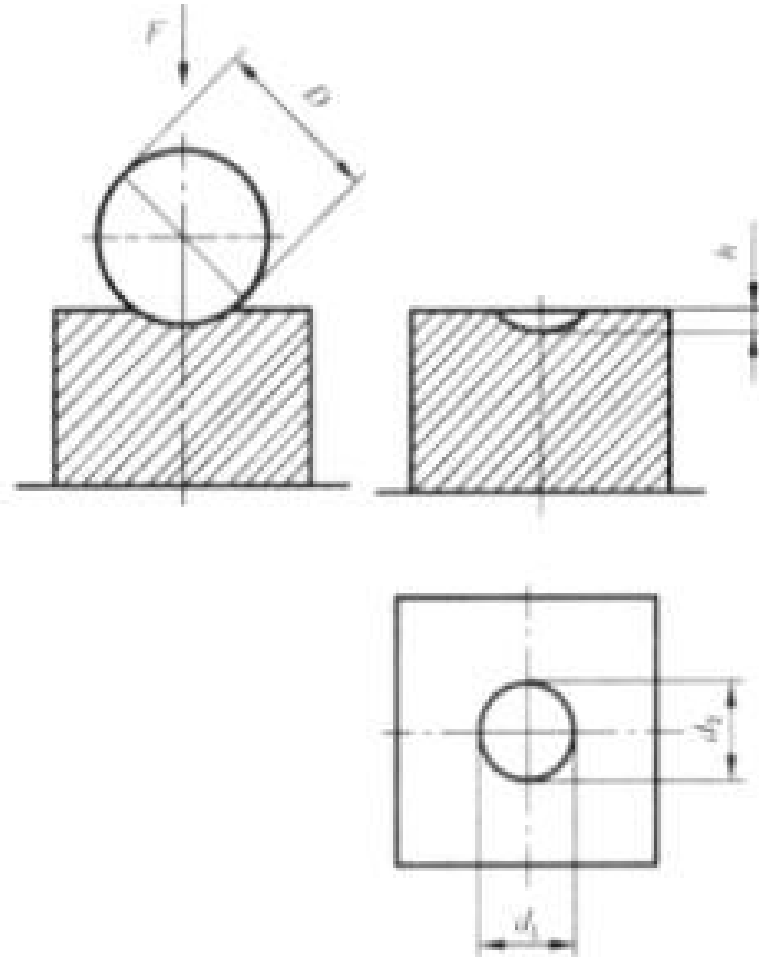


材料力学性能实验

指导教师：高振山

2008-12

实验一 金属硬度实验



一、实验目的

1. 了解布氏，洛氏和维氏硬度计的构造原理；
2. 掌握布氏，洛氏和维氏硬度的实验原理，测定方法及应用范围；
3. 熟悉显微硬度的测定方法。

二、实验原理及方法

1. 布氏硬度试验

在直径为 D (mm) 的淬火钢球上施加规定的载荷 P (公斤力)，压入试样表面如图1，保持一定时间后，卸除载荷。用压痕表面积 F 除所承受的平均压力 P ，所得之商 (公斤/毫米²) 表示布氏硬度值，符号为HB, 计算公式是：

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

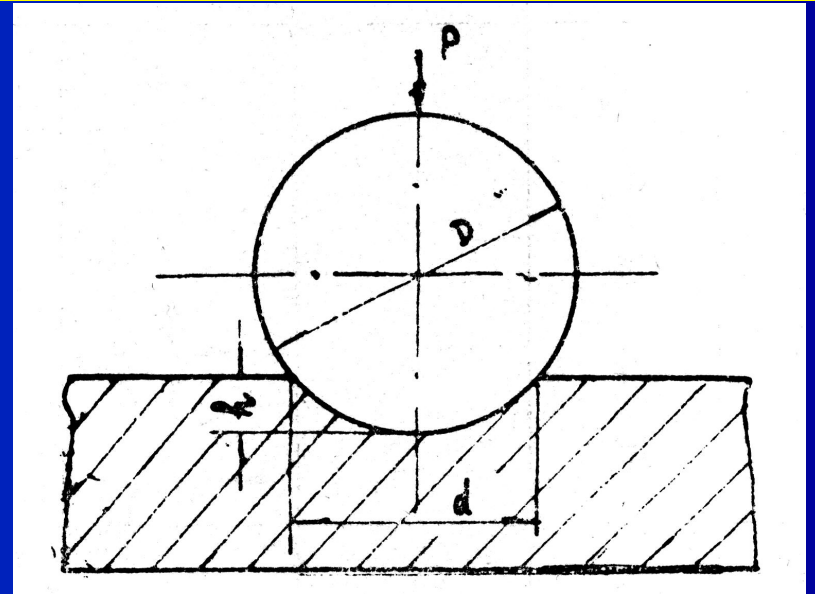


图1 布氏硬度实验原理图

布氏硬度广泛用于各种退火状态下的钢材，铸铁，有色金属的试验，也用于调质处理及硬度小于HB450的机器零件的硬度试验。

二、实验原理及方法

布氏硬度试验时注意事项

试验时应根据材料的预期硬度值，并考虑试样的厚度，按国家标准GB231-63中的试验规范（见表1）来选择钢球直径 D 、载荷 P 和加载时 t ，测得压痕直径 d 后按上式计算或查表。压痕直径 d 必须在 $0.25D \sim 0.6D$ 范围内，否则试验无效，应另选规范再行试验。

试验时为防止压痕周围因塑性变形产生形变硬化而影响实验结果，一般规定压痕中心距试样边缘距离应不小于压痕直径的2.5倍，相邻两压痕中心的距离应不小于压痕直径的4倍。对硬度低的材料此距离还应增大。

为使压痕清晰以保证测量精确，试样表面应尽可能光洁。

试样表面的压痕直径用读数显微镜测量，应从相互垂直的方向各测一次，取其算术平均值。其测量精确度：当用直径为10毫米或5毫米的钢球试验时为0.02毫米，当用直径为2.5毫米钢球时应达到0.01毫米。

二、实验原理及方法

2. 洛氏硬度试验

洛氏硬度是在先后两次施加载荷（初载荷 P_0 及主载荷 P_1 ）的条件下，将标准压头（金刚石圆锥体或小钢球）压入试样表面来进行

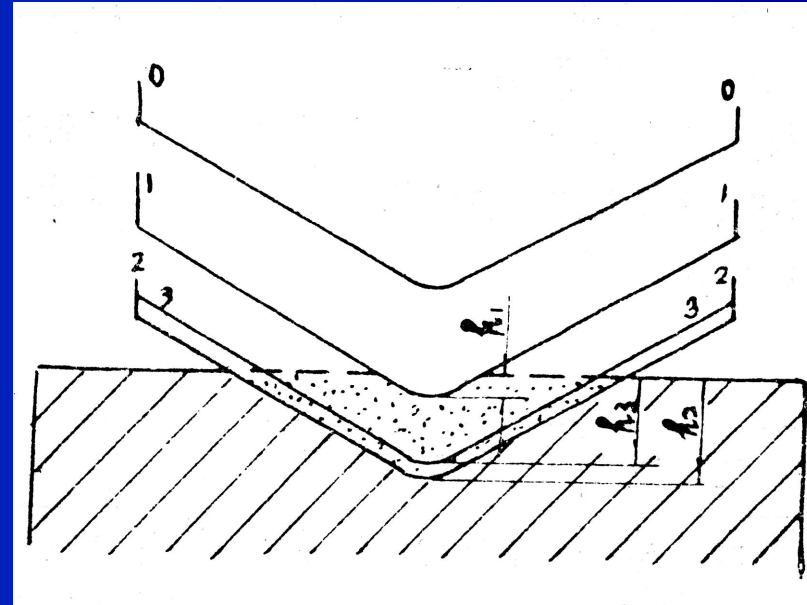


图2 洛氏硬度实验原理图

采用不同的压头和总载荷组合作试验时，得到几种不同的洛氏硬度标度。其中最常用的是HRA、HRB和HRC三种

二、实验原理及方法

洛氏硬度试验时注意事项

为保证试验精度，试样的试验面和支承面必须平整，洁净，没有油脂，氧化皮，裂纹，凹坑，明显的加工痕迹及其它污物。

试样表面加工时应避免受热软化或变形硬化。

试样应能稳定的放在工作台上，在试验中不应有滑动和变形，并保证所有的载荷与试验面垂直。

压痕中心距试样边缘的距离及相邻压痕中心距离不应小于3毫米。

测定每一试样的硬度一般不少于三点，取其平均值。

在圆柱形或球形表面进行洛氏硬度试验时硬度值偏低，须按有关曲线校正。

二、实验原理及方法

3. 维氏硬度试验

维氏硬度试验是用一个相对面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体压头，在一定载荷 P （公斤力）作用下压入试样表面如图3。

