

高职高专“十一五”机电类专业规划教材

JINSHU GONGYIXUE

JINSHU GONGYIXUE

金属工艺学

■ 宫成立 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高职高专“十一五”机电类专业规划教材

金属工艺学

主 编 宫成立

副主编 李淑清

参 编 叶 凯 关谷涵 黄波达

主 审 唐龙泉



机械工业出版社

本书以“成形、改性与金属工艺全过程”为课程主线，全面系统阐述了从矿石到机器的整个生产过程，即机械制造全过程。全书共分3篇：第1篇机械工程材料的组织、结构及其改性，为合理选材提供保障；第2篇金属热加工基础，主要研究毛坯的成形方法及其选择；第3篇机械切削加工基础，主要研究零件的成形方法。

本书是高职高专机械制造类、热加工类、近机类、管理类的通用教材，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/宫成立主编. —北京：机械工业出版社，
2007.3

高职高专“十一五”机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-20995-9

I. 金... II. 宫... III. 金属加工—工艺学—高等学校；
技术学校—教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 025761 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：王海峰 版式设计：张世琴 责任校对：刘志文

封面设计：马精明 责任印制：李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2007 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.75 印张 · 1 插页 · 437 千字

0001—4000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-20995-9

定价：27.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：(010)68326294

购书热线电话：(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010)68354423

封面无防伪标均为盗版

前 言

为适应“十一五”期间高职高专教学改革需要,根据全国机械职业教育专业指导委员会关于“深化高等职业技术教育人才培养工作的改革,加强高职教材建设”的精神,编者深入全国多家高等职业院校进行调研,结合市场需要,与机械工业出版社共同组织编写了这本《金属工艺学》教材和与其配套的《金工实训》教材。

本书以高职高专人才培养目标为指导思想,以“实用性”为宗旨和特征构建教材内容体系。本书突出职业教育特点,基础理论以“必需、够用为度”,加强针对性和实用性,侧重实践能力的培养。

全书共3篇:第1篇机械工程材料,第2篇金属热加工基础,第3篇金属切削加工基础。内容涵盖了从矿石到产品的全过程,简明而系统地阐述了金属工艺学的基本理论和基本工艺方法。引进了与职业能力有关的新材料、新技术和新工艺。教材内容深度适宜,语言简练,通俗易懂,全书引用了国家最新标准。

本书绪论、第1~10章由沈阳职业技术学院官成立编写;第15~19章由沈阳职业技术学院李淑清编写;第11章由漳州职业技术学院叶凯编写,第12章、第14章由沈阳职业技术学院关谷涵编写;第13章由漳州职业技术学院黄波达编写。

本书由官成立副教授任主编,李淑清副教授任副主编。漳州职业技术学院唐龙泉副教授任主审。

本书可供高职高专机械制造类、近机类各专业选用,也可供工程技术人员参考。机械制造类各专业可详讲第1篇、第2篇,略讲第3篇;热加工类各专业可略讲第1篇,详讲第2篇、第3篇;管理类近机类各专业则应通讲全书。

在本书编审过程中,得到了各编审院校及兄弟院校广大金工同仁的大力支持与热情帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中缺点和错误在所难免,恳请读者指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
----	---

第1篇 机械工程材料

第1章 钢铁材料生产简介	3	6.4 钢的淬火与回火	54
1.1 炼铁	3	6.5 钢的表面热处理	57
1.2 炼钢	4	思考题与练习6	60
1.3 钢材生产	6	第7章 低合金钢与合金钢	62
思考题与练习1	7	7.1 合金元素对钢的影响	62
第2章 金属的力学性能	8	7.2 合金钢的分类	64
2.1 强度与塑性	8	7.3 低合金高强度结构钢	65
2.2 硬度	10	7.4 机械结构用合金钢	67
2.3 冲击韧度与疲劳极限	13	7.5 合金工具钢与高速钢	74
思考题与练习2	16	7.6 特殊性能钢	79
第3章 金属的晶体结构与结晶	17	思考题与练习7	85
3.1 纯金属的晶体结构	17	第8章 铸铁	86
3.2 纯金属的结晶	20	8.1 概述	86
3.3 合金的晶体结构	22	8.2 灰铸铁	88
3.4 二元合金相图	24	8.3 球墨铸铁	90
思考题与练习3	28	8.4 可锻铸铁	92
第4章 铁碳合金	29	8.5 蠕墨铸铁	94
4.1 铁碳合金的基本组织	29	8.6 合金铸铁	94
4.2 Fe-Fe ₃ C 相图	31	思考题与练习8	96
思考题与练习4	37	第9章 非铁金属	97
第5章 碳钢(非合金钢)	38	9.1 铝及铝合金	97
5.1 杂质元素对碳钢性能的影响	38	9.2 铜及铜合金	102
5.2 碳钢的分类	38	9.3 滑动轴承合金与粉末冶金材料	105
5.3 常用碳钢	39	思考题与练习9	107
思考题与练习5	44	第10章 非金属材料 and 复合材料	108
第6章 钢的热处理	46	10.1 高分子材料	108
6.1 钢在加热时的组织转变	46	10.2 陶瓷材料	111
6.2 钢在冷却时的组织转变	48	10.3 复合材料	111
6.3 钢的退火与正火	52	思考题与练习10	113

