

铸 铁 及 其 熔 化

中 册

—灰口铸铁—

(试用教材)

北 京 钢 铁 学 院

铸 工 教 研 组

一九七五年一月



北京钢铁学院
铸工教研组
一九七五年一月
PDG

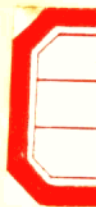
北京钢铁学院

目录编号：750207

定 价：0.60元

校对者：铸 工 教 研 组

印刷者：北京钢铁学院印刷厂



毛主席语录

教育必須为无产階級政治服务，必須同生产劳动相結合。

学制要縮短。課程設置要精簡。教材要彻底革改革，有的首先刪繁就簡。

路綫是个綱，綱举目张。

进行无产階級教育革命，要依靠学校中广大革命的学生，革命的教員，革命的工人，要依靠他們中間的积极分子，即决心把无产階級文化大革命进行到底的无产階級革命派。

不要把分数看重了，要把精力集中在培养分析問題和解決問題的能力上，不要只是跟在教員的后面跑，自己沒有主动性。

要自学，靠自己学。

序 言

毛主席教导我们：“教材要彻底改革，有的首先删繁就简”。

这部分教材是预定供我院铸工专业工农兵学员使用的试用教材。教材的编写计划和初稿曾经北京起重机厂铸工车间的工人师傅和技术员同志们讨论和审评过，吸取了他们许多宝贵的经验和意见，对于他们的支持和帮助，谨致以衷心感谢。

针对旧教材存在的问题，在编写中，力求以辩证唯物主义的认识论为纲，以理论联系实际，有利于自学为原则。加写了第一章炉前检查以配合铸铁熔化，组织检查以配合教学实验，目的在于首先从实践出发打下感性认识基础。第二、三、四章是灰口铸铁的基本内容，供学员结合生产实际自学、研究之用。最后增编了性能控制内容，配合教学上再实践环节的学习。删去了旧教材中铸铁物理——化学性能等次要内容，避免把教材编成包罗万象的专门著作，以求减轻学习上的负担。

本教材要求实践环节如生产劳动、教学实验，先行课程如金属学，相邻课程如铸造工艺等予以配合。

在编写过程中，在主观上虽然力求用毛主席思想指导，贯彻政治统帅业务，理论联系实际，内容精简扼要，文字流利通俗，但由于编者政治思想水平不高，业务能力很差，力不从心，教材中存在不少缺点、错误，希望工农兵学员同志们，工人师傅们，革命技术人员及其他各界同志们尽量提出批评指正。

编者 1974.2. 北京

目 录

绪 论

第一章 灰口铸铁的检查.....	4
第一节 炉前检查.....	4
一、三角试样的断口检查.....	4
二、机械性能检查.....	7
三、化学成分检查.....	8
四、铁水温度检查.....	8
第二节 显微组织检查.....	8
一、石墨.....	9
二、金属基体.....	10
三、渗碳体.....	11
四、铸铁中的磷、硫化合物.....	12
第二章 铸铁的组织、性能、成分.....	14
第一节 铸铁的组织.....	15
第二节 石墨对金属基体性能的影响.....	17
一、石墨对机械性能的影响.....	17
二、石墨对其它性能的影响.....	22
第三节 铸铁的化学成分与组织.....	25
一、碳与铸铁的组织.....	26
二、硅的石墨化作用.....	27
三、碳、硅与铸铁的组织.....	27
四、锰和硫.....	29
五、磷.....	31
第四节 铸件壁厚对铸铁组织的影响.....	32
第三章 铸铁的组织形成.....	36
第一节 铸铁的平衡组织.....	36
一、石墨和渗碳体的晶体结构.....	36
二、双重铁—碳平衡图.....	38
第二节 铸铁的非平衡组织转变.....	44
一、冷速对铸铁共晶转变的影响.....	44
二、过共晶和亚共晶铸铁的一次结晶.....	48
三、第一阶段石墨化.....	49
四、铸铁的共析转变.....	51
第三节 化学成分对铸铁组织形成的影响.....	52

一、化学元素对相图上各临界点位置的影响	52
二、化学元素对石墨化过程的影响	54
第四章 铸铁的孕育处理	57
第一节 低碳灰口孕育铸铁	57
一、孕育剂	57
二、孕育作用	58
三、孕育理论	60
四、化学成分选择	61
五、低碳孕育铸铁的用途	64
第二节 高碳稀土灰口铸铁	64
一、稀土合金	64
二、处理工艺	66
三、化学成分选择	66
四、关于稀土合金加入量问题	69
五、含硅量的控制问题	72
六、对高碳稀土灰口铸铁的评价	73
第五章 灰口铸铁的性能控制	75
第一节 灰口铸铁的铸造性能	75
一、灰口铸铁的流动性	75
二、灰口铸铁的收缩	77
第二节 灰口铸铁的机械性能控制	81
一、灰口铸铁的强度指标	81
二、灰口铸铁的国家标准	82
三、灰口铸铁的机械性能及机械性能试样	84
四、几种典型铁级控制	87

