

新编钣金技术与展开计算

实用手册

标准分享网
www.bzfxw.com

新编钣金技术与展开计算实用手册

编 委 会

主 编：蔡 强 陈爱莲

编 委：李 斯 李 娜 陈 路 陈远清

王金花 邱 婷 廖兴发 廖方伟

第一篇

钣金常用金属材料 材料与热处理

常用金属材料分类

金属材料是指由金属元素或者主要由金属元素组成的材料，通常分为黑色金属或有色金属两大类。黑色金属通常是指铁、铬、锰及其合金，其余的金属则称为有色金属。黑色和有色的分法是沿用前苏联教科书的结果，但是，这种分类方法无论从逻辑上，还是从事物的本质上都是说不通的。如“有色”应与“无色”相对；“黑色”难道不是“有色”？而且，铁、铬、锰本身也并不是黑以的。在欧美教科书中，是把金属分为铁金属和非铁金属两大类，这样比较科学、严谨，但是，在我国对黑色、有色金属的称谓沿用已久，已经约定俗成，一时还改不过来。因此，本书仍使用黑色金属、有色金属的称谓。

钢、钢材、生铁、铁合金是最常用的黑色金属。

第一节 钢的综合分类

钢是含碳量小于 2.11% 的铁碳合金。由于其原料丰富，可以廉价地大规模工业化生产，性能优异，并可通过各种加工处理来改变其形状、尺寸和性能，更好地满足国民经济发展和人们的多种需求，是目前生产量和消费量最大，也是最重要的一种工程材料。

钢的分类方法很多，在钢材经营活动中最常用的是钢的综合分类：

一、建筑及工程用钢

- (1) 碳素结构钢
- (2) 低合金高强度结构钢
- (3) 特定用途工程结构钢

二、机器结构钢

- (1) 优质碳素结构钢
- (2) 合金结构钢
- (3) 弹簧钢
 - ①碳素弹簧钢
 - ②合金弹簧钢
- (4) 滚动轴承钢
 - ①铬轴承钢
 - ②无铬轴承钢
- (5) 易切削结构钢
- (6) 专门用途的机器结构钢

三、工具钢

- (1) 碳素工具钢
- (2) 合金工具钢
 - ①刃具钢
 - ②量具钢
 - ③冷作模具钢
 - ④热作模具钢
 - ⑤耐冲击工具钢
- (3) 高速工具钢

四、特殊性能钢

- (1) 不锈钢耐酸钢
- (2) 耐热钢
- (3) 电工用硅钢
- (4) 耐磨钢

第二节 钢材的分类

钢材是以钢锭或钢坯为原料经压力加工制成的产品。分为型材（型钢）、

板材（钢板）、管材（钢管）、线材（金属制品）四大类。包括下列 16 个大品种。

一、重轨

每米质量 > 30kg 的钢轨（包括起重机轨）。

二、轻轨

每米质量 ≤ 30kg 的钢轨。

三、大型、中型、小型型钢

由碳素结构钢和低合金高强度结构钢制成的型钢，按品种的尺寸大小（mm）划分大、中、小型，其尺寸划分见下表：

钢材品名	工字钢、槽钢(高度)	圆钢、方钢、螺纹钢、六角钢、八角钢(直径、边宽、对边距离或型号)	扁 钢 (宽度)	等边角钢 (边宽)	不等边角钢 (长边宽 × 短边宽)	其 他
3 大型型钢	≥ 180	> 80	> 100	> 150	> 150 × 100	18#、19# 槽帮钢、履带板、钢板桩、310 乙字钢等异型钢
4 中型型钢	< 180	38 ~ 80	60 ~ 100	50 ~ 150	40 × 60 ~ 150 × 100	U 型钢、π 型钢、10# 斜腿槽钢、犁铧钢、电梯导轨等异型钢，农用复合钢
5 小型型钢		10 ~ 37	< 60	< 50	< 40 × 60	磁极钢、小槽钢、挡圈、丁字钢等异型钢，窗框钢、农具钢

四、线材

也称盘条，热轧最小直径为 5mm 的圆钢和螺纹钢，一般呈盘卷状供应。

通常包括低碳盘条、电焊盘条、爆破线用盘条、调质螺纹盘条、优质盘条等。

五、冷弯型钢

以热轧或冷轧带钢为坯料在连续辊式冷弯机组上经弯曲成型制成的型钢。不包括以拉拔、冲压、弯折等方式生产的冷弯型钢。

六、优质型材

也称优质型钢，由优质制成的圆钢、方钢、扁钢、六角钢等型钢，钢种通常包括碳结钢、合结钢、碳工钢、合工钢、高工钢、弹簧钢、滚动轴承钢、不锈钢（简称优钢八大类）。此外，还可有易切结构钢、冷镦钢、中空钢、工业纯铁等。按生产方法可分为热轧（锻）优质型材、冷拉（拔）优质型材等。

七、其他钢材

不易包含在别的品种中的钢材，如钢轨配件、车轮、轮箍、盘件（300 ~ 500mm）、环件（600 ~ 2100mm）、车轴坯、锻件坯、钢球料等。

八、中厚钢板

厚度 $> 4.0\text{mm}$ 的钢板。通常将厚度 $> 4 \sim 20\text{mm}$ 的钢板称为中板，厚度 $> 20 \sim 60\text{mm}$ 的钢板称为厚板，厚度 $> 60 \sim 600\text{mm}$ 的钢板称为特厚板（国外到 700mm ），统称中厚钢板。包括普通中厚钢板（沸腾钢板、镇静钢板、低合金钢板、造船钢板、锅炉钢板、容器钢板、汽车大梁钢板、花纹钢板等），优质中厚钢板（碳结钢板、合结钢板、碳工钢板、合工钢板、高工钢板、弹簧钢板、轴衬钢板、不锈钢板、防弹钢板、纯铁钢板等）。

九、薄钢板

厚度 $\leq 4\text{mm}$ 的钢板，热轧板厚度 $0.35 \sim 4\text{mm}$ ，冷轧板厚度 $0.20 \sim 4\text{mm}$ 。包括普通薄钢板（花纹钢板、酸洗薄钢板、钢模板等），优质薄钢板，涂镀薄钢板（镀锌薄钢板、镀锡薄钢板、镀铅合金薄钢板、塑料复合薄钢板等）。

十、钢带

成卷供应的薄钢板，也叫带钢。分热轧、冷轧，也有普通钢带和优质钢带。

十一、电工硅钢薄板

含碳极低，含硅 0.8% ~ 4.8%，主要用作电机、变压器铁心的铁硅合金薄板，也称矽钢片或硅钢片。分热轧、冷轧。冷轧又分晶粒取向和晶粒无取向两种。

十二、无缝钢管

经热轧、冷轧、冷拔或挤压等方法制成的管壁无接缝的钢管。按用途分一般管、锅炉管、地质管、石油管、火炮管等；按材质分碳素管、合金管、不锈钢管等；此外还有厚壁管、薄壁管、毛细管、异型管等。

十三、焊接钢管

将钢板或钢带卷曲成型，然后焊接制成的钢管。分一般焊管、镀锌焊管、直缝焊管、螺旋焊管、波纹管、流体输送管、电线套管、吹氧管等。

十四、金属制品

以热轧线材（盘条）为原料，经冷拔等进一步加工的制品。包括钢丝、钢丝绳和钢绞线。

第三节 生铁的分类

生铁是碳含量大于 2% 的铁碳合金。通常分为炼钢生铁和铸造生铁两大类。

一、炼钢生铁

含硅较低（平均含量 1% 以下）、主要用于炼钢的生铁。由于其中的碳以铁碳化合物的形式（ Fe_3C ）存在，断口呈银白色，也叫白口铁。性质硬而脆，不适于加工，主要用作炼钢原料。

二、铸造生铁

含硅较多（1.25% ~ 3.60%）、主要用于铸造的生铁。由于其中的碳以石墨的形式存在，断口呈深灰色，也叫灰口铁。有良好的铸造性能和切削加工性能，主要用于生产各种铸铁件。按用途不同分（普通）铸造生铁、球墨铸铁用生铁、铸造用磷铜钛低合金耐磨生铁。

第四节 铁合金的分类

铁合金是铁与碳以外的金属或非金属元素组成的合金的总称。按照元素种类的不同，分为硅铁、锰铁、铬铁等许多种。在实际工作中，铁合金还包括金属锰、金属铬等纯金属添加剂以及锰硅合金、硅钙合金、硅铬合金等中间合金和某些氧化物（如五氧化二钒）添加剂。因为，它们在钢铁和铸造工业中都是作为合金添加剂使用的，归并为一类便于管理。

一、硅铁

硅含量在 8.0% ~ 95.0% 范围内的铁和硅的合金。

二、锰铁

锰含量在 65.0% ~ 90.0% 范围内的铁和锰的合金。

三、高炉锰铁

以高炉法冶炼，锰含量不小于 52.0% 的铁和锰的合金。

四、铬铁

铬含量在 45.0% ~ 95.0% 范围内的铁和铬的合金。

五、真空法微碳铬铁

以真空固态脱碳法冶炼的铬铁，其碳含量不大于 0.100%。

六、钨铁

钨含量在 70.0% ~ 85.0% 范围内的铁和钨的合金。

七、钼铁

钼含量在 55.0% ~ 75.0% 范围内的铁和钼的合金。

八、钒铁

钒含量在 35.0% ~ 85.0% 范围内的铁和钒的合金。

九、钛铁

钛含量在 20.0% ~ 75.0% 范围内的铁和钛的合金。

十、铌铁

铌含量在 50.0% ~ 80.0% 范围内的铁和铌的合金。

十一、硼铁

硼含量在 4.0% ~ 24.0% 范围内的铁和硼的合金。

十二、磷铁

磷含量在 15.0% ~ 25.0% 范围内的铁和磷的合金。

十三、锰硅合金

锰含量在 57.0% ~ 75.0% 范围内，且钙含量在 10.0% ~ 35% 范围内的铁、锰和硅的合金。

十四、硅铬合金

铬含量不小于 30.0%，且硅含量不小于 35.0% 的铁、铬和硅的合金。

十五、硅钙合金

硅含量在 40.0% ~ 65.0% 范围内，且硅含量在 8.0% ~ 35.0% 范围内的铁、硅和钙的合金。

十六、钒铝合金

钒含量在 50.0% ~ 90.0% 范围内，且铝含量不小于 9.0% 的铁、钒和铝的合金。

十七、铌锰铁合金

铌含量在 10% ~ 18% 范围内，且锰含量在 20% ~ 60% 范围内的铁、钒和锰的合金。

十八、稀土硅铁合金

稀土含量在 20.0% ~ 47.0% 范围内的硅铁合金。

十九、稀土镁硅铁合金

稀土含量在 4.0% ~ 23.0% 范围内，且镁含量在 7.0% ~ 15.0% 范围内的硅铁合金。

二十、金属锰

锰含量不小于 93.5% 的金属。

二十一、金属铬

锰含量不小于 98.0% 的金属。

二十二、金属锰

铬含量不小于 93.5% 的金属。

二十三、氧化钼块

钼含量不小于 18.0% 的氧化钼压块。

二十四、五氧化二钒

五氧化二钒含量不小于 97.0% 的产品。

第五节 有色金属的分类

有色金属也称非铁金属，是指黑色金属以外的所有金属。有色金属种类繁多，一般按其密度、价格、矿源的储量和分布情况分为五大类。

一、重有色金属

密度在 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以上的有色金属。包括铜、镍、铅、锌、锡、锑、汞、镉、铋等。其中铜、镍、铅、锌、锡、锑、汞都是最常用的有色金属。

二、轻有色金属

密度在 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以下的有色金属。包括铝、镁、钾、钠、钙、锶、钡等。这些金属不仅密度小，而且化学活性大，与氧、硫、碳及卤素元素结合相当

