

工程材料与热加工工艺

谌峰 王波 主编

西北大学出版社

示范性高等职业院校系列规划教材

工程材料与热加工工艺

GONGCHENG CAILIAO YUR EJIAGONGGONGYI

主 编 / 谌 峰 王 波

副主编 / 李 艳 徐胜利

主 审 / 侯会喜

西北大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与热加工工艺 / 谌峰, 王波主编. —西安: 西北大学出版社, 2008. 2

ISBN 978-7-5604-2417-0

I. 工… II. ①谌… ②王… III. ①工程材料—高等学校—教材

②热加工—高等学校—教材 IV. TB3 TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第010996号

工程材料与热加工工艺

主 编: 谌峰 王波

出版发行: 西北大学出版社

地 址: 西安市太白北路229号

邮 编: 710069

电 话: 029-88303313

经 销: 全国新华书店

印 装: 陕西丰源印务有限公司

开 本: 787毫米×1092毫米 1/16

印 张: 18.25

字 数: 444千

版 次: 2008年7月第1版 2009年8月第2次印刷

书 号: ISBN 978-7-5604-2417-0

定 价: 32.00元

前言

本书是按照教育部制定的《高等职业教育基础课程教学基本要求》，并参考《高等学校工程专科机械工程材料教学基本要求》和《高等学校工程专科热加工工艺基础教学基本要求》(机械类专业适用)编写的。

本书的读者为高等职业院校的学生。本书从适应机械类岗位所需知识点出发,以阐述概念、强化应用为重点,以项目、工作任务为知识模块,通过任务描述、知识链接、任务实施、实验项目、知识拓展、思考题等环节,突出课程的基本要求和人才培养的实用性,使学生能够在全面掌握工程材料与热加工专业知识的基础上,具有实际操作技能,从而突显工学结合特点。其目的是为 21 世纪高素质应用型机械类人才掌握常用的机械工程材料及其成形工艺的基础理论知识和实用知识。

本书共分常用机械工程材料和材料成形两大部分,第一部分较系统地介绍金属的力学性能、金属学基本知识、钢的热处理和常用的机械工程材料。使学生具有较系统的机械工程材料基本理论,初步掌握合理选择常用机械工程材料并制定较合理地热处理工艺方案的能力。第二部分较系统地介绍材料成形原理及工艺特点,强化实用性,使学生初步掌握合理选择材料成形方法的能力,重点培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书由西安航空职业技术学院谌峰、王波担任主编,李艳、徐胜利担任副主编。本书由西安航空职业技术学院侯会喜担任主审,并提出了许多宝贵的建议。参加本书编写的有:西安航空职业技术学院谌峰(绪论、项目 5、6)、王波(项目 2、4)、徐胜利(项目 8)、李艳(项目 1)、惠媛媛(项目 10)、张琳(项目 3)、杨帆(项目 9)、徐竹(项目 7 中任务 3、4)、陈茂军(项目 7 中任务 1、2)。

本书在编写过程中还得到了有关人士的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

本书编写力求适应 21 世纪高等技术应用型人才教育的改革和发展的要求,但由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 7 月

