

高等学校试用教材

金属材料及金属零件加工

韩国筠 主编
胡昭如 潘得生 邹海 编

武汉地质学院出版社

内 容 提 要

本书是高等学校地质类各工程技术专业的试用教材。

全书包括金属材料、毛坯生产、切削加工三篇和附录——非金属材料四部分，系统地概述了机械设计和设备管理工作需要的材料和加工的基础理论知识。

第一篇〈金属材料〉的内容重点是金属的组织、金属材料的机械性能和常用机械零件的选材。

第二篇〈毛坯生产〉主要讲述毛坯的生产方法、选择和结构设计原则。

第三篇〈切削加工〉重点讲述机械加工的质量、标准以及机械零件的加工过程。

附录中主要介绍工程高聚物材料的基础理论知识。

全书共分十三章，每章编有初步结合生产实际的练习和概念性的思考题，全书之后附有供课程总结的综合作业。

本书可供高等学校近机类专业及业余教育作同类型课程《金属工艺学》教材，也可供工程技术人员参考。

高等学校试用教材
金属材料及金属零件加工

韩国筠 主编

胡昭如 潘得生 邹海 编

*

武汉地质学院出版社出版

湖北省新华书店发行

湖北省气象局印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16·印张19.44 字数400千字

1986年7月第1版·1986年7月第1次印刷

印数：1——5000册

书号：15414·008 定价：2.85元

前 言

高等学校工科各非机械类专业的教学计划中都设有《金属工艺学》或《机械制造基础》课程。根据近年来教学改革的实践,为了更确切地反映课程的目的和基本内容,地质类各工程技术专业将原课程改设为《金属材料及金属零件加工》。本书是根据地矿部探矿工程教材编审委员会组织有关院校新拟订的教学大纲,为该课程编写的试用教材。

根据本课程在教学计划中的作用和与相关课程的关系以及专业的实际需要,本书在内容处理上作了以下的尝试:

全书以金属材料为重点。

在第一篇〈金属材料〉中,增加了机械零件失效的概念,并加强了金属机械性能主要指标的技术意义、试验方法及其在选材中正确运用的讨论;在第二篇〈毛坯生产〉中,我们试图从毛坯的选择和结构设计原则出发,为加深对毛坯结构工艺性的理解而扼要地讲述铸造、锻压和焊接技术等有关毛坯生产方法;由于非机类专业一般不开设互换性方面的课程,同时鉴于互换性原理及国家公差标准在设计、加工和管理等方面的重要意义,本书在第三篇〈切削加工〉中从讨论加工质量出发引入了互换性、加工精度与公差标准的概念,在最后的附录中,还扼要介绍了现代使用日益增多的非金属材料。

本书在每章中都编入了一些联系实际或综合性的习题,并在全书之后附有综合性大作业供作工艺设计练习或进行课程总结用。

在教学实习之后或在已具备必要感性认识的基础上,本书可供50—80不同学时使用。教材中有些章节是考虑供自学阅读而编写的,因此在叙述上似有过繁之嫌。

本书由武汉地质学院韩国筠(前言、第一至第六章)、中南工业大学胡昭如(第七至第十章)、武汉地质学院潘得生(第十一至第十二章;综合作业)和长春地质学院邹海(第十三章、附录——非金属材料)共同编写,在两次统稿互审的基础上,最后由主编韩国筠定稿。成都地质学院孟衍逵曾参加了编写大纲的讨论。探矿工程教材编审委员会主任委员李世忠教授在本书结合专业和内容改革上曾给予很多指导。武汉地质学院黄作宾教授审阅了本书,提出了许多宝贵意见。

本书在编写中,学习并参考了现已出版各类《金属工艺学》统编教材,并注意采纳了金工课程恢复以来各院校的改革经验与建议,编者谨致衷心的感谢。

限于编者的业务水平和认识上的局限性,错误难免,热忱地欢迎使用本书的教师和读者批评指正。

编 者

1985.5.

目 录

第一篇 金属材料

第一章 金属材料的机械性能	(1)
§ 1-1 机械零件的失效	(1)
§ 1-2 材料的静拉伸试验	(4)
§ 1-3 材料的硬度和硬度试验	(9)
§ 1-4 材料的冲击韧性和多冲抗力	(11)
§ 1-5 材料的疲劳强度	(13)
§ 1-6 材料的断裂韧性	(15)
第二章 金属和合金的晶体结构	(18)
§ 2-1 纯金属的晶体结构	(18)
§ 2-2 合金的晶体结构	(25)
§ 2-3 合金状态图	(28)
§ 2-4 铁碳合金	(34)
第三章 钢的热处理	(44)
§ 3-1 钢加热时的组织转变	(44)
§ 3-2 钢在冷却时的组织转变	(46)
§ 3-3 钢的退火和正火	(54)
§ 3-4 钢的淬火和回火	(58)
§ 3-5 钢的表面热处理	(63)
第四章 钢铁材料	(69)
§ 4-1 钢的质量与分类	(69)
§ 4-2 碳钢	(72)
§ 4-3 合金钢	(75)
§ 4-4 铸铁	(90)
第五章 有色金属及其合金	(98)
§ 5-1 铝及铝合金	(98)
§ 5-2 铜及铜合金	(102)
§ 5-3 滑动轴承合金	(107)
§ 5-4 粉末冶金材料	(110)
第六章 常用机械零件的选材	(115)
§ 6-1 选材的依据和基本原则	(115)
§ 6-2 机械零件的强度与材料机械性能的关系	(116)
§ 6-3 常用机械零件的选材	(118)

第二篇 毛坯生产

第七章 铸件生产	(128)
-----------------------	---------

§ 7-1	铸件生产的一般过程	(128)
§ 7-2	砂型铸造	(129)
§ 7-3	常用合金铸件的生产	(134)
§ 7-4	特种铸造	(141)
第八章	锻压件生产	(146)
§ 8-1	金属的塑性变形	(146)
§ 8-2	自由锻造	(154)
§ 8-3	模锻	(157)
§ 8-4	板料冲压	(159)
第九章	焊接件生产	(165)
§ 9-1	常用的焊接方法	(167)
§ 9-2	金属熔焊过程	(174)
§ 9-3	常用金属材料的焊接	(179)
第十章	毛坯的选择与设计	(184)
§ 10-1	毛坯的选择	(184)
§ 10-2	铸件的结构设计	(186)
§ 10-3	焊件的结构设计	(193)
§ 10-4	自由锻件结构的基本要求	(198)

