



技工学校机械类通用教材

金属材料与热处理



劳动人事出版社



教育部推荐教材

金属材料与热处理



TG1

21

3

金属材料与热处理

劳动人事部培训就业局 编

1263/17

劳动人事出版社



B 234401



本书主要讲述了钢铁的冶炼；金属的机械性能及其测定方法；金属材料的成分、组织、结构与性能之间的关系；钢铁热处理的基本知识及常用金属材料的种类、牌号、成分、性能和主要用途；并简单介绍了钢的火花鉴别法及金属腐蚀的有关知识。全书共分十二章，书末还附有机械性能换算表、常用金属材料的临界温度及常用非金属材料的主要特点和用途等附表。

本书可作为技工学校机械类冷、热加工工种的教材，也可作为机械类中级技术工人的培训教材。适合初中文化程度的工人学习。

本书由陈明深、柯景泉、蔡月珍等编写，钟邦彦、刘万远审稿，主编陈明深，主审钟邦彦，曹万正编辑加工。

金属材料与热处理

劳动人事部培训就业局编

劳动人事出版社出版

（北京市和平里中街12号）

新华书店北京发行所发行

重庆新华印刷厂印刷

787×1092 16开本 8.5印张 204千字

1985年4月北京第一版 1985年4月重庆第一次印刷

印数：1—190,000册

书号：7238·0085 定价：1.25元

前 言

为了适应技工学校逐步转向以招收初中毕业生为主的教学要求,我局于一九八三年七月委托部分省、市劳动人事厅(劳动局),分别组织编写了适合初中毕业生使用的技工学校机械类通用工种各课程所需的教材。这次组织编写的有语文、数学、物理、化学、工程力学、机械基础、金属材料与热处理、电工学、机械制图(配套使用的有机械制图习题集)、车工工艺学(配套使用的有车工工艺学习题集)、车工生产实习、钳工工艺学、钳工生产实习、铸工工艺学、铸工生产实习、铆工工艺学、机械制造工艺基础等十七种。其中语文、数学、物理、化学非机械类工种也可以选用。其他课程的教材,以后将陆续组织编写。

上述十七种教材,是按照党的教育方针,本着改革的精神组织编写的。在内容上,力求做到理论与实际相结合,符合循序渐进的要求,从打好基础入手,突出机械类技工学校生产实习教学的特点,密切联系我国机械工业的生产实际,并且尽量反映工业生产中采用新材料、新设备、新技术、新工艺的成就,以便培养出来的学生,能够具有一定的文化知识,比较系统地掌握专业技术理论和一定操作技能,为今后的进一步提高打下基础。

这次组织编写教材的工作,由于时间比较紧促,经验不足,缺点和错误在所难免,希望使用教材的同志提出批评和改进意见,以便再版时修订。

劳动人事部培训就业局

一九八四年

绪 论

金属材料是现代工业、农业、国防及科学技术等部门使用最广泛的材料。它之所以能获得广泛的应用,不仅是由于它的来源丰富,而且还由于它具有优良的性能。此外,金属材料品种繁多,性能各不相同,还可通过不同的加工方法,例如热处理(以不同的加热、保温和冷却的过程,改善金属性能的工艺),使金属材料的某些性能获得进一步改善,从而扩大其适用的范围。

作为机械制造业的技术工人,无论是从事机械制造或维修工作,都会遇到金属材料的选用及热处理问题。在生产中,选择材料制造机械零件时,如果选材不当,或者零件的加工过程及热处理工序安排不合理,则零件的性能不仅不能满足加工和使用的要求,而且还会带来很大的经济损失或严重的人身事故。为此,我们必须掌握常用金属材料的成分、加工方法(尤其是热处理)、组织、性能、用途之间相互联系的基本知识,并运用这些知识去解决实际生产中的具体问题。这就是我们学习本课程的主要目的。