目录

绪论

- 0.1 材料的发展概述
- 0.2 工程材料
- 0.3 热加工工艺
- 0.4 本课程的目的、任务和学习方法

第一篇 工程材料及热处理

项目 1 金属的力学性能

任务 1 认识力学性能指标——强度和塑性

【实验项目】金属拉伸实验

任务 2 认识力学性能指标——硬度

【实验项目】硬度实验

任务 3 认识力学性能指标——冲击韧性

【实验项目】金属材料夏比冲击实验

任务 4 认识力学性能指标——疲劳强度

思考题

项目 2 金属的塑性变形和再结晶

任务 1 认识金属的晶体结构

任务 2 金属的塑性变形和再结晶

思考题

项目 3 铁碳合金相图

任务 1 认识纯金属与合金的结晶

任务 2 认识铁碳合金相图

任务 3 铁碳合金相图的应用

【实验项目】铁碳合金金相组织观察

思考题

项目 4 钢的热处理

任务 1 认识碳钢

任务 2 钢的退火和正火

任务 3 钢的淬火和回火

【知识拓展】钢的化学热处理

热处理零件的结构工艺性、技术条件与工序位置

【实验项目】钢的热处理

思考题

项目 5 工业用钢及其选用

任务 1 认识合金钢

任务 2 工程结构钢及其选用

任务 3 机器结构钢及其选用

任务 4 工具钢及其选用

任务 5 模具钢及其选用

任务 6 特殊钢及其选用

思考题

项目 6 铸铁及其选用

任务 1 认识铸铁的石墨化

任务 2 铸铁及其选用

【知识拓展】特殊性能的铸铁

思考题

目 录

项目 7 航空材料及其选用

任务 1 铝合金及其选用

任务 2 钛合金及其选用

任务 3 高分子材料及其选用

任务 4 复合材料及其选用

思考题

第二篇 热加工工艺

项目 8 铸造生产

任务 1 砂型铸造

任务 2 压力铸造

任务 3 熔模铸造

思考题

项目 9 锻压生产

任务 1 自由锻生产

任务 2 模锻生产

任务 3 冲压生产

【实验项目】典型模具拆装实验

【知识拓展】锻件缺陷及其产生原因

锻件的检验

锻件的修补

锻件的技术条件

锻压生产方法选择

思考题

项目 10 焊接生产

任务 1 手工电弧焊

【实验项目】平板对接

任务 2 埋弧自动焊

任务 3 其他熔化焊

综合训练

思考题

附录 A 硬度与抗拉强度换算表

附录 B 常用结构钢退火及正火工艺规范

附录 C 常用工具钢退火及正火工艺规范

附录 D 常用钢种回火温度与硬度对照表

参考文献

绪论

0.1 材料的发展概述

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质。它不仅是人类赖以生存和发展的重要物质基础,也是人类文明进步的里程碑。时代的发展需要材料,而材料又推动时代的发展,因此人们把材料视为现代文明的支柱之一。

人类发展的历史证明,材料是社会进步的物质基础,是人类进步程度的主要标志。人类的历史是从制造工具开始的,而制造工具就需要材料,因而材料的历史和人类文明的历史同样久远。历史学家曾用生产工具的材料来划分人类文明的历史,即把远古到近代分为石器时代、陶器时代、铜器时代、铁器时代……

原始人类,如 200 万年前的重庆巫山人和 170 万年前的云南元谋人已经知道选择质地坚硬的石英岩打制石器,在其后漫长岁月中,石器一直是人们进行生产的主要工具,这个时代就称为石器时代。随后,人类发现可塑性好的粘土加热变硬,制备了陶器。陶器的出现,不但用于器皿,而且成为装饰品,这标志着人类利用天然材料经过技术加工改造为人工材料。在烧制陶器过程中,人们偶然发现金属铜和锡。当然,那时人类还不明白,这是铜、锡的氧化物在高温下被碳还原的产物,进而又生产出色泽鲜艳又能浇铸成型的青铜,这是人类历史上发明的第一种合金,它的出现标志着人类逐步进入了青铜器时代,同时也标志着人类进入了文明社会。我国的青铜冶炼始于公元前 2000 年(夏代早期),晚商和西周是我国青铜器时代的鼎盛时期,如河南安阳出土的重达 875 公斤的商代司母戊方鼎,总重量超过 1 万公斤的气势恢宏的湖北随县的编钟和西安青铜车马等青铜器都充分反映了当时中国冶金技术的水平和制造工艺的高超。这是人类较大量利用金属的开始,也是人类文明发展的重要里程碑。此后,人类又发现铁矿石并利用还原法生产铁,人类开始用铁,因铁工具比青铜工具有许多优点从而更为广泛使用,自此人类进入了铁器时代,生铁冶铸技术的发明加快了文明发展的进度。如春秋末期,用生铁退火而制成可锻铸铁及以生铁炼钢的发明,促进了生产力的大发展,对农业、水利和军事的发展起到很大作用。

随着人类文明的进步,18 世纪发明了蒸汽机,19 世纪发明了电动机,对金属材料性能提出更高要求,同时对钢铁冶金技术产生了更大推动作用。伴随着不同类型的特殊钢相继问世,如 1887 年高锰钢、1900 年 18-4-1(W18Cr4V) 高速钢、1903 年硅钢及 1910 年奥氏体镍铬(Cr18Ni8) 不锈钢及镁、钛和很多稀有金属相继出现,金属材料在整个 20 世纪占据了结构材料的主导地位。

