

金属材料金相图谱

JIN SHU CAI LIAO JIN XIANG TU PU

江苏科学技术出版社

金属材料金相图谱

南京汽车制造厂

南京红卫机械厂

南京航空学院

江苏省机械研究所

编著

江苏科学技术出版社

金属材料金相图谱

*

江苏科学技术出版社出版
江苏省新华书店发行
江苏新华印刷厂印刷

1979年7月第1版
1979年7月第1次印刷
印数：1—10,500册

书号：15196·010 定价：(精) 4.20元

前 言

对金属及其合金进行金相分析，是衡量其质量的重要方法，也是开展金属材料试验研究和改进热加工工艺的一个重要环节。我们搜集了近年来国内外金相试样，进行研磨、摄制，编写了金属材料金相图谱，包括铸铁、铸钢及锻钢，铝及铝合金，铜及铜合金，镁合金，低熔点合金，钛及钛合金，变形镍基合金和硬质合金等九部分，共计三百三十一张照片(有少量引用国外资料)，并逐个作了注解与说明，可供金相热处理工作者和金属材料研究、教学人员参考使用。

在编写过程中，曾得到上海交通大学、上海材料研究所、上海科技交流站、江苏省理化协作网中心组和南京市理化协作网中心组的大力帮助，特此表示感谢。

由于受到水平与条件所限，图谱中缺点与错误在所难免，诚恳希望同志们提出批评和指正。

编 者

一九七七年十月

目 录

	文字页次	图片页次
第一章 铸铁.....	1	37
第二章 钢.....	5	57
第三章 铝及铝合金.....	11	87
第四章 铜及铜合金.....	15	115
第五章 镁合金.....	20	151
第六章 低熔点合金.....	23	157
第七章 钛及钛合金.....	27	163
第八章 变形镍基合金.....	29	169
第九章 硬质合金.....	32	179
附录 金属材料金相图谱腐蚀剂.....	33	
主要参考文献.....	35	

第一章 铸 铁

第一节 概 述

含碳大于2.11%的铁碳合金称为铸铁。铸铁中的碳有时为化合状态的渗碳体(Fe_3C)，有时为游离状态的石墨。当碳完全以化合状态出现时，铸铁断面呈白亮的放射状，性硬而脆，称为白口铸铁；当碳全部以石墨的形式出现或除石墨外尚有少量碳组成为珠光体的化合碳时，铸铁的断面呈灰色，就称为灰口铸铁。

铸铁中石墨的形成机理，一般有二种。一种认为石墨是由渗碳体分解而来，白口铸铁经过高温退火而得到可锻铸铁的事实，可以证明这种观点；另一种则认为石墨既可由渗碳体分解而来，又可直接从铁水和奥氏体中析出，在生产中经常出现的石墨飘浮现象，是石墨直接从铁水中析出的证明。按照后一种观点，铁碳合金的结晶过程和组织转变可以按铁—渗碳体或铁—石墨二种体系进行，与此相应就有二种状态图，铁碳双重状态图就是这二种状态图的迭合。图1-1为铁碳双重状态图，图中实线表示铁—渗碳体系，虚线表示铁—石墨体系，虚线与实线重合的线条都用实线表示。

由于石墨对灰口铸铁的机械性能具有十分重大的影响，因此研究化学成分对铸铁组织的影响，主要是研究这些元素对石墨化过程的影响。按其对于石墨化影响的

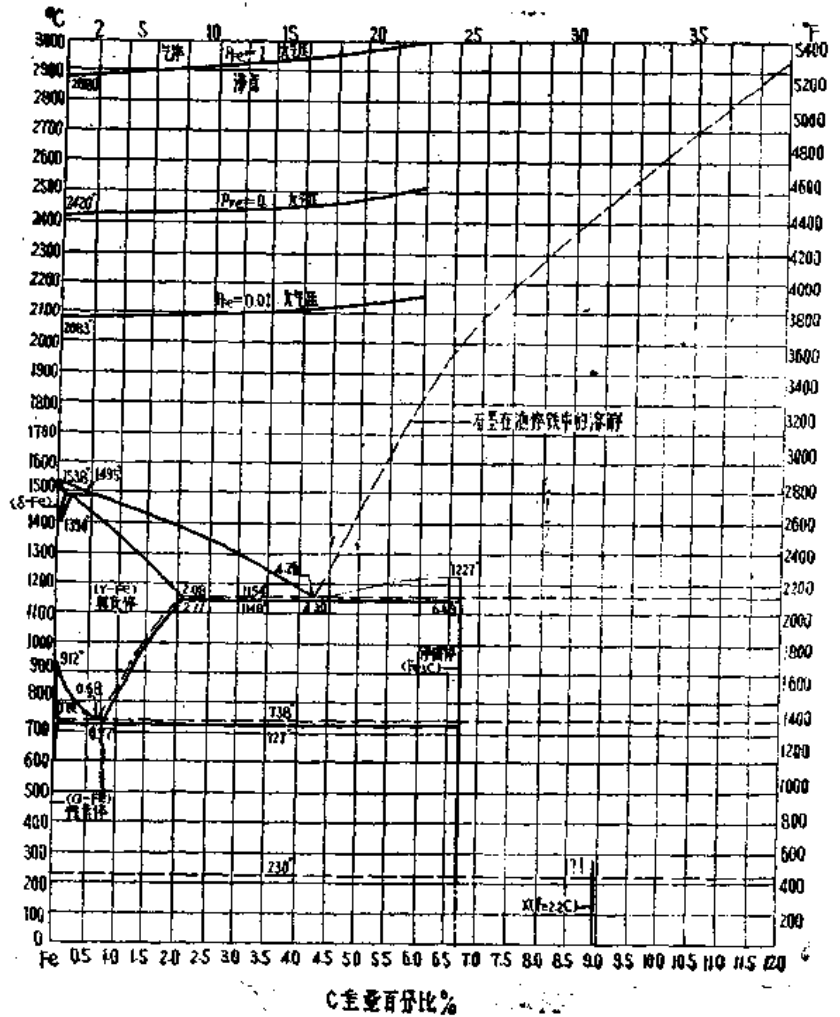
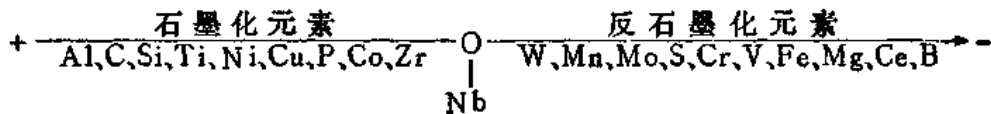


