

合金铸铁

美国铸造工作者协会灰铸铁部合金铸铁委员会编

刘荫桢译

本书系根据美国铸造工作者协会出版的“合金铸铁”一书译出。本书共分八章,系统地介绍了合金元素对于铸铁的基体组织、物理性能及机械性能的影响;对于合金铸铁的热处理及铸造工艺也作了较详细的叙述,并收集了很多合金铸铁的应用实例,因此对于当前生产有一定的意义。

本书可供各高等工业学校铸造专业及各生产科研单位的工程技术人员参考。

ALLOY CAST IRONS

Alloy Cast Irons Committee Gray Iron Division
AMERICAN FOUNDRYMEN'S ASSOCIATION

Second Edition, 1944

(根据美国铸造工作者协会灰铸铁部合金铸铁委员会一九四四年第二版译出)

合金铸铁

美国铸造工作者协会灰铸铁部合金铸铁委员会编

刘荫桀译

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京印刷二厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $10^{3/4}$ · 字数 270 千字
1966年4月北京第一版·1972年12月北京第二次印刷
印数 4,201—29,400 · 定价 1.50 元

统一书号: 15033 · 4001

目 次

第一章 合金元素在铸铁中的作用的冶金原理	1
铸铁的定义	1
加入合金元素的原因	1
相、反应及显微组份	2
合金元素对于反应的影响	3
凝固(3)——石墨化(3)——析出和溶解反应(4)——临界 转变(4)——扩散(4)	
合金元素对于显微组份和性能的影响	4
石墨(4)——铁素体固溶体(5)——碳化铁和金属间化合物(5) ——奥氏体(5)——奥氏体的分解产物(5)——小结(6)	
第二章 合金加入物对于铸铁的影响	7
钼	7
铬	8
钴	14
铜	15
锰	20
钨	22
镍	28
磷	41
硅	45
钛	48
钒	50
第三章 合金元素对于灰铸铁的物理性能和机械性能的影响	56
前言	56
合金元素对抗拉强度的影响	60
钼(60)——硼(60)——铬(61)——铜(65)——锰(66)——钨 (69)——镍(69)——磷(74)——硅(76)——硫(79)——钛 (79)——钨(81)——钒(82)	
合金元素对硬度的影响	83

IV

鉍(83)——碲(83)——鉍(83)——銅(84)——鉍(85)——鉍
(86)——鎳(86)——磷(87)——硅(87)——硫(88)——鈦
(88)——鈷(89)——鈦(89)

合金元素对抗弯强度和挠度的影响97

鉍(91)——碲(91)——鉍(92)——銅(93)——鉍(94)——鎳
(94)——磷(95)——硅(97)——硫(97)——鈦(97)——鈷
(99)——鈦(99)

合金元素对抗压强度的影响99

鉍(99)——銅(101)——鎳(101)——鈦(101)——鈷(101)——鈦
(102)

合金元素对抗切强度的影响102

鎳(104)——鈦(104)

合金元素对疲劳和疲劳极限的影响105

銅(105)

合金元素对冲击韧性的影响106

鉍(106)——碲(106)——鉍(107)——銅(108)——鉍(108)——磷
(109)——鈷(109)——鈦(109)

合金元素对加工性的影响110

鉍(110)——銅(110)——鎳(110)——硫(112)

合金元素对耐磨性的影响112

鉍(112)——銅(113)——鉍(113)——鎳(113)——磷(114)——鈦
(114)

合金元素对耐热性的影响114

碲(114)——鉍(115)——銅(117)——鉍(118)——鎳(118)——磷
(121)——硅(124)——鈦(124)——鈦(125)

合金元素对耐蚀性的影响126

鉍(126)——銅(130)——鎳(132)——磷(134)——硅(137)

合金元素对质量和壁厚的影响138

鉍(138)——銅(139)——鉍(139)——鎳(139)

合金元素对电性能和磁性能的影响140

銅(141)——鎳(141)——硅(142)

合金元素对导热系数的影响142

鉍(143)——銅(143)——鎳(144)——硅(145)——鈦(145)

合金元素对热膨胀性的影响146

銅(146)——鎳(146)

