

合金钢物理检验

大冶钢厂 合编
武汉大学

前 言

毛主席教导我们：“人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”大冶钢厂中心试验室的工人与技术人员在长期生产实践中，特别是在贯彻毛主席对冶钢“办大办好”光辉指示的过程中，为搞好产品检验、提高钢材质量、改进工艺规程等方面作了一些工作，积累了一定的经验。大家都希望将这些经验总结起来编写成书，作为从事这方面工作的一个参考资料，为发展我国钢铁工业作出一点贡献。这也就是我们编写这本《合金钢物理检验》的目的。

在厂、校党组织的直接领导下，由大冶钢厂工人、技术人员和武汉大学教师组成三结合编写小组。在编写过程中，大家以毛主席亲自制定的《鞍钢宪法》为指针，破除迷信、解放思想、打破洋框框、走自己工业发展的道路，狠批刘少奇一类骗子的“专家治厂”、“洋奴哲学”、“爬行主义”、“技术无用”等修正主义黑货。在广泛发动群众总结实践经验的基础上，从发展生产实际需要出发，由三结合小组集中整理编写。本书是群众集体的创作，是革命知识分子与工人相结合的产物，也是落实毛主席关于教育革命指示，开门办学、厂校挂钩的一个成果。

本书内容还很不完备，仅限于现有的检验项目和试验方法。对国内外新涌现的技术与方法多未载入，这方面的内容尚待不断补充与发展。希望通过抛砖引玉，与兄弟厂校及有关单位的先进经验进行交流。另外，由于编写人员对马列主义、毛泽东思想学得不好，路线觉悟不高，加之时间仓促，经验不足，肯定在各方面都有不少缺点与错误，恳请广大读者批评指正。

大冶钢厂中心试验室
武汉大学金属物理专业

目 录

第一章 钢的分类	(1)
§ 1 钢的分类方法	(1)
§ 2 钢的命名方法	(6)
第二章 钢的显微组织与性能	(8)
§ 1 铁碳合金 平衡相图 及平衡组织.....	(8)
§ 2 钢中过冷奥氏体分解的 组织与性能.....	(12)
§ 3 钢的 淬火组织 与性能.....	(17)
§ 4 钢的 回火 组织与性能.....	(19)
第三章 合金元素在钢中的作用	(23)
§ 1 合金元素与铁的合金.....	(23)
§ 2 合金钢中的碳化物	(29)
§ 3 合金元素 对铁碳平衡 相图的影响.....	(32)
§ 4 合金元素 对钢加热时 转变的影响.....	(36)
§ 5 合金元素对钢 冷却时转变的影响.....	(39)
§ 6 合金元素 对淬火钢 回火的影响.....	(44)
§ 7 合金元素对 合金结构 钢性能的影响.....	(48)
第四章 钢材检验试样的截取与加工	(54)
§ 1 机械性能试样的加工.....	(54)
§ 2 金相检验试样的加工.....	(57)
§ 3 晶间腐蚀试验 试样的取样.....	(62)
§ 4 试样截取 加工用的 空心钻床.....	(65)
第五章 钢材检验试样的热处理	(67)
§ 1 合金结构 钢机械性能试 样的热处理.....	(67)
§ 2 弹簧钢 机械性能试样的 热处理.....	(107)
§ 3 不锈钢机 械性能试样的 热处理.....	(110)
§ 4 其它检 验试样的 热处理.....	(116)
§ 5 钢材检 验常用热处 理设备与仪表.....	(125)
第六章 钢的宏观检验	(137)
§ 1 钢锭 结晶 过程.....	(137)
§ 2 酸浸 蚀试验.....	(138)
§ 3 方框 形偏析.....	(140)
§ 4 一 般疏松.....	(141)

§ 5 中心疏松	(142)
§ 6 点状偏析	(142)
§ 7 奥氏体不锈钢易腐蚀区	(143)
§ 8 残余缩孔	(145)
§ 9 轴心碳偏析	(146)
§ 10 皮下气泡	(146)
§ 11 镇静钢的内部气泡	(147)
§ 12 高速钢碳化物剥落	(148)
§ 13 锭尾偏析	(149)
§ 14 翻皮	(150)
§ 15 低倍夹杂	(151)
§ 16 白点	(152)
§ 17 轴心晶间裂纹	(153)
§ 18 晶粒粗大	(154)
§ 19 外来金属	(155)
§ 20 电渣钢缺陷	(156)
§ 21 发纹	(158)
§ 22 断口检验	(160)
§ 23 硫印试验法	(164)
第七章 钢的显微检验	(166)
§ 1 显微检验的设备与试样制备	(166)
§ 2 金相摄影与暗室操作	(182)
§ 3 钢的脱碳	(189)
§ 4 球化组织	(192)
§ 5 网状碳化物	(196)
§ 6 非金属夹杂物	(197)
§ 7 显微裂纹	(200)
§ 8 铬轴承钢中带状碳化物	(201)
§ 9 铬轴承钢中的碳化物液析	(203)
§ 10 碳化物不均匀性	(204)
§ 11 低碳钢的带状组织	(206)
§ 12 奥氏体晶粒度的测定	(206)
§ 13 奥氏体及奥氏体—铁素体不锈钢中的 α 相	(209)
§ 14 钢铁中的石墨碳	(211)
§ 15 晶间腐蚀试验	(212)
第八章 钢的机械性能试验	(225)
§ 1 拉力试验	(225)
§ 2 冲击试验	(258)

