

球墨铸铁金相图谱

美国铸造师学会编

球 墨 铸 铁 金 相 图 谱

高 钦 郑本伟 译
郭 可 纫 审

大连理工大学出版社



B 550382

内 容 提 要

本书译自美国铸造师学会出版的最新版本的球墨铸铁金相图谱。美国利用电子计算机进行处理,汇编成这本球墨铸铁金相照片标准。这本标准对于我国采用国际标准及对外贸易都具有极高的参考价值。本书的主要内容有:①各种球铁金相标准及分类;②石墨的种类、形态、大小、含量及珠光体、铁素体、碳化物等相的百分含量标准;金相学名词术语解释;③图像分析式金相显微镜的应用。

本书可供铸造、热处理、工程材料专业的工程技术人员、材料检验人员、研究人员以及大专院校师生使用。

Foundrymen's Guide To Ductile Iron Microstructures

Copyright ©, 1984 by American Foundrymen's Society, Inc.

球墨铸铁金相图谱

美国铸造师学会编

高钦 郑本伟 译 郭可河 审

大连理工大学出版 辽宁省新华书店发行

大连理工大学 大连理工大学出版印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 9 字数: 200千字

印数: 800 5000册

1988年10月第1版 1988年12月第1次印刷

责任编辑: 杨泳 封面设计: 郑本伟

ISBN 7-5611-0130-9/TG·4 定价: 30元

译 者 的 话

本图谱是美国铸造师学会编辑出版的最新英文版本(1984年版)的中文译本。

美国铸造师学会采用电子计算机,对大量的各种球墨铸铁金相照片进行了分析和科学而系统的分类,并对球墨铸铁金相显微组织做了定量及定性的分析,在此基础上制订了一整套球墨铸铁金相显微组织的分类及评级标准,从而为对各种球墨铸铁金相显微组织进行定量及定性的分析提供了科学的依据。

在本图谱的第一部分——名词术语的定义中,对涉及到铸铁的种类、石墨的形态、基体形态、化合物及金属相、化学、加工工艺方法和冶金学等方面的名词术语进行了解释。

在本图谱的第二部分——石墨的特性参数中,叙述了评定铸铁件金相显微组织中石墨组织的标准方法和铸铁金相显微组织中石墨组织的四参数分类法(例如70% VII A 4, 30% VII D 7),并提出了区分石墨形态的金相标准、球墨铸铁的球化率标准(50%~100%),球墨铸铁金相显微组织中石墨球的尺寸大小分级标准(1~8级)和球墨铸铁金相显微组织中石墨球的数量标准(25个石墨球/mm²~300个石墨球/mm²)。

在本图谱的第三部分——球墨铸铁基体组织中,提出了球墨铸铁基体组织中珠光体及铁素体的百分含量标准、球墨铸铁基体组织中碳化物的百分含量标准和各种基体组织(针状组织、奥氏体、斯氏体等)标准。

在本图谱的第四部分——合金元素及有害元素对球墨铸铁金相显微组织的影响中,分析了镁、钼、镍、铜、锡、磷等元素及稀土元素等对球墨铸铁金相显微组织的影响。

在本图谱的第五部分——般铸造生产过程对球墨铸铁金相显微组织的影响中,叙述了造型、浇注及热处理对球墨铸铁金相显微组织的影响。

在本图谱的第六部分——其它加工方法对球墨铸铁金相显微组织的影响中,叙述了焊接、合金化、机械加工(热加工及冷加工)等对球墨铸铁金相显微组织的影响。

在本图谱的附录A、附录B和附录C中,分别详细地叙述了球墨铸铁金相试样的制备工艺、所用材料及设备,还详细地叙述了图像分析式金相显微镜在铸铁金相显微组织的定量分析中的应用原理及方法、石墨形状指数、球墨铸铁金相显微组织中珠光体与铁素体百分含量的测定方法(重量测定法、计点测定法及面积仪测定法)。

在本图谱的翻译与出版过程中,赵捷南总工程师、马殿峰副总工程师、姜庆祥夫妇、林忠安科长、张本义、龚英林主任及何绍才同志都给予了热情的支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