参考文献150

第四章 浇包孕育剂	156
定义	156
加制铸铁	157
“D”和“E”型石墨	158
初生铁素体	159
次生铁素体	160
孕育理论	160
孕育剂对于组织的影响	162
对于机械及其他性能的影响	163
抗拉强度(163)——抗弯强度(164)——弯曲挠度和韧性(165)—— 硬度(167)	
对于加工性和白口层的影响	169
对于耐磨性的影响(170)——对于均匀性的影响(170)——对于铸 造性能的影响(170)	
影响孕育效果的因素	171
熔炉操作的影响(172)——成分的影响(172)——冷却速度的影响 (173)——过量的影响(173)——时间的影响(174)——操作条件 (174)——概論(174)	
参考文献	175
第五章 白口铸铁件和冷硬铸铁件	178
冷硬铸铁(179)——基金属(180)	
一般元素的影响	180
总碳量的影响(180)——硅的影响(182)——锰和硫的影响(183) ——磷的影响(184)	
合金元素的影响	184
减少白口层深度的元素(185)——增加白口层深度的元素(186) ——复合合金元素(188)——热处理(190)——内应力的检测(190) ——组织的细化(192)——冷硬铸铁的应用(195)	
参考文献	195
第六章 合金铸铁的热处理	196
消除应力	196
退火	198
白口铸铁的快速退火(或可锻化退火)(201)——反退火处理(202)	
淬火和回火	206
硬化	209

VI

厚断面铸件的硬化	217
空气硬化	222
热浴淬火	222
灰铸铁的表面硬化	227
氮化(227)——火焰硬化(231)——感应硬化(233)	
热处理后的合金铸铁的腐蚀	234
参考文献	236
第七章 合金铸铁的铸造工艺	239
收缩率	239
机械加工裕量	239
断面的影响	240
翘曲	247
型砂	241
导言(241)——型砂的制备(242)——型砂的控制(243)——合适的型砂试验数值(244)——面砂(244)——铸型的敷料、刷浆和喷涂(245)——型砂的烧结(246)——膨胀和收缩(246)	
芯砂	247
造型方法	248
浇注系统(248)——冒口(249)——堵实(250)——铸型的处理(250)——特种造型方法(251)	
熔化设备	251
加入合金的方法	252
铝(256)——硼(256)——铬(256)——钴(258)——铜(258)——钼(259)——钨(259)——镍(261)——磷(262)——硅(262)——硫(264)——钛(264)——钨(264)——钒(264)——锆(264)	
浇注温度	265
铸件的处理	269
清理和磨光	270
车间铸件检验	270
参考文献	270
第八章 合金铸铁应用的实例	273
动力机铸件	274
化工设备	304
泵和压缩机	308

轧研设备和耐磨铸件	313
工作母机	316
金属加工模具	320
炼油设备	322
铁道设备	324
其他	326

第一章 合金元素在铸铁中的作用的冶金原理

在讨论合金元素在铸铁中的作用的冶金原理之前，最好能正确地理解普通铸铁与合金铸铁之间的区别。过去对于这两种材料曾有过好几种不同的定义，并引起争辩。因此，作为本书的出版负责者，本委员会现采用认为正确的定义如下：

铸 铁 的 定 义

普通铸铁

普通铸铁主要为一种铁和碳的合金，其中的含碳量超过在共晶温度下奥氏体固溶体的应含量。

合金铸铁

合金铸铁为含有特加的某一种或几种合金元素的铸铁，且其含量足以使某一定断面的铸铁的物理性能获得显著的改善。由于原料中通常都含有硅、锰、硫、磷，所以这些元素在本书中即不作为合金加入物来考虑。

加入合金元素的原因

铸铁中加入合金元素具有几个目的，其中最重要的两个是增进金属的物理性能和赋与金属某些特殊性能，如耐蚀性、耐热性或耐磨性等。各种合金元素对铸铁的物理和其他性能的影响，以及有关合金铸铁的铸造工艺，均见本书第二、三、七章。这些问题将要从其性质上和数量上两方面来进行探讨。铸造工作者由于经常在车间对铸铁进行观察，很易理解类如流动性、收缩性、多孔性等一些特性，并能确定在金属中加入合金元素将会怎样影响这些性能。这些合金元素对铸件中所形成或可以形成的显微组织

