

绪论

一、本课程的目的及意义

金属材料是现代工业、农业、国防及科学技术的重要物质基础。

金属材料之所以获得广泛的应用：

- (1) 具有优良机械及物理化学性能,能满足生产和生活的各种需要。
- (2) 具有优良的工艺性能,易于采用各种工艺方法制成各种形状的零件、工具及生活用品。

本课程是研究金属材料的性能与成分及内部组织结构之间的关系,改变性能的途径及常用金属材料的学科。通过本课程的学习,使学生能够掌握有关金属材料的基本理论和基本知识,初步了解金属材料的应用及零件设计的合理选择,初步掌握正确运用热处理工艺、合理安排零件工艺路线的方法。

二、本课程的基本内容

本课程的主要内容包括认识金属材料及金属的性能、金属学基础知识、钢的热处理和金属材料等。介绍了金属材料的分类及金属材料的力学性能和工艺性能;金属学的基础知识中主要介绍了金属的晶体结构、结晶及金属的塑性变形,铁碳合金的组织及铁碳合金相图;在钢的热处理中重点介绍了热处理的原理,包括:钢在加热、保温、冷却时的组织转变,同时对热处理工艺的退火、正火、淬火、回火、表面热处理及化学热处理也做了较为详细的介绍;金属材料部分介绍了碳素钢、合金钢、铸铁、有色金属及硬质合金等材料的牌号、成分、组织、热处理、性能及用途。此外,根据不同专业的需要,本课程还增加了实验内容,以帮助学生更好地掌握基础理论知识。

三、金属材料与热处理的发展史

人类从历史的长河中走来,材料的每一次改进都推动了人类文明的进步:

石器时代→青铜器时代→铁器时代→工业时代…→信息时代,都是以材料的进步为标志。

人类文明史实际上就是人类使用材料的历史!

1. 石器时代

100 万年前,人类使用石头为工具(天然材料),称为旧石器时代;1 万年前,对石头进行加工使之成为更为精密的工具,称为新石器时代;约 5000 年前,认识了矿石,并在烧制陶器的过程中还原出来铜和锡,创造了炼铜技术。

2. 青铜时代

中国在公元前 17 世纪(商周)进入青铜鼎盛时期,在技术上达到世界顶峰。

各地出土文物中发现商周时期的礼器、用具、武器、农具及工具等,其中超大的司母戊鼎、精巧的四羊尊与龙虎尊,已达到相当高超铸造技巧和艺术造诣。春秋认识了青铜成分、性能和用途之间的关系,“六齐”规律:“金有六齐,六分其金而居锡一,谓之钟鼎之齐;五分其金而锡居一,谓之斧斤之齐;四分其金而锡居一,谓之戈戟之齐;三分其金而锡居一,谓之大刃之齐;五分其金而锡居二,谓之削杀矢之齐;金锡半,谓之鉴燧之齐。”这是世界上已知关于合金成分规律最早记载。表明战国时期人们对合金成分、性能和用途之间的关系已有所认识。

湖北江陵楚墓越王勾践两把宝剑是青铜器杰作“越王勾践,用作自践”。

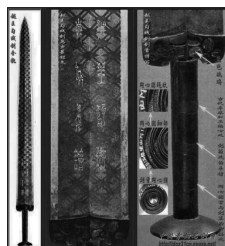
2004年3月17日上午,由国家博物馆监制高级仿真越王勾践剑在国家博物馆举行首发式,限量编号发行一千把。仿真的越王勾践剑每把价格人民币一万九千八百元。宝剑长五十六点二厘米,宽五点一厘米,剑身下方有两行金丝鸟篆的铭文“越王鸠浅(勾践)自作自用”。剑盒呈古琴盒状,取材均为出土的古代金丝楠木。



▲ 国之重器——司母戊鼎



▲ 战国前期的曾侯乙墓编钟



▲ 越王勾践的现代仿品

3. 铁器时代



▲ 河北沧州“镇海吼”(铸造于公元953年,重达40t)

