

—— 全国职业教育规划新教材 ——

金属材料

与 | 热 | 处 | 理

JINSHU CAILIAO
YU RECHULI

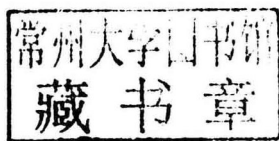
主编 / 刘雄健 刘 斌



电子科技大学出版社

金属材料与热处理

主 编 刘雄健 刘 斌



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

金属材料与热处理 / 刘雄健, 刘斌主编. -- 成都 :
电子科技大学出版社, 2017. 6
ISBN 978-7-5647-4615-5

I. ①金… II. ①刘… ②刘… III. ①金属材料②热
处理 IV. ①TG14②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 136643 号

金属材料与热处理

主 编 刘雄健 刘 斌

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 曾 艺

责任编辑: 曾 艺 罗国良

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 北京市彩虹印刷有限责任公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 13 字数 300 千字

版 次: 2017 年 6 月第 1 版

印 次: 2017 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-4615-5

定 价: 36.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: (028) 83202463; 本社邮购电话: (028) 83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

金属材料是人类社会发展的重要物质基础，人类利用金属材料制作了生产和生活用的工具、设备及设施，改善了自身的生存环境与空间，创造了丰富的物质文明和精神文明。因此，金属材料与人类社会的发展密切相关。

随着现代社会的飞速发展，各种工业发展已经得到了强有力地推进，金属材料在人类社会中的地位受到了前所未有的挑战，一方面是高分子材料和陶瓷材料对传统金属材料造成冲击；另一方面，金属材料自身对能源、资源和环境三方面造成的消耗很大。作为一名技术工人或管理人员，首先，需要对已有的金属材料最大限度地提高其质量，挖掘其潜力，使其产生最大的效益；其次，不断研发出金属材料的替代品，以适应更高的使用要求，要有质量意识、经济意识和环保意识，使机械生产过程优质、高效、清洁和安全，并合理地降低生产成本。

为适应我国职业教育理论实践一体化教学改革的需要，本书主要介绍了金属的性能，金属的晶体结构与结晶，铁碳合金相图，钢的热处理，合金钢，铸铁的分类和应用，同时还介绍了非铁金属及其合金，粉末冶金，以及非金属材料 and 复合材料，新型材料。

本书适用于职业院校金属材料专业学生，也可作为相关人员的培训教材使用。

由于编者水平所限，本书难免有疏漏之处，敬请广大读者提出宝贵意见和建议，以使本书更臻完善。

编 者

目 录

第 1 章 金属材料概述	1
第 2 章 金属的性能	6
2.1 金属材料的使用性能	6
2.2 金属材料的工艺性能	18
第 3 章 金属的晶体结构与结晶	20
3.1 纯金属的晶体结构	20
3.2 金属的结晶与固态相变	27
3.3 合金的晶体（相）结构	29
3.4 金属化合物	31
3.5 金属铸锭组织	33
3.6 金属的塑性变形	35
第 4 章 铁碳合金相图	45
4.1 铁碳合金的组织	45
4.2 铁碳合金相图	48
4.3 铁碳合金的成分—组织—性能关系及其应用	54
第 5 章 钢的热处理	59
5.1 钢在加热时的转变	59
5.2 钢在冷却时的转变	64
5.3 钢的普通热处理	72
5.4 钢的表面热处理	83
第 6 章 合金钢	89
6.1 合金钢的分类和编号	89
6.2 合金元素在钢中的作用	92
6.3 合金结构钢	97
6.4 合金工具钢	108
6.5 高速工具钢	110
6.6 特殊性能钢	112