金属材料与热处理是一门技术基础课,它的内容主要由以下五个部分组成。

(1) 钢铁的冶炼 介绍炼铁炼钢的实质及其生产过程,了解钢铁材料中常见杂质的来源。

(2) 金属的机械性能 介绍常用的机械性能指标及其测定的方法。

(3) 金属学的基础知识 介绍金属和合金的晶体构造及结晶过程,以及金属的成分、温度和组织之间的变化规律。

(4) 钢的热处理 介绍钢热处理的基本理论及各种热处理的目的和方法。

(5) 金属材料 介绍碳钢、合金钢、铸铁、有色金属及硬质合金等金属材料的牌号、成分、组织、热处理、性能及用途。

另外,还简单介绍了钢的火花鉴别及金属的腐蚀和防腐方法等内容。

金属材料与热处理是从生产实践中创造和发展起来并为生产实践服务的一门学科。我国在这方面很早就取得了辉煌的成就。

我国是世界上最早使用金属材料的国家之一。根据对大量出土文物的考证,表明我国在公元前十六世纪以前就开始使用金属材料。殷商时代(公元前16世纪~前1066年),在生产工具、武器、生活用具及礼器等方面已大量使用青铜。如重达875公斤的司母戊大鼎,它不仅体积庞大,而且花纹精巧,造型美观,说明当时已具有高超的冶铸技术和精湛的艺术造诣。我国在两千五百多年前的春秋中期(公元前700~前600年)已开始熔炼铸铁,到战国(公元前403~前221年)时,铸铁的生产和应用已显著扩大,这比欧洲最早使用铸铁的时间约早两千多年。

在热处理技术方面,我国人民也作出了很大的贡献。根据历史资料,远在西汉时就有“水与火合为淬^①”;东汉时有“清水淬其锋”等有关热处理技术方面的记载。从出土的文物中,

① “淬”与“淬”为同义字。现都用“淬”。

有西汉的钢剑、书刀等，经金相检验，发现其内部组织接近于淬火马氏体及渗碳组织。这说明我国在西汉时已相继采用各种热处理方法，并已具有相当高的水平。

由上可见，我国早在欧洲工业革命之前，就已在金属材料的生产与热处理技术方面，取得了很大的成就。但由于长期的封建社会制度，阻碍了劳动人民的智慧和创造性的发挥，加上近百年来帝国主义的侵略和压迫，以及半封建、半殖民地的反动统治，使我国的工业与科学技术处于落后的状态。解放后，在中国共产党的领导下，全国人民团结一致，发奋图强，以最大的聪明才智，进行了创造性的劳动，各行各业都取得了空前伟大的成就，从而结束了我国科学技术长期停滞不前的落后局面。今后，在金属工作者的不断努力下，随着新技术、新工艺、新设备的日益推广应用，我国在金属材料与热处理科学技术方面，必定会取得更大的成就，并在不久的将来能赶上或超过世界先进水平。

金属材料与热处理是一门与生产实际联系比较密切的课程，也是学习各门专业工艺学的基础。因此在学习时，不但要注意理论的系统性，而且更要重视理论联系实际，紧密结合生产，重视实验和参观，培养分析问题和解决问题的独立工作能力。

目 录

绪 论	(1)
第一章 钢铁的冶炼	(1)
§1.1 炼铁	(1)
§1.2 炼钢	(2)
习题	(5)
第二章 金属的机械性能	(6)
概述	(6)
§2.1 强度和塑性	(6)
§2.2 硬度	(10)
§2.3 冲击韧性及疲劳的概念	(13)
习题	(16)
第三章 金属的结构与结晶	(18)
§3.1 金属的晶体结构	(18)
§3.2 纯金属的结晶	(20)
§3.3 金属的同素异构转变	(23)
§3.4 实际金属的晶体缺陷	(24)
习题	(26)
第四章 金属的塑性变形和再结晶	(27)
§4.1 金属的塑性变形	(27)
§4.2 冷塑性变形对金属的性能与组织的影响	(29)
§4.3 回复与再结晶	(31)
§4.4 金属的热塑性变形	(32)
习题	(33)
第五章 合金	(34)
§5.1 合金相及组织的基本类型	(34)
§5.2 二元合金状态图	(36)
§5.3 铁碳合金状态图	(40)
习题	(51)
第六章 碳素钢	(53)
§6.1 常存元素对碳钢性能的影响	(53)
§6.2 碳素钢的分类	(54)
§6.3 碳素结构钢	(54)