绪 论

铸铁的定义：铸铁是铁、碳、硅的一种共晶型合金。从这个科学定义来说，铸铁也就是生铁。然而按一般习惯说来，铸铁 (Cast Iron) 是指机械工业中各铁种、铁级而言，强调的是它的应用性质。生铁 (Pig Iron) 是指高炉的各种冶炼产品，强调的是它的原材料性质。现代机械制造中所用的各铁种、铁级是由高炉出产的生铁经过重熔而来的。铸铁的化学成分范围大致如下：

C 2.0~4.0%； Si 1.0~3.5%； Mn 0.4~1.5%； P 0.05~0.60%； S 0.02~0.20%。其余为Fe及其他微量元素，约92~95%。

铸铁的分类：根据铸铁的不同特点，可将铸铁作如下的分类。

1) 按断口颜色分：可分为灰口铁、白口铁、麻口铁。

2) 按化学成份分：可分为普通铸铁 (C 3.0~3.5%)；低碳铸铁 (C 2.0~2.8%)；合金铸铁。

3) 按生产方法分：可分为灰口铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、冷硬铸铁等。

4) 按铸铁的性质或用途分：可分为普通铸铁、高级铸铁 (抗拉强度在30公斤/毫米²以上者)、耐磨铸铁、耐热铸铁、耐酸铸铁、电工铸铁、器皿、艺术品铸铁等。

铸铁的用途：铸铁由于它的资源储量较别的金属丰富，生产工艺过程比较简便，因此，铸铁件成本较低。它还具有一定的强度性能以及良好的铸造和机械加工性能，因此它是一种较好的工程材料，被广泛应用于国民经济各部门中。例如在机械制造中，铸铁件的比重约占机器全重的一半左右。在几种特殊的机械制造部门，如：机床、柴油机、纺织机、汽车、拖拉机，以及各种中、低压泵，阀类，铸铁件比重超过一半，甚至达到95%。可以说：各种机器差不多都有铸铁件，各类机械制造厂也都配备有铸铁车间。

铸铁发展简述：人类利用黑色金属已有4000年以上的历史。根据出土文物看来，最早的黑色金属制品是锻打的“熟铁”件，而铸铁件 (生铁件) 总是晚于熟铁件。这个事实是符合冶炼技术发展的。因为熔化金属，需要高温 (1300°C以上)，也就需要优质燃料和强力鼓风，而“炒炼” (低温还原铁矿石) 及锻打制造“熟铁”件 (低碳的，近似钢的性质) 不需要很高温度，在技术上容易达到。据此可以推断出，最早的铸铁应是熟铁件经重熔 (增碳) 而浇注的。至于从铁矿石经高温还原直接炼成生铁，特别是灰口铁，因为技术要求更高，应该是更晚的时候了。可惜现在从最早的铸铁件中已难于分辨出何者是熟铁重熔的，何者是矿石冶炼的。

我们中华民族是世界上最早掌握冶铁技术的优秀民族之一。早在氏族奴隶制末期 (春秋时代)，由于新兴的地主阶级势力兴起，社会生产力向前发展了，奴隶制的土地所有制逐渐被封建所有制代替，出现了封建的生产关系 (地主、佃农，贫农等)，社会上个体经济的发展促使了生产工具的改变。我国劳动人民就在这个时期掌握了冶铁技术。我国最早的文字记载 (也是世界最早的)，有关铸铁的是公元前513年 (《左传》昭公二十九年) 晋国“铸刑鼎”一事。晋人铸刑鼎在政治意义上是新兴的贵族地主阶级限制奴隶主阶级特权的政治斗争，是封建地主阶级以“法治”对抗奴隶主的“礼治”在初期的表现。铸刑鼎这个进步的措

施虽然是改良性质的，但也遭到当时在政治上代表奴隶主阶级利益的政治家、思想家孔丘的反对。他说“贵贱无序，何以为国？”就是说把卑贱的奴隶和尊贵的奴隶主所要遵守的法律条文记在“鼎”上，破坏了奴隶制的尊、卑、上下的关系，还成个什么(奴隶制)国家呢？反对铸刑鼎是孔老二顽固维护奴隶制灭亡的反动行为。

从技术意义上看，能够以生铁铸出形状复杂的“鼎”，说明了当时劳动人民已很好的掌握了生铁的熔化和铸造技术。在同一时代更有区分铜和铁的不同性质、不同用途的文字记载，例如《国语》，《齐语》管仲篇记有：“美金（铜）以铸剑戟，试诸犬焉。恶金（指铁）以铸锄、夷、斤、楨，试诸壤土”。上述春秋战国世代的文字记载说明了远在两千多年前，我国劳动人民已能制造铁制工具了。

从出土文物来看，在1953~1957年间，先后在承德、石家庄、兴隆、辉县等地发现战国时期（距今2000多年）的铸铁件黎铎铁范（金属型），铁镗等数十件。这些铸件是白口铁，或经过退火的白口铸件（即现在的可锻铸铁）。经化学分析：碳在4%左右，硅不到1%，是共晶成分的铁碳合金，证明是生铁无疑。这一发现，可以确证：我国劳动人民使用铸铁已有2000年以上的历史，约比欧洲使用铸铁的历史早一千多年。

