



东北大学资助

材 料 的 力 学 性 能

王摇磊摇主编

东 北 大 学 出 版 社

• 沈摇阳 •

摇©王摇磊 国图原

摇图书在版编目（悦孕）数据

摇材料的力学性能 摇王磊主编 郢— 沈阳 ：东北大学出版社，国图缘愿
摇阳月晃外郢录国图原缘

摇Ⅰ 郢材…摇Ⅱ 郢王…摇Ⅲ 郢材料力学摇Ⅳ 郢月录

摇中国版本图书馆 悦孕数据核字（国图缘）第 国图录源号

摇_____

摇出 版 者：东北大学出版社

地址：沈阳市和平区文化路 猿号巷 猿号

邮编：员缘园园源

电话：国图原—愿录源猿录（市场部）摇愿录源录苑（社务室）

传真：国图原—愿录源录苑（市场部）摇愿录源录缘（社务室）

精缘录缘 火录录岳 火录录录录

录录：// 憎录录录录录录录录

摇印 刷 者：沈阳市政二公司印刷厂

摇发 行 者：东北大学出版社

摇幅面尺寸：员录nm 伊员录nm

摇印摇摇张：员录缘

摇字摇摇数：猿录千字

摇出版时间：国图缘年 愿月第 员版

摇印刷时间：国图缘年 愿月第 员次印刷

摇责任编辑：冯淑琴

摇封面设计：唐敏智

摇责任校对：刘摇远

摇责任出版：杨华宁

摇_____

摇定摇摇价：国图录元

前 摇 摇 言

本书是根据我国高等理工科院校的材料科学与工程专业的教学需要编写的。在教学计划中，材料的力学性能是一门专业必修课。从学科角度讲，材料的力学性能主要研究力或力与其他外界条件共同作用下的材料的变形和断裂的本质及其基本规律。其目的在于研究各种力学性能指标的物理意义、各种条件的影响及其变化规律，从而为从材料的设计、制备出发，研制新材料、改进或创新工艺提供依据；为机械设计和制造过程中正确选择与合理使用各种材料指明方向，并为机器零件或构件的失效分析奠定一定基础。

本书是考虑到在修完《材料科学基础》以及《工程力学》的基础上，为进一步增加材料科学与工程有关结构材料的知识而编写的。力求将材料力学行为的微观（实际为细观）物理本质与力学行为的宏观规律有机结合，既强调材料力学性能的基本概念，又尽可能介绍本学科相关的一些新成就。全本共分八章。第 员章、第 圆章主要介绍材料的弹性变形、塑性变形及形变强化的基本原理，着重讨论各种力学指标的物理意义及其与组织结构的关系。第 猿章详细介绍了材料的强化与韧化知识，这是本书的特色所在。第 源章、第 缘章介绍了有关材料的断裂与断裂韧性问题，以使读者对材料由加载至失效有一个全面的认识。应该说，前 缘章是本书的基础部分，也是教学之重点。第 远章、第 苑章、第 愿章介绍材料在特定加载方式或外界环境下的力学行为，即第 远章材料的疲劳、第 苑章高温及环境下的材料力学性能、第 愿章材料的磨损和接触疲劳。本书可作为 源园学时课程的教材，讲授时可依据不同专业的要求，讲授一部分，其余留给学生自学。

本书由张滨（第 员章、第 圆章）、王磊（第 猿章、第 缘章）、杜林秀（第 源章、第 远章）、崔彤（第 苑章、第 愿章）执笔编写，全书由王磊任主编。在编写中作者曾参考和引用了一些单位及作者的资料、研究成果和图片，在此谨致谢意。本书的出版得到了东北大学的资助；东北大学出版社的有关人员为本书的出版做了大量的工作，这里一并表示谢忱。

由于编者学术水平和客观条件所限，书中难免存在疏漏和不妥之处，诚恳希望读者批评指正。

王摇磊

圆园缘年 缘月

目摇摇录

员摇材料在静载荷下的力学性能	员
摇员员摇材料的拉伸性能	员
员员员摇拉伸曲线和应力-应变曲线	员
员员员摇脆性材料的拉伸性能	怨
员员员摇塑性材料的拉伸性能	员
员员员摇高分子材料的拉伸性能	猿
员员员摇复合材料的拉伸性能	远
摇员圆摇材料在其他静载荷下的力学性能	愿
员圆员摇加载方式与应力状态图	愿
员圆员摇扭摇摇转	圆
员圆员摇弯摇摇曲	圆
员圆员摇压摇摇缩	缘
摇员猿摇硬摇摇度	圆
员猿员摇硬度试验的特点	愿
员猿员摇布氏硬度	愿
员猿员摇洛氏硬度	圆
员猿员摇维氏硬度	猿
员猿员摇显微硬度	圆
员猿员摇肖氏硬度	猿
摇参考文献	猿
圆摇材料的变形	猿
摇圆圆摇材料的弹性变形	猿
圆圆员摇弹性变形的特点	猿
圆圆员摇弹性变形的物理本质	猿
圆圆员摇胡克定律	猿
摇圆圆摇弹性模量及其影响因素	愿
圆圆员摇弹性模量的意义	愿
圆圆员摇弹性模量的影响因素	愿
圆圆员摇弹性比功	怨
摇圆圆摇弹性变形的不完整性	源
圆圆员摇包辛格(Bauschinger)效应	源

