



武汉理工大学
wuhan university of technology

金属工艺学

多媒体课件



上次课内容的回顾

缩孔与缩松的形成

纯金属、共晶成分和凝固温度范围窄的合金 → 逐层凝固 → 缩孔

凝固区域较宽的合金 → 糊状凝固 → 缩松

消除缩孔和缩松的方法

- 原则 → 顺序凝固原则、同时凝固
- 方法 → 合理布置内浇道及确定浇铸工艺。
合理应用冒口、冷铁等工艺措施。

内应力、变形与裂纹

内应力

- 热应力 → 铸件的壁厚不均匀，导致不同部位不平衡的收缩而引起的应力。
- 机械应力 → 铸件在固态收缩时受阻

↓
变形与裂纹

热应力的形成过程分析

热应力的消除方法

- 铸件的结构：铸件各部分能自由收缩
- 工艺方面：采用同时凝固原则
- 时效处理：人工时效；自然时效 ▲

铸件的结构尽可能对称
铸件的壁厚尽可能均匀

铸件变形的判定

- 厚部、心部受拉应力，出现内凹变形。
- 薄部、表面受压应力，出现外凸变形。

第六章 常用合金铸件的生产

铸件包括：铸铁、铸钢、铸铜、铸铝……, 由于铸铁材料 (包括灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁) 具有优良的铸造性能, 且资源丰富, 冶炼方便, 价格低廉, 铸铁件占液态成形件中相当大的份额。

6.1 铸铁件生产

铸铁是含碳量大于2.11%的铁碳合金。工业上常用的铸铁一般含碳量在2.4%~4.0%的范围内。

碳在铁碳合金中的存在形式有：渗碳体和石墨。

根据碳在铁碳合金中的存在形式, 铸铁可以分为:

1、白口铸铁

在白口铸铁中的碳, 除极少量溶入铁素体中外, 其余的都以化合碳—— Fe_3C 存在, 因其断口呈银白色, 故称为白口铸铁。 Fe_3C 硬、脆, 白口铸铁也硬、脆

2、麻口铸铁

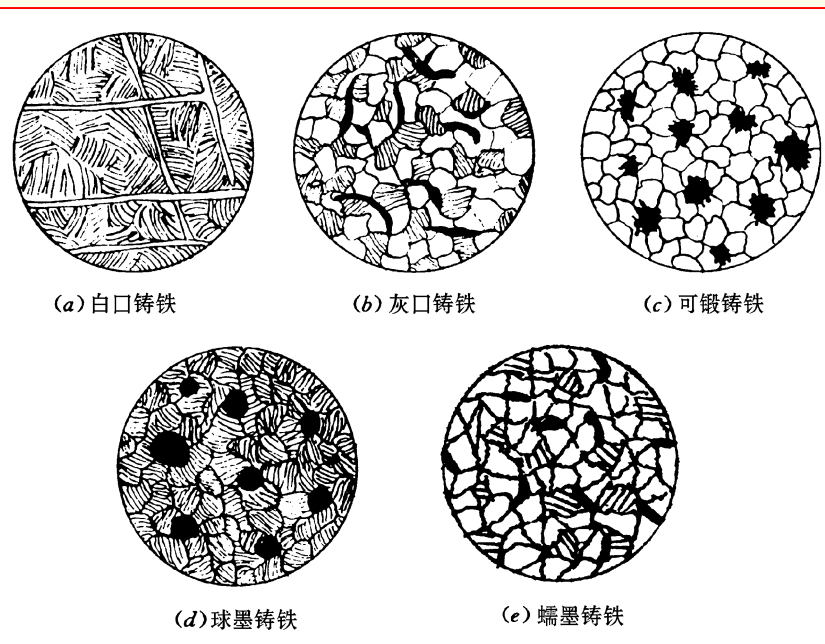
在麻口铸铁中的碳一部分以 Fe_3C 形式存在, 另一部分以石墨形式存在, 断口为灰白色相间。性能介于白口铸铁和灰口铸铁之间, 既难加工, 又无特殊优点, 故一般很少应用。