图 1-1 铁碳双重状态图

同,铸铁中较为常见的元素可分为石墨化与反石墨化两大类:



元素铌(Nb)是中性的,它左面的元素促进石墨化,右面的元素反石墨化,距铌愈远,作用愈强,当然不能孤立、静止地看问题,如碳是石墨化元素,但当铸铁中含硅极少时,却往往得到白口组织。再如,锰是反石墨化元素,但锰却能与硫结合,消除反石墨化作用更为强烈的硫的作用,此时,锰实际上间接起着促进石墨化的作用。铜是石墨化元素,但在共析转变时,铜延缓奥氏体的分解,促进形成细晶粒的珠光体,起着阻碍石墨化的作用。

根据化学成分及处理情况不同,铸铁可以分为白口铸铁,灰口铸铁,可锻铸铁(白芯、黑芯、珠光体可锻铸铁),球墨铸铁以及特殊合金铸铁(马氏体白口铸铁、高铬铸铁、耐酸铸铁、无磁性奥氏体铸铁、耐热奥氏体铸铁、耐热球墨铸铁等)。

第二节 白口铸铁

铸铁在铸造时如果冷却较快或含硅较低,石墨化倾向小,容易形成白口铸铁,白口铸铁中的碳均呈渗碳体存在。根据铁碳平衡图,白口铸铁又可根据含碳量不同分为亚共晶、共晶和过共晶白口铸铁。

含碳量为4.3%的铁碳合金为共晶铸铁,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,降温时应从奥氏体中析出二次渗碳体,并在723°C发生共析反应生成珠光体,所以常温下莱氏体的显微组织由渗碳体和珠光体组成。在含碳量为2.11%至4.3%的亚共晶白口铸铁中,除莱氏体外还有大块珠光体(照片1-1),含碳量为4.3%共晶白口铸铁金相组织为莱氏体(照片1-2),而含碳量大于4.3%的过共晶白口铸铁中为莱氏体+一次渗碳体(照片1-3)。

第三节 灰口铸铁

灰口铸铁在浇铸时冷却较慢或含硅量较高时,渗碳体已分解成石墨,一般呈片状,可分为初生片状石墨(照片1-14),片状石墨(照片1-11)与过冷石墨(照片1-16)。按照化学成分与冷却速度不同,灰口铸铁可以分为三类:

1. 珠光体灰口铸铁——珠光体+石墨。
2. 珠光体+铁素体灰口铸铁——珠光体+铁素体+石墨。
3. 铁素体灰口铸铁——铁素体+石墨。

在本组试样中包括亚共晶灰口铸铁、过共晶灰口铸铁、磷灰口铸铁。亚共晶灰口铸铁金相组织为珠光体+中等片状石墨(照片1-13),过共晶灰口铸铁金相组织为初生粗大片状石墨+片状石墨+珠光体(照片1-15)。

用扫描电子显微镜观察石墨的特征,也可以看出初生石墨、片状石墨和过冷石墨形态不同(照片1-18、1-12、1-17)。

磷灰口铸铁包含着三元磷共晶,由磷化物、铁素体和渗碳体组成(照片1-21、1-22),用苛性苦味酸钠溶液腐蚀,使渗碳体变黑(照片1-24),用赤血盐、氢氧化钠溶液浸蚀后,使磷化物变黑(照片1-23),以此加以鉴别。

第四节 可锻铸铁

可锻铸铁也称马口铁或展性铸铁，是由白口铸铁经过适当退火处理而得到的。可锻铸铁有二种类型：

1. 脱碳的可锻铸铁(白芯可锻铸铁)

白芯可锻铸铁是用白口铸铁在氧化性介质中进行退火而得到的，因此白口铸铁的表层受氧化剂脱碳成为铁素体，而中心部分的冷却速度比黑芯可锻铸铁为快，珠光体中的渗碳体还来不及分解就被保留下来，所以表层组织为铁素体，中心为片状珠光体。由于其脱碳退火周期很长，机械性能较差等原因，我国已不再生产，仅在资源条件不利于石墨化退火的某些欧洲国家中生产。