我国劳动人民在三千三百年前已接触了铁,并加以利用。目前发现最早冶炼铁器约出现在公元前六世纪,而欧洲最早生铁出现公元十三世纪末至十四世纪初,比我国晚一千九百多年,洛阳出土的春秋战国之交的铁铲,经金相检验是迄今发现的最早的可锻铸铁。兴隆战国铁器遗址发掘了浇注农具用的铁模(金属型铸造)。河南巩县汉代冶铁遗址,发掘出20多座冶铁炉及锻炉,炉型庞大、结构复杂,并有鼓风装置和铸造坑。

我国在春秋末期冶铁技术有很大突破,居世界领先地位。在发明生铁冶炼技术的同时也发现了钢与铁性能的差异,创造了炼渗碳钢、百炼钢、铸铁脱碳钢等炼钢技术。

4. 热处理

战国时期脱碳使白口铁的铁铸表面碳降低,减小脆性;开始利用淬火,获得马氏体组织,提高钢剑的硬度;秦汉以后开始了表面渗碳技术,西汉出土的宝剑都是马氏体组织;河北满城出土的西汉配剑,表面高碳、中心低碳,说明已采用渗碳技术;三国时期蒲元、南北朝时期的綦母怀文便使用了多种淬火介质,并发现了冷却速度对性能的影响规律。

四、金属材料在工农业生产中的应用

目前的机械工业部门所用的材料中有90%以上是金属材料。金属材料工业已成为我国现代农业、工业、国防及科学技术的重要物质基础,成为我国国民经济发展的支柱产业之一。近年来,我国在材料工业领域取得了巨大成就:我国的钢产量已跃居世界前列,且应用范围正在日益扩大;许多热处理新工艺、新技术得到应用和推广。

五、怎样学好本课程

本课程是材料科学与工程相关专业(金属压力加工)重要的专业基础课之一,名词概念较多,较为抽象和分散,使初学者颇难掌握。但是,只要弄清楚其基本理论及重要名词、概念,按照材料成分、工艺、组织结构及性能变化规律进行认真学习,注重理解、分析和综合应用,多联系生产实践,认真完成任务实践、项目测评、实验等教学环节,入门也是不难的。

