

第四章 冲击载荷作用下金属的变形与断裂

《第四章材料的脆性断裂与韧-脆转变》

研究冲击载荷作用下金属变形与断裂的工程意义

- 利用冲击载荷工作



MZ7665型凿岩机



- 冲击载荷导致零件过早损坏

——机械碰撞和各种形式的爆炸载荷是最常见的冲击载荷
如内燃机膨胀冲程中活塞和连杆之间发生冲击；

运行中的火车车轮和轨道接头之间的冲击；

大功率汽轮发电机当外电路短路时轴受到的冲击扭矩作用。



1、冲击载荷的定义及特征

冲击是以很大的速度将载荷作用到物体上的一种加载方式，**作用力在极短的时间内有很大的变化幅度**，材料在变形过程中出现**高的形变速率**，使材料的塑性变形机制、断裂机制和抗力发生明显变化，从而表现出与静载情况完全不同的力学行为。

冲击载荷和静载荷比较：

- 加载速率不同

静载荷：应变速率 $10^{-4} \sim 10^{-2} / \text{s}$

冲击载荷：应变速率 $10^2 \sim 10^6 / \text{s}$

- 冲击载荷表现为能量性质的载荷

——一般把冲击载荷作为能量而不是作为力来处理，以考察材料受冲击后的力学行为及抵抗冲击的能力。

- 冲击能量为整个受载荷体系所承受

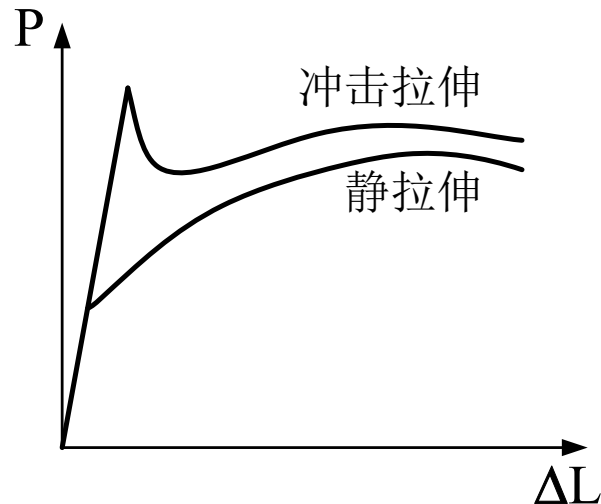
——在冲击情况下，所考察零件只承受总冲击能量的一部分，因此，应把所研究的零件与相邻部件一起考虑。