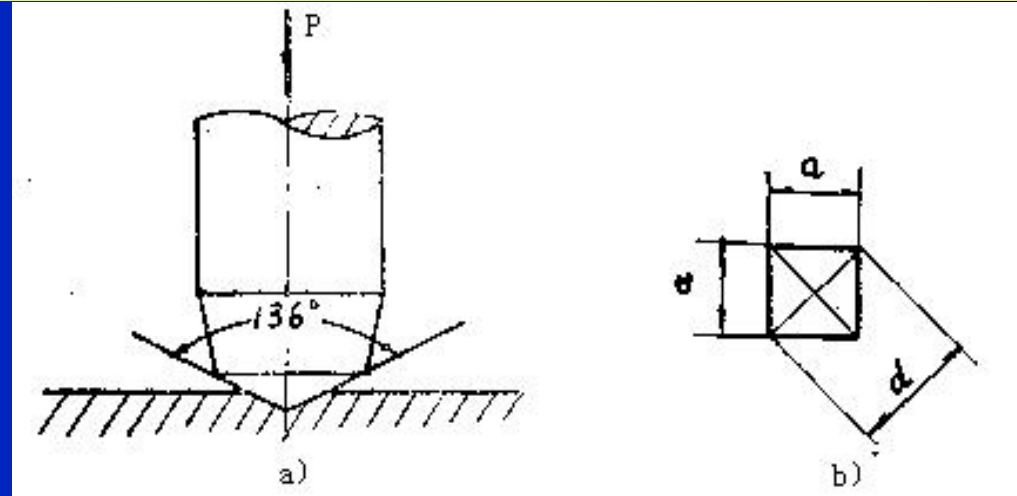


图3 维氏硬度实验原理图

在一般情况下，建议选用30公斤力的载荷。载荷保持时间对黑色金属为10~15秒，对有色金属为 30 ± 2 秒。

维氏硬度广泛用来测定金属薄镀层或化学热处理后表面层的硬度，以及较小工件的硬度试验。

二、实验原理及方法

维氏硬度试验时注意事项

测定维氏硬度的试样其表面应精心制备，光洁度不低于 $\nabla 9$ 。

在制备过程中应防止因过热或加工硬化而改变金属的硬度值。

试验时，压痕中心与试样边缘的距离或两压痕中心的距离，对黑色金属应不小于压痕平均对角线的2.5倍，对有色金属应不小于5倍。

试验时每个试样至少测定三点硬度取其算术平均值。

压痕的对角线长度以两对角线长度的平均值计算。其测量精度为：当压痕对角线长 ≤ 0.2 毫米时，允许测量误差为 ± 0.001 毫米，当压痕对角线长 > 0.2 毫米时，允许测量误差为 $\pm 0.5\%$ 。如果压痕形状不规则，必须重作试验。测出压痕平均对角线长度后，将其代入公式或查表求出HV值。

HV值应附以相应的下标，注明试验载荷值

2. 显微硬度试验

显微硬度试验原理与维氏硬度完全相同，不过所加载荷更低一些，一般小于200克力。所得压痕对角线长度也只有几微米至几十微米。

显微硬度试验可用于：

- (1) 测定表面光洁度 $\nabla 9$ 以上的细小或片状零件的硬度，零件表面薄层硬度及脆性材料硬度；
- (2) 测定金相组织中某个相或组织硬度。

三、实验仪器及材料

1. 实验设备

HVS-1000显微硬度计、
HV-5小负荷维氏硬度计及HR-150A洛氏硬度计、
读数显微镜、各种标准硬度块。

2. 试验材料

不同成分及热处理条件下的碳钢（45#、T8、T12等）。

四、实验步骤

- 1.熟悉各种硬度计的构造原理，操作方法及注意事项
- 2.测定硬度前用标准硬度块校验硬度计的示值误差

五、分析整理实验数据写出实验报告

- 1.明确实验目的
- 2.测试各种试样的布氏、洛氏、及显微硬度值
- 3.按要求写出实验报告

实验二 金属冲击实验



一、实验目的

1. 了解摆锤式冲击试验机的构造原理，操作方法及冲击试样的形状和尺寸
2. 掌握金属材料的冲击试验方法

二、实验原理及方法

冲击试验是一种动态力学试验，它是将一定形状及尺寸的试样放置在冲击试验机的固定支座上，然后将具有一定位能的摆锤释放，使试样在冲击弯曲负荷作用下断裂。

用梅氏试样试验时，把冲断试样所消耗的功 A_k ，除以试样缺口处的

横截面积 F_N 所得的商称为冲击韧性（或冲击值），以 a_k 表示。

$$a_k = (A_k / F_N) \text{ kgf} \cdot \text{m} / \text{cm}^2$$

金属在常温下的冲击试验较为简便易行，其冲击韧性对材料的冶金质量、宏观缺陷、显微组织等十分敏感。因此，生产上广泛采用这种试验方法来检验材料的质量，如晶粒粗细、回火脆性、过热、过烧、内部裂纹、白点、夹杂、纤维组织的各向异性等，并常用这种方法确定低碳钢材的应变时效敏感性。

三、实验仪器及材料

1. 冲击试验机 (图1)
2. 试样 (图2)