§6.4 碳素工具钢	(57)
§6.5 铸钢	(57)
习题	(58)
第七章 钢的热处理	(60)
§7.1 钢在加热时的转变	(60)
§7.2 钢在冷却时的转变	(62)
§7.3 退火与正火	(67)
§7.4 钢的淬火	(69)
§7.5 钢的回火	(72)
§7.6 钢的表面热处理	(75)
§7.7 典型零件的热处理分析	(78)
习题	(80)
第八章 合金钢	(82)
§8.1 合金元素在钢中的作用	(82)
§8.2 合金钢的分类和牌号	(83)
§8.3 合金结构钢	(84)
§8.4 合金工具钢	(88)
§8.5 特殊性能钢	(90)
习题	(91)
第九章 铸铁	(93)
§9.1 铸铁的石墨化及其影响因素	(93)
§9.2 灰口铸铁	(94)
§9.3 可锻铸铁	(97)
§9.4 球墨铸铁	(99)
习题	(100)
第十章 有色金属及硬质合金	(102)
§10.1 铝及铝合金	(102)
§10.2 铜及铜合金	(106)
§10.3 钛及钛合金	(108)
§10.4 滑动轴承合金	(111)
§10.5 硬质合金	(113)
习题	(114)
第十一章 钢的火花鉴别	(115)
§11.1 火花鉴别的原理及火花名称	(115)
§11.2 火花鉴别方法	(117)
习题	(118)
第十二章 金属的腐蚀及防腐方法	(119)
§12.1 金属的腐蚀	(119)
§12.2 金属的防腐	(120)

习题	(121)
附表	(122)
附表1 压痕直径与布氏硬度值	(122)
附表2 黑色金属硬度及强度换算表	(122)
附表3 常用钢的临界点	(123)
附表4 热处理工艺代号及技术条件的表示方法 (GC 423—62)	(124)
附表5 常用塑料的特点和用途	(124)
附表6 常用橡胶的优缺点及用途	(125)
附表7 常用胶粘剂的特点和用途	(125)

第一章 钢铁的冶炼

钢铁材料是由铁、碳及硅、锰、磷、硫等杂质元素所组成的金属材料。铁在地壳中储藏量很大, 约占其总质量的4.7%。由于铁的资源丰富, 冶炼也比较方便, 特别是因为钢铁具有良好的性能, 因此在工农业及国防上应用得非常广泛。

钢铁的冶炼过程, 对其中杂质的来源及钢铁的性能有重要的影响。所以, 我们应对钢铁冶炼具有初步的认识。

§1.1 炼 铁

铁是化学性质很活泼的元素。自然界中的铁都以它的化合物形式存在, 其中多数是氧化物。含铁较多并且具有冶炼价值的矿物, 称为铁矿石。炼铁就是从铁矿石中提取铁及其他有用元素形成生铁的过程。

1. 炼铁的原料及其作用

炼铁的原料主要由铁矿石、燃料和熔剂三部分组成。

(1) 铁矿石 铁矿石是提供铁元素的主要物质。铁矿石里除含铁的氧化物外, 还含有脉石(SiO_2 、 Al_2O_3)和杂质(硫、磷等)。

常用的铁矿石有以下二种:

磁铁矿 它的主要化学成分是 Fe_3O_4 , 有磁性, 多为黑色。纯磁铁矿含铁72.4%, 由于有脉石及杂质的存在, 实际上它的含铁量约为40~70%。这种矿石质地坚硬而细密, 较难还原。

赤铁矿 它的化学成分是 Fe_2O_3 , 呈赤红色, 一般没有磁性。纯赤铁矿含铁70%, 实际上含铁约为40~65%。这种矿石质地较松, 较易还原。

(2) 燃料 炼铁的主要燃料是焦炭, 焦炭在熔炼过程中起着双重作用: 一方面, 焦炭燃烧产生的热量, 创造了熔炼过程所必需的高温; 另一方面, 碳本身及碳燃烧生成的一氧化碳都是很好的还原剂。因此, 焦炭的燃烧为炼铁过程提供了必要的条件。

(3) 熔剂 矿石中的脉石及燃料中的灰分, 熔点都很高, 为了使还原出的铁与它们分开, 必须加入熔剂, 使其与脉石及灰分互相作用, 造成熔点低、流动性好和比重小的熔渣, 从而使铁分离出来。

常用的熔剂主要是石灰石(CaCO_3)。

2. 高炉冶炼过程

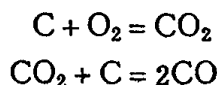
为了使铁矿石中的铁和氧分离, 必须把铁从氧化物中还原出来, 因此炼铁的过程, 实质上就是还原的过程。现代炼铁过程是在高炉内进行的。