6.7 钢材的火花鉴别及涂色标记	116
第7章 铸铁的分类和应用	119
7.1 概述	119
7.2 铸铁的石墨化及其控制	121
7.3 灰铸铁	126
7.4 球墨铸铁	129
7.5 可锻铸铁	132
7.6 蠕墨铸铁	134
7.7 特殊性能铸铁	136
第8章 非铁金属及其合金	139
8.1 铝及铝合金	139
8.2 铜及铜合金	146
8.3 钛及钛合金	151
8.4 镁及镁合金	155
8.5 滑动轴承合金	159
第9章 粉末冶金	161
9.1 概述	161
9.2 粉末冶金材料	164
9.3 粉末冶金的应用	166
第10章 非金属材料 and 复合材料	173
10.1 高分子材料	173
10.2 陶瓷材料	180
10.3 复合材料	182
第11章 新型材料	187
11.1 纳米材料	187
11.2 超导材料	189
11.3 形状记忆合金	193
11.4 其他新型材料	196
参考文献	200

第 1 章

金属材料概述

1.1.1 金属材料的定义

金属材料是指金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称，包括纯金属、合金、金属材料金属间化合物和特种金属材料等。金属材料是金属和金属合金的总称。在工业产品造型的设计中，应用最为广泛的金属材料是钢铁材料，其次是非铁金属材料，近年来性能优异、用途广泛的铸造合金材料的出现也为工业设计提供了更为丰富的选择。

1.1.2 金属材料的特性

金属材料的最基本性质：金属材料是工业产品设计中使用最为广泛的材料之一，具有其他材料所不具备的优异性能。

(1) 具有相对良好的反射能力，金属光泽及不透明性。

(2) 具有良好的力学性能，强度、硬度高，耐磨耗性好，广泛用于薄壳构造和结构材料。

(3) 具有良好的导热、导电性能，一般纯金属的导电性能优于合金材料，且导电性能随温度升高而增强，部分金属具有超导性。

(4) 具有良好的工艺性能和优异的延展性，可采用铸造、锻造、焊接和切削等多种手段进行加工。

金属材料相对其他造型材料也存在一些缺点，如密度一般较大，绝缘性能较差，表面易氧化或腐蚀生锈（一般需要进行表面处理），缺乏色彩，加工设备及费用相对较高等。

1.1.3 金属材料的分类

(1) 金属材料通常分为黑色金属、有色金属和特种金属材料。

① 黑色金属又称钢铁材料，包括含铁 90% 以上的工业纯铁，含碳 2%~4% 的铸铁，含碳小于 2% 的碳钢，以及各种用途的结构钢、不锈钢、耐热钢、高温合金、精密合金等。广义的黑色金属还包括铬、锰及其合金。

② 有色金属是指除铁、铬、锰以外的所有金属及其合金，通常分为轻金属、重金属、贵金属、半金属、稀有金属和稀土金属等，有色合金的强度和硬度一般比纯金属高，并且电阻大、电阻温度系数小。

③ 特种金属材料包括不同用途的结构金属材料 and 功能金属材料。其中，有通过快速凝固工艺获得的非晶态金属材料，以及准晶、微晶、纳米晶金属材料等；还有隐身、抗氢、超导、形状记忆、耐磨、减振阻尼等特殊功能合金以及金属基复合材料等。

(2) 按化学成分分类可分为碳素钢、低合金钢和合金钢。

(3) 按主要质量等级分类：

① 普通碳素钢、优质碳素钢和特殊质量碳素钢；

② 普通低合金钢、优质低合金钢和特殊质量低合金钢；

③ 普通合金钢、优质合金钢和特殊质量合金钢。

1.1.4 常用金属及其合金

(1) 铁和钢铁

纯铁是白色或者银白色的，有金属光泽。铁在生活中分布较广，占地壳含量的4.75%，仅次于氧、硅、铝，位居地壳含量第四。纯铁是柔韧而延展性较好的银白色金属，用于制发电机和电动机的铁芯，铁及其化合物还用于制磁铁、药物、墨水、颜料、磨料等。

钢铁是Fe（铁）与C（碳）、Si（硅）、Mn（锰）、P（磷）、S（硫）以及少量的其他元素所组成的合金。其中除Fe外，C的含量对钢铁的机械性能起着主要作用，故统称为铁碳合金。它是工程技术中最重要、也是最主要且用量最大的金属材料。

