名词解释：

1加工硬化：试样发生均匀塑性变形，欲继续变形则必须不断增加载荷，这种随着随性变形的增大形变抗力不断增大的现象叫加工硬化。

2弹性比功：表示金属材料吸收塑性变形功的能力。

3滞弹性：在弹性范围内快速加载或卸载后，随着时间延长产生附加弹性应变的现象。

4包申格效应：金属材料通过预先加载产生少来塑性变形，卸载后再同向加载，规定参与伸长应力增加；反向加载，规定残余伸长应力降低的现象。

5塑性：金属材料断裂前发生塑性变形的能力。常见塑性变形方式：滑移和孪生

6应力状态软性系数：

最大切应力

最大正应力

应力状态软性系数

α 越大，最大切应力分量越大，表示应力状态越软，材料越易产生塑性变形

α 越小，表示应力状态越硬，则材料越容易产生脆性断裂

7缺口效应：由于缺口的存在，在静载荷作用下，缺口截面上的应力状态发生拜年话，产生所谓“缺口效应“

①缺口引起应力集中，并改变了缺口应力状态，使得缺口试样或机件中所受的应力由原来的

单向应力状态改变为两向或者三向应力状态。

② 缺口使得材料的强度提高，塑性降低，增大材料产生脆断的倾向。

8缺口敏感度：有缺口强度的抗拉强度 σbm 与等截面尺寸光滑试样的抗拉强度 σb 的比值.
NSR=σbn / σs　　NSR 越大 缺口敏感度越小

9冲击韧性：Ak 除以冲击式样缺口底部截面积所得之商

10冲击吸收功：式样变形和断裂所消耗的功，称为冲击吸收功以 Ak 表示，单位 J

11低温脆性：一些具有体心立方晶格或某些秘排立方晶格的金属，当温度降低到、某一温度时，会由韧性状态变为脆性状态，冲击吸收功明显下降，断裂机理由微孔聚集变为穿晶解理，断口特征由纤维状变为结晶状，这种现象称为低温脆性

12 脆性转变温度：当温度降低时，材料屈服强度急剧增加，而塑形和冲击吸收功急剧减小。材料屈服强度急剧升高的温度，或断后延伸率，断后收缩率，冲击吸收功急剧减小的温度就是韧脆转变温度 tk，tk 是一个温度区间

13疲劳贝纹线:以疲劳源为中心的近于平行的一簇同心圆.是疲劳源裂纹扩展时前沿的痕迹

14疲劳条带：具有略显弯曲并相互平行的沟槽花样，是疲劳断口最典型的微观特征

15驻留滑移带：金属在循环应力长期作用下，形成永久留或再现的循环滑移带称为驻留滑移

带，具有持久驻留性.

16应力场强度因子 KI ：表示应力场的强弱程度，对于某一确定的点的大小直接影响应力场的大小，KI 越大，则应力场各应力分量也越大

17应力腐蚀：金属在拉应力和特定的化学介质共同作用下，经过一段时间后产生的低应力脆断现象

18氢致延滞断裂：高强度钢或 α+β 钛合金中，含有适量的处于固溶状态的氢，在低于屈服强度的应力持续作用下经过一段时间的孕育期后在金属内部，特别是在三向拉应力区形成裂纹，裂纹的逐步扩展，最后突然发生脆性断裂，这种由于氢的作用而产生的延滞断裂现象称为氢致延滞断裂

第一章

2.力学性能指标的意义

（1)δ0.2 对于拉伸曲线上没有屈服平台的材料，塑性变形硬化过程是连续的，产生 0.2%残余伸长应力时刻的屈服强度。

（2)Δs 有屈服平台的材料，呈现屈服现象的金属试样拉伸时，试样在外力不增加仍能继续伸长时的应力称为屈服点。屈服强度：材料抵抗微量塑性变形的能力。

（3)Δb 抗拉强度：韧性金属试样在拉断过程中可以承受的最大应力

①Δb 标志韧性金属材料的实际承载能力，但是这样的承载能力仅光滑试样的单向拉伸的受载条件，而且韧性材料的 Δb 不能作为设计参数，因为 Δb 对应的应变远非实际使用中所要达到的。

②对脆性金属材料而言，一旦拉伸力达到最大值，材料便迅速断裂了，所以Δb 就是脆性材料的断裂强度，用于产品设计，其许用应力便以 Δb 为判据。

③Δb 的高低决定于屈服强度和应变硬化指数

④Δb 的布氏硬度 HBW，疲劳极限 δ-1之间有一定经验关系，如 δb=1/3HBW；对于淬火回火钢 δ-1=1/2δb

（4)E(G)弹性模量：描述材料在弹性范围内应力和应变之比，是材料的力学性能指标。

3.金属的弹性模量主要取决于什么因素？为什么说它是一个对组织不敏感的力学性能指标？

答：由于弹性变形时原子间距在外力作用下可逆变化的结果，应力与应变关系实际上是原子间作用力与原子间距的关系，所以弹性模量与原子间作用力有关，与原子间距也有一定关系，原子间作用力决定于金属原子本性和晶格类型，故弹性模量也主要决定于金属原子本性和晶格类型。

合金化，热处理，冷塑性变形对弹性模量的影响较小，所以金属材料的弹性模量是一个对组织不敏感的力学性能指标，温度加载速率等外在因素对其影响也不大

7．决定金属屈服强度的因素有哪些？

1）影响屈服强度的内在因素：1、金属本性及晶格类型。一般多相合金的塑形表变现主要沿基体相进行，这表明位错主要分布在基体相中，如果不计合金成分的影响，那么一个基体相就相当于纯金属单晶体。纯金属单晶体的屈服强度从理论上来说是使位错开始运动的零界切应力，其值由位错运动所受的各种阻力决定，这些阻力有有晶格阻力，位错间相互作用产生的的阻力等，不同金属及晶格类型，位错运动所受的各种阻力用不相同。2、晶粒大小和亚结构。晶粒大小的影响是晶界晶界影响的反映，因为晶界是位错运动的障碍。在一个晶粒内部必须积塞足够数量的位错才能踢狗必要的应力，是相邻晶粒中的位错源开动并产生宏观可见的塑形变形，因而减小晶粒尺寸是屈服强度提高，亚晶界的作用与晶界相似，也阻碍位错运动。3、溶质元素。在纯金属中加入溶质原子形成固溶金属将显著提高屈服强度，此即为固溶强化。在固溶合金中由于溶质原子与溶剂原子直径不同，在溶质原子周围形成了晶格畸变应力场，该应力场和位错应力场产生作用，使位错运动受阻，从而使屈服强度提高。4、第二相。第二相质点都比较小，可产生弥散强化形成或沉淀强化提高屈服强度

2）影响屈服强度的外因：影响屈服强度的外因因素有温度，应变速率和应力状态。一般的，升高温度，金属材料的屈服强度降低，应变速率增大，金属材料的强度增加，而且屈服强度与应变速率的变化较抗拉强度的变化要明显的多，应力状态也影响屈服强度，切应力分量越大越有利于塑形变形屈服强度越低，不同应力状态材料屈服强度不同，并非是材料性质变化，而是材料在不同条件下表现的力学行为不同

不同应力状态下材料屈服强度不同，并非是材料性质变化，而是材料在不同条件下表现的力学行为不同而已

13.何谓拉伸断口三要素？影响宏观拉伸断口形态的因素有哪些？

答：拉伸断口三要素是纤维区、放射区、剪切唇

宏观拉伸断口性态因试样形状、尺寸金属材料的性能以及试样温度、加载速度和受力状态不同而变化，一般来说，材料强度提高，塑性降低，则放射区比例增大，试样尺寸加大，放射区增大明显而纤维区变化不大

25.试根据下述方程，讨论下述因素对金属材料脆性转变的影响

⑴材料成分：钢中 C 含量升高，塑性变形抗力增大，不仅冲击韧性降低，而且韧脆转变温度明显提高，加宽了转变温度的范围

⑵杂质：钢中的 O、N、P、S、Sn、Sb、和 As 等杂质对韧性是不利的，P 降低裂纹表面能，Si 可以限制交滑移，促进出现孪生，都起着增加韧脆转变温度的不利影响

⑶温度：温度降低，位错在晶体运动所受的摩擦阻力急剧升高，使bcc 金属产生低温变脆现象，在低温下，孪生是塑性变形的主要方式孪晶彼此相交或孪晶与晶界相交处常常是解理裂纹形成的地方，因而在相同条件下，裂纹好像是在具有孪晶组织的金属中进行，加之因温度降低，裂纹前沿地区难于进行塑性变形，这些都利于裂纹扩展而显示较大脆性

⑷晶粒大小：①晶粒细，滑移距离短，在障碍物前塞积的位错数目较少，相应的应力集中较小，而且由于相邻晶粒取向不同，裂纹越过晶界有转折，需要消耗更多的能量。②晶界对裂纹扩展有阻碍作用，裂纹能否越过晶界，往往是产生或不产生失

稳扩展的关键，晶粒越细，则晶界越多，阻碍作用越大

①　　晶粒细化既提高材料的强度，又提高塑性和韧性，形变强化，固溶强化，弥散强化等方法，在提高强度的同时，降低塑性和韧性。

⑸应力状态：切应力是位错运动的推动力，同时它也决定了在障碍前位错塞积的数目，因此对塑性变形和 的形成及扩展过程都有作用，正应力影响裂纹的形成和扩展过程，拉应力促进裂纹的扩展，因而，任何减小切应力与正应力比值的应力状态都将增加金属材料的脆性。

⑹加载速率：体心立方晶格的金属在高速加载下，易发生孪晶，容易激发体理断裂。

试述韧性断裂与脆性断裂的区别，为什么脆断更危险？

金属材料的脆性和韧性是金属材料在不同条件下表现的力学行为或力学状态，两者是相对的并可以相互转化，在一定条件下，金属材料为脆性还是韧性取决于裂纹扩展过程，如果裂纹扩展时，其前沿地区能产生显著塑性变形或受某种障碍所阻，使断裂判据中表面能最大，则裂纹扩展便会停止下来，材料遂显示为韧性，反之。若在裂纹扩展中始终能满足脆性断裂判据的要求，则材料便显示为脆性。

第二章　　金属在其他静载荷下的力学性能

8.今有 如下零件和材料等需测量硬度,试说明选用何种硬度试验方式为宜.