(1) 高炉炼铁的基本过程 图1.1为高炉示意图。矿石、燃料及熔剂按一定的比例组成炉料, 从炉顶装入炉内, 直到炉喉。由风口送入的热风, 与焦炭燃烧产生很大的热量及高温的炉气, 使炉温升高。炉气与炉料先后发生一系列反应, 最后形成生铁和炉渣。生成的铁水

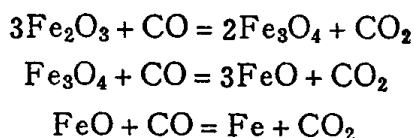
和炉渣积蓄在炉缸里，当达到一定数量时，分别从出铁口及出渣口排出炉外。

(2) 高炉冶炼的基本反应

①燃料的燃烧 高炉内炽热的焦炭与空气里的氧强烈燃烧生成二氧化碳并放出大量的热。二氧化碳在高温下遇焦炭又被还原成一氧化碳。其反应如下：



②铁的还原和生铁的生成 矿石中的氧化物被一氧化碳逐步还原，直至还原成纯铁(海绵状态的铁)。其反应式如下：



还原出来的纯铁，在高温下吸收一部分碳和少量的锰、硅、硫、磷等杂质生成低熔点的生铁，熔化为铁水。

③熔剂的分解与造渣 熔剂(CaCO_3)在高温下发生分解：



矿石中的脉石和焦炭中的灰分的主要成分是 SiO_2 ，它与 CaO 作用，形成熔点低、比重小的炉渣：



熔融的生铁和炉渣都流入炉缸，由于炉渣比生铁轻，所以浮在生铁上面。待渣、铁在炉缸中积存到一定数量后，分别从出渣口、出铁口排出。同时由炉顶不断地装入炉料，维持高炉连续不停地工作。

3. 高炉的产品

高炉的主要产品是生铁。它是以铁碳为主(其含碳量大于2.11%)，并含有少量硅、锰、硫、磷等杂质的合金。

高炉生铁主要有两种：

(1) 铸造生铁 主要用于铸造工业，一般要求含Si量高。这类生铁的断口呈暗灰色，故又称为灰口铸铁。

(2) 炼钢生铁 主要用作炼钢的原料。这类生铁的断口呈白亮色，故又称为白口铸铁。高炉的副产品是煤气和炉渣，煤气是良好的燃料，炉渣可制建筑材料，用途都很广泛。

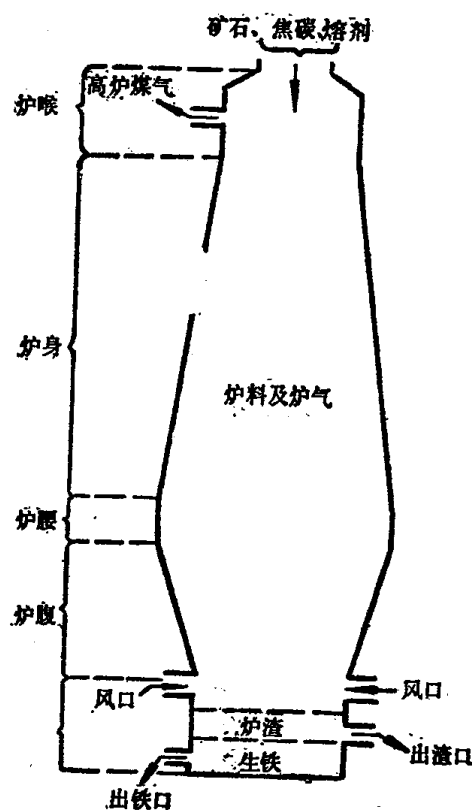


图1·1 高炉示意图

§1·2 炼 钢

生铁虽然用途较广，但由于其性能较脆，有一定的局限性。因此，应用更为广泛的是钢。

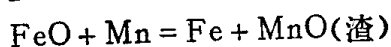
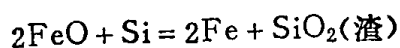
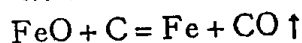
1. 炼钢的基本原理