稳定。其中铝、镁是轻型结构的主要材料。

三、贵金属

矿源少、开采和提取比较困难，价格比一般金属贵的金属。包括金、银及铂族元素（铂、铱、钨、钨、钨、钨等），这些金属的特点是密度大（ $10.4 \sim 22.4\text{g/cm}^3$ ）、熔点高（ $916 \sim 3000^\circ\text{C}$ ），化学性质稳定，难于被腐蚀。贵金属广泛应用于电气、电子、宇航工业。金、银、铂还大量用作首饰、工艺品及装饰用品。金、银还用作货币。

四、半金属

物理、化学性质介于金属和非金属之间的金属。包括硅、砷、硒、碲、硼等，是半导体工业的主要原料。

五、稀有轻金属

一般指在地壳中含量较少、分布稀疏、提取困难或应用较晚的金属。按其物理、化学性质，在矿床中的共生关系以及生产流程等特点，又可分为五类。

（一）稀有金属

包括锂、铍、铷、铯、钛等。除密度小（ $0.53 \sim 4.5\text{g/cm}^3$ ）外，化学性质都十分活泼，其氧化物、氯化物都有很高的化学稳定性，很难还原。其中，钛及其钛合金具有许多优异的特性，是航空、宇航、造船、化工、国防等工业部门的重要结构材料，被誉为 21 世纪的金属、未来金属。

（二）稀有高熔点金属

包括钨、钼、钽、铌、钨、钨、钨、钨等，共同特点是熔点高（ $1830 \sim 3400^\circ\text{C}$ ）、硬度大、抗蚀性好，可与一些非金属生成高硬度、高熔点的稳定化合物（碳化物、氮化物、硅化物、硼化物），这些化合物是生产硬质合金的重要原料。

（三）稀有分散金属

包括镓、铟、铊、铊等，共同特点是在地壳中很分散，不形成独立的矿床，主要从冶金、化工作业的烟尘、残渣或中间产品中提取。稀有分散金属

在电子工业、原子能工业、合金材料、电光源材料及催化剂等方面有重要用途。

（四）稀土金属

包括镧系元素以及与镧系元素性质相近的钪和钇，共 17 种金属。这些金属的原子结构相同，物理、化学性质相近，在矿石中又总是伴生在一起，较难提取分离。主要用于冶金、石油化工、玻璃陶瓷、荧光和电子材料。

（五）稀有放射性金属

简称放射性金属，包括钋、钷、镭以及锕系元素。其共同特点是能放出各种射线，是原子能工业的重要原料。

有色金属也可按化学成分分为铜和铜合金、铝和铝合金、钛和钛合金……；按用途分为铸造合金、变形合金、轴承合金、焊料、硬质合金、印刷合金、中间合金、特殊合金、粉末合金等。在实际工作中往往把有色金属简单的分为普通有色金属（或称常用有色金属），如铜、镍、铅、锌、锡、锑、汞、铝、镁、钨精矿、钼精矿等；稀有金属，如钨、钼、钛、铌、钽、锆、铍、铷、铯、稀土金属等。

金属材料性能

第一节 金属的物理性能与化学性能

金属的物理性能是指金属固有的属性，包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。金属的化学性能是指金属在室温或高温时抵抗各种化学介质作用所表现出来的性能，包括耐腐蚀性、抗氧化性和化学稳定性等。

一、金属的物理性能

（一）密度

金属的密度是指单位体积金属的质量。密度是金属的特性之一，不同金属的密度是不同的。在体积相同的情况下，金属的密度越大，其质量也就越大。金属的密度直接关系到由金属材料所制造设备的自重和效能。如发动机要求质轻和惯性小的活塞，常采用密度小的铝合金制造。在航空工业领域中，密度更是选材的关键性能指标之一。常用金属的密度见表 1-2-1。常将密度小于 $5 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的金属称为轻金属，密度大于 $5 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的金属称为重金属。

（二）熔点

金属和合金从固态向液态转变时的温度称为熔点。纯金属都有固定的熔点。常用金属的熔点见表 1-2-1。

表 1-2-1 常用金属的物理性能

金属名称	符号	密度 (20℃) ρ / [(kg/m ³) × 10 ³]	熔点/℃	热导率 λ / [W/ (m·K)]	热胀系数 (0 ~ 100℃) α_l / (10 ⁻⁶ ℃ ⁻¹)	电阻率 (0℃) ρ / (10 ⁻⁸ Ω·m)
银	Ag	10.49	960.8	418.6	19.7	1.5
铝	Al	2.698 4	660.1	221.9	23.6	2.655
铜	Cu	8.96	1 083	393.5	17.0	1.67 ~ 1.68 (20℃)
铬	Cr	7.19	1 903	67	6.2	12.9
铁	Fe	7.84	1 538	75.4	11.76	9.7
镁	Mg	1.74	650	153.7	24.3	4.47
锰	Mn	7.43	1 244	4.98 (- 192℃)	37	185 (20℃)
镍	Ni	8.90	1 453	92.1	13.4	6.84
钛	Ti	4.508	1 677	15.1	8.2	42.1 ~ 47.8
锡	Sn	7.298	231.91	62.8	2.3	11.5
钨	W	19.3	3 380	166.2	4.6 (20℃)	5.1

合金的熔点取决于它的化学成分，如钢和生铁虽然都是铁和碳的合金，但由于碳的质量分数不同，其熔点也就不同。熔点对于金属和合金的冶炼、铸造、焊接都是重要的工艺参数。

熔点高的金属称为难熔金属（如钨、钼、钒等）。熔点高的金属材料可以用来制造耐高温零件，在火箭、导弹、燃气轮机和喷气飞机等方面得到广泛应用。熔点低的金属称为易熔金属（如锡、铅等），熔点低的金属材料可以用来制造印刷铅字（铅与锑的合金）、保险丝（铅、锡、铋、镉的合金）和防火安全阀等零件。

（三）导热性

金属传导热量的能力称为导热性。金属导热能力的大小常用热导率（亦称导热系数） λ 表示。金属的热导率越大，说明其导热性就越好。一般说来，金属越纯，其导热能力就越大。合金的导热性比纯金属差。金属的导热能力以银为最好，铜、铝次之。常用金属的热导率见表 1-2-1。

导热性好的金属其散热性也好，如在制造散热器、热交换器与活塞等零件时，就要注意选用导热性好的金属。在制定焊接、铸造、锻造和热处理工艺时，也必须考虑金属的导热性，防止金属材料在加热或冷却过程中形成过大的内应力，造成金属材料发生变形或开裂。

（四）导电性

金属能够传导电流的性能，称为导电性。金属导电性的好坏常用电阻率 ρ 表示。长 1m、截面积为 1mm^2 的物体在一定温度下所具有的电阻值，叫做电阻率。电阻率的单位是 $\Omega\cdot\text{m}$ 。电阻率越小，导电性就越好。

导电性和导热性一样，是随合金成分的复杂化而降低的，因而纯金属的导电性总比合金好。因此，工业上常用纯铜、纯铝做导电材料，而用导电性差的铜合金（康铜）和铁铬铝合金材料做电热元件。常用金属的电阻率见表 1-2-1。

（五）热膨胀性

金属随着温度变化而膨胀、收缩的特性称为热膨胀性。一般来说，金属受热时膨胀而且体积增大，冷却时收缩而且体积缩小。热膨胀性的大小用线胀系数 α_l 和体胀系数 α_v 来表示。

体胀系数近似为线胀系数的三倍。常用金属的线胀系数见表 1-2-1。在实际工作中考虑热膨胀性的地方颇多，例如：铺设钢轨时在两根钢轨衔接处应留有一定的空隙，以便使钢轨在长度方向有膨胀的余地；轴与轴瓦之间要根据膨胀系数来控制其间隙尺寸；在制定焊接、热处理、铸造等工艺时也必须考虑金属的热膨胀影响，以减少工件的变形与开裂；测量工件的尺寸时也要注意热胀的因素，以减少测量误差。

（六）磁性

金属在磁场中被磁化而呈现磁性强弱的性能称为磁性。

1. 根据在磁场中受到磁化程度的不同，金属材料可分为：

铁磁性材料——在外加磁场中，能强烈被磁化到很大程度，如铁、镍、钴等。

顺磁性材料——在外加磁场中呈现十分微弱的磁性，如锰、铬、钼等。

抗磁性材料——能够抗拒或减弱外加磁场磁化作用的金属材料，如铜、金、银、铅、锌等。

在铁磁性材料中，铁及其合金（包括钢与铸铁）具有明显磁性。镍和钴也具有磁性，但远不如铁。铁磁性材料可用于制造变压器、电动机、测量仪表等。抗磁性材料则可用作要求避免电磁场干扰的零件和结构材料。

2. 表示磁性能有如下主要指标：

（1）磁导率（ μ ）：衡量磁性材料磁化难易程度，即磁能力的指标。它等于材料的磁感应强度（B）与磁场强度（H）的比值。单位为亨/米（H/m）。

（2）磁场强度（H）：导体中通过电流，其周围就产生磁场；磁场对原磁

矩或电流产生作用力的大小为磁场强度的表征。单位为安/米 (A/m)。

(3) 磁感应强度 (B): 在磁介质中的磁化过程, 可以看作在原先的磁场强度 (H) 上再加上一个由磁化强度 (M) 所决定的、数量等于 $4\pi M$ 的新磁场, 而磁介质中的磁场 $B = H + 4\pi M$, 这就叫磁感应强度。其单位为特斯拉 (T)。

(4) 矫顽力 (H_c): 样品磁化到饱和后, 由于有磁滞现象, 欲使磁感应强度 (B) 减为零, 须施加一定的负磁场矫顽力。单位为安/米 (A/m) 或奥斯特 (Oe)。

(5) 磁致伸缩系数 (λ): 磁性材料在磁化过程中, 材料形状在该方面的相对变化率。

(6) 铁损: 铁磁性材料在动态磁化条件下由于磁滞和涡流效应而消耗的能量。单位为瓦/千克 (W/kg)。

(7) 居里点: 当温度升高到一定程度时, 铁磁材料因磁畴被破坏而变为顺磁体, 此转变温度即为居里点。单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

(8) 叠装系数: 压紧无绝缘层钢带条时实测质量与相同体积的材料计算质量比, 以此评价有效的磁性体积。

二、金属的化学性能

在机械制造中, 金属材料不但要满足金属的力学性能、物理性能的要求, 同时也要求具有一定的化学性能, 尤其是要求耐腐蚀、耐高温的机械零件, 更应重视金属的化学性能。

(一) 耐腐蚀性

金属在常温下抵抗氧、水及其他化学介质腐蚀破坏作用的能力, 称为耐腐蚀性。金属的耐腐蚀性是一个重要的性能指标, 尤其对在腐蚀介质 (如酸、碱、盐、有毒气体等) 中工作的零件, 其腐蚀现象比在空气中更为严重。在选择材料制造这些零件时, 应特别注意金属的耐腐蚀性, 并采用耐腐蚀性良好的金属或合金制造。

(二) 抗氧化性

金属在加热时抵抗氧化作用的能力, 称为抗氧化性。金属的氧化随温度升高而加速, 例如钢材在铸造、锻造、热处理、焊接等热加工作业时, 氧化比较严重。这不仅造成金属材料过量的损耗, 也会形成各种缺陷, 为此常采取措施避免金属材料发生氧化。

（三）化学稳定性

化学稳定性是金属的耐腐蚀性与抗氧化性的总称。金属在高温下的化学稳定性称为热稳定性。在高温条件下工作的设备（如锅炉、加热设备、汽轮机、喷气发动机等）部件需要选择热稳定性好的金属材料来制造。