东汉初年，使用水力鼓风，增大了熔炉的风量，冶铁技术进一步提高，创造了生产灰口铁铸件的条件。现在河北省沧州还有一个五代时期（公元907~960年）的大铁狮，高一丈七尺，长一丈六尺，重约十万余斤，是个灰口铁铸件。这个大铁狮是闻名中外，最古、最大的铸铁件。到了宋元时期，火药发明后，铸铁用于铸大炮，铸铁技术又有进一步的发展。就当时的生产规模和技术水平来说，我国的铸铁工业是世无与伦比的。但是在封建制度下，地主阶级为了巩固他们的反动统治，执行“重文轻经济”（农、工、商业）的尊儒反法的反动路线，工业生产得不到重视。铸造工人，匠师备受封建统治阶级和行会制度的剥削压榨，他们地位卑微，生活困苦，技艺得不到提高和传播。他们辛苦积累的丰富经验，只能靠师徒，父子的秘传留下来，所以我国古代许多铸造方面的优秀技术流传下来的不多，文字记载尤少。

十八世纪以来，欧洲资产阶级革命后，工商业发展较快，随着冶金、机器制造工业的发展，铸铁也有相应的发展。兹将国外在铸铁发展方面的几个重要时期，略作介绍：

13—14世纪，欧洲有小高炉生铁。

1720—1722，法国出现了将高碳白口铸铁件进行韧化退火的生产方法，称为白心可锻铸铁。

1820—1823年，美国开始用低碳白口铸铁件进行石墨化退火，生产可锻铸铁，称为黑心可锻铸铁。

1900—1910年，德国人采用在炉料中配废钢的办法生产出珠光体灰口铸铁，同时制定了按机械性能编制的第一个铸铁标准。

大约在同一时期，经各国科学家努力，铁碳相图基本上定下来了。

1915—1925年间，欧、美各国采用在炉料中配加废钢，而在炉前用硅铁，硅锰及硅钙合金处理，生产出抗拉强度达到30公斤/毫米²以上的孕育灰口铸铁。

1947—1949年间，英、美各国先后用钨、钼金属生产出球墨铸铁。

我国自鸦片战争（1840）以来，外则遭受帝国主义的侵略，内则遭受封建地主、官僚、买办资产阶级的剥削压迫，民族工业，特别是重工业一直得不到发展。直至解放前夕，我国还不能自己生产出一台拖拉机、一辆汽车（铸铁件占总重的50%以上）来。

“只有社会主义能够救中国”！解放以后，在党和毛主席的英明领导下，我国工农业蓬勃发展，欣欣向荣。在**“独立自主，自力更生”**，**“以农业为基础，工业为主导”**等一系列方针政策的指引下，铸造生产也和其它工业部门一样正在日益向世界先进水平迈进。

文化大革命以来，批判了刘少奇、林彪两个资产阶级司令部所推行的反革命修正主义路线，铸造工业战线上，工人阶级，革命领导干部和工程技术人员，团结起来，焕发精神，全面贯彻毛主席的**“备战、备荒、为人民”**的战略方针，深入开展**“农业学大寨，工业学大庆”**的群众运动，把我国的工业生产，科学技术提高到一个新水平，各条战线出现了一派大好形势。

“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”。

第一章 灰口铸铁的检查

在铸铁件的整个生产过程中，通常有三种形式的检查：即原材料检查，中间检查，成品检查。中间检查是指对某一关键生产工序的检查。炉前检查就是中间检查的一种。

第一节 炉前检查

炉前检查的目的：一方面是判明熔化过程的偏差程度，作为下一步纠正炉况的依据，同时还要防止不合格的铁水浇注成要求较高的铸件，从这方面来说，炉前检查是车间内部生产过程本身的需要；另一方面是根据国家标准或供需双方的协议标准浇注代表铸件机械性能的试样，作为铸件检收的依据。

在日常生产中，铸铁的炉前检查主要是试样的断口检查，铁水温度检查，铁水的化学成分检查和机械性能检查。化学成分和机械性能是铸铁件很重要的质量指标，其检查结果需要存档备查。但是，由于这两项检查需要专门设备和较长的检查时间，因此，它们很难用来及时指导当天的生产。试样断口检查和铁水温度检查可以快速地得出结果，对于指导当时的生产意义很大。其中尤以三角试样的断口检查更是铸铁车间最经常的检查手段。

一、三角试样的断口检查

三角试样的断口检查方法是利用出炉铁水浇成三角形试样（图1），待凝固后，在冷水中激冷，然后折断试样，用肉眼观察新鲜断口。断口的尖端部分为白口区（1区），底部是灰口区（3区），灰口和白口区的过渡部分是麻口区（2区）。量取断口上的“a”值，称为白口宽度。量取“b”值则称为白口深度。通常白口区和麻口区並沒有明显的分界，在量取白口值时，从第一个黑点出现处量起，这样量得的白口值不包括麻口区在内。也有一种把麻口区包括在白口值内的量取方法。实际上，大都用肉眼估计，故白口值并不是很准确的。

由于断口检查是一种相对的标准，並無统一规定，各厂按自己一贯的习惯进行测量，根据自己积累的资料，可以建立起一套标准。例如：究竟采用白口深度还是白口宽度？麻口区究竟包不包括在白口中？甚至三角试样的尺寸，都沒有统一的标准可供依据。但是，每个厂只宜采用一种办法，力求一贯坚持、积累经验，不宜沒有准则，经常变换，无据可查。