炼钢的主要原料是生铁，生铁和钢的最主要区别在于含碳量不同，生铁的含碳量大于2.11%，而钢的含碳量小于2.11%。另外，生铁中的硅、锰、硫、磷等杂质含量也比钢高。

因此,要将生铁炼成钢,必须减少生铁中碳及硅、锰、硫、磷的含量。减少它们的方法是氧化,所以,炼钢过程实质上是杂质氧化的过程。

现代工业炼钢方法是在1500~1700℃的高温下,把炉料熔化成液体,然后吹入空气、氧气或加入其他物质(如铁矿石)为氧化剂,氧化炉料中的杂质。进入铁液中的氧首先与铁生成氧化亚铁(FeO),然后FeO再与其他元素反应,使它们氧化,从而使炉料变为成分合格的钢水。其主要反应如下:

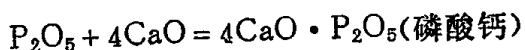
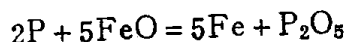
(1) 碳、硅、锰的氧化 生铁中的碳、硅、锰和氧化亚铁作用,生成的氧化物(一氧化碳、二氧化硅、二氧化锰),以气体或炉渣的形式被排除。其反应式如下:



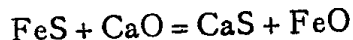
其中硅、锰在氧化时放出大量的热,可作为炼钢的热源。

(2) 去磷、去硫 磷、硫在钢中通常是有害的,炼钢时必须尽可能的除去。

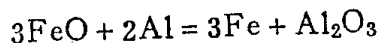
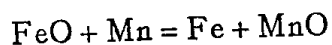
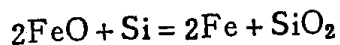
生铁中的磷,先与FeO作用生成 P_2O_5 ,再与加入的石灰作用,形成磷酸钙进入炉渣,其反应式为:



硫在铁中以FeS的形式存在,FeS与加入的造渣剂石灰作用生成硫化钙进入渣中,其反应式为:



(3) 钢的脱氧 向铁液中供入的氧,使碳、硅、锰等杂质氧化的同时,铁也被氧化。因而当碳及杂质氧化至所需程度时,钢液中却溶入了过多的氧,必须经过脱氧,才能获得合格的钢。常用的脱氧剂有硅铁(Fe-Si合金)、锰铁(Fe-Mn合金)和铝。脱氧剂在钢水中进行下列反应:



脱氧形成的 SiO_2 、 MnO 、 Al_2O_3 都浮到渣中除去。当钢液的成分与温度均达到规定要求时,便可出钢。

2. 炼钢方法

现代炼钢方法主要有转炉、平炉及电炉炼钢法三种。根据炉衬耐火材料的性质,各种炼钢炉又可分为酸性炉(炉衬的主要成分为二氧化硅)和碱性炉(炉衬的主要成分为氧化镁、氧化钙)两种。现在世界各国主要采用碱性炉衬。

(1) 转炉炼钢法 转炉炼钢法是利用纯氧气或空气吹入铁水中,使其中的碳、硅、锰、磷等元素氧化除去,并靠某些元素氧化时放出的热量升高铁水温度,从而得到成分、温度合格的钢水的炼钢方法。图1·2a为氧气顶吹转炉示意图。