2. 石墨化的可锻铸铁

石墨化可锻铸铁又可以分为铁素体可锻铸铁(黑芯可锻铸铁)和珠光体可锻铸铁。

(1) 铁素体可锻铸铁(黑芯可锻铸铁)

这种可锻铸铁是用白口铸铁毛坯，经过高温和低温两个阶段的石墨化退火，在高温和共析转变温度附近长时间退火，使其中的一次渗碳体、二次渗碳体和共析渗碳体逐渐分解而得到的，退火后金相组织为铁素体+团絮状石墨(照片 1-29、1-30)。

(2) 珠光体可锻铸铁

近几年来，国内外发展了珠光体可锻铸铁，系由白口铸铁经过高温退火处理后，获得以珠光体为主的珠光体可锻铸铁，金相组织为珠光体+团絮状石墨(照片 1-31、1-32)。

第五节 球墨铸铁

在普通灰口铸铁中，因片状石墨破坏了基体的连续性，所以强度较低。在铸造时，采用镁、铈、钼等作孕育剂使成为球状，这种铸铁称为球墨铸铁。由于球墨铸铁有足够的强度及一定的塑性，在许多方面较其他铸铁性能优越，目前正在得到大量推广和采用。

球墨铸铁铸态金相组织为珠光体+铁素体+球状石墨。将上述铸态试样又经过退火，得到以铁素体为基体的球墨铸铁，金相组织为铁素体+球状石墨(照片 1-25、1-26)。

第六节 合金铸铁

1. 低合金耐磨铸铁

加入少量的合金元素如锰、铬、铜、镍、钼、锡、钒、钛等元素，使灰口铸铁的珠光体量增加，从而提高铸铁的耐磨性和耐蚀性。目前在机器制造业中已得到广泛应用，如机床导轨，汽油发动机缸体等。

2. 高铬铸铁

铬能提高固溶体的电位，并能在腐蚀介质中生成保护膜，因此含27%Cr的高铬铸铁，不仅有良好的耐热性，并且还具有很高的耐蚀性。在同样的含铬量下提高碳含量，由于增加了共晶碳化物的数量，铸铁的耐蚀性下降，所以当提高碳含量的同时，应适当增加含铬量，达到1.0%碳与10%铬化合比例。

试样的化学成分为：碳2.7%左右、硅0.3%、铬27%，金相组织为在铁素体基体上分布着大量的片状或针状碳化物(照片1—35)。

3. 马氏体白口铸铁

化学成分为：碳2.98%、镍4.17%、铬1.82%属于亚共晶白口组织，由于镍、铬已经部分的稳定了奥氏体，其余部分已转变为马氏体，金相组织为奥氏体，呈树枝状分布，晶枝间为马氏体+碳化物(照片1-9、1-10)。

马氏体白口铸铁主要适用于耐磨零件。

4. 针状组织铸铁

由于含有一定的合金元素，铸态组织中形成以下贝氏体为主的针状组织，试样成分为：碳2.77%、硅2.14%、锰1.36%、镍1.38%、铬0.14%、钼1.18%。金相组织为下贝氏体+少量马氏体+残余奥氏体+少量碳化物+细片状石墨及过冷石墨(照片1-47、1-48、1-49)。

5. 奥氏体耐热铸铁

在合金铸铁中，增加镍和锰等元素的含量，能够稳定奥氏体相，获得耐热铸铁。在耐热铸铁中，镍可以单独加至36%；此外铬可至6.0%、铜7.5%及硅6%。

试样镍一铬，镍一铬一硅铸铁的金相组织基体均为奥氏体+铬碳化物+石墨(照片1-40、1-41、1-42、1-43、1-44、1-45、1-46)。

碳化铬的出现增加耐磨性，降低机械加工性能。

6. 无磁性奥氏体铸铁

无磁性奥氏体铸铁(锰6.0%、镍11.8%)一般应用于电器零件，为保证无磁性或微磁时，要严格控制铬含量，以避免出现大量的碳化铬。

锰常作为价廉的无磁性合金元素，一般加入4~7%，其金相组织为奥氏体+碳化物+枝晶间细小石墨片(照片1-36、1-37)。

7. 高硅耐热铸铁

硅是促进石墨化的元素，而且与氧的亲合力较大，当铸铁含硅量超过3%后，其耐热性就显著提高。高硅耐热铸铁的含硅量达5~6%，可在850℃以下工作。其金相组织为：在含硅铁素体的基体上，分布有细片状石墨，有时存在少量珠光体和小块状碳化物(照片1-38、1-39)。由于硅能在铸铁表面牢固地生成致密的二氧化硅保护膜，并能提高铁素体转变为奥氏体的转变温度，因而显著地提高了铸铁的耐热性。

8. 耐热奥氏体球墨铸铁

试样成分为：碳2.6%、硅2.3%、锰2.0%、镍21%、镁0.09%。

金相组织是在奥氏体的基体上，分布有球状石墨，但按其含铬量又可以分为二种，(Cr<0.05%与Cr为1.97%)前一种由于含铬量低，仅存在少量碳化物，后一种含铬量高，含有大块共晶碳化物(照片1-50、1-51、1-52、1-53)。

