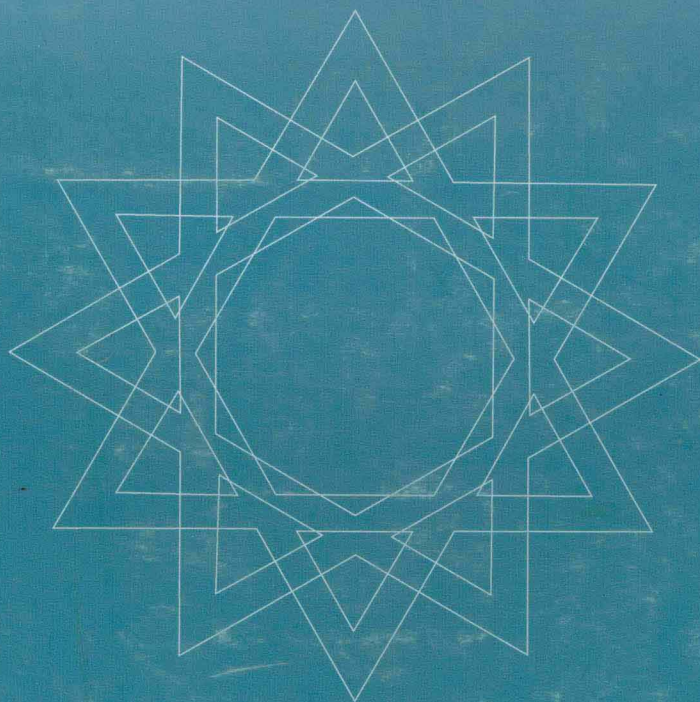


航空材料学

◎ 刘劲松 万长秀 主编



国防工业出版社
National Defense Industry Press

航空材料学

刘劲松 万长秀 编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

航空材料学 / 刘劲松, 万长秀编. —北京: 国防工业出版社,
2004. 5

ISBN 7-118-04699-0

I. 航... II. ①刘... ②万 III. 航空-材料学 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 154480 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15 字数 212 千字

2004 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 25.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

绪 言

航空工业生产涉及到广泛的科学技术领域，除了要先进的设计，还需要有先进的工艺及能满足现代航空工业产品性能要求的各种材料。航空技术的发展与金属材料更有着密切的关系，例如：二十世纪初期，由于研制成功比重小的硬铝合金，才将木质构造蒙布飞机改进成为全金属的飞机，使飞行速度由每小时几十公里提高到每小时几百公里，载重量由几十公斤提高到几吨。到了二十世纪四十年代，也是由于研制成功了镍基高温合金，才使喷气式飞机从理想变为现实，使飞行的速度超过了音速。今后，飞机或火箭性能的进一步提高，在很大程度上仍将取决于材料的进展。因此，从航空发展史中可以看出，航空材料的发展，促进了航空技术的提高；航空技术的发展，又对材料提出了更高的要求，促使航空材料进一步发展，二者存在相互促进的辩证关系。

金属材料之所以在现代工业、国防及科学技术等部门中获得广泛的应用是因为它来源丰富、具有优良的性能。热处理又是一种很重要的、能够大幅度调整金属材料性能的工艺方法。通过热处理可以提高产品的性能、保证产品的质量、延长产品的寿命。因此，在航空工业中，绝大多数的结构零件和工具都要经过热处理，以满足生产的需要。

在航空工业从事机械制造或维修工作的，无论是工人还是技术员，都会遇到材料的选用及热处理问题。如果对于自己的工作对象——航空材料没有足够的认识，将会在今后的工作中带来一定的困难。为此，我们必须掌握常用的航空材料尤其是金属材料的成分、加工方法、组织、性能及用途，并运用这些基本知识去解决实际生产中遇到的具体问题，为学习专业知识和从事生产实践打下坚实的基础。