§ 3	硬度试验	(270)
§ 4	断口分析	(293)
§ 5	压力试验	(300)
§ 6	弯曲试验	(301)
§ 7	工艺性能试验	(303)
第九章	超声波探伤	(312)
§ 1	钢材的无损探伤法简介	(312)
§ 2	超声波及其基本性质	(312)
§ 3	超声波探伤方法原理	(321)
§ 4	钢材的超声波探伤	(326)
§ 5	探头(电声换能器)	(336)
§ 6	超声波金属探伤仪	(345)
第十章	钢中夹杂物的定性鉴定	(347)
§ 1	钢中夹杂物的金相鉴定	(347)
§ 2	稀土夹杂物的定性鉴定	(359)
§ 3	钢中夹杂物的岩相鉴定	(365)
第十一章	合金相的化学分析	(373)
§ 1	钢中合金相的种类	(373)
§ 2	合金相的电解提取	(374)
§ 3	相的分离	(378)
§ 4	相成分的化学分析	(379)
§ 5	相的化学分析与结构分析的配合	(380)
第十二章	X射线衍射及其应用	(382)
§ 1	X射线衍射及其实际应用简介	(382)
§ 2	德拜照相法	(387)
§ 3	X射线衍射仪	(392)
§ 4	X射线相分析	(402)
第十三章	金属的电子显微镜实验技术	(419)
§ 1	电子显微镜的结构、原理和调整	(419)
§ 2	复型技术	(430)
§ 3	断口的电子显微观察	(434)
§ 4	衍射条件和倒易点阵	(442)
§ 5	选区衍射	(462)
§ 6	电子衍射图分析实例	(464)
第十四章	磁性分析法的应用	(476)
§ 1	磁性分析法一般概念	(476)
§ 2	奥氏体等温转变曲线的测定	(477)
§ 3	用热磁仪测定马氏体开始转变点 M_s	(481)

§ 4	弱磁性的测量—磁称法基本原理	(482)
§ 5	“抗磁”不锈钢磁性检验	(484)
§ 6	奥氏体钢中 α 相的测定	(486)
第十五章	密度、弹性模量、热膨胀系数和电阻的测定	(490)
§ 1	密度的测定	(490)
§ 2	弹性模量的声频测定法	(491)
§ 3	热膨胀分析法	(494)
§ 4	电阻测量方法	(498)
附录		
一	常用淬火剂的冷却速度	(505)
二	铂铑—铂热电偶分度表	(506)
三	镍铬—镍硅(镍铬—镍铝)热电偶分度表	(510)
四	显示显微组织的化学侵蚀试剂	(513)
五	可见光底片常用显、定影液配方	(521)
六	布氏硬度与压痕直径对照表	(523)
七	维氏硬度与压痕对角线长对照表	(528)
八	各种硬度及强度换算表	(535)
九	压痕显微硬度换算表	(539)
照片		

第一章 钢的分类

§ 1 钢的分类方法

钢的分类方法很多，常用的有(1)按冶炼方法分；(2)按化学成分分；(3)按品质分；(4)按金相组织分；(5)按用途分等。

一 按冶炼方法分类

根据冶炼方法和设备等的不同，工业用钢可分为电炉钢、平炉钢和转炉钢三大类。按所用炉衬材料的不同，每一大类又可分为碱性和酸性两类。电炉钢还可分为电弧炉钢、感应炉钢、真空感应炉钢和电渣炉钢等。

此外，还有转炉—电炉双联法炼制的钢，它们的性能和电炉钢基本相同。随着混合炼钢和渣洗处理的发展，使炼出的钢已基本上达到电炉钢的质量水平。采用真空冶炼或真空处理炼出的钢和电渣炉钢，它们的纯洁度和质量则更高。

按脱氧程度和浇注制度的不同，碳素钢又可分为沸腾钢、镇静钢或半镇静钢三大类。合金钢则一般都是镇静钢。

二 按化学成分分类

按化学成分分类，首先可以把钢分为碳素钢和合金钢两大类。碳素钢是铁碳合金，其中含有少量的有害杂质如硫、磷等，以及因脱氧需要而加入的一些硅和锰。根据碳含量的不同，又常把碳素钢分为低碳、中碳和高碳三类。一般认为碳含量小于0.25%的钢为低碳钢，大于0.55%的钢为高碳钢，在0.25~0.55%之间的为中碳钢。

合金钢是一类为了改善钢的某些性能而特意加入一定量其他合金元素的钢。为了合金化的目的，使锰或硅的含量超过脱氧所需要量的钢种，也列入合金钢的一类中。根据钢中所含主要合金元素的种类，合金钢又可分为如锰钢、铬钢、硅锰钢、铬钼钢、铬锰钼钢等很多类。

三 按品质分类

根据钢质量的高低，即主要根据钢中所含有害杂质硫、磷的多寡，工业用钢通常分为普通钢、优质钢和高级优质钢等几类。

(1)普通钢：硫和磷的含量分别不大于0.055%和0.045%，普通碳素钢属于这一类。

(2)优质钢：硫和磷的含量对于碳素钢分别不大于0.045%和0.040%；对于合金钢均不大于0.040%。其他非故意加入而是从原材料带入的残余杂质，如铬、镍、铜等的含量，也有较严格的限制。