从 20 世纪中期至今,人工合成有机材料、陶瓷材料及先进复合材料迅速发展,推动了航天、航空、汽车等技术发展,以致有人将这个时代称为精密陶瓷时代、电子材料时代、复合材料时代、塑料时代或合成材料时代等等。不管叫什么名称,都反映了新材料对科技进步和社

会发展的巨大贡献,也反映了当代材料的多样化。

总之,材料既是人类社会进步的里程碑,又是社会现代化的物质基础与先导。材料,尤其是新材料的研究、开发与应用反映着一个国家的科学技术与工业水平。

0.2 机械工程材料

机械工程材料是机械工程中用于制作各种结构、零件和工具的固体材料。可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

金属材料是最重要的、用量最大的机械工程材料,它包括:钢铁材料(俗称黑色金属),如钢、铸铁等;非铁金属材料(俗称有色金属),如铜及铜合金、铝及铝合金等。钢铁材料应用最广,在农业机械、机床设备、电工设备、化工和纺织机械等机械工程制造业中,钢铁材料占90%左右。在有色金属材料中,铝及其铝合金用量最大,因其质量轻而大量用于飞机制造业,如波音767飞机的用材,铝合金占81%。

非金属材料是泛指除金属材料和复合材料以外的材料,机械工程中常用的有高分子材料、陶瓷材料等。最常用的高分子材料为塑料、橡胶、粘接剂等,因具有金属材料所不具备的特性而广泛使用。如塑料具有质量轻、比强度高、耐蚀、易于改性等特点,越来越广泛的应用在各个领域。

复合材料是由两种或两种以上性质不同而互补的材料所组成的并赋予新特性的材料。它具有比组成材料更优越的综合性能。自1940年用玻璃纤维增强树脂的玻璃钢问世以来,应用的领域在迅速扩大,品种、数量和质量都有了飞跃的发展。20世纪60年代碳纤维增强树脂复合材料的出现加速了航空、航天技术的发展。如先进的复合材料已成功应用到飞机的机翼、前机身、方向舵、减速板、进气道侧壁等重要部位,大大提高了飞机的性能。

0.3 机械工程材料的成形加工

组成各种机器的基本单元称为零件,它是由符合性能要求的材料经过制造而成的具有特定形状、尺寸及功能的独立产品。因此,材料只有经过各种加工,包括材料的成形、改性、连接等,最终形成机器零件或产品,这样才能体现其功能和价值。机器零件的一般加工工艺路线如图0-1,其中材料输入信息主要是指被加工材料目前的状态、性质、特征及最终所得零件应具有的形状、尺寸及性能要求等,而输入能源则是指为实现材料向零件的转变而需要消耗的能量,具体由设备或由人的操作来实现。

在成形加工中,金属材料最常用的成形工艺是铸造(液态材料的流动成形)、锻压(固态材料的塑性成形)及焊接(材料的连接成形)。由于成形工艺常通过加热或加压的方式,使材料在液态或固态下发生流动或连接,从而得到要求的形状、尺寸及性能的零件的方法,故又统称为热加工工艺。此时的零件称为毛坯。合理选择不同的成形加工方法及安排好工艺路线是保证产品质量并达到技术经济指标要求的重要因素之一。因此工程材料成形加工在机械制造中占有重要的地位。