《航空材料学》是研究航空材料的成分、结构和性能及其变化规律的一门学科。作为一门技术基础课，它的内容主要包含以下几个部分：

1、金属的性能

介绍金属的物理、化学、力学及工艺性能。

2、金属学的基础知识

介绍金属和合金的晶体结构及其结晶过程，以及金属的成分、温度和组织之间的相互关系和变化规律。

3、钢的热处理

介绍热处理的基本理论及各种热处理工艺的目的和方法。

4、常用的航空材料

介绍碳钢、合金钢、铸铁、有色金属及高温合金等金属材料的牌号、成分、组织、热处理、性能及用途。另外还简单介绍常用的航空非金属材料、金属的腐蚀及防护方法等。

《航空材料学》是一门实践性很强的课程，其特点是名词、概念多于严格的理论推理，

叙述分析多于数学计算。因此，在学习中必须深入领会课程的内容，重视理论联系实际，重视生产实习、试验和参观，这样才能达到灵活运用和融会贯通之目的。

本教材由长沙航空职业技术学院刘劲松（绪言、第一章、第四章、第五章）、万长秀（第二章、第三章、第六章）编写。在组织编写教材的工作中，郭崇智、李建跃、洪波等老师给予了大力支持和帮助，并提出了宝贵的意见和建议，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，实践经验不多，加之编写时间比较仓促，书中难免不当之处，诚恳希望读者批评指正。

编 者

1998 年 7 月

1999 年 7 月修订

目 录

绪 言	1
第一章 金属材料性能	1
第一节 金属的物理性能和化学性能	1
第二节 金属的力学性能	3
第三节 金属的工艺性能	16
第二章 金属的晶体结构与塑性变形	19
第一节 纯金属的晶体结构	19
第二节 金属的实际结构和晶体缺陷	21
第三节 金属的结晶	23
第四节 金属的同素异晶转变	26
第五节 金属的塑性变形与再结晶	27
第三章 合金的结构与二元合金平衡图	36
第一节 合金相及组织的基本类型	36
第二节 二元合金平衡图的建立	38
第三节 二元合金平衡图的分析	40
第四节 合金性能与平衡图的关系	46
第五节 铁碳合金平衡图	48
第四章 钢的热处理	61
第一节 钢的热处理原理	61
第二节 钢的热处理工艺	69
第五章 航空金属材料	84
第一节 碳素钢	84
第二节 铸铁	89
第三节 合金钢和合金材料	100
第四节 航空有色金属及其合金	128
第五节 金属的腐蚀及防腐方法	144
第六章 航空非金属材料	149
第一节 橡胶	149
第二节 塑料	154
第三节 复合材料及密封材料	158

第四节	涂料	163
第五节	航空油料	168
附录:	1、布氏硬度换算表	170
	2、黑色金属硬度及强度换算表	183
	3、常用钢的临界点	187
	4、国内外常用钢钢号对照表	189
	5、化学元素周期表	194

第一章 金属材料的性能

金属材料，特别是钢铁，是现代工业、农业、国防及科学技术等部门使用最广泛的材料。金属材料之所以能获得如此广泛的应用，不仅由于它的来源丰富，而且还由于具有优良的性能。可以将金属材料各种性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能，它包括物理性能（如密度、磁性、导电性等）、化学性能（如耐腐蚀性、热稳定性等）、力学性能（如强度、塑性、韧性等）；工艺性能是指金属材料在制造过程中适应加工的性能，随制造工艺不同可分为铸造性、可锻性、焊接性及切削加工性等。

本章将重点介绍金属材料的力学性能，对物理性能、化学性能只作简略介绍。

第一节 金属的物理性能和化学性能

一、金属的物理性能

金属的物理性能是指金属固有的属性，包括密度、导电性、熔点、导热性、热膨胀性和磁性等。

1、密度

密度是物体的质量与其体积之比值。密度的表达式如下：

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 ρ ——物质的密度（ kg/m^3 ）

m ——物质的质量（ kg ）

V ——物质的体积（ m^3 ）

根据密度大小，可将金属分为轻金属和重金属。一般将密度小于 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 的金属称为轻金属，而把密度大于 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 的金属称为重金属。