第二章 钢

第一节 概 述

铁碳合金中含碳量在0.05%以上, 2.11%以下时,称为钢。根据用途的不同,可以把钢分为结构钢(碳素结构钢、合金结构钢)、合金工具钢、高速钢、不锈钢、耐酸钢、耐磨钢等。

按照化学成分分类,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、中、高三类,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。

为了改善钢的某些性能,而特意加入一定量其它合金元素的钢,称为合金钢。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,根据钢中所含主要合金元素的种类,合金钢又可分为锰钢、铬钢、镍钢、镍铬钢、铬钼钢、镍铬钼钢等。

第二节 铁碳合金中的基本相

从铁碳合金状态图可知,除了液相以外,铁碳合金中还存在下列三种基本相,即存在铁素体、奥氏体和渗碳体。

按状态图,钢可以分为亚共析钢、共析钢、过共析钢。

共析钢在常温下的平衡组织,是由共析反应所产生的铁素体与渗碳体的混合物组织,叫做珠光体,其典型组织特征是铁素体与渗碳体呈片层状分布(照片 2-40)。亚共析钢在室温下的平衡组织为铁素体和珠光体。铁素体的数量随钢的含碳量的增加而减少。含碳量较高的钢,铁素体沿奥氏体晶界析出而形成网状,含碳量较低的钢中铁素体呈块状(照片 2-36)。过共析钢的平衡组织为珠光体和二次渗碳体。二次渗碳体是钢在冷却时通过 A_{cm} 线在奥氏体的晶界首先析出,并随着温度下降不断增多,最后共析成分的奥氏体转变为珠光体,因此二次渗碳体呈网状包围着珠光体(照片 2-47)。若用苦味酸钠溶液腐蚀则可将渗碳体网染成黑色。

第三节 钢中过冷奥氏体的转变产物

铁碳合金状态图是指无限缓慢的冷却条件下而得到的,但在实际的生产中加热和冷却都不会是无限缓慢的,而是有一定速度的,这将影响钢的临界转变温度。冷却速度愈大,实际临界转变温度愈低。

1. 奥氏体等温转变的组织与性能

图 2-1 为 T8 钢奥氏体恒温转变曲线,由图可知,随着钢中奥氏体过冷度的不同,转变产物和性能也不同,现将 S 一曲线分成两个区域来讨论。

(1) 珠光体转变区域(A_1 至550°C温度范围)

从 A_1 到550°C温度范围内奥氏体等温分解为片状铁素体和片状渗碳体的共析混合物,成

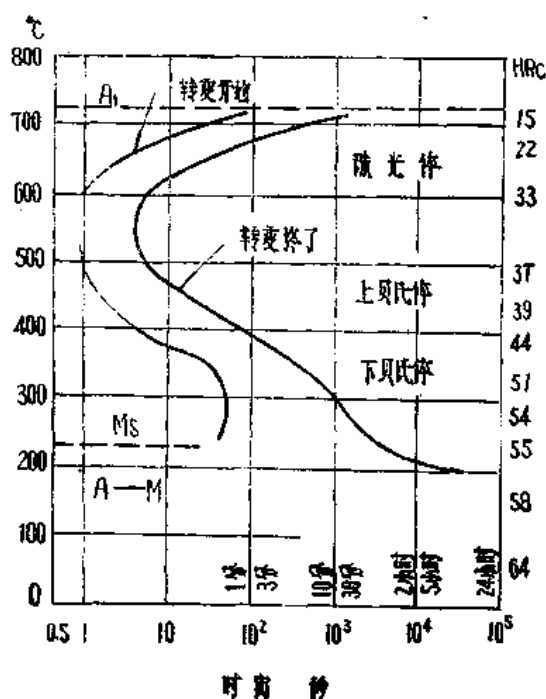


图 2-1 钢奥氏体恒温转变曲线 (T8 钢
奥氏体化温度 850°C)

最初生成了一组组并排生长的铁素体，当铁素体长大到一定程度后，在铁素体片的周围开始析出短杆状的不连续的碳化物，这些碳化物平行于铁素体片的长轴方向，最初分布在铁素体的两侧。继之，铁素体片由于碳化物的析出，继续向两侧的贫碳奥氏体区域生长，随着铁素体片的加宽，把不断析出的但沿着片纵向分布的碳化物包含在内。在显微镜下观察，上贝氏体呈羽毛状(照片 2-10)。

下贝氏体是奥氏体在 350~230°C 范围内的转变产物，在下贝氏体形成过程中，没有上贝氏体那种成排的相互激发成核作用，因而表现出一束平行的片状情况较少，尽管下贝氏体也是优先在奥氏体晶界上形成，但大量的下贝氏体还是在奥氏体晶粒内部形成，象马氏体一样，一般认为下贝氏体是先借切变在奥氏体的一定晶面上形成过饱和的铁素体，然后再在铁素体内析出碳化物。用 x 射线证实了铁素体内的碳化物和铁素体有一定的位向关系。下贝氏体内的碳化物分布与上贝氏体不同，碳化物和铁素体的轴向成 55~65°。下贝氏体在显微镜下观察呈黑色针状形态(照片 2-11)。