译者

1988年11月于大连

英文版前言

对于一个学会来说，编辑或重新修订一本书都是一项艰巨的任务。这部书是最新的修订本。美国铸造师学会的会员们很快就发现，全面修订这部书所需要做的工作要比他们想象的多得多。因此，学会编辑出版的每一本书都是会员们坚韧不拔的毅力与献身精神的结晶。

这本书是美国球墨铸铁研究学会、美国球墨铸铁质量控制学会的全体会员以及这些会员所在的各个公司的不朽之作。这本书的第一版由美国球墨铸铁研究学会编辑，于1965年出版。在球墨铸铁生产飞速发展的过程中，这本书是铸造工作者宝贵的参考资料。然而，在日新月异地发展的技术领域，往往需要对现有的东西进行补充。因而，美国球墨铸铁质量控制学会决定对这本书进行修订。

美国 **Pipe & Foundry Co.** 的克莱德·威尔海姆对这部修订本付出了额外的努力，在此特向他及他的助手们表示谢意。

1965年美国球墨铸铁研究学会会员名单

W.C. Jeffery, Co-Chairman
McWane Cast Iron Pipe Company
H.W. Ruf, Co-Chairman
Grede Foundries Inc.
D. Matter
Ohio Ferro Alloys
A.W. Anderson
International Harvester
D.L. Crews
Clow Corporation
H.G. Haines
Woodruff & Edwards
L.R. Jenkins
Campbell, Wyant & Cannon Fdy. Co.
R.M. Nowicki
Ford Motor Company
A.H. Rauch
Deere and Company
R.D. Schelleng
International Nickel Company
R.J. Christ
Deere and Company
M.J. O'Brien
Grede Foundries, Inc.

1980年美国球墨铸铁质量控制学会会员名单

E.F. Ryntz, Chairman
General Motors Research Labs.
A.W. Ward, Vice-Chairman
Ward Associates
M.D. Chaudhari, Secretary
Gray Iron Research Institute
A.A. Adams
Ford Motor Company
W. Dell
John Deere Foundry
B.D. Hanawalt
Foote Mineral Company
S. Holtan
Central Foundry Division, GMC
W.M. House
Columbus Foundries, Inc.
B. Kovacs
Ford Motor Company
E.E. Langner, Jr.
American Cast Iron Pipe Co.
J. Lonnee
Caterpillar Tractor Company
L. Martin, Jr.
Ford Motor Company
M.J. O'Brien
Grede Foundries, Inc.
T.E. Prucha
Cast Metals Industry
J.S. Vaniek
Consultant
R.J. Warrick
Lynchburg Foundry/ A. Meade Co.
A.C. Wilhelm, Jr.
U.S. Pipe & Foundry Company

英 文 版 序

金属材料内部各种显微组织的数量、尺寸大小、形状、分布状态及其相互影响都决定着金属材料的性能。球墨铸铁显微组织的变化范围很大，因而其性能的变化范围也很大。球墨铸铁的这种特性使它获得了广泛的应用，同时也表明需要严格控制其显微组织。在加工过程中出现的差错以及化学成分偏差都会使球墨铸铁的性能发生很大的变化。

金相显微检验这种质量控制方法在球墨铸铁的生产中得到了广泛的应用。这证明了金属材料的显微组织在控制其性能方面的重要性。编辑此书的目的，就是使铸铁的生产与使用人员了解球墨铸铁的各种重要性能，以便对其质量进行控制。

本书重点收入那些具有代表性的金相显微组织照片。当某几种因素对球墨铸铁显微组织的影响近似相同时，则仅用插图来说明其主要的，而在插图的附注中概括地说明各种因素在控制球墨铸铁显微组织方面的作用。本书不是研究球墨铸铁冶金学方面的教科书，而是一本比较详尽地阐述球墨铸铁中典型金相显微组织方面的专著。本书还收入了在极特殊条件下出现的球墨铸铁金相显微组织的照片。

尽管本书没有对球墨铸铁冶金学作详细的叙述，但是在本书的后部分章节中对球墨铸铁金相显微组织的变化情况作了概述。这样，就为每张插图附注中的文字材料提供了参考。

碳是铸铁中主要的合金元素。铸铁中碳的存在形态是控制其性能的决定因素。向铸铁中添加有限量的其它合金元素及铸铁生产工艺的变化对其性能的影响，则主要是通过控制铸铁中碳的存在形态而反映出来的。