3、灰口铸铁

在灰口铸铁中的碳主要以石墨形态出现，其断口呈暗灰色。由于石墨的形态及结晶生长过程的不同，又可分为：

(1) 普通灰口铸铁 普通灰口铸铁的石墨呈片状，强度低，塑性差，但铸造性能好，在铸铁材料中应用最广泛。

(2) 可锻铸铁 可锻铸铁中的碳主要以团絮状石墨形态出现，因有较高的塑性和韧性而得名，其实是不可锻的。**主要用于受冲击和振动的薄壁小件。**



(3) 球墨铸铁 球墨铸铁中的碳大部分或全部呈球状石墨出现。其强度、塑性均比可锻铸铁高，抗拉强度甚至高于碳钢，是一种高性能的铸铁材料。**主要用于受力复杂的重要零件，可代替可锻铸铁和部分碳钢件。**

(4) 蠕墨铸铁 蠕墨铸铁中的碳大部分呈蠕虫状石墨出现，这种石墨形态介于片状石墨和球状石墨之间。因而蠕墨铸铁同时具有片状灰口铸铁及球墨铸铁的性能特点，**主要应用于经受热循环载荷的铸件及结构复杂、强度要求较高的铸件。**

6.1.1 灰铸铁



一、灰铸铁的性能

灰铸铁的显微组织由金属基体（铁素体和珠光体）和片状石墨所组成，相当于在纯铁或钢的基体上嵌入了大量石墨片。

铸铁之所以用得如此广泛,是因为石墨的存在,石墨的存在,使铸铁具有铸钢所不具备的性能。

铸铁的优点

良好的铸造性能，如流动性好、收缩小

良好的切削加工性能；

高的耐磨性；

良好的吸振缓冲性能；

低的缺口敏感性能。



石墨片越圆整、越细小、分布越均匀对基体割裂作用越小。
缺点是力学性能差，石墨力学性能差；石墨片尖角处应力集中。
焊接性能差，热处理性能差（只改变基体，不能改变石墨形状和分布）

二、影响铸铁组织和性能的因素

铸铁的石墨化： 碳以石墨的形式析出的过程。 通常视石墨化过程充分与否，会得到不同基体的铸铁组织。

灰铸铁中的碳由化合碳（ Fe_3C ）和石墨碳所组成。根据化合碳的含量不一样把它分为以下三种：



铁素体灰铸铁
(全部石墨)



铁素体—珠光体灰铸铁
(化合碳小于0.8%)



珠光体灰铸铁
(化合碳0.8%，即0.77%共析
光体时的含碳量)

因此，想要控制铸铁的组织 and 性能，必须**控制石墨化**的程度。

影响铸铁石墨化的主要因素有化学成分和冷却速度。

1、化学成分

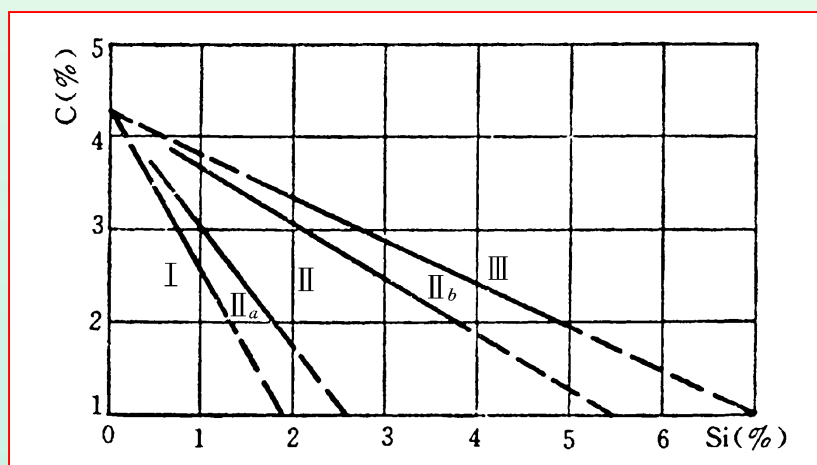
铸铁成分中**碳、硅**为主要元素，对石墨化起决定性作用，其它元素也有一定影响。