产生重要的影响。除非对合金元素的基本特性已有了明确的理解，应用合金元素所产生的显微组织变化往往不易被人们所觉察，甚至于更难将最终所获得的物理性能与其相互联系起来。

概括地说，在生产合金铸铁的过程中，首先应在一个适当的熔化设备中，将组成炉料的材料变成均匀的液态金属。然后将这种均匀的液态金属浇入铸型中，使之冷却且变成一种非均匀的固态金属。其非均匀性的程度和形式，以及固态金属的几个组成的特性，是由成分、熔化工艺、冷却速度和相继的热处理来控制的。实际上也就是说，铸铁的性能是取决于分布的形式以及固态金属各相的相互比例和特性。

开始时，可能认为由于铸铁生产过程中的可变因素非常多，应用基本的冶金原理将会碰到困难。实际上，铸造生产的标准化已经发展到完全可以从基本观念出发来研究铸铁的水平。

本章的目的就在于概括地阐述合金铸铁各相的某些基本特征，和加入合金元素在组织形成上所产生的某些冶金过程。

相、反应及显微组织

铸铁的主要部分是由（1）碳；（2）铁的固溶体和（3）金属间化合物所组成。这些组成部分，通过一系列反应进行结合的情况，是根据产生反应的温度而定的。同时，在平衡状态范围内，各相的相对数量又与它们在不同的温度区中所停留的时间有关。因此，可以认为，从浇注温度开始的冷却速度常能左右铸铁的性能。由于冷却速度一方面控制着组织反应开始的温度，另一方面又控制着在该温度区所停留的时间，因而它决定了铸铁的显微组织和其物理性能。

相的形成或转变的反应可能是与下列的一些物理过程相联系的：

- | | |
|----------|---------|
| 1. 凝固 | 2. 石墨化 |
| 3. 沉淀和溶解 | 4. 临界转变 |

5. 扩散

结果所形成的显微组份，按照公认可以分为下列几种：

- | | |
|---------------|---------------|
| 1. 石墨 | 2. 铁素体固溶体 |
| 3. 碳化铁和金属间化合物 | 4. 奥氏体 |
| 5. 莱氏体 | 6. 马氏体 |
| 7. 贝氏体 | 8. 索氏体(回火马氏体) |
| 9. 珠光体 | 10. 斯氏体 |
| 11. 夹杂物 | |

合金元素对于反应的影响

凝固

合金元素对于决定铸铁性质的一些因素所产生的影响，在由均匀的液态回复到不均匀的固态时就开始了。凝固过程中由于加入合金元素所可能产生的共晶成分的移位，具有重大意义。同样地，加入合金元素可以改变共晶温度，而凝固温度范围也可能发生重大的变化。从金属液中分离出来的第一个固态组份的成分肯定地与液态的成分是不同的。气体在液态和固态金属中的溶解度可以显著地影响凝固的动力学。加入合金元素还可以控制液态中和固态中碳化物的稳定性。

根据顺序，凝固居于所有其他过程之首，且对随后的反应起着主导作用。通过上述途径，合金元素的作用应在合金铸铁件的制造和应用中受到最大的重视。

石墨化

在凝固过程中或刚凝固之后，灰铸铁的石墨化过程即开始。在某一指定铸铁中，合金元素的存在可能加速或延缓石墨化过程，其石墨的大小、形状和分布也与类似的非合金铸铁不同。生产的合金铸铁可能实际上将不具有石墨化倾向、而其他的铸铁几乎在紧接着最终凝固以后就完全石墨化了。

石墨化的控制，对于获得均一性质方面来说，可能要比其他任何个别因素更为重要。在许多实例中，合金元素具有较大的调

节石墨化的能力，已足够证明在铸铁中使用合金是完全合理的。

析出和溶解反应

铸铁中所发生的析出和溶解反应中的溶质和溶剂，由于加入合金而有所改变。析出物的类型、质点大小和成分均可能发生变化。析出的速度可能加快或延缓。当溶解反应进行时，溶解速度和比溶解度受到了显著影响。几乎在所有的情况下，由于新的平衡状态，将导致溶解度极限的移动，这种现象在合金的显微组织及其特性中是常见的。