(2) 铝及其合金

铝（Al）是分布较广的元素，在地壳中含量仅次于氧和硅，是金属中含量最高的。纯铝密度较低，为 2.7 g/cm^3 ，有良好的导热、导电性 [仅次于Au（金）、Ag（银）、Cu（铜）]，延展性好、塑性高，可进行各种机械加工。铝的化学性质活泼，在空气中迅速氧化形成一层致密、牢固的氧化膜，因而具有良好的耐蚀性。但纯铝的强度低，只有通过合金化才能得到可作为结构材料使用的各种铝合金。

铝合金是工业中应用最广泛的一类有色金属结构材料，在航空、航天、汽车、机械制造、船舶及化学工业中已大量应用。工业经济的飞速发展，对铝合金焊接结构件的需求日益增多，使铝合金的焊接性研究也随之深入。目前铝合金是应用最多的合金。

(3) 铜及其合金

纯铜呈紫红色，故又称紫铜，有极好的导热、导电性，其导电性仅次于银而居金属的第二位。铜具有优良的化学稳定性和耐蚀性能，是优良的电工用金属材料。

工业中广泛使用的铜合金有黄铜、青铜和白铜等。

Cu与Zn（锌）的合金称黄铜，其中Cu占60%~90%、Zn占40%~10%。黄铜有优良的导热性和耐腐蚀性，可用作各种仪器零件。在黄铜中加入少量Sn（锡），称为海军黄铜，具有很好的抗海水腐蚀的能力。在黄铜中加入少量的有润滑作用的Pb（铅），可用作滑动轴承材料。

青铜是人类使用历史最久的金属材料，它是 Cu-Sn 合金。锡的加入明显地提高了铜的强度，并使其塑性得到改善，抗腐蚀性增强，因此锡青铜常用于制造齿轮等耐磨零部件和耐蚀配件。Sn 较贵，目前已大量用 Al、Si、Mn 等来代替 Sn 而得到一系列青铜合金。铝青铜的耐蚀性比锡青铜还好。铍（Be）青铜是强度最高的铜合金，它无磁性又有优异的抗腐蚀性能，是可与钢相竞争的弹簧材料。

白铜是 Cu-Ni（镍）合金，有优异的耐蚀性和高的电阻，故可用作苛刻腐蚀条件下工作的零部件和电阻器的材料。

1.1.5 钢材的分类

钢材是以钢锭或钢坯为原料经压力加工制成的产品。分为型材（型钢）、板材（钢板）、管材（钢管）、线材（金属制品）四大类，包括下列 15 大品种，见表 1-1。

表 1-1 钢材十五大品种目录

类 别	品种规格
1. 重轨	每米质量>24kg
2. 轻轨	每米质量≤24kg
3. 大型钢材	圆、方、六角、八角钢——对边≥81mm 扁钢——宽度≥101mm 工字钢、槽钢——高度≥180mm 角钢——等边，边宽≥150mm；不等边，边宽≥150mm×100mm 异型钢——18 号异型槽钢
4. 中型钢材	圆、螺纹、方、六角、八角钢——对边 38~80mm 扁钢——宽度 60~100mm 工字钢、槽钢——高度<180mm 角钢——等边，边宽 50~149mm；不等边，边宽 40mm×60mm~99mm×149mm 异型钢——10 号异型槽钢
5. 小型钢材	圆、方、螺纹、六角、八角钢——对边 10~37mm 扁钢——宽度≤59mm 角钢——等边，边宽 20~49mm；不等边，边宽 20mm×30mm~39mm×59mm 异型钢——磁极钢，小槽钢等
6. 线材	盘条直径 6~9cm 其他：优质盘条、电焊盘条等
7. 中厚钢板	厚度>4mm，包括普通中板和优质中板，如造船、汽车、锅炉等用中板
8. 薄板	厚度≤4mm，包括普通薄板、优质薄板和镀层薄板，如黑铁皮、马口铁等