(1)渗碳层的硬度分布　　维氏硬度试验（HV）

(2)淬火钢　　洛氏硬度试验(HRC)

(3)灰铸铁　　布氏硬度试验(HBw)

(4)鉴别钢中 M 隐 和 A 残余　维氏硬度试验(HV)

(5)仪表小黄铜齿轮　　洛氏硬度试验(HRB)

(6)龙门刨床导轨　　肖氏硬度试验(HS)

(7)渗碳层　　显微维氏硬度试验(HV)

(8)高速钢刀具　　洛氏硬度试验(HRC)

(9)退火态低碳钢　　布氏硬度试验(HBw)

(10)硬质合金　　维氏硬度试验(HV)

第三章

4. 试说明低温脆性的物理本质机器影响因素。

影响因素：1） 晶体结构：① 体心立方金属及其合金存在低温脆性，面心立方金属及其合金一般不存在低温脆性 。 ② 体心立方金属的低温脆性可能和迟屈服现象哟密切联系。

③ 普通中，低强度钢的集体是体心立方点阵的铁素体，故这类钢都有明显的低温脆性

2）化学成分：①随这钢中含碳量增加，韧脆转变温度几乎呈线性的上升，且最大冲击值也

急剧降低。② 钢中的碳含量每增加1％韧脆转变温度升高约为13.9℃ 。③钢中含碳量的影响，主要归结为 P 增加了钢的脆性

3）显微组织：①晶粒大小：细化晶粒使材料韧性增加　②金相组织：　在较低强度水平强度相同而组织不同的钢，其中冲击吸收功和韧脆转变温度以回火 s 最佳，B 回火组织次之，片状 P 组织最差；子较高强度水平时，中高碳钢等淬火获得 B 下

4）温度的影响：碳钢和某些合金钢在冲击载荷或静载荷作用下在一定温度范围内出现脆性。

5）加载速度：　增加加载速度，材料脆性和韧性转变 T 升高

6）式样的形状和尺寸：缺口曲率半径越小,tk 越高,因此，V 型缺口式样 tk〉U 型缺口式样 tk。

第四章金属的断裂韧度

2说明下列断裂韧度指标的意义及相互关系

KI C 和 KI

KI C 为平面应变下的断裂韧度，表示在平面应变条件下材料抵抗裂纹失稳扩展的能力。

KI 为平面应力断裂韧度，表示在平面应力条件下材料抵抗裂纹失稳扩展的能力。

KI C 和 KI 都是 I 型裂纹的材料断裂韧度指标，但 KI 值与试样厚度有关。当试样厚度增加，使裂纹尖端达到平面应变状态时，断裂韧度趋于一稳定的最低值，即为 KI C。它与试样厚度无关，而是真正的材料常数。

6、试述 K 判据的意义及用途

KI≥KI C　　Yδ√a≥KI C

裂纹体在受力时，只要满足上述条件，就会发生脆性断裂，反之，即使存在裂纹，若 KI＜KI C 或 Yδ√a＜KI C 也不会断裂，这种情况成为破损安全。

K 判据将材料断裂韧度同机件的工作应力及裂纹尺寸的关系定量的联系起来了，因此可以直接用于设计计算，如用以估算裂纹体的最大承载能力的 δ，语序裂纹尺寸 a。以及用于正确选择机件材料，优化工艺等。

14,、试述 KI C 和 Akv 的异同及其相互之间的关系。

KI C 只反映裂纹失稳扩展过程所消耗的能量，而 Aku 反映的是裂纹形成和扩展全过程所消耗的总能量

KIC=0.79［δ0.2（Akv-0.01δ0.2）1/2］（MPa*m1/2）

KIC 和 Akv 都是强度和塑性的综合指标。

第五章

2.解释下列疲劳性能指标的意义

2)疲劳缺口敏感度 qf=(kf-1)/(kt-1)　　kf—理论应力集中系数，kt—疲劳缺口系数

4）疲劳门槛值 ΔKth：表示无限寿命的疲劳性能，也都受到材料成分和组织，载荷条件及环境因素等影响，ΔKth 表示材料阻止疲劳裂纹开始扩充的性能也是材料的力学性能指标，其值越大，阻止疲劳裂纹开始扩展的能力越大，材料性能就越好.

3.试叙述金属疲劳断裂的特点

（1）疲劳是低应力循环延时断裂，即具有寿命的断裂，其断裂应力水平往往低于材料抗拉强度，甚至屈服强度。

（2）.疲劳是脆性断裂。由于一般疲劳的应力水平比屈服强度低，所以不论是韧性材料还是脆性材料，在疲劳断裂前均不会发生塑性变形及有形变预兆，它是长期积累的损伤过程中，经裂纹萌生和缓慢亚稳扩展到临界尺寸时才突然发生的。

（3） 疲劳对缺陷（缺口，裂纹及组织缺陷）十分敏感，由于疲劳破坏是从局部开始的，所以他对缺陷具有高度的选择性。

（4）疲劳断裂也是裂纹萌生与扩展的过程。

7.试述疲劳裂纹的形成机理及阻止疲劳裂纹萌生的一般方法

形成机理：疲劳微观裂纹都是有不均匀的局部滑移和显微开裂引起的。主要方式有表面滑移带开裂，第二相，夹杂物或其界面开裂，晶界或亚晶界开裂等。

⑴滑移带开裂产生裂纹，驻留滑移带在表面形成，其深度较浅，随着加载循环次数的增加，循环滑移带会不断加宽，当加宽之一定程度时，由于位错的塞积和交割作用，便在驻留滑移带处形成微裂纹

⑵相界面开裂形成裂纹，很多疲劳源都是有材料中的第二相或夹杂物引起的，因此便提出了第二相，夹杂物和基体界面开裂或第二相，夹杂物本身开裂的疲劳裂纹萌生机理。

⑶晶界开裂产生裂纹 多晶体材料由于晶界的存在和相邻晶粒的不同取向性，位错在某一晶粒内运动时受到晶界的阻碍作用，在晶界处发生位错塞积和应力集中现象，在应力不断循环下，晶界处的应力集中得不到松弛时，则应力峰值越来越大，当超过晶界强度时，就会在晶界处产生裂纹。

措施 （1）提高材料的滑移抗力（采用固溶强化，细晶强化）均可阻止裂纹萌生，提高疲劳强度。

（2）降低第二相或夹杂物的脆性，提高相界面强度，控制第二相，夹杂物的数量，形态，大小和分布，使之“少小圆均”均可抑制或延缓疲劳裂纹在第二相，夹杂物附近萌生，提高疲劳强度。

（3）凡使晶界弱化和晶粒粗化的因素，如晶界有低熔点夹杂物等有害元素和形成偏析，回火脆，晶界析氢及晶粒粗化等，均易产生晶界裂纹，降低疲劳强度，反之，凡使晶界强化，净化和细化晶粒的因素，均能抑制晶界裂纹形成，提高疲劳强度。

试述金属表面强化对疲劳的影响

表面强化方法：喷丸，滚压，表面淬火及表面化学热处理等。

⑴表面喷丸及液压：喷丸是用压缩空气将坚硬的小弹丸速喷打向机件表面，使机件表面产生局部形变强化，同时因塑变层周围的弹性约束，又在塑变层内产生残余压应力，降低缺口应

力集中和疲劳缺口的敏感度

⑵表面热处理及化学热处理都是利用组织相变获得表面强化的工艺方法

第六章

说明下列力学性能指标意义

1 KIBCC：试样在特定化学介质中不发生应力腐蚀断裂的最大应力场强度因子称为应力腐蚀临界应力场强度因子，抗应力腐蚀性能指标

2 KZHEC:试样抗氢脆的力学性能指标，在特定条件下不发生氢脆断裂的最大应力场强度因子叫氢脆临界应力强度因子

试述金属产生应力腐蚀的条件及机理

条件1 应力机件所承受的应力包括工作应力和残余应力起作用的是拉应力

2化学介质 只有在特定的化学介质中，某种金属材料才能产生应力腐蚀

3 合金材料纯金属不会产生应力腐蚀，所有合金对应力腐蚀都有不同程度的敏感性

机理 滑移----溶解理论

对应力腐蚀敏感的合金在特定的化学介质中，表面形成一层钝化膜，处于钝化状态，若有拉应力则使裂纹尖端地区产生局部塑性变形，滑移台阶在表面露头时钝化膜破裂，且露出新鲜表面，具有钝化膜的金属表面成为阴极，从而形成腐蚀微电池，阳极金属溶解，在金属表

面形成蚀坑或原有裂纹的尖端形成应力集中，使阳极电位降低，加速溶解，直至裂纹向纵深扩展。

6何谓氢致延滞断裂？简述其机理

高强度钢或 α+β 钛合金中，还有适量的处于固溶态的氢，在低于屈服强度的应力持续作用下，经过一段孕育期后，在金属内部特别是三项拉伸应力区形成裂纹，逐步扩展，最后突然发生脆性断裂，逐步扩展，最后突然发生脆性断裂，这种由于氢的作用而产生的延滞断裂现象称为氢致延滞断裂。其共分为三个阶段：孕育阶段，裂纹亚稳扩展阶段，失稳扩展阶段。钢的表面单纯吸附氢原子不会产生氢脆，必须进入 α-Fe 晶格中并偏聚到一定浓度后才形成裂纹，因此，必须经过三个步骤，即氢原子进入钢中，氢在钢中迁移和氢的偏聚，这三个步骤都需要时间，这是孕育期。由于外力作用，氢气团会对位错起阻碍作用，位错磨积，产生裂纹，而氧原子随位错运动向裂纹区聚集，当偏聚农民年浓度达到临界值时，形成孔裂纹，孔裂纹与原裂纹尖端汇合,裂纹扩展,当裂纹经亚稳扩展到临界尺寸时随便失稳扩展而断裂。