液态铸铁中的碳大多数都溶解于铁中，而且液态金属的温度越高，溶解于其中的碳就越多。在凝固过程中，铁中碳的溶解度显著下降并从铁水中析出。

固态的碳有三种不同的存在方式：石墨、碳化物（铁、合金元素与碳形成的化合物）或溶于固态铁中。碳存在的这种特殊方式是决定铸铁性能的主要因素，而碳的含量、其它元素的含量及冷却速度则控制着碳的存在方式。

如果凝固速度很快，或者碳化物稳定剂（例如铬元素）的影响超过氧化剂（例如碳和硅）的影响，那么碳就可能以初生碳化物的形式存在于固态铁中。铁的碳化物（即渗碳体）是铁与碳形成的化合物，其化学分子式是 Fe_3C ，性硬而脆，且不能进行切削加工。通常在耐磨铸铁中才需要这种渗碳体。当不存在过量的碳化物稳定剂时，通过在大约 $871\sim 982^\circ\text{C}$ （ $1600\sim 1800^\circ\text{F}$ ）温度下几个小时的退火处理，就可以把渗碳体分解成铁和石墨。

铸铁中一般都含有石墨。铸铁中石墨颗粒的形态对于控制铸铁的性能起着很重要的作用。在灰铸铁中，石墨呈长条形片状。这种片状石墨在灰铸铁中产生很多强度很低的晶面，这就是灰铸铁强度很低的原因所在。

在可锻铸铁中，石墨呈不规则的颗粒状。这种石墨颗粒称为回火碳。可锻铸铁中这种石墨形态对金属基体的割裂作用要比片状石墨小。将仅仅含有铸态渗碳体的铸铁进行退火就可以得到回火碳。退火可以使渗碳体分解成石墨与铁。

通常采用加镁处理法来产生球墨铸铁中的球状石墨。这种球状石墨对金属基体的割裂作用最小，从而使球墨铸铁成为各种铸铁中强度最高、韧性最好的铸铁。编辑本书的主要目的就是图解的方法来说明球墨铸铁典型的金相显微组织。

如上所述,尽管在凝固过程中有大量的碳从铁水中析出,但是仍有大量的碳溶解在高温状态的固态铁中。这种残留于铸铁基体中的碳的最终分布状态在很大程度上决定着球墨铸铁的性能。正如在凝固过程中有大量的碳从铁水中析出一样,在 $760\sim 815^{\circ}\text{C}$ ($1400\sim 1500^{\circ}\text{F}$)的温度范围内,铸铁中碳的溶解度降低得非常明显。铸铁在冷却过程中经过这一温度范围时就要发生原子的重新排列,高温状态的铁与奥氏体转变成低温状态的铁素体。在这一转变过程中,碳将从铁素体中以各种方式析出,而其析出的方式则取决于铸铁中合金元素的组成及冷却速度。

在低合金铸铁从大约 788°C (1450°F)温度以上非常缓慢地冷却下来的过程中,基体中的碳将向铸铁中存在的球状颗粒扩散并沉积在那里而形成石墨。这样,最终产生的铸铁就含有铁素体与石墨球组织。当冷却速度较快,特别当存在某些合金元素时,大量的铁素体的形成就受到了抑制。这样,碳就从铁水中局部析出而形成珠光体。珠光体是由极薄的铁素体片与碳化物片层叠而构成的。当冷却速度中等时,就出现数量不定的珠光体与铁素体的混合组织。

珠光体的强度及硬度中等,而铁素体的强度低但韧性及塑性好。当铸铁中含有铁素体与珠光体的混合组织时,其性能就取决于铁素体与珠光体的相对含量及它们的分布状态。

当冷却速度很快,且碳来不及扩散而形成珠光体时,在低温下,铸铁的基体几乎在一瞬间就转变成含有固溶碳的组份。这种组份就称为马氏体。马氏体很硬,性脆,不能进行机械加工。马氏体的回火处理可以使碳以细小渗碳体的形式从固溶体中析出。而且随着回火温度的提高,这样形成的渗碳体就越来越粗大,而由此产生的铸铁组织就具有很高的强度及韧性了。在大约 649°C (1200°F)这样足够高的温度之下,按上述方式形成的渗碳体就分解为石墨与铁,由此产生的组织则由铁素体、细小的球状碳化物及石墨球组成。可以采用回火处理方法使珠光体也产生这种分解,只不过需要更高一些的温度罢了。