(1) 碳——既是形成石墨的元素，又是促进石墨化的元素。

含碳愈高，析出的石墨数量愈多、愈粗大，而基体中铁素体增加、珠光体减少；反之，含碳降低，石墨减少，且细化。

(2) 硅——是**强烈促进石墨化**的元素，随着含硅量的增加，石墨显著增多。

实践证明，铸铁若含硅量过少，即使含碳量高，石墨也很难形成。



I — 白口铸铁区

II_a — 麻口铸铁区

II — 珠光体灰口铸铁区

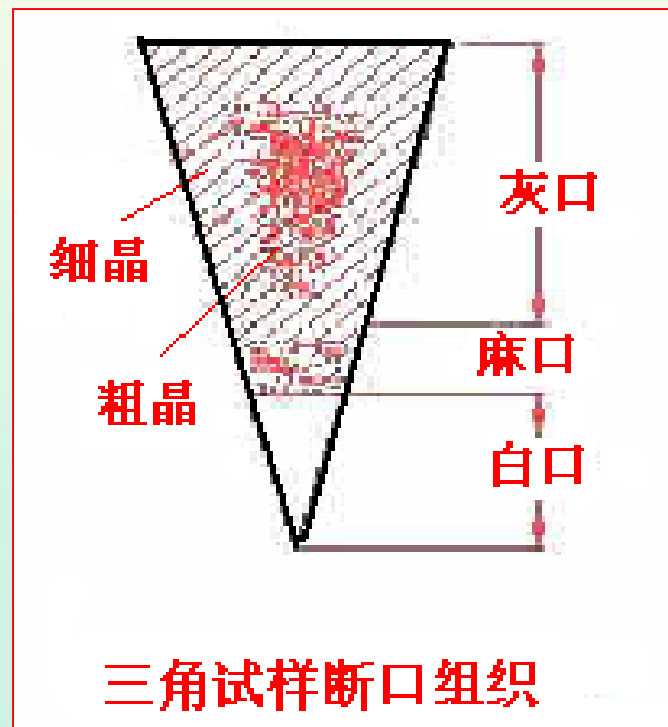
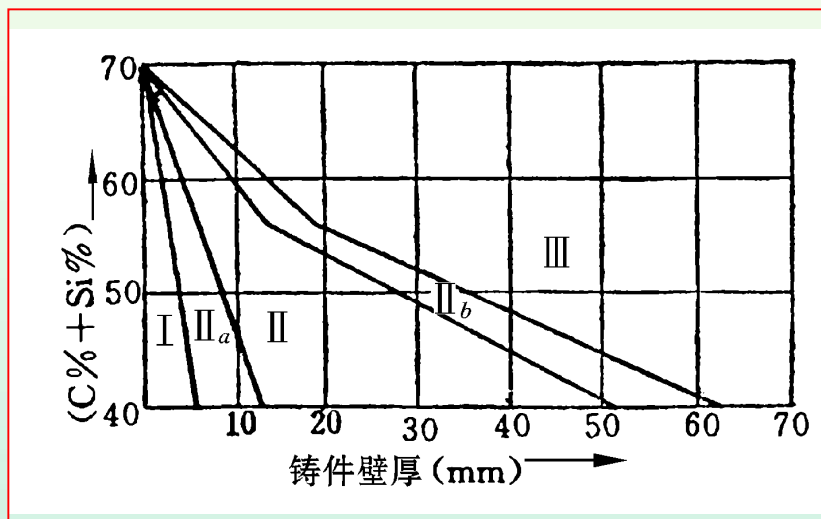
II_b — 珠光体、铁素体灰口铸铁区

III — 铁素体灰口铸铁区

2、冷却速度

减小冷却速度可以促进石墨化，增大冷却速度则阻止石墨化。

当其它条件(如化学成分、铸型材料和浇注温度等)一定时，铸件愈厚，冷却速度愈慢，则石墨化倾向愈大，易得到粗大石墨片和铁素体基体；反之，铸件愈薄，冷却速度愈快，则石墨化倾向愈小，易得到细小石墨片和珠光体基体。





三、灰铸铁的孕育处理

普通灰铸铁的主要缺点是粗大的石墨片严重地割裂金属基体，致使铸铁强度低。

实践证明，提高灰铸铁抗拉强度最有效的途径是：对出炉铁液进行孕育处理再行浇注。

孕育处理是向铁液中加入孕育剂。常用的孕育剂为含硅量75%的硅铁合金。

将熔炼出的铁水在浇铸前加入质量分数为0.25%—0.60%的孕育剂，孕育剂在铁水中形成大量弥散的石墨结晶的核心，使石墨化作用显著提高，从而得到在细珠光体上均匀分布着细片状石墨的组织。