临界转变

虽然合金元素对铸铁的临界转变范围的影响与其在钢中所产生的现象相类似，但是并没有经常受到应有的重视。在一定冷却周期中，当所有其他因素不变时，基体中所产生的组织的类型，正如一般的情况一样将完全取决于加入的合金元素。在讨论铸铁的显微组份时，将可以看到合金元素的存在是可以控制临界转变温度，且可使其组织发生变化，如果不用合金元素，则这种组织的变化，只能借不易施行的热处理方法来取得。

铸铁中加入合金元素肯定地可以提高或降低临界温度范围。但更重要的是改变了产生转变反应的速度。加入合金元素的影响是很大的，甚至于可以将某些转变完全制止，而且即使在铸件的正常冷却周期中，合金元素亦将产生重要的作用。

扩散

只有当参与反应的组份具有活动性时，反应始能在固态下进行。它们的活动性与温度和它们所通过的介质有关。加入合金元素改变了参与反应组份的扩散率，从而提供了另一种促进或阻碍组织稳定性的因素。

合金元素对于显微组份和性能的影响

石墨

合金元素对于石墨形成的影响已经在石墨化一节中加以论

述，曾经提到合金的存在可以改变石墨的大小、形状和分布。一般认为，石墨本身实际上没有抗拉强度和抗切强度，且从多方面看来，石墨在铸铁中所占据的体积可视为金属中的空洞，因而石墨形成与物理性能的关系至为明显。当所有其他因素相同时，铸铁中石墨大小、形状和分布几乎均可利用合金元素来进行任意的改变。

铁素体固溶体

铸铁中这个组份常含有相当数量的硅和锰，以及少量的碳、磷和硫。因此，它虽然是一个简单的固溶体，却具有复杂的组成。加入合金元素经常导致这个组份的性能显著变化，主要是硬度和强度的增加，而韧性则不会有很大的减少。所有其他物理性能的变化则与合金元素加入量成正比。其中比较重要的是耐蚀性和高温强度。

碳化铁和金属间化合物

碳化铁（即渗碳体）为一种铁和碳的化合物，当加入某些可以形成所谓复合碳化物的合金元素时，可以变为一种复合化合物。碳化物组织的性能随着这种复合碳化物的形成发生相当的变化。这种新的化合物具有很高的硬度，常使铸铁的耐磨性显著改善。这些合金元素不与碳化铁直接化合，但可与它们反应而使碳化物的数量及其分布发生变化。铸铁中碳化铁可能溶解相当数量的合金元素，因之影响了铸铁的组织 and 性质。

奥氏体

奥氏体即碳在 γ 铁中的固溶体，它能容易地溶解大量的合金元素，它的性能常根据所溶解合金的数量发生大幅度的变化。合金元素还可以改变奥氏体所存在的温度范围。除了改变相的稳定性外，合金元素在奥氏体中对耐蚀性起重要影响。

奥氏体的分解产物

奥氏体转变后得到的初生产物是马氏体、贝氏体和珠光体。由回火而得到的次生组织是所谓索氏体和球状渗碳体。

如前所述，在某一定的成分中，哪一种生成物会占优势将取决于奥氏体分解的温度。就决定其组织和性能方面而言，加入合金所产生的转变速度的变化和分解温度的相应控制，要比最终生成物的成分的任何改变重要得多。

铸铁中奥氏体分解时所产生的反应与在钢中所产生的反应相类似。Bain 和 Davenport 二人曾对这方面作过细致的研究和陈述。这些研究指出，在较高的转变温度范围，奥氏体分解成层状珠光体。当转变温度降低时，随着共析体性能的逐步改变，这种层状体变得越来越细小。当转变温度达到了中限范围时，所有残余的奥氏体就不再形成珠光体，而形成一种名为贝氏体的针状组织。如果奥氏体一直保持到较低的转变温度范围，奥氏体就分解为一般所熟悉的马氏体。

这些组份的性能和形状都是非常典型的，且与促使形成它们的成分无关。马氏体的硬度、强度及相应的脆性，同珠光体的强度及韧性一样，均为人们所熟悉。贝氏体具有中等的硬度，但同马氏体退火后所得到的性能相较，却具有一种强度和韧性更好的联合性能。由于合金元素具有控制奥氏体分解的能力，使人们逐渐认识到它们对于铸铁的组织 and 性能所具贡献的真实意义。