球墨铸铁化学成分控制不当或加工过程控制不当,都可能使球墨铸铁性能不佳。球墨铸铁常常具有特殊的显微组织,金相学家可以据此确定出加工条件对其质量的影响。本书包含这类特殊显微组织的实例。

目 录

	译者的话	I
	英文版前言	III
	1965年美国球墨铸铁研究学会会员名单	V
	1980年美国球墨铸铁质量控制学会会员名单	VI
	英文版序	VII
第一章	名词术语的定义	1
	(A) 铸铁的种类	2
	(B) 石墨的形态	2
	(C) 基体类型	3
	(D) 化合物及金属相	4
	(E) 化学名词术语	5
	(F) 加工方法名词术语	6
	(G) 金属学名词术语	7
第二章	石墨的特性参数	9
	(A) 石墨的形态	10
	(B) 球化率	16
	(C) 石墨球的尺寸	20
	(D) 石墨球的数量	24
第三章	基体组织	29
	(A) 珠光体的百分含量	30
	(B) 碳化物的百分含量	35
	(C) 混合组织	43
第四章	合金元素及有害元素的影响	51
第五章	一般铸造生产的影响	65
	(A) 造型及浇注的影响	66
	(B) 热处理的影响	73
第六章	其它加工过程的影响	83
附录:		
附录A	金相试样的制备	92
附录B	对铸铁进行定量金相检验所用的图像分析式显微镜	99
附录C	球墨铸铁显微组织中珠光体含量的测定	113

第一章 名词术语的定义

(A) 铸铁的种类 (Types of Cast Iron)

1、合金铸铁 (Alloy Cast Iron) 含有足够数量合金元素的铸铁称为合金铸铁。合金元素可以是一种或多种, 如铬、镍、铜、锰和钼。这类合金元素能够改变铸铁的基体组织, 从而使其物理性能及机械性能在一定的范围内发生变化, 但并不明显地影响石墨的形态。原材料中正常存在的一定量的硅、锰、硫和磷元素不属于合金元素。

2、铸铁 (Cast Iron) 主要由铁、碳和硅元素组成的合金统称为铸铁。铸铁中的含碳量要比共晶温度时奥氏体固溶体中的饱和含碳量高。通常铸铁仅仅指灰铸铁。

3、致密石墨铸铁 (Compacted Graphite Iron, CG Iron) 这种铸铁在液态时经过特殊处理, 其石墨中的碳互相紧密地连接在一起而形成介于球状石墨与片状石墨之间的一种石墨形态。

4、球墨铸铁 (Ductile Iron) 这种铸铁在液态时经过特殊处理, 其石墨呈球状, 亦称为 Nodular Iron、Spherulitic Graphite Iron、SG Iron。

5、灰口铸铁 (Gray Iron) 这种铸铁含有大量的片状石墨, 其断口表面呈灰色。

6、可锻铸铁 (Malleable Iron) 这种铸铁在凝固时形成白口铁, 而经过热处理之后就转变成了含有球状回火碳的金属基体组织。

7、白口铸铁 (White Iron) 这种铸铁凝固后形成实际上没有石墨碳的组织, 且其断口表面呈白色。

(B) 石墨的形态 (Graphite Forms)

1、石墨飘浮 (Carbon Flotation) 在过共晶铸铁中, 在其凝固之前就形成的游离石墨, 在铸铁凝固时飘浮到铸件的顶部 (或离心铸件的内表面上), 这种现象就称为石墨飘浮。

2、致密石墨 (Compacted Graphite) 这是人为地有意形成的一种中间状态的石墨, 呈圆头, 是粗而短且相互连接在一起的石墨片, 外观类似于蠕虫状石墨。

3、蟹状石墨 (即团片状石墨, Crab Graphite) 这是球状石墨退化而形成的石墨。这种石墨退化是由于以下原因造成的: 球化处理过度并含有有害元素; 球化处理过度或存在有害元素。在金相显微镜下观察时, 这种石墨的特点是: 在变形的石墨球上连若通常呈蟹腿状的厚片石墨。