弹性后效	源
弹性滞后环	源
材料的塑性变形	源
塑性变形的一般特点	源
塑性变形的物理过程	源
单晶体与多晶体材料塑性变形的特点	源
变形织构和各向异性	源
屈服	源
屈服现象及其解释	源
屈服强度	源
屈服判据	源
形变强化	源
形变强化曲线	源
材料的颈缩现象	源
形变强化的意义	源
参考文献	源
材料的强化与韧化	源
金属及合金的强化与韧化	源
均匀强化	源
非均匀强化	源
细晶强化	源
第二相强化	源
其他强化方法	源
陶瓷材料的强化与韧化	源
陶瓷材料的强度特点	源
陶瓷材料的强化	源
陶瓷材料的韧化	源
影响陶瓷材料强度的主要因素	源
影响陶瓷材料韧性的主要因素	源
高分子材料的强化与韧化	源
高分子材料的强度特点	源
高分子材料的强化方法	源
高分子材料的韧化方法	源
复合材料的强化与韧化	源
复合强化原理	源
复合韧化原理与工艺	源
三大材料的强韧化比较	源
材料强韧化过程的力学计算	源
宏、细观平均化计算	源

猿缘 层状结构的细观模拟计算	猿缘
猿缘 强度的统计计算	猿远
猿缘 宏、细、微观三层嵌套模型	猿远
猿 参考文献	猿苑
源 材料的断裂	源愿
源 断裂分类与宏观断口特征	源愿
源 断裂的分类	源愿
源 断口的宏观特征	源园
源 断裂强度	源员
源 晶体的理论断裂强度	源员
源 材料的实际断裂强度	源圆
源 脆性断裂	源源
源 脆性断裂机理	源源
源 脆性断裂的微观特征	源愿
源 韧性断裂	源园
源 韧性断裂机理	源园
源 韧性断裂的微观特征	源员
源 复合材料的断裂	源圆
源 复合材料的断裂模式	源圆
源 复合材料断裂的微观形式	源圆
源 复合材料开裂方向的预测	源源
源 缺口效应	源源
源 缺口对应力分布的影响	源源
源 缺口敏感性及其表示方法	源远
源 缺口试样冲击弯曲及冲击韧性	源远
源 材料的低温脆性	源苑
源 材料的低温脆性现象	源苑
源 材料的韧脆转变温度	源愿
源 影响韧脆转变温度的因素	源怨
猿 参考文献	源员
缘 材料的断裂韧性	缘圆
缘 断裂韧性的基本概念	缘圆
缘 断裂强度与裂纹长度	缘圆
缘 裂纹体的三种位移方式	缘猿
缘 平面应力和平面应变	缘源
缘 断裂韧性和应力场强度因子	缘缘
缘 裂纹尖端附近的应力场	缘远
缘 裂纹尖端塑性区的大小及其修正	缘苑

缘随摇裂纹前端屈服区的大小	员苑
缘随摇应力松弛对塑性区的影响	员怨
摇缘随摇裂纹扩展的能量释放率 郢	员圆
摇缘随摇断裂韧性的影响因素	员猿
缘随摇杂质对 运 ₁ 的影响	员猿
缘随摇晶粒尺寸对 运 ₁ 的影响	员源
缘随摇组织结构对 运 ₁ 的影响	员源
缘随摇特殊热处理对 运 ₁ 的影响	员缘
摇缘随摇平面应变断裂韧性 运 ₁ 测试方法	员远
缘随摇试样的制备	员远
缘随摇测试方法摇	员苑
摇缘随摇弹塑性状态的断裂韧性	员怨
缘随摇裂纹尖端的张开位移 惲	员怨
缘随摇积分	员圆
摇参考文献	员猿
远摇材料的疲劳	员猿
摇远摇疲劳现象	员猿
远随摇变动载荷	员猿
远随摇疲劳断裂特点	员源
远随摇疲劳宏观断口	员源
摇远随摇疲劳断裂过程及其机理	员缘
远随摇疲劳裂纹的萌生	员缘
远随摇疲劳裂纹的扩展	员苑
远随摇疲劳裂纹扩展机制与疲劳断口微观特征	员苑
摇远随摇疲劳裂纹扩展速率与门槛值	员怨
远随摇疲劳裂纹扩展速率	员怨
远随摇疲劳裂纹扩展速率的数学表达式	员圆
摇远随摇疲劳强度指标	员员
远随摇杂 惲 曲线与疲劳极限	员员
远随摇过载持久值与过载损伤界	员圆
远随摇疲劳缺口敏感度	员猿
摇远随摇影响疲劳性能的因素	员源
远随摇载荷因素	员源
远随摇表面状态与尺寸因素	员远
远随摇组织因素	员远
摇远随摇低周疲劳	员苑
远随摇低周疲劳的特点	员苑
远随摇低周疲劳的 $\Delta\epsilon$ 惲 曲线	员苑
远随摇循环硬化与循环软化	员怨