学习中要理论联系实际。在深入学习和牢固掌握基础知识、基础理论的同时,要思考、探索它的实践应用。培养学生用实践去验证理论,提高归纳试验规律的能力。

项目一

金属材料的性能

金属材料是现代机械制造业的基本材料,广泛应用于制造生产和生活用具,金属材料之所以获得广泛的应用,是由于它具有许多良好的性能。

在机械制造过程中,为了设计制造具有较强竞争力的产品,必须了解和掌握金属材料的各种性能,以便使机械产品在设计、选材和制造等方面体现出最优化。

任务一 认识金属材料



学习导航

金属材料具有比其他材料优越的性能,广泛的应用于机械制造、工程建设,交通、石油化工、农业、国防等领域,如图 1-1 所示。所以我们认识金属材料具有重要意义。



图 1-1 不同领域的金属材料



任务描述

- 认识金属及金属材料。
- 初步了解金属材料的分类。
- 了解各种载荷的含义。



任务目标

- 具有识别金属材料的初步能力。
- 结合实际情况能确定出不同设备承受的载荷性质。



相关知识

一、金属材料的基本概念

金属是指具有特殊的光泽、良好的导电性、导热性，一定的强度和塑性的物质，如铁、锰、铝、铜等。

金属元素是指具有金属特性的元素称金属元素。在化学元素周期表中，约四分之三是属于金属元素。

金属材料是由金属元素或以金属元素为主而形成的，并具有一般金属特性的材料通称为金属材料。

二、金属材料的分类

通常把金属材料分为黑色金属和有色金属两类。

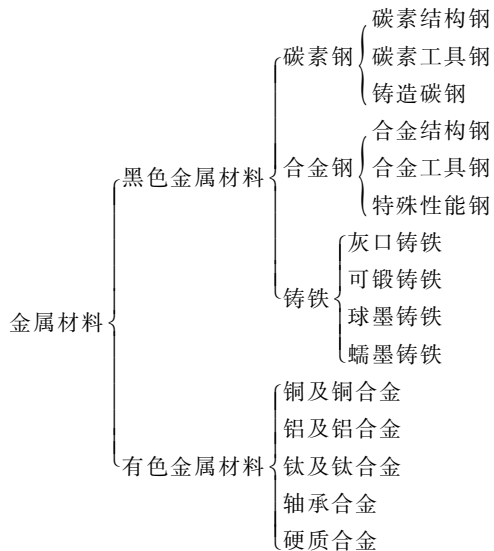
1. 黑色金属

以铁、锰、铬或以它们为主而形成的具有金属特性的物质，称为黑色金属。如：碳素钢、合金钢、铸铁等。

2. 有色金属

除黑色金属以外的其他金属材料，称为有色金属。如：黄铜、硬铝等。

常用金属材料分类大致如下：



此外，在经济建设中，还出现了许多新型的高性能金属材料，如高温合金、粉末冶金材料、非晶态金属材料、纳米金属材料、单晶合金及新型的金属功能材料等。

三、金属材料的性能

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两方面。

使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能。包括：物理性能、化学性能、力学性能等。

工艺性能是指金属在制造加工过程中反映出来的各种性能。包括：铸造性能、锻造性、焊接性能、热处理性和切削加工性。

四、金属材料的载荷

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同,它可以分为静载荷、冲击载荷及交变载荷三种。

(1) 静载荷是指大小不变或变化过程缓慢的载荷。

(2) 冲击载荷是指在短时间内以较高速度作用于零件上的载荷。

(3) 交变载荷是指大小、方向或大小和方向随时间发生周期性变化的载荷。

根据作用形式不同,载荷又可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等,如图1-2所示。

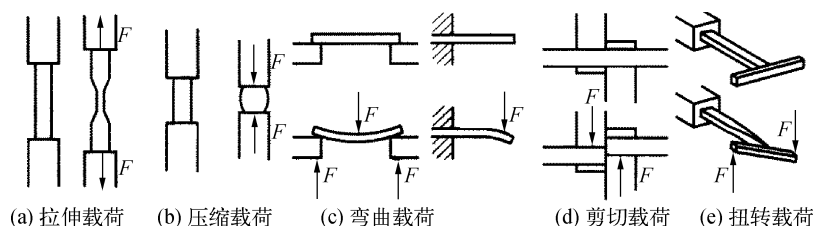


图1-2 载荷的方式

金属材料受到载荷作用而产生的几何形状和尺寸的变化称为变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形两种。

弹性变形是指随载荷的去除而消失的变形。不能随载荷的去除而消失的变形是塑性变形,也称永久变形。

这两种变形的区别在于当载荷去除时变形是否能够“恢复”。

金属受外力作用时,为保持其不变形,在材料内部作用着与外力相对抗的力,称为内力。单位面积上的内力称为应力,金属受拉伸或压缩载荷作用时,其横截面积上的应力按下式计算:

$$R = \frac{F}{S}$$

式中: R —应力(N/mm²或MPa),1 MPa=1 N/mm²=10⁶ Pa;

F —拉力(或压力)(N);

S —横截面积(mm²)。

加油站

内力是金属材料受外力作用时,由材料内部原子之间的相互作用产生的抗力。内力的特点是它随外力的施加而产生,随外力的去除而消失。其数值大小与外力相等。



任务实践

1. 老师可以找一些常用的工具、刀具、铸铁件、不锈钢器具和铜制品等,让学生练习对金属材料进行分类。然后由老师评价。
2. 列举实际生活中常见的载荷有哪些?