由于冲击载荷与静载荷的不同，从而使得冲击时零件的力学行为（变形与断裂）具有其自身特点。

2、冲击载荷作用下金属材料的变形与断裂

• 弹性变形

——弹性变形总体能跟得上外加载荷的变化，加载速率对金属弹性变形阶段力学行为及弹性模量等基本上没有什么影响。



• 塑性变形

——由于加载速度快，使塑性变形来不及充分进行，弹性极限、屈服强度等变形抗力指标比静载下有所提高。

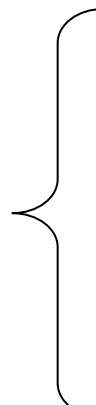
• 断 裂

——冲击载荷对于断裂过程的影响与材料的相对塑性有关，总的趋势是增加脆性倾向。

3、冲击实验

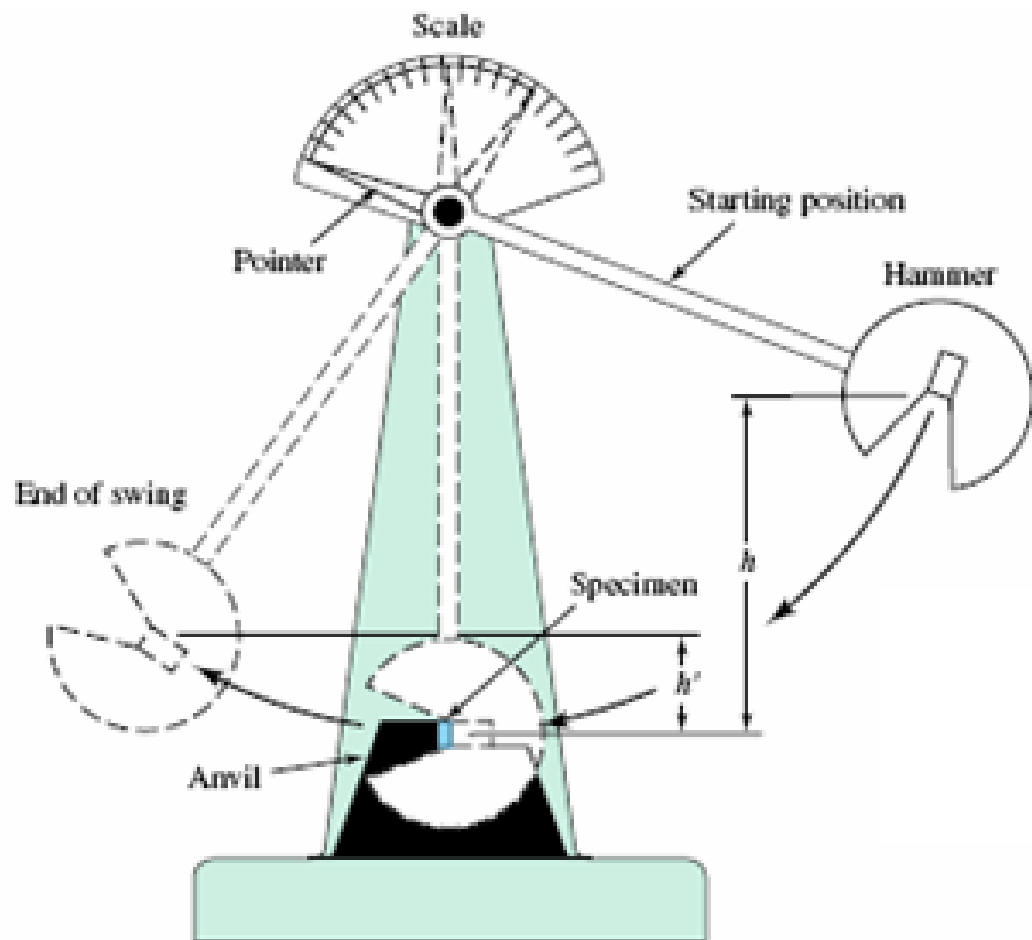
冲击试验是目前工程上最方便、最简单的测定金属抗冲击载荷能力的方法。

迄今仍然以通过冲击试验获得的冲击韧性或冲击功作为最基本的力学性能数据，表达材料承受冲击载荷的能力和评定材料的韧脆程度，并在设计中用作保证零件安全性的主要指标之一。

- 
- 一次冲击试验
 - 系列冲击试验
 - 多次冲击试验

一次冲击试验

将**规定形状尺寸**的试样放置在固定支架上，然后把具有一**定位能**的摆锤释放，使试样承受冲击载荷弯曲以至断裂。

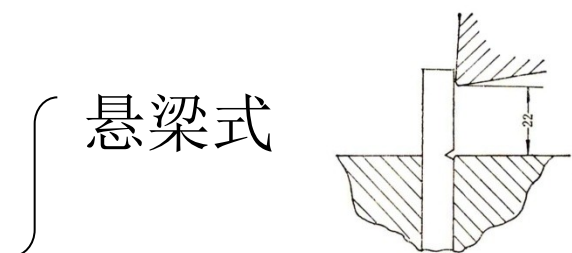


冲击前以摆锤位能形式存在的能量中的一部分被试样在受冲击后发生断裂的过程中所吸收。

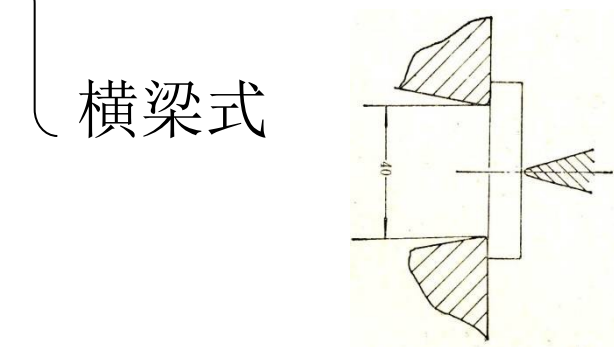
摆锤的起始高度与冲断试样后所达到的最大高度之间的差值可以直接转换成试样在冲断过程中所消耗的能量。