摇第 1 章 复合材料与陶瓷材料的疲劳	员怨
摇第 1.1 节 复合材料的疲劳	员怨
摇第 1.2 节 陶瓷材料的疲劳	员园
摇参考文献	员园
苑第 2 章 高温及环境下的材料力学性能	员猿
摇第 2.1 节 材料的蠕变	员猿
摇第 2.1.1 节 蠕变现象和蠕变曲线	员猿
摇第 2.1.2 节 蠕变过程中组织结构的变化	员缘
摇第 2.2 节 蠕变变形及断裂机制	员缘
摇第 2.2.1 节 蠕变变形机制	员缘
摇第 2.2.2 节 蠕变损伤和断裂机制	员苑
摇第 2.3 节 蠕变、持久强度极限及其外推法	员愿
摇第 2.3.1 节 蠕变极限和持久强度极限	员愿
摇第 2.3.2 节 蠕变持久强度数据的外推法	员怨
摇第 2.4 节 疲劳与蠕变的交互作用	员园
摇第 2.5 节 高分子材料的黏弹性	员员
摇第 2.6 节 陶瓷材料的抗热震性	员园
摇第 2.6.1 节 抗热震断裂	员猿
摇第 2.6.2 节 抗热震损伤	员猿
摇第 2.7 节 热疲劳	员猿
摇第 2.8 节 应力松弛	员源
摇第 2.8.1 节 金属中的应力松弛现象	员源
摇第 2.8.2 节 松弛稳定性指标	员缘
摇第 2.9 节 影响材料高温性能的因素	员缘
摇第 2.9.1 节 合金化学成分的影响	员远
摇第 2.9.2 节 冶炼工艺及热处理工艺的影响	员远
摇第 2.9.3 节 晶粒度的影响	员苑
摇第 2.10 节 环境介质作用下的力学性能	员苑
摇第 2.10.1 节 应力腐蚀	员苑
摇第 2.10.2 节 氢脆	员园
摇第 2.10.3 节 腐蚀疲劳	员苑
摇参考文献	员怨
愿第 3 章 材料的磨损和接触疲劳	圆园
摇第 3.1 节 摩擦与磨损的基本概念	圆园
摇第 3.1.1 节 摩擦及类型	圆园
摇第 3.1.2 节 磨损及类型	圆员
摇第 3.1.3 节 耐磨性	圆园
摇第 3.2 节 磨损机制及提高磨损抗力的因素	圆猿

金属材料在静载荷下的力学性能

材料力学性能指标是结构设计、材料选择、工艺评价以及材料检验的主要依据。测定材料力学性能最常用的方法是静载荷方法，即在温度、应力状态和加载速率都固定不变的状态下测定力学性能指标的一种方法。

金属材料的拉伸性能

静拉伸试验一般是指在常温、单向静拉伸载荷作用下，用光滑试样测定材料力学性能的试验。试验时，在试样两端缓慢地施加单向载荷，使试样的工作部分受轴向拉力而沿轴向伸长，一般进行到拉断为止。通过拉伸试验，可以获得材料的弹性、塑性、强度、应变硬化、韧性等重要而又基本的力学性能指标，这些指标的特性统称为材料的拉伸性能。

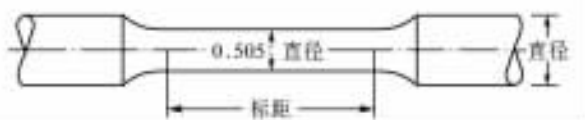


图 金属拉伸试样

静拉伸试验可用圆柱试样或板状试样在拉伸机上进行。为确保材料确实处于单向拉伸状态，对试样形状、尺寸和加工精度都有一定要求。一般拉伸试样可分为工作部分、过渡部分和夹持部分三部分(图 金属)。其中，工作部分指图 金属所示的标距范围内，其表面必须光滑，以保证材料表面也处于单向拉伸状态；夹持部分是指与试验机夹头连接的部分。过渡部分必须有适当的台肩和圆角，以降低应力集中，保证该处不发生变形和断裂；材料不同对其要求也不同，试样的形状、尺寸和加工精度等在国家标准中都有明确规定。

金属拉伸曲线和应力 应变曲线

金属应力与应变

物体受外加载荷作用时，在单位截面上所受到的力称为应力。载荷通常并不垂直于其所作用的平面，此时可将载荷分解为垂直于作用面的法向载荷与平行于作用面的切向载荷，如图 金属所示，前者称为正应力，后者称为切应力，分别表示为

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \frac{F_{\perp}}{A} \\ \tau &= \frac{F_{\parallel}}{A} \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

在单向静载荷拉伸条件下，正应力 $\sigma = \frac{F}{A}$ ，其中 F 为拉伸载荷， A 为垂直拉伸轴线截面的面积，工程上规定，加载过程中，截面积不变，即以原始截面积 A_0 代替 A ，这样得到的

应力为工程应力(或称条件应力), σ 越孕伊伊面。

物体在外力作用下, 单位长度(或面积)上的变形量称为应变, 应变是应力作用的结果。每种应力对应一种应变。与工程应力相对应的是工程应变, 表示为: ε 越孕伊伊面, 其中 造为试样原始标距的长度, 造为试样伸长后的长度。如果用面积表示, 工程应变为 ψ 越孕伊伊面, 其中 粤为试样的原始截面积, 粤为受力后的截面积。与切应力相对应的是切应变, 切应变为切向载荷所引起的切位移与相邻两截面的距离之比, 或等于试样转动角度的正切值, 即 γ 越葬越澡, 其中 γ 为切应变, 葬为切位移, 澡为相邻截面间距离, θ 为转动角度, 如图 圆所示。

实际上, 在拉伸过程中, 试样的横截面积是逐渐减小的, 外加载荷除以试样某一变形瞬间的截面积称为真应力, 表示为

$$\sigma \text{ 越 } \frac{P}{S}$$

(圆)

其中 σ 为真应力, S 为瞬时截面积。根据在塑性变形前后材料体积不变的近似假定, 即 粤造越粤造, 则

$$\sigma \text{ 越 } \frac{P}{S} \text{ 越 } \frac{P}{S_0} \frac{S_0}{S} \text{ 越 } \sigma_0 \frac{S_0}{S} \text{ 越 } \sigma_0 \frac{L_0}{L} \text{ 越 } \sigma_0 (1 + \varepsilon)$$