图1 摆锤式冲击试验机

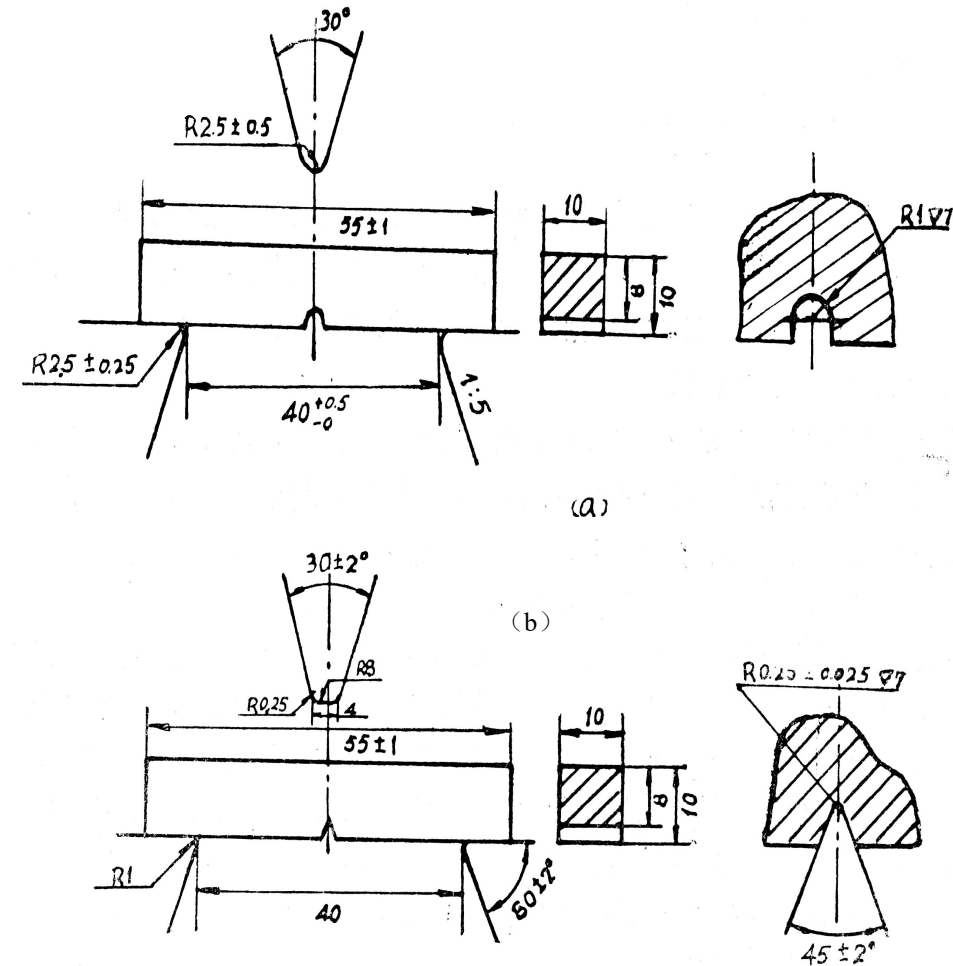
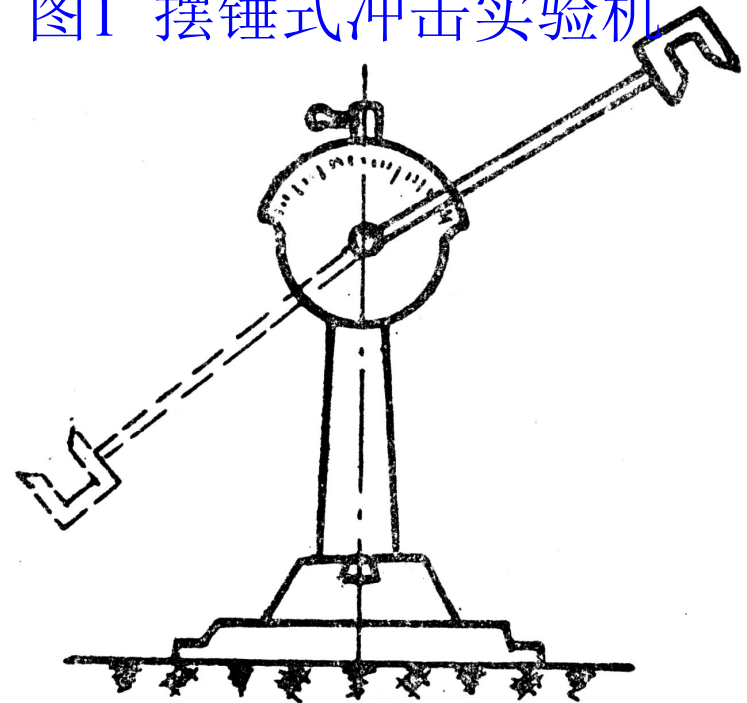


图2 冲击试样及冲击试验机刀口、支座的形状及尺寸

- (a) 梅氏试样 (b) 夏氏试样

四、实验步骤

将加工好的试样放在试验机的支座上，再将具有一定重量 G 的摆锤举至一定的高度 H_1 ，使其获得一定的位能 (GH_1)，再将其释放，冲断试样。摆锤的剩余能量为 GH_2 。摆锤冲断试样所失去的能量（位能），即冲击负荷使试样破断所作的功，称冲击功，单位为公斤力·米，以 A_k 表示。

则有 $A_k = GH_1 - GH_2 = G(H_1 - H_2)$ 公斤力·米。

五、分析整理实验数据写出实验报告

整理数据，填写实验报告。

思考题

- 1.冲击实验应用范围如何？
- 2.试说明冷脆的物理本质及影响冷脆的因素。
- 3.分析由于试样的材料，试样形状和尺的变化对 a_k 值大小产生的影响。

实验三 金属拉伸实验



一、实验目的

金属拉伸性能指标 σ_b 、 $\sigma_{0.2}$ 、 ψ 及 δ 测定方法，

加深对拉伸性能指标物理意义的理解。

二、实验原理及方法

本实验主要测定 σ_b 、 $\sigma_{0.2}$ 、 ψ 及 δ

1. 屈服点 σ_s

试样在拉伸过程中，载荷不增加或首次下降而仍继续伸长时的最小应力称为屈服点 σ_s 。

2. 屈服强度 $\sigma_{0.2}$

对于无明显物理屈服现象的材料，应测定其屈服强度 $\sigma_{0.2}$ ， $\sigma_{0.2}$ 为试样在拉伸过程中标距部分残余伸长达原标距长度的0.2%时的应力。