4、衰退石墨 (Degenerate Graphite) 在球墨铸铁中, 除了球状石墨而外的那些不是呈近似完整圆球状的石墨统称为衰退石墨。

5、开花状石墨 (Exploded Graphite) 当碳当量高 (大约超过 4.5) 时, 在上箱浇注成型的铸件表面上最容易出现这种石墨。在金相显微镜下, 这种石墨呈开花状球形。在孕育处理过度或在铸铁凝固之前才进行二次孕育处理的情况下, 可能会出现类似的石墨组织。

6、片状石墨 (Flake Graphite) 这是一种不规则的石墨颗粒, 通常呈弯曲的板片状, 例如灰口铸铁中的片状石墨。在美国试验与材料学会标准中, 把这种石墨定为 A 型石墨。

7、不规则石墨（即团状石墨，Irregular Graphite） 这是一种扭曲状的石墨球墨铸铁的二次孕育不充分时，常常就会出现这种石墨显微组织。

8、球状石墨（Nodular Graphite） 这种石墨是球墨铸铁及可锻铸铁中出现的典型的石墨组织。在球墨铸铁中，这种石墨呈球状圆形，而在可锻铸铁中则呈致密的团状。

9、枝晶状石墨（Rosette Graphite） 这是灰铸铁中出现的一种石墨。这种石墨呈现片状结构，从结晶中心开始呈辐射状向外延伸。在美国试验与材料学会标准中定为B型石墨。快速凝固（例如在薄壁处）及未进行充分的孕育都能使这种现象更严重。

10、二次石墨（Secondary Graphite） 这是在凝固之后由于最初以化合态存在的碳的析出而形成的石墨颗粒。热处理或铸件足够缓慢地冷却都会产生这种石墨。在球墨铸铁中，二次石墨可能会在最初出现的石墨球的周围形成，呈同心球状。

11、球状石墨（Spheroidal Graphite） 参见球状石墨（Nodular Graphite）

12、尖头状石墨（Spiky Graphite） 在这种石墨组织中，在球状石墨上有一个或多个非常尖的端部，这种尖尖的端部突出伸入到基体中，类似于蟹状石墨。

13、过冷石墨（Undercooled Graphite） 在这种石墨组织中，紧靠着初生奥氏体枝晶形成尖角状细小的石墨。在美国试验与材料学会标准中，将这种石墨定为D型石墨。薄壁铸件的快速凝固、孕育不足、含硫量低、过热温度高、保温时间过长、含钛量高以及浇注温度低都会促进过冷石墨的形成。

14、蠕虫状石墨（Vermicular Graphite） 这是由于球墨铸铁孕育衰退而形成的一种石墨组织。这种石墨组织由厚大、圆头、蠕虫状的石墨片组成。通常是因为残留镁量低造成的，类似于致密石墨。

（C） 基体类型（Matrix Forms）

1、针状组织（Acicular Structure） 这是一种由针状结构组成的显微组织。

2、退火组织（Annealed Structure） 凡经过退火处理之后得到的组织，统称为退火组织。就球墨铸铁而言，通过退火热处理来消除珠光体和（或）碳化物，即可得到以铁素体为主的基体组织，这就是球墨铸铁的退火组织。

3、铸态组织（As-Cast Structure） 在铸型中浇注完后不经过随后的热处理而直接得到的铸件的基体组织，就称为铸态组织。铸态组织一般由铁素体和珠光体组成，有可能还存在碳化物。

4、激冷组织（Chill Structure） 碳大都呈化合态（即形成碳化物）的基体组织就称为激冷组织。

5、脱碳组织（Decarburized Structure） 当铁合金在介质（通常是存在氧气的气氛）中进行加热处理时，氧与碳化合，这样铁合金的表面层就由于脱碳而形成铁素体表层。这种铁素体的表层组织就称为脱碳组织。

6、共晶组织（Eutectic Structure） 在平衡状态下，合金在其最低凝固温度时进行恒温凝固而产生的基体组织，就是共晶组织。共晶组织由两相或更多的相组成。

7、共析组织（Eutectoid Structure） 在平衡状态下，由单一相在恒温时转变成由两相或更多相所组成的基体组织，这种组织就称为共析组织。而这一恒定温度则是这种单

--相在平衡状态下能够存在的最低温度。

8、热影响区 (Heat-Affected Zone, HAZ) 在切割或焊接的过程中没有熔化,但其显微组织及物理性能都由于加热而发生了变化的那一部分基体金属,就称为热影响区。