第三篇 切削加工

第十一章	机械加工的质量及其标准	(202)
§ 11-1	零件的加工质量与装配	(202)
§ 11-2	尺寸精度及配合特性的标准化	(211)
§ 11-3	形状与位置公差概要	(224)
第十二章	金属切削加工的基本方法	(236)
§ 12-1	概述	(236)
§ 12-2	外圆面加工	(237)
§ 12-3	孔加工	(247)
§ 12-4	平面加工	(255)
§ 12-5	特种加工简介	(260)
第十三章	机械加工工艺流程	(264)
§ 13-1	工艺过程的基本知识	(264)
§ 13-2	典型零件的加工工艺流程	(270)
§ 13-3	机械加工对零件结构的要求	(279)
附录 I	非金属材料	(286)
一、	高分子材料	(286)
二、	陶瓷材料简介	(296)
三、	复合材料简介	(297)
附录 II	综合作业	(299)

第一篇 金属材料

第一章 金属材料的机械性能

金属材料是现代国民经济中最重要的基础材料。现代工业中除广泛应用以铁为基的黑色金属材料——各种钢和铸铁外，还应用许多有色金属材料——铜合金、铝合金、钛合金等，以及不同金属或金属与非金属的复合材料。

金属材料能获得广泛的应用是由于它具有许多优良的性能。金属材料的许多性能可以分为：使用性能和工艺性能。使用性能是指材料作为各种用途应具备的性能，如机械性能、物理性能和化学性能；工艺性能是指材料在各种成型加工中所表现的性能，例如铸造性、锻造性、焊接性、热处理性和切削加工性等。

金属材料机械性能是机械设计中正确、合理使用材料的主要依据。本章主要从技术应用的角度介绍金属材料常用机械性能指标的意义及其试验方法。金属材料的各工艺性能将在其他章节中讨论。

§1-1 机械零件的失效

各种机械零件和工具由于用途不同，它们所承受的载荷、所处的工作环境、本身的结构形状以及制造所用的材料各不相同。但是，所有的零件在经历不同的使用期以后，最终都会因发生变形、断裂、表面损伤或者尺寸变化而不能继续使用，这种现象称为失效。

失效是一种不可避免的自然现象。如果机械零件的设计、制造和使用正确合理，质量不断提高，那么失效即可延缓，零件的寿命便得到延长。

机械零件的失效形式，类型很多，一般可归纳为断裂、过量变形和尺寸变化三类。

一、断 裂

断裂是机械零件失效中最严重和最危险的现象。机件发生断裂的形式和原因很多，但其基本形式常有两种：一种是在经历一段使用时间后，伴随有明显的变形而破断，这种情况称为韧性断裂；另一种形式是在无明显的变形征兆下而突然断裂，这种情况称为脆性断裂，如图1-1所示。材料发生断裂的性质及其原因，可以通过观察其断口的形态加以研究，称为断口分析。

韧性断裂除外形有明显的变形外，它的断口多呈纤维

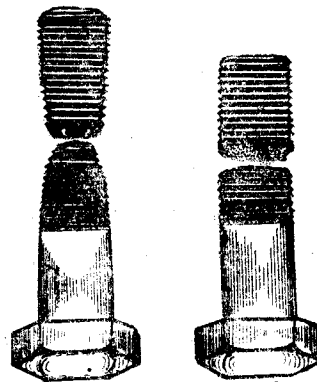


图1-1 螺栓的脆断(左)与韧性断(右)示意图

状、暗灰而无光泽如图1-2(a)。脆性断裂除无明显的外形变化外，它的断口常呈结晶状或瓷器断口状，断口一般较平齐，有金属光泽，如图1-2(b)。

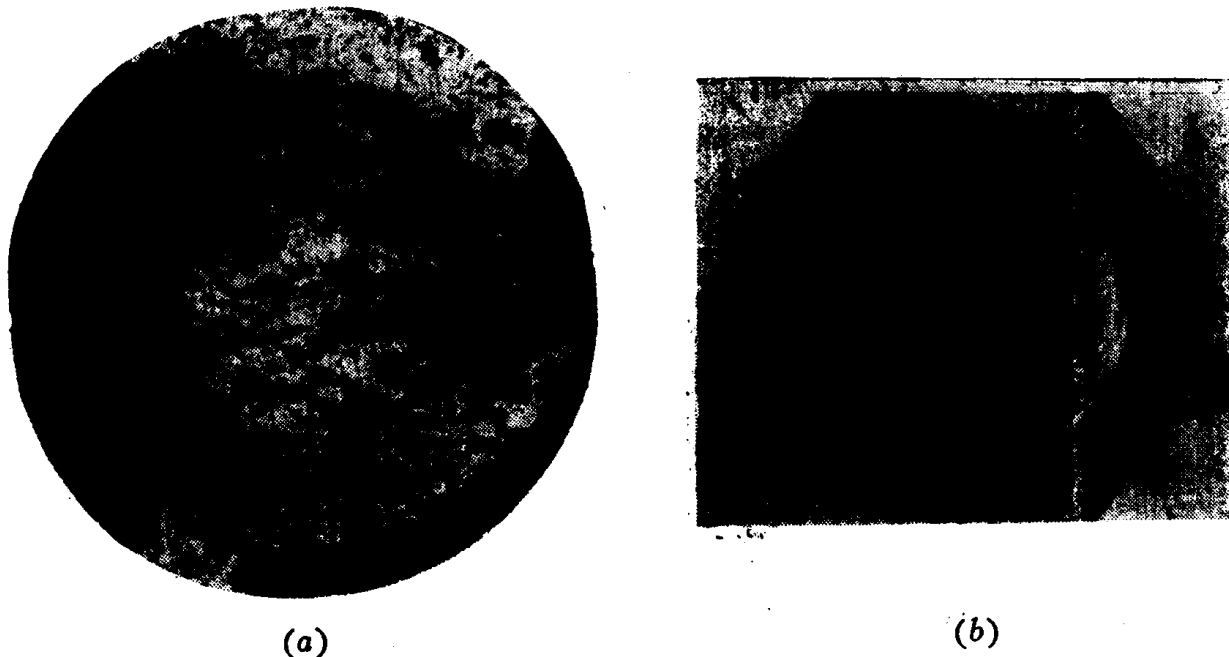


图1-2 韧断螺栓的断口(a)和脆断细栓的断口(b)