转炉炼钢法不消耗外部燃料,冶炼时间短(几十分钟一炉),生产率高,钢的品种多、质量好、成本低、投资少,所以广泛采用。

(2) 平炉炼钢法 平炉炼钢法是利用煤气、天然气或重油等燃料燃烧的热,使炉料熔化,

靠炉气中的氧和加入的铁矿石使铁水中的杂质氧化，从而得到成分、温度合格的钢水。图1·2b为平炉示意图。

平炉炼钢法原料条件可以放宽，冶炼过程容易控制，钢的品种、质量和转炉相近，但由于冶炼时间长(几小时一炉)，生产率低，逐渐为转炉所取代。

(3) 电炉炼钢法 电炉炼钢法是利用电能作热源的炼钢方法。常用的电炉有电弧炉和感应炉两种。图1·2c为电弧炉示意图。

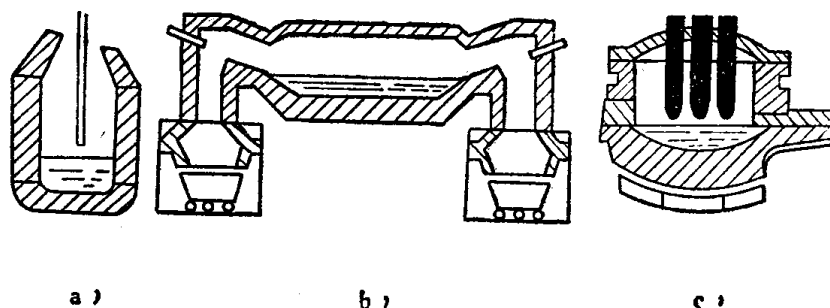


图1·2 炼钢炉示意图

a—氧气顶吹转炉 b—平炉 c—电炉

电弧炉炉盖上开有三个圆孔，插入石墨电极。通电时，电极与炉料之间产生电弧，依靠电弧发出的热量将炉料熔化。然后加入铁矿石氧化其中的杂质，加入石灰等造渣剂去除硫、磷，得到成分、温度合格的钢水。

电弧炉炼钢法依靠电弧发热，炉内温度高，可以冶炼难熔的合金钢。炉内气氛及炉渣成分容易调节，除硫、除磷很彻底，钢的质量优良。但因消耗电能，钢的成本高。

三种炼钢方法的原料、特点及产品见表1·1。

表1·1 三种炼钢方法的特点与产品

炼钢方法	热 源	主 要 原 料	主 要 特 点	产 品
氧气转炉	氧化反应的化学热	液态炼钢生铁、废钢	冶炼速度快，生产率高，钢的品种、质量与平炉大致相当	碳素钢和 低合金钢
平 炉	煤气、天然气、重油	炼钢生铁、废钢	容量大，炉料中废钢比例大，冶炼时间长，工艺过程容易控制	
电 弧 炉	电 能	废 钢	炉料通用性大，炉内气氛可以控制，脱氧良好，能冶炼难熔的合金钢，钢的质量优良，品种多样化	合 金 钢

3. 钢的浇注方法

钢水炼成后，除少数直接铸成铸件外，绝大部分都要浇注成钢锭，然后轧成各种钢材。浇注钢锭是炼钢生产的最后一个环节，这一环节的好坏对钢材的质量有重要影响。

钢的浇注方法有模铸法和连铸法两种。

(1) 模铸法 图1·3a、b是模铸法的示意图。钢水浇入一定形状的钢锭模中，凝固后脱去钢锭模，即得钢锭。

模铸法设备复杂、工序多、劳动强度大、钢水损失多、钢锭质量差，应尽量用连铸法取代。

(2) 连铸法 图1·3c是连铸法示意图。钢水通过中间罐连续地注入水冷结晶器中，钢液的热量被流经结晶器器壁的冷却水迅速带走，形成一定厚度的坯壳，接着通过拉坯机拉出结

晶器，坯壳进入二次冷却区后再直接喷水冷却，使坯壳内的钢液全部凝固而成钢坯，经矫直后由切割机切成一定的长度，送去轧制。

连铸法的成材率和机械化程度高，便于自动化生产，劳动强度低，生产率高，是先进的铸锭方法。

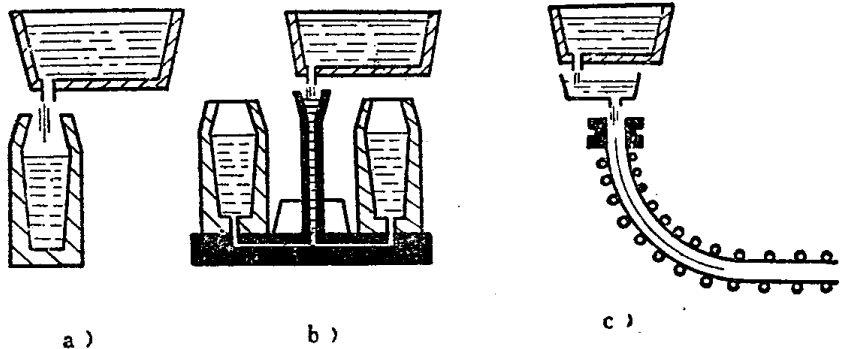


图1.3 钢锭浇注示意图
a、b—模铸法 c—连铸法

4. 镇静钢、半镇静钢与沸腾钢

根据钢水的脱氧程度不同，可将钢锭分为镇静钢、半镇静钢和沸腾钢三类。

镇静钢 钢液在浇注前用锰铁、硅铁和铝进行充分脱氧，钢水在钢锭模内平静地凝固。这种钢锭化学成分均匀，组织比较致密，质量较高。但由于钢锭头部形成集中缩孔，轧制时需要切除，钢的损失多。