$$A_k = mg(h - h')$$

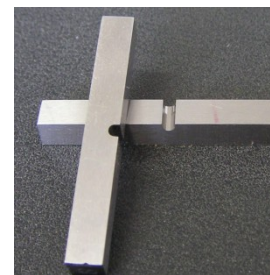
两种加载方式：



——艾氏冲击试验法，试样截面为圆形或正方形，V型缺口，很少使用。

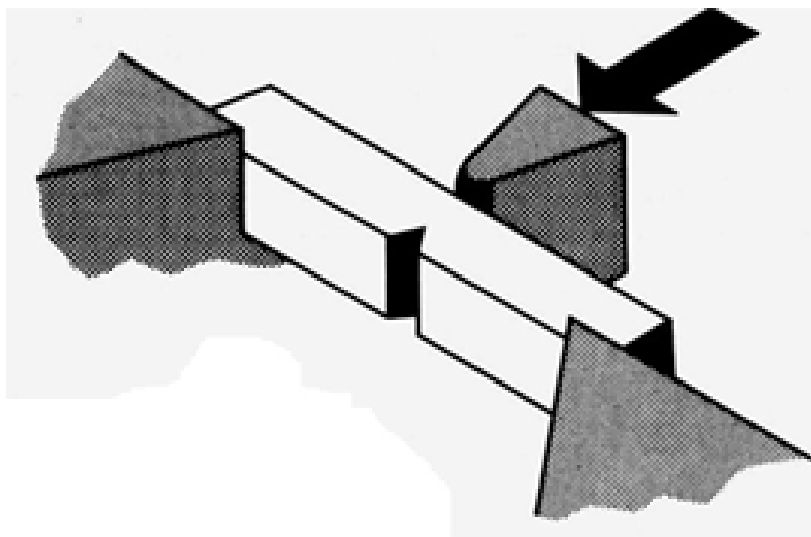


——夏比试样，长度为55mm，
10×10mm方棒
•U型缺口试样
•V型缺口试样



由于缺口形式对冲击实验结果影响很大，因此，为了正确地揭示材料的力学行为，应选择合适的缺口形式，对于韧性很好的金属材料，一般应选用V型缺口试样，而对于韧性较差的材料，则应选用U型缺口试样，甚至不开缺口。

冲击实验机的标准打击能量为300J或150J。室温冲击试验一般应在 $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内进行。对于高温或低温冲击试验，可采用各种方法加热或冷却试样。



- 在进行冲击试验操作时，将试样水平放置在冲击试验机的砧座上，试样缺口背向打击面。在打击瞬间，摆锤冲击速度约为 $5.0\sim 5.5\text{m/s}$ ，试样被迫以高的应变速率弯曲并断裂。
- 在此过程中试样所吸收的能量即为**冲击功**，根据缺口试样类型不同，可分别记为 A_{KU} 或 A_{KV} ，J。
- 冲击功除以试样缺口处的横截面积为**冲击韧性**（ a_K ）， J/cm^2 。

