



现代

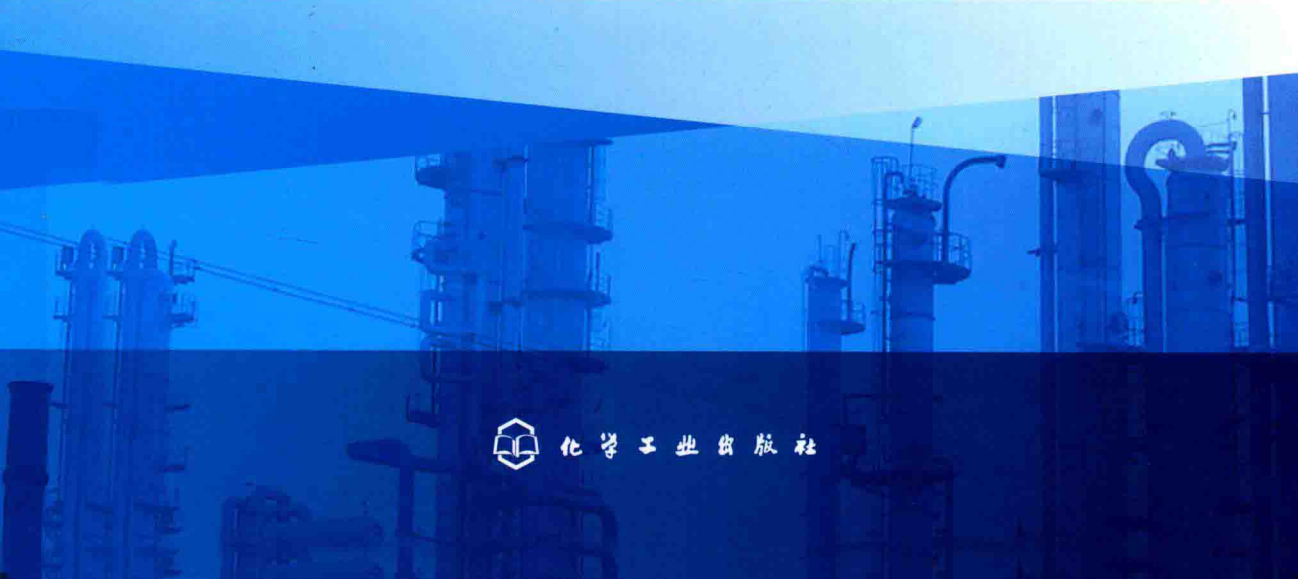
工业腐蚀与防护

李宇春 主编

XIANDAI
GONGYE FUSHI YU FANGHU



化学工业出版社



现代 工业腐蚀与防护

李宇春 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统地介绍了金属材料在工业领域的新型腐蚀特点及防腐技术。其主要内容包括材料的概念、分类及特点,金属腐蚀的典型分类及工业案例,金属腐蚀程度的表征及研究试验方法,电力系统的腐蚀及防护,石油化工系统的腐蚀及防护,机械航空系统的新型防腐技术,金属材料的腐蚀监测及失效分析,防腐工程的行业特点及腐蚀评估。本书内容翔实,案例典型,实用性、针对性较强。

本书可供材料科学与工程、化学工程与技术、机械设备与制造、表面工程技术人员阅读,也可供相关专业的在校师生和研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代工业腐蚀与防护/李宇春主编. —北京:化学工业出版社, 2018.5
ISBN 978-7-122-31783-4

I. ①现… II. ①李… III. ①工业设备-腐蚀-研究
②工业设备-防腐-研究 IV. ①TG17②TB4

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第053044号

责任编辑:李琰 宋林青
责任校对:宋玮

装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印刷:三河市航远印刷有限公司
装订:三河市瞰发装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张12 $\frac{1}{4}$ 字数278千字 2018年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.00元

版权所有 违者必究

前言

现代工业腐蚀与防护是关系到电力、石化、航空等行业设备运行的非常关键的环节，涉及整个企业的安全、稳定和经济运行，必须引起高度的重视。

《现代工业腐蚀与防护》汇总了工业防腐蚀技术最新发展及其工程应用，《现代工业腐蚀与防护》重点以电力系统（含燃煤电厂、生物质电厂、核电厂、电网输变电系统）、石油化工系统（含化工厂、炼油厂、油田开采企业）及机械航空系统（含机器人制造企业、航空发动机生产企业、航空材料生产企业）为应用背景，详细分析了金属在特殊条件下发生的腐蚀过程、特点及该领域最新研发的防腐蚀方法及技术。