沸腾钢 钢液在熔炼末期仅用锰铁进行脱氧，钢液中残留的氧，在钢锭模内继续和碳反应形成CO，使钢液沸腾。这种钢锭不产生集中缩孔，切头损失少。但是，钢的成分不均匀，组织不致密，质量较差。

半镇静钢的情况是介于镇静钢和沸腾钢两者之间。

表1.2所示为镇静钢和沸腾钢的脱氧程度、特点和机械性能。

表1.2 镇静钢和沸腾钢的特点和性能

项 目	镇 静 钢	沸 腾 钢
脱氧程度	脱氧完全，基本上无CO气泡产生，钢液保持平静	脱氧不完全，产生大量的CO气泡，钢液有明显的沸腾现象
特 点	表面质量一般，偏析较轻	表面质量良好，偏析较严重
机械性能	冲击韧性良好	冲击韧性较差
	在条件相同的情况下，强度与延伸率大致相同	

习 题

1. 炼铁的主要原料有哪些？它们各有什么作用？
2. 试述炼铁过程的实质及高炉的主要产物。
3. 炼钢过程的实质是什么？目前主要的炼钢方法有哪几种？根据炉衬材料性质的不同，它们又可分为哪两种？
4. 钢的浇注方法有哪几种？按脱氧程度的不同，钢锭可分为哪几类？
5. 试述钢铁材料中的主要杂质及其来源。

概 述

所谓**机械性能**(或称**力学性能**)是指金属材料在外力作用下所表现的抵抗能力。它包括**强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度**等几方面。

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷(或称负载、负荷)。根据载荷作用性质的不同,又可分为静载荷、冲击载荷及交变载荷等。

静载荷 是指大小不变或变动很慢的载荷。

冲击载荷 是指突然增加的载荷。

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，也称变动载荷。

金属材料受载荷作用而发生的尺寸和形状的变化称为变形。根据载荷作用方式的不同，可分为拉伸、压缩、剪切、扭转和弯曲等五种变形形式，如图 2·1 所示。

在外力作用下，材料在发生变形的同时，其内部原子间还会产生阻止变形的抗力，称为**内力**，其数值大小与外力相等。单位面积上的内力大小称为**应力**。可用下式来计算：

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{帕〔斯卡〕} \textcircled{1}$$

式中 P ——外力，单位为牛〔顿〕②；
 F ——横截面面积，单位为米²；
 σ ——应力，单位为帕。

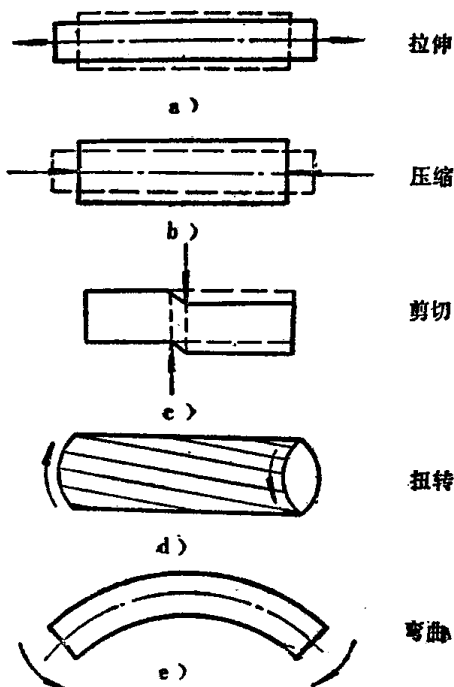


图2·1 变形形式

§2·1 强度和塑性

1. 强度

强度是金属材料在静载荷作用下，抵抗变形和破坏的能力。抵抗能力越大，则强度越

① 应力的法定单位是帕斯卡, 简称帕, 单位符号为Pa, $1\text{帕(Pa)} = 1\text{牛/米}^2(\text{N/m}^2)$, $1\text{千克力/毫米}^2(\text{kgf/mm}^2) = 9.8\text{牛/毫米}^2(\text{N/mm}^2) = 9.8 \times 10^6\text{帕(Pa)}$