4试述疲劳宏观断口的特征及其形成过程

疲劳断口具有三个形貌不同的区域：疲劳源，疲劳区，瞬断区

⑴疲劳源：疲劳源光亮度最大，因为这里在整个裂纹亚稳扩展过程中断面不断摩擦挤压，故显示光亮平滑，而且因加工硬化表面硬度提示

⑵疲劳区：断口比较光滑并分布有贝纹线，贝纹线由载荷变动引起，如机械运转时的开动和停歇，偶尔自然引起的载荷变动，使裂纹前沿线留下了弧状台阶痕迹

(3)瞬断区：裂纹失稳扩展，导致机件瞬时断裂

塑性变形特点：1 各晶粒变形的不同时性和不均匀性2各晶粒变形的相互协调性

屈服强度的三个因素：1材料变形前可动位错密度很小2随塑性变形发生，位错能快速增殖3位错运动速率与外加应力有强烈依存关系

缩颈是韧性金属材料在拉伸试验时变形集中于局部区域的特殊现象它使应变硬化与截面减小共同作用的结果

材料力学性能讲义

绪论：

一、材料：无机材料、有机材料
金属材料、非金属材料
高分子材料：塑料、橡胶、合成纤维
陶瓷材料
复合材料
天然材料

工程结构材料、功能材料
信息、生物技术、新材料、环保

金属：良导电、热性，光泽，良好的延展性。自由电子、金属键（无方向性）

二、性能：力学性能，物理、化学性能，加工工艺性能

力学性能：金属材料在一定环境中在外力作用下所表现出来的抵抗行为。
分弹性性能与塑性性能。

力学性能指标：金属材料在外力作用下表现出来的抵抗变形及断裂的能力。
分应力、应变；强度指标、塑性指标及综合力学性能指标。

金属材料的失效形式：变形、断裂(含疲劳断裂)、磨损、腐蚀，以及加工失误

三、研究内容：
1）各种力学现象及行为、意义、本质概念的相互关系。
2）各种力学性能指标的概念、本质、意义，力学行为及其影响因素。
3）各种宏观失效方式的本质、机理、原因，各力学性能指标之间的相互关系及失效判据。
4）各种力学性能指标的测试技术及实际应用。

第一章：金属在单向静拉伸载荷下的力学性能

单向应力、静拉伸

§1-1 应力应变曲线

拉伸曲线 ：P-Δ L 曲线　　σ -ε 曲线

$\sigma = P/F_0$　　$\varepsilon = \Delta L/L_0 = (L-L_0)/L_0$

横坐标：Δ L、ε；　纵坐标：P、σ

应力应变曲线的几个阶段：　　弹性变形、均匀塑变(弹塑性变形)、集中塑变(缩颈)、断裂

§1-2 弹性变形　　弹性变形的力学性能指标

一、弹性变形的定义及特点：

1、　特点：

①变形可逆

②应力-应变保持直线关系

③变形总量较小

2、产生机理：　原子间作用力

原子间具有一定间距→原子间距，也即是原子半径的两倍（指同类原子），

原子间作用力：吸引力、相斥力。其性质估且不论

吸引力：原子核中质子(正离子)与其它原子的电子云之间的作用力

相斥力：离子之间及电子之间的作用力

二者均与原子间距（2r）有关：

$$P = \frac{A}{r^2} - \frac{A r_o^2}{r^4}$$

前者为引力项，后者为斥力项。

$r=r_O$ 时 P=O；$r>r_O$ 时为引力；$r<r_O$ 时为斥力

$r>r_O$ 时 $P>0$，为引力，两原子间有拉进的趋势；

$r<r_O$ 时 $P<0$，为斥力，两原子间有推远的趋势；

$r=r_O$ 时 $P=0$，为平衡状态，两原子间保持距离。

当材料承受拉应力时：　$r_M \geqslant r \geqslant r_O$

当 P = Pmax 为最大值时，$r = r_M$，Pmax 一般可视作理论弹性极限

即在 P≥ Pmax 则将产生原子移位，并形成不可逆变形即塑性变形

3、Note:　1) Pmax 一般远大于 Pp、Pe（三个数量级）,即在实际金属在外力 P

远小于 Pmax 时就产生了塑性变形甚至断裂。

2) P 与 $\Delta r = r - r_O$ 并非正比关系，而实际金属拉伸时其 Pe、Pp 均较小(远小于 Pmax)，此时 P 与 Δr 近似直线，这就是存在比例极限 σp 与弹性极限 σe，且 σp<σe 的原因。

σp 一般用于弹簧计量中.

σe 一般用于工程构件中的弹簧钢中

3) 弹性变形随应力的变化速度为声速。

二、弹性模量： 表征材料(在弹性变形阶段)对弹性变形的抗力

拉： $\sigma = E\varepsilon$ E：弹性模量（杨氏）

扭： 剪切应力 $\tau = G\gamma$ G：切变模量

E、G 越大，则抗力越大，或变形越小。

弹性模量又称为刚度

但与工程构件的刚度不同，工程上：构件刚度 = 材料刚度 E×构件截面积

弹性模量是组织不敏感因素指标，仅与原子间作用力有关

具有：①单晶体各向异性；

②与合金元素含量关系不大；

③与组织元素含量关系不大；

④随 T°C 的增加而下降，但在室温范围内变化也不大

⑤弹性变形产生和扩展速度为声速，故一般加载速度对之影响不大。

但以爆破加载方式将使其增加。

⑥Note：软硬钢材的弹性模量相当。

三、比例极限与弹性极限：

1、定义： $\sigma_p = Pp/Fo$ $\sigma_e = Pe/Fo$

2、实际规定：

1> 比例极限：σp

表征材料能保持应力与应变成正比的最大抗力，为弹簧、精密测量仪器等机械构件的设计要求标准。

当 $tg\theta_p = 1.5 tg\theta_o$ (增加了50%)

即定义规定为：$\sigma_{p_{50}} = \sigma_p$

如果要求高，也可规定：$tg\theta_p = 1.25 tg\theta_o$ 此时记为：$\sigma_{p_{25}}$

或：$tg\theta_p = 1.1 tg\theta_o$ 或：$\sigma_{p_{10}}$

2> 弹性极限：σe

定义残余变形为0.01% 时为规定弹性极限

表征材料在外力作用下不发生塑性变形的最大抗力，是不允许产生微量塑性变形的机械构件的设计要求标准。

四、弹性比功：

$$Ae = \frac{1}{2}\sigma e \times \varepsilon e = \frac{1}{2E}\sigma e^2$$

表征材料吸收弹性变形能的能力，可作储能减震材料的力学指标。
因弹性模量 E 是对组织不敏感的常数指标，故需提高材料的弹性极限 σ e 才能提高弹性比功 Ae

五、弹性不完整性：

1）包申格效应：
先加载致少量塑变，卸载，然后在再次加载时，出现 σ e 升高或降低的现象。
一般认为与位错运动受阻有关。

2）弹性后效----滞弹性、弹性蠕变
指加卸载速度相对较快时，应变落后于应力的现象。

弹性后效可有两种表现：①快速加载后保持应力不变，应变滞后并逐渐增加
②快速加载后保持应变不变，应力逐渐松驰
一般地：T^{O}C 越高，时间越长，弹性后效越明显。

原因：与点缺陷运动有关。在基体发生弹性变形后，点缺陷在应力场的作用下扩散并产生有序分布，使晶体的晶格尺寸继续改变，或使应力场降低。

另可分为正、反弹性后效，后者为卸载后残余变形

3) 弹性滞后环与循环韧性

弹性滞后环：当外力为交变载荷时，因弹性后效而使来回的加载、卸载的应力-应变曲线不重合而形成的一个闭合回路。
循环韧性：该滞后环所包围的面积表示材料在一个应力循环中所吸收的不可逆变形功(可能转化为热能、组织结构畸变能等)叫材料的循环韧性。该指标表示了材料的消震能力的大小。

制造乐器用金属要求消震性极低(共振性好)、反弹良好，循环韧性值低。

§1-3 塑性变形

一、塑性变形的定义和机理：
1）定义：指撤去外力后仍不能回复的变形部份
2）机理：滑移　孪生　高温蠕变　晶界滑移（动）
滑移：产生于滑移系多、温度不低的晶系，对变形量贡献大(>90%);
孪生：产生于滑移系少的晶系，且须冲击应力(来不及传递开)、温度较低等条件下才发生，对变形量的贡献小
3）特点：
①低应力下产生（远低于理论强度）;

②具有形变强化效果：应变量与应力保持增函数关系；
③变形的不均匀性：表现在各晶粒的内部、各晶粒之间的变形量的不均匀性和不同时性，但随变形量的增加，该不均匀性的表现减弱；
④应力应变间不再保持直线关系，在撤去外力后不能完全恢复为零，有残余变形余留；
⑤塑性变形同时伴有弹性变形产生，其相对应的弹性变形的大小为撤去外力后消失的那部分变形量，保留下来的残余变形量作为相应的塑性变形量。