续 表

类 别	品种规格
9. 硅钢片	电动机硅钢片，分冷轧、热轧 变压器硅钢片 0.35mm，0.50mm，分冷轧、热轧
10. 钢带	普通钢带，分冷轧、热轧 优质钢带，分冷轧、热轧 如镀锡钢带、打包铁皮等
11. 优质钢材	碳结钢、碳工钢、弹簧钢、合结钢、滚珠钢、高工钢、不锈钢等 冷拉优质钢、高温合金、精密合金、工业纯铁
12. 无缝钢管	热轧、冷轧、冷拔的无缝管及镀锌无缝管，包括一般锅炉钢管、合金钢管、 不锈钢钢管、渗铝无缝管、石油用无缝管、地质用无缝管、异型断面管及其他用管
13. 焊接钢管	一般焊管、镀锌焊管、电线套管、薄壁管、异型管、螺旋焊管、波纹管、吹氧管等
14. 金属制品	钢丝绳、钢绞线、钢丝、铁丝、镀锌铁丝、通讯铁丝、黑铁丝
15. 其他钢材	鱼尾板、垫板、车轮坯、锻件坯、车轮、轮箍、 法兰（直径 700~2100mm）、盘件（300~500mm）、 坯件（600~2100mm）、钢球

1.1.6 表示方法

按照国家标准《钢铁产品牌号表示方法》规定，我国钢铁产品牌号采用汉语拼音字母、化学符号和阿拉伯数字相结合的表示方法，即：

（1）牌号中化学元素采用国际化学元素表示。

（2）产品名称、用途、特性和工艺方法等，通常采用代表该产品汉字的汉语拼音的缩写字母表示。

（3）钢铁产品中的主要化学元素含量（%）采用阿拉伯数字表示。

合金结构钢的牌号按下列规则编制。数字表示含碳量的平均值。合金结构钢和弹簧钢用两位数字表示平均含碳量的万分之几，不锈钢耐酸钢和耐热钢含碳量用千分数表示。平均含碳量 $\leq 0.1\%$ 时，用“0”表示；平均含碳量 $\leq 0.03\%$ 时，用“00”表示；平均含碳量 $\geq 1.00\%$ 时，不标含碳量，否则用千分数表示。高速工具钢和滚珠轴承钢不标含碳量，滚珠轴承钢标注用途符号“C”。平均合金含量 $\leq 1.5\%$ 的，在牌号中只标出元素符号，不标注其含量。

1.1.7 进出口金属材料

中国规定的需要检验的进出口金属材料类商品主要有生铁、钢锭、钢坯、型材、



线材、金属制品、有色金属及其制品等。

进出口钢材的品质、规格一般在合同中订明，进口钢材中采用日本 Xiff' 标准 JlsG 系列和德国工业标准 DIN 系列的较氮出口钢材一般按中国标准检验；关于进口镀锌铁皮、马口铁、硅钢片的外观缺陷的检验按国家商检局的有关规定执行。国外的发票、装箱清单、品质证书、重理明细单、残损证明、商务记录是有关重量、质量、数量、残损等检验鉴定的重要依据。

金属材料类商品一般是由国家商检局或由其他商检机构实施检验。对于大批量的进口金属材料，可在出厂前在国外制造厂进行检验；对于进口金属材料批量很大的专业单位，其本身检验设备齐全，技术力量较强的，经商检机构审核同意后，允许对其所进口的钢材在向商检机构申报后进行质量的初验；出口金属材料时，必须进行出厂检验，商检机构在生产过程中或出厂前还进行不定期的抽查检验，并以衡器抽验重量，核对批次、唛头、标记等。

金属材料以数量计价的做数量检验，以重量计价的则做重量检验。钢材的尺寸规格检验，包括钢板的厚、宽、长；圆钢的直径；角钢的边长；槽钢的高度和槽宽；钢管的直径和壁厚等。镀锌铁皮、马口铁的表面不得有伤痕、凹坑、皱纹、露铁等。

金属材料的机械及工艺性能检验，包括合金钢热处理后的机械性能检验；锅炉管和石油管的水压试验、扩口试验等。金属材料的化学成分分析试验，根据不同的用途，按标准规定以化学分析和仪器分析的方法，分析测定各种元素的含量，包括非金属元素和有害元素。