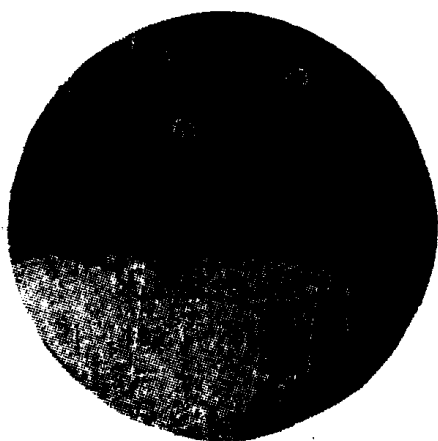


图1-3 交变载荷作用下所发生的疲劳断裂断口

图1-3所示的断口也属于一种脆性断裂，它的断口具有明显的三个不同区域，光滑的裂纹发源区(a)、波浪状的裂纹扩展区(b)和结晶状的最终断裂区(c)。这种断裂是在周期性反复作用的交变外力作用下所引起的，称为疲劳断裂(见本章§1-5)。

无论那种断口，它的发展过程都是由裂纹的发生和裂纹的进一步扩展两个阶段所形成的。韧断的特点是：裂纹发生后，随着材料的变形，裂纹缓慢发展，变形如果停止，裂纹也停止扩展。只有当外力增加，材料继续不断变形的情况下，裂纹才能相应地继续发展，直至破断。所以，韧断过程中始终伴随有变形，因此其断口多呈纤维状。脆断不同于韧断，它在裂纹发展到一定大小时，就以极大的

速度立即发展到断裂，所以断口上常出现结晶状的断痕。由于脆断是突然发生，因此它具有更大的危险性。

影响机械零件发生不同形式断裂的因素，可以概括为两个方面：即零件的工作条件(包括载荷性质、加载方式和加载速度、工作温度和环境介质等)及零件所用材料的机械性能。当零件的材料相同时，不同性质的载荷和加载方式(静载或动载；拉、压或弯、扭等)，会使零件的断裂形式不同。例如，杆状的零件在承受纯扭时，一般都是韧断，而在受拉情况下可能发生脆断。这是因为不同的载荷使零件内的应力状态不同的缘故。零件在不同性质的载荷下，内部应力状态与断裂形式之间的关系，称为材料的强度理论，这在材料力学中可以找到详细的分析。从材料的角度来看，如果零件的工作条件完全一致，则零件的断裂形式与材

料的机械性能有关。例如，用铸铁制造的零件往往发生脆断，而用钢制造的零件则多为韧断；钢制的零件如果经过热处理提高了强度和硬度后，则又有可能在同样的工作条件下发生脆断。因此，机械零件的断裂失效与材料的机械性能有密切关系。

二、过量变形

机械零件受力后总要发生变形。当变形量超过允许限度时，零件之间的配合关系就会受到影响，严重时可使零件最终失效，这种现象称为过量变形。

过量变形有两种情况：一种是零件受力后变形超出了允许的限度，但未超出弹性变形范围，当零件停止工作后仍能恢复原状。例如机床的床身在装卡上工件进行加工时，由于刀具和工件间的切削力以及振动而引起变形，而在停止工作后又恢复正常。机床存在这种现象就会影响被加工零件的加工精度，严重时使机床不能工作。这种只有在受力时反映出来的过量变形称为过量弹性变形。不同的机器或同一机器中不同的零件所允许的过量弹性变形是不同的，例如高精度的机床和测量仪器一般只允许在受力时有极微小的变形；对一些结构简单的工具或低速设备，可以允许有较大的变形。零件发生过量弹性变形往往是设计不合理，使零件的刚度偏低所造成的。零件的截面尺寸和形状、材料的弹性变形抗力大小都影响零件的刚度（参看§1-2）。

过量变形的另一种形式是机件受力后发生明显的残留变形，即外力卸除后，原来的形状不能恢复，这种现象称为塑性变形。例如链条受力过大被拉长；齿轮受力过大齿形歪扭；轴发生弯曲；弹簧恢复不了原状等。每种材料各有其抵抗塑性变形的能力，当机械零件中所承受的应力超过材料的塑性变形抗力时，残留变形就会产生。

三、表面尺寸变化

零件因相互配合运动造成表面磨损，机件受环境介质的侵蚀和交变接触应力的作用而产生局部表面的损伤现象都属于表面尺寸变化一类的失效形式。例如机器中的轴，在长期运转后，轴径变小并失去了规定的圆度；齿轮的齿部表面和滚动轴承的表面，因受接触压应力的反复作用而产生麻点状的表面剥落现象，就是这类失效的典型例子。

零件的磨损是一种正常的自然现象，但是过早的磨损和其他表面损伤现象会影响零件之间的配合特性，使机器的精度和功率下降、噪音增加，并因此而产生振动和冲击。严重时，造成断裂。通常，材料的机械性能不符合要求、加工质量粗糙是造成零件过早磨损和表面损伤的主要原因。

从上述机械零件的失效分析中可以看出：零件的任何失效都和材料的性能密切相关。材料对各种失效的抗力（即材料抵抗各种不同载荷的能力）称为材料的机械性能（也称力学性能）。机械设备中各种零件的形状和承载方式千差万别，要建立一个能满足各种条件的单一机械性能指标是不可能的，材料的机械性能只能根据载荷性质（静载、动载……）和外界条件（温度和环境介质等）分别进行试验，找出各种特定条件下的指标，作为检验材料的质量和设计的计算依据。所以金属材料的机械性能指标很多，范围很广，在材料研究和生产使用中需要通过下列具体试验取得不同工作条件下的机械性能指标：

- （1）静载下的机械性能：静拉伸试验、静压缩试验、静弯曲试验、静扭转试验、缺口试验、硬度试验等。

- (2) 动载下的机械性能：大能量一次冲击试验、小能量多次冲击试验、振动试验等。
- (3) 交变载荷下的机械性能：各种疲劳试验。
- (4) 断裂韧性：各种断裂韧性指标的测试。
- (5) 抗磨损性能：各种磨损条件下的试验。
- (6) 高温机械性能：蠕变试验、持久强度试验、松弛稳定试验等。