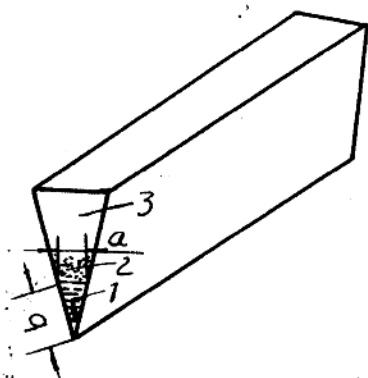


图1 三角试样的断口
1-白口区，2-麻口区，
3-灰口区。
a-白口宽度，b-白口深度

白口值可以由白口宽度或白口深度来表示，以后主要按白口宽度讨论。

白口宽度主要与铁水中碳、硅含量有关，碳、硅含量高时，则白口宽度减小，反之，则白口宽度增大。白口宽度与铁水中含硅量的关系如图2所示。利用铁水化学成分中碳、硅含量与三角试样白口宽度之间存在着的这种规律性，就可以根据实际实验结果制定出相应于某个铁级的成分的白口宽度标准值，作为炉前快速检查的参考标准。例如，某车间规定灰口铸铁 HT20-40 的三角试样白口宽度为2~4毫米，与之相应的铁水成分：C 3.1~3.4%；Si 1.5~1.7%。若日常生产中，某包铁水的白口宽度小于2毫米，或大于4毫米，则表示铁水成分中，碳、硅含量有偏高、偏低现象，生产人员将据此追究产生成分偏差的原因，及时纠正。

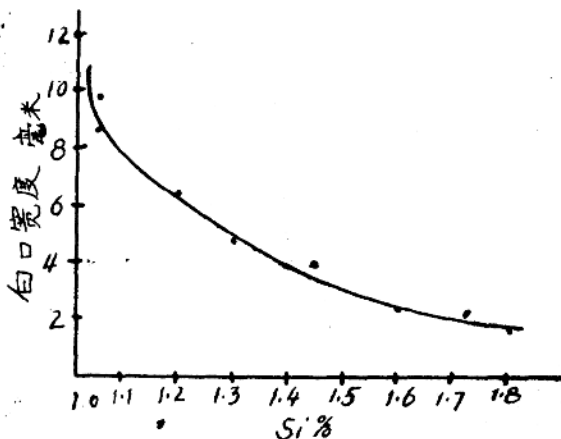


图2 白口宽度与含硅量的关系

铁水化学成分：

C 3.32~3.40%；

Mn 0.70~0.90%；

P 0.10~0.30%；

S 0.08~0.09%。

浇注一个三角试样时，铁水成分是一样的，但尖角部分出现白口，而试样的底部却是灰口，这个现象说明：白口和灰口的出现，除受到化学成分影响外，还受到试样厚薄的影响。三角形试样的尖角部分在浇注铁水以后，由于散热快，加快了铁水的冷却速度，因此导致白口出现。这个重要的现象首先是为实际经验所证明的。

铸件的壁厚是不均匀的。其薄壁部分和厚壁部分相比，情况也和三角形试样相类似。如果要出现白口的话，总是在铸件的薄壁部分首先出现。那么，当浇注三角试样的铁水和浇注铸件的铁水是同一成分时，则三角试样的白口宽度与铸件上出现白口的最小壁厚之间必然存在着一种对应关系。人们就可以利用这种对应关系，经过一定次数的实验，建立起在某一铁水成分时，白口宽度的上限值与铸件上不出现白口的最小壁厚或临界壁厚之间的数值关系，并把这种数值关系制成检查标准。这样一来，出炉铁水先浇三角试样，通过试样的白口宽度检查，就可以判明，这种铁水浇成铸件后，薄壁部分出现白口的可能性。上面所讲的，概括起来就是说：白口宽度的上限值是用来检查铸件上薄壁部分出现白口的最小壁厚的。

上面所谈的白口，就是一种白口铁，白口铁的性能和玻璃相似，硬而脆，难于切削加工，所以生产灰口铸铁件时，总是力求防止薄壁部分出现白口。若炉前检查时，发现白口宽度超过了上限，则说明铁水中碳、硅含量偏低，如不及时纠正，则铸件将因产生白口，难于机械加工而造成废品。

三角试样断口上的灰口部分还有颜色深浅，颗粒粗细之分。在白口宽度较大时，灰口部分往往是呈浅灰色的，细颗粒的断口。反之是灰黑色，粗颗粒的断口。试样上灰口部分颜色深浅和颗粒粗细的现象是内部组织结构的反映，因而与铸铁强度性能的高低有一定的对应关

系，凭经验观察结晶颗粒的粗细，可以推断铸铁强度的高低。但是断口观察只能判断出强度变化的趋势，不能代替准确的测定。灰口铸铁的强度测定仍以机械性能试验为准。

在我国铸工车间中所用的三角试样尺寸并无统一规定，这里推荐1974年一机部制定的“铸铁件通用工艺守则（试行）”中的参考尺寸。如图3及附表。

下述三角形试样的尺寸关系为 $A : B = 1 : 2$ ，所能测量的最大白口宽度 C_1 约为 $A/2$ 。 C_2 为最小（孕育后）白口宽度。根据我们对下述三种试样所作试验看来，对于同一种化学成分的铁水，所浇的三种试样，其白口宽度值是近似的。因此，底