(圆)

所以

$$\sigma \text{ 越 } \sigma_0 (1 + \varepsilon)$$

(圆)

由式(圆)可知, 真应力 σ 大于工程应力 σ_0 , 而且随变形量的增大, 两者差别越明显。

与真应力相对应的应变为真应变 ε , 拉伸时某一瞬时试样伸长 造时, 其瞬时应变 造越造。若试样原始长度为 造, 在受载荷 孕的作用后试样的长度为 造, 其真应变为

$$\varepsilon \text{ 越 } \sum_{i=1}^n \frac{\Delta L_i}{L_i} \text{ 越 } \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} \text{ 越 } \ln \frac{L}{L_0} \text{ 越 } \ln (1 + \varepsilon_0)$$

(圆)

由式(圆)可见, 真应变 藻小于工程应变 ε_0 。这是因为每一时刻的实际应变与瞬时的标距长度 造有关。如果固定位移增量, 相应的应变增量将会逐步减小 $\Delta \varepsilon$ 因为随着附加每一位移增量, 瞬时标距长度 造都要随之增加 ΔL 在由杆的总长度变化来定义其应变时, 有可能认为该长度变化是一步达到的, 或者是任意多步达到的。现在考虑钢丝分两步拉拔的情况, 其中间经过退火处理。根据工程应变的定义, 两次拉丝的应变值分别为 造原造和 造原造。

这两个应变增量加起来并不等于最后的工程应变增量 造原造, 而对于真应变, 两次真应变之

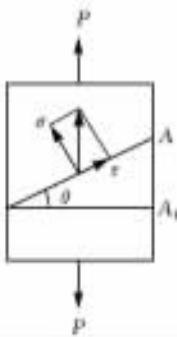


图 圆 作用在截面 粤上的应力

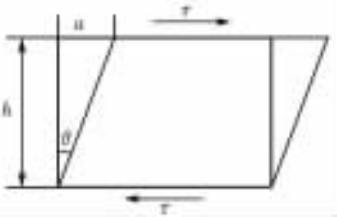


图 圆 剪切应变

和确实得到正确的结果。即

$$\frac{\text{造越员}}{\text{造越员}} = \frac{\text{造越员}}{\text{造越员}} = \frac{\text{造越员}}{\text{造越员}}$$

【例题】摇一钢坯长为 造越员, 直径 造越员, 它通过了直径为 造越员和直径 造越员的拔丝模具两次拉拔, 试问两次拉拔后的真实应变 藻, 藻各为多少? 条件应变 $\varepsilon_{\text{员}}$, $\varepsilon_{\text{圆}}$ 各为多少? 总的真实应变 藻 条件应变 ε 各为多少?

【解】摇根据体积不变原理, 可求出两次拉拔后的长度 造与 造, 有

$$\frac{\text{造越员} \times \pi \left(\frac{\text{造越员}}{2} \right)^2}{\text{造越员} \times \pi \left(\frac{\text{造越员}}{2} \right)^2} = \frac{\text{造越员} \times \pi \left(\frac{\text{造越员}}{2} \right)^2}{\text{造越员} \times \pi \left(\frac{\text{造越员}}{2} \right)^2}$$

两次拉拔后的条件应变为

$$\varepsilon_{\text{员}} = \frac{\text{造越员} - \text{造越员}}{\text{造越员}}, \quad \varepsilon_{\text{圆}} = \frac{\text{造越员} - \text{造越员}}{\text{造越员}}$$

两次拉拔后的真实应变为

$$\text{藻越员} = \ln \frac{\text{造越员}}{\text{造越员}}, \quad \text{藻越圆} = \ln \frac{\text{造越员}}{\text{造越员}}$$

两次拉拔后的条件应变 ε 和真实应变 藻为

$$\varepsilon = \frac{\text{造越员} - \text{造越员}}{\text{造越员}}, \quad \text{藻越员} = \ln \frac{\text{造越员}}{\text{造越员}}, \quad \text{藻越圆} = \ln \frac{\text{造越员}}{\text{造越员}}$$

【答】 $\varepsilon_{\text{员}} = \frac{\text{造越员} - \text{造越员}}{\text{造越员}}$, $\varepsilon_{\text{圆}} = \frac{\text{造越员} - \text{造越员}}{\text{造越员}}$, $\varepsilon = \frac{\text{造越员} - \text{造越员}}{\text{造越员}}$; 藻越员, 藻越圆, 藻越圆

员随员随员随拉伸曲线与应力 原应变(σ 原)曲线

拉伸试验机上带有自动记录装置, 可以自动记录作用在试样上的力和由受力而引起的试样伸长, 绘出载荷 孕与伸长量 Δ 造的关系曲线, 这种曲线叫做拉伸曲线或拉伸图。

图 员源是退火低碳钢的拉伸曲线, 图 员源中纵坐标表示载荷 孕, 单位是牛(晕)或兆牛(酝晕), 横坐标表示试样在载荷 孕的作用下的绝对伸长量 Δ 造 单位是毫米(皂皂)。

在给试样加载初期, 载荷比较小, 其伸长量与载荷间按照直线关系成正比地增加。当载荷超过 孕后, 拉伸曲线开始偏离直线。孕为保持直线关系的最大载荷。

曲线偏离直线后, 试样进入变形开始阶段, 此时如果卸掉载荷, 试样立刻恢复原来形状, 这种变形称为弹性变形。当载荷大于 孕再卸掉载荷时, 试样的伸长只能部分地恢复原来形状, 而保留一部分残余变形。卸掉载荷后的残余变形称为塑性变形。不产生塑性变形的