② 力的法定单位是牛顿，简称牛，单位符号为N。1千克力(1kgf) = 9.8牛(N)。

高。根据载荷作用方式的不同，强度可分为抗拉、抗压、抗剪、抗扭和抗弯等五种。其中以静拉伸强度最易测得。为了测试此项性能，需要把材料制成试样，然后安装在拉伸试验机上进行拉伸试验。

(1) 拉伸试样 拉伸试样的形状通常有圆形和板状两类。在国家标准(GB228-76)中，对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。图2·2所示的为圆形拉伸试样。

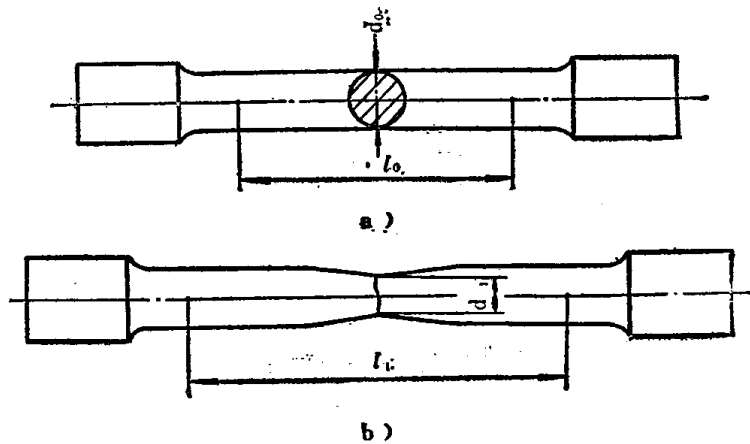


图2·2 圆形拉伸试样

图中 d_0 是试样的直径。 l_0 为标距长度，是指试样计算时的有效长度。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 将试样安装在拉伸试验机上，缓慢地加载，随时记录载荷与变形量的数值，直至试样拉断为止。然后将记录的数值绘在以载荷为纵坐标、变形量为横坐标的图上，连接各点所得的曲线即为拉伸曲线。图2·3为低碳钢的拉伸曲线。

由图可见，低碳钢试样在拉伸过程中，其载荷与变形的关系有以下几个阶段。

oe——弹性变形阶段。当作用在试样上的载荷较小，在 P_e 范围内时，随载荷的增加，试样产生变形而伸长。这时如果去除载荷，变形也完全消失。这种随载荷的作用而产生，随载荷的去除而消失的变形，称为弹性变形。

es——微量塑性变形阶段。载荷超过 P_e 后，试样进一步发生变形，此时若去除载荷，绝大部分变形随之消失(弹性变形部分)，但是留下了部分(微量)变形不能消失，这种不能随载荷的去除而消失的变形，称为塑性变形。

ss'——屈服阶段。载荷增大到 P_s 时，载荷保持不变而试样的变形继续增加，这种现象称为屈服现象。这时在拉伸曲线上出现水平线段(或锯齿形线段)。

s'b——均匀变形阶段。载荷超过 P_s 后，材料开始发生大量的塑性变形。同时为使变形量增加，载荷也必须增加，直到b点。此阶段试样的变形是沿着试样标距长度均匀发生的。

bz——颈缩阶段。当载荷达到 P_b 时，试样的直径发生局部收缩，称为颈缩现象，此后试样的变形也局限在颈缩部分。由于试样的局部截面逐渐减小，使试样变形所需要的载荷也

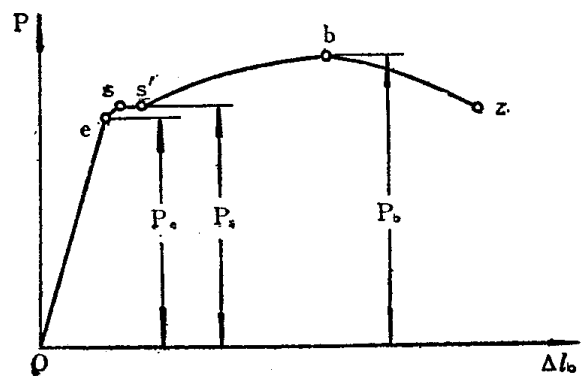


图2·3 低碳钢的拉伸曲线