§1-2 材料的静拉伸试验

静拉伸试验是测定静载下材料机械性能最常用的方法。这种试验不仅方法简单，而且从一个完整的试验中可以得到材料几种最基本的性能指标——弹性、塑性、强度指标以及断裂所需的功等。所以，静拉伸试验是检验和研究工程材料最基本的试验。

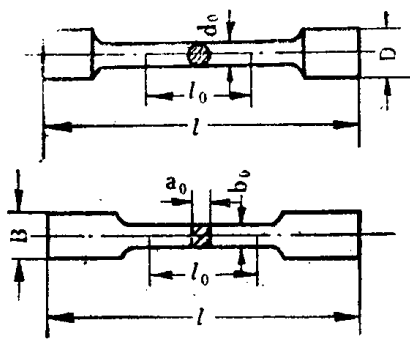


图1-4 标准拉伸试样的形状与尺寸

一、试验方法和应力-应变曲线

静拉伸试验必须保证试件上施加的载荷是静态的。所以试验是缓慢地在试样两端由零开始逐渐加载，使试样承受轴向拉力并沿轴向伸长。为了保证试样上的应力均匀分布，所用的试样要求有一定的几何形状和尺寸误差。拉力试样的截面有圆形、矩形、管形等。图1-4是圆形和矩形试样的基本形状，其基本尺寸及允许误差在GB228-63中有具体规定。圆形试样应用最多，试样的截面直径 d_0 一般选用5mm或10mm两种。并根据直径与长度之比可以制成短试样($l_0=5d_0$)

或长试样($l_0=10d_0$)。

试样中间部分 l_0 是度量伸长量的基本长度，两端直径较大用来夹持在试验机的上下卡头中。

材料在拉伸过程中，随着施加的载荷 P 逐渐均匀地增加，试样不断伸长，直至最后断裂；试验机上有自动记录装置，可以记录载荷 P 和试件的伸长量 Δl ($\Delta l=l-l_0$)的变化，并在直角坐标中画出载荷-伸长曲线($P-\Delta l$ 曲线)。例如图1-5是用含碳量很低的软钢测得的 $P-\Delta l$ 曲线。

$P-\Delta l$ 曲线说明了当载荷 P 由零开始逐渐增加时，材料的变形过程和规律。由曲线中可以看出：当 P 不超过 p 点时， $0-p$ 为直线，这说明在 $0-p$ 范围内伸长量 Δl 与载荷 P 成正比。这时如果卸掉载荷 P ，试样能完全恢复原来的长度。 p 点所对应的载荷值 P ，称为比例极限载荷。

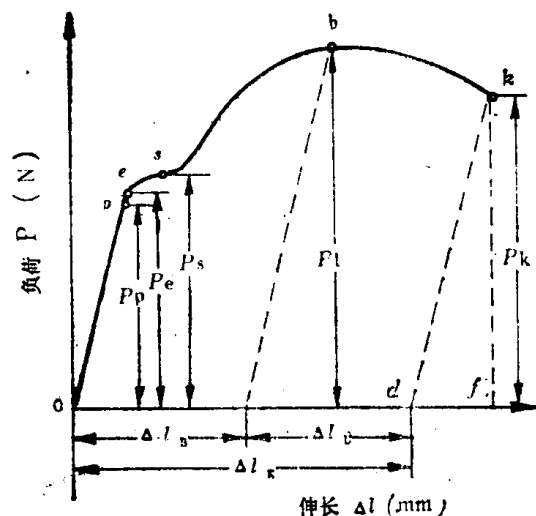


图1-5 低碳钢的载荷-伸长曲线

当 P 继续增加达到 e 点， $0-e$ 基本上仍是直线。这时如卸去载荷，试样上将留下很难发现

的极微小的伸长量。 e 点所对应的载荷值 P_e 称为弹性极限载荷。通常, P_e 与 P_s 极为接近,因此可以认为材料在载荷 P_e 范围内,卸去载荷后都能恢复到原来的长度而不存在残留的变形。这种载荷除去后能立刻恢复的变形称为弹性变形。各种金属的弹性变形范围很小,一般不超过0.5%。

当载荷进一步增加超过了弹性极限载荷 P_e ,即 e 点时,由 s 点开始曲线趋于水平,这说明在载荷没有增加的情况下,试样的伸长仍在继续产生。这时观察试样会发现明显的变形(均匀变细),并在与轴线成 45° 的方向上出现滑移线。这种现象称为“屈服”。开始出现屈服现象的 s 点所对应的载荷 P_s 称为屈服载荷。

越过 s 点 P 继续增加时,试样的直径继续均匀变细已比原来减小,但曲线仍继续上升,这说明此时材料内的变形抗力增加。 P 一直可增加到 b 点,这时对应的载荷,称为最大载荷 P_b 。

b 点之后,试样的直径局部地急剧减小,出现了“颈缩”现象。由于直径大大减小,曲线开始下降,直到 k 点试样最终发生断裂。 k 点所对应的载荷称为断裂载荷。

可以看出:从屈服点 s 开始至断裂前的 k 点这一范围,变形起初是均匀的($s-b$ 段),随后出现了集中变形形成了“颈缩”($b-k$ 段)。在此范围内的任一阶段,如果卸去载荷 P 时,变形只能部分地恢复,未恢复的部分被残留下来(称为永久变形或残留变形)。由图中可以看出:试样断裂时的总伸长量为 $0-f$,当载荷卸除后,一部分伸长量 $d-f$ 恢复,而只剩下 $0-d$ 伸长量, $0-d$ (即 Δl_p)就是残留的永久变形。这种不能完全恢复原状的变形称为塑性变形。很明显,从 s 至 k 这一阶段中的材料变形既有弹性变形又有塑性变形。

由此可见:金属材料在外力作用下,首先第一阶段产生弹性变形,随后第二阶段产生塑性变形。但是,塑性变形之前总有弹性变形产生,因此在第二阶段既存在弹性变形又存在塑性变形。最后当外力达到断裂载荷时,于是进入第三阶段发生断裂。