任务评价

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____

任务一	列举出你见到的金属材料都有哪些,属于哪一类?
任务二	根据载荷的作用方式不同分为哪几类,画图说明。
任务实施过程的小结及反馈	
教师点评	

任务二 画低碳钢拉伸曲线图



学习导航

在建筑工地、港口码头、工厂车间等地方,同学们经常会看到用一根或几根钢丝绳就可以提起几吨甚至上百吨的货物,如图1-3所示。由此可见,钢丝绳能承受由这些货物所产生的力即拉力,这说明金属材料应具有一定的抗拉强度才会具有使用价值。



图1-3 不同行业中的金属材料的应用



任务描述

- 强度的含义和计算。
- 塑性的含义和计算。
- 理解拉伸曲线各阶段含义。



任务目标

- 在老师的监护下会做拉伸试验。
- 会画低碳钢的拉伸曲线图。



相关知识

一、认识低碳钢

低碳钢是生活中常见的一种优质碳素结构钢,其碳的质量分数平均小于0.25%。塑性、韧性较高,冷挤压性能和焊接性能好,抗拉强度为253~500 MPa,伸长率 $A \geq 14\%$ 。

低碳钢一般轧成角钢、槽钢、工字钢、钢管、钢板,用于制作各种建筑构件、容器、箱体、炉体和农用机具等。优质低碳钢轧成薄板,制作汽车驾驶室、发动机罩等深冲制品;制成棒材,制作强度要求不高的机械零件。

二、低碳钢的拉伸实验

拉伸实验是用国家标准(GB/T 228—2002)规定制成的金属试样,把试样装夹在拉伸试验机上,在轴向静拉伸力的作用下使它不断产生变形,直到断裂为止。利用拉伸试验得到的数据可以确定材料的弹性极限、伸长率、弹性模量、比例极限、拉伸强度、屈服点、屈服强度和其他拉伸性能指标。

1. 测定拉伸曲线的试样和设备

(1) 标准拉伸试样 拉伸试验常用的标准试样截面为圆形,如图 1-4 所示。根据 GB/T 228—2002 要求制成圆柱形拉伸试样。根据标距长度和直径之间的关系,试样可分为长试样和短试样两种,长试样 $l_0 = 10d_0$,短试样 $l_0 = 5d_0$ 。

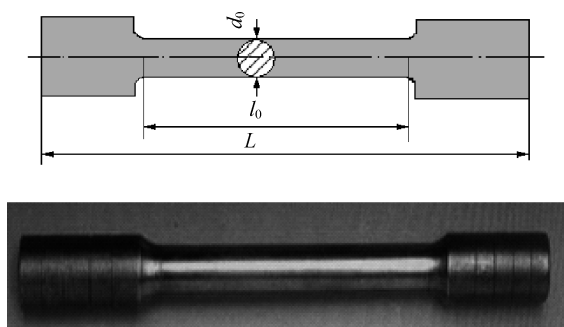


图 1-4 拉伸试样

图中 d_0 是试样的直径, l_0 为试样原始标距长度。 L ——试样长度, mm。

(2) 拉伸试验机 拉伸试验机也叫材料拉伸试验机、万能拉伸强度试验机,如图 1-5 所示。主要用于各种金属、非金属及复合材料进行力学性能指标的测试。如检测金属材料的最大承载拉力、抗拉强度、伸长变形、延伸率等技术指标。在拉伸试验机上,试样从变形到拉断,可以通过自动记录设备把拉力与伸长量的关系用曲线表示出来,该曲线即为拉伸曲线。