本书编写组不仅长期从事工业领域金属材料腐蚀防护的教学及研发工作，而且有着与电力、石油、化工、机械制造、航空等行业紧密合作多年的渊源。在本书的编写过程中，得到很多同事和朋友的大力关心与支持，参与编写的人员有：张芳、易球、刘思佳、刘梦、李湘川及李文峥等，本书的编写受到了长沙理工大学十三五校级专业综合改革项目（应用化学）的大力支持，在此表示衷心的感谢。

《现代工业腐蚀与防护》适用于化学工程与工艺、应用化学、材料科学与工程、机械设计与制造、能源动力工程等专业。

由于笔者的水平能力有限，编写时间仓促，书中难免有疏漏与不足之处，望读者不吝批评指正。

编者

2018年2月

目 录

第一章 材料的概念、分类及特点 / 1

第一节 材料概况	1
第二节 铁碳合金的分类	2
第三节 金属的牌号及命名	7
第四节 金属的力学性能	9
第五节 铁碳合金的金相组织及热处理	10
作业练习	13

第二章 金属腐蚀的典型分类及工业案例 / 15

第一节 化学腐蚀及其工业案例	15
第二节 电化学腐蚀及其特征	24
第三节 腐蚀形态分类	26
第四节 金属在海水中的腐蚀与特征	28
第五节 海岸环境工程的腐蚀及防护	32
作业练习	35

第三章 金属腐蚀程度的表征及研究试验方法 / 36

第一节 金属腐蚀速率的表示法	36
第二节 金属腐蚀的防止方法	38
第三节 工程常用的防腐技术	40
第四节 金属腐蚀的试验方法	43
作业练习	45

第四章 电力系统的腐蚀及防护 / 46

第一节	电力系统设备概况及其金属材料	46
第二节	氧闭塞腐蚀电池及其危害	52
第三节	二氧化碳酸性腐蚀及防护	67
第四节	生物质锅炉的高温烟气腐蚀	78
第五节	核电不锈钢的晶间腐蚀与防护	83
作业练习		88

第五章 石油化工系统的腐蚀及防护 / 90

第一节	石油化工系统的金属材料	90
第二节	石化炼油系统水冷器防腐蚀新技术	96
第三节	高压聚乙烯装置腐蚀及其防护	101
第四节	油田注水系统的腐蚀与防护	106
作业练习		112

第六章 机械航空系统的新型防腐技术 / 113

第一节	机械航空系统的金属材料	113
第二节	航空器材料腐蚀磨蚀及其防护技术	120
第三节	航空铝合金的腐蚀机理及影响因素	127
第四节	航空表面涂层技术的应用与发展	132
第五节	工业机器人材料及其防腐蚀新技术	137
作业练习		144

第七章 金属材料的腐蚀监测及失效分析 / 145

第一节	腐蚀监测	145
第二节	腐蚀监测的经典方法	150
第三节	金属缝隙及管道泄漏监测技术	155
第四节	应力腐蚀开裂的监测	159
第五节	新型腐蚀监测方法	161
第六节	腐蚀失效分析	166
作业练习		167

第八章 防腐工程的行业特点及腐蚀评估 / 169

第一节	防腐蚀的必要性	169
-----	---------	-----

第二节 腐蚀调查----- 170

第三节 典型工业行业的腐蚀危害----- 172

第四节 风险评估----- 178

第五节 工业行业腐蚀的风险评估----- 181

作业练习----- 185

第一章

材料的概念、分类及特点

第一节 材料概况

一、材料的概念

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其它产品的物质。材料是人类赖以生存和发展的物质基础。20 世纪 70 年代人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。20 世纪 80 年代以高技术群为代表的新技术革命，又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。这主要是因为材料与国民经济建设、国防建设和人民生活密切相关。