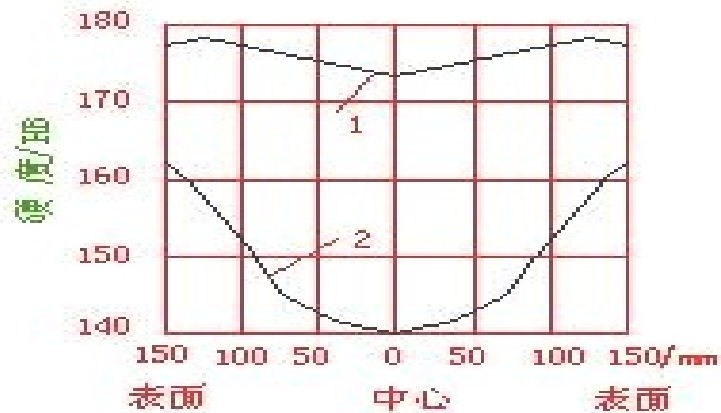


图 2-4 孕育处理对大铸件截面
(300x300mm)硬度的影响
1-孕育铸铁 2-普通灰铸铁

四、灰铸铁的牌号

由于灰铸铁的性能不仅取决于化学成分，还与铸件的壁厚（即冷却速度）有关，因此它的牌号以**力学性能**来表示。

灰口铸铁的牌号用**HT**×××表示，其中“HT”代表灰铸铁，后面的三位数字表示其**最低的抗拉强度**。（[见附表](#)）



1) 灰铸铁牌号为什么不用含碳量多少表示，而用力学性能表示？

相同化学成分的铸铁，若冷却速度不同，其组织和性能也不相同。 成分相同，工艺不同，性能有影响

2) 有一铸件当其强度不够时，可否通过增大截面解决？

不能，截面积越大，冷却速度越慢，得到的组织越大（石墨也大），强度反而降低。

表 灰铸铁的牌号、性能及用途举例

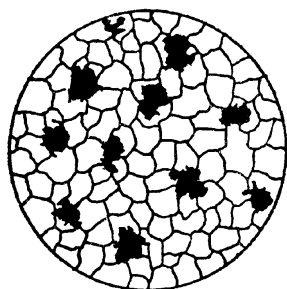
牌 号	铸件壁厚 /mm >	抗拉强度 σ_b /MPa \geq	硬度 HBS	主要特点	用途举例
HT100	2.5~10	130	110~167	铸造性能好, 工艺简便, 铸造应力小, 不用人工时效处理, 有一定的机械强度和良好的减震性	盖、外罩、油盘、手轮、支架、底板、镶导轨的机床底座等, 对强度无要求的零件
	10~20	100	93~140		
	20~30	90	87~131		
	30~50	80	82~122		
HT150	2.5~10	175	136~205		底座、床身、与 HT200 相配的溜板、工作台, 泵壳、容器、法兰, 工作压力不太大的管件
	10~20	145	119~179		
	20~30	130	110~176		
	30~50	120	105~157		
HT200	2.5~10	220	157~236	强度、耐热性、耐磨性均较好, 减震性也良好, 铸造性能好	要求高强度和一定耐蚀能力的泵壳、容器、塔器、法兰、硝化塔、机床床身、立柱、平尺、划线平板、汽缸、齿轮、活塞、刹车轮、联轴器盘、水平仪框架, 压力为 80 MPa 以下的油缸、泵体、阀门
	10~20	195	148~222		
	20~30	170	134~200		
	30~50	160	129~192		
HT250	4~10	270	174~262		
	10~20	240	164~247		
	20~30	220	157~236		
	30~50	200	150~225		

6.1.2 可锻铸铁

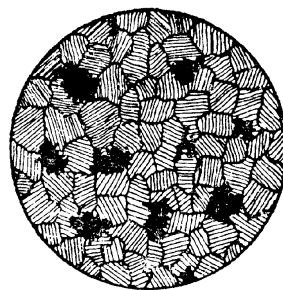
可锻铸铁又称**玛钢或玛铁**，它是将白口铸铁坯件经长时间高温退火而得到的一种较高塑性和韧性的铸铁。即将片状经过热处理变为团絮状

按退火工艺不同，可锻铸铁分为三种：

1、黑心可锻铸铁——退火中渗碳体全部分解为团絮状石墨，基体为铁素体。断口心部呈暗黑色，故而得名。



(a)铁素体基体



(b)珠光体基体

2、珠光体可锻铸铁——退火时冷却速度较快，共析渗碳体未石墨化，组织为珠光体基体上分布着团絮状石墨。

3、白心可锻铸铁——是由白口坯件在氧化气氛中经脱碳退火而得。大部分碳被氧化脱除，组织与钢相近，表层为铁素体，心部为铁素体+少量团絮状石墨，有时还有少量自由渗碳体，断口呈银白色，故而得名。