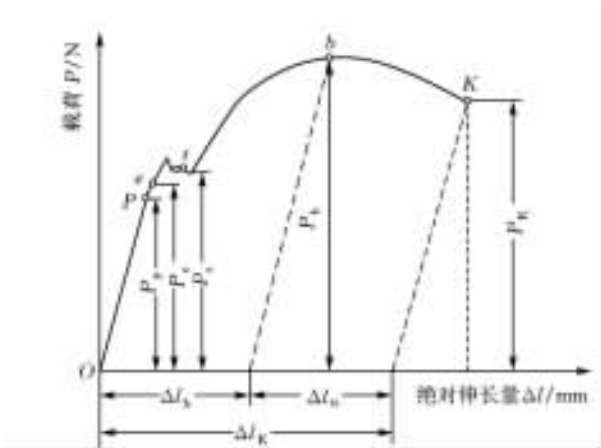


图 1-10 低碳钢的拉伸曲线

最大载荷称为弹性极限的载荷 σ_s 。一般说来， σ_s 和 σ_b 是很接近的。

载荷增加到一定值时，拉伸曲线上出现了平台或锯齿，这种在载荷不增加或减小的情况下，试样还继续伸长的现象称为屈服。屈服后，试样开始发生明显的塑性变形，表面会出现滑移带。

屈服现象发生后，试样再继续变形必须不断增加载荷，即变形抗力增加。随着试样塑性变形量的不断增大，变形抗力不断增加的现象称为形变强化或加工硬化。当载荷达到最大值 σ_b 后，试样的某一局部截面开始急剧缩小，出现了“颈缩”现象，以后的变形主要集中在这个缩颈了的部位。

由于“颈缩”使试样截面面积急剧减小，致使试样承载能力下降。拉伸曲线上的最大载荷 σ_b 是强度极限的载荷。当载荷达到 σ_b 时，试样断裂，这个载荷称为断裂载荷。

新标准 GB/T 228.1-2010 中对室温拉伸性能指标名称和符号进行了修改，由于高温力学性能指标并没有修改，为保持符号前后一致性，这里仍采用原国家标准规定的符号，下表列举了几个主要的新旧标准性能名称和符号对照，详细请参见 GB/T 228.1-2010。

性能名称对照表

新摇标摇准		旧摇标摇准	
性能名称		符摇摇号	符摇摇号
抗拉强度	抗拉强度	σ _b	σ _b
断面收缩率	断面收缩率	ψ	ψ
断后伸长率	断后伸长率	δ ₅	δ ₅

以工程应力作纵坐标，以工程应变作横坐标绘制的曲线，称为应力-应变(σ-ε)曲线(图 1-11)。比较低碳钢的拉伸曲线(图 1-10)和其应力-应变曲线(图 1-11)，可以看出，两者具有完全相同的形状，但其横、纵坐标不同，两曲线的意义也不同。应力-应变曲线的纵坐标表示应力，单位是兆帕(MPa)，横坐标表示相对伸长量，单位是百分数(%)。在应力-应变曲线上，可以直接读出材料的力学性能指标，如屈服强度 σ_s ，强度极限 σ_b ，伸长率(延伸率) δ_5 等。由图 1-11 应力-应变曲线可以看出，不同的曲线段反映不同的强度指标分

述如下。

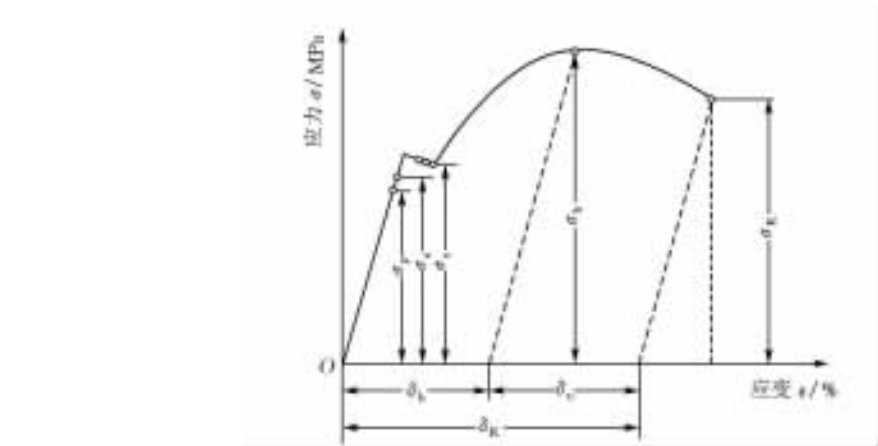


图 1-1 员瑶低碳钢的应力 原应变曲线

员瑶员瑶员瑶强度指标及其测定方法

(员) 比例极限 $\sigma_{\text{贵}}$

当应力比较小时，试样的伸长随应力成正比地增加，保持直线关系。当应力超过 $\sigma_{\text{贵}}$ 时，曲线开始偏离直线，因此称 $\sigma_{\text{贵}}$ 为比例极限，是应力与应变成直线关系的最大应力值，且