材料除了具有重要性和普遍性以外，还具有多样性。由于材料多种多样，分类方法也就没有统一标准。

二、材料分类

从物理化学属性来分，材料可分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和不同类型材料所组成的复合材料。从用途来分，材料又分为电子材料、航空航天材料、核材料、建筑材料、能源材料等。按部位分类就是按材料在空间的使用部位来将材料分类，如建筑材料又可分为内墙材料、外墙材料、顶棚材料和地面材料等；但这种分法确立之后，会遇到一种材料既可以用到室内，也可以用到室外。在室内，一种材料既可以用地面、墙面，又可以用到顶棚上去，如石材、涂料等。如果一块石片贴到顶棚、墙面、地面上，人们就会对这些材料的分类归属产生疑问。由此看来，要想把材料分清楚，只有从材料的本质及化学组成

上来分。

更常见的分类方法则是将材料分为结构材料与功能材料。结构材料是以力学性能为基础,来制造受力构件所用材料,当然,结构材料对物理或化学性能也有一定要求,如光泽、热导率、抗辐照、抗腐蚀、抗氧化等。功能材料则主要是利用物质的独特物理、化学性质或生物功能等形成的一类材料。

还有一种分类方法是将材料分为传统材料与新型材料。传统材料是指已经成熟且在工业中已批量生产并大量应用的材料,如钢铁、水泥、塑料等。这类材料由于其量大、产值高、涉及面广,又是很多支柱产业的基础,所以又称为基础材料。新型材料(先进材料)是指正在发展且具有优异性能和良好应用前景的一类材料。

三、金属材料分类及生产情况

金属材料分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属指铁、锰、铬等金属,一般情况下主要指铁碳合金,包括铸铁、钢及工业纯铁。其中的钢主要是用作房屋、桥梁等的结构材料。在2001年到2011年的11年间,中国粗钢年产量由1亿多吨上升到了6亿吨,居世界第一。

有色金属包括铝及其合金、铜及其合金、金、银等。中国国家统计局2012年1月17日公布数据显示,中国2011年精炼铜产量为517.9万吨,较2010年增长14.2%。我国铜的产量和消费量居全世界第一,围绕着铜的加工产业是庞大的,仅仅一个电缆行业的年产值就约有9000亿元。

中国电解铝产能自2001年以433万吨跃居世界第一以来,已经连续十多年稳居世界第一。2011年,中国铝产量增长11.2%至1755.5万吨。2011年中国铝产品产量再创历史新高,其中电解铝以1806万吨的产量连续11年居世界第一,约占全球总产量的40%。

2011年中国锌产量增长3.8%至534.4万吨,其中12月锌产量为514000吨,创月度产量纪录高位。2009年我国铅锌总产量达806.46万吨,占我国10种有色金属总产量的30.95%,其中铅产量连续8年、锌产量连续18年位居世界第一。

第二节 铁碳合金的分类

一、基本分类

铁碳合金根据含碳量及组织划分可以分为三类,即工业纯铁、钢及铸铁。

1. 工业纯铁

含碳量小于0.0218%,室温显微金相组织为 α 相。

2. 钢

含碳量介于 0.0218%~2.11% 之间, 其特点是塑性好、可进行锻造、轧制等压力加工, 加热至高温时可以获得均匀的单相奥氏体组织。

碳钢也叫碳素钢, 指含碳量小于 2.11% 的铁碳合金。碳钢除含碳外一般还含有少量的硅、锰、硫、磷, 按用途可以把碳钢分为碳素结构钢、碳素工具钢和易切削结构钢三类。

碳素结构钢又分为建筑结构钢和机器制造结构钢两种。按含碳量可以把碳钢分为低碳钢 ($w_C \leq 0.25\%$)、中碳钢 ($w_C = 0.25\% \sim 0.6\%$) 和高碳钢 ($w_C > 0.6\%$); 按磷、硫含量可以把碳素钢分为普通碳素钢 (含磷、硫较高)、优质碳素钢 (含磷、硫较低) 和高级优质钢 (含磷、硫更低)。一般碳钢中含碳量越高, 则硬度越高, 强度也越高, 但塑性较低。

3. 铸铁

含碳量介于 2.11%~6.69% 之间, 其特点是结晶时有共晶反应, 铸造性能较好, 熔点低, 减摩性、耐磨性好, 生产工艺简单, 成本低; 在各类机械中, 铸铁占有总金属材料重量的比例达到 40%~70%。铸铁主要包含 Fe, C, Si, Mn, S, P 等元素。