第2篇 金属热加工基础

第11章 铸造	114	第13章 焊接与胶接	154
11.1 概述	114	13.1 概述	154
11.2 金属的铸造性能	114	13.2 金属的焊接性能	155
11.3 砂型铸造	118	13.3 焊条电弧焊	156
11.4 砂型铸造工艺简介	126	13.4 焊条电弧焊的工艺设计简介	158
11.5 特种铸造	129	13.5 其他焊接方法	165
11.6 零件结构的铸造工艺性	132	13.6 焊接结构的工艺性	171
11.7 液态成型新技术简介	135	13.7 焊接缺陷和焊件质量检验	173
思考题与练习 11	137	13.8 胶接	176
第12章 锻压	138	思考题与练习 13	177
12.1 锻造概述	138	第14章 毛坯选择	179
12.2 坯料的加热与锻件的冷却	140	14.1 毛坯的种类	179
12.3 自由锻	141	14.2 毛坯的选择原则	180
12.4 模锻	144	14.3 典型零件毛坯选择	181
12.5 自由锻件结构的工艺性	147	14.4 毛坯选择实例	182
12.6 板料冲压	148	思考题与练习 14	184
思考题与练习 12	153		

第3篇 金属切削加工基础

第15章 互换性与测量技术	185	17.2 外圆表面的加工方法	244
15.1 互换性概述	185	17.3 孔的加工方法	247
15.2 光滑圆柱体结合的极限与配合	186	17.4 平面的加工方法	249
15.3 技术测量基础	205	17.5 圆柱齿轮齿形的加工方法	253
15.4 形状和位置公差	207	17.6 螺纹的加工方法	258
15.5 表面粗糙度	221	思考题与练习 17	260
思考题与练习 15	226	第18章 零件生产工艺过程简介	261
第16章 金属切削加工基础知识	228	18.1 零件生产工艺过程的基本知识	261
16.1 切削加工概述	228	18.2 工件的安装与定位基准	264
16.2 切削运动和切削用量	228	18.3 机械加工工艺路线的制定	267
16.3 切削刀具	230	思考题与练习 18	270
16.4 切削过程中的物理现象	234	第19章 现代制造技术简介	271
16.5 工件材料的切削加工性	238	19.1 精密加工与特种加工	271
思考题与练习 16	239	19.2 机械制造自动化	274
第17章 各种表面的加工	241	思考题与练习 19	275
17.1 金属切削机床的基本知识	241	参考文献	277

绪 论

金属工艺学是论述关于从矿石到机器的金属工艺全过程的科学,是研究金属的冶炼、金属性能、加工方法和加工工艺等问题的一门课程。随着国民经济的快速发展,科学技术的不断进步,近年来对非金属材料、复合材料等新型材料的不断研制和开发,一些新技术、新工艺不断引进,使金属工艺学的内容更加宽泛。

0.1 金属工艺学的发展简史

我国古代在金属工艺方面曾有过辉煌的成就,在公元前16~11世纪的商朝,青铜的冶铸技术已相当精湛。1939年在河南安阳出土的商代司母戊大鼎,重875kg,造型精美,花纹精巧,是世界上最古老的大型青铜器。到春秋战国时期,青铜冶炼和使用达到了世界高峰。在公元前5世纪春秋时期,越王勾践的宝剑,仍然寒光闪闪,寒气逼人。可见当时的铸造、热处理和防锈技术已经具备很高的水平。我国的冶炼技术比欧洲早1800多年,从西汉到明朝的1500多年间,我国的钢铁生产技术远远超过世界各国。1972年河北藁城出土的商代铁刃铜钺,证明我国在3000年前就掌握了锻造技术。明朝(1368—1644年)宋应星编著的《天工开物》一书中载有冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、焊接和淬火等多种金属加工方法的论述,是当时世界上最多的有关金属工艺方面的著作之一。但是,长期的封建社会严重束缚了科学技术的发展,造成了我国与工业发达国家之间很大的差距。

近年来,尤其是改革开放以后,由于科学技术的急剧进步和市场竞争的日益激烈,使得产品的品种不断增加,精度不断提高,产品的替代周期不断缩短。新材料特别是人工合成材料得到了爆炸性的发展,形成了金属材料、高分子材料、陶瓷及复合材料三足鼎立的新时代。与此同时,功能材料、纳米材料等高科技材料相继问世,并迅速发展。目前,工程材料已成为科技进步的重要标志。