可锻铸铁的牌号、性能及用途举例

牌号	抗拉强度	屈服强度	断后伸长率 δ (%) ($L_0=3d$)	硬度 HBS	用途举例
	σ_b	σ_s			
	/Mpa				
KTH300—06	300	—	6	不大于 150	弯头、三通、管件、中压阀门
KTH330—08	330	—	8		输电线路件、农机件的犁刀、 车轮壳及纺织机的盘头、龙肋等
KTH350—10	350	200	10		汽车、拖拉机的前后轮壳、差 速器壳、转向节壳、制动器，农 机件及冷暖器接头等
KTH370—12	370	-	12		
KTZ450—06	450	270	6	150~200	曲轴、凸轮轴、连杆、齿轮、 摇臂、活塞环、轴套、犁片、耙 片、闸、万向接头、棘轮、扳手、 传动链条、矿车轮等
KTZ550—04	550	340	4	180~230	
KTZ650—02	650	430	2	210~260	
KTZ700—02	700	530	2	240~290	

注：KTH 代表黑心可锻铸铁，KTZ 代表珠光体可锻铸铁，符号后的第一组数字表示最低抗拉强度，第二组数字表示最低延伸率。

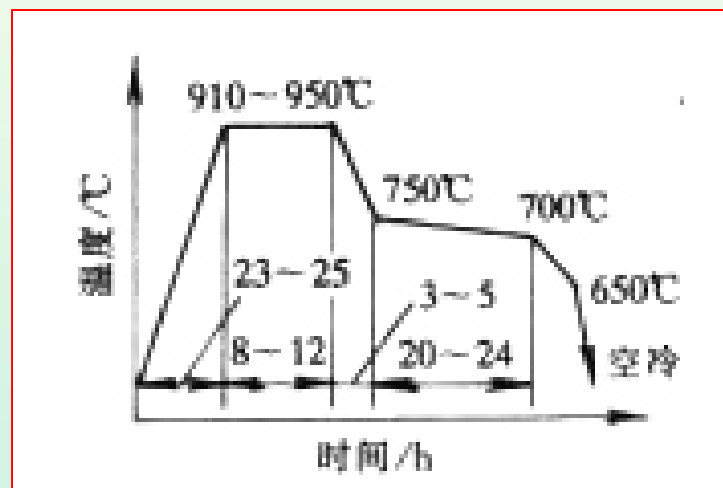
黑心 珠光体 白心
强度提高的同时硬度提高



可锻铸铁的生产分两个步骤：

第一步：先铸造出白口铸铁，随后退火使 Fe_3C 分解得到团絮状石墨。为保证在通常的冷却条件下铸件能得到合格的白口组织，其成分通常是 $W_{\text{C}}=2.2\%\sim 2.8\%$ ， $W_{\text{Si}}=1.2\%\sim 2.0\%$ ， $W_{\text{Mn}}=0.4\%\sim 1.2\%$ ， $W_{\text{P}}\leq 0.1\%$ ， $W_{\text{S}}\leq 0.2\%$ 。 白口 高温长时间退火 转变为可锻铸铁

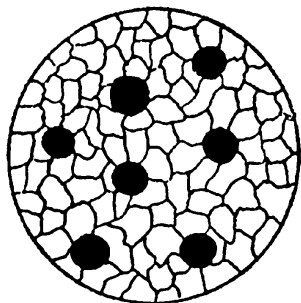
第二步：进行长时间的石墨化退火处理， $900\sim 980^\circ\text{C}$ ，长时间保温。



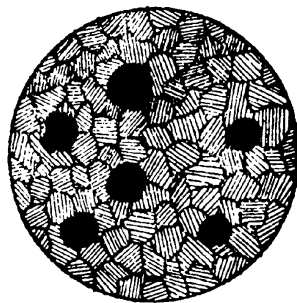
KTH370-12的退火工艺

6.1.3 球墨铸铁

通过在浇铸前向铁水中加入一定量的球化剂(如纯镁或镍镁、稀土镁等合金)和孕育剂(如硅铁或硅钙合金), 以促进碳呈球状石墨结晶, 而获得的一种具有较高强度及较好塑性的铸铁。