二、碳素结构钢

碳素结构钢根据质量分为普通碳素结构钢和优质碳素结构钢。

1. 普通碳素结构钢

普通碳素结构钢平均含碳量 $w_C = 0.06\% \sim 0.38\%$, 钢中的有害物质和非金属夹杂物较多。通常是轧制成钢板或各种型材 (圆钢、方钢、工字钢、钢筋) 等。

普通碳素结构钢的牌号用代表屈服点的汉语拼音字母+屈服点数值+质量等级符号+脱氧方法符号等表示。牌号中“Q”表示“屈”, A、B、C、D 表示质量等级, 它反映碳素结构钢中有害杂质 (磷、硫) 含量的多少, 其中 C、D 级磷、硫含量最低, 质量好, 可作为重要焊接结构钢。

主要牌号包括 Q195、Q235A、Q255B、Q275C 等。

2. 优质碳素结构钢

硫、磷含量很低, 非金属夹杂物也较少, 一般是在热处理后使用。

优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示: 数字表示钢中平均碳质量分数的一万倍, 如 40 钢表示含碳量为 0.40%。根据钢中锰的含量不同, 优质碳素结构钢分为普通含锰量钢 ($w_{Mn} < 0.80\%$) 和较高含锰量钢 ($w_{Mn} = 0.70\% \sim 1.00\%$)。

3. 碳素工具钢

碳素工具钢要求有高硬度和高耐磨性, 而且必须经淬火和低温回火, 如 T7、T8 等。

碳素工具钢的牌号是用字母“T” (为碳的汉语拼音)+数字 (表示钢中平均碳含量分数的一千倍) 表示, 碳素工具钢都是优质钢, 若为高级优质碳素工具钢, 则在钢后面加字母“A”, 如 T7A。

4. 铸造碳钢

“ZG”系“铸钢”二字汉语拼音字首，例如 ZG200-400，后面第一个数字为屈服强度（MPa），第二个数字为抗拉强度（MPa）。

三、铸铁

铸铁是含碳量大于 2.11% 的铁碳合金（一般不超过 4.3%），并含有硅、锰等元素以及硫、磷等杂质。铸铁可以按照碳的存在形式及石墨形态的不同分类，具体分类见图 1-1。

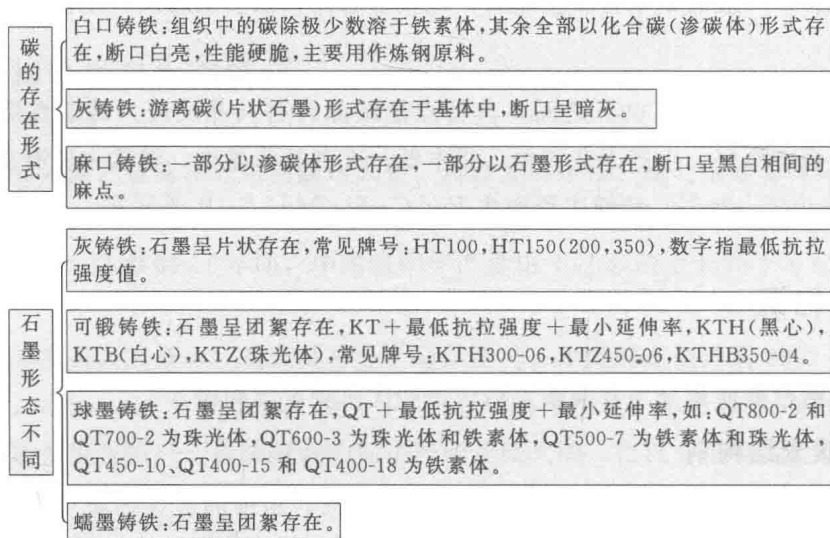


图 1-1 铸铁分类示意

1. 铸造的分类

铸造可按金属液的浇注工艺分为重力铸造和压力铸造。

重力铸造是指金属液在地球重力作用下注入铸型的工艺，也称浇铸。广义的重力铸造包括砂型铸造、金属型铸造、熔模铸造、泥模铸造等；狭义的重力铸造专指金属型铸造。

压力铸造是指金属液在其它外力（不含重力）作用下注入铸型的工艺。广义的压力铸造包括压铸机的压力铸造和真空铸造、低压铸造、离心铸造等；狭义的压力铸造专指压铸机的金属型压力铸造，简称压铸。这几种铸造工艺是目前金属铸造中最常用的且相对价格最低的。