随着新材料的涌现,一些新工艺,新技术应运而生,现代制造技术不断被采用。到目前为止,定向凝固技术、快速成型技术、高速锤锻、精密模锻、气体保护自动焊、激光焊、等离子焊等新的成形技术,以及计算机数控(CNE)、柔性制造系统(FMS)、计算机辅助设计和计算机辅助制造(CAD/CAM)等,已经引领加工制造业的新潮流。传统的金属工艺方法,在其自身技术不断发展的同时,溶入新技术、新工艺,必将构筑人类文明的新辉煌。

0.2 本课程的性质、地位和任务

金属工艺学是一门综合性的技术基础课,是机械类、近机类等专业的必修课。它清楚地表达了金属工艺过程中各个生产环节之间的相互关系,简明地概括了机械制造过程的整个面貌,为相关专业提供了必备的基础知识和实践技能。

金属工艺全过程可以概括为原材料的生产、毛坯的制造、零件的加工和机器的装配等四

个组成部分。热加工类(铸、锻、焊)专业,主要研究毛坯的成形工艺;机械制造类冷加工专业,主要研究零件成形和机器装配工艺;热处理专业主要研究工程材料的组织结构及其改性工艺;管理类专业则是研究如何管理好机械产品生产的全过程。显然,各类专业都必须对机械制造全过程有个总体的认识,充分了解本专业在机械制造过程中的位置,以及所研究的生产环节与其他生产环节的关系。对各种成形工艺、改性工艺的本质、特点及应用有明确的认识。学生学完本门课程,将建立起从矿石到机器这个金属工艺全过程中关于成形和改性的基础理论,并用于指导生产,具备为机械制造选材料、选方法和分析结构工艺性的能力。

0.3 本课程的特点

1. 知识面宽, 综合性强 金属工艺学具有知识面宽和综合性强的特点。学习本课程首先应具备足够的、最基本的基础课知识。全书按照从毛坯到成品这条主线撷取了冷、热加工各专业的各门专业课的主要知识,以构建本课程内容体系,形成本课程知识面宽的特点。如涉及到热加工类铸造专业的课程有:铸造合金及熔炼、铸造工艺学、铸造设备等三门专业课,锻压、焊接、机制等都属此种情况。但在内容上淡化了专业理论知识,突出实用性。也就是说,内容不深但庞杂。在教学过程中,围绕课程主线,认清各门知识的区别与联系。抓住本质,寻其规律,找好衔接点,实现有机结合,达到预期效果。例如,钻削可以看成两把内孔车刀的车削;铸造与锻造成形都是金属的流动过程;铸造与焊接都是液态金属的凝固过程等等。

2. 依赖于感性认识, 实践性强 课程内容与生产实际密切相关。学好这门课离不开实验和现场教学。通过实验把观察到的现象及测试的数据进行定性分析,以加深对基本理论的理解;通过现场教学把看到的设备特点、工艺特点与课程的基本理论构成联系,以加深对课程实用性的认识。对于每一个实践教学环节,教师都要根据教学大纲,制定出实践教学指导书,并认真指导,让学生独立完成实验、实训报告。金工实训是培养学生工程实践技能的重要途径,为学生获取职业技能证书提供保障。

本课程的教学特点,主要体现在以下几个方面:一是知识面宽,二是综合性强,三是实践性强。本课程的教学内容,涵盖了机械制造的各个环节,从毛坯的成形到零件的加工,再到机器的装配,形成了一个完整的教学体系。同时,本课程还注重培养学生的实践能力,通过大量的实验和实训,使学生能够熟练掌握各种加工方法和工艺。此外,本课程还注重培养学生的综合素质,包括团队合作、沟通能力、创新能力等,使学生能够在未来的工作中胜任各种岗位。

0.4 本课程的教学要求

本课程的教学要求,主要体现在以下几个方面:一是掌握基本理论知识,二是掌握基本操作技能,三是培养综合素质。通过本课程的学习,学生应能够了解机械制造的基本原理和工艺,掌握各种加工方法和工艺,具备从事机械制造工作的基本能力。同时,学生还应具备良好的团队合作精神和沟通能力,能够在未来的工作中胜任各种岗位。