(3)高级优质钢：属于高级优质钢这一类的，一般都是合金钢。它们的硫和磷的含量分别不大于0.030%和0.035%。其他混入杂质的含量则限制得更严。

四 按金相組織分类

1. 按退火后钢的金相组织分类

- (1) 亚共析钢: 金相组织为珠光体和游离铁素体;
- (2) 共析钢: 金相组织全部为珠光体;
- (3) 过共析钢: 金相组织为珠光体和游离碳化物;
- (4) 莱氏体钢: 实际上也是过共析钢。但由于钢锭凝固过程中有莱氏体(奥氏体和碳化物的共晶体)形成, 在锻轧和退火后, 一般有较多和颗粒较大的碳化物存在。

2. 按正火后钢的金相组织分类

钢材按正火后的金相组织可分为珠光体、贝氏体、马氏体和奥氏体四大类。但这种分类方法并不是绝对的, 因为钢材正火处理空冷时, 其实际冷却速度因钢材大小而不同, 会影响到它冷却后的金相组织。一般以小截面钢材正火后金相组织为准。

3. 按加热及冷却时有无相变和在室温时的主要金相组织分类

- (1) 铁素体钢: 碳含量很低并含有多量的形成或稳定铁素体的元素如铬、硅等, 以致钢在任何温度下都保持铁素体的组织;
- (2) 半铁素体钢: 碳含量低并含有较多的形成或稳定铁素体的元素, 以致在加热和冷却时, 钢中只发生部分的 $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ 相变, 其它部分则始终保持为 α 相的铁素体组织;
- (3) 半奥氏体钢: 含有较多的形成或稳定奥氏体的元素如锰、镍等, 以致在加热和冷却时, 钢中只发生部分的 $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ 相变, 其余部分则始终保持为 γ 相的奥氏体组织;
- (4) 奥氏体钢: 含有多量的形成或稳定奥氏体的元素, 以致在加热和冷却时, 都始终保持奥氏体组织。

五 按用途分类

根据用途的不同, 可以把钢分为碳素结构钢、低合金高强度钢、合金结构钢、碳素工具钢、合金工具钢、高速工具钢、滚珠轴承钢、弹簧钢、不锈钢耐酸钢、耐热不起皮钢、电热合金、电工用硅钢十二大类。

1. 碳素结构钢

碳素结构钢包括普通碳素钢和优质碳素结构钢两大类。它们产量较大、价格低廉, 广泛用于各种建筑、桥梁、船舶、车辆结构的建造及机械零件的制作。

(1) 普通碳素钢包括: 只保证机械性能的甲类钢(如 A0、A1 钢)、保证化学成分但不必保证机械性能的乙类钢(如 B0、B1 钢)和既保证机械性能又保证化学成分的特类钢(如 C0、C1 钢)。

(2) 优质碳素结构钢与普通碳素钢不同, 它必须同时保证钢的化学成分和机械性能; 有害杂质硫、磷及非金属夹杂物的含量较少, 因此它的塑性和韧性便比较优良。

钢的碳含量对于用途和热处理方式起着决定性的作用, 所以根据含碳量的不同, 可以把优质碳素钢分成下列三类:

a. 低碳钢(含碳量 $< 0.25\%$): 这类钢的特点是: 强度较低、可塑性和韧性很高、切削性和焊接性很好。这种钢可以用各种冷加工或焊接的方法来制造各种受力不大、韧性要求很高的、且不经热处理的机械零件或设备。在制造受磨损的零件时, 为了使表面坚硬耐磨而中心

保持韧性，可将制品进行渗碳或氰化处理，它们属于渗碳钢一类。

b. 中碳钢(含碳0.25~0.55%):这类钢与低碳钢相比,其特点是强度较高而韧性较低。一般经过调质即经过淬火和高温回火后使用,它们属于调质钢一类,主要用来制造承受负荷较大的机器零件,除特殊情况,很少用来做焊接构件。

c. 高碳钢(含碳0.55%以上):这类钢具有高的强度和良好的弹性,主要用于制造弹簧和易受磨损的零件。

优质碳素结构钢根据化学成分的不同,又可分为正常含锰量(0.25~0.80%如15、30、40、45、55钢)和较高含锰量(0.70~1.00%及0.90~1.20%如15Mn、40Mn、45Mn、70Mn钢)两组,后者可改善碳素结构钢的淬透性,使钢有较高的屈服点、强度、硬度和耐磨性,但它们的塑性和韧性则稍差些。

2. 低合金高强度钢

低合金高强度钢是一类大量生产的、一般在热轧、正火或退火状态下使用的低碳建造用钢(如09Mn2、10MnSiCu、16MnCu、15MnTi钢)用于建造桥梁、船舶、车辆及各种大型结构。这类钢的合金元素含量较低,但强度、特别是屈服点比碳含量相同的碳素钢高得多,还有较好的塑性、冷弯和冲击性能、较低的冷脆倾向、缺口和时效敏感性,以及良好的焊接性和耐蚀性。

3. 合金结构钢

合金结构钢是机械制造用钢,它们是在优质碳素结构钢的基础上适当地加入一种或数种(但总的含量不多)合金元素。结合我国资源情况,为了节约铬、镍、钼等贵重合金元素,我国发展了以硅、锰、钒、钛、硼为主的合金结构钢系统。

合金结构钢主要用来制造重要的机械零件和大截面机械零件。与优质碳素结构钢相比,合金结构钢除了有较高的强度和韧性外,最重要的在于它们具有较高的淬透性,如零件作调质处理就能获得在整个截面上均匀的、具有良好综合机械性能的金相显微组织。合金结构钢的淬火工艺可采用较缓和的冷却剂来进行,这样就可防止严重变形和开裂现象,这对于钢材的使用来说都是极有实际意义的。