第二节 金属的力学性能

金属的力学性能是指金属在力作用下所显示的与弹性和非弹性反应相关或涉及应力—应变关系的性能，如弹性、强度、硬度、塑性、韧性等。弹性是指物体在外力作用下改变其原始形状和尺寸，当外力卸除后物体又恢复到其原始形状和尺寸的特性。物体受外力作用后导致物体内部之间相互作用的力称为内力；单位面积上的内力称为应力（MPa）。应变是指由外力所引起的物体原始形状或尺寸的相对变化（%）。

金属力学性能的高低，表征着金属抵抗各种机械损害作用能力的大小，是评定金属材料质量的主要判据，也是金属制件设计时选材和进行强度计算的主要依据。金属的力学性能主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

一、强度与塑性

强度是指金属抵抗永久变形和断裂的能力。塑性是指金属在断裂前发生不可逆永久变形的能力。永久变形是指物体在力的作用下产生的形状、尺寸的改变，外力去除后，物体因变形不能恢复到原始的形状和尺寸。这种不能恢复到原始的形状和尺寸的变形称永久变形或塑性变形。金属材料的强度和塑性指标可以通过拉伸试验测得。

（一）拉伸试验

拉伸试验是指用静拉伸力对试样进行轴向拉伸，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

通常采用圆柱形拉伸试样，试样尺寸按国家标准中金属拉伸试验试样中的有关规定进行制作。试样分为短试样和长试样两种，一般都采用短试样。拉伸试样如图 1-2-1 所示，图 1-2-1a 为标准试样，图 1-2-1b 为拉断后的试样。 d_0 为标准试样的原始直径； d_1 为试样断口处的直径。 L_0 为标准试样

的原始标距长度， L_1 为拉断试样对接后测出的标距长度。长试样 $L_0 = 10d_0$ ；短试样 $L_0 = 5d_0$ 。

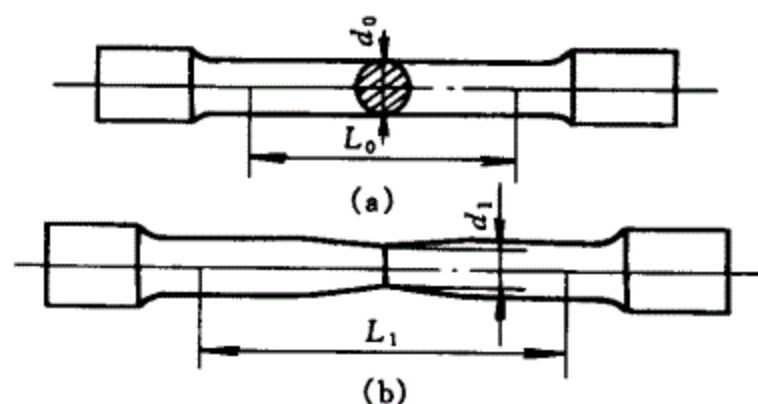


图 1-2-1 圆柱形拉伸试样

2. 试验方法

试验在拉伸试验机上进行。图 1-2-2 为拉伸试验机示意图。将试样 1 装在拉伸试验机的上下夹头上，开动拉伸试验机，在轴向拉力的作用下，试样受到拉伸。同时，记录装置记录下拉伸过程中的力-伸长曲线。

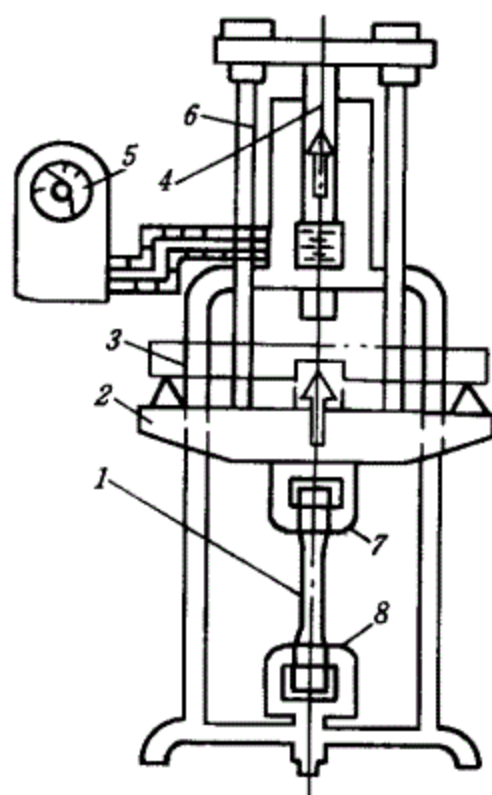


图 1-2-2 拉伸试验机示意图

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

(二) 力 - 伸长曲线

在进行拉伸试验时，拉伸力 F 和试样伸长量 ΔL 之间的关系曲线，称为力-伸长曲线。通常把拉伸力 F 作为纵坐标，伸长量 ΔL 作为横坐标，图 1-2

-3 为退火低碳钢的力-伸长曲线图。

观察拉伸试验和力-伸长曲线，会发现在拉伸试验的开始阶段，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 。在该阶段，当拉伸力增加时试样伸长量 ΔL 也呈正比增加。当去除拉伸力后试样伸长变形消失。恢复其原始形状，符合虎克定律，表现为弹性变形。图中 F_p 是试样保持弹性变形的最大拉伸力。

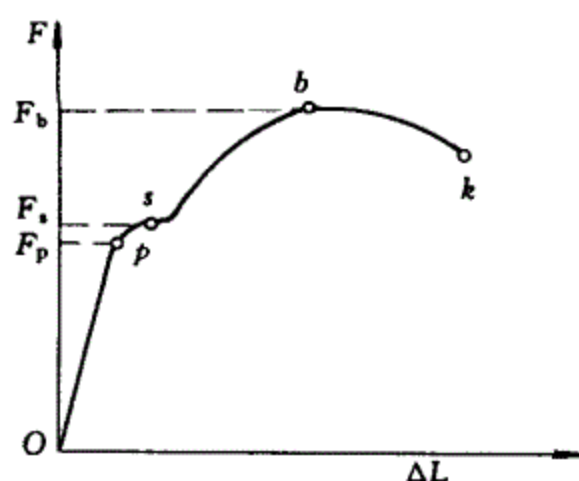


图 1-2-3 退火低碳钢的力-伸长曲线

当拉伸力不断增加，超过 F_p 时，试样将产生塑性变形，去除拉伸力后，变形不能完全恢复，塑性伸长将被保留下来。当拉伸力继续增加到 F_s 时，力-伸长曲线在 s 点后出现一个平台，即在拉伸力不再增加的情况下，试样也会明显伸长，这种现象称为屈服， F_s 称为屈服拉伸力。

为拉伸力超过屈服拉伸力后，试样抵抗变形的能力将会增加，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。即随着塑性变形量的增大，试样变形抗力也逐渐增大。

当拉伸力达到 F_b 时，试样的局部截面开始收缩，产生了缩颈现象。由于缩颈使试样局部截面迅速缩小，最终试样被拉断。缩颈现象在力-伸长曲线上表现为一段下降的曲线。 F_b 是试样拉断前能承受的最大拉伸力，称为极限拉伸力。

从完整的拉伸试验和力-伸长曲线可以看出，试样从开始拉伸到断裂要经过弹性变形阶段屈服阶段、冷变形强化阶段、缩颈与断裂阶段。

（三）强度指标

金属材料抵抗拉伸力的强度指标有屈服点、规定残余伸长应力、抗拉强度等。

1. 屈服点和规定残余伸长应力

屈服点是指试样在拉伸试验过程中力不增加（保持恒定）仍然能继续伸长（变形）时的应力屈服点是工程技术上极为重要的力学性能指标之一，也

是大多数机械零件选材和设计的依据屈服点用符号 σ_s 表示，单位为 MPa。屈服点 σ_s 的值可用下式计算：

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

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，在进行拉伸试验时没有明显的屈服现象，也不会产生缩颈现象，这就需要规定一个相当于屈服点的强度指标，即规定残余伸长应力。

规定残余伸长应力是指试样卸除拉伸力后，标距的残余伸长达到规定数值时的应力，用应力的符号 σ 加角标表示。例如， $\sigma_{0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

2. 抗拉强度

抗拉强度是指试样拉断前承受的最大标称拉应力，用符号 σ_b 表示，单位为 MPa。 σ_b 可用下式计算：

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

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 。

σ_b 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 σ_b 之前，变形是均匀一致的。但超过 σ_b 后，金属开始出现缩颈现象，即产生集中变形。

（四）塑性指标

可以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，如拉伸后的断后伸长率和断面收缩率（它们是工程上广泛使用的表征材料塑性好坏的主要力学性能指标）。

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。标距的伸长与原始标距的百分比称为伸长率。试样拉断后的标距伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率，用符号 δ 表示。 δ 可用下式计算：

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_1 ——拉断试样对拉后测出的标距长度，mm；

L_0 ——试样原始标距, mm。

由于拉伸试样的原始标距 L_0 与试样原始直径 d_0 之间具有不同的比例, 因此试样分为长试样和短试样。使用长试样测定的断后伸长率用符号 δ_{10} 表示, 通常写成 δ ; 使用短试样测定的断后伸长率用符号 δ_5 表示。同一种材料的断后伸长率 δ_{10} 和 δ_5 数值是不相等的, 一般短试样 δ_5 都大于长试样 δ_{10} 。

2. 断面收缩率

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

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 ;

S_1 ——试样断口处的横截面积, mm^2 。

金属塑性的好坏, 对零件的加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成形工艺, 而且在使用时万一超载, 由于塑性好, 能避免突然断裂。所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外, 还都必须具有一定的塑性。

二、硬度

硬度是衡量金属软硬程度的一种性能指标, 是指金属抵抗局部变形, 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。硬度试验由于其基本上不损伤试样, 简便迅速, 不需要制作专门试样, 而且可以直接在工件上进行测试, 因而在生产中被广泛应力。拉伸试验虽能准确地测出金属的强度、塑性, 但属于破坏性试验, 因而在生产中不如硬度试验应用广泛。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。硬度值的高低对机械零件的耐磨性有直接影响, 一般情况下钢的硬度值愈高, 其耐磨性亦愈高。

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。这种评定方法称为压痕硬度。在压入法中根据试验力、压头和表示方法的不同, 常用的硬度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)。

（一）布氏硬度

布氏硬度的试验原理是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，如图 1-2-4 所示。布氏硬度值是指球面压痕单位表面积上所承受的平均压力。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；

D ——压头的直径，mm；

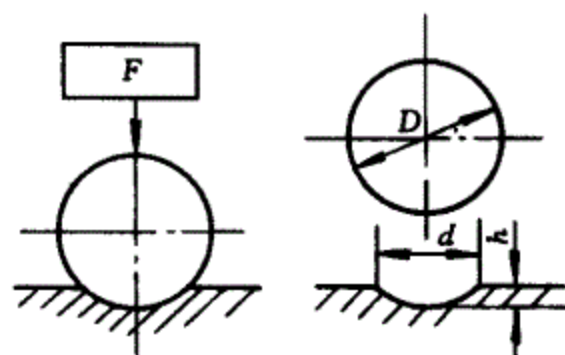


图 1-2-4 布氏硬度试验原理图

式中只有 d 是变数，因此试验时只要测量出压痕直径 d (mm)，就可通过计算或查布氏硬度表得出 HBS (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。

由于金属有硬有软，工件有厚有薄，在进行布氏硬度试验时，压头直径 D 、试验力和保持时间应根据被测金属种类和厚度正确地进行选择。

在进行布氏硬度试验选择压头时，HBS 适用于测定布氏硬度值在 450 以下的材料，如灰铸铁、有色金属及经退火、正火和调质处理的钢材等；HBW 适用于测定布氏硬度值在 450 ~ 650 之间的材料。目前我国布氏硬度试验常用的压头主要是淬火钢球。