下贝氏体由于在铁素体片上沉淀许多弥散的碳化物质点，腐蚀后不均匀性很显著，在金相显微镜下便可根据这一特征来区分下贝氏体和回火马氏体，前者呈暗黑色针状组织，而后者呈灰色针状组织。

低、中碳的合金钢中连续冷却时会发现粒状贝氏体，其组织特征是大块状的铁素体，在光学显微镜下，铁素体内又包含着一些碳化物和一些不规则的小岛状的组织，这些海岛状组织为富碳奥氏体，有时含有马氏体。随着冷却条件不同，海岛状中的奥氏体可分解为马氏体或碳化物 + 铁素体，还可能保留一部分奥氏体，照片 2-7, 2-8 为粒状贝氏体 + 马氏体。

2. 奥氏体连续冷却转变产物的组织和性能:

大部分热处理工艺如退火、正火和淬火操作中，都是将钢加热到奥氏体状态以后，由高温

为层片状组织。等温转变的温度越低，形成的铁素体和渗碳体片越细，习惯上按层片的粗细分为珠光体、索氏体、屈氏体(或称托氏体)。

珠光体在金相显微镜下很容易鉴别。索氏体要用高倍金相显微镜才能分辨出铁素体和渗碳体的层片，如照片 2-12, 2-50。而屈氏体由于它的铁素体和渗碳体层片极细密，在一般金相显微镜下观察为暗黑色组织(照片 2-53)。

(2) 贝氏体转变区域(550°C至230°C温度范围):

在 S 曲线的拐弯处以下的温度范围内，(550°C~230°C) 奥氏体等温转变的产物称为贝氏体。贝氏体也是铁素体和渗碳体的混合物，但是它的形态、性能以及形成过程都和珠光体不同。根据转变产物形态的不同，又分为上、下贝氏体。

上贝氏体是奥氏体于 550~350°C 温度范围内的转变产物。由于相互激发的成核作用，

连续冷却到室温的。在连续冷却过程中，奥氏体发生了组织转变。不同的冷却速度，使钢得到不同的组织，因而它的性能也就不同。

钢加热到奥氏体后，如以大于淬火临界冷却速度，冷至 M_s 温度就发生马氏体转变，按形态马氏体大致有两种类型：

(1) 板条状马氏体

低碳钢及低碳合金钢淬火后得到板条状马氏体组织，它的特征是：马氏体呈板条状，而且同方向生长成平行排列的细条，这些同方向平排的细条马氏体组成集合体，而在一个晶粒里包含有许多集合体。用电子显微镜观察，可以分辨出每一个集合体包含有许多相互平行的板条，宽度从 0.1μ 到几个 μ 。

由于板条马氏体只在含碳不高的钢中形成，所以也称低碳马氏体(照片 2-35)。

(2) 针状马氏体

含碳高的淬火马氏体组织，具有针状特征，它的立体形态是边端尖的薄片与透镜相仿。

在光学显微镜下观察到的是马氏体片与试样磨面的截面，一般呈针状，确切地说如竹叶状，如照片 2-43 所示。针状马氏体按一定的方位形成，一般成 120° 或 60° 。

未经加热的马氏体试片经硝酸酒精腐蚀后，马氏体针是白亮的，针间夹着白色的残余奥氏体，加热超过 80°C 以后，经腐蚀马氏体针即变暗。

在回火加热过程中，钢的组织转变一般分为四个阶段：碳自马氏体中析出、残余奥氏体的分解、内应力消除及碳化物的聚集和长大。

淬火钢在($150\sim 200^\circ\text{C}$)的低温回火中，得到回火马氏体的组织，回火马氏体保留了淬火马氏体针的方向性，固溶体中碳聚集形成了弥散度极高的亚稳定的与基体共格的碳化物质点。经回火后钢中残余奥氏体亦将分解，而且随着碳由固溶体内析出，钢中因淬火所产生的内应力也消除。回火马氏体(照片 2-55)。

淬火钢在 $300\sim 450^\circ\text{C}$ 的回火中，得到回火屈氏体组织，这时渗碳体已经大量析出，但仍然是极细，即使在高倍的光学显微镜下，也很难分辨。回火屈氏体仍保持马氏体的针状特征，可以区别于淬火屈氏体。回火屈氏体(照片 2-56、2-62)。

高温回火($500\sim 600^\circ\text{C}$)所得到的组织是回火索氏体，这时在高倍显微镜下可看到渗碳体的小颗粒。回火索氏体(照片 2-58、2-63、2-64)。

第四节 结构钢

1. 碳素结构钢：

钢的含碳量在 0.80% 以下的通常称为碳素结构钢，在 0.80% 以上的称为碳素工具钢。实际生产中的碳素工具钢，含碳量也极少超过 1.25% 。

根据显微组织的不同，可将碳钢分为三类，即铁素体+珠光体的亚共析钢；完全为珠光体的共析钢和珠光体+渗碳体的过共析钢。

本图片中包括不同含碳量的轧制状态金相组织(照片 2-23 至 2-31、2-47)和退火状态的金相组织(照片 2-32 至 2-40)。从珠光体和铁素体(或渗碳体)的含量多少，可以估计出钢材的含碳量。