$$\sigma_{\text{贵}} \text{ 越 } \frac{F_{\text{贵}}}{S_0} \quad (\text{员瑶})$$

式中 $F_{\text{贵}}$ ——比例极限的载荷，晕；

S_0 ——试样的原截面积，皂。

在实际拉伸过程中，完全精确地测定开始偏离直线那一点的应力不是很容易，因此，通常测定偏离一定值的应力，一般规定过曲线上某点的切线和纵坐标夹角的正切值 $\text{tan} \theta$ 比直线部分和纵坐标夹角的正切值 $\text{tan} \theta_0$ 增加 $\frac{1}{400}$ 时，则该点对应的应力即为规定比例极限 $\sigma_{\text{贵}}$ (简写为 $\sigma_{\text{贵}}$)，见图 1-2。如果要求精确时，也可规定偏离 $\frac{0.005}{S_0}$ 或 $\frac{0.01}{S_0}$ 时所对应的应力为 $\sigma_{\text{贵}}$ 或 $\sigma_{\text{贵}}$ ，显然 $\sigma_{\text{贵}} \text{ 跃 } \sigma_{\text{贵}}$ 。

(圆) 弹性极限 $\sigma_{\text{藻}}$

应力 原应变曲线中，应力在 $\sigma_{\text{藻}}$ 时称为弹性强度极限，该阶段为弹性变形阶段。当应力继续增加，超过 $\sigma_{\text{藻}}$ 以后，试样在继续产生弹性变形的同时，也伴随有微量的塑性变形，因此 $\sigma_{\text{藻}}$ 是材料由弹性变形过渡到弹 原塑性变形的应力。应力超过弹性极限以后，便开始发生塑性变形。

$$\sigma_{\text{藻}} \text{ 越 } \frac{F_{\text{藻}}}{S_0} \quad (\text{员瑶})$$

式中 $F_{\text{藻}}$ ——弹性极限的载荷，晕

和比例极限一样，弹性极值也受测量精度的影响。为了便于比较，根据材料构件服役条件的要求，规定产生一定残余变形的应力作为“规定弹性极限”，国家标准中规定以残余伸

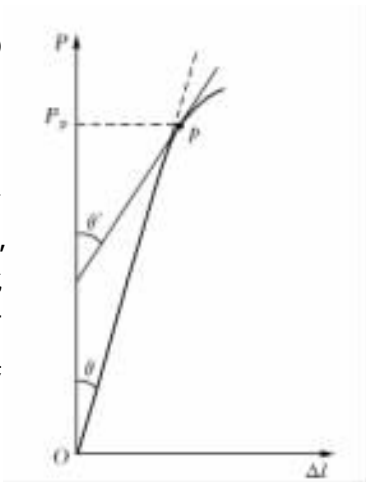


图 1-2 员瑶规定比例极限

长为 l_0 的应力作为规定残余伸长应力，用 $\sigma_{0.01}$ 表示。弹性极限并不是材料对最大弹性变形的抗力，因为应力超过弹性极限之后，材料在发生塑性变形的同时，还要继续产生弹性变形。所以，弹性极限是表征开始塑性变形的抗力，严格地说，是表征微量塑性变形的抗力对应的应力值。

在实际工作条件下，对于不允许产生微量塑性变形的零件，设计时应该根据规定弹性极限数据来选材。例如，选用弹簧材料，如果其规定弹性极限值较低，该弹簧工作时就可能产生塑性变形，尽管每次变形量可能很小，但在长期服役条件下，弹簧的尺寸会发生明显的变化，导致弹簧失效。

规定残余伸长应力 $\sigma_{0.01}$ 的测量方法与规定屈服强度 σ_s (下面将述及) 相似，可采用图解法。在自动记录装置绘出的载荷-伸长量曲线(图 1-10)上，从弹性直线段与横坐标轴的交点 O 起，截取 $0.01\% l_0$ 的残余伸长量 OA ，再过 A 点作 AB 平行于弹性直线段，交拉伸曲线于 B 点。对应于 B 点的载荷值，便是规定残余伸长应力的载荷 $P_{0.01}$ ，即可算出 $\sigma_{0.01}$ 值。确定 $\sigma_{0.01}$ 的拉伸曲线，伸长量坐标比例应不低于 100 倍。

(狗) 屈服极限

在拉伸过程中，当应力达到一定值时，拉伸曲线上出现了平台或锯齿形流变(如图 1-11 所示)，在应力不增加或减小的情况下，试样还继续伸长而进入屈服阶段。屈服阶段恒定载荷 P_s (图 1-11 中) 所对应的应力为材料的屈服点；而对于图 1-11 的曲线中，最大载荷 P_m 和首次下降的最小载荷 P_d 所对应的应力分别为材料的上屈服点 σ_s 和下屈服点 σ_{ss} 。上屈服点对试样上的局部应力集中极为敏感。具有上、下屈服点的材料规定用下屈服点作为材料的屈服点，并用 σ_{ss} 表示，有