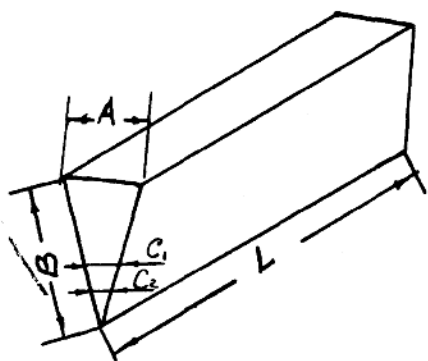


图3 三角试样尺寸

单位：毫米

试样号	A	B	L	白口宽度极限
1	15	30	130	~ 9
2	25	50	150	~ 13
3	50	100	180	~ 28

宽（A）为25毫米的第2号试样已能满足低碳、硅（HT 32-52）厚壁铸件的检查需要，选用第三号试样的必要性不大。第一号试样用在铸件壁厚在40毫米以下的铸件检查中已能满足要求。

三角试样断口检查是铸造工人从长期生产实践中，总结出来的方法。这种检查方法的优点是设备及操作简单，检查速度快，迄今仍是铸铁车间，行之有效的，广泛采用的检查方法。它的缺点是：只能定性地反映出变化的趋势而不能定量地提供出准确的数值标准。它虽然能够判断出相邻几包铁水中，碳、硅含量变化的趋向，但却不能断定变化了的差值，每个元素，究竟是多少，故必须还要采用化学分析作为补充。在机械性能方面，也只能判断出大概的趋向，至于铸件的机械性能合格与否，还必须作机械性能的检查。

尽管如此，三角试样的断口仍然集中地反映了铸铁的成分、组织、机械性能之间最一般的关系，是铸铁本质在现象上的反映。毛主席教导我们：“我们看事情必须看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”让我们就把三角试样断口检查作为研究铸铁本质的“入门向导”，也作为学习铸铁基本原理的感性认识。

铸铁的断口检查除采用三角试样外，一些厂还采用圆棒形或楔形试样。两种试样也都是检查白口值的，其原理也和三角形试样一样。图4，A是浇注圆棒形试样的金属型，图4，B是浇注楔形试样用的砂型。楔形试样是利用金属底板的激冷作用形成白口深度。和三角形试样比较，圆棒形试样是用来检查含碳、硅量较高的铁水，以及生产薄壁铸件的情况，例如，在纺织机、缝纫机制造部门中，因生产是连续性的，检查量较多，金属型温度变化很小，基本上不影响所测的结果，而且在采用金属型的情况下，检查速度较快，符合要求。楔形试样主

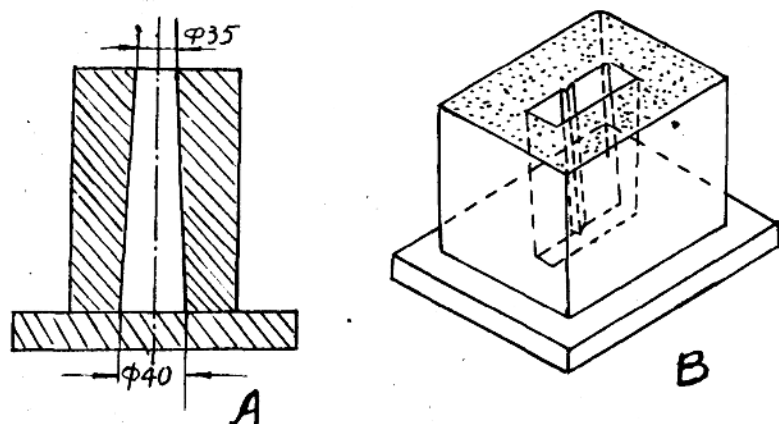


图4 圆棒试样及楔形试样铸型

要用来检查低碳、硅铸铁受激冷后所形成的白口深度（即冷硬层），故只用在铸铁轧辊的生产中。

二、机械性能检查

灰口铸铁的机械性能检查应根据国家标准（GB977-67）《灰口铸铁机械性能试验方法》进行，这里只介绍一下试样的浇注工作。按标准规定，灰口铸铁件的机械性能一般只作抗拉强度（ σ_b ）和抗弯强度（ σ_w ）试验。在摩擦条件下工作的铸件，还要作硬度检查。标准的机械性能试样尺寸如图5所示：