从变形到断裂的这一过程,对于所有的固体材料都是如此。例如图1-6是不同性质材料作拉伸试验所得的三种 $P-\Delta l$ 曲线。对比这三种曲线可以看出:每一种曲线所代表的材料都存在明显的弹性变形阶段,但在第二阶段——弹、塑变形阶段,三种材料有明显的不同。曲线 a 所代表的塑性材料具有明显的塑性变形;曲线 b 所代表的低塑性材料有明显的均匀塑性变形,但不存在集中变形;曲线 c 所代表的塑性很低的材料(脆性材料)也有很小的塑性变形,但极不明显。

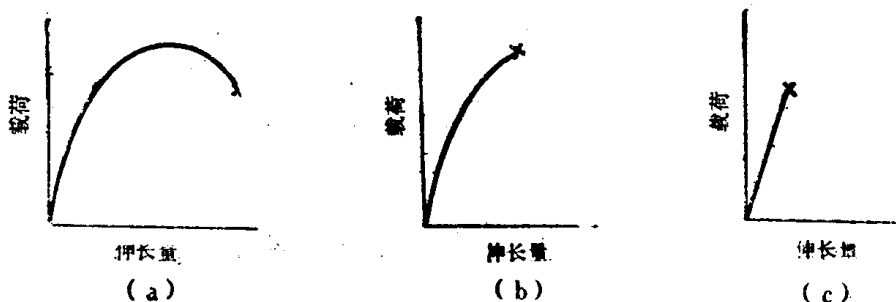


图1-6 不同材料的拉伸曲线 a —塑性材料; b 、 c —低塑性材料

将图1-5 $P-\Delta l$ 曲线中的 P 和 Δl 分别除以试样的原始面积 F_0 和试样原始长度 l_0 ,即可得到图1-7的应力-应变曲线($\sigma-\epsilon$ 曲线),其中:

$$\frac{P}{F_0} = \sigma \quad (\text{N/m}^2)$$

σ 称为名义应力，表示试样单位面积上所承受的平均作用力。

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \varepsilon \%$$

ε 称为名义应变，表示试样单位长度的相对伸长率。

从应力-应变曲线中，我们可以找出和建立下列主要机械性能指标：

$$\frac{P_p}{F_0} = \sigma_p, \text{称为材料的比例极限；}$$

$$\frac{P_e}{F_0} = \sigma_e, \text{称为材料的弹性极限；}$$

$$\frac{P_s}{F_0} = \sigma_s, \text{称为材料的屈服极限；} \quad \frac{P_b}{F_0} = \sigma_b, \text{称为材料的强极限；} \quad \frac{P_k}{F_0} = \sigma_k, \text{称为材料的断裂}$$

强度； $\text{tg}\alpha = \frac{\sigma_p}{\varepsilon_p} = E$ ，称为材料的弹性模量； $\frac{\Delta l_k}{l_0} = \delta_k$ ，称为材料的断裂时的相对伸长率。

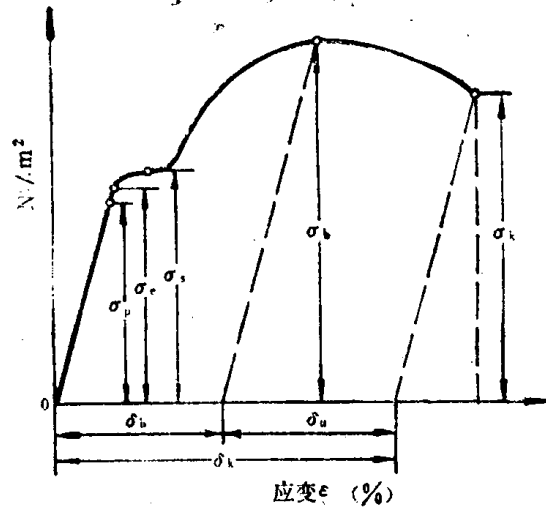


图1-7 低碳钢的应力-应变曲线

图1-7的曲线应该称为名义应力-应变曲线，因为在建立这个曲线时，试样原始断面面积被认为是不变的。 Δl 也被当作是均匀的。事实上，在拉伸过程中 F_0 是在不断地缩小，而真实的 Δl 也并不是均匀增加的。如果考虑到 F_0 和 Δl 的变化，那么真实的应力-应变曲线应如图1-8所示。要测出材料的真实应力-应变曲线比较复杂，但从图中的对比可知：真实的应力-应变曲线在屈服极限之后，应力是随应变的增加而不断上升，直至断裂，它更直观地说明了材料在发生塑性变形过程中，变形的抗力是在不断地增加，这种现象称为“加工硬化”（参看第二篇、第八章§8-1）。在真实应力-应变曲线中，曲线在屈服点以上部分的陡度反映了材料塑性变形抗力增长的强弱倾向，即材料塑性变形的难易程度——称为硬化模数。

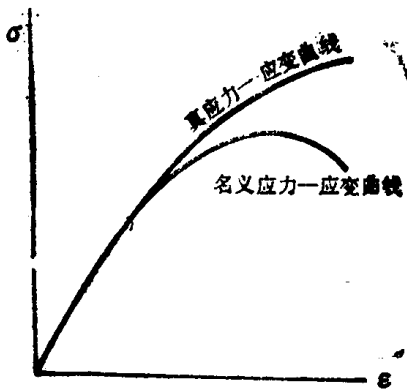


图1-8 真应力-应变曲线与名义应力-应变曲线

二、静拉伸试验所测定的机械性能

1. 材料的刚性与弹性指标

刚性是材料在外力作用下抵抗弹性变形的能力，亦即材料弹性变形的难易程度。在弹性变形阶段，在相同的外力作用下，材料的刚性大，变形小；刚性小，则变形大。

从 σ - ε 曲线可以看出：曲线0— a 段的 α 角愈大，变形所需的应力愈大，即材料抵抗弹

性变形的能力愈强。所以 α 的正切 ($\text{tg}\alpha$) 称为材料的弹性模量 E ，它表示材料产生单位应变 ϵ 所需的应力 σ ，即

$$E = \text{tg}\alpha = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (\text{N/m}^2)$$

所以， E 即反映了材料的刚性大小。 E 愈大，材料愈不易发生弹性变形，反映其刚性愈大。每种材料都有不同的 E 值。 E 的大小主要由材料本身原子的性质和晶体构造所决定，因此同一类材料中 E 的差别不大，例如铁碳合金中，各种钢以及铸铁的 E 值基本一致，约为 $204000-214200\text{MN/m}^2$ 。钢可以通过热处理或合金化改变其中的组织，使强度及硬度产生很大的变化，但是 E 不会发生明显的变化。所以，在工程材料中，各种金属和合金的 E 值通常被认为是一个不受其中组织变化所影响的性能指标。