第1篇 机械工程材料

第1章 钢铁材料生产简介

【教学目的】

了解钢铁材料的生产过程及各种冶炼方法，熟悉各种钢材的加工方法及应用。

钢铁材料是机械工程材料中应用最为广泛的金属材料，是现代工业的支柱，特别是机械制造业的支柱。钢铁材料通过冶炼和轧制等生产方法获得。

1.1 炼铁

铁在自然界中以各种化合物的形式存在，并同其他化合物混合在一起形成铁矿石。炼铁的实质是把铁从铁矿石中还原出来。

炼铁的主要原料有铁矿石、焦炭和石灰石，并按一定比例配合后熔炼。

1.1.1 炼铁的基本过程

高炉是现代炼铁的主要设备。高炉炼铁如图1-1所示。炉料不断从进料口2加入炉内，空气经热风炉4预热后从进风口5吹入炉中。在冶炼过程中，炉料充满高炉，并不断下降；吹入高炉中的空气与化学反应生成的气体组成炉气并沿着炉料的缝隙上升。经一段时间冶炼后，先打开出渣口6排渣，再打开出铁口1出铁。从炉顶排出的废气(高炉煤气)经煤气出口3回收。

炼铁的基本过程包括燃料的燃烧、铁的还原和增碳、杂质的混入、造渣等。

炼铁采用的燃料主要是焦炭。焦炭燃烧产生的热量为冶炼提供了高温条件。高温焦炭及其燃烧生成的CO气体起到还原剂的作用。

炼铁时，焦炭和CO不断把铁从铁矿石中

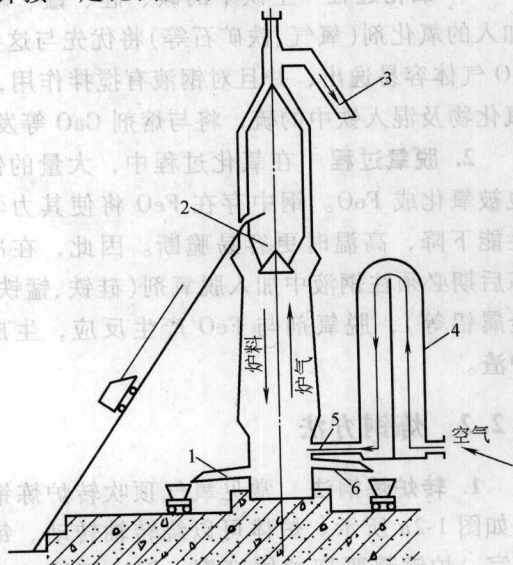


图1-1 高炉炼铁

1—出铁口 2—进料口 3—煤气出口 4—热风炉
5—进风口 6—出渣口

还原出来，同时铁中含有较多的碳($w_c=4\%$ 左右)及硅、锰、硫、磷等杂质元素。

炼铁时，焦炭燃烧形成灰粉及矿石中的废石与铁混在一起。加入石灰石与灰粉及废石发生反应，形成熔点较低、密度较小的熔渣，浮在铁液上面，使之与铁液分离，并从排渣口排出。

1.1.2 高炉产品(GB/T 717—1998 炼钢生铁 GB/T 718—2005 铸造生铁)

高炉冶炼的铁含有碳、硅、锰、硫、磷等元素，称为生铁。按含硅量不同，分为炼钢生铁($w_{si} < 1.25\%$)和铸造生铁($w_{si} = 1.25\% \sim 3.2\%$)。副产品有炉渣和高炉煤气。炉渣是制造水泥的原料，高炉煤气经净化成为燃料，广泛用于加热热风炉及民用管道煤气。

1.2 炼钢

炼钢的本质是利用氧化的办法降低生铁中的硅、锰、硫、磷等杂质和过量的碳，使化学成分达到标准规定的要求，从而改善其性能。表 1-1 列出了炼钢生铁与低碳钢的主要成分。

表 1-1 炼钢生铁与低碳钢的成分

材 料	$w_c \times 100$	$w_{si} \times 100$	$w_{Mn} \times 100$	$w_p \times 100$	$w_s \times 100$
炼钢生铁	4 ~ 4.4	>0.85 ~ 1.25	>0.50	>0.25 ~ 0.40	>0.05 ~ 0.07
低碳钢	0.14 ~ 0.22	0.12 ~ 0.3	0.4 ~ 0.65	0.05	0.055

1.2.1 炼钢的基本过程

1. 氧化过程 生铁中的碳、硅、锰、磷等在高温条件下与氧的亲合力比铁强，炼铁时加入的氧化剂(氧气、铁矿石等)将优先与这些杂质产生化学反应，生成各种氧化物。生成的CO 气体容易逸出，并且对钢液有搅拌作用，促使冶炼过程顺利进行；生成硅、锰、磷等的氧化物及混入铁中的硫，将与熔剂 CaO 等发生一系列造渣反应生成炉渣。

2. 脱氧过程 在氧化过程中，大量的铁也被氧化成 FeO。钢中存在 FeO 将使其力学性能下降，高温时更容易脆断。因此，在冶炼后期必须往钢液中加入脱氧剂(硅铁、锰铁、金属铝等)，脱氧剂与 FeO 产生反应，生成炉渣。