3. 抗拉强度 σ_b

将试样加载至断裂，由测力度盘或拉伸线上读出试样拉断前的最大载荷 P_b ， P_b 所对应之应力即为抗拉强度 σ_b 。

4. 伸长率 δ

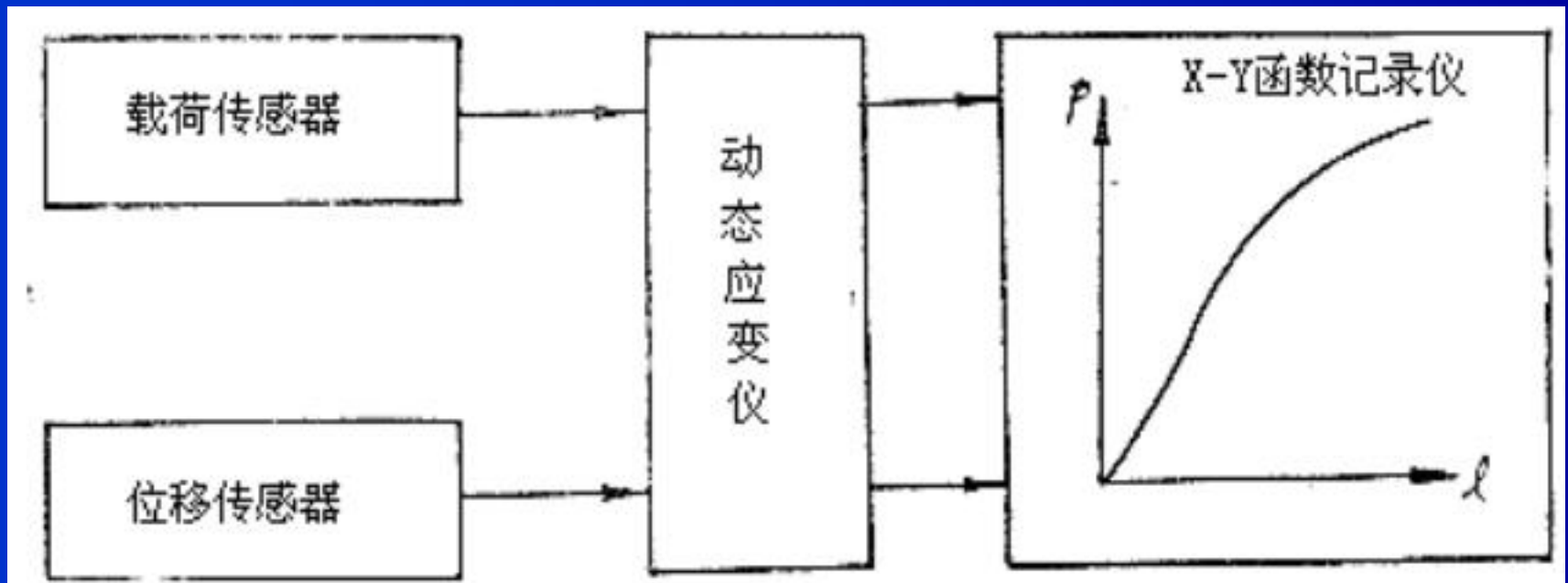
伸长率 δ 为试样拉断后标距长度的增量与原标距长度的百分比

5. 断面收缩率 ψ

断面收缩率 ψ 为试样拉断后缩颈处横截面积的最大缩减量与原横截面积的百分比

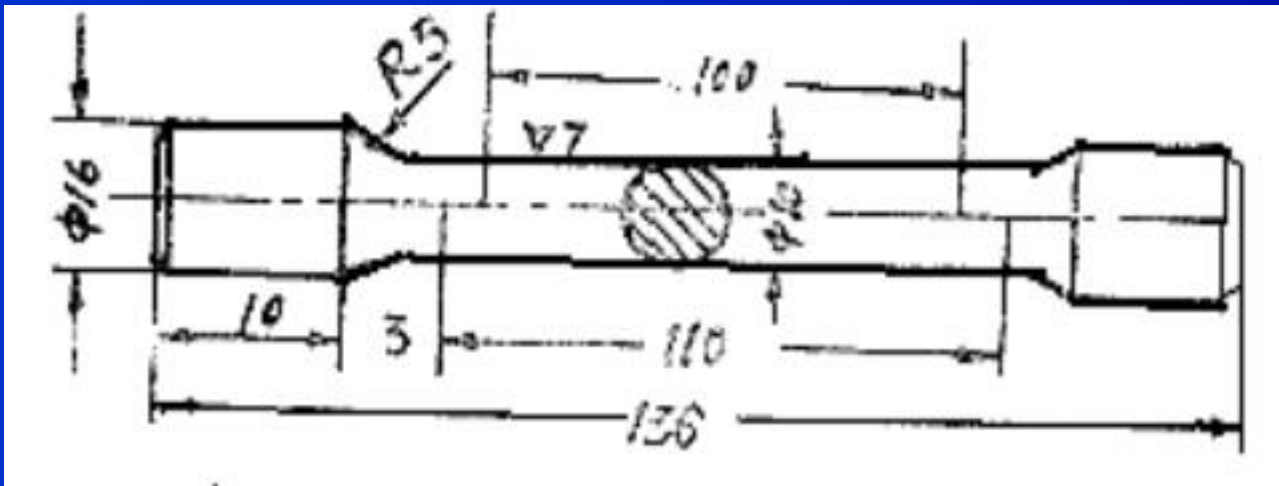
三、实验仪器及材料：设备和仪器

- (1) PLS-200型电液伺服动静试验机；
- (2) 液压式万能材料试验机；
- (3) 用x-y函数记录仪绘制拉伸曲线的仪器；
- (4) 用引伸计法绘制拉伸曲线的仪器：引伸计。
- (5) 游标卡尺、手锤、冲头等。



三、实验仪器及材料：试样

试样尺寸及加工精度在GB228-76中有具体规定，但试样头部形状及尺寸可视实验卡头要求而定。一般长30-40mm，图中标明为最短长度。本实验采用圆柱试样，如图所示。试样的材料及热处理处理状态为：20钢退火状态(试样1根)及45钢调质状态试样2根。



四、实验步骤：试样的准备

(1) 将领取的试样打上印记，并将材料，热处理状态填入附表内

(2) 量试样尺寸，用精度为0.02mm的游标卡尺测量试样直径(用

同

一截面相互垂直的两个方向各量一次，至少测量三个截面),计算平均直径并以最小平均直径计算横截面积，填入附表内

(3) 在试样标距上打上冲眼，并用划针或刻线机画线，将标距范围内的试样分成10等分，轻轻打上标点。测量标距距离，记入附表

(4) 实验设备的准备

a) 了解所用设备的基本原理，认识所用设备的性能、用途及特点

b) 学习设备操作规程、安全事项和操作方法

c) 调整好所用设备

d) 安装绘制拉伸图的仪器，并对传感器进行标定

四、实验步骤：拉伸实验

1. 用20钢退火试样进行拉伸试验。一方面用针指法读出 P_s ，另一方面用X-Y函数记录仪绘制拉伸曲线，从拉伸曲线上求出 P_s

2. 用45钢调质试样进行拉伸试验。其中一根在拉伸过程中用X-Y函数记录仪绘制拉伸曲线，用以求出 $P_{0.2}$ ；另一根用拉伸计法下测 $P_{0.2}$ （测出 $P_{0.2}$ 后立即从试样取下引深计），所有试样都拉伸至断裂为止。

试验时应注意掌握加载速度。屈服前，应力增加速度应控制在每秒1kgf/mm²，屈服后，试验机活动夹头在载荷作用下的移动速度不大于0.5l/分

3. 测量拉断试样的 l_k 及 F_k ；处理拉伸曲线，分别求出 P_s 、 $P_{0.2}$ 及 P_b 值

4. 计算试验结果

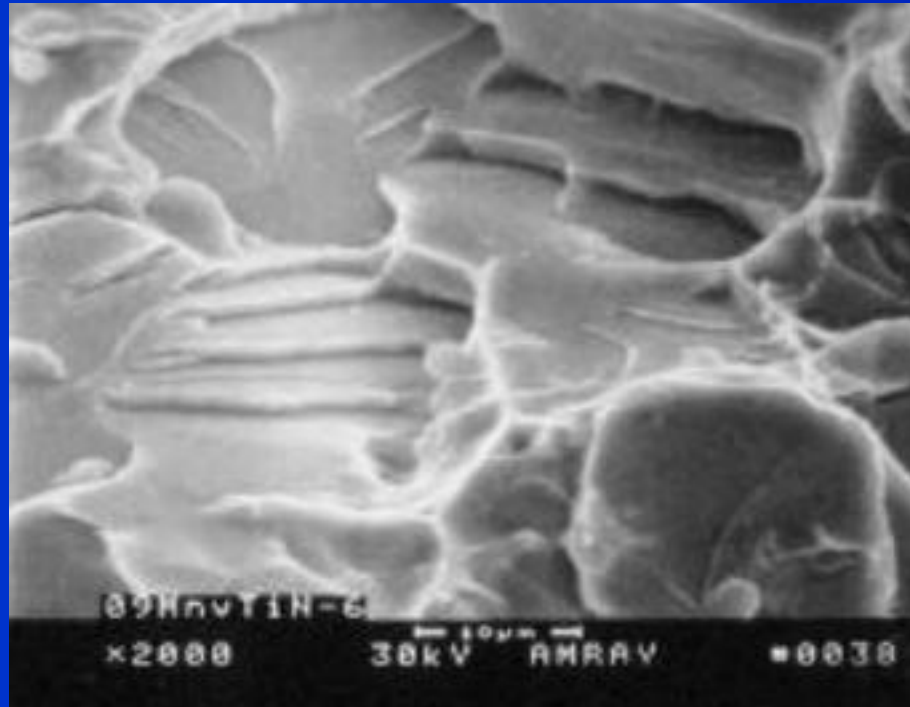
五、分析整理实验数据写出实验报告

整理数据，填写实验报告
(应附拉伸曲线和数据记录表)

思考题

- 1.何谓真应力、真应变与工程应力、工程应变有何不同？
- 2.同一种材料用五倍试样和十倍试样进行拉伸，测得 δ_5 与 δ_{10} 其值相等吗？请说明理由。