E 反映了材料的刚性。但是一个具体物体或零件的刚性除决定于材料的 E 外，还与该物体或零件的断面形状和尺寸有关。例如，同一种材料的两个零件， E 虽相同，但断面尺寸大的不易发生弹性变形，而断面小的则容易发生弹性变形。因此，必须注意把材料的刚性（由 E 反映）与零件的刚性（由 E 及断面因素反映）区别开来。为了避免混淆，本书以后将零件的刚性称为刚度。

材料的弹性是指材料在开始塑性变形前最大的弹性变形量，即应力达到 σ_e 时的应变 ϵ_e 。 ϵ_e 愈大则反映材料的弹性变形能力愈大（图1-9）。

应该注意弹性和刚性的不同意义和它们之间的关系：弹性是指材料弹性变形的最大能力，而刚性是反映材料弹性变形的难易程度；材料弹性的指标是用 ϵ_e 来衡量，而刚性由 E 决定。由于 E 对于一种材料是一个稳定不变的指标，而由应力-应变曲线图中可以看出：一种材料的 σ_e 提高时， ϵ_e 也会增大，因此通过改变 σ_e ，即可使 ϵ_e 增大或缩小，从而达到改变弹性的目的。所以，材料的刚性、弹性和材料的弹性极限之间关系是：

$$\epsilon_e \approx \frac{\sigma_e}{E} \quad (\sigma_e \approx \sigma_s)$$

图1-9中， σ_e 以下所包围的阴影线面积表示材料单位体积所吸收的最大弹性变形功称为弹性比功，可以表达为：

$$\text{弹性比功} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_e \cdot \epsilon_e = \frac{\sigma_e^2}{2E}$$

机器零件的弹性性能一般不仅要求弹性指标 ϵ_e 高，而且要求弹性比功大，弹簧就是最明显的例子。由上式所表达的关系可见，提高 σ_e 也可以使弹性比功增大。

2. 材料的强度指标

强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。在材料拉伸试验中，弹性极限 σ_e 、屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b 和断裂强度 σ_r 分别表征材料在不同变形程度时和断裂时的抗力。所以，这些指标都属于强度指标。

弹性极限 σ_e 是材料开始产生微量塑性变形时的抗力，零件中的应力如超过 σ_e 便会产生

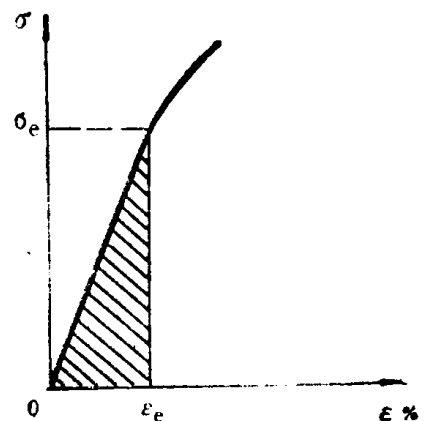


图1-9 弹性比功

微小的塑性变形，所以在机械和工程设计中，对于不允许发生任何塑性变形的零件（如弹簧）或构件，都用 σ_s 作为强度指标来选择材料和校核尺寸。

屈服极限 σ_s 是材料开始产生明显均匀变形时的抗力。由于所有的机械零件在使用中都不允许存在塑性变形，所以机械中绝大多数传动零件和联结零件的强度计算，都是以 σ_s 作为许用应力的极限值。即取材料的许用应力为：

$$\sigma_{\text{许}} = \frac{\sigma_s}{n} \quad (n \text{ 大于 } 1, \text{ 称为安全系数})$$

一些低塑性材料常常难以测定出准确的屈服点（图1-6b），所以工程材料中规定：将应变为0.2%时所测得的应力，作为代用的屈服极限值，称为条件屈服极限，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

强度极限 σ_b 是材料开始产生大量集中塑性变形时的抗力，它反映了材料在拉伸条件下所能承受的最大应力值，所以也称为材料的抗拉强度，对于脆性材料，它同时也表征材料的断裂强度。任何机械零件或金属结构件当应力达到 σ_b 时即意味着要发生断裂，所以除脆性材料外， σ_b 一般不直接用于强度计算。通常只作为材料质量的评定指标和间接用于估算材料抗疲劳能力。

3. 材料的塑性指标

材料的塑性是指材料在外力作用下，断裂前可以承受的最大塑性变形能力。代表塑性的指标有：

A. 延伸率 δ ：试样拉断时，它的伸长量与原来长度比值的百分率，即：

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

式中 l_0 ——试样原始工作长度；

l_k ——试样拉断时的长度。

δ 实际上也是应力-应变曲线中的 ϵ_k 。

B. 断面收缩率 Ψ ：试样拉断后，其断口断面面积的缩小量与原面积比值的百分率，

即：
$$\Psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

式中 F_0 ——试样的原始断面面积；

F_k ——试样拉断时断口的断面面积。

δ 和 Ψ 愈大，则材料的塑性愈好。通常 δ 小于5%的材料被认为是脆性材料。当拉伸试验采用不同尺寸的试样时， δ 值是不同的。采用长度为直径5倍的短试样或10倍的长试样时，其延伸率分别用 δ_5 和 δ_{10} 表示。同一种材料的 δ_5 和 δ_{10} 是不相同的，因此当用 δ 比较材料的塑性时，只能在相同规格的 δ 之间进行。

塑性是金属材料重要的机械性能指标，因为材料具有良好的塑性才能顺利地进行各种成型加工，如锻造、冲压等，而且材料在足够的强度基础上兼有适当的塑性，才能防止突然性的断裂。所以一般机械零件的材料都要求有一定的塑性（5—10%）。