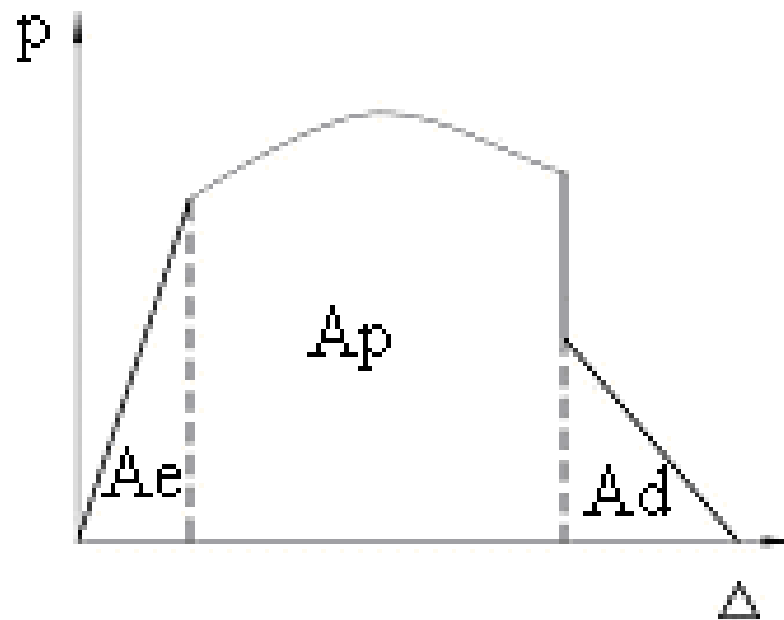
一次冲击试验的总功 A_K 由三部分组成：

$$A_K = A_e + A_p + A_d$$

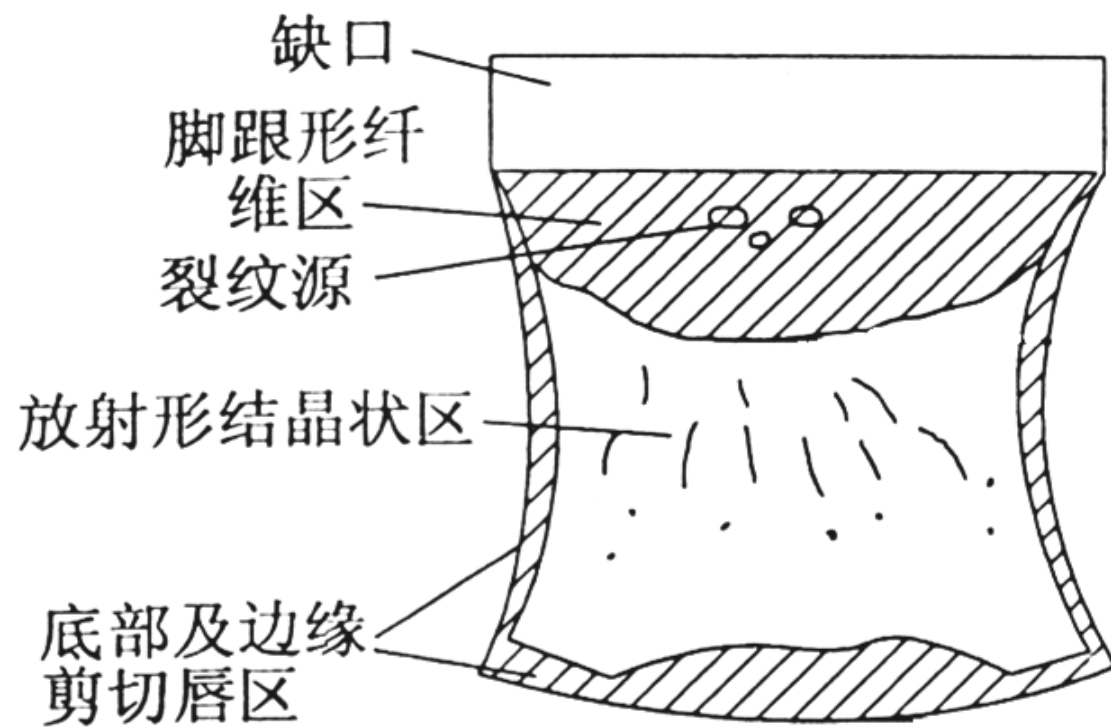
其中， A_e —弹性变形功

A_p —塑性变形功

A_d —裂纹扩展功。



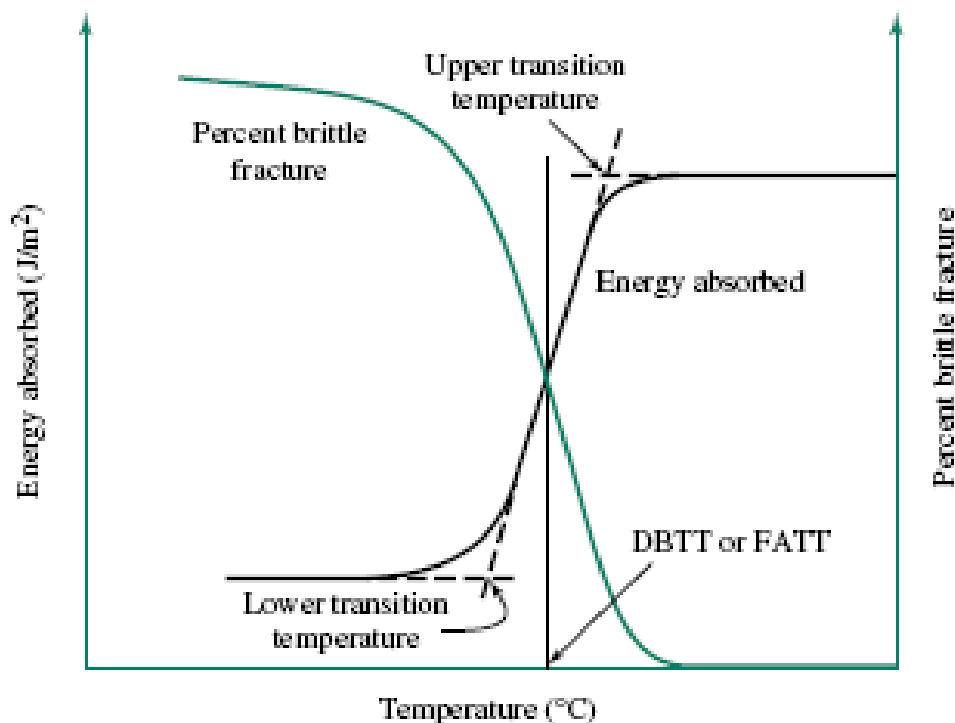
对于不同材料，其总冲击功 A_K 可能相同，但 A_e 、 A_p 、 A_d 等三部分所占的比例可能会不同，所表现出来的韧脆情况会有很大差异，断口形貌也会明显不一样。