1.2.2 炼钢方法

1. 转炉炼钢法 常见氧气顶吹转炉炼钢法如图 1-2a 所示。炉体可以绕转轴转动。每炼完一炉钢都要把炉体倾倒，倒出钢液。冶炼时以纯氧作为氧化剂，直接利用吹风管从炉顶向炉中吹入氧气，依靠化学反应产生的热量就可以冶炼，不需要外加热源。

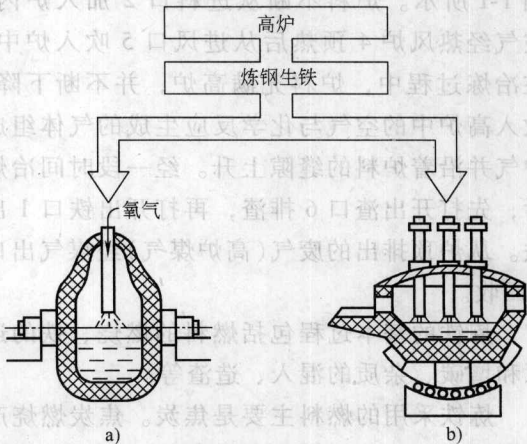


图 1-2 常用炼钢法

a) 氧气顶吹转炉 b) 电弧炉

转炉炼钢生产率高，几十分钟就能炼一炉钢。但必须以液态炼钢生铁为主要原料。杂质被氧化产生的热量不仅能使生铁液温度提高到钢的熔点，还能使加入的废钢熔化，重新冶炼成好钢。废钢的加入量甚至可以达到每炉钢的 35%。

氧气顶吹转炉通常用于炼各种碳钢。

2. 电炉炼钢法 常见的电炉炼钢法如图 1-2b 所示。冶炼时以铁矿石或纯氧为氧化剂，以转炉钢或(和)废钢为原料，以电弧为热源。

电炉炼钢法的冶炼温度高，炉料比较纯净，化学成分容易控制，冶炼过程可以调节。电炉能够冶炼高级优质钢和含高熔点金属元素(如钨、钼、钛等)的合金钢。

1.2.3 镇静钢和沸腾钢

炼好的钢常浇注成钢锭或连注成钢坯。图 1-3a 所示是使用钢锭铸型浇注钢锭；图 1-3b 所示是使用连铸机浇注钢坯。浇注时，钢液在一个用水冷却的铸型中凝固，再用夹辊夹持移动，并按照要求的长度切断。

在炼钢脱氧过程中，通过控制脱氧剂的种类和加入量可以控制钢的脱氧程度。按脱氧是否完全可把钢分为镇静钢和沸腾钢。

1. 镇静钢 镇静钢是脱氧(脱氧剂主要是硅铁或铝)完全的钢。浇注时不发生碳化反应，钢液在型腔中平静地上升。凝固后在钢锭头部形成一个倒锥形的缩孔，如图 1-4a 所示。镇静钢钢锭组织致密，但轧制钢材时必须切除具有缩孔的头部，故成材率低。

2. 沸腾钢 沸腾钢是脱氧(脱氧剂用锰铁)不完全的钢。浇注时有碳化反应，生成大量 CO 气体，呈现沸腾现象。通常是盖上铁板，使上层钢液先凝固成薄壳才停止沸腾。最终钢锭内充满气孔，但头部不出现大的缩孔，如图 1-4b 所示。沸腾钢钢锭组织疏松，但轧制钢材时不必切除较大的头部，故成材率较高。

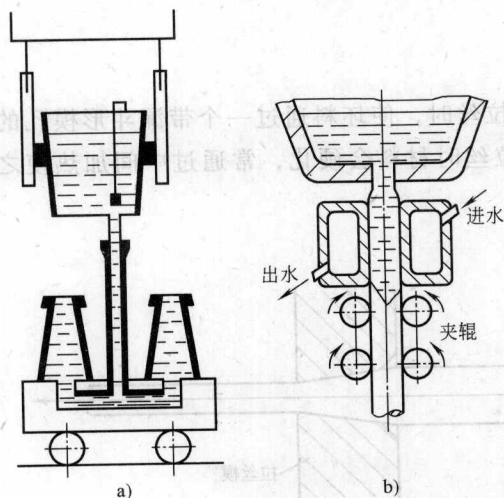


图 1-3 钢的浇注

a) 型铸 b) 连铸

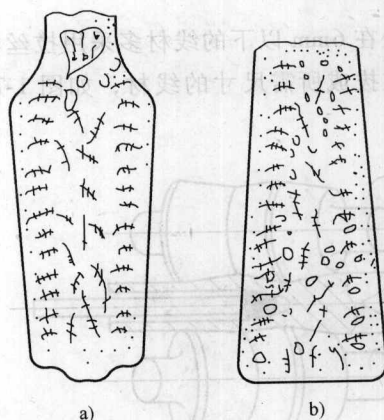


图 1-4 钢锭

a) 镇静钢 b) 沸腾钢

1.3 钢材生产

1.3.1 板材和型材

在生产中,将钢锭通过一系列轧机轧制成板材和型材。图 1-5a 所示是使用两个转向相反的轧辊轧制钢板。若在圆柱轧辊上加工出各种孔形,就可以轧制相应的型材。常见轧制型材的结构形状如图 1-5b 所示。