金属材料的密度，直接关系到由它所制成设备的自重和效能，航空工业为了减轻飞行器的自重，应尽量采用密度小的材料来制造，如钛及钛合金在航空工业中应用很广泛。

2、熔点

熔点是指金属材料从固态转变为液态的转变温度。工业上一般把熔点低于 700°C 的金属或合金称为易熔金属或易熔合金，把熔点高于 700°C 的金属或合金称为难熔金属或难熔合金。高温下工作的零件，应选用熔点高的金属来制作，而焊锡、保险丝等则应选用熔点低的金属制作。

纯金属都有固定的熔点，合金的熔点决定于它的成分。例如钢和生铁虽然都是铁和碳的

合金，但由于含碳量不同，熔点也不同。熔点对于金属和合金的冶炼、铸造、焊接是重要的工艺参数。

3、导电性

导电性是指金属传导电流的能力。

衡量金属材料导电性能的指标是电阻率 ρ ， ρ 越小，金属的导电性越好。纯金属中，银的导电性最好，其次是铜、铝。合金的导电性比纯金属差。导电性好的金属如纯铜、纯铝，适宜作导电材料。导电性差的某些合金如 Ni - Cr 合金，Fe - Cr - Al 合金可用作电热元件（电阻丝等）。

4、导热性

导热性是指金属传导热量的能力。

导热性的大小用热导率 λ 来衡量， λ 越大，金属的导热性越好。金属中银的导热性好，铜、铝次之。纯金属的导热性又比合金好。

金属的导热性与导电性之间有密切的联系，凡是导电性好的金属其导热性也好。导热性好的金属，在加热或冷却时，温度升高或降低就比较均匀和迅速。飞机上有些需要迅速散热的零件，如滑油散热器、气缸头等，就选用了导热性好的铜合金、铝合金来制作。维护工作中应注意防止导热性差的物质如油垢、尘土等粘附在这些零件的表面，以免造成散热不良。

5、热膨胀性

热膨胀性是指金属材料的体积随受热而膨胀增大，冷却而收缩减小的特性。

金属的热膨胀性的大小可用线胀系数 α 来衡量，线胀系数计算公式如下：

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1 \Delta t}$$

式中 α ——线胀系数（1/k 或 1/°C）

l_1 ——膨胀前长度（m）

l_2 ——膨胀后长度（m）

Δt ——温度变化量 $\Delta t = t_2 - t_1$ （k 或 °C）

在实际工作中应考虑金属材料的热膨胀性的影响。工业上常用热膨胀性来紧密配合组合件，如热压铜套筒就是利用加温时孔径扩大而压入衬套，待冷却后孔径收缩，使衬套在孔中固紧不动；铺设钢轨时，在两根钢轨衔接处应留有一定的间隙，以便使钢轨在长度方向有膨胀的余地。

但热膨胀性对精密零件不利。因为切削热、摩擦热等，都会改变零件的形状和尺寸，有的造成测量误差。精密仪器或精密机床的工作常需要在标准温度（20 °C）或规定温度下加工或测量就是这个原因。

6、磁性

磁性是指金属材料能否被铁吸引和被磁化的性质。

铁磁性材料（如钴、铁等）容易被外磁场磁化和吸引，顺磁性材料（如锰、铬等）在外磁场中只能微弱地被磁化，逆磁性材料（如铜、锌等）不但不会被外磁场吸引，还会削弱磁

场。

铁磁性材料可用于制造变压器、电动机、仪器仪表，顺磁性材料和抗磁性材料可用来制造防磁结构件，如仪表外壳等。

二、金属的化学性能

金属的化学性能是指金属材料抵抗周围介质侵蚀的能力，包括耐腐蚀性和热稳定性。

1、耐腐蚀性

耐腐蚀性是指金属材料在常温下，抵抗氧、水蒸汽及其他化学介质腐蚀破坏作用的能力。

腐蚀作用对金属材料危害极大，因此，提高金属材料的耐腐蚀性能，对于节约金属、延长金属材料的使用寿命，具有现实的经济意义。船舶上所用的钢材须具有抗海水腐蚀的能力，贮藏及运输酸类用的容器、管道应有较高的耐酸性能。