根据钢的含碳量和热处理工艺的不同,合金结构钢大致可分为:渗碳合金结构钢和调质合金结构钢两大类。渗碳合金结构钢的含碳量等于或小于0.25%,在经过渗碳或氰化等化学热处理、淬火并低温回火后,可获得很硬的表面层,一般在 R_c60 以上;而心部由于保持原有的含碳量具有良好的韧性,所以它们既耐磨损,又能承受高的可变负荷或冲击负荷。调质合金结构钢的含碳量一般大于0.25%。通常经过淬火和高温回火的调质处理后,可以获得配合很好的高强度和良好的韧性。

合金结构钢也可按加入钢中主要合金元素来分类,不但简单明瞭,而且能在一定意义上体现钢的性能特征。我国部颁标准中的合金结构钢便按这种办法分成锰钢(如10Mn2钢)、铬钢(如40Cr钢)、锰钒钢(如25Mn2V钢)、硼钢(如40B、20CrMnB、40CrMnMoVB钢)等十九个钢组。

4. 工具钢

工具钢包括碳素工具钢、合金工具钢和高速工具钢,是用以制造各种工具的高碳和中碳优质钢和高级优质钢。它们在使用上,当制成工具经最后热处理后,要求有很高的硬度、耐

磨性、足够的强度和冲击韧性。

(1) 碳素工具钢是基本上不含合金元素的高碳钢(如 T7、T8、T10、T12、T13 钢),其含碳量在 0.65~1.35% 范围内。经热处理后,可得到高硬度和高耐磨性,而且生产成本较低,加工性能良好,所以被广泛采用。但是,这类钢红硬性差,当工作温度大于 250℃ 时,钢的硬度和耐磨性就会急剧降低而失去工作能力。而且它的淬透性也低,较大的工具就不能淬透,淬火时容易形成裂纹。另外,碳素工具钢的淬火温度范围窄,淬火变形大,加热时过热和脱碳敏感性较大。截面较大及要求较高的工具不宜用碳素工具钢来制造。

(2) 合金工具钢按用途主要包括刀具、模具和量具用钢三类。其中碳量高的($C > 0.80\%$)钢多用来制造刀具(如 Cr、9SiCr、CrW5 钢)、量具(如 CrMn、CrW Mn、9Mn2V 钢)或冷变形模具(如 Cr12、Cr12MoV、SiMn 钢)。这些钢淬火后的硬度均在 R_{c60} 以上,具有足够的耐磨性。含碳量中等的($C 0.35 \sim 0.70\%$)钢,多用来制造热变形模具(如 3Cr2W8、6SiMnV 钢)。这些钢淬火后硬度较低,在 $R_{c50} \sim 55$ 之间,但韧性良好。与碳素工具钢比较,合金工具钢提高了机械性能,淬透性较好,耐磨性和回火稳定性增高,热处理时所产生的变形较小,并能承受较高的冲击载荷,所以常用来制造能胜任较重负荷、形状复杂、要求变形极小或高精度的工具。

(3) 高速钢主要用于制造生产率及耐磨性均高的、在高温下(600℃ 左右)能保持切削性能的工具。高速钢常含有大量的合金元素钨、铬、钼、钒。它属于高合金莱氏体型的钢种,含有大量的合金碳化物。目前,工业上最广泛采用的高速钢有: W18Cr4V、W9Cr4V2 和 W9Cr4V 钢。

5. 滚珠轴承钢

滚珠轴承钢是用来制造各种机械的滚珠轴承上的钢球、滚子和轴承圈套。这些零件承受着高的、集中的反复可变负荷和极大的磨擦。因此,滚珠轴承钢要求具有高而均匀的硬度和耐磨性、高的弹性极限和接触疲劳强度、一定的韧性和淬透性,而且,在大气和润滑剂中具有一定的抗腐蚀能力。同时,对钢的内部组织、化学成分的均匀性、所含的非金属夹杂物、碳化物的分布状况以及钢的脱碳程度等都有十分严格的要求。

通常所说的滚珠轴承钢是指珠光体型的高碳铬钢(如 GCr6、GCr9、GCr15、GCr9SiMn 钢),其含碳量约 1%,含铬量为 0.50~1.65%。根据我国资源情况,在钢中充分利用我国丰产元素硅、锰以节约铬,满足轴承工业的需要是一项迫切的任务。无产阶级文化大革命中,新发展的无铬滚珠轴承钢有 GSiMnV、GSiMnVRE、GMnMoVRE、GSiMnMoV 等钢,其机械物理性能及轴承使用寿命优于铬轴承钢,但脱碳敏感性高、防锈质量稍差,现正在试验推广中。

6. 弹簧钢

弹簧是重要的机械零件之一,一般都在动负荷条件下使用,因此,制造弹簧用的弹簧钢要求具有高的抗张强度、高的屈强比(σ_s/σ_b)、高的疲劳强度(尤其是缺口疲劳强度)、高的冲击韧性和塑性,同时要求有一定的淬透性和低的脱碳敏感性,在热状态下容易绕制成型。

为了满足上述要求,碳素弹簧钢(如 65、70、75、85 钢)的碳含量均在 0.60~0.90% 范围,合金弹簧钢(如 50SiMn、50CrVA、60Si2MnA、60Si2CrVA 钢)碳含量一般在 0.46~0.74% 范围。

无产阶级文化大革命中，试制成功无铬新弹簧钢种，如55SiMnMoVNb、55SiMnVB、55SiMnMoV、60Si2MnBRE钢，提高了强度和韧性，降低了脱碳敏感性，提高了弹簧的疲劳寿命，质量比50CrVA、60Si2MnA钢好。