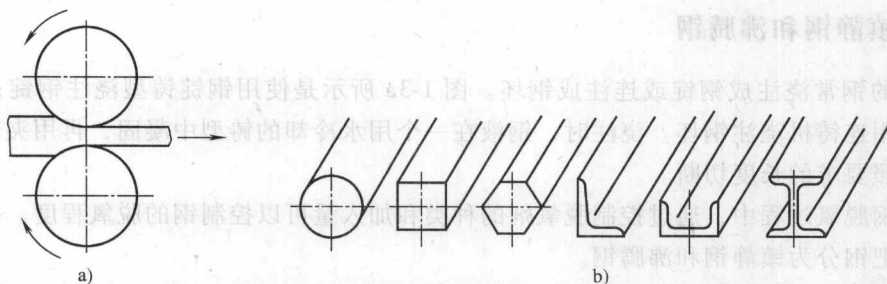


图 1-5 轧板和型材

a) 轧板 b) 常见型材

1.3.2 管材

通过成形辊把带钢弯成管形,再通过焊接辊焊接成有缝管材;也可以先用斜轧穿孔机在实心管坯上穿孔,如图 1-6 所示,然后再用一种特殊的方法(如周期式轧管法)轧制所需尺寸的管材,通常称为无缝管材。

1.3.3 线材

直径在 6mm 以下的线材多采用拉丝机生产。拉丝时,使坯料通过一个带漏斗形模孔的拉丝模拉拔成所需尺寸的线材,如图 1-7 所示。拉丝时材料会硬化,常通过中间加热使之软化。

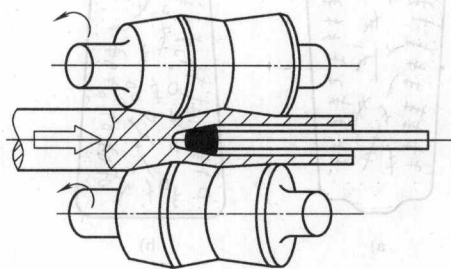


图 1-6 斜轧穿孔

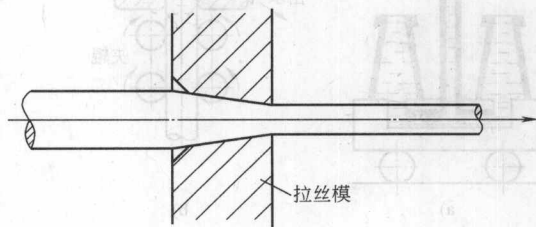


图 1-7 拉丝

钢材应用广泛,板材可通过冲裁直接加工成零件或产品。型材如圆钢可通过切削加工成机械零件或锻造成零件毛坯。角钢、槽钢、工字钢广泛用于建筑、桥梁、车辆等。管材主要

第2章 金属的力学性能

【教学目的】

了解金属材料在外力作用下所表现的各种力学性能，深刻理解各种力学性能指标的含义及在工程实际中的意义，明确相互间的区别与联系，掌握各种力学性能指标测试方法。

金属的力学性能是指金属在不同环境因素(温度、介质)下，承受外加载荷作用时所表现的行为。这种行为通常表现为金属的变形和断裂。因此，金属材料的力学性能可以表述为金属抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。

金属的力学性能是设计和制造机械零件或工具的主要依据，也是评定金属材料质量的重要依据。当外加载荷的性质、环境因素不同时，对金属材料要求的力学性能也将不同。常用的力学性能主要有：强度、塑性、硬度、韧度和疲劳等。

2.1 强度与塑性

强度是指金属材料在外力作用下抵抗永久变形和断裂的能力。塑性是金属材料在外力作用下，产生变形而不破坏的能力。强度和塑性的判据通过拉伸试验测定。拉伸试验是指在静拉伸力作用下，对试样进行轴向拉伸，直到拉断。通过拉伸试验绘制出力-伸长曲线，计算出强度和塑性的性能指标。