2、热稳定性

热稳定性是指金属材料在高温下抵抗氧化的能力。

在高温条件下工作的设备，如锅炉、加热设备、喷气发动机上的部件需要选择热稳定性好的材料制造。

表 1-1 常用金属的物理性能

金属名称	符号	密度 (kg/m ³)	熔点 (°C)	热导率 λ (W/m · K)	线胀系数 10 ⁻⁶ /°C	电阻率 ρ (0 °C) 10 ⁻⁸ Ω · cm
银	Ag	10.49 × 10 ³	960.8	418.6	19.7	1.5
铜	Cu	8.96 × 10 ³	1083	393.5	17	1.67 ~ 1.68 (20 °C)
铝	Al	2.7 × 10 ³	660	221.9	23.6	2.655
镁	Mg	1.74 × 10 ³	650	153.7	24.3	4.47
钨	W	19.3 × 10 ³	3380	166.2	4.6 (20 °C)	5.1
镍	Ni	8.9 × 10 ³	1453	92.1	13.4	6.84
铁	Fe	7.87 × 10 ³	1538	75.4	11.76	9.7
锡	Sn	7.3 × 10 ³	231.9	62.8	2.3	11.5
铬	Cr	7.19 × 10 ³	1903	67	6.2	12.9
钛	Ti	4.508 × 10 ³	1677	15.1	8.2	42.1 ~ 47.8
锰	Mn	7.43 × 10 ³	1244	4.98 (-192 °C)	37	185 (20 °C)

第二节 金属的力学性能

所有机器结构零件或工具，在使用过程中往往会受到各种形式外力的作用。例如，起重机上的钢索，受到悬吊物拉力的作用；一列满载的火车，会给钢轨以很大的压力；柴油机上的连杆，是用米传递动力的，它在工作时不仅受拉压的作用，还要承受冲击力的作用等等。

这些外力作用的结果，对金属材料有一定的破坏性，使零件或工具不同程度产生变形或断裂。金属材料在外力作用下抵抗变形或破坏的能力，称为金属的力学性能，力学性能包括强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。

为了便于理解金属的力学性能，先简单介绍载荷的种类和金属变形的知识。

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷，按其性质不同，可以分为静载荷和动载荷两类。

静载荷：指大小不变或变动很慢的载荷。如飞机停放时起落架支柱上受到的载荷便是静载荷。

动载荷：主要有冲击载荷和交变载荷两种。

a、冲击载荷：指以很大速度作用在物体上的载荷。例如：飞机着陆时起落架就承受着巨大的冲击载荷。

b、交变载荷：指大小反复变化的载荷，或大小与方向都反复变化的载荷，例如飞机上的单向活门中的弹簧，就受到大小反复变化的交变载荷作用。

金属材料受力都会变形，即发生形状和尺寸的改变。当受力较小时，它的变形在外力去掉后会消失，这种在外力去除后能够消失的变形称为弹性变形。当受力增大到一定程度，外力去掉后，它的变形有一部分不能消失，这部分在外力去除后不能消失的变形称为塑性变形。如果外力继续增大，最后金属将会断裂。

金属材料受外力作用后，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。单位截面积上的内力称为应力。金属受拉伸载荷或压缩载荷作用时，其横截面积上的应力（ σ ）按下式计算：