第 2 章

金属的性能

金属材料的性能包含使用性能和工艺性能两方面。使用性能：指材料在使用过程中所表现的性能，主要包括力学性能、物理性能和化学性能。工艺性能：指金属材料在加工过程中表现的性能。包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、冲压性能、切削加工性能和热处理性能等。

2.1 金属材料的使用性能

2.1.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属在力的作用下所显示出的与弹性和非弹性反应相关或涉及应力—应变关系的性能，如弹性、强度、硬度、塑性、韧性等。弹性是指物体在外力作用下改变其形状和尺寸，当外力卸除后物体又恢复到其原始形状和尺寸的特性。物体受外力作用后导致物体内部之间相互作用的力称为内力；单位面积上的内力则称为应力 σ (MPa)。应变 e (%) 是指由外力所引起的物体原始尺寸或形状的相对变化。

金属材料的力学性能是评定金属材料质量的主要判据，也是设计金属构件时选材和进行强度计算的主要依据。金属材料力学性能指标有强度、刚度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

2.1.1.1 强度

强度指金属材料在静载荷的作用下抵抗变形和断裂的能力。常见的强度形式有抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度、抗剪强度等。一般以抗拉强度作为判别金属强度指标。

1. 拉伸试验

拉伸试验是指用静拉伸力对试样进行轴向拉伸，测量拉伸力和相应的伸长，并测量其力学性能的试验。拉伸时一般将拉伸试样拉至断裂。

2. 拉伸试样

试验过程中通常采用圆柱形拉伸比例试样，试样尺寸按 GB/T 228.1—2010 国家标准中



金属拉伸试验试样中的有关规定制作。圆柱形拉伸比例试样分为短拉伸试样和长拉伸试样两种。长拉伸试样 $l_0=10d$ ；短拉伸试样 $l_0=5d$ 。一般工程上为了节约成本，通常采用短试样。圆柱形拉伸试样如图 2-1-1 所示，其中图 2-1-1 (a) 所示为拉断前的状态，图 2-1-1 (b) 所示为拉断后的状态。 d_0 为标准拉伸试样的原始直径， d_1 为标准拉伸试样断口处的直径。 l_0 为标准拉伸试样的原始标距， l_1 为标准拉伸试样拉断对接后测出的标距长度。

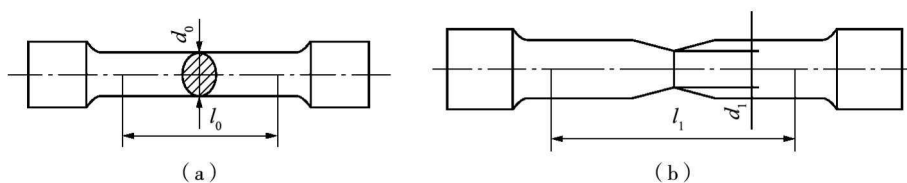


图 2-1-1 拉伸试验

3. 拉伸力—伸长曲线

在进行拉伸试验时，拉伸力 F 和试样伸长量 ΔL 之间的关系曲线，称为拉伸力—伸长曲线。通常把拉伸力 F 作为纵坐标，伸长量 ΔL 作为横坐标，图 2-1-2 所示为退火低碳钢的拉伸力—伸长曲线。

观察拉伸试验和拉伸力—伸长曲线，会发现在拉伸试验的开始阶段，试样的伸长量 ΔL 与拉伸力 F 之间成正比例关系，在拉伸力—伸长曲线图中为一条斜直线 Oe 。在该阶段，当拉伸力增加时，试样伸长量 ΔL 也呈正比增加；当去除拉伸力后，试样伸长变形消失，恢复原来形状，其变形表现为弹性变形。图中 F_e 是试样保持弹性变形的最大拉伸力。