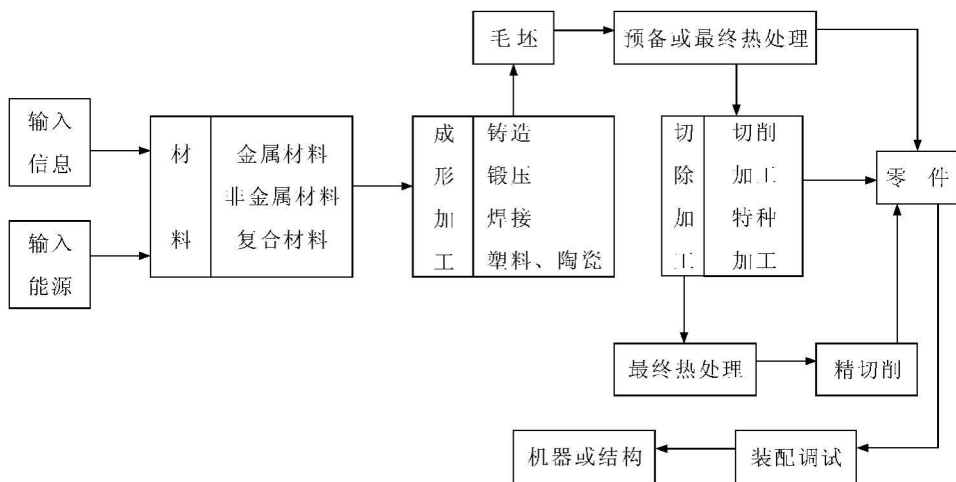


图 0-1 机器零件的一般加工工艺路线

在零件的加工过程中,因毛坯的性能、精度及表面质量一般不能满足零件的设计要求,所以在成形加工后应进行热处理、切除加工等加工方法,最终才能获得满足设计要求的零件。

热处理是充分发挥材料潜力,保证和提高机器零件质量的有利手段,掌握材料组织和性能变化规律,正确选择热处理工艺参数是保证零件热处理工艺过程正常进行,从而获得满足设计要求的前提条件。

0.4 本课程的目的、任务和学习方法

《工程材料与热加工工艺》是高职和高专机械类专业必修的一门主干专业课,其教学目的和任务是使学生获得常用机械工程材料和成形加工的基础知识,了解新材料,掌握成形加工的工艺方法,培养学生的工程素质、实践能力和工程创新设计能力。

本课程的内容共分两大部分:第一部分为工程材料及热处理,主要内容有金属力学性能、金属学基本知识、钢的热处理、常用金属材料、非金属材料、复合材料以及工程材料的选用等组成。第二部分为热加工工艺基础,主要内容有铸造、锻压、焊接组成。学生在学完本课程以后,应达到以下基本要求:

① 熟悉常用机械工程材料的成分、组织、性能之间的关系及变化规律。

② 掌握常用机械工程材料的性能与应用,金属材料强韧化的基本途径,具有选用常用机械工程材料和改变材料性能方法的初步能力。

③ 掌握机械工程材料成形工艺基本原理、工艺特点和应用,具有合理选择毛坯成形方法并设计毛坯结构的初步能力。

④ 建立机械工程材料与现代机械制造的完整概念,培养良好的工程意识。

⑤ 了解与本课程有关的新材料、新技术、新工艺及其发展概况。

本课程融多种工艺方法为一体,信息量大,实践性强,叙述性内容较多,必须在金工教学实习获得感性认识的基础上进行课堂教学,才能收到预期效果。教学方法应以课堂教学为主,安排适量的实验,同时辅之以多媒体 CAI、实物与模型、课堂讨论等多种教学手段和形

式,以增强学生的感性认识,加深其对教学内容的理解;教学过程中应注意理论联系实际,使学生在掌握理论知识的同时,提高分析问题和解决问题的工程实践能力;学生应注意观察和了解平时接触到的机械装置,按要求完成一定量的作业及复习思考题;对于课程中结构工艺性内容,尚须在后续课程及课程设计、毕业设计中反复练习、提高,运用所学知识尝试解决有关问题,从而较好地掌握本课程内容,达到基本掌握与应用的要求。

第一篇 工程材料及热处理

项目 1 金属的力学性能

在机械工程中,金属材料具有许多优良的性能,因而广泛地用于制造各种有用的机械构件、机械零件(如齿轮、轴、箱体)、工具等。所谓“有用”就是指金属材料具有能为人类服役的使用性能,如力学性能(强度、硬度、塑性、韧性)、物理、化学性能;所谓“制造”是指金属材料具有较好的工艺性能,如铸造、锻造、焊接、切削加工性能。

不同金属材料具有不同的性能,如何合理地、经济地选用所需的金属材料并加工金属材料是从事设计和加工的工作者必备的职业能力,为此工作者首先熟悉金属材料的性能。那么什么是金属材料的性能?金属材料的性能是指使用性能和工艺性能,其中使用性能主要指力学性能和物理性能。