金属型铸造是用耐热合金钢制作铸造用中空铸型模具的现代工艺。金属型铸造既可采用重力铸造，也可采用压力铸造。金属型的铸型模具能反复多次使用，每浇注一次金属液，就获得一次铸件，寿命很长，生产效率很高。金属型的铸件不但尺寸精度好、表面光洁，而且在浇注相同金属液的情况下，其铸件强度要比砂型铸造的铸件更高，更不容易损坏。因此，在大批量生产有色金属的中、小铸件时，只要铸件材料的熔点不过高，一般都优先选用

金属型铸造。但是，金属型铸造也有一些不足之处：因为耐热合金钢和在它上面做出中空型腔的加工都比较昂贵，所以金属型铸造的模具费用不菲，不过总体费用和压铸模具费用比起来则便宜。

此外，金属型模具虽然采用了耐热合金钢，但耐热能力仍有限，一般多用于铝合金、锌合金、镁合金的铸造，在铜合金铸造中已较少应用，而用于黑色金属铸造的就更少。

2. 炼钢生铁和铸造生铁的区别

炼钢生铁和铸造生铁的相同点是都可以炼钢。但铸造生铁贵，炼钢不划算。

炼钢生铁含硅量不大于 1.7%，碳以 Fe_3C 状存在。故硬而脆，断口呈白色。

铸造生铁中的硅含量为 1.25%~3.6%。碳多以石墨状态存在。断口呈灰色。质软、易切削加工。

在高炉中刚从矿石中炼出来的铁水含碳量和杂质都较高，可以用来铸成生铁块送到转炉去炼钢，通常炼钢的时候还要加些含碳量较低的废铁，这种铁水也可以进一步冶炼去掉某些杂质（包括进一步脱碳）和使渗碳体分解（碳化物，为此有时会加入硅，这时候炼钢的时候需要考虑硅含量是不是允许）呈石墨状态析出，用作浇铸铸件（铸铁）。

生铁的含碳量高，在过共晶的范围；铸铁的含碳量低，在亚共晶的范围。

它们进一步冶炼降碳（包括掺低碳的废铁），含碳量进一步降低就成了钢。钢中也常加入其它合金元素，通过冶炼调节钢中的合金元素（包括碳）的比例关系，就炼成了各种型号的钢，这种过程就是炼钢。可见生铁和铸铁都能炼钢用。

钢再降碳就成了纯铁，也叫熟铁。熟铁很软。生铁炼到熟铁主要就是碳含量的降低。

四、合金钢

合金钢按照主要用途可以分为合金结构钢、合金工具钢及特殊性能钢。

合金结构钢主要用于制造重要的机械零件和工程结构等；合金工具钢主要用于制作重要刀具、量具、模具等；特殊性能钢具有某种特殊物理性能、化学性能，如不锈钢、耐热钢、耐磨钢等。

按合金元素含量可以把合金钢分类，包括低合金钢（ $w_{\text{Me}} < 5\%$ ）、中合金钢（ $w_{\text{Me}} < 5\% \sim 10\%$ ）、高合金钢（ $w_{\text{Me}} > 10\%$ ）。

1. 普通低合金结构钢

在热轧、空冷状态使用，组织为珠光体加铁素体，要求焊接性、塑性及韧性都好，所以含碳量很低，一般 w_{C} 在 0.10%~0.25% 之间。

为了提高钢的强度，加入溶于铁素体起固溶强化的元素锰、硅；另外，还可以加入钒、钛等元素，主要是细化晶粒，进一步提高钢的强度和塑性；加入铜、磷等可提高钢材对大气压的抗腐蚀能力。

普通低合金结构钢的常见牌号包括 16Mn、16MnNb、14MnVTiRE 及 15MnVN。

2. 超高强度钢

超高强度钢是用于制造承受较高应力结构件的一类合金钢。一般屈服强度大于 1180MPa、抗拉强度大于 1380MPa，这类钢一般具有足够的韧性及较高的比强度和屈强比，还有良好的焊接性和成形性。