当拉伸力不断增加，超过 F_e 时，试样将产生塑性变形，去除拉伸力后，变形不能完全恢复，塑性伸长将被保留下来。

当拉伸力继续增加到 F_s 时，拉伸力—伸长曲线在 s 点后出现一个平台，即在拉伸力不再增加的情况下，试样也会明显伸长，这种现象称为屈服现象。拉伸力 F_s 称为屈服拉伸力。

当拉伸力超过屈服拉伸力后，试样抵抗变形的能力将会增加，此现象为变形强化，即抗力增加现象，在拉伸力—伸长曲线上表现为一段上升曲线，即随着塑性的增大，试样变形抗力也逐渐增大。

当拉伸力达到 F_b 时，试样的局部截面开始收缩，产生缩颈现象。由于缩颈使试样局部截面迅速缩小，最终导致试样被拉断。缩颈现象在拉伸力—伸长曲线上表现为一段下降的曲线。 F_b 是试样拉断前能承受的最大拉伸力，称为极限拉伸力。

从完整的拉伸试验和拉伸力—伸长曲线可以看出，试样从开始拉伸到断裂要经过弹性阶段、屈服阶段、强化阶段、缩颈与断裂共四个阶段。

4. 强度的指标

强度指标用应力值来表示。

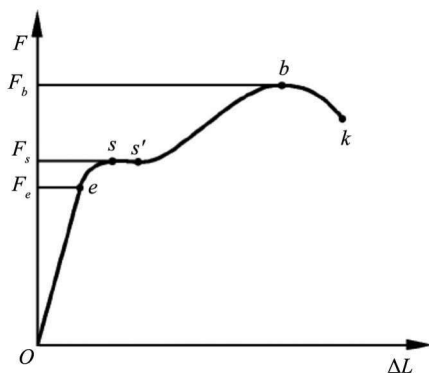


图 2-1-2 低碳钢的拉伸力—伸长曲线

(1) 弹性极限。

外力作用下，材料保持纯弹性变形所能承受的最大的应力即是弹性极限，用 σ_e 表示。弹性极限计算方法如下：

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

式中： σ_e ：指材料能保持弹性变形的最大应力；

F_e ：弹性变形范围内的最大拉伸力（N）； S_0 ：试样原始横截面积（mm²）。

(2) 屈服点（屈服强度）

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中： σ_s ：材料产生屈服现象时的最小应力；

F_s ：试样屈服时所承受的拉伸力（N）； S_0 ：试样原始横截面积（mm²）。

对低塑性和脆性材料：

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0}$$

式中： $\sigma_{0.2}$ ：条件屈服强度；

$F_{0.2}$ ：塑性变形为试样长度 0.2% 的拉伸力（N）； S_0 ：试样原始横截面积（mm²）。

(3) 抗拉强度

抗拉强度指试样拉断前所承受的最大应力。其物理意义是在于它反映了最大均匀变形的抗力。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

当材料的内应力 $\sigma > \sigma_b$ 时，材料将产生断裂。

σ_b 常用作脆性材料的选材和设计的依据。材料具有较高的 σ_s ，同时具有较低的屈强比，那么材料可靠性较高。

2.1.1.2 塑性指标

固体金属在外力作用下能稳定地产生永久变形而不破坏其完整性的能力就被称为塑性。因此，塑性反映了材料产生塑性变形的能力。塑性的好坏或大小，可用金属在破坏前产生的最大变形程度来表示，并称其为“塑性极限”或“塑性指标”。

人们时常容易把金属的塑性与柔软性混淆起来，其实它们是有严格区别的两种概念。前者是指金属的流动性能，指是否易于变形；后者是指金属抵抗变形的能力，是指变形量的大小，即塑性好的金属不一定易于变形，因为变形抗力不一样。例如铜虽然塑性很好，却不能像铅那样易于变形，这是因为铜的变形抗力较高；而铅的柔软性好，并非指它的塑性好，而是指它变形抗力很小。虽然所有的金属在高温下变形抗力都很小，可以说具有很好的柔软性，但绝对不能说它们就必然有良好的塑性。因为温度过高往往使其产生过热或过烧，在变形时，就容易产生裂纹，即塑性变坏。可见，金属的塑性与柔软性是完全不同的概念。