所谓金属材料的力学性能是指金属材料在外力的作用下所表现出来的特性。最常用的力学性能指标有:强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等,这些力学性能指标一般被编入到工程材料数据手册中,供工程师们借助于它们来对材料在结构应用中的适用性进行比较,从而合理地、经济地选用材料。本项目重点介绍常用力学性能指标(强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度)及其测定方法。

【项目引入】



图 1-1 优质碳素结构钢 20

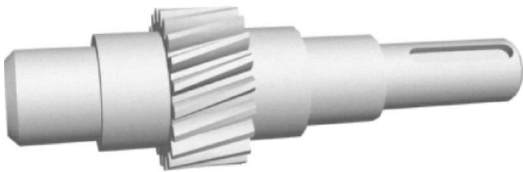


图 1-2 减速器齿轮轴

某齿轮制造企业采购优质碳素结构钢 20 钢(图 1-1),用于制造减速器齿轮轴(图 1-2),20 钢力学性能指标应满足 GB/T 699—1999《优质碳素结构钢》要求(见表 1-1),试问这批 20 钢的力学性能是否合格?

表 1-1 优质碳素结构钢 20 钢的力学性能

牌号	试样毛坯 尺寸/mm	力学性能					钢材交货状态硬度 HBS10/ 3000 不大于
		σ_b /Mpa	σ_s /Mpa	δ_5 /%	ψ /%	A_{ku} /J	
		不小于					未热处理钢
20	25	410	245	25	55	71	156

任务1 认识力学性能指标——强度和塑性

【任务描述】

对所采购的优质碳素结构钢 20 钢取样并进行拉伸试验,评定其强度和塑性指标是否满足要求?

【知识链接】

知识点一 强度

① 强度是指金属材料抵抗塑性变形和断裂的能力。

② 变形是指材料的形状发生了变化,一般分为弹性变形和塑性变形。

变形的金属材料当外应力去除后,能够恢复原状的变形称为弹性变形。

变形的金属材料当外应力去除后,不能够恢复原状的变形称为塑性变形。

③ 相同的材料在不同的应力(拉应力、压应力、弯屈应力、扭转应力等)作用下,表现出不同的抵抗变形和断裂的能力,如抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗扭强度等。工程上最常用的屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、断面收缩率等指标是通过应变速率恒定的拉伸试验所获得。

知识点二 塑性

① 塑性是指断裂前材料发生不可逆永久变形的能力。

② 常用的塑性指标是材料断裂时最大相对塑性变形,如拉伸时的断后伸长率和断面收缩率。

知识点三 拉伸试验

根据国家标准 GB/T228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》规定,以圆形拉伸试样为例,首先制备圆形标准拉伸试样,如图 1-3 所示,图中 d_0 为试样原始直径(mm), l_0 为试样原始标距长度(mm)。然后在拉伸试验机上进行拉伸试验,即将已制备好的标准试样正确装夹在拉伸试验机的上下夹头间夹紧,以恒定的应变速率加载,此时标准试样两端承受缓慢增加的轴向拉力,与此同时在标准试样的各截面上产生拉应力;随轴向拉力的增加,拉应力相应增大,标准试样变形加剧直至拉断为止。图 1-4 是低碳钢的力——伸长量曲线,图 1-5 是低碳钢的应力——应变曲线。

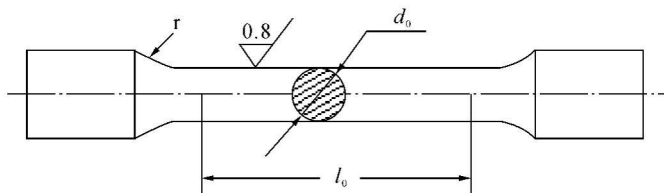


图 1-3 圆形标准拉伸试样

1. 应力应变曲线分析

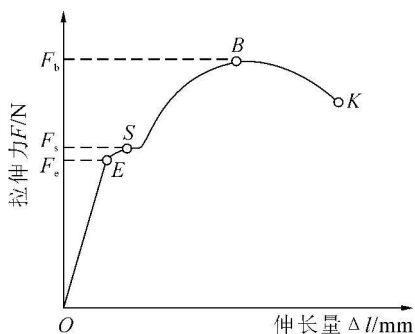


图 1-4 退火态的低碳钢的力——伸长量曲线

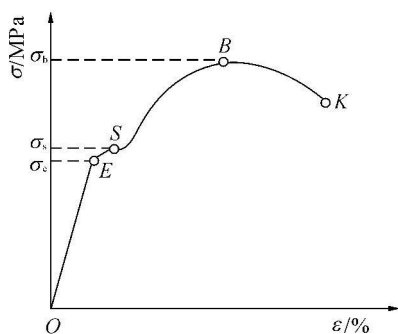


图 1-5 退火态的低碳钢的应力——应变曲线

应力应变曲线反映了金属材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形直至断裂的全部力学性能。应力应变曲线共分 4 个阶段。