按照合金化程度和显微组织，超高强度钢可分为低合金超高强度钢、中合金超高强度钢和高合金超高强度钢三类。超高强度钢主要用于航空和航天工业。

3. 合金工具钢

合金工具钢是在碳素工具钢基础上加入铬、钼、钨、钒等合金元素以提高淬透性、韧性、耐磨性和耐热性的一类钢种。它主要用于制造量具、刀具、耐冲击工具和冷、热模具及一些特殊用途的工具。

五、不锈钢

所有金属都和大气中的氧气进行反应，在表面形成氧化膜。不幸的是，在普通碳钢上形成的氧化铁还可继续进行氧化，使锈蚀不断扩大，最终形成孔洞。可以利用油漆或耐氧化的金属（例如锌、镍和铬）进行电镀来保证碳钢表面，但是，这种保护仅是一种薄膜。如果保护层被破坏，下面的钢便开始锈蚀。

特殊性能钢具有特殊物理性能或化学性能，用来制造除要求具有一定的机械性能外，还要求具有特殊性能的零件。其种类很多，机械制造中主要使用不锈钢耐酸钢、耐热钢、耐磨钢。不锈钢是属于一种特殊性能的合金钢。

不锈钢耐酸钢包括不锈钢与耐酸钢。能抵抗大气腐蚀的钢称为不锈钢。而在一些化学介质（如酸类等）中能抵抗腐蚀的钢称为耐酸钢。

不锈钢在实际应用中，常将耐弱腐蚀介质腐蚀的钢称为不锈钢，而将耐化学介质腐蚀的钢称为耐酸钢。由于两者在化学成分上的差异，前者不一定耐化学介质腐蚀，而后者则一般均具有不锈性。不锈钢的耐蚀性取决于钢中所含的合金元素。铬是使不锈钢获得耐蚀性的基本元素，当钢中含铬量达到 1.2% 左右时，铬与腐蚀介质中的氧作用，在钢表面形成一层很薄的氧化膜（自钝化膜），可阻止钢的基体进一步腐蚀。除铬外，常用的合金元素还有镍、钼、钛、铌、铜、氮等，以满足各种用途对不锈钢组织和性能的要求。

不锈钢通常按基体组织分为以下几种。

（1）铁素体不锈钢。含铬 12%~30%。其耐蚀性、韧性和可焊性随含铬量的增加而提高，耐氯化物应力腐蚀性能优于其它种类不锈钢。

（2）奥氏体不锈钢。含铬大于 18%，还含有 8% 左右的镍及少量钼、钛、氮等元素。综合性能好，能耐多种介质腐蚀。

（3）奥氏体-铁素体双相不锈钢。兼有奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢的优点，并具有超塑性。

(4) 马氏体不锈钢。强度高，但塑性和可焊性较差。

第三节 金属的牌号及命名

一、牌号

金属材料的牌号是给每一种具体的金属材料所取的名称。钢的牌号又叫钢号。牌号能简便地提供具体金属材料质量的共同概念，从而为生产、使用和管理等工作带来很大方便。

我国金属材料的牌号，一般都能反映出化学成分。牌号不仅证明金属材料的具体品种，而且还可以根据它大致判断其质量。如牌号“Q235”表示屈服强度不低于 235MPa 的碳素结构钢。

美国对金属牌号的命名体系比较复杂，涉及牌号命名的机构发布了如下多个标准。

AISI 美国钢铁学会 (American Iron and Steel Institute) 标准

ASTM 美国材料与试验协会 (American Society for Testing and Materials) 标准

ASME 美国机械工程师协会 (American Society of Mechanical Engineers) 标准

AMS 航天材料规格 (Aerospace Material Specifications)，美国航空工业最常用的一种材料规格，由 SAE 制定

API 美国石油学会 (American Petroleum Institute) 标准

SAE 美国机动车工程师协会 (Society of Automotive Engineers) 标准

MIL 美国军用标准 (Military Standards)