9、过共晶组织 (Hypereutectic Structure) 过共晶化学成分范围内的合金所形成的共晶组织就称为过共晶组织。就球墨铸铁来说,其过共晶组织是在碳当量超过4.3时才出现的,且只有在出现石墨飘浮时,才能将这种过共晶组织与亚共晶组织互相区别开。

10、亚共晶组织 (Hypoeutectic Structure) 亚共晶化学成分范围的合金发生共晶转变后所形成的组织,就称为亚共晶组织。当球墨铸铁的碳当量低于4.3时,才会出现亚共晶组织。与过共晶组织相比较,这种亚共晶组织中的石墨球及铁素体较少,但碳化物较多。

11、反白口 (Inverse Chill) 这是一种铸造缺陷。其特点是:在铸件内部存在碳化物,而在接近铸件表皮处却没有碳化物。有时把靠近铸件中心处出现的反白口称为中心线白口 (Centerline Chill)。

12、单相组织 (Single Phase Structure) 由显微组织特殊的单一相(如铁素体、贝氏体或马氏体)所组成的基体称为单相组织。有时把珠光体看作单一相,但实际上它是由铁素体及渗碳体这两相组成的混合组织。

(D) 化合物及金属相 (Compounds and Metallic Phases)

1、奥氏体 (Austenite) 这是一种非磁性的间隙固溶体。这种间隙固溶体是碳溶于 γ 铁(面心立方晶格)中而形成的。奥氏体在室温下一般是不稳定的。向合金中添加适当的合金元素就可以使奥氏体在室温下处于稳定状态。

2、碳化物 (Carbide) 碳与一种或更多种金属元素化合所形成的化合物就称为碳化物。参见渗碳体。

3、渗碳体 (Cementite) 这是由铁和碳形成的一种金属间化合物,化学上称为碳化铁。其分子式近似为 Fe_3C 。渗碳体属于斜方晶系。

4、浮渣 (Dross) 主要由于氧化(但有时是由于杂质上浮到金属液表而上)而在液态金属表面所形成的渣子,就称为浮渣。

5、铁素体 (Ferrite) 这是一种通常具有磁性的间隙固溶体,是由少量的碳溶于 α 铁(体心立方晶格)中而形成的。在 α 铁固溶体中也可能含有其它元素。

6、夹杂物 (Inclusions) 在凝固过程中截留下来并机械地存留于固态金属基体中的杂质颗粒,就称为夹杂物。

7、莱氏体 (Ledeburite) 这是铁碳合金中的共晶体,由奥氏体及渗碳体组成。在低于临界温度下冷却的过程中,莱氏体中的奥氏体就分解为铁素体及渗碳体。

8、马氏体 (Martensite) 这是一种具有磁性的过饱和间隙固溶体。这是碳溶于四方晶系体心立方晶格的铁中而形成的固溶体。马氏体是在快速冷却时由奥氏体形成的。其特点是非常坚硬,而且具有针状显微组织。

9、珠光体 (Pearlite) 这是由铁素体片与渗碳体片交替叠加面形成的一种混合组织。在冷却过程中通过共析温度时,奥氏体就发生转变而形成珠光体。

10、磷化物 (Phosphide) 这是磷元素与一种或更多种其它元素相化合而形成的化

合物。参见磷共晶体。

11、铁豆 (Shot) 这是圆形的金属小颗粒，可以金属夹杂物的形式出现在铸件中。在已发生部分凝固的铸件中，当固相线温度低的发生喷溅、旋涡时，就会出现铁豆。

12、熔渣 (Slag) 这是熔剂与非金属夹杂物互相熔合在一起而形成的一种非金属产物。

13、磷共晶体 (即斯氏体, Steadite) 这是铸铁中的一种硬而脆的组分，由铁素体 (含有一些固溶的磷) 及磷化铁 (Fe_3P) 的二元共晶体组成，其熔点为 565°C (1920°F)。

14、不熔金属 (Undissolved Metal) 这是由未熔解的孕育剂或合金添加剂组成的金属夹杂物。

(E) 化学名词术语 (Chemical Terms)