二、塑性变形的两个阶段：
均匀变形阶段：材料抗力的增加跟得上应变的增加，也称为形变强化阶段
集中变形阶段：材料抗力的增加跟不上应变的增加，也称为颈缩阶段

三、屈服现象：
泛指：金属材料开始发生明显塑性变形
特指：具有上下屈服点的金属材料，在试验时出现外力不增加或小幅上下波动的状况下，
试样应变量大幅增加的现象。

有上下屈服点的金属材料在刚屈服变形时常伴随有吕德丝带(屈服带)的出现。

特点：为已变形区与未变形区的边界，与力轴成45°角，先出现于局部区域，迅速扩展至整个试样边界，正好对应屈服现象的平台完成。

机理：位错周围存在应力场，可吸附大量杂质原子而形成“柯氏气团”，从而钉轧位错，
使位错需要在高的应力条件下才能起动，随后只需低应力即可继续运动、继续变形。

屈服现象(上下屈服点)一般出现在退火、正火、调质处理的中低碳的中低合金钢中，其位错能得到充分扩展，易出现 柯氏气团 的 钉锚 效果。
而钢的含碳量 C%增高时，因碳化物的阻碍，位错的后续运动与开动也同样困难。故不出现下屈服点。

四、屈服极限(屈服强度)：
1、定义：1）下屈服点：稳定，再现性好；σ_s
2）规定屈服强度：$\sigma_{0.2}$ $\sigma_{0.1}$ $\sigma_{0.05}$
残余伸长分别为：0.2% 0.1% 0.05% (指撤去外力后所余留的变形量)
2、影响因素：
1） 晶体类型：派纳力：$\tau_{p-n} = \frac{2G}{1-\gamma} e^{-\frac{2\pi\omega}{b}}$ τ_{p-n}: 位错运动晶格阻力 G: 切变模量 γ：泊松比 b: 柏氏矢量 ω：位错宽度 其中：$\omega = \alpha$

$/(1-\gamma)$

fcc 的位错运动阻力较小，$\sigma_{0.2}$也较低；bcc 次之；而 hcp 的阻力则较大。

2） 位错密度 ρ ： ρ 越大，位错运动的阻力也越大，$\sigma_{0.2}$也越高。

3）晶粒尺寸（或亚晶尺寸）： 霍尔-派奇公式(统计经验公式、也叫万能公式)：

$\sigma_s = \sigma_i + k d^{-1/2}$ σ i:运动总阻力，磨擦阻力：与位错密度 ρ 、晶格类型有关；

或：$\sigma_s = \sigma_o + k d^{-1/2}$ d：晶粒平均直径； k：常数 σ o：初值

晶粒越细小，d 越小，σ s 也就越高。

且： k 的值越高，细化晶粒(组织)的效果也越明显。

亚结构也有同样效应

4）溶质原子： 随合金元素的含量增加，σ s 也增高。

间隙固溶效果更强烈，置换固溶也相当有效。

5）第二相质点：能阻碍位错运动：①切割机理(可变形软质点）

②绕过机理(不可变形硬质点)

对于相同的总体积(或总百分比)，第二相质点越细小(弥散)、越是点球状均匀分布，强化效果就越好。

四大强化机理：形变、固溶、细化晶粒(组织)、弥散强化。

6）温度 T°C： T°C 越高，σ s 就越低；反之 T°C 越低，σ s 就越高。但随 T°C 低到一定程度后，σ s 就不再增加或增加很少。

温度因素对 bcc 金属影响较大。

7）加载速度： 塑性变形速度=位错扩散(运动)速度，故而较慢，受加载速度的影响较大：加载速度越快，σ s 就越高。

8）应力状态：对于某滑移系上的临界分切应力 τ c，与 σ s 相对应，同时也受该滑移系的位向的影响。

五、断裂极限(断裂强度)：

1）定义：σ b $\sigma_b = Pb/Fo$ $Pb = Pmax$

2）意义：表征材料抵抗外力破坏的最大抗力。

当 $dP/de = 0$时的 σ 值

六、塑性变形指标： 五大指标：σ s，σ b，δ ，ψ_K，α_K

相对伸长： $\varepsilon=(L-Lo)/Lo$ 延伸率： $\delta=(L_K-Lo)/Lo$

相对收缩： $\psi=(Fo-F)/Fo$ 断面收缩率： $\psi_K=(Fo-F_K)/Fo$

一般地，材料的塑性变形指标越高，说明其塑性越好。

在弹性变形阶段，ε 与应力 σ 成正比。

而在弹性变形阶段及均匀弹塑性变形阶段，均有：$F \times L \equiv Fo \times Lo$

即：　$F/Fo = Lo/L$

$\varepsilon = (L-Lo)/Lo \rightarrow L/Lo = 1+\varepsilon$

$\psi = (Fo-F)/Fo \rightarrow F/Fo = 1-\psi$

$1-\psi = 1/(1+\varepsilon) \rightarrow (1-\psi)(1+\varepsilon) = 1$

$\varepsilon = \psi/(1-\psi)$；　$\psi = \varepsilon/(1+\varepsilon)$

故：$\varepsilon \neq \psi$　且　$\psi < \varepsilon$

而在发生颈缩后因截面尺寸的不均匀，不再满足：$F \times L \equiv Fo \times Lo$，此时上述不再成立。但此时所产生的塑性变形仍对延伸率 δ 和断面收缩率 ψ_K 有极大的贡献。

七、真应力与真应变：

1）真应力：　$S = P/F$　　S---真应力

2）真应变：

$\varepsilon = (L1-Lo)/Lo + (L2-L1)/L1 + \ldots\ldots = \sum (Ln+1-Ln)/Ln$

当：　$n \rightarrow \infty$ 时，$\varepsilon \rightarrow e$

$\varepsilon = \sum (Ln+1-Ln)/Ln = \sum \Delta Ln/Ln \rightarrow \int dL/L = \ln(L/Lo)$

即：$e = \ln(L/Lo)$　　e ---真应变

而：$e_\psi = \ln(F/Fo) = \ln(Lo/L) = -e$　即指用真应变表示的长度伸长真应变量与截面收缩真应变量数值相等，但附号相反。由此可看出用真应变表示应变量的优异性。

一般地，ψ 比 ε 更接近 e 值，且当 σ 很小时，ε、ψ、e 均很小，有：$\varepsilon \approx \psi \approx e$

3）真应力--真应变曲线（S-e 曲线）：

经验指出在形变强化阶段：

$S = k e^n$　　k：形变硬(强)化系数　　n：形变硬(强)化指数

k，n 均为描述材料的形变强化能力的力学性能指标

$\ln S = \ln k + n \times \ln e$

即：　lnS 与 lne 保持直线关系或折线关系(此时分阶段，有两组 k1,n1及 k2,n2 甚至三组)

八、形变强化：

1）定义：指材料在明显屈服后，随着塑性变形量的加大，所需应力值也须相应加大(即材料的外拉力也需增加)的现象。

表征材料阻碍继续塑性变形的能力。材料的形变强化性能也保障了其塑性变形为均匀的，并且使材料具有抵抗偶然过载的能力。

常作为强化手段使用——形变强化。

(使 σ_s、σ_b 均提高，但提高 σ_b 的效果低于 σ_s)

2）机理：位错增殖及位错阻碍作用。

单滑移、交滑移、多系滑移；　位错切割及相互阻碍。

3）描述材料的形变强化能力的力学性能指标：
形变强(硬)化指数　形变强(硬)化系数　形变强(硬)化模数　形变强(硬)化容量

$S = k e^{n}$　　k：形变硬(强)化系数　　n：形变硬(强)化指数

即：　$\ln S = \ln k + n \times \ln e$
即：　lnS 与 lne 保持直线关系或折线关系(此时分阶段，有两组 k1,n1及 k2,n2 甚至三组)

定义：　$D = tg\alpha = dS/de$　称为材料的形变硬(强)化模数

$D = dS/de$ 为 S-e 曲线的在均匀塑性变形阶段的斜率，为随变形量的增加其强度增加的速度，即强化速度。

另：　在应力-应变曲线中，最高点为 b，断裂点为 k

$\psi_K = \psi b + \psi u$　　(或: $\delta = \delta b + \delta u$)

ψ b(δ b、e b)为均匀变形阶段（即形变强化阶段）的最大变形量，称之为形变强化容量，它表征了材料所能产生的最大均匀塑性变形的能力，而形变强化是均匀塑性变形的先决条件，所以 ψ b(δ b、e b)也表征了材料利用形变强化的可能性的大小。

ψ u(δ u)为集中变形部分的变形量，表征材料在裂纹形成后继续抵抗裂纹扩展的能力

九、颈缩现象及判据：

$S = P/F \longrightarrow dP = SdF + FdS$　　因 dF<0；dS>0

故其中第一项表示截面收缩导致抗力降低，第二项表示形变强化导致抗力增加。
颈缩时，　P = Pmax,　即：dP = 0

$dP = SdF + FdS = 0 \longrightarrow S/dS = -F/dF$

$e = \ln(L/Lo) = -\ln(F/Fo) \longrightarrow de = -dF/F$

故：　$S/dS = 1/de \longrightarrow S = dS/de = D$　　此即成为颈缩的判据。
即：　当材料承受的真应力 S 达到或超过它的形变强化模数时，材料发生颈缩

B 点以后形变强化跟不上强度的要求，塑性变形集中于局部区域而产生颈缩。此时虽然条件应力 σ 有所下降，但其颈缩部位的真实应力 S 却仍在增加。
其最大值为 S_K，称为真实抗拉强度，表征材料所能承受的最大真实拉伸应力。但其实际生产指导意义不大。
OA：弹性阶段；　　Ab：均匀塑变阶段；　　bk：集中变形、颈缩阶段。

S_K，Sb，k，n，D 均表示了材料的形变强化能力。、
有时 S－e 曲线的均匀塑变阶段分成二段或多段，其双对数坐标为直线或折线。

$\ln S = \ln k + n \times \ln e$

其中 k，n 可分别分为 k1，n1；k2，n2；.....