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。除了采用钢球直径 D 为 10mm，试验力为 3 000kgf (29.42kN)，保持时间为 10s 的试验条件外，在其他条件下试验测得的硬度值，均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。例如：

150HBS10/1000/30 表示：用直径为 10mm 的淬火钢球，在 1 000kgf (9.807kN) 试验力作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 150。

500HBW5/750 表示：用直径为 5mm 的硬质合金球，在 750kgf (7.355kN) 试验力作用下保持 10 ~ 15s 测得的布氏硬度值。一般试验力保持时间为 10 ~ 15s 时都不需标明。

布氏硬度的特点是试验时金属表面压痕大，能在较大范围内反映材料的平均硬度，测得的硬度值比较准确，数据重复性强。但由于其压痕大，对金属表面的损伤也较大，因此不宜测定太小或太薄的试样。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度的试验原理是以锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球压入试样表面，如图 1-2-5 所示。试验时，先加初试验力，然后加主试验力，压入试样表面之后，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 1-2-5 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。当加上初试验力 F_0 后，压头压入试样中，深度为 h_0 ，处于 1—1 位置。再加主试验力 F_1 ，使压头又压入试样的深度为 h_1 ，处于图中 2—2 位置。然后去除主试验力，保持初试验力，压头因金属的弹性恢复在图中处于 3—3 位置。图中所示 e 值，称为残余压痕深度增量，对于洛氏硬度试验其单位为 0.002mm。标尺刻度满量程 k 值与 e 值之差，称为洛氏硬度值。根据压头和试验力的不同，洛氏硬度常用 A、B、C 三种标尺。洛氏硬度的计算式为：

$$HR = k - e = k - \frac{\text{压痕深度}}{0.002}$$

式中压痕深度的单位为 mm。

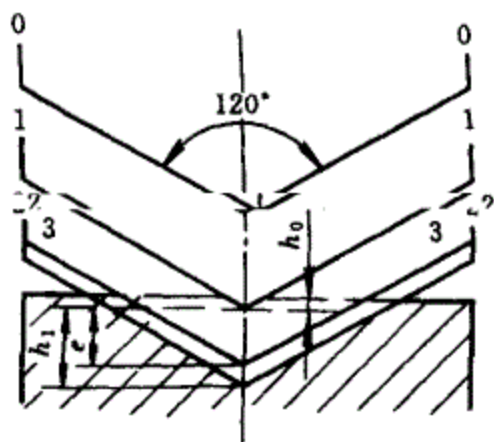


图 1-2-5 洛氏硬度试验原理图

对于由金刚石圆锥压头进行的试验，其标尺刻度量程为 100，洛氏硬度值为 $100 - e$ 。

对于由淬火钢球压头进行的试验，其标尺刻度量程为 130，洛氏硬度值为 $130 - e$ 。

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

的标尽进行标注。根据 GB/T 230—1991 规定，硬度数值写在符号的前面，HR 后面写使用的标尽，如 50HRC 表示用“C”标尽测定的洛氏硬度值为 50。

洛氏硬度试验是生产中广泛应用的一种硬度试验。其特点是：硬度试验压痕小，对试样表面损伤小，常用来直接检验成品或半成品的硬度；试验操作简便，可以直接从试验机上显示出硬度值，省去了繁琐的测量、计算和查表等工作。但是，由于压痕小，硬度值的准确性不如布氏硬度，因此，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。

（三）维氏硬度

布氏硬度试验不适合测定硬度较高的金属。洛氏硬度试验虽可用来测定各种金属的硬度，但由于采用了不同的压头、总试验力和标尽，硬度值彼此没有联系，因此不能直接换算。为了从软到硬对各种金属进行连续一致的硬度标度，因而制定了维氏硬度试验法。

维氏硬度的测定原理与布氏硬度基本相似，如图 1-2-6 所示：将夹角为 136°的正四棱锥体金刚石作为压头，以选定的试验力（49.03 ~ 98.07N）压入试样表面，经规定保持时间后，去除试验力，则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的，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算术平均值，mm。

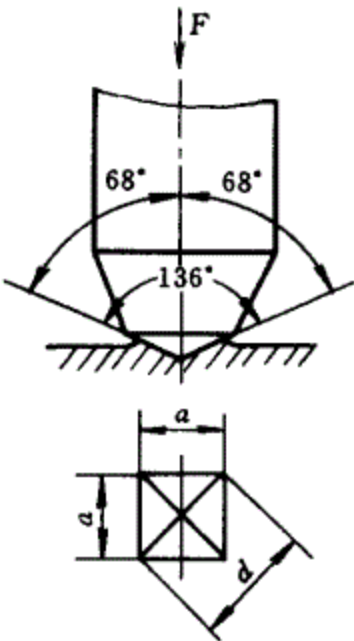


图 1-2-6 维氏硬度试验原理图

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。

维氏硬度的测量范围在 $5 \sim 1\,000\text{HV}$ 。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 $10 \sim 15\text{s}$ 时，可以不标出。例如：

640HV30 表示：用 30kgf (294.2N) 试验力保持 $10 \sim 15\text{s}$ 测定的维氏硬度值为 640。

640HV30/20 表示：用 30kgf (294.2N) 试验力保持 20s 测定的维氏硬度值为 640。

维氏硬度适用范围宽，从极软的材料到极硬的材料都可以测量。尤其适用于零件表面层硬度的测量，如化学热处理的渗层硬度测量，其结果精确可靠。但测取维氏硬度值时需要测量对角线长度，然后查表或计算，而且试样表面的质量要求高，所以，测量效率较低，没有洛氏硬度方便，不适用于大批测试，也不适合测量组织不均匀的材料（如灰铸铁）。

三、韧性

强度、塑性、硬度等力学性能指标是在静态力作用下测定的。可是有些零件在工作过程中受到的是动态力，如锻锤的锤杆、冲床的冲头等，这些工件除要求强度、塑性、硬度外，还应有足够的韧性。韧性是指金属在断裂前吸收变形能量的能力。动态力，特别是冲击载荷比静态力的破坏性要大得多。因此，需要制定冲击载荷下的性能指标，即冲击吸收功。为了测定金属的冲击吸收功，通常都采用夏比冲击试验。

（一）夏比冲击试验

1. 试验原理

夏比冲击试验是在摆锤式冲击试验机上进行的。试验时，将带有缺口的试样安放在试验机的机架上，使试样的缺口位于两固定支座中间，并背向摆锤的冲击方向。如图 1-2-7 所示。将一定质量的摆锤升高到 h_1 ，则摆锤具有势能 A_{KV1} （V 型缺口试样）。当摆锤落下将试样冲断后，摆锤继续向前升高到 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）是：

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

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，是表征金属冲击韧性的主要判据。

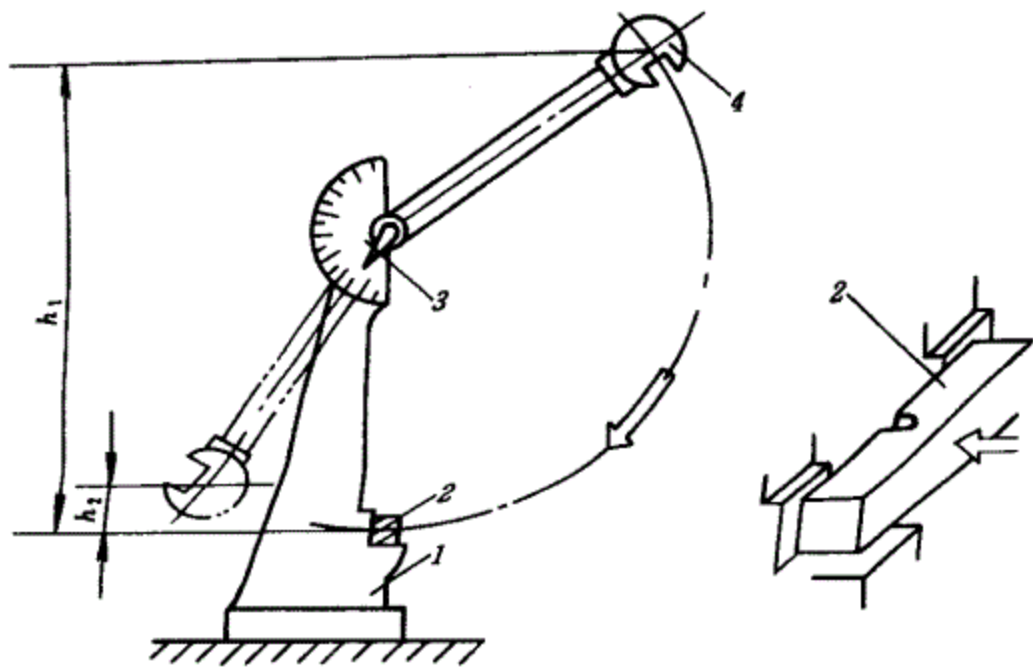


图 1-2-7 夏比冲击试验原理图
1—固定支座；2—带缺口的试样；3—指针；4—摆锤

显然，冲击吸收功 A_{KV} 愈大，表示金属抵抗冲击试验力而不破坏的能力就愈强。冲击吸收功是评定金属力学性能的重要判据。冲击吸收功对组织缺陷非常敏感，它可灵敏地反映金属质量、宏观缺口和显微组织的差异，能有效地检验金属材料在冶炼、加工、热处理工艺等方面的质量。此外，冲击吸收功对温度非常敏感，通过一系列温度下的冲击试验即可测出金属的脆化趋势和韧脆转变温度。

2. 冲击试样

为了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（见图 1-2-8）。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。

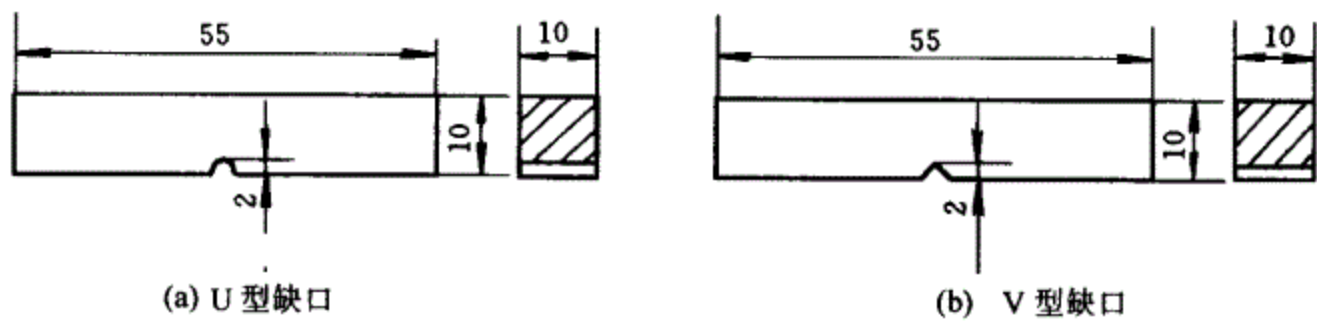


图 1-2-8 冲击试样

在试样上开缺口的作用是：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。同一种金属的试样缺口愈深、愈尖锐，冲击吸收功愈小，金属表现脆

性就愈显著。V 型缺口试样比 U 型缺口试样更容易冲断，因而其冲击韧度也较小。因此，不同类型的冲击试样，测定出的冲击吸收功不能直接比较。

3. 冲击吸收功-温度关系曲线

冲击吸收功与试验温度有关。有些金属在室温时并不显示脆性，而在较低温度下则可能发生脆断。冲击吸收功与温度之间的关系曲线如图 1-2-9 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。