研究金属塑性的目的是为了探索金属塑性的变化规律，寻求改善金属塑性的途径，以便选择合理的加工方法，确定最适宜的工艺制度，为提高产品的质量提



供理论依据。

为了便于比较各种材料的塑性性能和确定每种材料在一定变形条件下的加工性能，需要有一种度量指标，这种指标称为塑性指标，即金属在不同变形条件下允许的极限变形量。由于影响金属塑性的因素很多，所以很难采用一种通用指标来描述。目前人们大量使用的仍是在某特定的变形条件下所测出的塑性指标。如拉伸试验时的断面收缩率及延伸率；冲击试验所得到的冲击韧性；锻造或压缩实验时，第一条裂纹出现前的高向压缩率（最大压缩率）；扭转实验时出现破坏前的扭转角（或扭转数）；弯曲实验试样破坏前的弯曲角度等等。一般是采用拉伸实验来测量材料的塑性。

塑性是材料在静载荷作用下产生塑性变形而不破坏的能力。评定指标是断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率

断后伸长率指试样拉断后标距的伸长量与原标距长度的百分比。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中： L_0 ：原始标距长度；

L_1 ：拉断后标距长度（将断口密合在一起，用卡尺直接量出）。

2. 断面收缩率

断面收缩率指试样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。

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中： S_0 ：试件原横截面积；

S_1 ：断裂后颈缩处的横截面积，用卡尺直接量出。

2.1.1.3 硬度

1. 定义

硬度指材料局部体积内抵抗弹性、塑性变形、压痕和划痕的能力。它是衡量材料软硬程度的指标，其物理含义与试验方法有关。

金属材料抵抗局部变形、特别是塑性变形、压痕或划痕的能力称为硬度。硬度能综合反映材料的强度等其他力学性能。硬度与耐磨性具有直接关系，硬度越高，耐磨性越好。机械制造中所用的刀具、量具、模具要保证使用性能和寿命，都应具有足够的硬度。硬度测量具有简便、快捷、不破坏试样（非破坏性试验）等特点，所以硬度测量应用极为广泛，常把硬度标注于图纸上，作为零件检验、验收的主要依据。

硬度试验方法大体上分为弹性回跳法（如肖氏硬度）、压入法（如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等）和划痕法（如莫氏硬度）三类。硬度是表征金属材料软硬程度的一种性能，其物理意义随试验方法不同而不同。如划痕法硬度值主要表征金属切断强度，回跳法硬度值主要表征金属弹性变形功的大小，压入法硬度值则表征金属塑性变形抗力及应变硬化能力。硬度试验由于设备简单，操作方便、迅速，同时又能敏感地反映出金属材料的化学成分和组织结构的差异，因而被广泛用于检查金属材料的性能、热加工工艺的质量或研究金属组织结构的变化。

2. 硬度的测试方法

(1) 布氏硬度

布氏硬度虽有单位，但实际使用时只标明硬度数值，而不标明单位。布氏硬度用 HBS 或 HBW 表示。HBS 表示压头为淬硬钢球，用于测定布氏硬度值在 450 以下的材料，如软钢、灰铸铁和有色金属等；HBW 表示压头为硬质合金，用于测定布氏硬度值在 450~650 的材料。布氏硬度的表示方法：HBS 或 HBW 之前的数字为硬度值，后面按顺序用数字表示试验条件，依次是压头的球体直径、试验载荷、试验载荷保持的时间（10~15s 不标注）。

例如：170HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 的钢球，在 9807N（1000kgf）的试验载荷作用下，保持 30s 时测得的布氏硬度值为 170。530HBW5/750 表示用直径 5mm 的硬质合金球，在 7355N（750kgf）的试验载荷作用下，保持 10~15s 时测得的布氏硬度值为 530。

