何表示？

顾名思义，变形就是物体形状的改变，在单向拉伸时变形量可以用物体的长度改变量 ΔL 或截面积改变量 Δs 来表示。

例：一圆柱试样原长为 $L_0=100$ 毫米，原始直径 $d_0=10$ 毫米，经拉伸后长度变为 $L=103$ 毫米，直径变为 $d=9.8$ 毫米，试计算变形量？

解：长度改变量 ΔL 等于试样变形后的长度与变形前长度之差，即

$$\begin{aligned}\Delta L &= L - L_0 = 103 - 100 \\ &= 3 \text{ 毫米}\end{aligned}$$

截面积改变量 Δs 等于试样原始截面积 s_0 与变形后试样截面积之差，即

$$\begin{aligned}\Delta F &= s_0 - s = \frac{\pi d_0^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \\ &= \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (10^2 - 9.8^2) \\ &= 3.1 \text{ 毫米}^2\end{aligned}$$

答：该试样伸长变形量 ΔL 为 3 毫米，截面变形量 Δs 为 3.1 毫米²。

(二) 什么叫弹性变形？什么叫塑性变形？

物体在外力作用下发生的变形有两类，一类叫弹性变形，一类叫塑性变形。

所谓弹性变形，就是指在外力

停止作用后能恢复原状的变形。例如，弹簧称当挂上重物后它能产生伸长变形，当外加重物卸去以后它又恢复了原状，

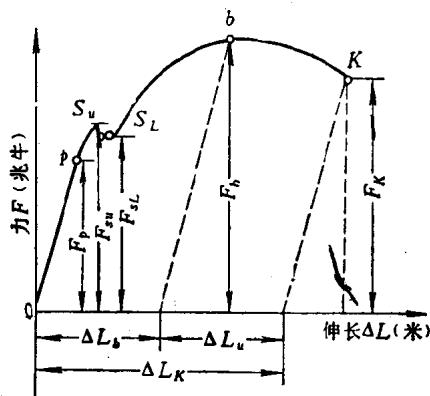


图1-1 低碳钢试样的拉伸曲线

所以弹性变形是“可逆的”。弹性变形的另一特点是弹簧的变形量 ΔL 与所加外力 F 的大小成正比，即

$$F = K \Delta L \quad (1-1)$$

式中 K ——比例系数（可称为弹簧的倔强系数），该公式就是有名的虎克定律。

所谓塑性变形，就是指在外力停止作用后不能恢复原状的变形，即残余变形。譬如，一个称量为 5 千克（公斤）的弹簧称，当我们挂上一个 8 千克重的物体时，这时弹簧称就失灵（力学中把这种现象称为失稳），除去重物后弹簧称不能完全恢复原状，而保持一定的残余伸长，这就是发生了塑性变形的结果。

金属材料在外力作用下总是先发生弹性变形，然后在外力超过某一极限值（又称临界载荷）后才发生塑性变形，发生塑性变形时外力与变形量不成正比，所以我们说塑性变形是不可逆、非线性的变形。在此应该指出，金属材料发生塑性变形后，弹性变形依然在发生，而且这部分变形仍遵守虎克定律，所以通常把发生塑性变形后的变形称弹塑性变形，只是弹性变形量要比塑性变形量小得多。

（3）何谓加工硬化？加工硬化是有益还是有害的性质？

金属材料发生塑性变形后，随着变形量增加，材料抵抗塑性变形的能力也在不断增加，要使材料继续变形必须不断增大外力，这种现象称为加工硬化。

加工硬化是金属材料的重要特性，生产上利用加工硬化这一特性可以得到许多好处：①可以利用加工硬化来提高材料的强度，尤其是那些难以通过热处理来强化的金属材料，如不锈钢、低碳钢、冷拔弹簧钢丝、铝、铜等，可以通过加工硬化大幅度提高强度；②材料的加工硬化能力是保证冷成