(1) OE: 弹性变形阶段

基本特征是应力应变间满足胡克定律,其比例系数定义为弹性模量,同时,当外力释放后,材料的变形能够恢复原来的状态。

(2) ES: 屈服阶段

基本特征是不仅有弹性变形,还发生了塑性变形。外力释放之后再也不能恢复不到初始材料的长度。S 点处发生屈服现象,即外力不增加,试样却继续伸长。

(3) SB: 强化阶段

基本特征是为使试样继续变形,载荷必须不断增加,随着塑性变形增大,材料变形抗力也逐渐增加。该阶段的塑性变形为均匀塑性变形。

(4) BK: 缩颈阶段

当载荷达到最大值(B 点)时,试样的直径发生局部收缩,称为“缩颈”。此后变形所需的载荷逐渐降低。试样在 K 点断裂。该阶段的塑性变形为不均匀塑性变形。

2. 强度判据

(1) 弹性极限

表征标准试样产生完全弹性变形时所能承受的最大应力,用符号 σ_e 表示,单位为 MPa。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中: F_e ——试样产生完全弹性变形时最大拉伸力,单位为 N;

A_0 ——试样原始横截面积,单位为 mm^2 。

(2) 屈服强度

划分弹性区-塑性区的应力为材料的屈服强度,它标志着塑性变形的开始,是工程应用中最为关心的材料参数之一。

屈服强度是指试样在拉伸过程中,力不增加(保持恒定)仍能继续伸长(变形)时的应力,用符号 σ_s 表示,单位为 MPa。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中: F_s ——试样产生屈服时的拉伸力,单位为 N;

A_0 ——试样原始横截面积,单位为 mm^2 。

由于有些材料无明显的屈服现象,无法测定 σ_s ,因此根据 GB10623—89 规定,试样标距部分产生 0.2% 的原始标距长度的残余变形时的应力,作为该材料的条件屈服强度,用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0}$$

机械零件在服役期间一般不允许产生明显的塑性变形,因此 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 是机械零件设计和选材的力学性能的主要判据。

(3) 抗拉强度

抗拉强度是指试样被拉断前所能承受的最大拉应力,用符号 σ_b 表示,单位为 MPa。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中: F_b ——试样被拉断前所能承受的最大拉伸力,单位为 N;

A_0 ——试样原始横截面积,单位为 mm^2 。

对于塑性材料,抗拉强度表示材料抵抗大量均匀塑性变形的能力;对于脆性材料,它表示抵抗断裂的能力。抗拉强度是机械零件设计时的重要依据,同时也是评定金属材料强度的重要指标之一。

3. 塑性判据

塑性是指断裂前材料发生不可逆永久变形的能力。常用的塑性判据是材料断裂时最大相对塑性变形,如拉伸时的断后伸长率和断面收缩率。

(1) 断后伸长率

断后伸长率是指试样被拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比,用符号 δ 表示。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中: l_1 ——试样被拉断后的标距,单位为 mm;

l_0 ——试样原始标距,单位为 mm。

根据国家标准 GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸试验方法》规定:试样分为长试样和短试样。对圆形标准拉伸试样,长试样 $l_0 = 10d_0$,短试样 $l_0 = 5d_0$ 。长试样的断后伸长率用符号 δ_{10} 表示;短试样的断后伸长率用符号 δ_5 表示。相同材料的 $\delta_5 > \delta_{10}$,但不能直接比较。由于短试样节省材料,一般应优先选用短试样进行拉伸试验。

(2) 断面收缩率

断面收缩率是指试样被拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比,用符号 ψ 表示。

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中: A_1 ——试样被拉断处的横截面积,单位为 mm^2 。