2.1.1 力-伸长曲线

力-伸长曲线是指在拉伸试验中记录的拉伸力和伸长的关系曲线，如图 2-1a 所示。力-伸长曲线由拉伸试验机自动绘出。

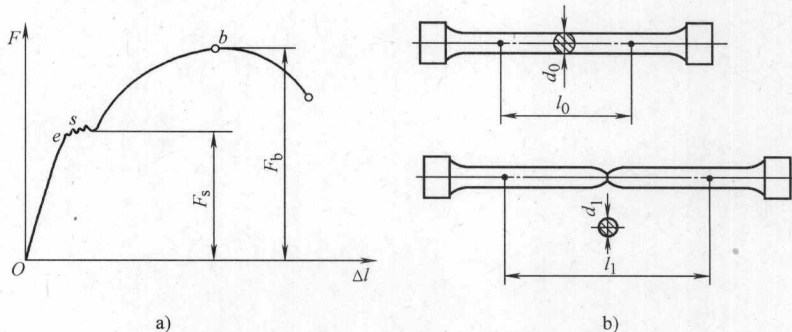


图 2-1 力-伸长曲线和拉伸试样

a) 力-伸长曲线 b) 拉伸试样

试验时将被测金属材料制成标准试样,如图 2-1b 所示。直径为 d_0 ,标距的长度为 l_0 。然后将试样装夹在拉伸试验机上,缓慢增加拉伸力。试样标距的长度将逐渐增加,直至被拉断。再把两段试样对接起来,标距将增至 l_1 ,断裂处截面的直径减至 d_1 。

图 2-1a 所示是低碳钢试样的力-伸长曲线。曲线的 Oe 段近乎一段斜线,表示受力不大时试样处于弹性变形阶段。如卸除拉力 F ,试样将完全恢复到原始的形状及尺寸。当拉伸力 F 继续增加时,试样将产生塑性变形,并且在 s 点附近曲线上出现一段水平(或有波动)线段。这时拉伸力不再增加,试样的塑性变形量仍然增加,称为屈服现象。屈服后曲线又呈上升趋势,表示试样的材料得到强化,恢复了抵抗拉伸力的能力。此时试样上某个部位横截面将发生局部收缩,称为缩颈现象,此时试样承受拉伸力的能力迅速降低而断裂。

2.1.2 强度的主要指标

1. 屈服点与规定残余伸长应力 屈服点是指试样在试验过程中力不增加(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,即

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

式中 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(mm^2)。

不少金属材料在拉伸试验中没有明显的屈服现象,难以测出屈服点。此时可用规定残余伸长应力表示屈服点。规定残余伸长应力是指试样卸除拉伸力后,其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。表示此应力的符号应附以角注说明,例如,经常使用的 $\sigma_{r0.2}$ 是机械零件选材和设计的依据。

2. 抗拉强度 抗拉强度是指试样拉断前承受的最大标称拉应力,用符号 σ_b 表示,单位为 MPa,即

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

式中 F_b ——试样所承受的最大拉伸力(N)。

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

脆性金属材料的 $\sigma_{r0.2}$ 也难测出,所以在使用中脆性金属材料制作机械零件时,常以 σ_b 作为选材和设计的依据。

2.1.3 塑性的主要指标

1. 断后伸长率 断后伸长率是指试样拉断后标距的伸长量与原始标距的百分比,用符号 δ 表示,即

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

式中 l_1 ——试样拉断后对接的标距长度;

l_0 ——试样原始标距长度。

拉伸试样的原始标距 l_0 与原始直径 d_0 之间通常有一定的比例关系。 $l_0 = 10d_0$ 时,称为长试样; $l_0 = 5d_0$ 时,称为短试样。使用长试样测定的断后伸长率用符号 δ_{10} 表示,通常写成

δ ; 使用短试样测定的断后伸长率用符号 δ_5 表示。同一种材料的短试样断后伸长率 δ_5 大于长试样断后伸长率 δ_{10} 。

2. 断面收缩率 断面收缩率是指试样拉断后, 缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的比值, 用符号 ψ 表示, 即

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

式中 S_0 ——试样原始横截面积;

S_1 ——试样拉断后缩颈处最小横截面积。

断面收缩率不受试样尺寸的影响, 比较确切地反映了金属材料的可塑性。

塑性直接影响到零件的成形加工及使用。例如, 钢的塑性较好, 能通过锻打成形, 而灰铸铁塑性较差, 不能进行锻打。力-伸长曲线表明, 金属材料经明显塑性变形(屈服)后得到强化。因此塑性好的零件超载时仍有强度储备, 比较安全。

2.2 硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的指标, 是指金属抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。

硬度是各种零件和工具必须具备的力学性能指标。机械制造业中所用的各种刀具、量具、模具都应具备足够的硬度, 才能满足使用性能的要求和寿命。机械零件中的齿轮、凸轮、曲轴等也必须具备一定的硬度, 以保证足够的耐磨性。