韧性材料冲击试样断口形貌示意图

系列冲击实验与韧脆转变温度

——改变试验温度，进行系列冲击实验，可确定材料韧脆转变温度范围。



低温

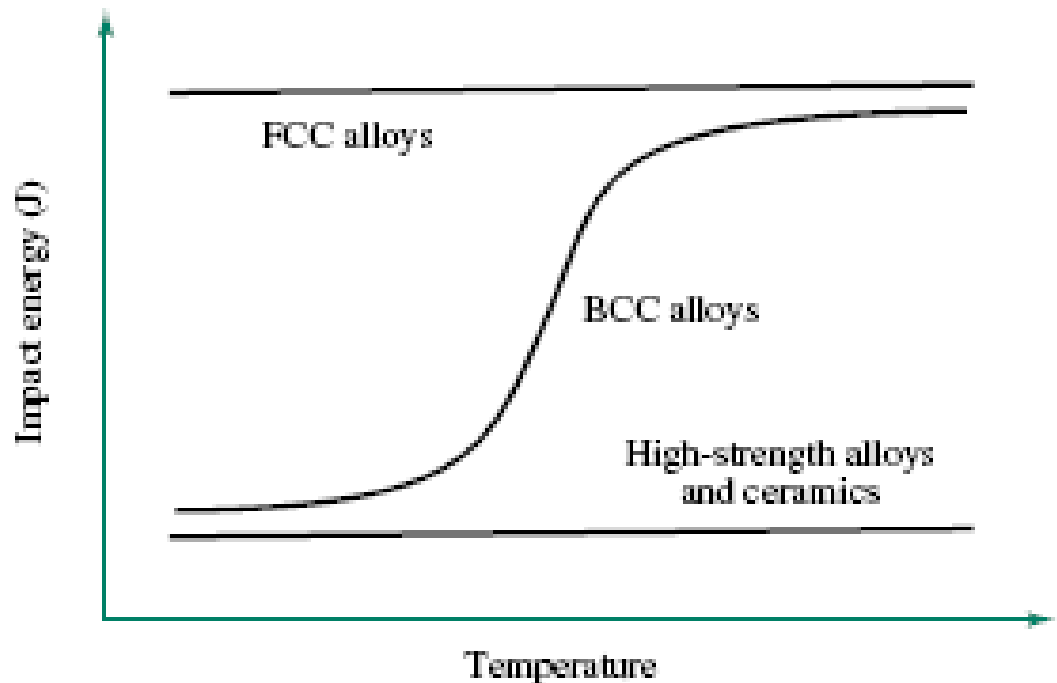


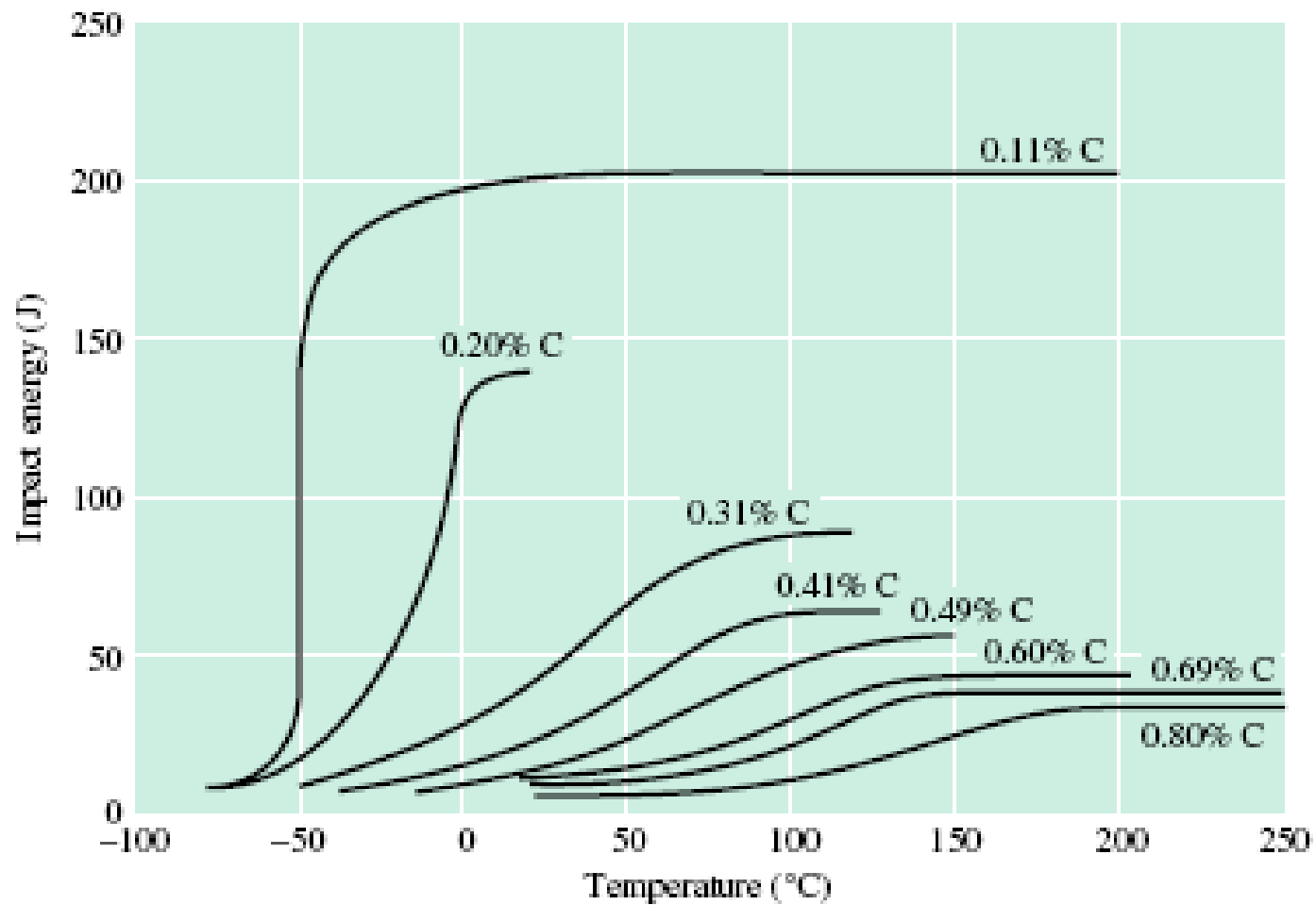
高温

冲击韧性及韧脆转变温度的影响因素

——材料在冲击载荷下的力学行为与合金晶体结构、成分以及微观组织密切相关。

- 注意：不是所有材料都存在韧脆转变现象
- FCC结构的合金在所有温度下都是韧性的，而高强度合金与陶瓷材料在任何温度下都显示脆性；
- 体心立方及某些密排六方金属与合金具有明显的韧脆转变现象。