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

式中 F ——外力（N）
 S ——横截面积（ m^2 ）
 σ ——应力（Pa）

在机械设备及工具的设计、制造中选用金属材料时，大多以力学性能为主要依据，因此，熟悉和掌握材料力学性能是非常重要的。

一、强度

金属在载荷作用下，抵抗变形和破坏的能力称为强度。

由于载荷有拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等不同形式，相应的强度也分为抗拉强度 σ_b 、抗压强度 σ_{bc} 、抗弯强度 σ_{bb} 、抗剪强度 τ_b 和抗扭强度 τ_t 等。通常用金属的抗拉强度来表示金属的强度。

金属的抗拉强度是通过拉力试验测定的。进行拉力试验时，将制成一定形状的金属试样装在拉伸试验机上，然后逐渐增大拉力，直到将试样拉断为止。试样在外力作用下，开始只产生弹性变形，当拉力增大到一定程度时，就产生塑性变形，拉力继续增大，最终试样将会

拉断。

1、拉伸试样：试验前，将被测的金属材料制成一定形状和尺寸的标准试样。拉伸试样的形状一般有圆形和矩形两类。常用的试样截面为圆形（图 1-1）。

图中 d_0 是试样的直径（mm）， L_0 为标距长度（mm）。根据标距长度与直径之间的关系，试样可分为长试样（ $L_0 = 10d_0$ ）和短试样（ $L_0 = 5d_0$ ）。

2、拉伸曲线（力—伸长曲线）：在试验过程中，把外加载荷与试样的相应变形量，画在以载荷 F 为纵坐标，变形量 ΔL 为横坐标的图形上，这就得到了力—伸长关系曲线，或称拉伸曲线。

图 1-2 是低碳钢的力—伸长曲线。图中明显表现出下面几个变形阶段：

oe——弹性变形阶段 试样在载荷作用下均匀伸长，伸长量与所加载荷成正比关系，试样发生的变形完全是弹性的，卸载后试样即恢复原状，没有残余变形。 F_e 为能恢复原始形状和尺寸的最大拉伸力。

es——屈服阶段 当载荷超过 F_e 时，试样除产生弹性变形外，开始出现塑性变形。若卸载的话，试样伸长只能部分地恢复而保留一部分残余变形。当载荷增加到 F_s 时，图上出现水平线段（或锯齿状），即表示载荷不增加，变形继续增加，这种现象称为屈服。S 点叫做屈服点， F_s 称为屈服载荷。屈服后，材料将残留较大的塑性变形。

S'b——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。随着塑性变形增大，试样变形抗力也逐渐增加，这种现象称为形变强化（或加工硬化）。 F_b 为试样拉伸试验时的最大载荷。

bz——颈缩阶段 当载荷增加到最大达 F_b 时，变形显著地集中在材料最薄弱的部分，试样出现局部直径变细，称为“颈缩”，由于试样断面缩小，载荷也就逐渐降低，当达到 Z 点时，试样就在颈缩处拉断。