轧制状态的特征为珠光体+铁素体(或渗碳体)成带状分布，而退火状态的金相组织则成等轴状分布。

经过不同的退火规范以后,可以得到片状或球状珠光体,相应的硬度也有所不同。一般对冷墩、冷挤压等工艺加工时,要求得到球状珠光体。经过球化退火后金相组织(照片 2-41)。经过正火处理后一般得到片状珠光体(照片 2-45, 2-46)。

低碳钢从 738°C 到 620°C 缓慢冷却时,会产生三次渗碳体沿晶界析出,并呈网状分布(照片 2-24),三次渗碳体的出现会显著降低塑性。

加热温度较高,冷却缓慢时,铁素体往往成方向性,即魏氏组织(照片 2-2)。

2. 合金结构钢

钢中除碳以外,有意加入其它元素或某些杂质超过限量,如硅 $>0.5\%$ 、锰 $>0.7\%$ 时,称为合金钢。合金结构钢的合金元素一般在 5% 以下,在工业上常用元素有铬、镍、锰、硅、钨、钼、硼、钒、钴和钛等。

钢中合金元素对热处理影响极大,特别是淬透性,例如除钴外,几乎所有合金元素都使奥氏体分解速度延缓,临界冷却速度降低和 M 点(马氏体转变温度)降低,其中以钼、铬、锰、镍等元素增加钢的淬透性最为显著。

用于机械制造上的结构钢,主要有渗碳钢和调质钢二种。

渗碳钢的含碳量一般都很低($0.15\sim 0.25\%$),这样可以保证渗碳零件心部的韧性。为了提高钢的心部硬度,可使钢中加入一定数量的合金元素,其主要作用是增加合金渗碳钢的淬透性,使在淬火和低温回火后表层和心部组织得到强化,以及形成稳定的合金碳化物和阻止奥氏体晶粒长大,并使合金渗碳钢在淬火和低温回火后表层和心部组织得到强化,特别是增加表面耐磨性。

本图谱中属于渗碳钢范畴有低碳锰钢(照片 2-4、2-48);低碳钼钢(照片 2-6、2-49);低碳铬钼钢(照片 2-12、2-13)等。

调质钢的含碳量一般在 $0.25\sim 0.50\%$,加入合金元素,主要为了提高淬透性能,使得淬火回火后得到均匀组织——索氏体和屈氏体,加钼能防止合金调质钢在高温回火时发生的第二类回火脆性现象。

本图谱中的中碳镍钢(照片 2-59 至 2-66);中碳硅锰钢(照片 2-5);中碳铬钢(照片 2-67);中碳镍铬钢(照片 2-7、2-8、2-70、2-71);中碳镍铬钼钢(照片 2-50、2-51)等,因合金元素含量不同,淬透性能有很大差异,热轧后空冷,分别获得珠光体、索氏体、屈氏体和马氏体组织。

第五节 合金工具钢

由于钢中加入合金元素,使过冷奥氏体的稳定性增加,临界冷却速度下降,同时,部分合金元素可形成合金碳化物,因此合金工具钢能够在较慢的冷却介质中(如油)淬火仍能获得较高的硬度,并减少工具的变形和开裂,机械性能也较优异。

合金工具钢含碳量一般较高,如碳大于 0.80% ,用于制造刀具、量具,这些钢淬火后硬度均在HRC60以上,并具有足够的耐磨性,含 $0.91\%C$ 、 $1.34\%Cr$ 的钢,金相组织(照片 2-68, 2-69)。

第六节 高速钢

高速钢主要用于制造刀具,在高温下(600°C左右)仍能保持切削性能。高速钢常含有大量的合金元素钨、铬、钼、钒等,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 18-4-1,其中含 17.5~18.5%W、3.8~4.8%Cr、1.0~1.4%V、0.68~0.80%C。一般高速钢中主要的合金元素有钨,用以形成各种碳化物,它的硬度较高。此外还加入其它元素如铬、钒、钴、钼等,使钢的性能更为优越。钨与钒都提高高速钢红硬性,由于钨在马氏体中和碳的结合力很强,温度提高到600~625°C时也不易分解,故可保证高速钢的红硬性。在高速钢中钒以稳定的VC型碳化物存在,在淬火后的回火过程中,钒以细小碳化物析出,使马氏体弥散硬化,产生二次硬化并提高红硬性。铬在钢中不仅增加钢的淬硬性,阻止高温碳化物聚集,而且与钨共同形成复合碳化物。

高速钢热轧后经过900°C退火,组织为索氏体+碳化物,略有带状倾向(照片2-75、2-76)。

第七节 不锈钢耐酸钢

工业上应用的不锈钢都以铬镍为主要合金元素,在大多数化学介质中不容易受腐蚀。常用的有铬不锈钢、铬镍不锈钢等。加入铬之所以提高钢的耐腐蚀性,是因为铬使铁基固溶体的电位提高,使钢在氧化性介质中表面形成稳定而致密的氧化膜,从而使钢处在钝化状态。碳在不锈钢中因为与铬结合成碳化铬而降低钢的耐蚀性能,但为了使不锈钢具有一定的机械性能,碳又是不可少的元素。从耐蚀性考虑,不锈钢含碳量愈低愈好,只有用于高强度与耐磨性的不锈钢,才将含碳量适当提高一些。