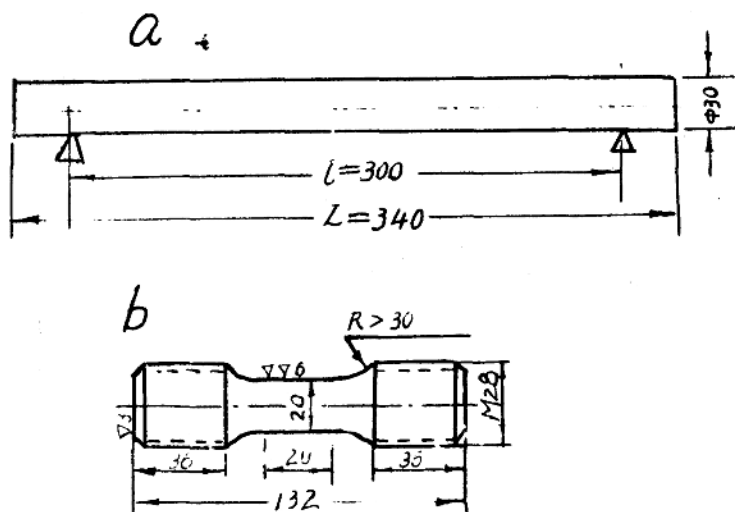


图5 灰口铸铁的机械性能试样
a-抗弯试样；b-抗拉试样。

抗拉试样可以利用抗弯试样弯断后的一端加工制成。硬度试样及金相组织检查试样都可以利用抗弯或抗拉试样加工成 $\phi 10 \times 10$ 或 $\phi 20 \times 10$ 的试样，故炉前检查只需要浇注抗弯试样就行了。国家标准规定：抗弯试样的铸型应采用烘干的砂型，采用立浇、底注的浇注形式。每组试验同时浇注三根试样，弯断两根，强度取两根的平均值，另一根作为备用。抗弯试样铸型如图6所示。

为了使试样的表面保持光洁，型腔内应刷上石墨涂料。试样的直径偏差应在1毫米以下。试样应带有编号。

三、化学成分检查

在一般情况下，灰口铸铁的化学成分虽不作为铸件合格与否的验收依据，然而为了可靠地掌握机械性能，严格控制铁水的化学成分已成为炉前检查的重要内容。但由于化学成分的分析需要专门的设备和专门的技术，而且往往是分析速度较慢，因此，分析结果不能及时指导生产，这是铸造生产中需要改进的问题。

在炉前检查中，化学分析试样往往和机械性能试样同时采取。在一般的日常检查中，每一炉次，按每一个铁级取样一次。取样务求对该铁级具有较好的代表性。

如同一铁级出许多包次的铁水，则应在居中的一包铁水中取样，禁止在交界铁水中取样。个别大的铸件，有特殊要求时，也可以按件取样。

由于按规定送交化验室的铸铁试样必须是屑状或粉状的试样，所以铸铁试料可以用钻取法或薄片法来采取。采用钻取法时，先在砂型中浇出 50×50 的方块试样，钻取试样时，距表面层5毫米左右的钻屑应弃去不用。用钻屑法取样，难免石墨片在钻取时散失一部分，因此所分析的总碳值，有人认为有偏低的现象。薄片法取样则可以避免这个缺点。这种取样方法是将铁水撒在一个清理干净，并经过烘烤的铁板上，使铁水凝成薄片，捣碎后使用。

四、铁水温度检查

为了保证铸件的质量，铁水应具有一定的出炉温度。在冲天炉熔化中，铁水的出炉温度大约在 $1350^{\circ}\text{C} \sim 1480^{\circ}\text{C}$ 范围。检查出铁温度一方面是为了保证浇注温度，另一方面是借此可以判断熔化过程正常与否。如果出铁温度波动很大则必然也引起化学成分的波动，从而引起一系列质量问题，因此铁水温度检查也是炉前检查中重要的检查项目之一。常用的检查方法有两种：一种是目测，凭操作人员的肉眼观察来估定；这种方法必须有丰富的实际经验。另一种是计测，用温度计测量。常用来测量铁水温度的高温计是光学高温计。有时也采用浸入式的铂——铂铑热电偶高温计进行比较准确的测量。有关这两种高温计的测量原理和使用方法将在其它课程中讨论。

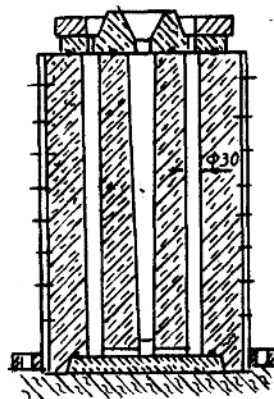


图6 抗弯试样的铸型

第二节 显微组织检查

凭肉眼观察三角试样的断口只能分辨出颜色有黑、白，深、浅，颗粒有粗细、大小之别。虽然这种观察很重要，但毕竟还是宏观的，表面的，不能解决究竟引起颜色变化的确切物质是什么这个问题。毛主席教导我们：“只有感觉的材料十分丰富（不是零碎不全）和合于实际（不是错觉），才能根据这些材料造出正确的概念和论理来”。对铸铁断口的认识还

有待于由表及里的深入，才能解决灰口、白口的本质问题。但当我们进一步深入观察的时候，却受到人类视力的限制。据研究：人的眼睛对观察物体在250毫米处（这是观察的最佳距离）的分辨能力约为0.15~0.30毫米（分辨能力是指能看清两点间的最小距离）。在灰口铸铁中，碳以石墨形式存在，其长度在0.003~1.0毫米之间，故用肉眼观察时，绝大部分的石墨是无法分辨清楚的，看见的只是一片黑灰色。运用光学透镜的放大效应观察金属组织等于延长了人的视力，因此，自从十八世纪中叶开始采用光学显微镜观察金属的组织结构以来，显微组织检查已成为研究金属内部结构最重要的方法。

用光学显微镜观察、鉴别、评定金属的组织称为金相显微组织检查。这是一项专门的检查技术，受检查的试样也需要特别制备。关于金相试样的制备方法 & 检查技术建议参考冶金部部颁标准（YB28-59）《金属显微组织检验法》及本课程的实验讲义。这里我们只讨论在金相显微镜观察下，铸铁中各个基本组织呈现的特征以及如何正确的辨认它们。