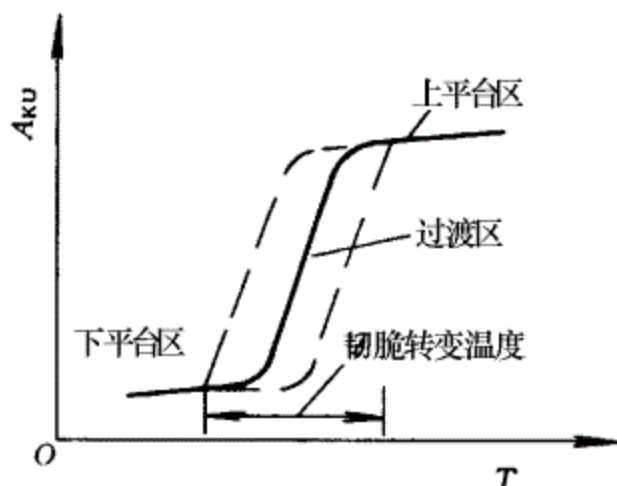


图 1-2-9 冲击吸收功-温度曲线

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。非合金钢的韧脆转变温度约为 -20°C ，因此在较寒冷（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。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）多次冲击试验的概念

在实际工作中，金属经过一次冲击断裂的情况极少。许多零件在工作时都要经受小能量多次冲击。由于在一次冲击条件下测得的冲击吸收功值不能完全反映这些零件或金属的性能指标，因此提出了小能量多次冲击试验。

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，其破坏是每次冲击损伤积累发展的结果，不同于一次冲击的破坏过程。

多次冲击弯曲试验如图 1-2-10 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裂的冲击次数，并以此作为其多次冲击抗力指标。

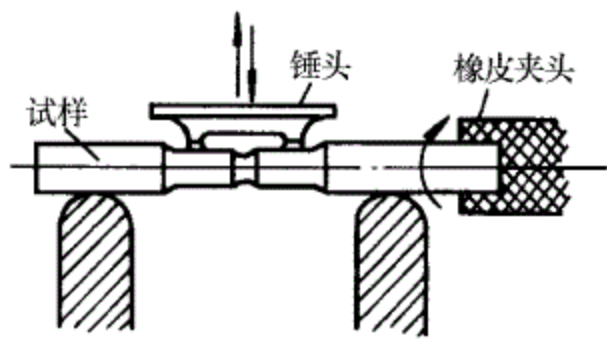


图 1-2-10 多次冲击弯曲试验示意图

研究结果表明：多次冲击抗力取决于金属的强度和塑性两项指标，随着条件的不同，其强度和塑性的作用和要求是不同的。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

（一）疲劳现象

许多机械零件如轴、齿轮、弹簧等都是在循环应力和应变作用下工作的。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。常见的交变应力是对称循环应力，其最大值 σ_{\max} 和最小值 σ_{\min} 的绝对值相等，即 $\sigma_{\max}/\sigma_{\min} = -1$ ，如图 1-2-11 所示。许多零件工作时承受的应力值通常都低于制作材料的屈服点或规定残余伸长应力，零件在这种循环载荷作用下，经过一定循环次数后仍会产生裂纹或发生突然断裂，这种现象叫做疲劳。

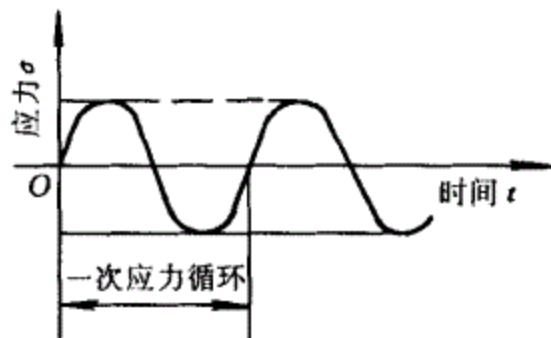


图 1-2-11 对称循环交变应力

疲劳断裂与静态力作用下的断裂不同。在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疲劳造成的。因此，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。

研究表明：疲劳断裂首先是在零件应力集中局部区域产生的，其先形成微小的裂纹核心，即微裂源，随后，在循环应力作用下，裂纹继续扩展长大。由于疲劳裂纹不断扩展，使零件的有效工作面逐渐减小，因此在裂纹所在的断面上，零件所受应力不断增加。当应力超过材料的断裂强度时，则发生疲劳断裂，形成最后瞬断区。疲劳断裂的断口如图 1-2-12 所示。

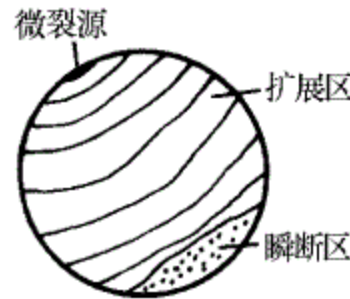


图 1-2-12 疲劳断口示意图

（二）疲劳强度

金属在循环应力作用下能经受无限次循环而不断裂的最大应力值，称为金属的疲劳强度。即循环次数值 N 无穷大时所对应的最大应力值，称为疲劳强度。在工程实践中，一般都是求疲劳极限，即对应于指定的循环基数下的中值疲劳强度。对于黑色金属，循环基数为 10^7 ；对于有色金属，循环基数为 10^8 。对称循环应力的疲劳强度用 σ_{-1} 表示。许多试验结果都表明：金属的疲劳强度随着抗拉强度的提高而增加，结构钢当 $\sigma_b \leq 1\,400\text{MPa}$ 时，其疲劳强度 σ_{-1} 约为抗拉强度的二分之一。

疲劳断裂是在循环应力作用下，经一定循环次数后发生的。在循环载荷作用下，金属承受一定的循环应力 σ 和断裂时相应的循环次数 N 之间的关系，可以用曲线来描述，这种曲线称为 $\sigma-N$ 曲线，如图 1-2-13 所示。

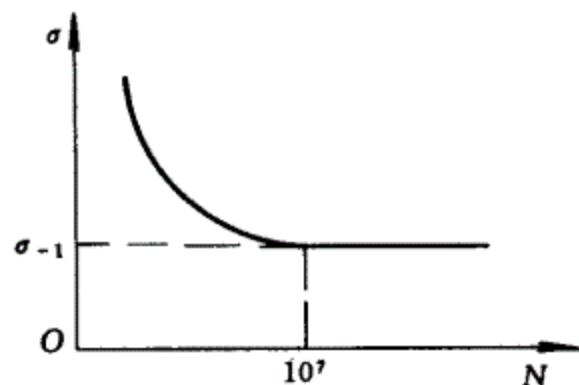


图 1-2-13 $\sigma-N$ 曲线

由于大部分机械零件的损坏都是由疲劳造成的，因此消除或减少疲劳失

效,对于提高零件使用寿命有着重要意义。影响疲劳强度的因素很多,除设计时在结构上注意减小零件应力集中外,还应改善零件表面粗糙度,这样可减少缺口效应,提高疲劳强度。采用表面热处理,如高频淬火、表面形变强化(喷丸、滚压、内孔挤压等)、化学热处理(渗碳、渗氮、碳-氮共渗)等都可改变零件表层的残余应力状态,提高零件的疲劳强度。

第三节 金属材料的力学性能和腐蚀性能术语

一、金属材料力学性能术语 (GB/T 10623 - 1989)

金属力学性能 mechanical properties of metals

金属在力作用下所显示与弹性和非弹性反应相关或涉及应力—应变关系的性能。

金属力学试验 mechanical testing of metals

测定金属力学性能判据所进行的试验,一般有拉伸试验、压缩试验、弯曲试验、扭转试验、剪切试验、冲击试验、硬度试验、蠕变试验、应力松弛试验、疲劳试验、断裂韧性试验、磨损试验、工艺试验、复合应力试验等。

弹性 elasticity

物体在外力作用下改变其形状和尺寸,当外力卸除后物体又回复到其原始形状和尺寸,这种特性称为弹性。

弹性模量 modulus of elasticity

一般说来,在弹性范围内物体的应力和应变呈正比,其比例常数即为弹性模量。

滞弹性 anelasticity

在弹性范围内,固体的应力和应变不是单值对应关系,往往有一段时间的滞后现象,这种特性称为滞弹性。

塑性 plasticity

断裂前材料发生不可逆永久变形的能力,常用的塑性判据是伸长率和断面收缩率。

超塑性 superplasticity

一些金属在特定组织状态下(主要是超细晶粒),特定温度范围内和一定变形速度下表现出极高的塑性,其伸长率可达百分之几百甚至百分之几千,这种现象称为超塑性。

韧性 toughness

金属在断裂前吸收变形能量的能力。金属的韧性通常随加载速度提高、温度降低、应力集中程度加剧而减小。

强度 strength

金属抵抗永久变形和断裂的能力。常用的强度判据例如屈服点、抗拉强度。

变形 deformation

金属受力时其原子的相对位置发生改变，其宏观表现为形状、尺寸的变化。变形一般分为弹性变形和塑性变形。

断裂 fracture

金属受力后当局部的变形量超过一定限度时，原子间的结合力受到破坏，从而萌生微裂纹，微裂纹发生扩展而使金属断开，称为断裂。其断裂表面及其外观形貌称为断口，它记录着有关断裂过程的许多重要信息。

脆性断裂 brittle fracture

几乎不伴随塑性变形而形成脆性断口（断裂面通常与拉应力垂直，宏观上由具有光泽的亮面组成）的断裂。脆性断裂一般包括沿晶脆性断裂、解理断裂、准解理断裂、疲劳断裂、腐蚀疲劳断裂、应力腐蚀断裂、氢脆断裂等。

延性断裂 ductile fracture

伴随明显塑性变形而形成延性断口（断裂面与拉应力垂直或倾斜，其上具有细小的凹凸，呈纤维状）的断裂。延性断裂一般包括纯剪切变形断裂、韧窝断裂、蠕变断裂等。

解理断裂 cleavage fracture

沿着原子结合力量最弱的解理面发生开裂的断裂，称为解理断裂。这种断裂具有明显的结晶学性质。

韧窝断裂 dimple fracture

通过微孔的成核、长大和相互连接过程而形成的断裂，称为韧窝断裂。韧窝断裂是属于一种高能吸收过程的延性断裂，其断口宏观形貌呈纤维状，微观形貌呈蜂窝状，断裂面由一些细小的窝坑构成。

疲劳断裂 fatigue fracture

金属在循环载荷作用下产生疲劳裂纹萌生和扩展而导致的断裂，称为疲劳断裂。其断口在宏观上由疲劳源、扩展区和最后破断区三个区域构成，在微观上可出现疲劳条痕。

应力 stress

物体受外力作用后所导致物体内部之间的相互作用力称为内力，单位面积上的内力即为应力。

应变 strain

由外力所引起的物体原始尺寸或形状的相对变化，通常以百分数（%）表示。

料坯 stock

用来制备试样的样坯所选取的金属产品部分。

样坯 specimen stock

用来制备试样的料坯部分。

试样 specimen

样坯经机加工或不经机加工而供试验用的一定尺寸的样品。

标距 gauge length

试样上测量应变或长度变化部分的标志距离。

加载（卸载）速率 load rate (unload rate)

单位时间载荷单调增加（减小）的量。

应力 - 应变曲线 stress - strain curve

应力与应变的关系曲线。

拉伸试验 tensile testing

用静拉伸力对试样轴向拉伸，测量力和相应的伸长，一般拉至断裂，测定其力学性能的试验。

压缩试验 compressive testing

用静压缩力对试样轴向压缩，在试样不发生屈曲下测量力和相应的变形（缩短），测定其力学性能的试验。

伸长 elongation

试样在试验中其原始标距的增加。

伸长率 percentage elongation

标距的伸长与原始标距的百分比。

总伸长率 percentage total elongation

标距的总伸长（弹性伸长加塑性伸长）与原始标距的百分比。

缩颈 necking

拉伸试验时试样横截面所发生的局部收缩。

断面收缩率 percentage reduction of area

试样拉断后，缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。

实际压缩力 real compressive force

压缩试验过程中作用在试样上沿轴线方向的力，但对于夹在约束装置中进行试验的板状试样，是其标距点处扣除摩擦力后的力。

规定总伸长应力 proof stress of total elongation

试样标距部分的总伸长（弹性伸长加塑性伸长）达到规定的原始标距百分比时的应力。表示此应力的符号应附以脚注说明，例如， $\sigma_{0.5}$ 表示规定总伸

长率达 0.5% 时的应力。

规定残余伸长应力 permanent set stress

试样卸除拉伸力后，其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。表示此应力的符号应附以脚注说明，例如， $\sigma_{0.2}$ 表示规定残余伸长率达 0.2% 时的应力。