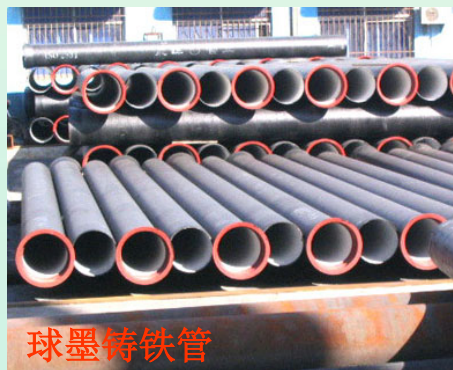


(a) 铁素体基体



(b) 珠光体基体

由于石墨呈球状, 它对基体的缩减和割裂作用减至最低限度, 基体强度的利用率可达70%~90%, 因此球墨铸铁具有比片状灰口铸铁高得多的力学性能, 抗拉强度可以和钢媲美, 塑性和韧性大大提高。



球墨铸铁管



球墨铸铁法兰盘



球墨铸铁井盖

球墨铸铁的牌号、性能及用途举例

牌号	抗拉强度 σ_b /Mpa	屈服强度 σ_s /Mpa	断后伸长率 δ (%)	硬度 HBS	基体组织	用途举例
	\geq					
QT400-18	400	250	18	130~180	铁素体	汽车、拖拉机的轮毂、驱动桥壳体、离合器壳、差速器壳、拨叉等，犁柱、犁托、牵引架等以及阀体、阀盖、输水管道等
QT400-15	400	250	15	130~180	铁素体	
QT450-10	450	310	10	160~210	铁素体	
QT500-7	500	320	7	170~230	珠光体+铁素体	内燃机泵齿轮、水轮机阀体、机车轴瓦、输电联板
QT600-3	600	370	3	190~270	珠光体+铁素体	大型内燃机曲轴、轻型机的凸轮、汽缸套、连杆等，农机的齿条、齿轮机床的主轴等，通用机械的曲轴、缸体、缸套及冶金、矿山机械的球磨机曲轴、矿车轮等，小型水轮机曲轴
QT700-2	700	420	2	225~305	珠光体	
QT800-2	800	480	2	245~335	珠光体或回火组织	
QT900-2	900	600	2	280~360	贝氏体或回火马氏体	