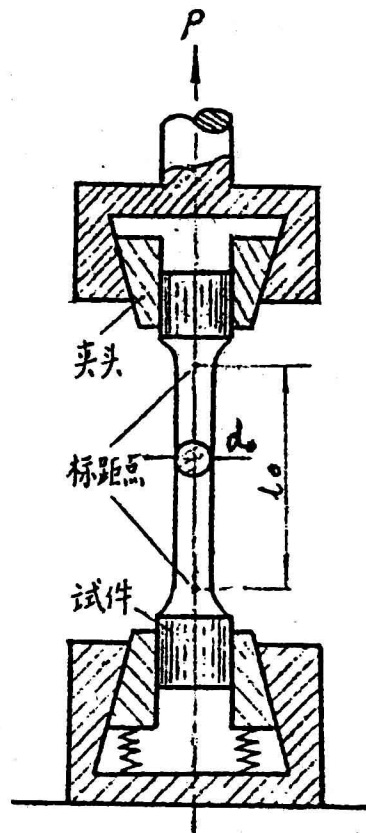


图 1-1 圆形拉伸试样

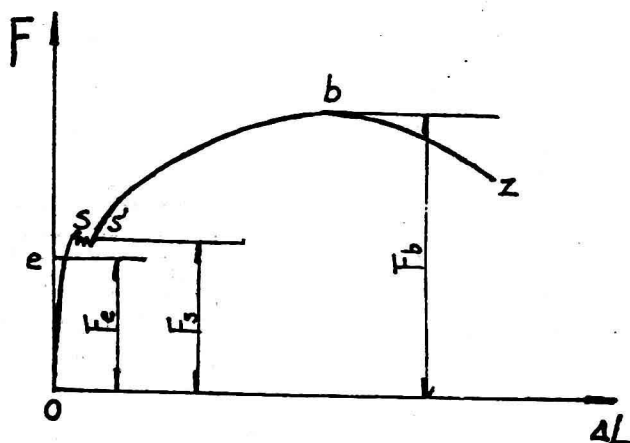


图 1-2 低碳钢的力——伸长曲线

3、强度指标:

①弹性极限: 材料能保持弹性变形的最大应力, 用符号 σ_e 表示。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \text{ (MPa)}$$

式中 F_e ——弹性极限载荷 (N)

σ_e ——弹性极限 (MPa)

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)

②屈服点 (屈服极限): 试样在试验过程中, 力不增加即保持恒定仍能继续伸长时的应力称为屈服点或屈服极限, 用符号 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \text{ (MPa)}$$

式中 F_s ——试样屈服时载荷 (N)

σ_s ——屈服点 (MPa)

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)

由于许多金属材料 (如铸铁、高碳钢) 没有明显的屈服现象, 测定 σ_s 很困难。工程技术上规定: 试样标距长产生 0.2 % 塑性变形时对应的载荷 $F_{0.2}$ 所产生的应力为屈服极限, 称为“条件屈服极限, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

式中 $F_{0.2}$ ——试样产生永久变形 0.2 % 的载荷 (N)

一般机械零件不仅是在破断时才造成失效, 而往往是在产生少量塑性变形后, 零件精度降低或与其他零件的相对配合受到影响而造成失效。所以, σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 就成为零件设计时的主要依据, 也是评定金属材料优劣的重要指标。如发动机气缸盖的螺栓受应力都不应高于 σ_s , 否则因螺栓变形将使气缸盖松动漏气。

③ 抗拉强度: 材料在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度, 用符号 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_b ——拉断试样的最大载荷 (N)

σ_b ——抗拉强度 (MPa)

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)

σ_b 越大, 表示材料抵抗断裂的能力越大, 即强度越高。 σ_b 也是设计、选择材料的主要依据。

二、塑性

材料在静载荷作用下, 产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。塑性用伸长率 δ 和断面收缩率 φ 来表示。塑性指标也是由拉伸试验测得的。

1、伸长率: 试样拉断后, 标距的伸长与原始标距长度的百分比称为伸长率, 用符号 δ 表示。

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

式中 δ ——伸长率 (%)

L_1 ——试样拉断后的标距 (mm)

L_0 ——试样的原始标距 (mm)

若采用拉伸试样标准不同, 测得的伸长率 δ 也不相同, 长短试样的伸长率分别用符号 δ_{10} 和 δ_5 表示, 短试样的伸长率大于长试样的伸长率即 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。习惯上 δ_{10} 也常写成 δ , 但 δ_5 不能将右下角“5”字省去。

2、断面收缩率: 试样拉断处的横截面积减小量与试样原来横截面积之比为断面收缩率, 用符号 φ 表示。

$$\varphi = \frac{\Delta S}{S_0} \times 100\% = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 φ ——断面收缩率 (%)

S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)

S_1 ——试样拉断处的横截面积 (mm^2)

断面收缩率的数值, 在实践中没有发现与试样的尺寸有多大的关系。

金属材料的伸长率 (δ) 和断面收缩率 (φ) 数值越大, 表示材料的塑性越好。塑性好的金属可以发生大量塑性变形而不破坏, 便于通过塑性变形加工成复杂形状的零件。例如,