AB 阶段为均匀塑性变形阶段，BK 为集中变形部分：该阶段可表征材料中已经形成了的裂纹的抵抗扩展的能力。

§1-4金属的断裂

一、分类：

按断裂时的塑性变形量：1、脆性及塑性：以塑性变形量是否达到5%为其区分标准；

按裂纹扩展途径：　　2、穿晶或沿晶：裂纹扩展途径是否沿晶界进行；

按断裂机理：　　3、解理断裂及微孔聚集型断裂、纯剪切断裂。

塑性断裂：断裂前有明显塑性变形，断口纤维状，常表现为一些同心圆环花样，断口粗糙，无光泽而呈暗灰色，有撕裂棱，断口常呈杯状，常因断裂前的明显塑性变形引起警戒而提前失效，危害相对较轻。

脆断断裂：断裂前无明显塑性变形，断口平整光亮，与最大正应力垂直，有放射状花样，放射线走向平行于裂纹扩展走向，并逆指向裂纹的起点。

特点：1、工作应力低($\sigma_{工} << \sigma_b$ 甚至 σ_s)；

2、内部常有组织缺陷；

3、随 T_oC 的降低塑性明显降低；

4、与韧性断裂常可在一定条件下发生相互转换。

沿晶断裂：一定是脆断，且较为严重，为最低级。穿晶断裂可以是韧断，也可能是脆断。

1、 解理断裂：严格地沿一定平面(解理面)分离，断口即为这些多个小解理平面的组合，为脆性断裂，与大理石断裂时的机理相似，故叫解理断裂；

2、 微孔聚集型断裂：典型韧性断裂，由晶内的微孔长大聚合所致，又叫韧窝断裂，断口上的韧窝中心常有一些小的第二相质点。

3、 沿晶断口：断口显现冰糖状，有闪烁状光泽，为极脆的断裂断口，一般认为与第二类回火脆有关；晶界是其明显的接合弱面。

二、断口的宏观特征

断口——材料断裂后的自然表面

特点：　　常是零件受应力最大部位；为缺陷集中(组织、结构、相)处；应力集中(如机加工刃痕，尖角)处；是构件最薄弱处。

断口分析：失效分析中最关键、最重要的内容之一，其目的是查找和分析失效原因，是解决问题的关键步骤之一。

1．光滑圆柱形试样的静拉伸断口：　分三区：纤维区、放射区、剪切唇区；
纤维区：裂纹发源于纤维区，常位于断口中央，为粗糙的纤维状环形花样，但有时
　　花样不明显，断面垂直于力轴，是由许多微小孔洞产生、扩大并连接的结
　　果，其塑性变形量较大，断口粗糙不平，灰暗，无光泽；
放射区：有放射状花样，其放射线走向平行于裂纹扩展走向，并逆指向裂纹的起始
　　点，此阶段的宏观变形量很小，表示出脆断特征；
剪切唇：最断裂区域，断面与力轴成45。角，为裂纹的快速失稳扩展区，此阶段的
　　塑变量较大。

2．板状试样：也分为三区，只是其放射区的花纹为人字纹，裂纹源区为椭圆形
　　纤维状花样。

3．沿晶断口：断口显现冰糖状晶体特征，有闪烁状光泽；为极脆的脆性断裂断
　　口。一般认为与第二类回火脆有关。

三、解理断裂：
1、 定义：金属材料因正应力作用，沿某特定的晶体学平面（称之为解理平面）
快速分离的穿晶断裂方式
特点：一般均表现为脆性断裂，与大理石断裂类似，故叫解理断裂；
多晶体构件的解理断裂的断口由许多与晶粒截面积大小相当的解理平面共同组成）。
解理平面：　bcc：　{100}　{112}
　　hcp:　{0001}　{1100}　{1124}
　　而 fcc 晶系一般不发生解理断裂，因 fcc 晶系易产生多系滑移或交滑移，
　　不易产生位错塞积；且位错可滑移系多，不易使大量位错塞积于一个滑
　　移系上。

2、机理：一般认为解理断裂是由于位错塞积所致。
　　1。曾纳——斯特罗：刃位错塞积；
　　2。柯重耳位错反应；

3、宏观形貌：严格地沿一定平面 (解理面)分离，断口即为这些多个小解理平面的组合，为脆性断裂，与大理石断裂时的机理相似，故叫解理断裂；

4、微观形貌：　　————解理台阶：河流花样，舌状花样
解理平面为一组相互平行的平面，裂纹断裂时沿一组解理平面分离时，高度不同的相互平行的解理平面之间出现的台阶叫解理台阶；当一些小的台阶汇聚为大的台阶时，其表现为河流状花样；

如果解理平面之上镶嵌有一些与解理平面呈一定角度的孪晶，则会表现出舌状花样特征。

四、微孔聚集断裂：——塑性断裂

1、机理：形核→长大→聚合→断裂

由晶内的微孔长大聚合所致，又叫韧窝断裂；（因应力集中、相界面分离、第二

质点破断等）微裂纹常在第二相质点周围出现并长大、聚集连接最终导致断裂。

2、宏观形貌：典型韧性断裂，断口粗糙不平，暗灰色，纤维状，断裂前有的明显

塑性变形；与力轴垂直或成45◦角；

3、微观形貌：断口表现为韧窝，分等轴状、拉长状和撕裂状三种，在电镜下于韧窝中心常可发现一些小的第二相质点。

五、断裂强度

1、理想断裂强度：$\sigma_m = \frac{(E\gamma_s)^{1/2}}{\alpha_o^{1/2}}$　　$\sigma_m >> \sigma_s$

α_o: 晶格常数或原子间距　　E：弹性模量　　γ_s：表面能

2.格理菲斯理论：

1) 前提：　　①脆性材料；②材料内部有微裂纹存在

2) 格理菲斯公式：

有一单位厚度的无限宽板，其中心有长为2α 的穿透裂纹，如该板受到的应力为σ

则有：　　$\sigma_c = \frac{(2E\gamma_s)^{1/2}}{(\pi\alpha)^{1/2}}$　　$\alpha_c = \frac{2E\gamma_s}{\pi\sigma^2}$　　σ_c：裂纹失稳扩展的临界应力

α_c：临界裂纹尺寸

或：　$\sigma_c = \frac{(E\gamma_s)^{1/2}}{(4\alpha)^{1/2}}$

格理菲斯公式只适用于如玻璃、超高强度钢等脆性材料，对于大多数材料尤其是金属，裂纹尖端会产生较大的塑性变形，会消耗大量的塑性功，远大于材料的表面能，此时需对之进行修正：

3) 格理菲斯—奥罗万—欧文公式：

奥罗万与欧文认为：格理菲斯公式中的表面能$2\gamma_s$ 项此时应由（$2\gamma_s+\gamma_p$）构成：

即：　$\sigma_c = \frac{[E(2\gamma_s + \gamma_p)]^{1/2}}{(\pi\alpha)^{1/2}}$

γ_p 为形成单位面积裂纹表面所需消耗的塑性功，（$2\gamma_s+\gamma_p$）称为有效表面能

第二章：其它静载荷下的力学性能

压缩、弯曲（静）、扭转、缺口拉伸

§2-1应力状态

一、强度理论：　　————三向应力

所有应力状态均有面上切应力为零的主应力(σ 1、σ 2、σ 3)(σ 1>σ 2>σ 3)

其最大正应力：σ max=σ 1-μ (σ 2 + σ 3)

最大切应力与主应力面成45^{0}角，τ max= (σ 1-σ 3)/2

广义虎克定律 ε=1/E [σ 1-μ (σ 2+σ 3)]

前提：材料的失效（指变形--塑性材料，或断裂--脆性材料）由某个主要因素引起

材料力学第一、第二、第三、第四强度理论，失效（断裂）条件为：

①σ max≧σ c ②δ max≧δ c ③切应力τ max≧τ c ④能量

1、第一强度理论：最大拉应力理论

适用于脆性材料：石料、水泥、铸铁、合金相等

认为最大拉应力为材料破坏因素，即材料的安全使用条件为：σ 1 ≤σ s

工程设计时该条件成为：σ $\overset{工}{}$ ≤[σ]

[σ] = σ / n：为许用应力；σ s(b)可由单向拉压试验测定； n：安全系数。

或材料失效的强度条件为 σ 1≥σ s

2、第二强度理论：认为最大拉应变为材料破坏因素，适用于某些脆性材料在单向压缩时产生的纵向断裂

即只要 δ max ≤[δ]，材料即为安全状态

[δ]为材料的极限许用应变　（工程设计时[δ] = δ f/ n）

并可由 σ = Eδ ==> δ = σ /E ==> [δ] = [σ]/E

以即：δ max = σ max/ E = [σ 1-μ (σ 2 + σ 3)]/E

共同推导出： σ 1-μ (σ 2 + σ 3) ≤[σ]　此即第二强度理论的表达式

3、第三强度理论：认为最大剪应力为材料破坏因素；适用于塑性材料

即有：τ max =（σ 1-σ 3)/2 ≤[τ]

单向拉伸并达到屈服时有 σ 1=σ s；σ 2 =σ 3 = 0

此时可有 τ max = τ s =（σ 1-σ 3)/2 = σ s/2，即[τ] = [σ]/2

即 σ 1-σ 3≤[σ]　为第三强度理论的表达式

4、第四强度理论：材料在力作用下将产生变形。在弹性状态下，单位体积内将存蓄有可释放的变形能，称为比能（功）或形状改变比能 U

$U \propto \sqrt{2}/2 \times [(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]^{1/2}$