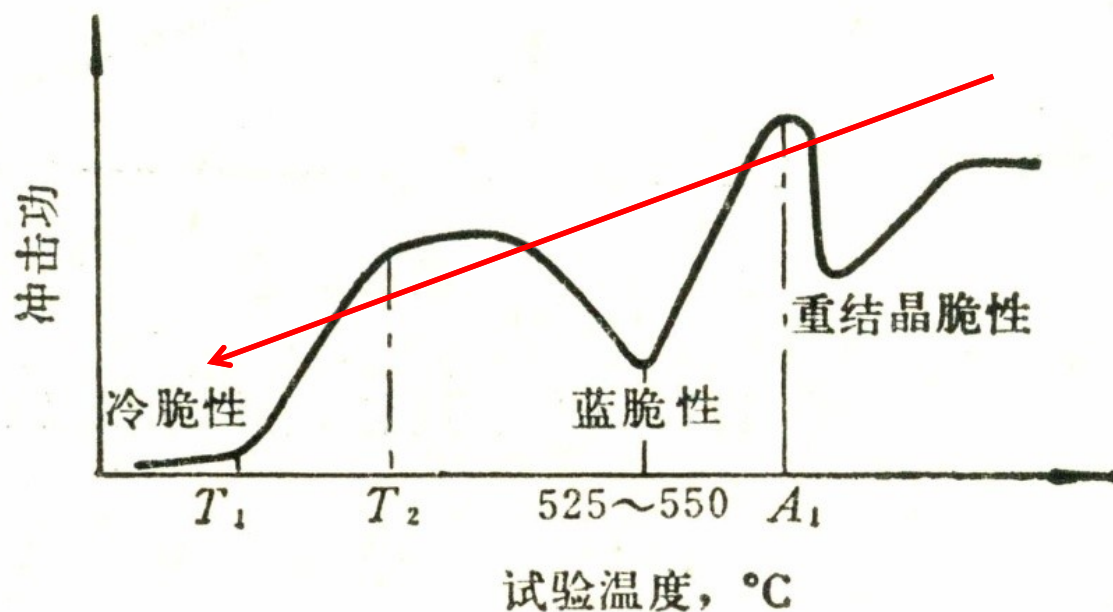




碳含量对普碳钢DBTT影响的系列冲击试验结果

除了内部因素外，外界条件变化对于材料韧脆转变行为也具有显著影响。

——在从室温到900°C温度范围内对结构钢进行系列冲击试验，总的趋势是 A_K 值随温度的下降而降低，但是，在某些温度范围内，冲击功会急剧下降，与其相对应的就是材料出现冷脆性、蓝脆性与重结晶脆性的温度范围。



碳素结构钢的变温韧脆转化趋势示意图

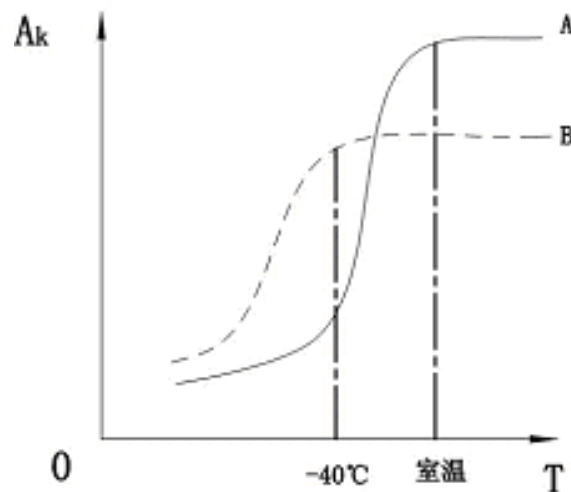
冲击试验的工程应用

- 冲击功对材料内部组织变化非常敏感，能灵敏反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化，可以揭示原材料中的夹渣、气孔、严重分层、偏析、夹杂物等冶金缺陷以及锻造裂纹、纤维组织、各向异性、回火脆性、过热、过烧等热加工或热处理缺陷，因而，冲击试验在生产上被广泛采用，成为检验工艺流程规范有效性和产品质量的一种重要手段。
- 冲击试验结果可用于确定材料的应变时效敏感性

将冷加工后的钢板在某一温度放置前后的试样进行冲击实验，测定其冲击功的变化，确定其是否存在应变时效现象，避免在使用过程中出现脆性断裂问题。

$$\text{时效敏感性} = \frac{A_{K\text{前}} - A_{K\text{后}}}{A_{\text{前}}} \times 100\%$$