除了铁、铬、碳这三个基本元素外,不锈钢还含有其它元素,如镍是为了提高不锈钢的强度和奥氏体的稳定性,以获得高的耐腐蚀性能、工艺性能以及无磁特性,如Cr18Ni9型铬镍奥氏体钢。加铌或钛是为了消除铬镍奥氏体不锈钢的晶间腐蚀敏感性。

不锈钢分为马氏体、铁素体和奥氏体三大类,试样2-72、试样2-15、试样2-14均属于马氏体不锈钢,由于含铬较高,淬透性能也相应提高,轧制和铸造后空冷即为马氏体+高铬碳化物(照片2-72、2-14、2-15)。

18-8型铬镍型奥氏体不锈钢,当加热到1000~1100°C可以得到均一的奥氏体组织,快冷以后使之保持到室温,这种处理称为固溶处理。

18-8不锈钢经固溶处理以后,因为碳化物在高温加热时被充分溶解,快冷后固溶在奥氏体中,因此提高了耐蚀性。

18-8不锈钢加钛或铌是为了消除晶间腐蚀,但发挥其效果必须经过稳定化处理之后才能实现,虽然由于钛或铌加入后可形成碳化钛或碳化铌以代替碳化铬,但以含钛的钢为例,当经1050°C以上加热固溶处理以后,大部份碳化钛被溶解,固溶体中溶解了饱和的碳,随后在700°C以下加热,由于钛的原子半径大于铬,在此温度下,钛的扩散能力低于铬,所以仍形成碳化铬而不是碳化钛,只有700°C以上时效,才能保证形成碳化钛,达到防止晶间腐蚀的效果。用铌稳定的钢也是如此。试样镍-铬-铌奥氏体钢、铬-镍-钨奥氏体钢、镍-铬奥氏体钢、18-8钛稳定化处理奥氏体钢的金相组织(照片2-17至2-22、2-73)。

第八节 耐磨钢

目前广泛使用的耐磨钢,主要是高锰钢,含1.0~1.3%C、11~14%Mn,在平衡状态下应为铁素体与碳化物的机械混合物,如要得到完全奥氏体组织,必须加热到1000°C以上,进行快冷。高锰钢硬度并不高,约在布氏200~250之间,其所以能具有很高的耐磨性,主要是由于在塑性变形的作用下,沿滑移面形成马氏体组织,其次,表面层因塑性变形还会引起加工硬化,因此高锰钢的“耐磨”性,必须在受压后才会产生。

高锰钢淬火后组织为奥氏体,若重新加热到300~400°C后,则组织中会出现针状马氏体。试样2-74为热轧高锰钢,经过1050°C水淬,得到具有孪晶的粗大奥氏体晶粒,并存在滑移线,经硝酸溶液腐蚀后有亮和暗的颜色变化(照片2-74)。

第三章 铝及铝合金

铝及铝合金按其特性可分为纯铝、铸造铝合金和变形铝合金三类。

第一节 纯 铝

极纯铝的组织为单相固溶体 α (Al)。在工业纯铝中因含有铁硅等杂质元素，因而可能出现 $FeAl_3$ 相、 T_1 ($Al_{12}Fe_3Si$)、 T_2 ($Al_9Fe_2Si_2$) 和 Si 相。在实际生产中，工业纯铝中铁硅含量较低，因此一般情况下， T_2 ($Al_9Fe_2Si_2$) 和 Si 相不会出现，但经常可看到 T_1 ($Al_{12}Fe_3Si$) 相和 $FeAl_3$ 相。铸造状态的 T_1 ($Al_{12}Fe_3Si$) 常以共晶组织出现，呈骨骼状。

纯铝经变形后，组织形态有很大的改变，原来呈粗针或条状的 $FeAl_3$ 和呈骨骼状的 T_1 相，变形后被破碎成为粒状或小块状。如照片 3-44，经热挤后可看到呈块状和粒状的 T_1 相。

第二节 铸造铝合金

铸造铝合金的种类较多，本图谱着重介绍 Al—Si 系和 Al—Mg 系两类合金。

1. 铝—硅系铸造合金

铝—硅系合金的突出优点是铸造性能好，且有足够的机械性能和抗蚀性，所以应用较广。

(1) 铝—硅二元合金

铝—硅二元合金具有极好的铸造性，工艺简单，因此目前应用较普遍。

图 3-1 为铝—硅二元合金的状态图，由图可见铸造状态的铝—硅二元合金的相组成为 α 和 Si。

工业应用的铝—硅合金含硅量为 11.6~14.5%，为过共晶铸造合金，组织由少量初晶硅和 ($\alpha + Si$) 共晶组成。

初晶硅呈多角状，共晶硅呈针条状，在含铁较高时，尚会出现 T_2 ($Al_9Fe_2Si_2$) 和 T_1 ($Al_{12}Fe_3Si$)，照片 3-2 摄于铁含量较高的区域，出现呈骨骼状的 T_1 和粗针状的 T_2 相。

铝—硅合金经变质处理后，消除了初晶硅，并大大地细化了共晶硅，从而提高了合金的强度。由照片 3-3 和 3-4 可明显看出变质处理对铝—硅合金组织的影响。照片 3-5 和 3-6 为在扫描电镜下摄制的变质和未变质的铝—硅合金共晶硅的形态，未变质的共晶硅呈板块状；变质后的共晶硅呈链粒状。