注：QT为球墨铸铁代号，后面第一组数字表示最小抗拉强度值，第二组数字表示最小延伸率值。

球墨铸铁的生产特点

1、严格控制化学成分

制造球墨铸铁所用的铁液含碳（3.6%~4.0%）、硅（2.4%~2.8%）要高，但硫、磷含量要低。

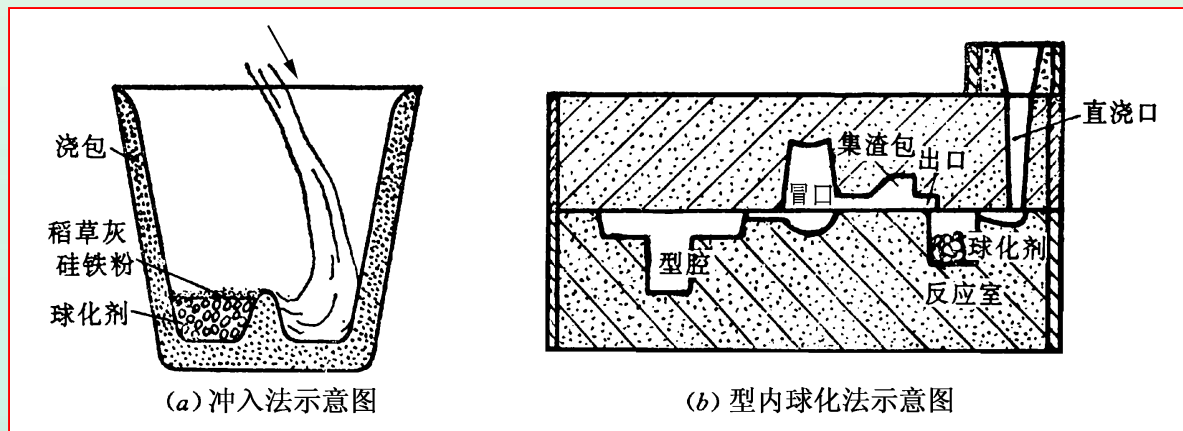
2、较高的出铁温度

铁水处理过程中温度要下降50~100℃，为保证浇注温度，球墨铸铁出铁温度至少在1400~1420℃以上。

3、球化处理和孕育处理

球化剂的作用是使石墨呈球状析出，我国广泛采用的是**稀土镁合金**。

孕育剂的作用是促进石墨化，防止球化元素所造成的白口倾向。 **Si含量高**



4、铸型工艺



球墨铸铁较灰铸铁容易产生**缩孔、缩松、皮下气孔和夹渣**等缺陷，因此在此在工艺上要采取措施。

- (1) 在热节上安置冒口、冷铁，以便对铸件进行补缩。
- (2) 增加铸型刚度，防止因铸件外形扩大所造成的缩孔和缩松。
- (3) 降低铁液的**含硫量和残余镁量**，以防止皮下气孔。
- (4) 还应加强挡渣措施，以防产生夹渣缺陷。

5、热处理工艺

多数球铁件铸后要进行热处理，以保证应有的力学性能。

常用的热处理方法是退火和正火。**退火可获得铁素体基体，正火可获得珠光体基体。缺一不可**

6.1.4 蠕墨铸铁

蠕墨铸铁是近十几年来开始研究和应用的一种新型铸铁材料，具有较好的力学性能和导热性能以及断面敏感性小等特征。

1947年英国人莫罗(H. Morrogh)在研究用钪处理球墨铸铁(简称球铁)的过程中，发现了蠕虫状石墨。由于莫罗当时及后来的研究工作主要集中在怎样得到球状石墨及其性能上，而蠕虫状石墨则被认为是处理球铁失败的产物。

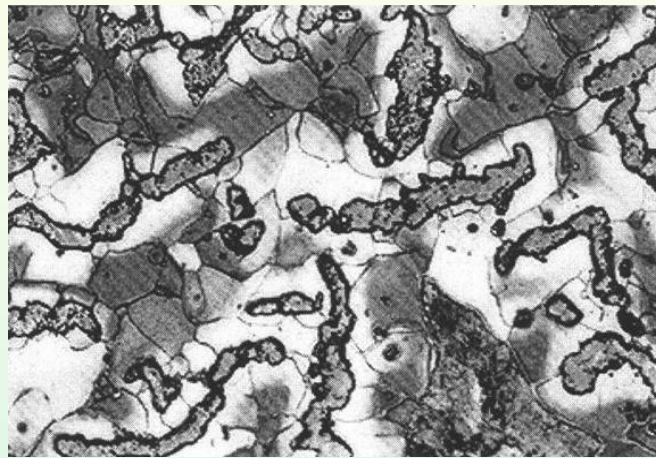
1955年美国人伊斯蒂斯(J. W. Estes)和斯奇内登温德(R. Schneidenwind)首次提出建议，采用蠕墨铸铁(简称蠕铁)；

美国在1965年的一项专利中提到，通过加入一种合金使铁液含镁0.05%~0.06%、钛0.15%~0.50%、稀土金属0.001%~0.015%，就能得到蠕虫状石墨组织。

60年代中国在高碳铁液中加入稀土硅铁合金，发现其中部分试样的宏观断口呈“花斑”状，石墨为蠕虫状，其性能超过中国标准中HT300（灰铁、最低抗拉强度为300mpa）的指标。

70年代末期，根据光学显微镜下看到的石墨形貌，并为与国外命名力求统一，因此中国把它称为蠕虫状石墨铸铁，又称为蠕墨铸铁。

生产蠕墨铸铁的方法与球铁相似，即在出铁时往铁水中加入蠕化剂，进行蠕化处理，然后加入孕育剂作孕育处理而得到。目前所用的蠕化剂有镁钛合金、稀土镁钛合金或稀土镁钙合金等。



蠕墨铸铁的显微组织

蠕墨铸铁以珠光体（黑色）和少量铁素体（白色）构成的基体，而短片为蠕虫状石墨，短而厚，端部圆滑，分布均匀。

其机械性能介于普通灰铸铁和球铁之间，**热疲劳性能好**。具有接近灰口铸铁的优良的铸造性能。它主要应用于一些经受热循环载荷，要求组织致密、结构复杂、强度高的铸件，如汽缸盖、汽缸套、钢锭模、液压阀等铸件。

6.2 铸钢件的生产 (自学)

按化学成分:

铸造碳钢: 以铸造中碳钢用的最多; 而铸造低碳钢和铸造高碳钢用的少。

铸造合金钢: 在碳钢的基础上加入少量的合金元素, 如锰、铬、钼、钒等。ZGMn13为铸造耐磨钢; ZG1Cr18Ni9为铸造不锈钢。

按用途分类:

不锈钢

耐磨钢

.....