工业纯铁的 δ 可达 50 %， φ 可达 80 %，可以拉成细丝，轧薄板等。而铸铁的 δ 和 φ 几乎为零，所以不能进行塑性变形加工。塑性好的材料，在受力过大时，由于首先产生塑性变形而不致发生突然断裂，因此，比较安全。

必须指出：材料的塑性高与低，与使用外力的大小无关，这可从 δ 、 φ 的计算公式中得知。

三、硬度：

硬度是指金属表面上局部体积内抵抗塑性变形和断裂的能力。

硬度是金属材料的重要机械性能之一，测定硬度的方法有布氏硬度试验，洛氏硬度试验、维氏硬度试验等。

硬度试验设备简单、操作方便迅速，硬度值可间接地反映金属的强度，又是非破坏性的试验，可作产品成品性能检验。因此它是热处理工件质量检验的主要指标，这种方法在车间中普遍使用。

材料硬度的测定，需具备两个条件：

- 1) 压头：它是一个标准物体，用它压入被测材料的表面。
- 2) 载荷：加在压头上的压力。

若压头相同，载荷也相同时，压痕越大或越深则表示被测材料的硬度越低。

(一) 布氏硬度

1、布氏硬度的测试原理 (图 1-3)：

用一定直径 D 的球体 (钢球或硬质合金球)，在规定载荷 F 的作用下，压入被测试的金属表面，保持一定时间后卸除载荷，金属表面便留下一个压痕，用球面压痕单位面积上所承受的平均压力作为布氏硬度值，用符号 $HBS(W)$ 来表示。

$$HBS(W) = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi D h}$$

$$= 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

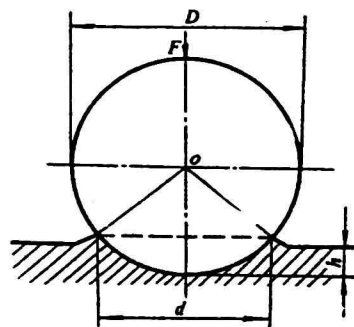


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

式中 F —— 试验力 (N)

D —— 球体直径 (mm)

S —— 压痕球面积 (mm^2)

h —— 压痕深度 (mm)

d —— 压痕平均直径 (mm)

从式中得知：当外载荷 F ，压头球体直径 D 一定时，只有 d 是变数，布氏硬度值仅与压

痕直径 d 的大小有关。 d 越小，布氏硬度值越大，金属越硬； d 越大，布氏硬度值越小，硬度也越低，即金属越软。

在实际应用中，布氏硬度值是不标注单位的，也不需要计算，而是用专用的刻度放大镜量出压痕直径 d ，再根据压痕直径 d 和选定的压力 F 查布氏硬度表，即可得出相应的 HBS (W) 值。

2、试验规范的选择

当使用不同大小的载荷和不同直径的球体进行试验时，只要能满足 F/D^2 为一常数，那么对同一种金属材料当采用不同的 F 、 D 进行试验时可保证得到相同的布氏硬度值。国标规定。 F/D^2 的比值有 30、15、10、5、2.5、1.25、1，共七种比值。布氏硬度试验时，根据被测金属材料的种类、工件硬度范围和厚度的不同，选择相应的压头球体直径 D 试验力 F 及试验力保持时间 t 。

常用的压头球体直径 (D) 有 1、2、2.5、5 和 10mm 五种。试验力 (F) 可从 9.80KN (1kgf) ~ 29.42KN (300kgf) 范围内，试验力保持时间，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。

3、布氏硬度的符号及表示方法

用淬火钢球压头测得的布氏硬度以 HBS 表示，用硬质合金球压头测得的以 HBW 表示。

布氏硬度的表示方法规定为：符号 HBS 或 HBW 之前的数字为硬度值，符号后面按以下顺序用数字表示试验条件：

- ①球体直径；
- ②试验力；
- ③试验力保持的时间（10 ~ 15s 不标注）。

例如 110HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 钢球在 1000kgf 试验力作用下保持 30s 测得布氏硬度为 110。