4. 材料的韧性

韧性是指材料静载下达到断裂时单位体积所吸收的变形功和断裂功，它等于真应力-应变曲线所包围的面积。可用下式表示：

$$a = \frac{1}{2} (\sigma_{0.2} + S_k) \cdot \varepsilon_k$$

式中 $\sigma_{0.2}$ ——材料的条件屈服极限;
 S_k ——材料的真实断裂强度;
 ε_k ——材料断裂时的伸长率。

可见,材料韧性的的大小是由强度和塑性共同决定的。材料的强度大小或塑性高低不能单独说明韧性的优劣。材料的韧性较高说明材料兼有较高的强度和塑性,因而不易发生断裂。

韧性的测定比较复杂,因此工程上不常使用这一指标,而习惯于使用另一种在冲击载荷下测定的“冲击韧性” α_k ,两者的概念并不完全相同。

综上所述可以看出:静拉伸试验不仅揭示了材料在外力作用下弹性变形——弹、塑性变形——断裂的普遍过程,同时建立了材料最基本的机械性能概念和指标——强度、弹性、刚性、韧性和塑性。这些基本性能是材料生产、检验、加工和工程设计中最重要的依据。

§1-3 材料的硬度和硬度试验

硬度是衡量金属材料软硬程度的指标,它的确切含义随试验方法而不同。生产中应用得最多的方法是用一定的载荷将一硬物压入被测金属的表面,根据压痕的深度(或大小)来评定材料的硬度。采用这种压入法,硬度实质上是材料抵抗硬物压入所引起的局部塑性变形的能力,即材料对局部塑性变形的抗力。因此,硬度不像强度和塑性那样是一单一的物理量,而是材料强度、塑性和加工硬化倾向的综合反映。

硬度的测试方法简单,不必破坏零件,并且适用于成批检验零件,特别是对那些难于加工成试样的硬材料(例如淬火钢、硬质合金等)往往只能通过硬度测试进行质量评定。

常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度及维氏硬度等。表1-1、表1-2是最常用的布氏硬度和洛氏硬度的测试原理及方法。

1. 布氏硬度HB

布氏硬度的测试原理及方法 (ISO6506-1981)

表1-1

测 试 原 理	<p>用直径为D的钢球,在载荷P下压入被测材 料的表面,数秒钟后卸去载荷,用读数显微 镜测出压痕直径d,然后按公式求出HB值; 或者根据d从已备好的表中查出HB。</p>	
计 算 公 式	$HB = \frac{\text{压入载荷 (N)}}{\text{压痕的表面积 (mm}^2\text{)}} = 0.102 \frac{2P}{\pi D^2 \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2} \right]}$ <p style="text-align: right;">[HB一般只用于测定其值小于450的材料]</p> <p style="text-align: right;">(N/mm²)</p>	

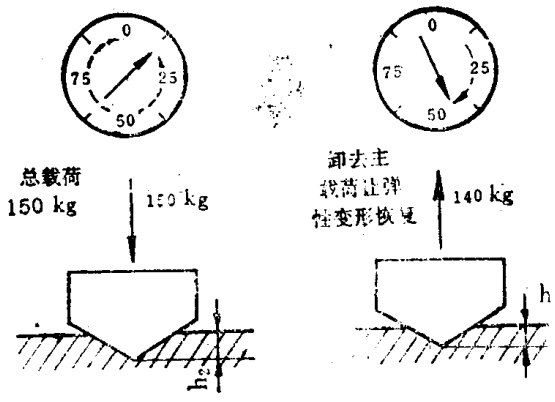
(续表)

材料	布氏硬度值 (HB)	试样厚度 (mm)	载荷 P 与钢球直径 D 的相互比例	钢球直径 D (mm)	载荷 P (N)	载荷保持时间 (s)			
测 试	黑色 属金	6—3	$P=30D^2$	10.0	3000	10			
		4—2		5.0	750				
		<2		2.5	187.5				
		>6		10.0	1000				
规 范	<140	6—3	$P=10D^2$	5.0	250	10			
		<3		2.5	62.5				
		>130		6—3	$P=30D^2$		10.0	3000	30
				4—2			5.0	750	
有 色 金 属	36—130	<2	$P=10D^2$	2.5	187.5	30			
		9—6		10.0	1000				
		3—6		5.0	250				
		<3		2.5	62.5				
属	8—35	>6	$P=2.5D^2$	10	250	60			
		6—3		5	62.5				
		<3		2.5	15.6				

2. 洛氏硬度HR

洛氏硬度试验原理和方法(GB231-63)

表1-2

测 试 原 理	用金刚石圆锥压头或钢球, 在规定的予载荷和总载荷下, 压入被测材料的表面。卸载荷后, 测定压入的深度 h , 根据公式计算出HR值。 根据压头型式和载荷分为HRA、HRB、HRC、HRD几种标度。					
计 算 公 式	$HRC = 100 - \frac{h_2 - h_1}{0.002}$		[在试验机上测试时, HR值可直接由机上的刻度为0.002mm的百分表中直接读出]			
测 试 规 范	标度	压头	予载荷(N)	总载荷(N)	应用范围	适用的材料
	HRA	120°金刚石圆锥	98.07(或10kgf)	60×9.807(或60kgf)	70—85	硬质合金、表面淬火的钢等;
	HRB	φ1.588mm钢球	98.07(或10kgf)	100×9.807(或100kgf)	25—100	软钢、退火钢、铜合金等;
	HRC	120°金刚石圆锥	98.07(或10kgf)	150×9.807(或150kgf)	20—67	淬火钢、调质钢等
	HRD	120°金刚石圆锥	98.07(或10kgf)	100×9.807(或100kgf)	40—77	薄钢板、中等厚度的表面硬化零件。

用压入法测定的硬度反映了材料对局部塑性变形的抗力, 而强度是材料在不同塑性变形阶段的抗力, 由于两者都与塑性变形有关, 因此强度和硬度之间应存在着内在的联系。但是它们之间的确切关系目前尚无准确的换算式。下面是一些常用的经验统计公式(当 σ_s 采用 kgf/mm^2 单位时):

未淬硬钢:

$$\text{当HB} < 175 \text{ 时, } \sigma_b \approx 0.362 \text{ HB}$$

$$\text{HB} > 175 \text{ 时, } \sigma_b = 0.345 \text{ HB}$$

灰铸铁:

$$\sigma_b = (\text{HB} - 40) / 6$$

铸 钢:

$$\sigma_b = (0.3 - 0.4) \times \text{HB}; \text{ 或 } \sigma_b = 8.61 \times 10^3 / 100 - \text{HRC} \quad (\text{HRC} > 40)$$

