

A.Φ.朗 特 著

優質鑄鐵 及彈件鑄造



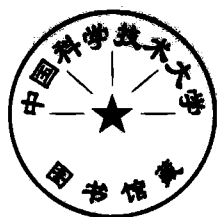
國防工業出版社

優質鑄鐵及彈體鑄造

A. 亞. 朗特 著

袁 杰 譯

(H. T. 古德曹夫 院士代序)



國防工業出版社

斯大林獎金获得者 А.Ф. 朗特博士、教授所写此書适用于鑄造专业人員及研究鑄鉄金相及優質鑄鉄生产技术的科学工作者。本書尚可作为高等学校学生的教材。本書从理論上綜合了苏联及其他国家已发表的許多次試驗研究的結果。

作者本人多年从事專門研究工作，因而能在鑄鉄鑄造的理論与实践方面得出新的結論。这些基本結論均詳述于本書之中。

А.Ф.Ланда
ЧУГУН ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА
И ЛИТЬЕ БОЕПРИПАСОВ

Обorongиз нкап
Главная редакция литературы по боеприпасам
и вооружению
Москва 1945

本書系根据苏联国防工业出版社
一九四五年俄文版譯出

優質鑄鉄及彈体鑄造

[苏] 朗 特 著
袁 杰 譯

*

国防工业出版社 出版

北京市書刊出版业營業許可証出字第 074 号
北京新中印刷厂印刷 新华書店发行

*

850×1168 耗 1/32·8¹/₈ 印張·213,300 字
一九五八年四月第一版
一九五八年四月北京第一次印刷
印数: 1—1,300 册
定价: (10) 1.50 元

序 言

在冶金文献著作里，很少有人重視过鑄鉄的研究，研究鑄鉄的著作数量远远落后于有关研究各种各样鋼的本質的大量著作。

作为建筑材料与机器制造材料來說，鑄鉄仅次于鋼，因而上述情况显得与实际极不相称。近年来，特别是战争时期的生产实践告訴我們，鑄鉄并不次于任何其他种金屬；相反，鑄鉄鑄件的应用頗有扩大的趋势。

鑄鉄的金相、鑄鉄的热处理与其合金理論方面的現有文献，无法滿足鑄鉄金相研究人員的要求，因为在基本問題上尚有爭执及不清之处。

这种令人遺憾的現象的原因何在呢？在鑄鉄主要組織成分——石墨的本質与发生，以及石墨对鑄鉄性能的影响方面尚无定論，这无疑是鑄鉄学說落后与分歧的原因之一。所有关于石墨性能及石墨在变化时所承受的動力学的資料都表明，認為石墨是由碳原子形成的說法是不正确的。显然，石墨的本質，特别是可鍛鑄鉄石墨或所謂退火碳的本質要比这复杂得多。可以肯定說，退火碳是碳原子在鉄晶格內的大量积累，而灰口鑄鉄石墨也是一种由鉄碳原子組成的复杂結晶体。

只有解决了这些未經深入研究的問題，才能肯定和澄清鑄鉄的結構与变化學說，消除鑄鉄金相学发展道路上的障碍。

妨碍鑄鉄构造与性能的科学发展的另一原因，是用非結晶液溶体的概念錯誤地解釋結晶固溶体。

的确，常常用“溶解”和“自溶体内析出”的概念（这些概念用来解釋液溶体中所發生的現象是完全合适的）来描繪結晶体内所發生的現象的物理性質是非常勉强的，是有出入的。这些概念有时甚至可把發生的各种現象實質混淆不清，因为这些現象不仅表現在原子或分子位置的变化上，而且也表現在主要結晶介質原子

与混合物原子或一定化合物分子間相互作用力的变化上。

有关晶体各种陈旧概念的彻底修正，将大大有助于研究与理解热处理时鑄鉄中发生的現象和澄清近代鑄鉄金相学中存在的模糊概念，后者是由于固溶体与液溶体的各种变态与新相的形成过程表面看来十分相似而产生的。