从三角试样的断口上已看见了灰口铁、白口铁和麻口铁三种不同的组织，若把三角试样的断口经过磨平、抛光等制备工作以后，放在显微镜下观察，就可以看到灰口部分的组织是由石墨片和金属基体构成，白口部分则是由渗碳体和金属基体构成。经过特殊的显示，可以把金属基体区分开，其基体部分分为珠光体和铁素体。除此而外，在铸铁组织中，有时还可以看到磷、硫的化合物。以下就把上述各种组织分开来，单个地介绍。

一、石墨

用于观察石墨的试样需经过粗磨、研磨、抛光、冲洗、干燥等制备工作。在显微镜下观察时，放大到100倍（100×）左右已足以看清各种尺寸的石墨片了，所以这个倍数通常是石墨观察和评级的标准倍数。石墨在显微镜下观察时，仍能保持它的天然颜色一灰黑色，在正确制备的试样上，也基本上能呈现出它本来的形状、尺寸和分布状态。但由于在试样的制备过程中要经过研磨和抛光，难免有一部分石墨被剥离。石墨被剥离后剩下的坑洼随即被研磨材料所充填，在显微镜下观察时，坑洼也呈黑色，其形状与真实石墨无多大差异，往往被误认为是真实的石墨。这种情况尚不致于影响对石墨形状、尺寸的判断，所以无需去区分它

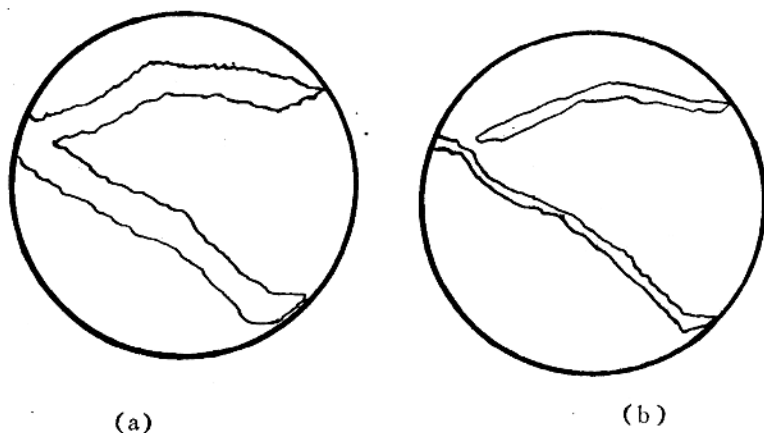


图7 试样制图过程对石墨形态影响
a—不正确制备；b—正确制备。

们。

问题在于，若研磨时压力过大，则剥离石墨后的坑洼还会被扩大，扩大了坑洼在显微镜下看来好象是粗大的石墨片一样，在这种情况下，石墨的真实形象就被歪曲了。制备过程对石墨形象的影响如图7所示。为了避免产生这种情况，在试样制备过程中应严格执行操作规程。

二、金属基体

在显微镜下观察石墨时，看到石墨的背景是一片白亮色，这就是金属基体，但还不是金属基体的真实形象。欲看清楚金属基体，试样还需经化学试剂（酸、碱或盐）侵蚀，利用各组织的侵蚀程度深浅不同，表现为凸凹不平，在光束的照射下，呈现出不同的色彩，借此才能辨认出各种组织的“庐山真面目”。根据所显示组织的性质，需要选择不同的化学试剂。显示灰口铸铁的金属基体，常用的侵蚀剂是3~4%硝酸（酒精）溶液。侵蚀后，灰口铸铁的基体可以显示出黑（灰）、白两种颜色。黑色的、发暗的那种组织是珠光体，白色的、发亮的组织是铁素体。下面就分别讨论这两种组织。

(1) 铁素体

用硝酸酒精溶液侵蚀时，铁素体是不受侵蚀的，仍能保持原来的金属光泽，在显微镜下呈亮白色。若提高放大倍数（ $200\times\sim 400\times$ ）可以看到亮白色的镜面上有黑色网纹，这就是铁素体的晶界。晶界呈黑色是因为受到深度侵蚀而成为沟槽，在平行光束的照射下，由于光的折射而显示成黑色条纹。图8是铁素体晶界的示意。借助晶界可以分辨出铁素体晶粒的形状和尺寸。

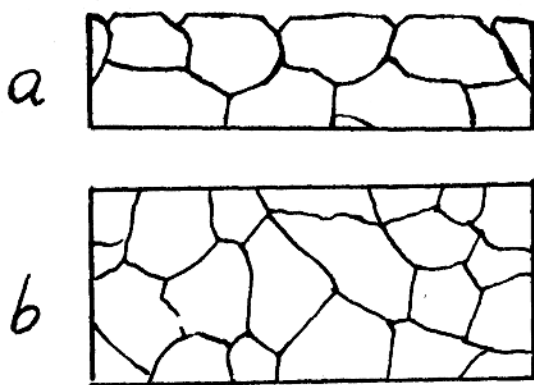


图8 铁素体晶粒示意
a-受侵蚀的试样；b-铁素体晶粒。

(2) 珠光体

在硝酸（酒精）溶液侵蚀后，在低倍（100~200倍）观察时，珠光体呈一片黑色，适与铁素体形成鲜明对照，便于判断出两者之间的数量比例。在日常检查中，常常采用这种办法。