$$\sigma_{ss} = \frac{P_d}{S_0} \quad (1-1)$$

式中 P_d ——载荷在不增加或开始下降，试样还继续伸长的恒定载荷或首次下降的最小载荷，单位是牛 (N)。

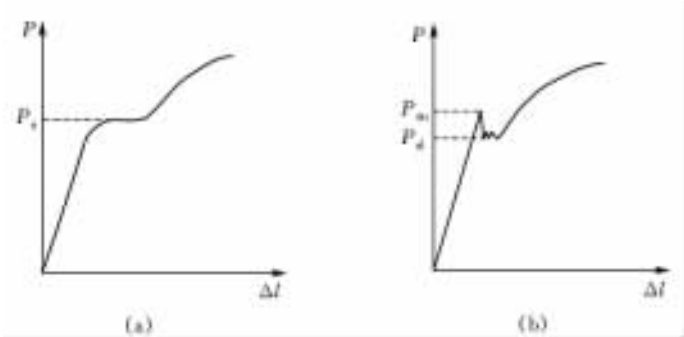


图 1-11 屈服点的定义

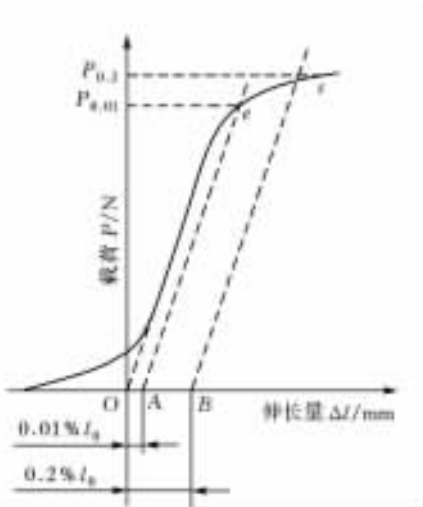


图 1-10 图解法确定 $\sigma_{0.01}$ 及 $\sigma_{0.02}$

屈服点是具有屈服现象的材料特有的强度指标。屈服点 $\sigma_{\text{泽}}$ 的载荷可借助拉伸曲线的纵坐标来确定。

除退火或热轧的低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服现象外，大多数金属合金都没有屈服点，因此，规定产生 $\sigma_{\text{圆缘}}$ 残余应变的应力作为屈服强度，以 $\sigma_{\text{圆缘}}$ 表示，有

$$\sigma_{\text{圆缘}} = \frac{F_{\text{圆缘}}}{S_0} \quad (\text{圆缘})$$

式中 $F_{\text{圆缘}}$ ——产生 $\sigma_{\text{圆缘}}$ 残余应变的载荷，单位是牛（晕）。

屈服强度 $\sigma_{\text{圆缘}}$ 和屈服点一样，表征材料发生明显塑性变形的抗力。弹性极限和屈服强度（屈服点）都表征材料开始塑性变形的抗力。但是从变形程度来看，弹性极限 $\sigma_{\text{藻}}$ 规定的残余变形小（ $\sigma_{\text{藻}}$ ~ $\sigma_{\text{圆缘}}$ ），表示开始产生塑性变形的抗力，屈服强度 $\sigma_{\text{圆缘}}$ 规定的残余变形大一点，表征开始产生明显塑性变形的抗力；比例极限 $\sigma_{\text{贵}}$ 规定的残余伸长更小，在 $\sigma_{\text{藻}}$ ~ $\sigma_{\text{圆缘}}$ 之间。这三个强度指标都是材料的微量塑性变形抗力指标，从工程技术上和标准中的定义来看，它们之间并无原则差别，只是规定的塑性变形大小不同而已。因此，可以用规定残余伸长应力把比例极限、弹性极限及屈服强度的定义统一起来。

对于结构件，常因过量的塑性变形而失效，一般不允许发生塑性变形。对于要求特别严格的构件，应该根据材料的弹性极限或比例极限设计，而要求不十分严格的构件则要以材料的屈服强度作为设计和选材的主要依据。所以屈服强度被公认为是评定材料的重要的力学性能指标。

（源 强度极限（抗拉强度）

屈服阶段以后，材料开始产生明显的塑性变形，进入弹 原塑性变形阶段，有时伴有形变强化现象，要继续变形，必须不断增加应力。随着塑性变形的增大，变形抗力不断增加，当应力达到最大值 $\sigma_{\text{遭}}$ 以后，材料的形变强化效应已经不能补偿由于横截面积的减小而引起的承载能力的降低，此时试样的某一部位截面开始急剧缩小，因而在工程应力 原应变曲线（图 圆缘）上，出现了应力随应变的增大而降低的现象，曲线上的最大应力 $\sigma_{\text{遭}}$ 为抗拉强度极限，它是由试样拉断前最大载荷所决定的条件临界应力，即试样所能承受的最大载荷除以原始截面积，有

$$\sigma_{\text{遭}} = \frac{F_{\text{遭}}}{S_0} \quad (\text{圆缘})$$

对塑性材料来说，在 $\sigma_{\text{遭}}$ 以前试样为均匀变形，试样各部分的伸长基本上是一样的；在 $\sigma_{\text{遭}}$ 以后，变形将集中于试样的某一部分，发生集中变形，试样上出现颈缩，由于颈缩处截面积急剧减小，试样能承受的载荷降低，所以按试样原始截面积 S_0 计算出来的条件应力也随之降低，如图 圆缘中曲线 员所示。在 $\sigma_{\text{遭}}$ 以后，如果改用瞬时载荷除以颈缩处的瞬时截面积 $S_{\text{圆缘}}$ ，得到的真实应力 $\sigma_{\text{圆缘}} = \frac{F_{\text{圆缘}}}{S_{\text{圆缘}}}$ 也是随变形度增加而增大的，如图 圆缘中曲线 圆所示。这说明产生颈缩以后，变形抗力将继续增加，进一步产生形变强化。

尽管如此，强度极限 $\sigma_{\text{遭}}$ 仍是很重要的，它的物理意义是表征材料对最大均匀变形的抗力，代表材料在拉伸条件下所能承受的最大载荷的应力值，工程上通常称为抗拉强度，它是设计和选材的主要依据之一，也是材料的重要力学性能指标。