600HBW5/750 表示用直径 5mm 硬质合金球在 750kgf 试验力作用下保持地 10 ~ 15s 测得的布氏硬度值为 600。

4、应用范围及特点

布氏硬度主要用于测定铸铁、有色金属及合金、各种退火及调质钢材的硬度，特别对于软金属，如铝、铅、锡等更为适宜。

用布氏硬度测量材料硬度具有下列特点：

①硬度值较精确，因为压痕直径大，能较真实地反映出金属材料的平均性能，不会因组织不匀或表面略有不光洁而引起误差。

②可根据布氏硬度近似换算出金属的强度，因而工程上得到广泛应用。

例如 低碳钢 $\sigma_b \approx 0.36\text{HBS}$

高碳钢 $\sigma_b \approx 0.34\text{HBS}$ 。

经调质的合金钢 $\sigma_b \approx 0.325\text{HBS}$

$$\text{灰口铸铁 } \sigma_b \approx \frac{5(HBS - 40)}{3}$$

③测量过程比较麻烦且压痕较大，不宜测量成品及薄件，只适合测量硬度不高的铸铁，有色金属、退火钢的半成品或毛坯。

④用钢球压头测量时，硬度值必须小于 450，用硬质合金球压头时，硬度值必须小于 650，否则球体本身会发生变形，使测量结果不准确。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度试验是目前工厂中应用最广的试验方法。与布氏硬度一样也是一种压入硬度试验。不同的是，洛氏硬度不是测量压痕的面积，而是测量压痕的深度，以深度的大小来表示材料的硬度值。

1、洛氏硬度测试原理 (图 1-4)

在压头（金刚石圆锥体或钢球）上施加初始试验力 $F_0=10\text{kgf}$ ，使金属很好和压头接触，并压入深度为 h_1 ，再加主试验力 F_1 作用于压头，则总试验力 $F_0 + F_1$ 施于被测工件表面上，压入深度为 h_2 。经规定保持时间后，卸除主试验力 F_1 ，由于被测试样金属弹性变形的恢复，压头的压入深度是 h_3 。压头在主载荷作用下压入金属表面的塑性变形深度就是 h ($h=h_3-h_1$)，并以此来衡量被测金属的硬度。

显然， h 越大，金属的硬度越低，反之则越高。考虑到数值越大，表示硬度越高的习惯，故采用一个常数 K 减去 h 来表示硬度的高低，并用每 0.002mm 的压痕深度为一个硬度单位，由此获得的硬度值称为洛氏硬度值。

$$HR = \frac{k - h}{0.002}$$

式中 k ——常数（用金刚石圆锥体作压头时 $k=0.2\text{mm}$ ，用淬火钢球作压头时 $k=0.26\text{mm}$ ）

h ——压入金属表面塑性变形的深度（mm）

所有的洛氏硬度值都没有单位，在试验时一般均由硬度计的指示器上直接读出。

2、常用洛氏硬度标尺及适用范围

为了扩大硬度计测定硬度的范围，以便测定不同金属材料从软到硬的各种硬度值，常采用以不同的压头和总载荷组成不同的洛氏硬度标尺来测定不同硬度的金属材料。常用的洛氏硬度标尺是 HRA、HRB、HRC 三种，其中 HRC 应用最为广泛。三种洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围见表 1-2。

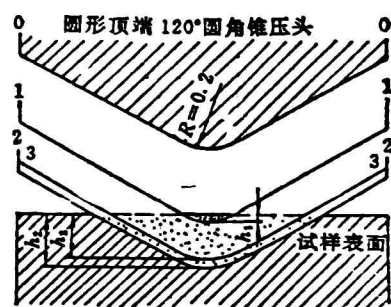


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图