小结

在以上各节，简单地阐述了目前已被大家理解和公认的一些应用于合金铸铁方面的基本冶金原理。为了不用太多的篇幅来说明这些原理，因此，对于相变或个别合金元素在其中所起的作用未作深入的探讨。任何个别合金元素对铸铁组织和性能的最终贡献，就是它在基本相和过程方面效果的综合。本章中所陈述的观点将有助于利用这些基本原理对以后各章所提到的理论部分进行区分。

第二章 合金加入物对于铸铁的影响

鉍

组织

鉍加入铸铁中主要起脱氧剂的作用。鉍的溶解度不论在固态或液态铸铁中都很微小，因此它在铸铁中作为一个合金元素的功效小，而作为一个强烈影响组织的加入物的功效大。通过分析可以查出金属中仅有极微量的鉍。

鉍加至铁水中，随即产生可能系三氧化鉍的烟雾，其中部分且以晶间夹杂物留置于铸铁中。这些夹杂物对用鉍处理过的铸铁组织所起的显著变化，究竟是仅仅有所助益抑或在其中起部分的作用，目前尚未得出结论。

鉍通常可使石墨片变短变多，且倾向于生成一种铁素体-细石墨组织。这种组织具有黑灰色的断口，且在外部边缘上具有大的白口倾向。

鉍据称可以增加碳化物抗石墨化的能力。

机械性能

大多数铸铁中，加鉍导致断面内部的巨大软化作用，抗拉强度大幅度减小，断面内部的布氏硬度降低以及白口形成倾向显著增加。鉍处理铸铁的冲击韧性低，因此，一般认为它适用于制造要求具有碎裂性能的手榴弹。

加工性

据称经鉍处理过的铸铁件较未处理者更易于加工，这可能是由于具有柔软的铁素体-石墨组织之故。

铸造性能

在灰铸铁和白口铸铁中加入少量鉍，可以改进金属的流动性

及“寿命”且可获得较光洁的铸件。它的作用在开始加入千分之几时就极为显著，以后再多加时，其作用一直保持不变。

参考资料

下列参考资料供进一步研究铋对铸铁的影响之用：

[1] Smith, E. K., and Aufderhaar, H. C., “*Effect of Adding Bismuth to Cast Iron*,” IRON AGE, vol. 128, July 9, 1931, pp. 96-100; FOUNDRY TRADE JOURNAL, vol. 45, September 3, 1931, pp. 149-150; METALS AND ALLOYS, vol. 2, November, 1931, p. 282.

[2] Spencer, W. H., “*Chilling Properties of Cast Iron*,” TRANSACTIONS, American Foundrymen's Association, vol. 42, pp. 508-524 (1934).

[3] Spencer, W. H., and Walding, M. M., “*Effect of Eleven Metals or Alloys on the Physical Properties of Gray Cast Iron*,” TRANSACTIONS, American Foundrymen's Association, vol. 40, pp. 491-509 (1932).

[4] Hurst, J. E., “*The Influence of Several Less Common Elements When Added to Cast Iron*,” FOUNDRY TRADE JOURNAL, vol. 48, pp. 137-9 (1933).

[5] Anonymous, “*The Influence of Various Additions on the Properties of Gray Cast Iron*,” DIE METALLBURSE, vol. 21, February 21, 1931, pp. 340-341.

[6] Smith, E. K., and Aufderhaar, H. C., “*Twenty Alloys for Gray Iron*,” IRON AGE, vol. 126, November 27, 1930, pp. 1583-1587; December 4, 1930, pp. 1688-1693.

[7] Roll, Franz, “*Principles of Alloying Gray Iron Castings with Metals*,” DIE GIESSERIE, vol. 20, September 8, 1933, pp. 401-406.

[8] MODERN USES OF NON-FERROUS METALS, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers Series, Chapter on Bismuth, 1935.

[9] Geisler, W. A., “*German Progress in Piston Rings, Brake Drums and Other Automobile Castings*,” FOUNDRY TRADE JOURNAL, August 8, 1935, vol. 53, pp. 97-101, 104.