（缘 断裂强度 $\sigma_{\text{运}}$

断裂强度 $\sigma_{\text{运}}$ 是试样拉断时的真实应力，它等于拉断时的载荷 $\text{孕}_{\text{运}}$ 除以断裂后颈缩处截面积 $\frac{\text{奥}_{\text{运}}}{\text{奥}_{\text{原}}}$

$$\sigma_{\text{运}} = \frac{\text{孕}_{\text{运}}}{\frac{\text{奥}_{\text{运}}}{\text{奥}_{\text{原}}}}$$

(孕) (奥)

$$\sigma_{\text{运}} \text{ 越 } \frac{\text{孕}_{\text{运}}}{\frac{\text{奥}_{\text{运}}}{\text{奥}_{\text{原}}}}$$

(孕) (奥)

断裂强度表征材料对断裂的抗力。但是，对塑性材料来说，它在工程上意义不大，因为产生颈缩后，试样所能承受的外力减小，所以国家标准中没有规定断裂强度。

脆性材料一般不产生颈缩，拉断前的最大载荷 $\text{孕}_{\text{运}}$ 就是断裂时的载荷 $\text{孕}_{\text{运}}$ ，并且由于塑性变形小，试样截面积变化不大， $\frac{\text{奥}_{\text{运}}}{\text{奥}_{\text{原}}} \approx 1$ ，所以抗拉强度 $\sigma_{\text{运}}$ 就是断裂强度 $\sigma_{\text{运}}$ 。此时的抗拉强度 $\sigma_{\text{运}}$ 就表征材料的断裂抗力。

愿随愿愿塑性指标及其测定

在试样拉伸过程中，除能测定上述强度指标外，还可测得塑性指标。材料断裂前发生永久塑性变形的能力叫做塑性。塑性指标常用材料断裂时的最大相对塑性变形来表示。

(孕) 延伸率 δ (或 $\delta_{\text{运}}$)

延伸率 $\delta_{\text{运}}$ 是断裂后试样标距长度的相对伸长值，它等于标距的绝对伸长量 $\Delta_{\text{造}}$ 越 $\frac{\Delta_{\text{造}}}{\text{造}_{\text{原}}}$ 除以试样的原标距从长度 $\text{造}_{\text{原}}$ ，用百分数(豫)表示。

$$\delta_{\text{运}} = \frac{\Delta_{\text{造}}}{\text{造}_{\text{原}}} \times 100\%$$

(孕) (奥)

- 式中 $\text{造}_{\text{原}}$ ——试样的原始标距长度，皂皂；
- $\Delta_{\text{造}}$ ——试样断裂后的标距长度，皂皂；
- $\Delta_{\text{造}}$ ——断裂后试样的绝对伸长量，皂皂
- 通常， $\delta_{\text{运}}$ 用 δ 来表示。

由拉伸曲线可以看出，在颈缩开始前，试样发生的是均匀变形，伸长量为 $\Delta_{\text{造}}$ ；颈缩开始后，塑性变形集中在颈缩区，由颈缩区的不均匀塑性变形而引起的伸长量为 $\Delta_{\text{造}}$ ；则总的伸长量 $\Delta_{\text{造}} = \Delta_{\text{造}} + \Delta_{\text{造}}$

根据实验研究结果，有

$$\Delta_{\text{造}} = \text{皂} \sqrt{\frac{\text{奥}_{\text{运}}}{\text{奥}_{\text{原}}}}, \Delta_{\text{造}} = \text{皂} \sqrt{\frac{\text{奥}_{\text{运}}}{\text{奥}_{\text{原}}}}$$

式中，皂和 皂都是常数，仅与材料相状态有关，不同材料对应一个定值，所以

$$\delta_{\text{运}} = \frac{\Delta_{\text{造}} + \Delta_{\text{造}}}{\text{造}_{\text{原}}} = \frac{\text{皂} \sqrt{\frac{\text{奥}_{\text{运}}}{\text{奥}_{\text{原}}}} + \text{皂} \sqrt{\frac{\text{奥}_{\text{运}}}{\text{奥}_{\text{原}}}}}{\text{造}_{\text{原}}} = \frac{\text{皂} \sqrt{\frac{\text{奥}_{\text{运}}}{\text{奥}_{\text{原}}}}}{\text{造}_{\text{原}}} \times 2$$

(孕) (奥)

由此可见，延伸率 δ 除决定于 皂和 皂以外，还受试样尺寸的影响，随着 $\sqrt{\frac{\text{奥}_{\text{运}}}{\text{奥}_{\text{原}}}}$ 的增大而增大。

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

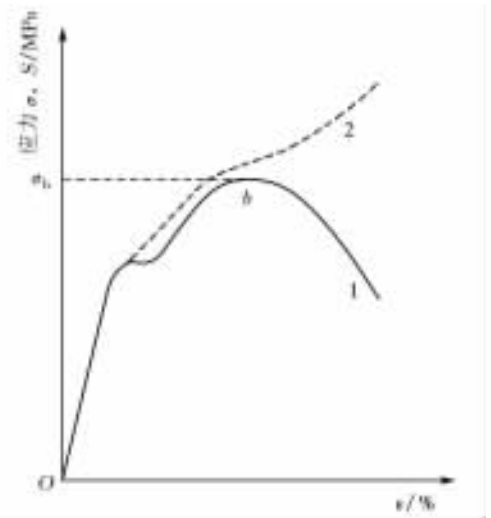


图 愿随愿愿 σ (或 皂) 原曲线
皂—条件应力；皂—真实应力