实验四 典型断口的形貌观察与分析



一、实验目的

1.识别材料脆性断口和韧性断口的几种典型表面形貌特征

2.深入分析与理解几种典型断口的断裂机理

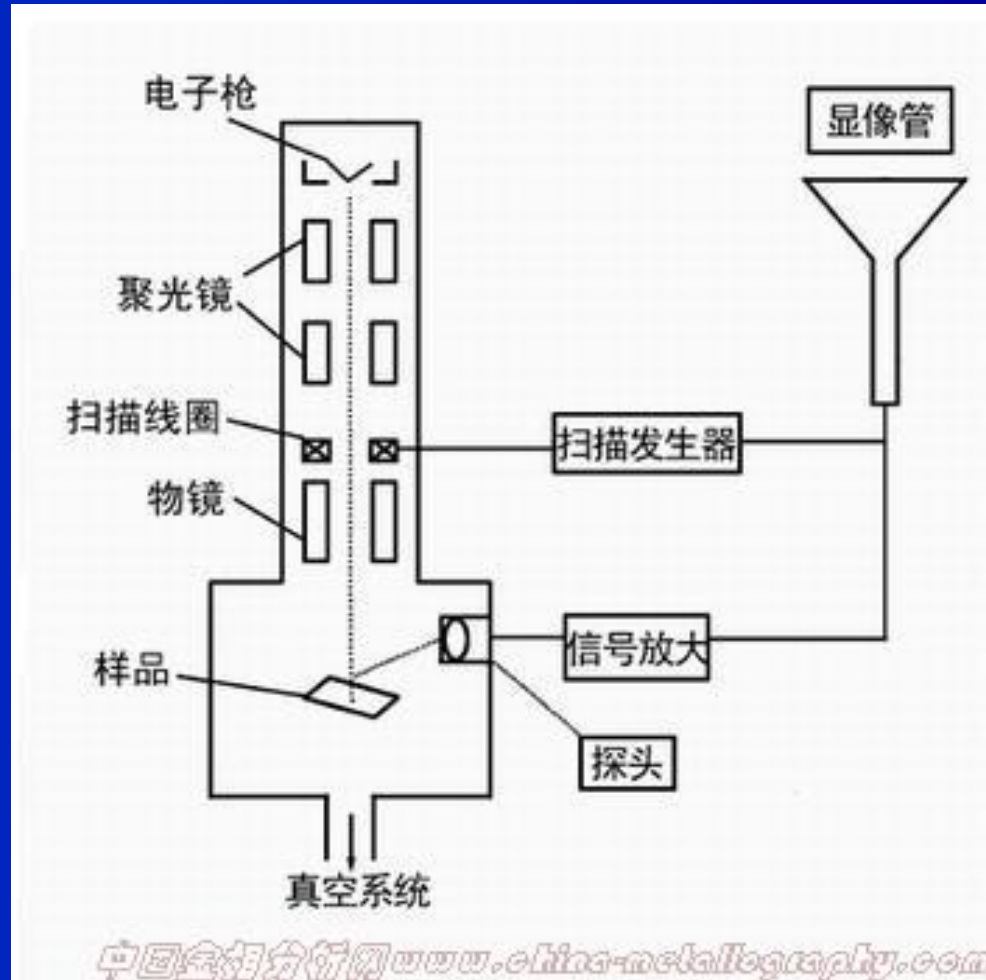
二、实验设备

KYKY-2800型扫描电子显微镜



三、实验原理及方法

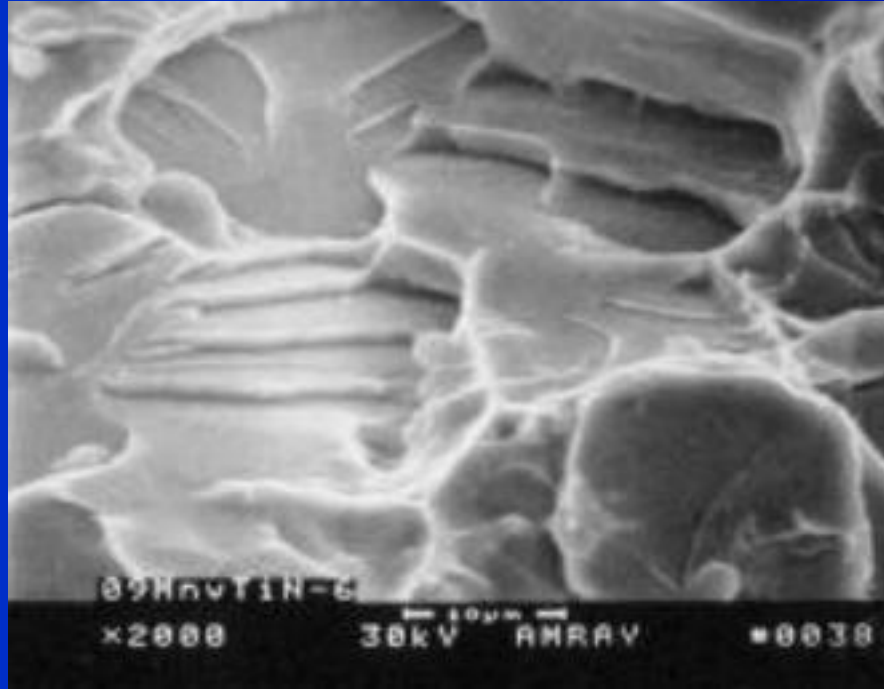
利用**二次电子信号**观察断口形貌。扫描电子显微镜是利用细聚焦高能电子束在样品上逐点扫描而激发出各种物理信息，通过对这些信息的接收、放大和显示成像，以便对试样微区进行分析。扫描电镜观察样品特点景深大、分辨本领比较高，是进行样品表面分析研究的有效工具，尤其适合比较粗造试样表面，如金属断口和显微组织三维的形貌观察。