二、ASTM、SAE 和 AISI 标准中碳素钢和合金钢牌号表示方法

在 ASTM、SAE、AISI 标准中，碳素钢和合金钢牌号的表示方法基本相同。大都采用四位阿拉伯数字表示，在中间或末尾加入字母。例如：1005、94B15、3140 等。四位数字中的前两位数字表示钢种类型及其主要合金元素含量。后两位数字表示钢的平均含碳量为万分之几的数值。

(1) 第一位数 (或第一、二位数) 表示如下类别号。

1: 碳素钢, 2: 镍钢, 3: 镍铬钢, 4: 钼钢, 5: 铬钢, 61: 铬钒钢, 8: 低镍铬钢, 92: 硅锰钢, 93、94、97、98: 铬镍钼钢。

(2) 第二位数 (类别号为二位数者无此项) 表示如下钢种或合金元素含量。

碳素钢: 0: 一般碳素钢, 1: 易切削钢, 3: 锰结构钢。

钼钢: 1: 铬钼钢, 3 和 7: 镍铬钼钢, 6 和 8: 镍钼钢, 0、4、5: 含钼量不同的钼钢。

镍和镍铬钢：用百分数表示平均含镍量。

铬钢：0：铬含量较低，1：铬含量较高。

低镍铬钢：6、7、8、1 表示镍和铬含量一定，钼含量不同。6 表示钼含量 0.15~0.25，7 表示钼含量 0.2~0.3，8 表示钼含量 0.3~0.4，1 表示钼含量 0.08~0.15。

(3) 第三、四位数表示含碳量平均值，以万分之几表示。

有些钢号中间插入 B 或 L：B：含硼钢，L：含铅钢。

末尾加“H”时，表示对淬透性有一定要求的钢种。有些加前置字母“M”或“MT”：M：机械级，MT：机械用管材。

三、不锈钢和耐热钢牌号表示方法

这类钢材主要采用 AISI 标准的编号系统，牌号由三位阿拉伯数字组成，第一位数表示钢的类别，第二、三位数表示顺序号。

不锈钢的类别号包括五种，分别是沉淀硬化型不锈钢、Cr-Mn-Ni-N 奥氏体钢、Cr-Ni 奥氏体钢、高铬马氏体和低碳高铬铁素体钢、低碳马氏体钢。

沉淀硬化型不锈钢具有很好的成形性能和良好的焊接性，可作为超高强度的材料在核工业、航空和航天工业中应用。

按成分可分为 Cr 系 (SUS400)、Cr-Ni 系 (SUS300)、Cr-Mn-Ni (SUS200) 及析出硬化系 (SUS600)。

200 系列：铬-镍-锰 奥氏体不锈钢

300 系列：铬-镍 奥氏体不锈钢

301：延展性好，用于成型产品。焊接性好。抗磨性和疲劳强度优于 304 不锈钢。

302：耐腐蚀性同 304，由于含碳量相对要高因而强度更好。

303：通过添加少量的硫、磷使其较容易切削加工。

304：即 18/8 不锈钢。GB 牌号为 0Cr18Ni9。

309：较 304 有更好的耐温性。

316：继 304 之后，第二个得到最广泛应用的钢种，主要用于食品工业和外科手术器材，添加钼元素使其获得一种抗腐蚀的特殊结构。由于较 304 具有更好的抗氯化物腐蚀能力因而也作“船用钢”来使用。SS316 则通常用于核燃料回收装置。18/10 级不锈钢通常也符合这个应用级别。

321：除了因为添加了钛元素降低了材料焊缝锈蚀的风险之外其它性能与 304 类似。

400 系列：铁素体和马氏体不锈钢

408：耐热性好，弱抗腐蚀性，含 11%Cr、8%的 Ni。

409：最廉价的型号（英美），通常用作汽车排气管，属铁素体不锈钢（铬钢）。

410：马氏体（高强度铬钢），耐磨性好，抗腐蚀性较差。

416：添加了硫改善了材料的加工性能。

420：“刃具级”马氏体钢，类似布氏高铬钢这种最早的不锈钢。也用于外科手术刀具，

可以做得非常光亮。

430：铁素体不锈钢，装饰用，例如用于汽车饰品。具有良好的成型性，但耐温性和抗腐蚀性要差。

440：高强度刀具钢，含碳稍高，经过适当的热处理后可以获得较高屈服强度，硬度可以达到 58HRC，属于最硬的不锈钢之列。最常见的应用例子就是“剃须刀片”。常用型号有三种：440A、440B、440C，另外还有 440F（易加工型）。