如该变形能为主要的材料破坏因素，则可推导出：

$\sqrt{2}/2 \times [(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]^{1/2} \leqslant [\sigma] = \sigma_s/n$

即第四强度理论的表达式，该理论适用于塑性材料。

①对低碳钢、调质中碳钢、退火球铁及 Cu、Au 等适用于第三、四理论；
②对常规脆性材料一般用第一强度理论；
③单向压，或有一向拉、另一向压且压拉力较大时用第二理论

二、应力状态

而 $\alpha = \frac{\tau_{max}}{\sigma_{max}}$　　α：　应力状态柔（软）性系数

τ →韧（塑）断、塑变　　σ →脆断

故[雷晟1]而 α 表示其应力状态：τ max 相对越大，α 值就越高，材料易于塑变→韧断，故而说其应力状态软；反之则硬。

对于塑性材料，可适用于硬的应力状态（此时仍能有塑性表现），

用塑性较差材料，只适用于软的应力状态（此时也能有塑性表现）。

一般地：材料单向拉伸屈服时：σ 1=σ s，σ 2 =σ 3 = 0，τ s=σ s/2

此时将 τ max 与 σ max 作比较：　　$\alpha = \frac{\tau_{max}}{\sigma_{max}}$

如：$\alpha = \frac{\tau_{max}}{\sigma_{max}} > \frac{\tau_s}{\sigma_f(\sigma_b)}$，　即 τ max 相对较大，τ max 先达到 τ s，发生塑性

变形或塑性断裂（σ f: 与 σ 相关的失效极限）

如：$\frac{\tau_{max}}{\sigma_{max}} < \frac{\tau_s}{\sigma_b}$，　即 σ max 先达到 σ b，发生脆性断裂

塑性材料的 σ s 远小于 σ b，而 τ s = σ s/2，

故塑性材料的 $\frac{\tau_s}{\sigma_f}$ 小，易于 $\alpha > \frac{\tau_s}{\sigma_f}$，易发生 τ max 所致的塑性变形

而脆性材料的 $\frac{\tau_s}{\sigma_f}$ 大，即易于 $\alpha < \frac{\tau_s}{\sigma_b}$，易脆断

而扭、弯、压均有 α 较高，进行扭、弯、压时，易发生 τ max>τ s，

即：　　$\alpha = \frac{\tau_{max}}{\sigma_{max}} > \frac{\tau_s}{\sigma_f}$，　易发生塑性变形

§2-2压缩

1、试样：一般为圆柱形（方形试样热处理时易产生扭曲），do = 10、20、25mm

h:do= 1-3倍（一般为1.5-2），相对比较时 h/do 应相同

端面加工精度▽>9以减小磨擦力

2、特点：应力状态极软，α 大，α = 2（单向压缩）　α ≧ 2（多向压缩）

适用于极脆材料及工作服役条件为压缩应力状态，并可使之沿 45o角度断裂（最大应力方向)；不适用于塑性材料。

3、性能指标：一般只求 σ c（抗压强度）

σ c0.2（抗压屈服极限）、σ pc（抗压比例极限，σ p40)

$\delta c = (ho - h_K)/ho \times 100\%$　$\psi c = (F_K - Fo)/Fo \times 100\%$

受压时端面有很大摩擦力出现，使端面横向变形受阻，而成为腰鼓形试样。

一般地，h（h:d)越小摩擦力的影响越大，故 h:do 期望能较高，但过高又会引起试样纵向失稳（弯曲)，

所以一般 h：do= 1-3倍

其 b 点一般很明确，但塑性材料除外。

§2-3弯曲

1、 试验：分三点、四点弯曲

弯矩：三点：Mmax=PL/4　最大弯矩处为试样中心

四点：Mmax=P l/2　最大弯矩均匀分布在 L 两端各减去 l的中间段，一般 l = L/4

2、性能指标：

力学性能曲线为弯矩曲线（或弯矩圆）　弯矩 M-挠度 P 关系曲线

抗弯强度 σ bb = Mb(max)/W　　σ bp

W：试样抗弯截面系数，圆柱：$W=\pi d^3/32(mm^3)\approx 0.2d^3$；矩形：$W=bh^2/6(mm^3)$

塑性：由挠度 f 表示

3、特点：　①应力分布不均匀，对表面较敏感，其相应的力学性能指标可以较敏感地反应构件的表面质量状态；与很多材料实际工作应力状态相同；

②应力状态柔性系数 α 值较高；适用于脆性较大材料，不能测量优良塑性材料的抗弯强度 σ_{bb}：一般适用于脆性较大材料，塑性材料常不能使之断裂，而对脆性材料可较好地观察其断口，并研究其断裂机制，特别适于工具钢、铸钢的测试；

③用挠度表示塑性，可显示低塑性材料塑性；并可测得其塑性指标 -- 挠度 f;

④以拉应力为主；

⑤与很多材料实际工作应力状态相同；

⑥其试验结果受偏斜的影响小，简单、简便。

§2-4扭转

一、扭转试验：在材料扭转试验机上进行。试样常规为圆柱形试样，其直径为 do

二、扭转应力、应变：

设外力扭矩为 T，试样的圆截面发生转动：

转动角为 φ ，而柱长为 Lo

所产生的应变为 $\gamma = \frac{CoC'}{Lo} = \frac{\varphi\rho}{Lo} = \frac{\varphi\, do}{2\,Lo}$　其中：ρ =do/2，为半径

φ、γ 均为弧度角

在弹性范围内，据剪切虎克定律 τ = Gγ　　G：材料的剪切弹性模量

$\tau = \frac{G\varphi\rho}{Lo}$　　ρ 为半径，或圆柱试样内任一点到轴心距离

此即成为试样内部任一点的剪应力的表达式，即 $\tau \propto \rho$

试样横截面上的应力状态为：$\sigma = 0$（因圆棒在扭转过程中不伸长，无应力、应变）

$$\tau_p = G\varphi\rho / Lo$$

在试样表面：$\tau = \tau_{max} = G\varphi\, do/2Lo$（此时 $\sigma = 0$，$\rho = do/2$）

而与轴线成45°的斜面成为其最大的主应力面：

$\sigma_1 = \sigma_{max}$，$\sigma_2 = 0$，$\sigma_3 = -\sigma_{max}$;

据：$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 \Rightarrow \tau_{max} = \sigma_{max} = G\varphi\rho / Lo$

此时：$\sigma_1 = \sigma_{max} = \tau_{max} = G\varphi\, do/2\, Lo$

或：$\sigma_1 = \sigma_{max} = \tau_{max} = G\varphi\rho / Lo$　　为试样内部的任一处的表达式

在距圆心为 ρ 处取一单位面积 dA，其上有切应力为 τ_p，其作用力为 $\tau_p dA$，则其对轴的扭矩为 $\tau_p \rho\, dA$

此截面上扭矩为：$\int_A \tau_p \rho\, dA = T$　　$\int_A$：面积积分

$$T = \int_A \tau_p \rho\, dA = \int_A G\varphi\rho^2/Lo\, dA = G\varphi \int_A \rho^2 dA / Lo = G\varphi I_A / Lo$$

其中 $I_A = \int_A \rho^2 dA$ 仅与截面尺寸、形状有关，叫极惯性矩，单位为 cm^4 或 mm^4

即：$T = G\varphi I_A / Lo = G\varphi\rho / Lo \times I_A/\rho = \tau_p \times I_A/\rho$

即：$\tau_p = T \times \rho / I_A$

即圆柱扭转时可由其 T 知圆柱试样内任一处的切应力 τ_p

其相应的切应变为：$\gamma_p = \tau_p / G = T \times \rho / G \times I_A$

在试样的外表面：$\rho = \rho_{max} = do/2$，$\tau_p = \tau_{max}$

令 $W_A = W = I_A / \rho_{max}$，　则 $\tau = \tau_{max} = T / W_A$　（书2-14式）

对于圆柱试样：$\rho_{max} = do/2$　有（表）：$I_A = \pi\, do^4/32 \approx 0.1do^4$；$W_A = \pi\, do^3/16 \approx 0.2do^3$

W_A 称为抗扭截面模量（或抗扭截面系数），单位为 cm^3、mm^3

三、扭转力学性能指标：　与拉伸相对应，扭转有：

τ_p 比例极限：（τ_{p50}）——扭转曲线切线斜率为直线段150%；$\tau_p = Tp / W_A$

τ_s 或记为 $\tau_{0.3}$　　$\tau_{0.3} = T_{0.3} / W_A$

注：取残余扭转切应变为0.3%的 τ 值，相当于0.2%的残余正应变

单向拉伸时，最大切应力与力轴成45°，如发生明显滑移，其切应变与正应变间关系

表现为：$\varepsilon = \gamma \sin 45^0 \Rightarrow \gamma \approx \varepsilon \times 1.414$）

τ_b 扭转强度：$\tau_b = Tb / W_A$

Note：由于试样在扭转时切应力分布的不均匀（$\tau \propto \rho$），其表面在屈服后产生的形变将使其应力值发生松驰而有所降低，故 τ_b 只是条件值（可作相对比较）而非真实值，也叫条件抗扭强度。

一般为：$\tau_{max}(\tau_b) = \frac{4}{\pi d_0^3}\left[3T_K + \varphi_K \left(\frac{dT}{d\varphi}\right)_K\right]$

$$\frac{dT}{d} = tg\alpha = \frac{KC}{DC}$$

四、扭转试验特点：

1、应力状态：为轴类零件的工作受力状态：

最大主应力、正应力与力轴成45^{0}角，$\sigma_1=\tau$ ，$\sigma_2=0$，$\sigma_3=-\tau$

应力状态系数 $\alpha = \frac{\tau_{max}}{1/2(\sigma_1-\sigma_3)} = \frac{\tau}{-(-\tau)} = \frac{1}{0.8}$