图 1-5 拉伸试验机

2. 认识低碳钢拉伸曲线

图 1-6 是低碳钢拉伸曲线。由拉伸曲线可以看出,低碳钢在外力作用下所引起的变形

和失效的过程大致可以分为弹性变形阶段、屈服阶段、强化阶段、缩颈阶段四个阶段。

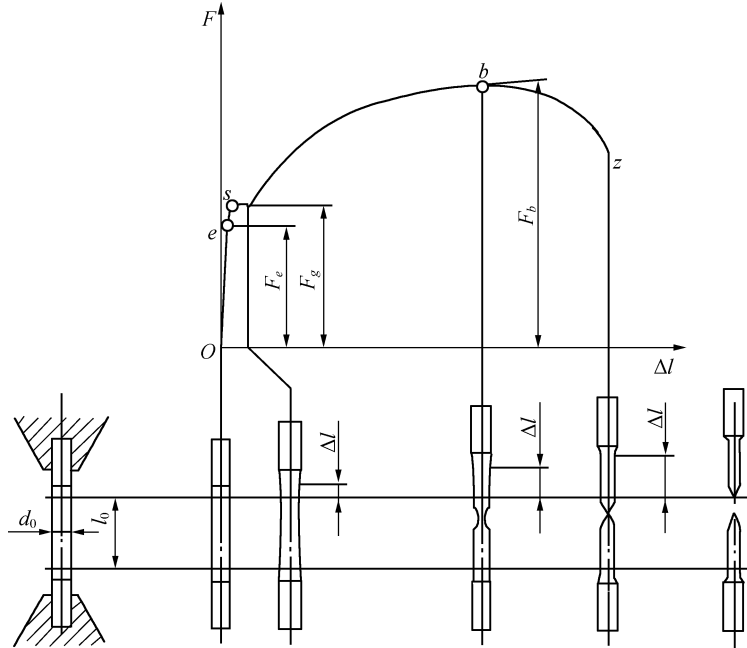


图 1-6 低碳钢的拉伸曲线

(1) oe ——弹性变形阶段 随着载荷增加,拉力在 e 点以下,试样变形完全是弹性的,此时如卸载,试样即恢复原状。随载荷的存在而产生,随载荷的去除而消失的变形称为弹性变形。 F_e 为能恢复原始形状和尺寸的最大拉伸力。

(2) es ——屈服阶段 当载荷超过 F_e 时,若卸载的话,试样的伸长只能部分恢复,而保留部分残余变形。这种不能随载荷的去除而消失的变形称为塑性变形。当载荷增加到 F_s 时图上出现平台或锯齿状,这种在载荷不增加或略有减少的情况下,试样继续发生变形的现象叫做屈服, F_s 称为屈服载荷,屈服后,材料将残留较大的塑性变形。

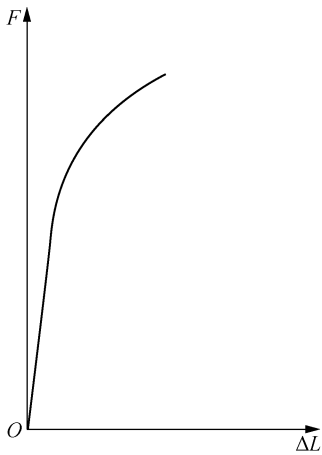


图 1-7 铸铁的力—伸长曲线

(3) sb ——强化阶段 在屈服阶段以后,欲使试样继续伸长,必须不断加载。随着塑性变形的增加,试样变形抗力也逐渐增加,这种现象称为形变强化(或称为冷作硬化)。 F_b 为试样拉伸试验时的最大载荷。

(4) bz ——缩颈阶段 当载荷达到最大值 F_b 后,试样的直径发生局部收缩,称为“缩颈”。试样所需要的载荷也随之降低,这时伸长主要集中在缩颈部位,直至断裂。

工程上使用的金属材料,多数没有明显的屈服现象。对于低塑性材料,不仅没有屈服现象,而且也不产生“缩颈”,如球墨铸铁等。图 1-7 为铸铁的力—伸长曲线。

加油站

冷作硬化是金属材料极为宝贵的性质之一。塑性变形和冷作硬化二者联合,是强化金属材料的重要手段。例如喷丸,挤压,冷拔等工艺,就是利用材料的冷作硬化来提高材料强度的。

三、弹性和刚度

金属材料的弹性变形是一种可逆行变形,在弹性变形过程中无论是在加载期还是在卸载期内,应力与应变之间都保持单值线性关系。金属材料弹性指标是指弹性极限,而金属材料的刚度指标是指弹性模量。

1. 弹性极限

弹性极限是指在产生完全弹性变形时材料所能承受的最大应力,即

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

式中: R_e —弹性极限;