A. Φ. 朗特教授 这本书未完全摆脱上述缺点，在該書中未能給与我們相当明确的石墨与退火碳的本質。本书的理論部分在某种程度上反映了固溶体与液溶体互相类似的想法。但从另一角度来看，本书有許多极可貴的优点，这使我們不能不認为此書的出版是适时与完全必要的。書中闡述了作者在鑄鉄产品制造、鑄鉄鑄造及鑄鉄性能研究方面的很多宝貴經驗。因此，A. Φ. 朗特教授这本书是鑄鉄鑄造实践与理論工作人員之必讀書籍。

鉴于我們冶金文献里，在鑄鉄金相、热处理与合金理論方面尚缺乏詳細的著作，所以对多年献身于結構材料——鑄鉄研究工作的 A. Φ. 朗特教授这本书的問世，不能不表示欢迎。作者巨大的貢獻，是在分析国内外文献里的各种研究結果的同时，在本书各章节中尚引用了自己多次研究的結果与多年丰富的生产經驗。

在欢迎此書問世之时，我們仅希望此書再版时能扩充理論部分的篇幅。

斯大林獎金获得者

H. T. 古德曹夫院士

目 次

第一章 鑄鐵石墨化的理論	1
1. 引 言	1
2. 碳化鐵體在不同條件下的穩定性	6
3. 一元論與二元論對鐵碳平衡圖和鑄鐵石墨化理論的解釋	10
4. 鐵碳狀態圖的綜合解釋法與鑄鐵的微量體積的石墨化理論	22
5. 碳化鐵體等溫分解曲綫圖	45
6. 各種元素對石墨化速度的影響	59
7. 結 論	68
第二章 白口鑄鐵的熱處理	70
1. 珠光體-純鐵體的可鍛鑄鐵	70
2. 選擇合理的純鐵體可鍛鑄鐵的退火規範之條件	84
3. 縮短在隧道式和室式爐子中的退火時間	110
4. 結 論	127
第三章 鑄鐵的變性	130
1. 鑄鐵中的共晶純鐵體或一次純鐵體	130
2. 生產優質灰口鑄鐵的困難	134
3. 鑄鐵的變性處理是生產優質灰口鐵的一種合理方法	138
4. 測定鑄鐵中氧的飽和度	149
5. 鑄鐵變性試驗	155
6. 應用變性鑄鐵的幾個實例	167
第四章 鑄鐵種類與彈體用鑄鐵	174
1. 引 言	174
2. 鋼性鑄鐵	179
3. 硬型灰口鑄鐵	189
4. 硬型可鍛鑄鐵	192

第五章 彈体鑄造时造型的工艺特点 199

- 1. 后膛炮彈彈体鑄造..... 199
- 2. 前膛炮彈彈体鑄造..... 224
- 3. 航彈彈体鑄造..... 231
- 4. 輔助傳爆管壳的鑄造..... 235

第六章 造型材料与鑄造廢品 238

- 1. 硬型材料..... 238
- 2. 型砂与型心砂..... 239
- 3. 用非植物油粘合剂制造型心..... 240
- 4. 防粘砂涂料..... 242
- 5. 鑄造廢品..... 244

第一章 鑄鐵石墨化的理論

1. 引言

目前鑄鐵鑄件的性能有很大提高，因而鑄鐵的生產正在日益擴大。在國防產品生產中，特別是彈體生產中，鑄鐵鑄件應用的尤其廣泛。在近代機器製造業中，那些不久以前還認為鑄鐵是完全不適用的地方，現在也開始採用鑄鐵鑄件了。

按某些性能，如減振性、耐熱性、耐磨性與抗裂性來說，鑄鐵鑄件比鋼鑄件還好。鑄鐵鑄件的生產工藝也較為簡單。

甚至於某些非合金鑄鐵的抗張強度有時可以達到50~70公斤/平方公厘。雖然如此，各廠生產的鑄鐵鑄件的抗彎強度只有24~52公斤/平方公厘，僅合抗張強度15~30公斤/平方公厘。即使在這個範圍內，能達到最大強度的也只有少數鑄造車間，而且遠非各種產品均如此。