- ★ 铸钢件的铸造工艺: 铸钢的熔点高, 钢液易氧化, 吸气, 流动性差, 收缩大。因此, 铸造困难, 易产生浇不足、气孔、缩松缩孔、夹渣和粘砂等缺陷。
- 要求型砂的耐火度高, 有良好的透气性和退让性。
- 应严格控制浇注温度, 防止过高或过低。
- 铸钢件须热处理。

6.3 铸造有色合金件的生产(自学)

由于铝、铜合金具有优良的物理、化学性能，以及良好的工艺性能和独特的力学性能，所以，它们也是铸造生产中常用的合金材料。

6.3.1 铝合金铸件的生产

1. 铸造铝合金的牌号、成分、性能和应用：

牌号：ZL101～ZL111，ZL201～ZL203，ZL301～ZL302，ZL401～ZL402。

成分：①铝硅类合金②铝铜类合金③铝镁合金④铝锌合金

2. 工艺处理

熔炼设备有坩埚炉、反射炉、电弧炉和感应炉。

为减缓铝合金的氧化和吸气，必须采用熔剂保护，如熔化时加入KCl、NaCl等盐类作为熔剂，将铝液覆盖，与炉气隔离进行熔炼；

为了排出吸入的气体，在熔炼后期要进行去气精炼；

为了改善铝硅合金的力学性能，需要进行变质处理，以细化共晶硅或过共晶硅。

3. 工艺特点

铸造铝合金熔点低，流动性好，故可铸形状复杂的薄壁铸件。由于浇注温度低，选用一般天然细石英砂做型(芯)砂就可以满足耐火度的要求，并可使铸件表面光洁。

对于铸造性能较差的铝铜、铝镁合金，要采取必要的工艺措施，如顺序凝固、冒口补缩等方能获得满意的结果。

由于铝合金导热快、易氧化和吸气，因此，对浇注系统的要求是：充填时间短、铝液流动平稳，撇渣能力强，为此常采用开放式浇注系统，并多开内浇口，直浇口常用蛇形或鹅颈形等特殊形状

6.3.2 铜合金铸件的生产

6.3.2.1 铸造铜合金的分类、牌号、成分、性能和应用

铜合金的分类 ——铸造铜合金分为铸造黄铜和铸造青铜两大类

①铸造青铜——铜和锌以外的元素所组成的合金统称青铜，其中CuSn合金称锡青铜，CuAl合金称铝青铜，CuPb合金称铅青铜，为区别起见，不含锡的青铜统称为无锡青铜。

②铸造黄铜——铜和锌组成的合金统称为黄铜。其中CuZn二元合金称为普通黄铜，普通黄铜中再加入 Mn、Al、Fe、Si、Pb、Sn等元素所组成的多元黄铜称特殊黄铜。

6.3.2.2 铸造铜合金的铸造工艺特点

①锡青铜——锡青铜的结晶温度范围很大，同时凝固区域很宽，流动性较差，易产生缩松。但氧化倾向不大，因所含Sn、Pb等元素不易氧化。故锡青铜铸造时着重要解决疏松问题，对壁厚较大的重要铸件(蜗轮、阀体等)必须采取强烈的顺序凝固，对形状复杂的薄壁件和一般壁厚件，若致密性允许降低，可采用同时凝固。

②铝青铜、铝黄铜等含铝较高的铜合金，结晶温度范围很小，呈逐层凝固特征，故流动性较好，易形成集中缩孔，但极易氧化。铸造时要解决的主要问题是防止氧化夹杂和消除缩孔。浇注系统应具有很强的撇渣能力，如用带过滤网、集渣包的底注式浇口，先封闭后开放式的浇注系统，以及用敞开式顶冒口。为消除缩孔，必须使铸件顺序凝固。

小 结

- 铸铁件生产
碳在铁碳合金中的存在形式有：渗碳体和石墨
白口铸铁、灰口铸铁、麻口铸铁
- 铸铁的优点
- 石墨形态对铸铁性能的影响
- 铸铁的石墨化：影响石墨化因素
- 灰口铸铁件的生产：灰铸铁的孕育处理；球墨铸铁件的生产（球化剂）；可锻铸铁件的生产；
- 铸钢件的生产
- 铸造有色金属件的生产