由于硬度是材料的塑性、强度以及塑性变形过程中加工硬化倾向的综合反映,所以机械零件硬度的高低不仅影响该零件抗磨损的能力(即耐磨性),同时也影响其强度、刚性和工艺性能。一般情况下,零件的硬度增加时,耐磨性提高、强度增大,但塑性下降。当硬度相当高时,强度会转而降低。所以一般机械零件的硬度不能要求太高,通常用于传动的钢质零件,其硬度约为HB 180—250,或HRC 25—40 范围。一般来说,在这种硬度下材料具有强度和塑性的良好配合。

§1-4 材料的冲击韧性和多冲抗力

以很高的速度作用于物体上的载荷,称为冲击载荷。由于冲击载荷的加载速度很高,作用时间极短,应力和应变以波的形式在物体内部传播和反射,因而材料的性能与静载下相比发生明显的变化。通常在冲击载荷作用下,材料的屈服极限、强度极限和延伸率随冲击速度的增高而增大,但断裂强度和弹性模量变化不大。因此,材料在冲击载荷下一般表现为脆性的倾向显著增加,并易发生局部变形和纵裂。

材料在不同的冲击能量和冲击速度下所表现的性能和失效形式有很大的差别。工程上常对材料抗冲击的能力进行下列两种试验。

1. 材料的冲击韧性

冲击韧性是工程上最早用来衡量金属材料抵抗冲击断裂能力的指标。试验所用的标准试样和摆锤式试验机原理如图1-10所示。

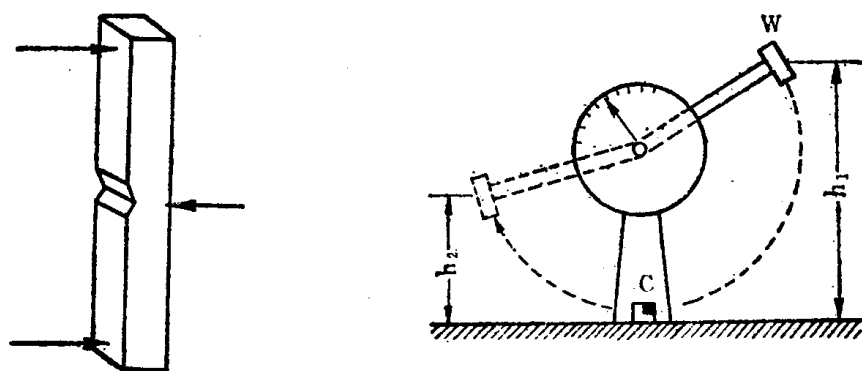


图1-10 冲击韧性试验的试样和试验机原理

试验时,试样置于支架c上,摆锤W由 h_1 高处落下,冲断试样后,摆锤上升至 h_2 处,因此:冲断试样所消耗的功:

$$A_k = W(h_1 - h_2) \quad (J)$$

冲断试样单位面积所消耗的功：

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F} = \frac{W(h_1 - h_2)}{F} \quad (KJ/m^2)$$

式中 F 为试样缺口处的断面面积。

所以，冲击韧性 α_k 的意义是材料在足够大的能量下被一次冲断时单位面积所消耗的功。对于极少数在很大能量冲击下、被一次或数次冲断的零件如装甲板、炮弹等，材料的冲击韧性是符合实际的重要性能指标。但是对于机器中绝大多数承受小能量经多次冲击而断裂的零件来说，冲击韧性显然不能准确地反映其抗冲击的能力，只能作为韧性的参考。

冲击韧性的试验方法简便，发展的历史较长，积累的数据比较丰富。因而，目前工程上仍广泛应用这一性能作为材料抗冲击能力的一般指标，也用以鉴定材料的冶金和热加工质量和确定材料随温度降低而变脆的倾向（冷脆性）。

由于材料的冲击韧性并不准确反映材料的韧性，材料的 α_k 值低，一般脆断的可能性大，但并不排除出现韧断的可能，因为材料的断裂是一个由裂纹产生到扩展而达到破断的过程。通常，材料发生冲击断裂所消耗的总功 A_k 系由三部分组成，如图1-11所示。其中第一阶段弹性

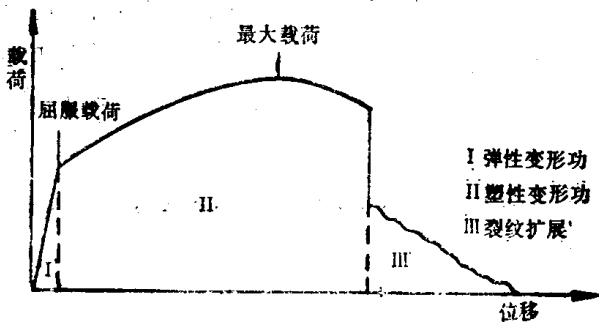


图1-11 缺口试样冲击断裂所消耗的功

功是消耗于试样的弹性变形，这时裂纹并未产生；第二阶段的塑性功是形成裂纹所消耗的；第三阶段是裂纹扩展所消耗的功。对于不同的材料，即使总功 A_k 相同，但当上述各部分功所占比例不同时，材料的韧、脆程度是不同的。若弹性功大而塑性功和裂纹扩展功小，则裂纹易于产生，并在产生后立即扩展，断裂后无明显的残留变形，因而形成为脆断；相反，若塑性功所占比例大，则裂纹不易产生并在断裂

前有明显的塑性变形而表现为韧断；若裂纹扩展功较大，则裂纹形成后扩展缓慢，并在断口处有纤维状的微观塑性变形，也属于韧断。

因此，不能认为凡冲击韧性较高的材料必有较高的韧性而不易发生脆断。

2. 材料的多冲抗力

机器中大多数承受冲击的零件都是经过千万次小能量的多次冲击才发生断裂。这种条件下，材料断裂的抗力即多冲抗力与大能量下的一次冲击破断的断裂抗力所表现的冲击韧性有很大差别。因为多冲下的断裂是经过长期的损伤积累，裂纹的产生和扩展是逐渐形成的，而大能量一次冲断时，裂纹的发生和扩展是瞬时完成的，因此，材料所表现的抗力是不同的。

材料的多冲抗力一般用图1-12所示的试样和原理进行试验。试验的结果可绘成图1-13的 $A-N$ 曲线。其中纵座标 A 表示冲击能量；横座标 N 表示试样断裂前所承受的冲击周次 N ，它的大小即反映试样断裂前工作寿命的长短。