但珠光体的结构并非就是如此。随着观察倍数的增大，珠光体逐渐显示出它的细微部分。在中等倍数（400~600倍）放大时，珠光体是黑白相间的条纹组成（图9）。珠光体的这个名词就是在这种观察条件下，形成的条纹色彩类似珍珠而得来的。

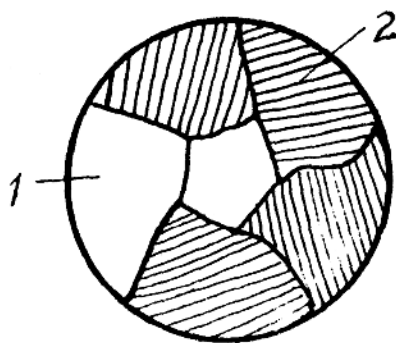


图9 珠光体示意
1-铁素体
2-珠光体

在高倍（800倍以上）放大下观察珠光体时，可以见到：在铁素体的基础上银有许多白色直片。直片两侧各有一条黑纹。白色直片叫渗碳体片层。这才是珠光体的真面目。如图10

所示意。

图10, a表示试样受到侵蚀后的情形; 铁素体基地(2)被平均蚀去一层, 渗碳体片层(1)因未受侵蚀而高于铁素体基地。两者的交界处因受到深侵蚀而形成凹洼。这种凹洼在平行光束的照射下, 显示成黑色条纹, 情况和晶界一样。用硝酸侵蚀的试样, 铁素体和渗碳体都是白色的, 只有依靠它们的分布形状来加以区别。若侵蚀剂采用苦味酸酒精溶液, 则渗碳体片层略带灰色, 这样就更易于识别了。

在中等倍数放大时, 由于显微镜物镜的分辨能力小于渗碳体片层的厚度, 观察时, 渗碳体两侧的条纹重合在一起, 看起来是一条黑片。这是显微镜的光学效应所致, 而不能说渗碳体是黑色的。

渗碳体片层之间的间距(实际上就是铁素体的厚度)称为珠光体的片层厚度或称为珠光体的分散度。在灰口铸铁中, 此厚度约在0.2~2.0微米(μ)之间。这是珠光体的一个评级标准。可以采用带刻度的目镜测量出来。

在低倍观察时, 因物镜分辨能力小于珠光体的片层厚度, 所以看不清珠光体的层状特征而只见到一片灰黑色。但低倍观察可以看清金属基体中, 珠光体和铁素体各自在视场中所占面积的相对数量。可以用百分数来表示珠光体数量之多少。所以, 低倍检查是铸铁组织经常采用的检查方法。

三、渗碳体

观察白口铁显微组织的试样的制备过程和灰口铸铁一样也是采用硝酸酒精溶液侵蚀。在低倍观察时, 可以看到视场中呈黑白两种颜色。白色的那种组织不管其形状如何, 都是渗碳体。其所以是白色的, 是因为渗碳体不受硝酸酒精试剂侵蚀之故。黑色部分的组织是珠光体。原因和上述一样, 珠光体在低倍下观察, 往往是黑色的, 团、块状组织。如欲看个清楚可以在高倍放大下观察。

往往会碰到这样一个问题: 都是一样的侵蚀方法, 观察时颜色又都是白色的, 凭什么说, 这是渗碳体? 那是铁素体? 是凭它们的形状吗? 又是, 又不是; 是凭在宏观断口上, 一个是在灰口中发现的, 一个是在白口中发现的吗? 也是, 也不完全是。欲判断这两个答复, 要等到学过以后的几个章节和积累了相当经验以后才会明白。在眼前的实验条件下, 可以采用选择侵蚀法来区分它们。办法是采用苦味酸钠碱溶液热蚀。热蚀后, 视侵蚀深浅程度不同, 渗碳体的颜色可由红色变为棕色至暗黑色, 而铁素体组织因不受蚀仍然是亮白色。

在白口铁试样上, 同时看到了两种类型的渗碳体, 一种是珠光体中的细片层渗碳体, 与铁素体相间存在, 是金属基体的一部分; 另一种渗碳体是独立于珠光体的渗碳体, 其形状可

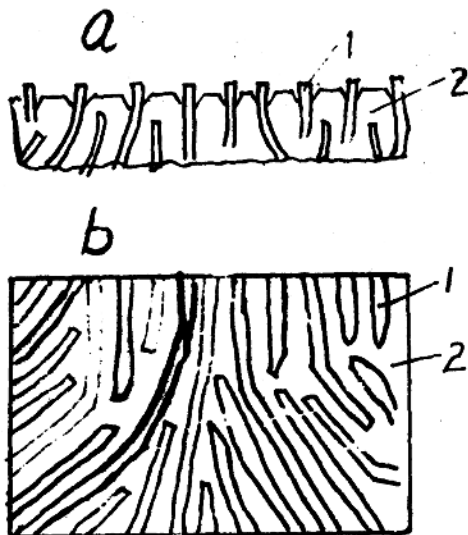


图10 高倍放大的珠光体示意图

- a—侵蚀的情形;
b—在视场中的情形。
1—渗碳体片层
2—铁素体基地