铬

组织

铬是所知最强烈的碳化物稳定元素之一。它在加入铸铁时，

形成复杂的铁-铬-碳化物，这种化合物常以块状或珠光体的一个组成部分的形式出现，即使在很高的温度下也很稳定。

在普通铸铁中加入少量的铬，其组织将发生显著变化。柔软的铁素体变成珠光体组织。即使在普通铸铁中具有极细的片状共晶石墨存在的情况下，亦可使石墨的大小更为均匀，而且可使铸铁的断口或晶粒更为细小。

铬的加入量大约超过 0.8% 时就出现了游离碳化物，其精确加入量，可根据铸件的壁厚、铸铁的成分和存在的其他合金元素在较大范围内变动。碳化物随着铬的增加而增加，同时铸件变硬，断口变白。对于薄的断面，在已属极限边缘的成分中，加入少至 0.2% 的铬，亦将产生大量碳化物，造成加工困难。

机械性能

由于铬对组织产生上述影响，少量的铬就能提高强度、硬度、白口深度、耐热性和耐磨性，但降低了加工性。

为了一般地改善物理性能，可单独地或同其他合金一起加入 0.15~0.90% 的铬。1% 左右的铬常用于抗 1400°F 以下的较高温度。含铬 3.00~11.00% 的铸铁成为白口，脆而不易加工。

强度 加铬使化合碳达到 0.7% 左右可使抗拉强度及抗弯强度同时提高。产生 0.7% 化合碳所需的铬量，与金属的成分有关。高硅和高碳的软铸铁需要较多的铬量。在普通铸铁中，大约 0.5% 的铬就可获得最大的强度值。强度之所以增加，是由于铁素体被珠光体所代替，以及石墨重新分布的缘故。

化合碳如超过 0.8%，除了低碳高铬铸铁外，将使强度降低。含碳 1.5~2.0%、铬 24% 或 34% 的铸铁，具有 80000 磅/吋² 以上的抗拉强度。

硬度 铬首先增加化合碳而最后形成游离碳化物，因此，铸铁的布氏硬度值随着铬的增加而增加。其增加的数量则取决于原来的金属成分和铸件的断面。

在原有布氏硬度为 145~165 的铸铁中，每加入 0.1% 的铬，

可提高布氏硬度 8 至 10 点。在原有布氏硬度约为 200 的铸铁中，铬的硬化作用就没有这样明显。加铬如超过由碳和硅的含量所决定的最大值时，如继续再加将导致生成极硬的游离碳化物。

铬对于硬度的影响通常被应用于各个方面。一个典型的例子就是在极厚的铸件中加铬，这些铸件由于冷却速度慢，常有极粗大的石墨和中心缩松。适量的铬将能消除游离铁素体和改善组织，从而使整个铸件的组织及硬度更为均匀。

在齿轮这一类铸件中，常需保持厚断面的加工性，而在较薄的轮齿部分又要求具有耐磨性。加入适量的铬就可以达到这种不同的硬化要求，使得冷却慢的厚断面增加的硬度较多，而使冷却较快的薄断面得以充分硬化。

挠度 在某种情况下，加入 0.25% 的铬，可稍微增加挠度。另外有些经验适与相反，表明其挠度没有增加。铸铁中加铬增加至 0.5% 以上，逐渐变硬，以致挠度下降。

断裂系数和疲劳极限 断裂系数和疲劳极限对于抗拉强度，抗扭强度和抗切强度的比值，不因加铬而发生显著的影响。

冲击韧性 铬对冲击韧性的影响，目前尚不能得出明确的结论。某些研究者认为，当加入的铬量不足以形成块状碳化物时，冲击值有所增加。

当所具有的铬足使铸件的断口形成白口或麻口时，冲击值必然地有所下降。

对于一些可能用于粗糙操作或骤然震击的薄壁铸件，所用的铬量如超过 0.5% 时，最好能加入某些石墨化剂如硅、铜或镍等。

加工性

在考虑加工性时，必须了解到除了布氏硬度值广泛地被用来作为一种间接的尺度外，目前尚没有测定加工性能的通用方法。有些金工车间要求 180 布氏硬度的铸铁，然而另外一些金工车间就能在高速下加工 240 布氏硬度的铸铁。铬的加入量必须保持在不致产生块状碳化物的小点的限度以下，这些小点损害了加工性