500系列：耐热铬合金钢。

600系列：马氏体沉淀硬化型不锈钢。

630：最常用的沉淀硬化型不锈钢型号，通常也叫 17-4，含有 17%Cr、4%Ni。

第四节 金属的力学性能

材料的使用性能包括物理性能、化学性能及力学性能。物理性能包括导电性、导热性、热膨胀性、熔点、磁性、密度等；化学性能主要指材料的耐酸碱、耐腐蚀、抗氧化性能。金属的力学性能指金属材料在不同性质外力作用下表现的抵抗能力，如弹性、塑性、强度、硬度、韧性等。

一、基本力学性能指标

强度指金属材料在外力作用下抵抗塑性变形（不可恢复变形）和断裂的能力。抵抗塑性变形和断裂的能力越大，强度越高。根据受力状况的不同，可分为抗拉、抗压、抗弯、抗扭、抗剪强度等。一般以抗拉强度作为最基本的强度指标。

除低碳钢、中碳钢及少数合金钢有屈服现象外，大多数金属材料没有明显的屈服现象，因此，对这些材料，规定产生 0.2%残余伸长时的应力作为条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 可以替代 σ_s ，称为条件（名义）屈服强度。屈服强度标志着材料对起始塑性变形的抗力，是工程技术中最重要的机械性能指标之一，设计零件时常以 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 作为选用金属材料的依据。

塑性指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力。

硬度指金属材料抵抗更硬物体压入的能力，或者说金属表面对局部塑性变形的抵抗能力。它是衡量材料软硬程度的指标。硬度越高，材料的耐磨性越好。根据测定硬度方法的不同，可用布氏硬度（HB）、洛氏硬度（HR）来表示材料的硬度。

冲击韧度指材料在冲击载荷作用下，金属材料抵抗破坏的能力，其值以冲击韧度 α_{ku} 表示， α_{ku} 越大，材料的韧性越好，在受到冲击时越不易断裂。冲击韧度反映了材料抵抗冲击载荷的能力。

二、材料的应力-应变曲线

材料的应力-应变曲线是材料力学性能的一个非常重要的方面，它能准确反映弹性变形、塑性变形及断裂区的若干力学性能指标。图 1-2 给出了典型的材料的应力-应变曲线示意图。

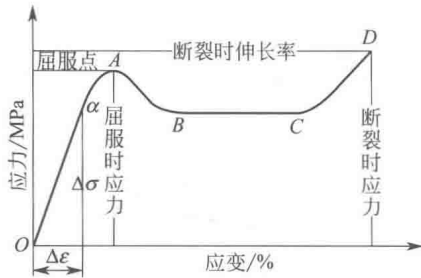


图 1-2 材料的应力-应变曲线图

应力-应变曲线的物理意义就是任何时刻试样中真实的应力与应变之间的关系。对于进入塑性变形阶段的金属材料，曲线上某点处的应力值其实也是材料卸载后再重新加载时的屈服极限。从这点来讲，应力-应变曲线可以代表不同应变量下的屈服强度的集合。

三、弹性变形与塑性变形的本质

在应力的作用下，金属内部的晶格发生了弹性的伸长或歪扭，即键长或键角发生轻微变化，原子离开其平衡位置但是位移远小于该方向上原子的间距，外力小于原子间作用力。所以在外力去除后，其变形便可完全恢复。弹性模量反映原子之间作用力的大小。在基体不变的情况下，一般改变固溶体的成分、晶粒大小以及组织形貌，并不能明显改变材料弹性模量的大小。

物体在受到外力时发生形变，去掉外力时变形不回复，这是塑性变形。塑性变形的实质是物体内部的晶粒和晶粒之间发生滑移和晶粒发生转动。

第五节 铁碳合金的金相组织及热处理

一、铁碳合金的基本组织

钢和铸铁是工业上应用最广泛的金属材料，它们都是铁碳合金。不同成分的钢和铸铁的组织都不相同，因此，它们的性能和应用也不一样。铁碳合金中碳原子和铁原子可以有几种不同的结合方式：一种是碳溶于铁中形成固溶体；另一种是碳和铁化合形成化合物；此外，