F_e —试样产生弹性变形时所承受的最大载荷,N;

S_0 —试样原始横截面积, mm^2 。

2. 弹性模量

弹性模量是指在应力应变曲线上完全弹性变形阶段,应力与应变的比值,用 E 表示,即

$$E = \frac{R}{\epsilon}$$

加油站

弹性模量又称杨氏模量,1807年因英国医生兼物理学家托马斯·杨(Thomas Young, 1773—1829)所得到的结果而命名。弹性材料的一种最重要、最具特征的力学性质,是物体弹性变形难易程度的表征。

在工程上 E (单位为 N/mm^2)称为材料的刚度,是材料的重要力学性能指标之一,它表征材料对弹性变形的抗力。其值越大,材料产生一定量的弹性变形所需的应力越大,表明材料不容易产生弹性变形,即材料的刚度大。在机械工程中的一些零件或构件,除了满足强度要求外,还应严格控制弹性变形量,如锻模。若没有足够的刚度,所加工的零件尺寸就不准确。

五、强度

强度是指在静载荷作用下金属材料抵抗塑性变形和断裂的能力。强度指标主要有屈服强度和抗拉强度。

1. 屈服强度

屈服强度是指当材料呈现屈服现象时,在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应

力点。分为上屈服强度(R_{eH})和下屈服强度(R_{eL})。上屈服强度(R_{eH})是试样发生屈服而力首次下降前的最高应力。下屈服强度(R_{eL})是指屈服期间,不计初始瞬时效应时的最低应力。

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0}, R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}$$

式中: F_{eH} —试样发生屈服而力首次下降前承受的最大载荷,N;

F_{eL} —试样发生屈服时承受的最小载荷,N;

S_0 —试样原始横截面积, mm^2 。

对于无明显屈服现象的材料,则规定以残余应变量为0.2%时的应力值作为屈服强度,并以符号 $R_{r0.2}$ 表示。

$$R_{r0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0}$$

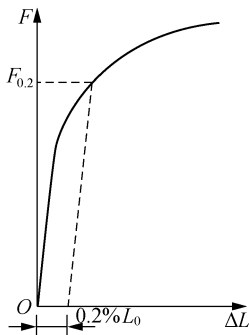


图 1-8 规定残余应力示意图

式中: $F_{0.2}$ —残余伸长率达0.2%时的载荷,N;

S_0 —试样原始横截面积, mm^2 。

图 1-8 为规定残余伸长应力示意图。

屈服强度是工程上最重要的力学性能指标之一,其工程意义在于:① 绝大多数零件在工作时不允许产生明显的塑性变形,否则将丧失其自身精度或与其他零件的相对配合受影响,因此屈服强度是防止材料因过量塑性变形而导致机件失效的设计和选材依据;② 根据屈服强度与抗拉强度之比(屈强比)的大小,衡量材料进一步产生塑性变形的倾向,作为金属材料冷塑性变形加工和确定机件缓解应力集中,防止脆性

断裂的参考依据。

2. 抗拉强度

抗拉强度是指金属材料在断裂前所能承受的最大应力称为抗拉强度。用符号 R_m 表示,按下列公式计算:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

式中: F_m —试样断裂前承受的最大载荷,N;

S_0 —试样原始横截面积, mm^2 。

它反映了金属材料抵抗断裂的能力,其数值越大,金属材料断裂前所能承受的应力值越大。零件在工作中所承受的应力,不允许超过抗拉强度,否则会产生断裂, R_m 也是机械零件设计和选材的重要依据之一。

六、塑性

塑性是指材料在载荷作用下,产生永久性变形而不破坏的能力称为塑性。常用的塑性指标有断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率 A (旧国标用 δ 表示)

断后伸长率是指断后试样标距的伸长量与原始标距之比的百分率。用符号 A 表示,即:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中: L_u —试样断裂后的标距,mm;