规定非比例压缩应力 proof stress of non – proportional compressive strain

试样标距的非比例压缩变形达到规定的原始标距百分比时的应力。表示此应力的符号应附以脚注说明，例如， $\sigma_{pc0.01}$ ， $\sigma_{pc0.2}$ 等分别表示规定非比例压缩变达到 0.01%，0.2% 时的应力。

屈服点 yield point

试样在试验过程中力不增加（保持恒定）仍能继续伸长（变形）时的应力。

上屈服点 upper yield point

试样发生屈服而力首次下降前的最大应力。

下屈服点 lower yield point

当不计初始瞬时效应时屈服阶段中的最小应力。

抗拉强度 tensile strength

试样拉断前承受的最大标称应力。

抗压强度 compressive strength

试样压至破坏前承受的最大标称压应力。只有材料发生破裂情况才能测出抗压强度。

细长比 slenderness ratio

均匀圆柱体的自由长度（无支撑长度）与其横截面最小回转半径之比。

泊松比 Poisson' s ratio

轴向应力与轴向应变呈线性比例关系范围内横向应变与轴向应变之比的绝对值。超出线弹性范围的泊松比无恒定值。

拉伸杨氏模量 Young' s modulus in tension

轴向拉伸应力与轴向拉伸应变呈线性比例关系范围内的轴向拉伸应力与轴向拉伸应变之比。

压缩杨氏模量 Young' s modulus in compression

轴向压缩应力与轴向压缩应变呈线性比例关系范围内的轴向压缩应力与轴向压缩应变之比。有些金属材料的压缩杨氏模量与拉伸杨氏模量有所不同。

扭转试验 torsion test

对试样两端施加静扭矩，测量扭矩和相应的扭角，一般扭至断裂，测定其力学性能的试验。

屈服点（扭转） yield point (in torsion)

扭转试验中，扭角增加而扭矩不增加（保持恒定）时，按弹性扭转公式计算的切应力。

抗扭强度 torsional strength

试样在扭断前承受的最大扭矩，按弹性扭转公式计算的试样表面最大切应力。

剪切试验 shear test

用静拉伸或压缩力，通过相应的剪切工具，使垂直于试样纵轴的一个横截面受剪，或相距有限的两个横截面对称受剪，测定其力学性能的试验。

抗剪强度 shear strength

试样剪切断裂前所承受的最大切应力。

弯曲试验 bend test

对试样施加静弯矩或弯曲力，测量弯矩或弯曲力和相应的挠度，一般弯曲至断裂，测定其力学性能的试验

抗弯强度 bending strength

试样在弯曲断裂前所承受的最大正应力。

硬度 hardness

材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。是衡量金属软硬的判据。

压痕硬度 indentation hardness

在规定的静态试验力下将压头压入材料表面，用压痕深度或压痕表面面积评定的硬度。

布氏硬度试验 Brinell hardness test

用一定直径的球体（钢球或硬质合金球）以相应的试验力压入试样表面，经规定保持时间后卸除试验力，用测量的表面压痕直径计算硬度的一种压痕硬度试验。

布氏硬度值 Brinell hardness number

用球面压痕单位表面积上所承受的平均压力表示的硬度值。布氏硬度值按下式计算：

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

式中：HBS (HBW) ——用钢球（或硬质合金球）试验时的布氏硬度值；

F——试验力，N；

D——球体直径，mm；

d——压痕平均直径，mm。

洛氏硬度试验 Rockwell hardness test

在初始试验力及总试验力先后作用下，将压头（金刚石圆锥或钢球）压入试样表面，经规定保持时间后卸除主试验力，用测量的残余压痕深度增量计算硬度的一种压痕硬度试验。

残余压痕深度增量 permanent increase of depth of indentation

洛氏硬度试验中，在卸除主试验力并保持初始试验力的条件下测量的深度方向塑性变形量，用 e 表示。对于洛氏硬度试验， e 的单位为 0.002mm 。对于表面洛氏硬度试验， e 的单位为 0.001mm 。

洛氏硬度值 Rockwell hardness number

用洛氏硬度相应标尺刻度满量程值与残余压痕深度增量之差计算的硬度值。对于用金刚石圆锥头进行的试验，洛氏硬度值为 $100 - e$ ；对于用钢球压头进行的试验，洛氏硬度值为 $130 - e$ 。

洛氏硬度标尺 Rockwell hardness scale

由不同类型压头、试验力及硬度公式组合所表征的洛氏硬度。例如：A 标尺洛氏硬度（HRA），用圆锥角为 120° 的金刚石压头在初始试验力为 98.07N 、总试验力为 588.4N 条件下试验，用 $100 - e$ 计算出的洛氏硬度。B 标尺洛氏硬度（HRB）：用直径 1.588mm 的钢球在初始试验力为 98.07N 、总试验力为 980.7N 条件下试验，用 $130 - e$ 计算的洛氏硬度。C 标尺洛氏硬度（HRC）：用圆锥角为 120° 的金刚石压头在初始试验力为 98.07N 、总试验力为 1471.0N 条件下试验，用 $100 - e$ 计算出洛氏硬度。

表面洛氏硬度试验 Rockwell superficial hardness test

初始试验力为 29N 、总试验力为 147.294 或 441N 的洛氏硬度试验。

表面洛氏硬度值 Rockwell superficial hardness number

用表面洛氏硬度标尺刻度满量程值与残余压痕深度增量之差计算的硬度值，即 $100 - e$ 。

维氏硬度试验 Vickers hardness test

将相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头以选定的试验力（ $49.03 \sim 980.7\text{N}$ ）压入试样表面，经规定保持时间后卸除试验力，用测量的压痕对角线长度计算硬度的一种压痕硬度试验。

小负荷维氏硬度试验 low load Vickers hardness test

试验力范围在 $1.961 \sim < 49.04\text{N}$ 的维氏硬度试验。

显微维氏硬度试验 Vickers microhardness test

试验力在 1.961N 以下的维氏硬度试验。

维氏硬度值 Vickers hardness number

用正四棱锥形压痕单位表面积上所承受的平均压力表示的硬度值。维氏硬度值按下式计算：

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

式中：F——试验力，N；

d——压痕两对角线长度算术平均值，mm。

冲击吸收力 impact absorbing energy

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。

冲击韧度 impact toughness

冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收功。

夏比（V 型缺口）冲击试验 Charpy impact test (V - notch)

用规定高度的摆锤对处于简支梁状态的 V 型缺口试样进行一次性打击，测量试样折断时冲击吸收功的试验。

夏比（U 型缺口）冲击试验 Charpy impact test (U - notch)

用规定高度的摆锤对处于简支梁状态的 U 型缺口试样进行一次性打击，测量试样折断时冲击吸收功的试验。

艾氏冲击试验 Izod impact test

用规定高度的摆锤对处于悬臂梁状态的缺口试样进行一次性打击，测量试样折断时冲击吸收功的试验。

冲击拉伸试验 impact - tensile test

试样在拉伸状态下承受冲击试验力的一种动态力学性能试验。

脆性断口 brittle fracture surface

出现大量晶粒开裂或晶界破坏的有光泽断口。

脆性断面率 percentage of brittle fracture surface

脆性断口面积占试样断口总面积的百分率。

韧性断口 ductile fracture surface

出现纤维状剪切破坏的无光泽断口。

韧性断面率 percentage of ductile fracture surface

韧性断口面积占试样断口总面积的百分率。

冲击吸收功 - 温度曲线 impact absorbing energy - temperature curve

在一系列不同温度的冲击试验中，冲击吸收功与试验温度的关系曲线。对具有低温脆性的材料，曲线具有上平台区、过渡区和下平台区三个部分。

韧脆转变温度 ductile - brittle transition temperature

在一系列不同温度的冲击试验中，冲击吸收功急剧变化或断口韧性急剧转变的温度区域。

落锤试验 drop - weight test

将规定高度的重锤自由落体一次冲击处于简支梁状态的预制裂纹标准试样，测定无塑性转变温度的试验。

无塑性转变温度 nil – ductility transition temperature

按标准落锤试验方法试验时试样发生断裂的最高温度。

蠕变 creep

在规定温度及恒定力作用下，材料塑性变形随时间而增加的现象。

蠕变试验 creep test

在规定温度及恒定试验力作用下，测量试样蠕变变形量随时间变化的试验。

蠕变速率 creep rate

蠕变试验中单位时间的蠕变变形。即给定时间内蠕变曲线的斜率。

蠕变极限 creep limit

在规定温度下，引起试样在一定时间内蠕变总伸长率或恒定蠕变速率不超过规定值的最大应力。

持久强度试验 stress – rupture test

在规定温度及恒定试验力作用下，测定试样至断裂的持续时间及持久强度极限的试验。

持久强度极限 stress – rupture limit

在规定温度下，试样达到规定时间而不断裂的最大应力。

应力松弛 stress relaxation

在规定温度及初始变形或位移恒定的条件下，金属材料的应力随时间而减小的现象。

应力松弛试验 stress relaxation test

在规定温度下，保持试样初始变形或位移恒定，测定试样上应力随时间变化关系的试验。

平面应变断裂韧度 (K_{Ic}) plane – strain fracture toughness (K_{Ic})

在裂纹尖端平面应变条件下的裂纹扩展阻力。

平面应力断裂韧度 (K_c) plane – stress fracture toughness (K_c)

在失稳条件下，从试样的 R 曲线和临界裂纹扩展力曲线之间相切所确定的 K_R 值。

疲劳 fatigue

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，经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程。

高周疲劳 high – cycle fatigue

材料在低于其屈服强度的循环应力作用下，经 10^5 以上循环次数而产生的疲劳。

低周疲劳 low – cycle fatigue

材料在接近或超过其屈服强度的循环应力作用下，经 $10^2 \sim 10^5$ 次塑性应

变循环次数而产生的疲劳。

热疲劳 thermal fatigue

温度循环变化产生的循环热应力所导致的疲劳。

热机械疲劳 thermal mechanical fatigue

温度循环与应变循环叠加的疲劳。

冲击疲劳 impact fatigue

重复冲击荷载所导致的疲劳。

接触疲劳 contact fatigue

材料在循环接触应力作用下，产生局部永久性累积损伤，经一定的循环次数后，接触表面发生麻点，浅层或深层剥落的过程。

腐蚀疲劳 corrosion fatigue

腐蚀环境和循环应力（应变）的复合作用所导致的疲劳。

循环 cycle

恒幅疲劳载荷中，载荷随时间作周期性变化的一个完整过程。谱载荷中，循环的定义随计数方法而异。

累积循环次数（N） cycles endured (N)