1、碳 (Carbon) 这是一种非金属元素，原子序数为 6。在球墨铸铁中，碳的含量大约为 3~4%，且以球状石墨的形态存在。

2、碳当量 (Carbon Equivalent) 把除了碳之外的其它元素的含量都折合成其相当含量的碳量，然后将这个折算值与碳含量加在一起，将这个累加值看作是单一的含碳量，这就称为碳当量。最常用的碳当量的表达式是：

$$\text{CE (碳当量)} = \% \text{TC (含碳量总和)} + 1/3 (\% \text{Si} + \% \text{P})$$

利用碳当量可以推测合金的流动性、显微组织及机械性能。

3、有害元素 (Harmful Elements) 当其含量为万分之几或十万分之几时，就能显著地改变球墨铸铁的显微组织或阻碍石墨形成球状石墨，这类元素称为有害元素。阻碍石墨形成的元素通常称为杂质元素 (Snbversive, Deleterious, Tramp Elements)。

4、镁 (Magnesium) 这种元素的原子序数为 12。在高碳低硫铸铁中，当镁的含量为 0.02~0.06% 时，就能使石墨形成球状石墨而不是灰铸铁中那样的片状石墨。

5、残留镁量 (Magnesinm Residual) 添加到一炉球墨铸铁中的、用来使石墨发生球化的那一部分镁，称为残留镁量。加入到球墨铸铁中的镁的重量百分数与铁水中含硫量的重量百分数之差，就是残留镁量的重量百分数。据此可计算出残留镁量。

6、锰 (Manganese) 原子序数为 25，是铸态球墨铸铁中珠光体的稳定元素。锰可以提高淬火态及回火态球墨铸铁的马氏体的硬度，但不能提高其强度。

7、稀土合金 (Mischmetal) 这是稀土元素的合金组成的一种混合物质。它由约 50% 的铈，50% 的镧、钆及类似的元素组成。

8、磷 (Phosphorus) 这种元素的原子序数是 15，它在铸铁中的固溶度低，通常以磷化物共晶体 (即斯氏体) 的形式出现。磷化物共晶体的凝固温度低，故在共晶团边界上析出。如果磷化物共晶体大量析出，那么就会降低铸铁的机械加工性能及冲击强度。固溶于铁中的磷是珠光体的稳定剂。

9、稀土元素 (Rare Earths) 原子序数为 57~71 的元素都是稀土元素。稀土元素可用来抵消有害元素的影响，并可用作球化剂。

10、硅 (Silicon) 这种元素的原子序数为 14。可以把硅添加到铸铁中作脱氧剂用。硅也可以使渗碳体发生分解并抑制珠光体的形成，从而促进石墨化。

11、杂质元素 (Subversive Element) 参见有害元素 (Harmful Element)。

12、硫 (Sulfur) 硫的原子序数为16。必须把石墨铸铁中的大部分硫除去，然后才能进行加球化处理。

13、痕量元素 (Tramp Elements) 参见有害元素。

(F) 加工方法名词术语 (Process Terms)

1、合金 (Alloy) 由两种或更多种元素 (其中至少有一种元素是金属元素) 组成的均匀物质称为合金。合金通常具有金属性能，而组成合金的单独元素则具有与其合金不同的性能。

2、合金元素 (Alloying Element) 添加到金属中的、最终存在于金属中且能改变金属性能的元素称为合金元素。

3、退火 (Anneal) 将金属加热至某一适宜的温度下进行保温，然后以适当的速度冷却下来，这个过程就称为退火。退火可以达到以下目的：降低硬度，改善机械加工性能，便于冷加工，产生所需的显微组织或得到所需的机械性能、物理性能或其它性能。在实际应用中应使用更专门的术语，即铁素体化退火——通过适当的热处理来使铸铁中形成以铁素体基体为主的显微组织的工艺过程。通常退火可以减小应力。但如果热处理的目的仅仅是消除应力，那么这种热处理就应该定义为消除应力退火 (Stress Relieving)。

4、冷加工 (Cold Work) 在某一温度下，伴随着强度的急剧增加及硬度的迅速提高，以一定的速度使金属发生塑性变形，这种工艺就称为冷加工。在冷加工过程中，金属会出现晶粒形状的变化，有时还会出现机械性的孪晶、带状组织等可见的金属结构的变化。进行冷加工的上限温度就是金属的再结晶温度。