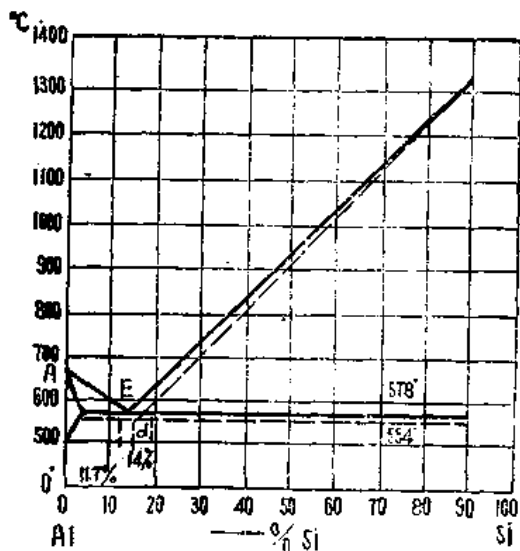


图 3-1 铝—硅二元合金状态图

(2) 铝—硅—铜系合金

在铝—硅合金中加入铜会出现新相 CuAl_2 ，提高合金的强度，改善切削性能，但降低合金的塑性和抗蚀性，所以加入量不应超过 3%。

铝—硅—铜系合金中常含有锰、铁等杂质元素，因此除出现 α 、 Si 、 CuAl_2 等相外，尚出现 AlCuFeMn 、 $\text{N}(\text{Al}_3\text{Cu}_2\text{Fe})$ 及 Mg_2Si 。 AlCuFeMn 呈骨骼状， Mg_2Si 为黑色块状， N 相呈针状。

照片 3—17 至 3—22，有较多的 AlCuFeMn 相，但未见 $\text{N}(\text{Al}_3\text{Cu}_2\text{Fe})$ 相，采用 10% NaOH 和 20% H_2SO_4 水溶液浸蚀，可突出显示 AlCuFeMn 相(照片 3—19 和 3—20)。

本图谱包含不同含量的 14 个铝—铜—硅合金，用以说明成分和组织的关系，为了充分显现各相的特征，用 10% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 水溶液，经过适当腐蚀后， α 相呈白色， CuAl_2 呈黑色， Si 相呈灰色(照片 3-25 至 3-43)。

提高铝—硅—铜合金中的铜和镁含量，出现新的强化相 $\text{S}(\text{CuMgAl}_2)$ 和夹杂相 AlCuFeMn 。 S 相呈密集状结晶， AlCuFeMn 呈典型骨骼状(照片 3-10 和 3-16)。

(3) 复杂铸造铝合金

为了提高合金的耐热性和强度，在铝—硅合金中同时加入铜、镁、铁、镍、钛等多种合金元素。加入铜、镁可提高合金强度；加入铁、镍可提高耐热性；加入钛可细化晶粒。铝—硅合金中加入铁镍形成不溶于基体的复杂化合物 FeNiAl_3 和 AlCuNiFe 相。 FeNiAl_3 呈骨骼状或大块状，抛光状态下为浅灰色(照片 3-11、3-12)。 AlCuNiFe 呈亮灰色的骨骼状(照片 3-24)。

2. 铝—镁系合金

铝—镁铸造合金的突出优点是机械性能高、抗腐蚀性强、比重小；缺点是铸造性差、热强性低，只能用于 80°C 以下工作的零件。

镁在铝中有较大的溶解度，且随温度而变化，但由于镁形成的化合物 $\beta(\text{Al}_3\text{Mg}_2)$ 相与基体不共格，强化效果不显著，但镁能固溶在铝基体中，产生固溶强化。

工业上的铝—镁合金含镁为 9.5~11.5%，如镁含量过高会出现 β 相，使合金的强度和塑性都降低。

铝—镁合金中常含有少量铁和硅，所以会出现 Mg_2Si 和 FeAl_3 相。铝—镁合金只采用砂模铸造，快冷会产生很大的偏析。铸造组织为 $\alpha + \beta(\text{Al}_3\text{Mg}_2)$ 和少量的 Mg_2Si 、 FeAl_3 相。 $\beta(\text{Al}_3\text{Mg}_2)$ 呈亮灰色块状、 Mg_2Si 呈蝴蝶状、 FeAl_3 呈针状(照片 3-7、3-9)。

β 相脆而硬，它的出现将使合金强度和塑性下降。镁在铝中的最大溶解度为 15.35%，按理工业铝镁合金因不出现共晶 β 相，只出现二次 β 相，实际上由于偏析存在出现少量离异共晶 ($\alpha + \beta$)。在 430°C 固溶处理 8~24 小时后淬火，使二次 β 相固溶于 α 中成为过饱和固溶体，少量的共晶 β 相和 Mg_2Si 未溶而保留下来。照片 3-8，由于共晶 β 甚少，故固溶处理后的相组成为 $\alpha + \text{Mg}_2\text{Si}$ 。

铝镁合金淬火后，一般不时效，时效会使 β 相重新析出，使强度和塑性下降。时效时 β 相以针状析出，温度愈高析出的弥散度愈小，针状愈粗大。照片 3-9 为 250°C 时效的组织。

第三节 形变铝合金

形变铝合金的种类较多，主要介绍防锈铝合金和锻造铝合金。