① 布氏硬度试验（布氏硬度计，如图 2-1-3 所示）。

原理：用一定直径的球体（淬火钢球或硬质合金球）以相应的试验力压入待测材料表面，保持规定时间并达到稳定状态后卸除试验力，测量材料表面压痕直径，以计算硬度的一种压痕硬度试验方法。

布氏硬度试验时（见图 2-1-4），压头球体的直径 D 、试验载荷 P 及载荷保持的时间 t ，应根据被试金属材料的种类、硬度值的范围及厚度进行选择。常用的压头直径有 1mm、2mm、2.5mm、5mm 和 10mm 五种。试验载荷可从 9.807N（1 kgf）~29.42 kN（3000 kgf）范围内改变。载荷保持的时间，一般黑色金属为 10~15s，有色金属为 30s，布氏硬度值小于 35 时为 60s。



图 2-1-3 布氏硬度计

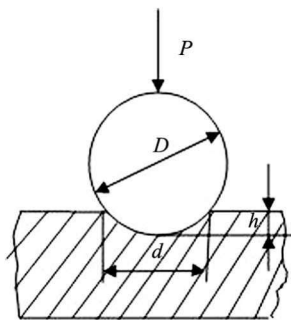


图 2-1-4 布氏硬度实验示意图

② 布氏硬度值。

布氏硬度值计算方法如下：

$$\text{HBS (HBW)} = 0.102 \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中：HBS（HBW）—用钢球（硬质合金）实验时的布氏硬度值；

P —实验力（N）；

D —球体直径（mm）；

d —压痕平均直径 (mm)。

由布氏硬度计算公式可知, 当实验力 P 和压头球体直径 D 一定时, 硬度值的大小只与压痕直径 d 有关。 d 越小, 材料的硬度值越大; d 越大, 则材料的硬度值越小。实际测试中, 布氏硬度一般不计算, 而是用专用的读数显微镜量出压痕直径 d , 根据压痕直径和施加的压力, 从专门的硬度表中查出布氏硬度值。

③ 优缺点。

布氏硬度的优点是能反映金属在较大范围内各组成相的平均性能, 而不受个别组成相及微小不均匀性的影响, 试验数据稳定, 测量值较准确, 重复性强, 可测组织不均匀材料 (铸铁)。

其缺点是测试不同材料需要更换压头直径和改变试验力, 压痕直径的测量也比较麻烦, 用于自动检测受到限制, 另外当压痕直径较大时不宜在成品上进行试验。

④ 测量范围。

用于测量调质钢、铸铁、非金属材料及有色金属材料等。

⑤ 布氏硬度和强度有一定的内在联系。

因为硬度大小取决于材料的抗塑性变形能力, 而材料强度越高其抗塑性变形能力就越强, 同时硬度也越高。常用材料的二者之间的关系如下面经验公式所示。

灰铸铁	$\sigma_b \approx 0.1 \text{ HBS}$
调制合金钢	$\sigma_b \approx 0.325 \text{ HBS}$
高碳钢	$\sigma_b \approx 0.34 \text{ HBS}$
低碳钢	$\sigma_b \approx 0.36 \text{ HBS}$

(2) 洛氏硬度

洛氏硬度原理和布氏硬度原理相似, 测量的是压痕的深度, 原理如图所示。将顶角为 120° 的金刚石圆锥体或钢球压入试样表面, 经规定保持时间后卸除载荷, 通过测量残余压痕深度增量来计算硬度。

① 洛氏硬度试验 (如图 2-1-5、2-1-6 所示)。

原理: 用金刚石圆锥或淬火钢球, 在试验力的作用下压入试样表面, 经规定时间后卸除试验力, 用测量的残余压痕深度增量来计算硬度的一种压痕硬度试验。



图 2-1-5 洛氏硬度计

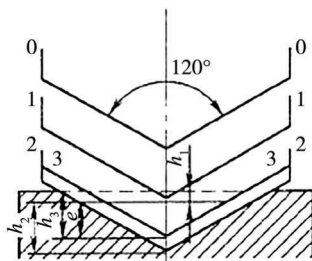


图 2-1-6 洛氏硬度试验示意图