扫描电子显微镜结构

四、实验内容及步骤

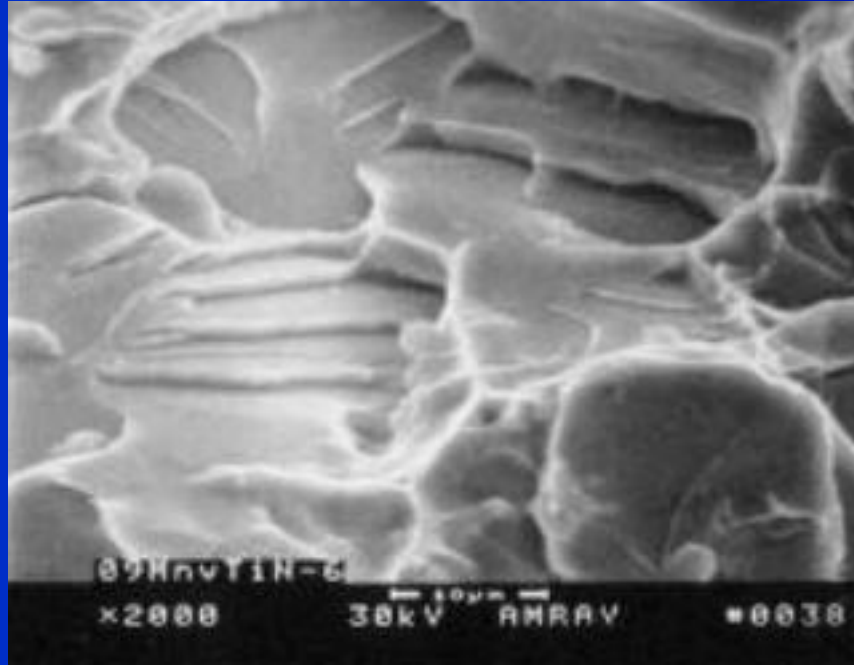
1. 沿晶断裂与穿晶断裂断口



沿晶断裂是裂纹沿晶界扩展；穿晶断裂的特点是裂纹穿过晶粒内。沿晶断口一般是脆性断口，宏观上看样品表面一般平而光亮，如图所示，冰糖沿晶断口。

四、实验内容及步骤

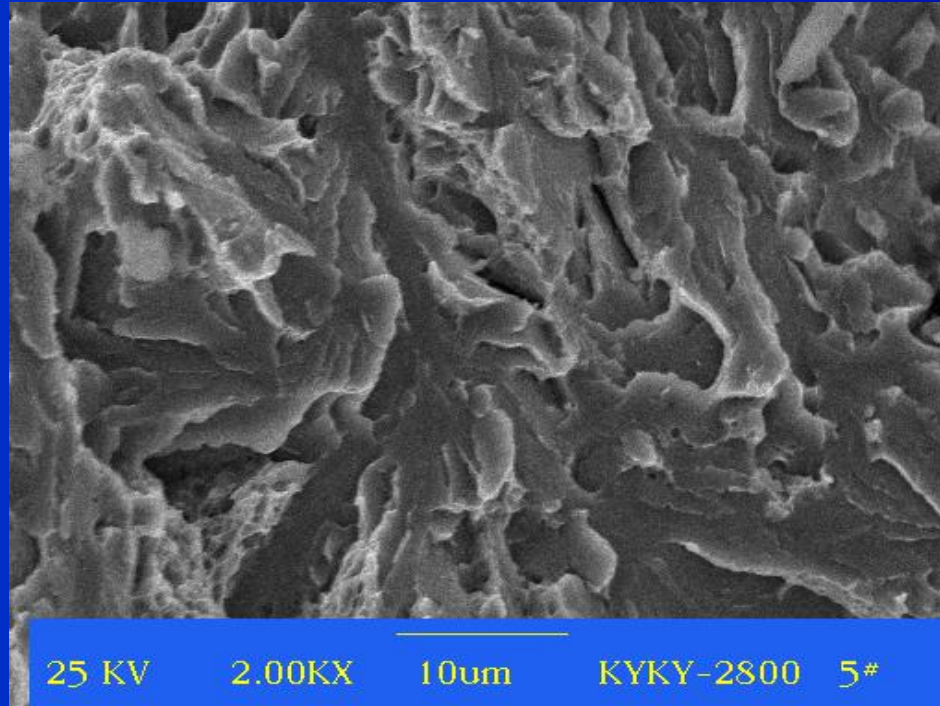
2. 解理断口



这是一种在正应力作用下所产生的穿晶断裂。通常断裂面是严格沿一定的晶面如图所示（即解理面）而分离，其表面为解理平台、河流花样。体心立方金属、密排六方金属与合金，在低温冲击载荷作用下能促进解理断裂发生。通常解理断裂总是脆性断裂。

四、实验内容及步骤

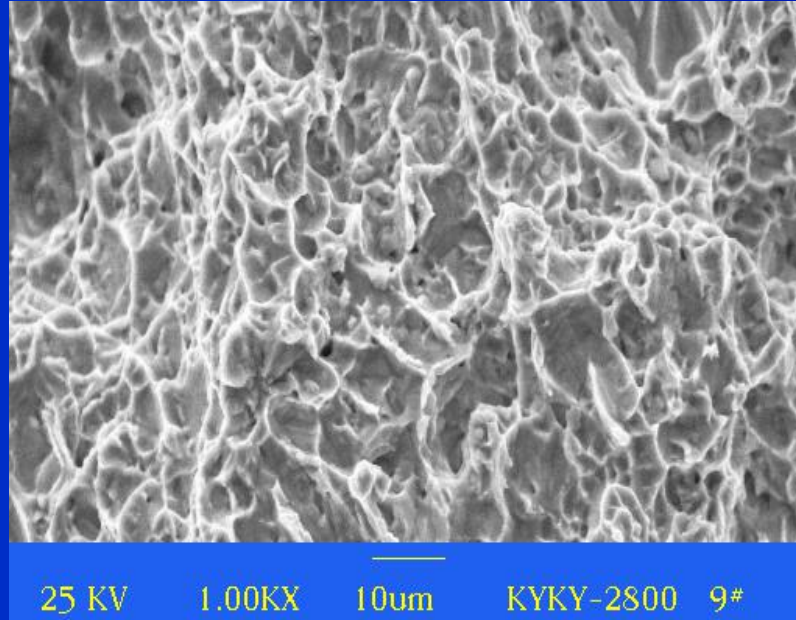
3. 准解理断口



在某些脆性断口上可以看到解理断裂的特征形貌，同时又伴有一定塑性变形痕迹，称为准解理断口。其特征是解理平面上有许多撕裂棱，它是有许多单独形成的裂纹相互连接由于撕裂而形成的，如图所示。

四、实验内容及步骤

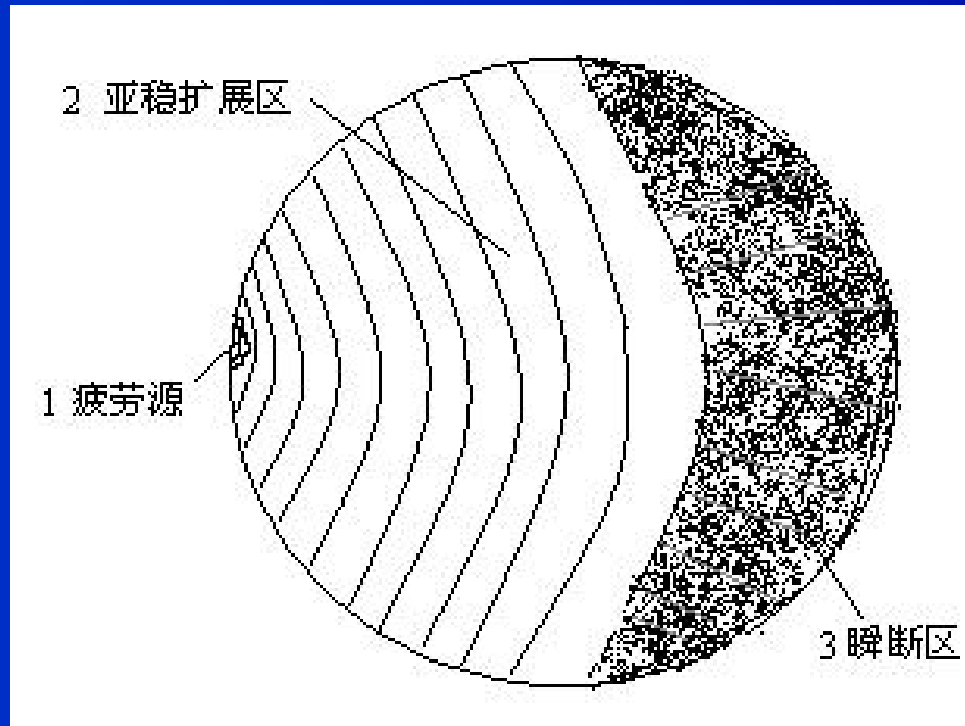
4. 韧窝断口



这是一种微孔聚集型断裂。其特征是可见大量微孔坑覆盖断面，这些微坑称为韧窝。如图所示。韧窝有抛物形的剪切韧窝、撕裂韧窝与等轴韧窝之分，都属于韧性断裂的主要微观形貌。

四、实验内容及步骤

5. 疲劳断口

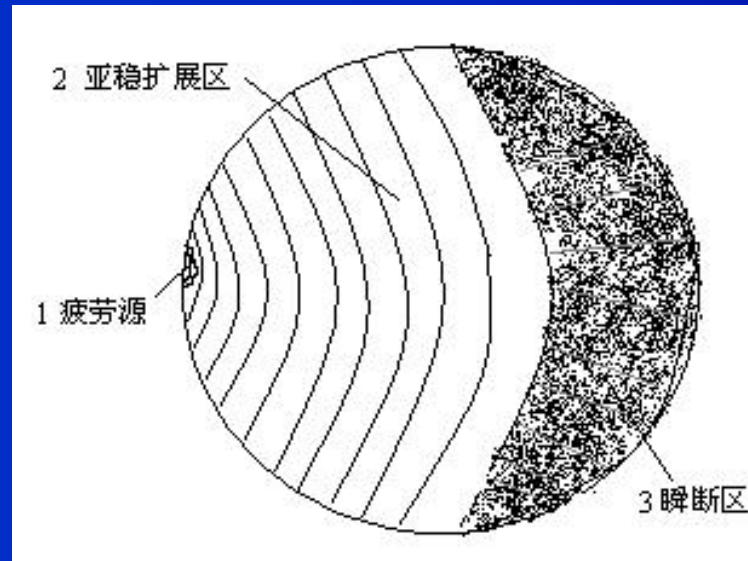


金属构件在变动载荷长期作用下，由于累计损伤而引起无征兆的低应力脆断叫疲劳断裂。典型的疲劳断口形貌可分为三区：疲劳源、疲劳区、瞬断区。其断口形貌如图所示。

四、实验内容及步骤

6. 疲劳断口分析步骤

在试样边缘如缺口、螺纹、刀痕处形成疲劳裂纹源图（1），因为这里存在应力集中会引发疲劳裂纹形成。疲劳裂纹源的光亮度最大，因为形成裂纹源时扩展速度最低，循环次数最多，端面不断摩擦挤压，故显得光亮平滑。疲劳区是疲劳裂纹亚稳扩展区，如图（2）断口比较光滑并分布有贝纹线，有时还有裂纹扩展台阶。每应力循环下，缓慢地扩展，当达到一定尺寸后，裂纹开始快速扩展。瞬断区是裂纹最后失稳扩展所形成的断口区如图（3）。脆性材料为结晶状断口，韧性材料中间平面应变区为放射状或人字纹断口，边缘平面应力区为剪切唇。