- 评定材料的脆性转变趋势，供选材时参考或用于抗脆断设计。

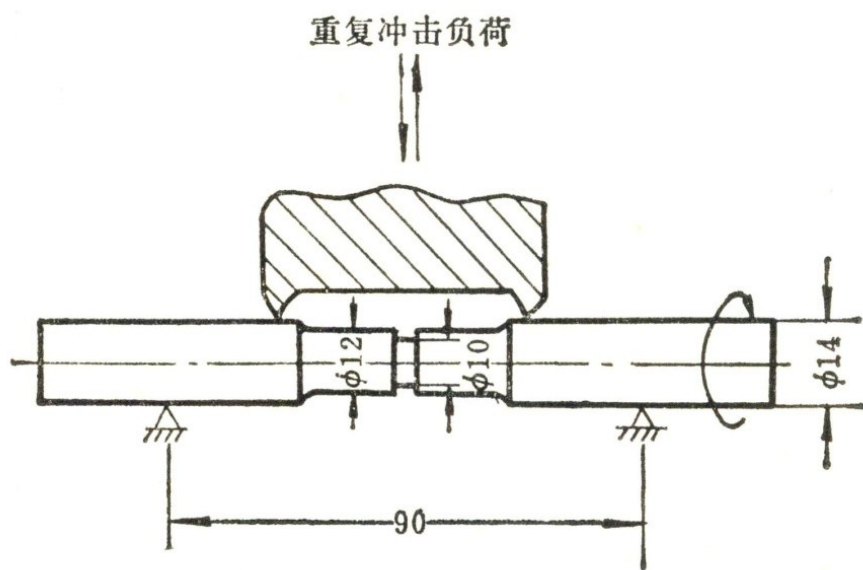


——为了保证一定的温度储备，构件最低使用温度与材料韧脆转变温度之差要足够大，对于一些主要机件，可以取**60℃**，对于非重要机件可以取**20℃**，一般情况下取**40℃**即可。

需要注意的是，虽然通过系列冲击试验可以得到材料的韧脆转化温度，但是，这一指标仅具有指导意义，上述实验得到的冲击试验结果是否能真实反映构件在服役过程中的失效情况，**取决于试验条件与实际构件失效情况的逼近程度。**

多次重复冲击试验

小能量多次重复冲击试验采用连续冲击试验机（凸轮落锤式），圆柱形试样，三点或四点弯曲加载，冲锤作上下往复直线运动。



多次重复冲击试样及其
工作位置示意图

- 通过改变冲锤重量、冲头大小和冲击速度来调整冲击能量 A 。
- 固定一个冲击能量时就得到一个冲断周次 N 。
- 采用不同的冲击能量 A 就可以得到一系列的相应冲断周次 N 。
- 绘制 A - N 曲线
——冲击疲劳曲线。