7. 不锈钢耐酸钢

不锈钢耐酸钢是不锈钢与耐酸钢的总称。在空气中能够抵抗腐蚀的钢叫不锈钢；在某些化学浸蚀介质中能抵抗腐蚀的钢叫耐酸钢。

耐介质腐蚀性能的好坏是不锈钢耐酸钢最重要的性能指标，此外，还应具有较高的强度和较好的塑性、良好的焊接性、冷加工性能及表面质量等。

根据金相组织的类型，不锈钢耐酸钢又可分为铁素体不锈钢耐酸钢(Cr17、Cr17Ti、Cr25、Cr25Ti、Cr28钢)、奥氏体不锈钢耐酸钢(如1Cr18Ni9Ti即著名的18-8钢、Cr18Ni18Mo2Cu2Ti、Cr9Mn18、Cr17Mn8Ni5N钢)、马氏体不锈钢耐酸钢(如2Cr13、3Cr13、4Cr13、9Cr18钢)及奥氏体-铁素体不锈钢耐酸钢(如Cr18Mn10Ni5Mo3N钢)几类。不锈钢耐酸钢一般都含有较多的贵重金属铬、镍。研究发展用锰、氮代镍制作不锈钢耐酸钢，对于发展国民经济具有重大意义。

8. 耐热不起皮钢

耐热不起皮钢是耐热钢(也有叫热强钢的)和不起皮钢的总称。它广泛应用于锅炉、汽轮机、化工和石油工业设备，以及工业用炉等在高温下工作的设备的制造。对耐热、不起皮钢的基本要求是：钢在高温下应具有抗蠕变及抗破断能力、抗氧化能力、耐一定介质腐蚀的能力，以及足够的韧性、可加工性和焊接性，并按照不同用途具有合理的组织稳定性等。其中，不起皮钢主要只要求抗氧化性，对抗蠕变及破断能力要求则较低。

根据金相组织的类型，耐热不起皮钢可分为珠光体钢(如12CrMo、15CrMo、12CrMoV钢)、马氏体钢(如1Cr13、15Cr11MoV、Cr12WMoV钢)、铁素体钢(如Cr13SiAl、Cr17Al4Si钢)、奥氏体钢(如1Cr18Ni9Ti、Cr18Mn8Ni2Si2N、1Cr14Ni14W2MoTi钢)等几类。

9. 电热合金

电热合金主要用作电加热炉的加热元件。电热合金的良好性能标志是比电阻大、高温抗氧化性良好、具有较大的瓦特负荷、较小的电阻温度系数、在热状态下和冷状态下，有良好的加工性能以及对一定介质的耐腐蚀性与足够的高温强度等。现在大量应用的电热合金主要有两类：

(1)铁基合金：其中以铁铬铝合金为主，一般含铬7~25%、含铝3.5~8%，长期使用温度为850~1200℃。

(2)镍基合金：包括含铬约20%、含镍约80%的镍铬合金(使用温度达~1100℃)及含铬15~25%，含镍20~65%的铁镍铬合金(容许使用温度为1000℃)。

10. 电工用硅钢

硅钢主要制成硅钢片，在电机和变压器制造上大量应用。它分为电机用硅钢片和变压器硅钢片。前者要求较高的塑性，含硅1.0~2.5%；后者要求铁损小，含硅3.0~4.5%。但使用时并无严格界限，如常用变压器钢制成大型电机。按生产工艺，可分为热轧、半冷轧和冷轧硅钢片。前者没有方向性，半冷轧的有一定的磁和力学的各向异性，而后者则有强烈的方向性。

§ 2 鋼的命名方法

根据国家标准 GB221-63“钢铁产品牌号表示方法”，简要地介绍钢的命名方法。

一 优质碳素结构鋼

(1) 一般钢号是表示钢平均碳含量的万分之几的两位数字。如碳含量为0.05~0.10%的钢的钢号为“08”。

(2) 较高锰含量的钢号在表示碳含量的数字后面加注“Mn”字。如碳含量为0.12~0.18%、锰含量为0.70~1.00%的钢的钢号为“15Mn”。

(3) 沸腾钢或半镇静钢分别用“F”或“b”字在钢号后标明，如平均含碳量为0.10%的沸腾钢和半镇静钢分别为“10F”和“10b”。

(4) 专门用途的钢在钢号后面另加用途符号。如平均碳含量为0.20%的锅炉钢的钢号为“20g”。

二 碳素工具鋼

(1) 一般钢号是以一位或两位数字表示钢平均碳含量的千分之几，但为避免和碳素结构钢混淆起见，在数字前面冠以“T”字。如碳含量为0.95~1.04%的碳素工具钢的钢号为“T10”。

(2) 锰含量较高的碳素工具钢应在钢号后面加注“Mn”字，如平均碳含量为0.8%、锰含量为0.35~0.60%的碳素工具钢的钢号应为“T8Mn”。

(3) 高级优质工具钢应在钢号后以“A”字予以标明，如“T10A”及“T8MnA”。

三 低合金高强度鋼和合金结构鋼

(1) 钢号开始是表示钢平均碳含量的万分之几的两位数字，随后是钢中所含各主要合金元素的国际化学符号。各个合金元素的平均含量若小于1.50%时，一般不标明其含量；但各个元素的平均含量若不小于1.50%时，则应在各该元素后标明其含量的近似百分值。如平均碳含量为0.20%、锰含量为1.30~1.70%、硼含量为0.001~0.005%的钢的钢号为“20Mn2B”。