硬度是一项综合力学性能指标, 它既反映了金属材料的硬度(抵抗局部塑性变形的能力), 也反映了金属材料的塑性(压痕的大小或深浅)。硬度试验和拉伸试验都是在静载荷作用下进行的, 但硬度试验在生产中应用更为广泛。拉伸试验属于破坏性试验, 测定方法比较复杂。硬度试验则简便快速, 基本上不损伤金属材料, 甚至不需要做专门的试样, 可以直接在工件上测试。因此, 常常把硬度指标作为技术要求标注在零件工作图上。

测试硬度的方法较多, 常用有的布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法和维氏硬度试验法三种。

2.2.1 布氏硬度

布氏硬度试验法是用直径为 D 的硬质合金球, 在规定试验力 F 的作用下压入被测试金属的表面(如图 2-2 所示), 停留一段时间后卸除载荷, 测量被测金属表面上所形成的压痕直径 d , 由此计算压痕的球缺面积 S , 然后再求出压痕的单位面积所承受的平均压力(F/S), 以此作为被测试金属的布氏硬度值, 用符号 HBW 表示, 即

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

式中 F ——试验力(N);

D ——球体直径(mm);

d ——压痕平均直径(mm)。

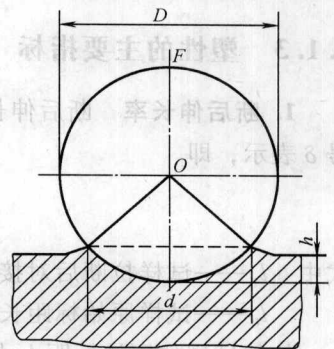


图 2-2 布氏硬度试验原理

布氏硬度习惯上只写明硬度的数值而不标出单位。符号 HBW 前面的数值为硬度值，符号后面的数值表示试验条件的指标，依次为球体直径、试验力大小及试验力保持时间（10 ~ 15s 时不标柱）。例如：600HBW1/30/20 表示用直径为 1mm 的硬质合金小球，在 294N（30kgf）试验力作用下保持 20s，测得的布氏硬度值为 600。

在进行布氏硬度试验时，应根据被测试金属材料的种类和试样厚度，选择不同大小的球体直径 D 、施加载荷 F 和载荷保持时间。按 GB/T 231.1—2002 规定，球体直径有 10mm、5mm、2.5mm 和 1mm 四种；试验力（单位 N）与球体直径平方的比值（ $0.102F/D^2$ ）有 30、15、10、5、2.5 和 1 共 6 种（可根据金属材料的种类和布氏硬度范围，按表 2-1 选定 $0.102F/D^2$ 值）；试验力的保持时间为 10 ~ 15s。对于要求试验力保持较长时间的材料，试验力保持时间允许误差为 $\pm 2s$ 。

表 2-1 布氏硬度试验的 F/D^2 值的选择

材 料	布 氏 硬 度	F/D^2 ①
钢、镍合金、钛合金		30
铸铁	< 140	10
	> 140	30
铜及其合金	< 35	5
	35 ~ 200	10
	> 200	30
轻金属及其合金	< 35	2.5
	35 ~ 80	10(或 5、15) 10(或 15)
	> 80	
铅、锡		1

① 试验条件允许时，应尽量选用 10mm 球和无括号的 F/D^2 值。

当试验力 F 与球体直径 D 选定时，硬度值只与压痕直径 d 有关。 d 愈大，则布氏硬度值愈小；反之， d 愈小，硬度值愈大。实际测量时，用刻度放大镜测出压痕直径 d ，然后根据 d 值查表，即可求得所测的硬度值。

布氏硬度试验法因压痕面积较大，能反映出较大范围内被测金属的平均硬度，故试验结果较精确。但因压痕较大，所以不宜测试成品或薄片金属的硬度。

2.2.2 洛氏硬度

金属洛氏硬度试验是目前工厂中应用最广泛的一种试验方法。它是用一个顶角 120° 的金刚石圆锥体或一定直径的钢球或硬质合金球为压头，在规定试验力作用下压入被测试金属表面，由压头在金属表面所形成的压痕深度来确定其硬度值。

图 2-3 表示金刚石圆锥压头的金属洛氏硬度试验原理。图中 0-0 为圆锥压头的初始位置，1-1 为在初试验力作用下，压头压入深度为 h_1 时的位置；2-2 为在总试验

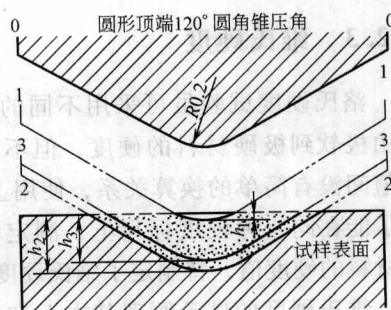


图 2-3 洛氏硬度试验原理