疲劳中的规定特征循环数，即试样在其承载历程中的任一时间内所累积的具有规定特性的循环数。

疲劳寿命 fatigue life

材料疲劳失效时所经受的规定应力或应变的循环次数。

N次循环的疲劳强度 fatigue strength at N cycles

从S-N曲线上所确定的恰好在N次循环时失效的估计应力值，此值的使用条件必须与用来确定它的S-N曲线的测定条件相同。

疲劳极限 fatigue limit

指定循环基数下的中值疲劳强度。循环基数一般取 10^7 或更高一些。

磨损 wear

物体表面相接触并做相对运动时，材料自该表面逐渐损失以致表面损伤的现象。

滚动磨损试验 rolling wear test

两圆环形试样做滚动接触摩擦并承受规定压力，经规定转数或时间后测定试样耐磨性和摩擦系数的试验。

试块-试环滑动磨损试验 block-on-ring-wear test

试块与规定转速的试环接触，并施加一定压力，经规定转数或时间后，测定试样耐磨性的试验。

体积磨损 wear of volume

磨损试验后试样失去的体积。

质量磨损 wear of weight

磨损试验后试样失去的质量。

摩擦系数 friction coefficient

两物体之间摩擦力与正压力之比。

耐磨性 wearing – resistance property

用体积磨损或质量磨损表征的材料抵抗磨损的性能指标。

磨料磨损 abrasive wear

由于硬质颗粒或硬质突出物沿固体表面强制相对运动所引起的磨损。

黏着磨损 adhesive wear

由于在相接触的固体表面之间局部黏着而造成的磨损。

灾变磨损 catastrophic wear

由于磨损而迅速造成表面损伤以致大大缩短材料使用寿命的磨损。

二、金属材料腐蚀及防护术语 (GB/T 10123 – 1988)

腐蚀 corrosion

金属与环境间的物理—化学相互作用，其结果是使金属的性能发生变化，并常可导致金属、环境或由它们作为组成部分的技术体系的功能受到损伤。

腐蚀速率 corrosion rate

单位时间内金属腐蚀效应的数值，可采用腐蚀深度的增加或单位表面积上金属的失重或增重等来表示。

耐蚀性 corrosion resistance

在给定的腐蚀体系中金属所具有的抗腐蚀能力。

钝化 passivation

由于金属表面上腐蚀产物的生成而出现的腐蚀速度降低的现象。

耐候钢 weathering steel

具有保护性锈层的耐大气腐蚀的低合金结构钢。

防蚀 corrosion protection

人为地对腐蚀体系施加影响以减轻腐蚀损伤。

电化学腐蚀 electro – chemical corrosion

至少包含一种电极反应的腐蚀。

非电化学腐蚀 nonelectro – chemical corrosion

不包含电极反应的腐蚀。

气体腐蚀 gaseous corrosion

在金属表面上无任何水相条件下，金属仅与气体腐蚀剂反应所发生的腐

蚀。

大气腐蚀 atmospheric corrosion

在环境温度下，以地球大气作为腐蚀环境的腐蚀。

微生物腐蚀 microbial corrosion

与腐蚀体系中存在的微生物作用有关的腐蚀。

海洋腐蚀 marine corrosion 在海洋环境中所发生的腐蚀。

土壤腐蚀 soil corrosion

在环境温度下，以土壤作为腐蚀环境的腐蚀。

均匀腐蚀 uniform corrosion

在与腐蚀环境接触的整个金属表面上几乎以相同速度进行的腐蚀。

局部腐蚀 localized corrosion

在与环境接触的金属表面上局限于某些区域发生的腐蚀，常以点坑、裂纹、沟槽等形式出现。

点蚀 pitting corrosion

产生点状的腐蚀，且从金属表面向内部扩展，形成孔穴。

晶间腐蚀 intergranular corrosion

沿着或紧挨着金属的晶粒边界发生的腐蚀。

磨损腐蚀 erosion corrosion

由磨损和腐蚀联合作用而产生的材料破坏过程。

腐蚀疲劳 corrosion fatigue

由金属的交变应变和腐蚀联合作用产生的材料破坏过程。

腐蚀疲劳极限 corrosion fatigue limit

在给定的腐蚀环境中，金属经特定周期数或长时间不发生腐蚀疲劳破坏的最大交变应力值。

应力腐蚀 stress corrosion

由残余或外加应力导致的应变和腐蚀联合作用所产生的材料破坏过程。

应力腐蚀界限应力 stress corrosion threshold stress

在给定的试验条件下，导致应力腐蚀裂纹发生和扩展的临界应力值。

氢脆 hydrogen embrittlement

由于吸氢，使金属韧性或延性降低的过程。

氢致破裂 hydrogen induced cracking

在应力下金属由于吸氢所导致的破坏过程。

氢蚀 hydrogen attack

高温下（约 200℃ 以上）氢和钢中的渗碳体（ Fe_3C ）发生还原作用生成甲烷而导致沿晶界腐蚀的现象。

阳极保护 anodic protection

通过提高可钝化金属腐蚀电位到相应于钝态之电位值所实现的电化学保护。

阴极保护 cathodic protection

通过降低腐蚀电位而达到的电化学保护。

牺牲阳极保护 sacrificial anode protection

从连接辅助阳极与被保护金属构成的腐蚀电池中获得保护电流所实现的电化学保护。

牺牲阳极 sacrificial anode

靠着自身腐蚀速度的增加而提供电偶阴极保护的辅助电流。

电泳沉积 electrophoretic deposition

在胶体溶液中对电极施加电压时，胶体粒子移向电极表面放电而形成沉积层的过层。

电镀 electroplating

将被镀导电件作为阴极，在外加电压下使金属离子在其表面还原形成金属沉积层的过程。

化学镀 chemical plating

将被镀件放在金属盐溶液中，不通电而直接通过还原作用使金属离子在表面还原形成金属沉积层的过程。

热镀锌 galvanizing

将金属浸泡在熔融锌中，使其表面形成保护性锌层的过程。

热镀铝 hot - dipping aluminizing

将金属浸泡在熔融铝中，使其表面形成保护性铝层的过程。

金属喷镀 metal spray

用压缩空气或惰性气体将熔融的耐蚀金属喷射到金属表面形成保护镀层的过程。

静电喷涂层 electrostatic coating

涂料呈雾状分散在高电压的静电场中，使涂料微粒带电，借静电作用将其吸向制品表面而形成涂层。

第四节 金属在静荷载下的力学性能

一、金属的静拉伸过程

金属拉伸试验是力学性能中最基本的试验，也是检验金属材料、表征其

内在质量的最重要的试验项目之一。金属的拉伸性能既是评定金属材料的重要指标，又是机械制造和工程中设计、选材的主要依据。

金属拉伸试验是应用很普遍的一种力学性能试验方法，它简单、可靠，并能清楚地反映出材料受外力时表现出的弹性、弹塑性、断裂 3 个过程，对金属材料尤为明显。本节介绍的金属静拉伸试验指的是在常温、静载和轴向拉伸载荷作用下材料所表现的力学行为，即温度、加载速度和应力状态都基本恒定的情况下的拉伸试验，通常指的拉伸试验就是指这种试验，所以拉伸试验也称静载荷试验。所谓静载荷是指应变速率为 $10^{-4} \sim 10^{-2} \text{s}^{-1}$ 时所加的载荷。

(一) 拉伸图

在材料试验机上进行静拉伸试验，试样在负荷平稳增加下发生变形直至断裂，可得出一系列的强度、塑性等指标。通过试验机自动记录装置可绘出试样在拉伸过程中的伸长和负荷之间的关系曲线，即 $F-\Delta L$ 曲线，习惯上称此曲线为试样的拉伸图。图 1-2-14 即为低碳钢的拉伸图。

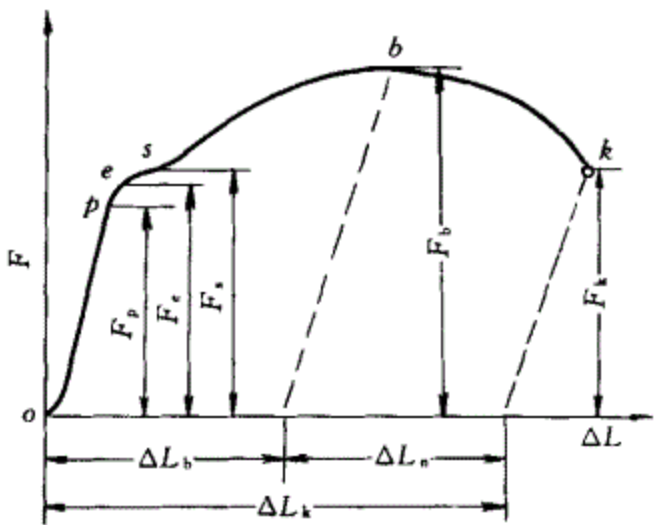


图 1-2-14 低碳钢的拉伸图

拉伸图的纵坐标表示负荷 F ，单位是牛（N），横坐标表示绝对伸长 ΔL ，单位是毫米（mm）。

试样拉伸过程中，开始试样伸长随载荷成比例地增加，保持直线关系。载荷超过一定值以后，拉伸曲线开始偏离直线。保持直线关系的最大载荷是比例极限载荷 F_p ，该比例极限载荷 F_p 除以试样的原始截面积 S_0 即得到比例极限 σ_p ：

$$\sigma_p = \frac{F_p}{S_0}$$

F_p 以前的变形是弹性变形，即卸荷后试样立刻恢复原状。这种外力卸除后，能立刻恢复（或在一定时间内恢复）的变形叫做弹性变形，弹性变形的

物理特性是符合虎克定律，即应力与应变成正比例关系。

当载荷大于 F_p 后再卸荷时，试样的伸长（变形）只能部分地恢复，而保留一部分残余变形。这种卸荷后不能恢复的残余变形叫做塑性变形，开始产生微量塑性变形的载荷是弹性极限的载荷 F_e ，该载荷 F_e 除以试样原始截面积 S_0 即得到弹性极限 σ_e ：

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

一般地说， F_e 和 F_p 是很接近的。

当变形继续进行，载荷增加到一定值时，试验机测力计指针停止转动或开始回转，拉伸图上出现平台或锯齿状。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叫做屈服，屈服阶段的最小载荷是屈服点载荷 F_s ， F_s 除以试样的原始截面积 S_0 即得到屈服点 σ_s ：

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

屈服后金属开始明显塑性变形，试样表面出现滑移带。

试样屈服后，要使其继续发生变形，则要克服其中不断增长的抗力，这是由于金属材料在塑性变形过程中不断发生强化。这种随着塑性变形增大，变形抗力不断增加的现象叫做形变强化或加工硬化。由于形变强化的作用，这一阶段的变形主要是均匀塑性变形和弹性变形。当载荷达到最大值 F_b 后，试样的某一部位截面积开始急剧缩小，出现“缩颈”现象，此后的变形主要集中在缩颈附近，直至达到 F_k 试样拉断。最大载荷 F_b 除以试样原始截面积 S_0 即得到强度极限（抗拉强度） σ_b ：

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

而拉断时载荷 F_k 除以试样断裂后缩颈处截面积 S_k 即为断裂强度 σ_k ，它是拉断试样时的真实应力：

$$\sigma_k = \frac{F_k}{S_k}$$

拉伸试验除可以得到上述强度指标外，还可得到塑性指标，即伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 等：

$$\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\%$$

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

一般把金属在外力作用下的变形过程分为 3 个阶段，即弹性变形阶段、弹塑性变形阶段和断裂阶段；也可把拉伸图分为弹性变形（oe 段）、屈服变

形（es 段）、均匀塑性变形（sb 段）和局部集中塑性变形（bk 段）4 个部分。可以说这种力学行为是静拉伸条件下最典型也是最全面的。一般正火、退火态的低碳、低合金结构钢都是如此，但有些金属材料并非都如此，如普通灰铸铁或淬火高碳钢几乎只有弹性变形部分，冷拉钢没有屈服变形和均匀塑性变形部分，高锰钢、铝青铜等没有屈服变形和局部集中塑性变形部分。