5、脱硫 (Desulfurization) 通过向液态金属中添加适当的化合物及进行通常的外部搅动作用，将液态金属中的硫除去的过程，就称为脱硫。

6、顺序凝固 (Directional Solidification) 在铸件凝固时，铸件的凝固部分随时都能得到补缩金属的补缩，而且凝固前沿按照预定的方向移动，这种凝固方式就称为顺序凝固。

7、热处理 (Heat Treatment) 为了得到某种状态或性能，将固态金属或合金进行加热及冷却的工艺过程就称为热处理。在热加工时所进行的加热不属于热处理的范畴。

8、热加工 (Hot Work) 在适宜的温度下，以适当的速度使金属发生塑性变形，但不产生加工硬化现象，这种工艺就称为热加工。热加工温度范围的下限就是再结晶温度。

9、孕育处理 (Inoculation) 向液态金属中添加某种材料，以形成结晶核心，这种工艺就是孕育处理。对石墨铸铁进行孕育处理的目的，就是增加石墨球的数量并减少碳化物的含量。

10、机械加工 (Mechanical Work) 参见冷加工及热加工。

11、球化 (Nodularization) 采用镁或其它元素对液态铸铁进行处理，从而使石墨以球状石墨的形式生长，这种处理就称为球化处理，有时也称为处理 (Treatment)。

12、正火 (Normalize) 将铁合金在转变温度范围之上的适宜温度下进行加热，然后在空气中冷却到远远低于转变温度范围的温度，从而改善机械性能和切削性能，或者便于以后进行热处理，这种热处理称为正火。

13、淬火 (Quench) 淬火就是快速的冷却。在实际应用中, 应使用以下的一些专门术语:

- 直接淬火 (Direct Quenching)
- 喷雾淬火 (Fog Quenching)
- 热介质淬火 (Hot Quenching)
- 阶段淬火 (Interrupted Quenching)
- 局部淬火 (Selective Quenching)
- 喷水淬火 (Spray Quenching)
- 控制时间淬火 (Time Quenching)

14、消除应力退火 (Stress Relieving) 将金属加热至某一适宜的温度, 保温足够长的时间, 以减小残余应力, 然后足够缓慢地冷却下来, 这样可以尽量避免产生新的残余应力。这种热处理就叫消除应力退火。

15、低于临界温度退火 (Subcritical Anneal) 将金属加热至低于相变温度范围的某一温度, 并在此温度下进行保温, 然后以适当的速度进行冷却, 这种热处理就是低于临界温度退火。

16、回火 (Tempering) 把经过淬火硬化或正火处理的铁合金, 重新加热至低于转变温度的某一温度并保温, 然后根据韧性要求将其以一定的速度冷却下来。这种热处理就是回火, 有时也称作 **Drawing**。

17、处理 (Treatment) 参见球化。

18、焊接 (Weld) 通过加热和加压 (加热或加压), 使用填料 (或者不使用填料) 使两块 (或多块) 金属材料互相焊合在一起, 表面熔合 (即再结晶), 从而将其连成一个整体, 这种工艺就是焊接。

(G) 金属学名词术语 (Metallographic Terms)

1、抛光布 (Cloth(polishing)) 这是一种编织材料, 夹在 (或粘在) 金相检验用的抛光轮上, 用来存储抛光介质。

2、粗磨料 (Coarse Grit) 这种磨料的粒度介于 30~200 目 (600~90 微米) 之间, 用来对金相试样进行粗抛光。

3、侵蚀 (Etch) 对金属表面进行的有控制的择优腐蚀, 称为侵蚀。通过侵蚀可以显示出显微组织来。

4、侵蚀剂 (Etchant) 用于对金相试样进行侵蚀处理的特种溶液 (有时有特定的名称), 例如硝酸酒精侵蚀液、苦味醇液等, 就称为侵蚀液。

5、细磨料 (Fine Grit) 这种磨料的粒度大约为 200~1000 目 (90~20 微米), 用于对金相试样进行精抛光。

6、磨削 (Grind) 用砂轮除去金属的方法称为磨削。

7、磨料 (Grit) 具有磨削性能的颗粒称为磨料。可用磨料来制成砂轮、方油石和锉刀, 或用胶粘在布上制成砂布。天然磨料包括金刚石、刚玉、金刚砂、砂子等。生产最多的是碳化硅磨料和氧化铝磨料。