σ_{max} $\sigma_1-\mu(\sigma_2+\sigma_3)$ $2(\tau+0.25\tau)$ 1.25

大于单向拉伸，易表现塑性行为，适于评价脆性材料，尤其是工作条件中承受扭矩的材料（如工具钢、淬火态结构钢）

2、无颈缩，沿长度试样塑变始终均匀发生，故也适用于高塑性材料的精确测定；可用于评价高塑性材料的塑性变形能力及抗力；

3、应力分布不均匀，表面的切应力为 τ_{max}，能敏感表述出材料的表面质量(最灵敏)，并可对表面热处理工艺（表面强化）进行评价；屈服后因变形不均匀可引起表面应力松驰

4、可从断口分析其断裂主因(其 $\sigma_{max}=\tau_{max}$)，其断口形态与导致断裂的应力是正应力或切应力有关；

塑性材料：切应力→塑性断裂→断口与扭力轴垂直，平整，有回旋状塑性变形线迹；

脆性材料：正应力→脆性断裂→断口与力轴成45^0，并呈现螺旋面或斜辟状斜面；

含条带组织材料(夹杂、碳化物偏折等)：断口呈层片状或木片状，表现其轧制条带

§2-5硬度

硬度是衡量金属材料软、硬程度的一种力学性能指标；表征材料对另一物体压入其表面时所引起的塑性变形（压痕）的抵抗能力，它是包含了材料的弹、塑、形变强化、强度、韧性（含金属弹性变形功）等因素的综合指标，与强度关系紧密。

一、特点：

1、简单易测，应力状态软($\alpha=2$)，适于各种脆性材料和塑性材料，广泛地作为控制生产的指导指标应用；

2、与强度有一定对应关系；

3、可直接在工件上测出，不要求专门加工标准测试试样，利于控制指导生产；

4、测试后损伤很小，一般不影响工件的使用，属无损检测；

5、测试范围小，可用于微观组织、成分及相结构变化的监测和分析；

6、仅表现材料表面状态

测试方法分压入法、刻划法、回跳法

压入法：压入被测试材料表面，测表面压痕大小（压痕面积或深度）

二、布氏硬度：

以一定大小的载荷 F(kgf)，将直径为 D（mm）的淬火钢球或硬质合金球压入金属表面，保持一定时间后卸载，其载荷值与压痕表面积 A（球冠）的比值，为布氏硬度值，记为 HB——单位面积所承受的压力

1、定义： $HB = F / A$　　HB：被压入试样材料的布氏硬度（压强或抗压应力）

其中：$A = \pi D h = \pi D[D-(D^2-d^2)^{1/2}]/2$

$h = D/2-[(D/2)^2-(d/2)^2]^{1/2} = [D-(D^2-d^2)^{1/2}]/2$

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D[D-(D^2-d^2)^{1/2}]} = \frac{2F}{\pi D^2\{1-[1-(d/D)^2]^{1/2}\}}$$

而：$d/D = \sin(\varphi/2)$　　φ：压入角

为使得该试验适用于各种材质，需各种 D 钢球及各种不同大小载荷。为使得材料在不同的压力 F_1、F_2 测试条件下，同一材料有相同硬度值(即有可比性)，须使其压痕的几何形状相似，有相同的压入角：即 $\varphi_1=\varphi_2$

$$HB_1 = HB_2 = \frac{2F_1}{\pi D_1^2\{1-[1-\sin^2(\varphi_1/2)]^{1/2}\}} = \frac{2F_2}{\pi D_2^2\{1-[1-\sin^2(\varphi_2/2)]^{1/2}\}}$$

$\Longrightarrow F1/D_1^2=F_2/D_2^2=$ 常数 ----------压痕几何相似原理

国家制定标准规定 F/D^2 取：30、15、10、5、2.5、1.25、1，其中30、10、2.5常用；黑色金属一般为30、10；有色金属有30、10、2.5；各个标准值所测得结果相互不可比。

一般要求：$d = (0.25-0.6)D$ 范围，使 φ 在28°-74° 之间，其 HB 重现性较好，否则结果无效，须重新选择载荷及钢球直径，直至重新选择 F/D^2 值。

可参考国家标准：GB231-63

2、特点：　1)物理意义明确：P/F——压强，与强度单位相当并有一定关联；

2)压痕相对较大，代表性广泛，数据较稳定，作基体及大范围(相对的)的强、硬度测量，受细小组织结构的影响小；不适作要求表面美观的成品无损检测；

3)压头为钢球、硬质合金球，强度不足，易变形或破碎，影响对高硬度材料的检测；①淬火钢球　HB<HB400；②硬质合金球：　HB 在450—650之间

3、绝对值法：$HB = F/A = 2F/\pi D[D-(D^2-d^2)^{1/2}]$

相对值法：$HB = HBo\{1-[1-(do/D)^2]^{1/2}\}/\{1-[1-(d/D)^2]^{1/2}\} =$ 常数 $/\{1-[1-(d/D)^2]^{1/2}\}$

其中：HBo 是标准硬度块的硬度值，do 为同压力下的的标样压痕直径

4、锤击式简易布氏硬度计：将压头置于工件与标准硬度块之间后锤击，分别得到直径为 d 和 do 的压痕，则工件的 HB 值：

$HB=HBo\{1-[1-(do/D)^2]^{1/2}\}/\{1-[1-(d/D)^2]^{1/2}\}$

特点：算法简单，可在工件工作场地进行，但误差大。

三、洛氏硬度：——测一定压力下的压痕深度 h，并将其转换为硬度值 HR

1、硬度测试：（GB1818-79）

压头：1）锥角为120°的金钢石圆锥

2）淬火钢球（d_1=1.588------1/16英寸；d_2=3.175→很少用）

$HR = \frac{k-h}{0.002}$　　金刚石 k= 0.2mm，钢球 k=0.26mm；材料越软，h 值越大时，h-k 使 HR 值越低，并以0.002mm 为一个洛氏硬度单位。

其测试压力分初载、主载荷：一般初载为 10kgf，目的产生一定压强，以消除因加工、腐蚀等因素所致外表不平整对试验结果的影响，初载时不作测量，只测量加主载前后所致的残余压痕深度的增加值。

HR 值分九种，相互间无可比性，其中3种最为常用：HRA、HRB、HRC；尤以 HRC 最为常用于工业生产的检测和控制（特点：加压力较大，数据稳定）：

HR	压头	初载荷	主载荷	总载荷
HRA：	120° 金刚石圆锥	10kg	50kg	60kg
HRB：	1.588mm 钢球	10kg	90kg	100kg（常作表层硬度测量）
HRC：	120° 金刚石圆锥	10kg	140kg	150kg

加初载、加主载、卸主载(弹变回复)后测残余深度：可直接在千分表上读取(k-h)/0.002值，即可直接读取 HR 值。

HR 试验的压力值较大，为适用于测量较薄的工件或有较薄的表面硬(软)化层的工件的硬度，据相同原理设计出表面洛氏硬度测试体系：

其初载为3kgf，总载分别为15 kgf、30kgf、45 kgf：

有：HR15N、HR30N、HR45N；金刚石圆锥压头

HR15T、 HR30T、 HR45T；1.588mm 钢球压头

其中 K=0.1mm，以0.001mm 为 HR15 N(T)的单位

2、 特点：

1)测试操作极其简便迅速,可直接在硬度计压头上所带的千分尺测量出 HR 值(由 k-h 值换算)，适用于工业生产大批量测试使用；

2）应用泛围广泛，适用各种硬度的材料；但重复性较差。一般需多测几点作平均；

3）压痕相对较小：①可在工件表面直接打，对外观质量影响不大；

②代表性较差，数据不稳定，分散性大，受组织、成分不均匀影响大；

4）HRC 压力相对较大，对于表层有薄强化层测试，须注意载荷的适当；

5）对圆柱面、球面经校正后仍可直接测试：

柱：$\Delta HRC = 6\times\frac{(100-HRC')^2}{D}\times10^{-3}$　　HRC’：测量值，　ΔHRC：修正值　　D：圆柱直径

球：$\Delta HRC = 12\times\frac{(100-HRC')^2}{D}\times10^{-3}$　　D：球面直径

$HRC = HRC' + \Delta HRC$

四、维氏硬度：

原理与布氏硬度相同，只是压头为136°金刚石四棱锥，压痕呈正方形顶的倒四棱锥(136°使 HV 值在较低时与 HB 相等或接近)（GB4340—84）

1、测试：$HV = \frac{P}{A}$　　$A = 4\times S\Delta$，　$S\Delta = 1/2\alpha \times h$　　α：压痕边长

$\alpha = \sqrt{2}d/2$　　$h = \alpha/2\sin 68°$，　d：压痕对角线长

$A = 4\times S\Delta = 4\times 1/2\alpha \times \alpha/2\sin 68° = \alpha^2/\sin 68°$

$HV = P/A = P\sin 68°/\alpha^2 = 2P\sin 68°/d^2 = 1.8544\times P/d^2$　　P：单位：kgf

如果 P 单位为 N，则：$HV = 0.1891P/d^2$　　其中：$d = (d1+d2)/2$

2、特点：

1）有一定物理意义(但因 P 不垂直于 F，所以意义不明确)

2）四棱锥金刚石压头，无变形问题，精确可靠，且不论 P 值多少，其压痕一定相似，即任意 P 值所得到的 HV 值均有可比性，而 HB 需 F/D^2 比例关系约束，此点 HV 优于 HR 及 HB；P 有：5、10、20、30、50、100kgf（GB4340—84）；和：100，200，300，500，1000，2000，5000(gf)（GB3030-85）；