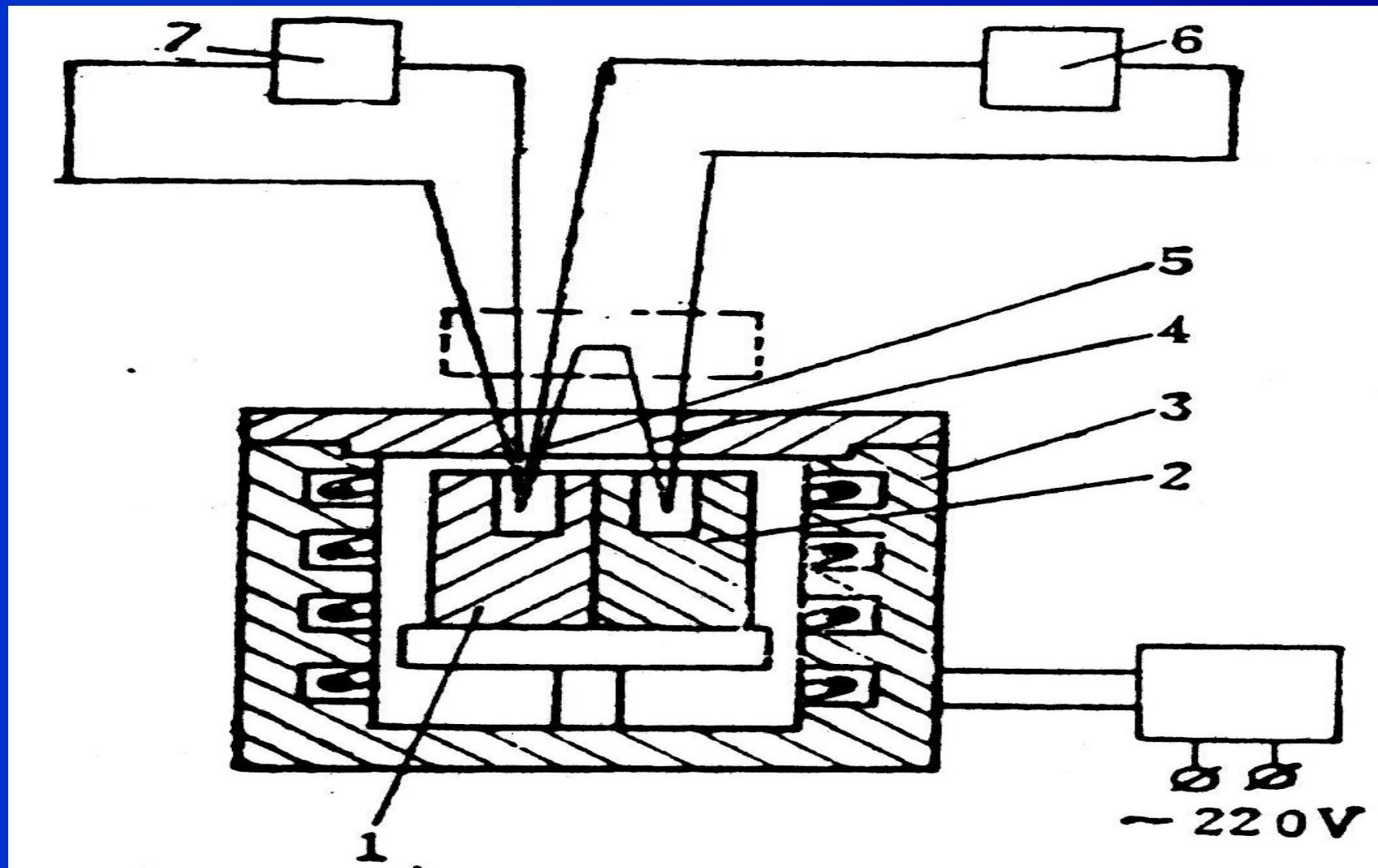
五、分析整理实验数据写出实验报告

- 1.画出二种典型断口形貌特征示意图；
- 2.简述、分析以上二种断口的断裂机理。

思考题

- 1.疲劳裂纹扩展分几阶段？试述各阶段扩展机制机理。
。
- 2.高周疲劳与低周疲劳有何异同？

实验五 示差热分析法测定钢的临界点



一、实验目的

1. 学习用示差热电偶测量共析钢相变临界温度 A_{c1} 和 A_{r1} 。
2. 了解热分析装置的结构和原理。

二、实验原理

热分析是利用热效应分析金属及合金组织、状态转变的一种方法。金属及合金的转变如：熔化、凝固和固态转变常产生明显的吸热或放热反应，这就是进行热分析的基础。在研究金属及合金的固态相变时，利用此热量的变化，使示差热电偶的热电势发生变化，从而确定金属或合金的相变温度 A_{c1} 和 A_{r1} 。

测定金属及合金的临界温度，常用加热及冷却曲线进行研究分析。所测定的加热温度和加热时间或冷却温度和冷却时间的关系曲线，称为简单热分析曲线。利用在相同条件下加热或冷却时，试样和标准试样的温度差与温度和时间关系，对组织结构进行分析的一种技术，称为示差热分析法。本实验采用示差热分析法。

二、实验原理

示差热电偶由两支同型号热电偶反向串联构成，它的热电势应为两个热电偶电势之差，把 t_1 插入标准试样中， t_1' 插入被测试样中；示差热电偶接入灵敏检流计，则示差热电势测量：

$$\Delta E = E(t_1, 0) - E(t_1', 0)$$

而被测试样温度测量,为方便我们再用一对同型号电偶，接入UJ-37电位差计中，则被测试样温度测量： $E(t_1', 0)$ 。当匀速升温时，由于标准试样温度（ t_1 ）均匀上升，而被测试样温度(t_1')升至 A_{c1} 时，发生P-A转变，有吸热反应， t_1' 温度停止上升，由于， $t_1 > t_1'$ 则 $\Delta E > 0$ 。匀速冷却时，当 t_1' 温度降至 A_{r1} 时，发生A-P转变，有放热反应，使 t_1' 温度停止下降，由于 $t_1 > t_1'$ 则 $\Delta E > 0$ 。用检流计指示的 ΔE 及UJ-37的读数和时间制图，即可求出被测试样相变临界温度 A_{c1} 和 A_{r1} 。

三、实验仪器

- 1.标准试样：无相变金属（镍铬合金）制成的半圆柱体。
- 2.试样：被测钢种制成的与标样尺寸相同的半圆柱体。
- 3.三支热电偶，其中二支接成示差热电偶，另一支插入试样中。
- 4.检流计一台。
- 5.UJ-37电位差计一台。
- 6.加热炉一台。
- 7.铜导线若干。

四、实验内容及步骤

- 1.把试样与标准试样装配好，接好连线放入炉中，升温，并记录温度、温差随时间变化的数据。
- 2.加热完毕后（估计已超过临界点）停电，缓冷记录冷却过程中的误温差、温度与时间变化的数据。
- 3.作出加热及冷却过程中温差、温度随时间变化的曲线。