(2) 有时两个钢种的化学成分除某一主要合金元素外都基本相同，就是这一主要元素的平均含量也都小于1.50%。遇到这种情形时，在这一主要元素含量较高的钢的钢号中，这一元素的后面可加注“1”字来加以区别。如12CrMoV和12Cr1MoV的铬含量分别为0.40~0.60%和0.90~1.20%，它们的平均值都小于1.50%。

(3) 为了区别优质钢和高级优质钢起见，高级优质钢钢号后面应加注“A”字，如50CrVA。

(4) 用酸性或碱性转炉吹炼的低合金高强度钢，在钢号前应分别冠以“S”或“J”字；如S16Mn或J16Mn，分别表示用酸性或碱性转炉吹炼的16Mn钢。

四 合金工具鋼和高速工具鋼

(1) 命名和编号方法基本上和合金结构钢相同，只是钢号开始的数字不是表示钢平均碳含量的万分之几，而是千分之几，如9Mn2V钢。当钢的平均碳含量等于或大于1.00%时，则钢号开始表示碳含量的数字可以省略，如Cr2Mn钢。

(2) 低铬合金工具钢的铬含量, 要用其含量的千分之几的一位数值标在钢号中“Cr”字的后面, 并在这一数字前面加一“0”字, 把它和一般表示元素含量百分值的标记区别开来。如平均含铬0.60%的低铬工具钢的钢号为 Cr06。

(3) 对于高速工具钢钢号中开始表示碳含量的数字一般都省略, 如 W18Cr4V 钢。

五 彈 簧 鋼

命名和编号方法基本上同优质碳素结构钢和合金结构钢, 如 70、70Si3Mn 钢等。

六 滾 珠 軸 承 鋼

基本上和合金工具钢相同, 只是铬含量以千分之几表示。为了避免和合金工具钢混淆起见, 在钢号前面冠以“G”字, 如 G Cr15SiMn 钢。

七 不 銹 耐 酸 鋼、耐 热 不 起 皮 鋼 和 电 热 合 金

和合金工具钢相同, 只是钢号开始表示碳含量的数字一般省略, 如 Cr17 钢, 只有在有重复情况或碳含量较高时才以含碳量的千分之几标明。如 1Cr13、2Cr13、9Cr18 钢。

八 电 工 用 硅 鋼

电工用硅钢前面都冠以“D”字表示。对于在频率等于 50 周/秒和强磁场下使用的硅钢片, 后面常标有两个数字, 如 D23。第一位数字 (1, 2, 3, 4) 表示硅含量等级依次为 0.8~1.8%、1.8~2.8%、2.8~3.8% 及 3.8~4.8%; 第二位数字为保证的磁性高低, 数字愈大, 则磁性要求愈高。对于冷轧硅钢片, 后面还附上一个 0 (如 D310) 或两个 0 (如 D3100)。前者表示晶粒取向的冷轧硅钢片, 后者表示晶粒取向程度小的冷轧硅钢片。而对于在高频率 (400 周/秒) 时、或在中等磁场、弱磁场下使用的硅钢片, 则可在“D”后面分别附上字母 G、H、R 以区别之。如 DG41、DH41、DR41 等。

第二章 钢的显微组织与性能

§ 1 铁碳合金平衡相图及平衡组织

铁和碳是钢中不可缺少的两个基本元素。以这两元素组成的合金平衡相图是研究钢和生铁显微组织、制定热加工、热处理等工艺的基础。图2—1便是铁碳合金平衡相图（简称铁碳合金相图）。相图的横座标代表合金成分，纵座标代表温度，图中任意一点指出该点对应的成分与温度下合金所具有的平衡组织，并指出这些组织是由什么相组成，相的相对数量及各相间相互共存的条件。