3）硬度测量范围大；

4）d1、d2的测量一般在维氏硬度计所配的读数显微镜上进行，测试试样表面需要光亮处理，操作较为烦琐，工作效率低；一般不以 HV 作为大批量生产常规指标要求。

3、显微硬度 HM：小载荷的维氏硬度测试体系，用于测量微观显微组织(相、渗层、夹杂、晶粒、组织等)的硬度值，并可作为相及组织结构分析的依据之一

加压法码为：10，20，50，100，200(gf)（GB/T4342-91），可能时应选用较大载荷；

超显微硬度：加压法码为：10，20，50，100，200，500(mgf)

特点：1）精度高，用于微观分析，在显微镜下工作；

2）作显微硬度测试时，试样必须先制成金相试样，且须注意不能造成金属扰乱层、形变强化层、表面退火回火层；

3）常用于作组织及相的鉴定、性能分析等；以及作渗层的深度和性能分布分析；

4）HM 值与 HV 值相当并可比；

努氏硬度 HK：原理与维氏显微硬度相同，但其压头为相对棱夹角为172.5°及130°的偏金刚石四棱锥，压痕为长棱形，其长短对角线之比为7.11，故测量精度高（只测长对角线)，且宜于测量含薄层试样的断面，或硬化层的分布。

HK 特点：除 HM 的特点外，HK 还有：压痕窄，适用于薄层、渗层、变化层、偏析层的硬度测试，及硬度变化和分辨组织、相的分析。

肖氏硬度：弹性回跳法：测弹性变形——小球的回跳高度

Note：仅对弹性模量相同材料进行比较，否则橡皮的 HS 值高于钢材。

五、与强度关系：

一般地，硬度越高，材料的强度也就越高：HR↗==> σb↗、 δs↗，反之弈然。

硬度值，尤其是 HB、HV 是以 P/A 表示（应力、压强），与强度的单位相同。

一般地有：　　$\sigma_b \propto HB$

有经验公式如下：

1、中高碳回火、退火、正火（未淬硬）钢：

$\sigma_b = 0.362HB$　　HB>175

$\sigma_b = 0.345HB$　　HB<175

$\sigma_b = 2.64\times10^3/(130-HRB)$　　HRB<90

$\sigma_b = 2.51\times10^3/(130-HRB)$　　100>HRB>90

2、碳钢：　$\sigma_b = 2.5HS$

$\sigma_b = 51.32\times10^4/(100-HRC)^2$　　HRC>27

3、灰铸铁：$\sigma_b = (HB-40)/6$

$\sigma_b = 48.86\times10^4/(100-HRC)^2$　　27<HRC<40

4、铸钢：　$\sigma_b=(0.3-0.4)HB$

$\sigma =8.61\times10^3/(100-HRC)$　　HRC>40

并且每类材料,硬度与强度之间有对照关系，可参考（GB1172-74）。

第三章　金属缺口试样的力学性能

§3-1缺口效应

一、缺口及缺口效应：

缺口：　　一般指试样或工件的截面急剧变化处；

缺口效应：在缺口处由于缺口的存在，影响了应力的分布状态，使之：

①应力状态变硬(由单向拉应力变为三向拉应力)；

②产生应力集中；促发裂纹的生成与扩展，不利于材料的塑变(位错运动)，使材料在该处处于脆性状态(即使该材料为塑性材料)，易于发生脆性断裂；

此应力分布状态的改变，即缺口效应。

由此推广：①晶界、夹杂、组织不均匀处、粗大第二相、微裂纹及螺纹、尖角、倒角、台阶半径过小处，均有类似改变应力状态的效应；②Tc 的下降或形变速率的增加也有不利塑变的作用，也可导致缺口效应。

二、缺口应力分布：

圆柱型缺口试样，单向拉伸：

1、在远离缺口处，仅有轴向应力 σ_L，且其应力线分布均匀；切向应力 σ_t 和法向应力 σ_r 均为零；

2、在缺口附近，轴向应力的应力线在缺口根部发生弯曲，变成非均匀分布(于近根部处分布较密)，形成应力集中，并产生三向拉应力：轴向应力 σ_L、法向应力 σ_r、切向应力 σ_{tr}

σ t;

在缺口根部：σ_L 分布不均匀，且由于缺口上下出现无应力区，将阻止缺口附近截面的正常收缩，因而出现了 σ r、σ t，其分布见上图左半部，图的右半部为应力状态柔性系数 α 的分布曲线（α〈0.5）

而应力分布的不均匀程度可用应力分配系数 K 表示。

$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{均}}$ 其值大小，取决于缺口根部半径(可由设计手册查得)

如：薄板：σ t = 0，为平面应力状态：σ =（σ_1，σ_2，0）

厚板：$\varepsilon_t = 0$；为平面应变状态：ε=(ε_1，ε_2，0)，

实际上是三向拉应力状态：σ = [σ_1，σ_2，μ（$\sigma_1+\sigma_2$）]

$\varepsilon_3 = [\sigma_3 - \mu(\sigma_1+\sigma_2)]/E = 0 \Rightarrow \sigma_3 = \mu(\sigma_1+\sigma_2)$

综上分析所述，缺口：

1）引起应力集中(或分布不均匀)：包括轴向应力 σ_L，法向应力 σ r 和切向应力 σ t;

2）引起三向拉应力；　　此即为缺口效应之二个方面的表现

三、塑性状态下缺口的应力分布：

由于应力分布不均匀，在拉伸过程中屈服时的塑性变形将不会在材料内部同时均匀进行，是由缺口根部先局部进行并逐渐过度到材料内部

$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = (\sigma_L - \sigma_r)/2$　　表面 τ max 仍为最大；

当 $\tau_{max} > \tau_s = \sigma_s/2$，即 $\sigma_L - \sigma_r > \sigma_s$ (表面 σ r=0)时，材料发生屈服并使表面的应力发生松驰，σ_L 应力峰值向内移动；

由于 $\tau_{max} = (\sigma_L - \sigma_r)/2$，而在表面 σ r=0，并在一定深度 σ r 达到最大值，即开始时 σ r 是增加的，故 σ_L 也须增加才能使屈服和塑性变形继续向内移，即需提高 P。但提高 P 也会使得 σ r 增加，且塑性变形时变形量远较弹性变形的变形量大，为维持整体的连续变形，σ r 须增加较多。也必然使 σ_L 的峰值大大增加。

随着外力 P 的继续增加，屈服也由表及里地进行着，σ_L 分布则出现最大值，并且该最大值随着应力的增加而也由表及里地移动着，并标志着屈服区与纯弹性变形区的分界，并最终可能使得缺口试样总的 σ s(记为 σ_{s_N})大幅提高并超过光滑位伸试样的 σ s，且 σ b 也可有同样现象出现：

即：$\sigma_{s_N} > \sigma_s$；$\sigma_{b_N} > \sigma_b$；又叫“缺口强化”，此即为缺口效应的第三种表现

Note：“缺口强化”仅出现于塑性材料；对于脆性材料，其　σ s(τ s)接近于 σ b(τ b)，即当 σ max(τ max)>σ s(τ s)后，缺口根部仅产生了少量的塑性变形即因其 σ max 达到 σ b 而断裂，使 σ s(τ s)尚未能大幅增加时就发生早期脆断，其 $\sigma_{b_N} < \sigma_b$

故而：q_e（或 NSR）$=\sigma b_N/\sigma b$ 表示了材料的缺口敏感度：
一般：$q_e>1$称该材料对缺口不敏感；$q_e\leqslant$则称该材料对缺口敏感
对 q_e 的测试试验叫缺口试验。

§3-2缺口试验

一、缺口拉伸：一般仅测 σb_N 值，并与 σb 比较；不测 σs_N
一般如 qe>1（$\sigma b_N>\sigma_N$），就叫材料对缺口不敏感；反之为敏感。
但缺口试样的断面收缩率 ψ_{KN} 肯定低于 ψ_K，但 ψ_{KN} 不易测量，也不常使用

缺口试样偏斜拉伸试验：
采用更硬的应力状态来对材料对缺口的敏感性进行测试：
一般采用在试样拉伸夹头上放置一偏斜垫圈（倾角为0°、4°、8°三种）的方式
也只测 σb_N 值和计算 qe 值。

二、缺口静弯曲试验
由于弯曲试验不能用于塑性较好的材料，故常用缺口试样以增加其局部应力集中，使及其应力状态系数变硬，其塑性仍以扰度来表示；除 σ_{bbN} 外还可测量其三个能量吸收区：Ⅰ区：弹性区
Ⅱ区：弹塑性变形区
Ⅲ区：断裂区(裂纹扩展区)
其面积分别表示所吸收的能量为：U_I 弹性功；U_{II} 塑性功；U_{III} 裂纹扩展功
其中，U_{II}、U_{III} 表示了材料的抗塑变能力及对裂纹扩展的抗力，以及缺口对抗力的影响。

§3-3缺口试样在冲击载荷下的力学性能

一、冲击载荷
由于外力作用持续时间短，其应力状态不易准确及时测量（有示波冲击试验机可作，但也不稳定，数据波动大，分散性大，且试验设备昂贵）。
在冲击载荷下，一般以试样在变形各阶段或总阶段所吸收的能量为测试目标。
弹性变形：声速进行传播，而一般冲击载荷的加载速度及变形速度均远小于声速，故变形速度对弹性形为无影响(如弹性模量等)。
塑性变形的传播速度由位错的运动速度及增殖速度所决定，一般均小于冲击载荷的加载速度，使塑性变形来不及充分、均匀地进行；冲击加载实验也证明：冲击载荷下，塑性变形集中于某些局部区域，分布极不均匀；一般地，加载速度提高，可大大提高材料的屈服强度。

1）脆性材料：冲击加载使其强度上升不大而塑性、韧性下降，并提高该类材料的脆性断裂倾向(解理断裂)；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/397042004044006066