五、分析整理实验数据写出实验报告

思考题

1. 在实验过程中，当试样无组织转变时，标样与试样的温差是否等于0？为什么？
2. 推断亚共析钢的实验曲线。

实验六

用电阻法研究淬火钢的回火对钢的
电阻系数的影响

一、实验目的

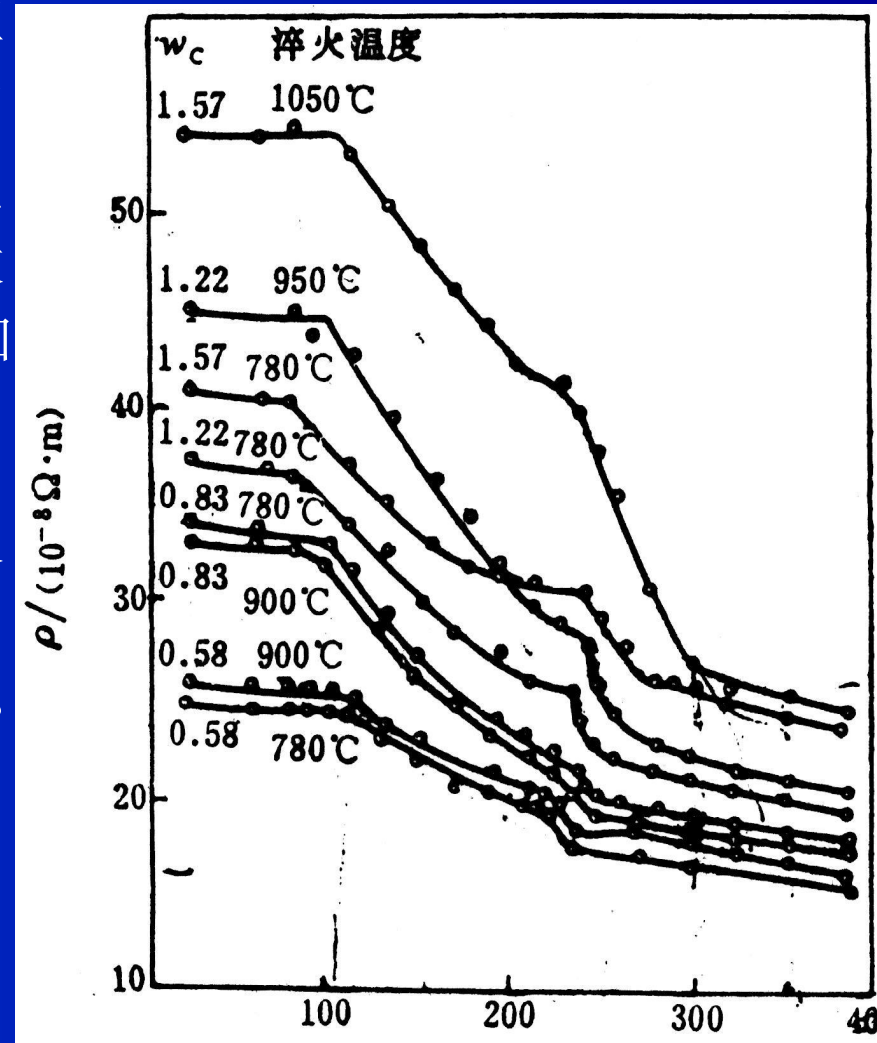
1. 利用双臂电桥测定淬火钢在不同温度回火过程中电阻系数的变化情况，了解马氏体及奥氏体的分解过程
2. 通过实验掌握双臂电桥的构造、原理、使用方法

二、实验原理

金属具有良好的导电性，但电子在金属中运动时要不断地与点阵结点发生碰撞，因而金属具有电阻，电阻是一个与其几何形状有关的物理量，即电阻与金属的长度成正比，与其截面积成反比，通常衡量金属导电性的不是用 R ，而是用其电阻系数 ρ ，它表示具有单位长度（米，厘米）和单位截面积（毫米²）某种金属的电阻。金属的电阻系数与金属的成分，组织，内应力及所处的温度有关，凡是能阻碍自由电子移动的因素均使金属的电阻系数增加，反之，则可使电阻系数降低。淬火通常可使点粗系数增加，因为淬火后常获得过饱和的不平衡组织，淬火则常使 ρ 值下降。在铁中加入碳，将使铁的电阻系数显著提高，而增高多少也取决于碳的存在方式，因而对于一定成分的碳钢而言，可以通过热处理改变其电阻系数。

二、实验原理

淬火钢在回火时马氏体和奥氏体分解为多相混合组织，电阻系数随温度的变化规律能反应出钢中马氏体和奥氏体分解开始及终了时间。例如，含碳为1.57%的钢在回火过程中 ρ -C曲线如图。在110°C，230°C及300°C出现转折。回火温度在110°C时，电阻开始急剧下降，其原因是产生了马氏体分解，约在230°C时电阻又发生了更为急剧的下降，这表明钢中奥氏体开始分解，高于300°C说明固熔体分解已基本结束，电阻已很少变化。折点110°C，230°C，300°C各代表着回火的不同阶段。



三、实验仪器

1. QJ36型单双臂两用电桥一台。
2. AC型检流计一台。
3. 与试样阻值相近的BZ3型标准电阻一个。
4. 直流电流表一个。
5. 滑线电阻器一个。
6. JW-2D直流稳压电源一台。
7. 联接导线若干。
8. 直径为1mm，长为1.0m的70#钢丝，预先卷成直径为20mm的螺线型管状，共8个试样，分别经50°C、100°C、150°C、200°C、230°C、250°C、300°C、400°C回火1小时。

四、实验内容及步骤

1.根据 R_x 估算值选取 R_N ，使 R_N 接近 R_x 阻值

2.按图2-3将 R_x 、 R_N 、 E 、 A 、 RL 及检流计 G 联成测量线路

3.根据测量范围选好电阻 R_1 、 R_2

4.将工作电流调整到50mA

5.打开检流计开关，待光点稳定后，按下电桥左下脚的粗、细调旋钮，调整电桥上六个旋钮使检流计指零，将旋钮指示读数记录下来

6.将电桥左下脚的粗细调旋钮放开，更换试样，重新按以上步骤进行操作，并进行测量

7.测量完毕，将结果交指导老师检查，整理仪器

五、分析整理实验数据写出实验报告

思考题

1.为什么选择 R_N 要接近 R_x 的值可以明显减少测量误差

2.双电桥测大电阻有什么问题

3.为什么用双电桥测小电阻时， R_N 和 R_x 都要做成四端电阻

实验七

利用磁性测定钢中残余奥氏体量

一、实验目的

1.掌握用冲击检流计测量钢材磁饱和强度的方法。

2.利用磁性研究淬火温度及回火过程对残余奥氏体的影响。

3.学会根据钢的饱和磁化强度值来计算钢中残余奥氏体量的方法。

二、实验原理

钢在淬火后总要留有一部分未转变的奥氏体，残余奥氏体量的多少决定于钢材的成分、淬火加热温度、保温时间等。此外，由于冷却的中断所引起的陈化稳定也能使残余奥氏体增多。控制和测定残余奥氏体，对于保证淬火工作的质量有十分重要的意义。常用的测量奥氏体的方法有金相显微分析法、X射线结构分析法、膨胀分析法以及磁性分析法等。这几种方法中最为准确方便的是磁性分析法。可通过测量试样的磁饱和强度 $(M_s)_r$ 和标准试样（设为100%马氏体）的磁饱和强度 $(M_s)_M$ 来实现。对标准试样的要求是材料的成分和被测试样的完全一样同时又经特殊处理，完全得到了马氏体组织。当然，这在理论上是不可能的，但我们大略认为得到的是100%马氏体，如果要求非常精确，可通过其他方法对测量结果加以修正。

三、实验仪器

- 1.强磁计一台。
- 2.直流电源设备一台。
- 3.冲击检流计一台。
- 4.测定冲击检流计冲击常数的仪器一套。
- 5.试样及标准试样一套。

四、实验内容及步骤

1. 接好线路，K2保持接通
2. 将测量线圈放在两个磁极之间
3. 接通强磁计电源，使其达到饱和的程度
4. 断开K2，待光点稳定后迅速将试样从磁极的空洞用铜管送入测量线圈中，同时读出检流计的偏转格数 α_m
5. 记录下 α_m 之后，接通K2，断开强磁计电源，取出试样
6. 用以上方法反复测量，记录 α_m 取其平均值
7. 用同样的方法测量标准试样的 α_m
8. 计算残余奥氏体含量

五、分析整理实验数据写出实验报告

思考题

影响本实验测量精度的因素有哪些？