铁碳合金相图中通常只绘出从纯铁至含碳量6.67%（重量百分比，以下同）部分，因为只有这部分才具有实用意义。

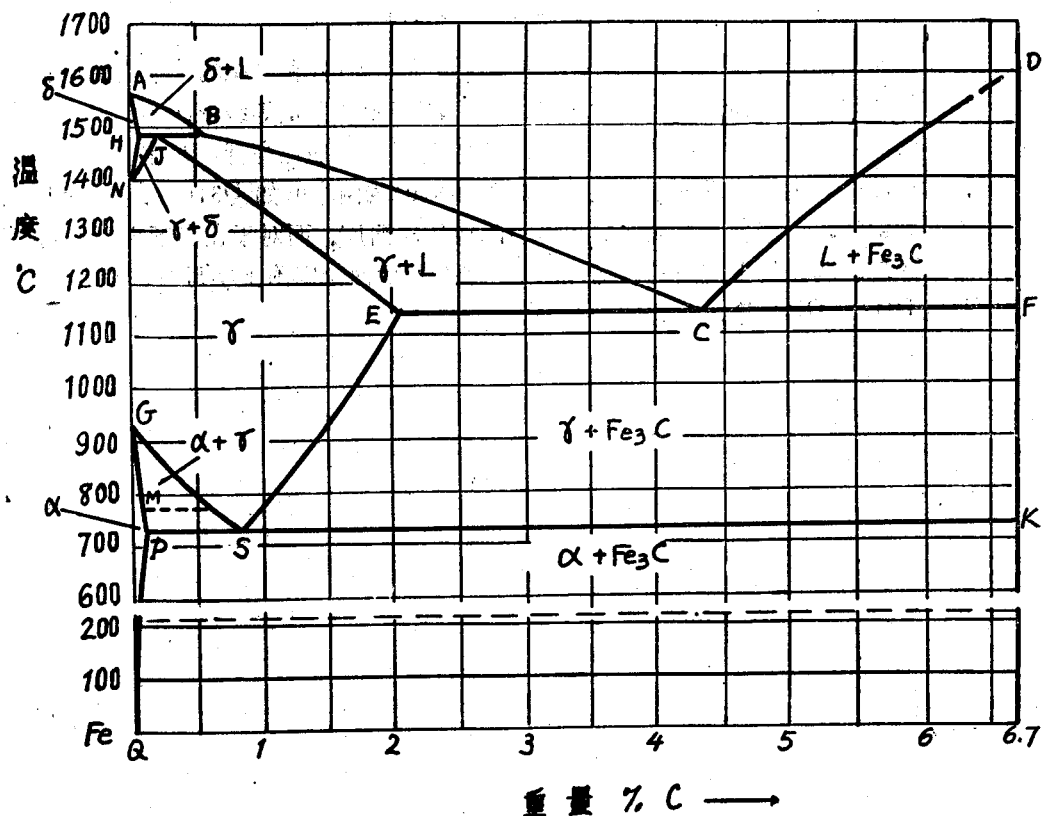
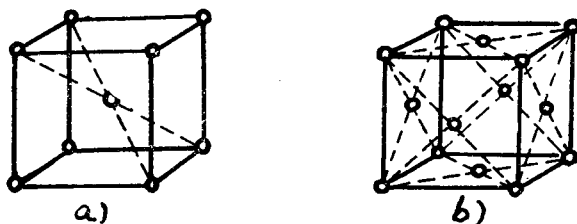


图 2—1 铁碳合金平衡相图

纯铁的熔点为 1534℃。固态铁有两种同素异形结构：在 910℃ 以下为体心立方结构（图

2—2 a), 称为 α 铁; 910℃至1390℃ 为面心立方结构 (图2—2 b), 称为 γ 铁; 1390℃至1539℃之间又为体心立方结构, 称为 δ 铁, 有时也叫 α 铁。



a) 体心立方 b) 面心立方

图 2—2 铁的同素异形结构

碳在钢中可以三种形式存在: 以原子的形式溶入铁晶格的间隙中, 形成以铁为基础的间隙式固溶体; 与铁形成化合物 Fe_3C ; 以及在一定的条件下结晶成游离态石墨。(参阅第七章 § 15)

一 铁碳合金中的相

从铁碳合金相图中可知, 除液相外, 铁碳合金中还存在下列三种固态相:

(1) **铁素体**: 碳溶入 α -铁晶格间隙中形成的固态相, 亦即碳在 α 铁中的固溶体。它仍保持 α 铁的体心立方结构, 通常也以 “ α ” 表示。铁素体中碳的最大溶解度为 0.02%, 相应于 723℃。随着温度降低, 溶解度沿 PQ 线变化。

铁素体的硬度低、塑性好, 在金相显微镜下呈白色发亮的晶粒。各晶粒间由于位向不同, 受腐蚀的情况略有差别而稍有明暗的不同 (见照片2—1)。

(2) **奥氏体**: 碳原子在 γ 铁中的固溶体。它仍保持 γ 铁的面心立方结构, 通常叫它 γ 相。奥氏体对碳的最大溶解度为 2.06%, 相应于 1147℃。随着温度降低, 碳在奥氏体中的溶解度亦沿着 ES 线下降。碳素钢中奥氏体是一高温相, 仅在 723℃ 以上才存在。

奥氏体较铁素体有更高的塑性, 所以钢在轧制或锻造时都要加热到形成奥氏体的温度以便于压力加工。

(3) **渗碳体**: 铁与碳的一种间隙式化合物。分子式为 Fe_3C , 含碳 6.67%, 熔点约 1600℃。熔化前不发生结构变化, 在相图上以直线 DFK 表示其位置。渗碳体性脆且硬, 显微硬度达 800 至 1000 H_m , 塑性几乎为零, 是碳素钢中主要强化相。渗碳体不受硝酸酒精溶液浸蚀, 在金相显微镜下呈白色发亮的片状或球状组织。

二 铁碳合金相图的特性点与特性线

(1) **特性点**: 在平衡相图上, 一些状态分界线的交点所对应的温度和成分, 对合金的组织状态具有特殊意义, 这些点我们称为特性点。表2—1列出铁碳合金相图中经常应用的几个特性点。

(2) **特性线**: 在铁碳合金相图中有些合金状态的分界线, 当相应成分的合金处于这些线上所对应的温度时, 就产生一定的相变, 这些线称为特性线。常用的特性线如下:

表 2—1 铁碳合金相图中的常用特性点

点的符号	温度℃	碳含量%	说 明
A	1534	0	纯铁熔化点
C	1147	4.3	共晶点
D	~1600	6.67	渗碳体熔化点
E	1147	2.06	碳在 γ -Fe 中最大溶解度
G	910	0	α -Fe $\rightleftharpoons$ γ -Fe 同素异型转变点(A_3)
M	769	0	磁性转变点(A_2)
P	723	0.02	碳在 α -Fe 中最大溶解度
S	723	0.8	共析点
Q		0.008	碳在 α -Fe 中溶解度