（二）应力-应变图

金属材料在受到外力作用时，其内部就产生了抗力，此抗力一般用应力来表示。所谓应力是指材料在单位截面面积上的内力。

拉伸图即 $F - \Delta L$ 曲线只代表试样的力学性质，因其横、纵坐标的负荷 F 和绝对伸长 ΔL 与试样的几何尺寸有关，将拉伸图的纵坐标 F 除以试样原始横截面积 S_0 ，横坐标 ΔL 除以试样的标距 L_0 ，则得到与试样尺寸无关的曲线，称此曲线为应力-应变曲线或 $\sigma - \epsilon$ 曲线。图 1-2-15 为低碳钢的应力-应变曲线。拉伸图和应力-应变图因其横、纵坐标仅是用一个常数相除，所以曲线形状不变，可代表材料的力学性质，从曲线上可直接读出弹性模量 E ($E = \tan \alpha = \frac{\sigma}{\epsilon}$)、比例极限 σ_p 、弹性极限 σ_e 、屈服点 σ_s 、抗拉强度 σ_b 、均匀伸长率 δ_b 、局部集中伸长率 δ_n 、总伸长率 δ_k 等指标。

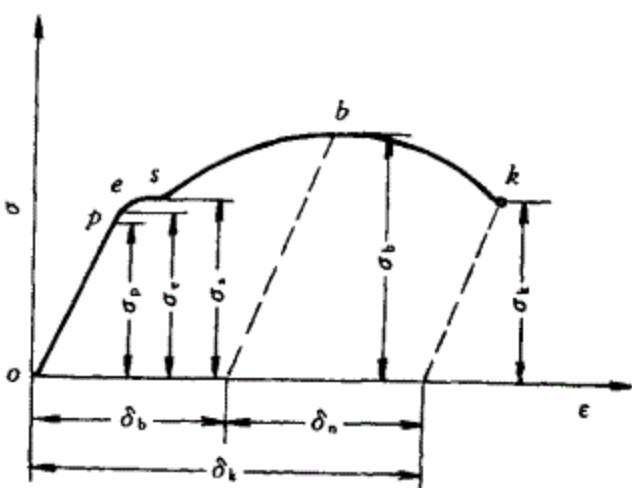


图 1-2-15 低碳钢的应力-应变曲线

应力-应变图的纵坐标表示应力，单位是兆帕（MPa）；横坐标表示相对伸长，单位是百分数（%）。

（三）真应力-应变图

上述的应力-应变图还是有条件的，因其应力 σ 是以负荷 F 除以原始横截面面积 S_0 得到的。实际拉伸过程中横截面面积在不断变化，而应变也仅是一种平均应变。为了能更好地表示拉伸时瞬间应力与应变之间的函数关系，建立了真应力-应变图，如图 1-2-16 所示。

真实应力（用 σ_t 表示）应是以变负荷 F_t 除以随时间变化的截面积 S_t ，即：

$$\sigma_t = \frac{F_t}{S_t}$$

在拉伸过程中因 $S_t < S_0$ ，所以 $\sigma_t > \sigma$ 。

由于 $S_t = S_0 - \Delta S = S_0 \left(1 - \frac{\Delta S}{S_0}\right) = S_0 (1 - \phi)$ ，所以真实应力 $\sigma_t = \frac{F_t}{S_t} = \frac{F_t}{S_0 (1 - \phi)} = \frac{\sigma}{1 - \phi}$ 。可见拉伸时随 ϕ 值的增加， σ_t 与 σ 的差值逐渐增大。



图 1-2-16 真应力-应变图

同时在实际拉伸过程中试样的长度是逐渐增加的，实际的相对伸长应该是瞬时伸长 dL 与瞬时长度 L 之比的积分值，即真实应变应是：

$$e = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0}$$

而真实的断面收缩率也应是：

$$\phi_e = \int_{S_0}^S \frac{dS}{S} = \ln \frac{S_0}{S}$$

真应力-应变图的横坐标为真应变 e ，单位是百分数（%）；纵坐标是真应力 σ_t ，单位是兆帕（MPa）。

真应力-应变图能较准确地反映材料拉伸时的瞬时应力与应变之间的函数关系，但当试样发生缩颈后由于最小截面上的应力分布已不再是均匀和单向的，因而这种关系也就带上了一定的近似性。

二、单向拉伸下的力学性能

拉伸试验通常是在常温、静载和轴向拉伸载荷作用下测定金属材料力学性能指标。通过拉伸试验可测定金属材料的强度指标、塑性指标等。拉伸试验是金属材料力学性能试验中广泛使用的一种试验方法。

(一) 强度指标

金属材料抵抗永久变形或破坏的能力称为强度。强度的大小通常用单位截面积上所承受的力来表示。

1. 拉伸试样

按 GB6397—86《金属拉伸试验试样》的规定，拉伸试样的形状和尺寸一般根据金属制品的品种、规格及试验目的而定。可加工成截面为圆形、矩形、异形以及不经机加工的全截面形状的拉伸试样。其中以圆形和矩形截面试样最为常用，其形状及表面粗糙度见图 1-2-17。表面粗糙度要求的数值较小，是为了避免或减轻划痕等加工痕迹对测试数据的影响。圆弧半径 r 是为了降低应力集中，保证该处不会过量变形和断裂。

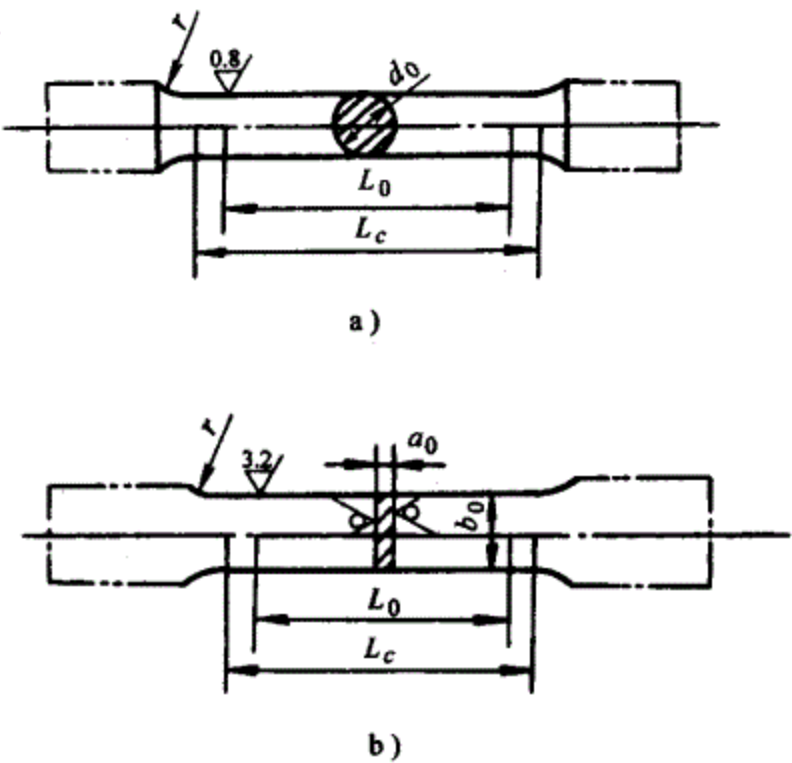


图 1-2-17 拉伸试样
a—圆形试样；b—矩形试样

2. 拉伸曲线和应力——应变曲线

(1) 拉伸曲线。

将拉伸试样安装在材料试验机上，缓慢且均匀地施加轴向拉力 F ，观察并测定试样在外力作用下的变形过程，直至试样断裂为止。外力 F 与试样的绝对伸长量 ΔL 之间的关系曲线称为拉伸曲线，又称拉伸图。退火低碳钢的拉伸曲线见图 1-2-18。退火低碳钢拉伸曲线可分为四个阶段：弹性变形阶段、屈服阶段、均匀塑性变形阶段和非均匀塑性变形阶段。在 O_p 段，试样的伸长量 ΔL 随外力 F 的增加而逐渐增加，并呈线性关系。在 p_e 段内，试样的变形仍为弹性变形，但变形量 ΔL 与 F 已不呈线性关系。一般称 O_p 段为线

弹性变形阶段， pe 段称为非线弹性变形阶段。一般来说， p 点和 e 点是很接近的。 e 点后，拉伸曲线上出现平台或锯齿，这时外力不增加或变化不大，但试样仍可继续伸长，这种现象称为屈服现象，此阶段相应称为屈服阶段。在 cb 段随外力继续增加，试样继续伸长，但此时的变形除弹性变形外，还同时产生塑性变形，并伴有形变强化现象。由于在这一阶段，沿整个试样长度上的塑性变形是均匀的，故称此段为均匀塑性变形阶段。至 b 点时，外力达到最大，均匀塑性变形结束。此后，塑性变形集中在试样的某个局部区域进行，结果就形成了所谓“颈缩”现象。所以 bk 段称为非均匀塑性变形阶段。形成颈缩后，由于试样截面不断减小，试样能够承受的外力也不断减小，至 k 点时，试样发生断裂。

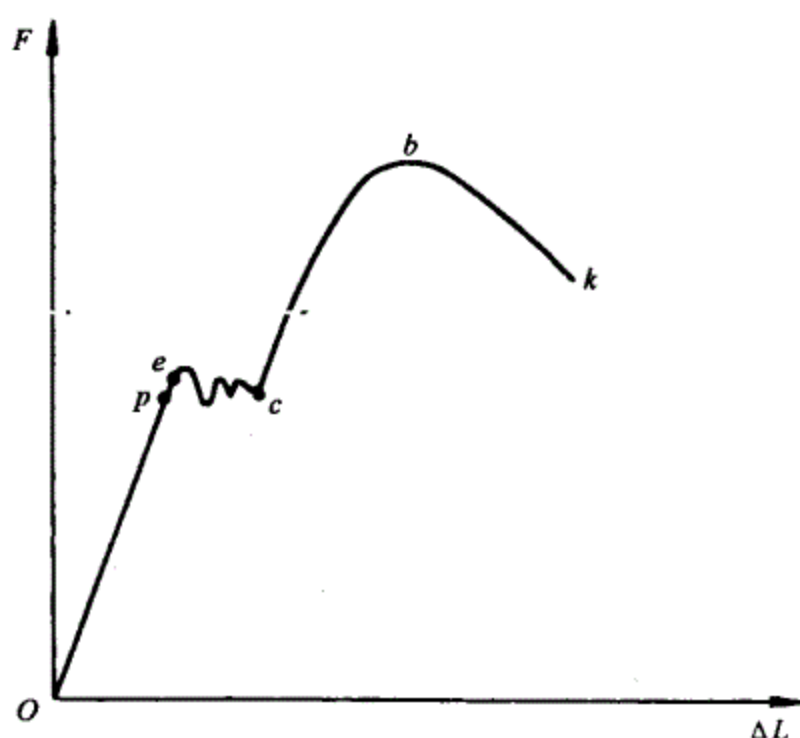


图 1-2-18 退火低碳钢的拉伸曲线

金属拉伸曲线的形状随金属材料的化学成分和组织状态的不同而不同，图 1-2-19 给出了碳钢的四种典型拉伸曲线：①拉伸曲线的屈服阶段呈锯齿状，有上、下屈服点之分，见图 1-2-19a，退火低碳钢的拉伸曲线属于这种形式；②拉伸曲线的屈服阶段为一水平平台，见图 1-2-19b，中碳调质钢的拉伸曲线属于这种形式；③拉伸曲线上没有明显的屈服现象，见图 1-2-19c，淬火后低、中温回火的钢的拉伸曲线属于这种形式；④拉伸曲线上不仅没有屈服现象，而且塑性伸长量很小，试样未出现颈缩即断裂，见图 1-2-19d，淬火钢及铸铁等脆性材料的拉伸曲线属于这种形式。

（2）应力——应变曲线。

外力、试样的几何尺寸等影响变形量的大小，例如试样截面尺寸越大，相同伸长量时所需外力就越大，为消除试样几何尺寸的影响，将图 1-2-18 所示的拉伸曲线的纵坐标（外力 F ）、横坐标（伸长量 ΔL ）分别除以试样的