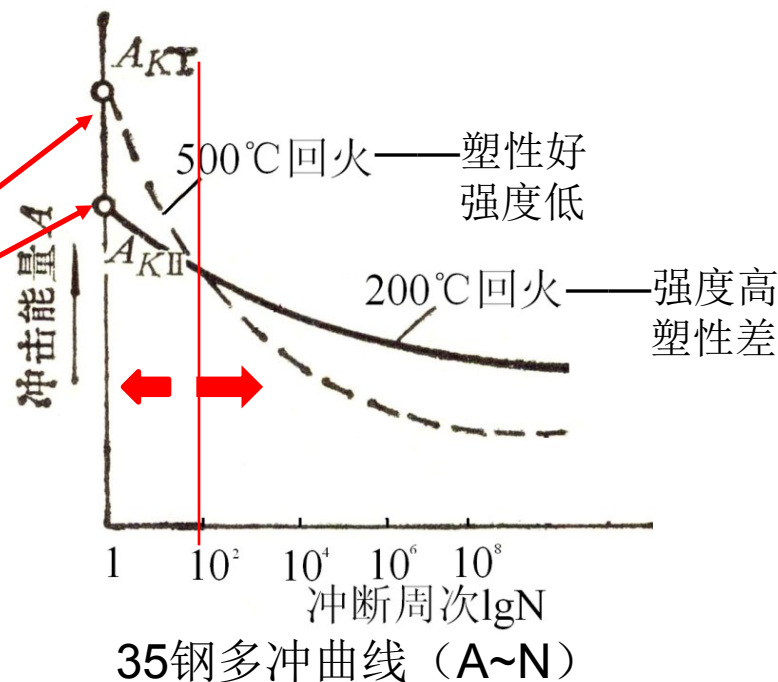
•材料的多冲抗力指标

——一定冲击能量 A 下的冲断周次 N

——要求冲断周次 N 下的冲击能量 A

——一次冲断的冲击功 A_K

——随着冲击能量 A 逐渐降低，
冲断周次 N 逐渐增加。



对于不同热处理状态的同一材料，多冲曲线出现交点，交点附近表示强度和韧性两个主导因素作用的转移。

——交点以左，冲击能量大，35钢500℃回火态时多冲抗力高

——交点以右，冲击能量小，35钢200℃回火态时多冲抗力高

因此，冲击能量较高时，材料的冲击抗力主要取决于材料的塑性和韧性。冲击能量低时，材料的冲击抗力主要取决于材料的强度。

在生产中意义：

在使用过程中，实际零件承受的冲击能量都是比较低的，大部分承受冲击载荷的零件的寿命都要求在几次甚至上百万次以上，因此，在选材和制定工艺时应尽量考虑强度的作用。

但是，也不能片面追求高强度，要得到最佳多冲抗力，必须兼顾强度、塑性和韧性的配合。

——对应于一定的冲击能量，存在最佳回火温度。

——冲击能量提高，冲击破断次数的峰值逐渐向高温区移动。

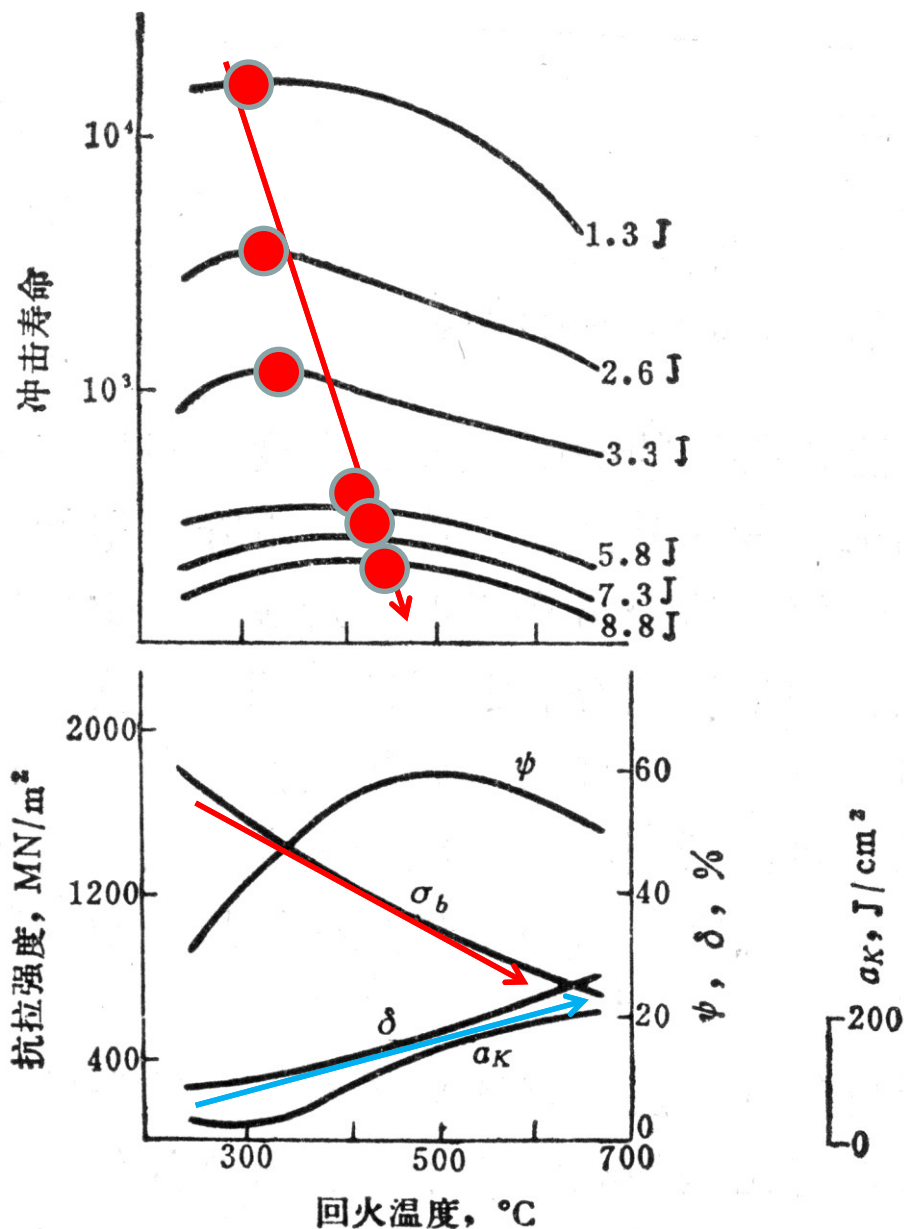


图4-20 40钢多冲性能和静载性能随回火温度的变化

说明：

用中、低强度材料制作的中、小型零件，由于较高的断裂韧性，一般不会发生脆断，因而可以应用多冲抗力的结论。

用中、低强度钢制作的大型铸锻件、焊接件及高强度材料制成的零件，制造工艺复杂，微小裂纹或缺陷，在多次冲击的条件下，可能成为疲劳裂纹萌生源，逐渐扩展到临界裂纹尺寸而发生脆性断裂，多冲抗力不一定高。

在没有进行严格的无损探伤情况下，应谨慎应用多冲抗力的有关结论。

本章结束