L_0 —试样的原始标距,mm。

必须说明,材料的伸长率与试样的原始标距 L_0 和原始截面积 S_0 密切相关,在 S_0 相同的情况下, L_0 越长则 A 越小,反之亦然。因此,对于同一材料的试样而具有不同长度或截面积要得到比较一致的 A 值,或者对于不同材料的试样要得到可比较的 A 值,必须使 $L_0/\sqrt{S_0}$ 为一常数,国家标准规定,此值为 11.3(相当于 $L_0=10d_0$)或 5.65(相当于 $L_0=5d_0$),测得的伸长率为 $A_{11.3}$ 和 $A_{5.65}$ (省去脚注 5.65)表示。同种材料的 A 为 $A_{11.3}$ 的 1.2~1.5 倍,所以对于不同材料,只有 $A_{11.3}$ 和 $A_{11.3}$ 或 A 与 A 比较才是正确的。

2. 断面收缩率 Z (旧国标用 ψ 表示)

断面收缩率是指断后试样横截面积的最大缩减量与原始横截面积之比的百分率。用符号 Z 表示。即:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中: S_u —试样断裂处的最小横截面积,mm²;

S_0 —试样的原始横截面积,mm²。

断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 越大,材料的塑性越好。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻造、轧制等成型工艺,且在使用时万一超载,由于塑性变形而能避免突然断裂,因此比较安全。一般认为,断后伸长率达 5% 或断面收缩率达 10% 的材料,即可满足绝大多数零件的要求。

断后伸长率 A 与试样的尺寸有关,短试样的伸长率要大于长试样。断面收缩率 Z 与试样的尺寸无关,因此可以更可靠、更灵敏的反映金属材料的塑性变化。通常以伸长率的大小来区别金属材料塑性的好坏, $A > (2\% \sim 5\%)$ 的金属材料称为塑性材料,如铜、钢、铝等; $A < (2\% \sim 5\%)$ 的金属材料称为脆性材料,如铸铁。

任务实践

在实验室老师的指导下,利用万能试验机测量低碳钢的强度和塑性,并且绘制拉伸曲线图。

1. 准备试件

用刻线机在原始标距范围内刻划圆周线(或用小钢冲打小冲点),将标距内分为等长的 10 格。用游标卡尺在试件原始标距内的两端及中间处两个相互垂直的方向上各测一次直径,取其算术平均值作为该处截面的直径,然后选用三处截面直径的最小值来计算试件的原始截面面积 S_0 。(取三位有效数字)。

2. 调整试验机

根据低碳钢的抗拉强度 R_m 和原始横截面面积估算试件的最大载荷,配置相应的摆锤,

选择合适的测力度盘。开动试验机,使工作台上升 10 mm 左右,以消除工作台系统自重的影响。调整主动指针对准零点,从动指针与主动指针靠拢,调整好自动绘图装置。

3. 装夹试件

先将试件装夹在上夹头内,再将下夹头移动到合适的夹持位置,最后夹紧试件下端。

4. 检查与试车

请实验指导教师检查以上步骤完成情况。开动试验机,预加少量载荷(载荷对应的应力不能超过材料的比例极限),然后卸载到零,以检查试验机工作是否正常。

5. 进行试验

开动试验机,缓慢而均匀地加载,仔细观察测力指针转动和绘图装置绘出图的情况。注意捕捉屈服荷载值,将其记录下来用以计算屈服点应力值 R_e ,屈服阶段注意观察滑移现象。过了屈服阶段,加载速度可以快些。将要达到最大值时,注意观察“缩颈”现象。试件断后立即停车,记录最大荷载值。

6. 取下试件和记录纸。

7. 用游标卡尺测量断后标距 L_u 。

8. 用游标卡尺测量缩颈处最小直径 d_1 。

9. 绘制低碳钢的拉伸曲线图。

10. 根据测量结果,计算出低碳钢的伸长率和断面收缩率。



任务评价

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 成绩：_____

任务一	绘制低碳钢的拉伸曲线图
任务二	计算低碳钢的伸长率和断面收缩率
任务实施过程的小结及反馈	
教师点评	