液相线: $ABCD$ 。在这条线以上合金处于液态,当冷却至液相线时开始结晶出固相来。

固相线: $AHJECF$ 线。在这条线所示的温度以下,合金完全以固态存在。

在液相线与固相线之间的区域,合金以固态和液态共存。

共晶线: ECF 线,对应于1147℃。在此温度含碳量为4.3%的液相与 E 点成分(2.06% 碳)的奥氏体和 Fe_3C 三相平衡共存:



在缓慢冷却时,反应自左向右进行,加热时则相反。当合金冷却至 ECF 线时,将自含碳4.3%的液相中同时结晶出奥氏体和渗碳体。这一反应叫共晶反应,因而 C 点也叫共晶点。

含碳量大于2.06%的铁碳合金自液态冷却时都会产生共晶反应。含碳量为2.06%至4.3%之间的合金通过 BC 线时,先自液相结晶出奥氏体使液相碳浓度逐步升高至 C 点再发生共晶反应。含碳量高于4.3%的合金冷却通过 CD 线段时,先自液相结晶出渗碳体再发生共晶反应。共晶反应前自液体中结晶出的渗碳体叫做一次渗碳体。

GSE 线: 此线分为两段: GS 段和 SE 段。 SE 段为碳在奥氏体中的溶解度曲线。含碳量大于0.8%的合金冷却至此线后将自奥氏体中析出渗碳体(叫二次渗碳体)。随着温度降低,奥氏体中碳的最大允许浓度随 SE 线下降。 GS 段为含碳量小于0.8%的合金自奥氏体开始析出铁素体(叫自由铁素体)的温度线。随着温度降低,析出铁素体量增多,剩余奥氏体中含碳量沿 GS 线增加。通常叫 GS 线为 A_3 线, SE 线为 A_{cm} 线。

共析线: PSK 线。它对应于温度723℃,在此温度,相应于 S 点之含碳量(即0.8%)的奥氏体与 P 点之成分(0.02%)的铁素体和 Fe_3C 三相平衡共存:



含碳量0.8%的合金冷却至723℃时,自奥氏体同时分解出铁素体和渗碳体,这一反应叫共析反应,生成组织为珠光体。因而 S 点叫共析点。通常称 PSK 线为 A_1 线。

含碳量大于0.02%的铁碳合金中都有共析反应发生。含碳量低于0.8%时先析出自由铁素体，使剩余奥氏体中含碳量逐步升至0.8%再发生共析反应。含碳量大于0.8%时先析出二次渗碳体使奥氏体的含碳量逐步降至0.8%，再产生共析反应。

上述临界温度 A_1 、 A_2 及 A_m 是在无限缓慢加热或冷却条件（即平衡条件）下得到的。而实际加热或冷却过程速度较快，故实际过程中临界温度的位置将发生变化。临界温度的位置随加热速度增大而升高，随冷却速度增大而降低。我们叫加热时相应的实际临界温度为 A_{c1} 、 A_{c2} 及 A_{cm} ，而叫冷却时相应的实际临界温度为 A_{r1} 、 A_{r2} 及 A_{rm} 。

三 铁碳合金室温下的平衡组织

根据铁碳合金相图，可以得到不同成分的合金在室温下的平衡组织。

表 2—2 铁 碳 合 金 平 衡 组 织

名 称		含 碳 量	室温下平衡组织
工 业 纯 铁		$<0.04\%$	铁素体晶粒
钢	亚共析钢	$<0.8\%$	自由铁素体 + 珠光体
	共 析 钢	0.8%	珠光体
	过共析钢	$0.8—2.06\%$	二次渗碳体 + 珠光体
生 铁	亚共晶生铁	$2.06—4.3\%$	珠光体 + 莱氏体
	共 晶 生 铁	4.3%	莱氏体
	过共晶生铁	$>4.3\%$	一次渗碳体 + 莱氏体

(1) 含碳量 0.8% 的共析钢平衡组织是共析反应所产生的铁素体与渗碳体的混合物，叫作珠光体。其特征为铁素体与渗碳体相间的层片状组织（照片2—3）。各组层片的方向不尽相同。较粗的层片经硝酸酒精溶液腐蚀后，在光学显微镜下可鉴辨渗碳体的相界。当层片较细时，则难于分辨清晰。

(2) 亚共析钢的平衡组织为自由铁素体和珠光体。自由铁素体的量随含碳量的增加而减少。含碳较高者，自由铁素体沿奥氏体晶界析出构成网状，含碳较低的钢中自由铁素体呈块状。经硝酸酒精溶液浸蚀的金相试样，在光学显微镜下自由铁素体白而发亮，珠光体则依组织粗细而呈层片状或暗黑色（见照片2—2）。

(3) 过共析钢的平衡组织为二次渗碳体和珠光体。二次渗碳体是冷却时通过 A_m 线先于珠光体沿奥氏体晶界析出的。所以呈网状分布包围着珠光体团。含碳量愈高，网状愈完整（见照片2—4）。

(4) 含碳量为 4.3% 的铁碳合金为共晶生铁。高温下的组织是奥氏体和渗碳体组成的共晶混合物：莱氏体（照片2—5）。降温时应从奥氏体中析出二次渗碳体并在 723℃ 发生共析反应生成珠光体。所以室温下莱氏体的显微组织由渗碳体和珠光体组成。而二次渗碳体由于光学显微镜的分辨率所限制不能鉴别。照片2—5中白亮者为渗碳体，黑色者为珠光体。在含碳量为 2.06% 至 4.3% 的亚共晶生铁中，除莱氏体外还有大块珠光体。而含碳量大于 4.3%