對這種情況可作如下的解釋。用同一種鑄鐵澆鑄壁厚不均的鑄件時，很難使其性能均一。同時鑄鐵件的大部分形狀複雜，就是說，鑄件各個部分的斷面厚度不同，所以鑄件性能也就不能均一了。即使鑄件形狀簡單，由於鑄件用途不同，其厚度亦不會相同。這就是生產性能均一的鑄件成為鑄造技術主要任務之一的原因。

當用灰口鑄鐵鑄造優質鑄件時，須力求使鑄件的基體金屬為珠光體，減低石墨數量並石墨的形狀與分布均良好。雖然生產珠光體鑄鐵的方法有數種，但由於上述原因，至目前為止，那種方法還不能兼用於各種產品，也不能應用於所有的鑄造車間。這是因為，至今尚無一種簡便而成本又低的鑄造方法能滿足上述要求。鋼性鑄鐵所取得的效果較好，但它所最適用的產品有限，如前後膛炮彈等產品。使用一般的鑄造方法時困難是重重的，唯有

变性法例外，但由于对变性法了解不够因而采用不广。

生产优质鑄铁的困难原因之一是沒有一套完整的石墨化理論，只有明确的了解到石墨化的内部历程时，才能成功地改进工艺規程，以达到预期的結果。

虽然石墨化理論对生产实践具有这样重大的意义，然而至今石墨化的几个基本問題还未得到彻底的解决。在解釋灰口鑄铁与可鍛鑄铁的石墨化历程方面，存在着两种不同的理論，即一元論与二元論。

按照二元論的說法，由于冷却条件的不同，鑄铁里的石墨有一次与二次之別。所謂一次石墨是指由溶体直接析出的，而二次石墨为先变成碳化铁体，而后再由碳化铁体分解而成的。一元論則認為鑄铁里的石墨都是二次形成的。

对这个問題的爭論已达数十年。以前这种爭論只是理論上的探討，只有学术上的意义。

而今天，当优质鑄铁生产正在日益扩大，鑄铁也用来澆鑄重要鑄件的时候，这种爭論显然是有害无益的。二元論者根据試驗資料，編制了：1) 铁-碳化铁体与 2) 铁-石墨两个系的铁碳平衡图。一元論者确信，鑄铁里的石墨只有在二次变态时方能形成，不承認铁-石墨系。按他們的說法，一切铁-石墨組織都是單純的混合物。他們假定，石墨在未与铁化合并未形成碳化铁体之前，不但不能直接由溶体中析出，而且也不能直接变为溶体。所以，一元論者只承認用实綫表示的一元铁碳平衡图。

在平衡图上的分歧，是和对鑄铁里形成石墨历程的說法不一无关。如果鑄铁里的石墨只有一种形状，这种情况也就无关紧要了。但是大家都知道，石墨有几种形状，而石墨的形状在頗大程度上决定着鑄铁的物理机械性能。正因为如此，才必須了解与掌握鑄铁石墨化的真实历程。

灰口鑄铁的特点是石墨为片状，而可鍛鑄铁則为絮状。片状石墨与絮状退火碳本身的大小与外形也各有不同，这也是决定鑄铁的物理机械性能的。

一般認為，可鍛鑄鐵里的石墨之所以是絮狀的，是因為白口鑄鐵在退火時，碳化鐵體不是在它凝固時形成處分解。事實證明，碳化鐵體先溶解，然後在許多石墨晶核周圍由固溶體形成退火碳。至於片狀石墨，說法極不一致。一元論者認為，凝固時先形成白口鑄鐵，以後碳化鐵體在高溫下（接近熔點）分解，析出片狀石墨，因而才成了灰口鑄鐵。此時碳化鐵體是在它由液溶體凝固時析出的地方分解。

二元論者以為，片狀石墨也常常由液溶體直接結晶而成。

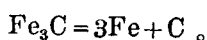
關於灰口鑄鐵形成時是否總要經過白口鑄鐵階段或可能不經此一階段而直接形成灰口鐵的問題不但有實用價值，而且在理論上也頗重要。如果灰口鑄鐵都要先凝固成白口鑄鐵，那麼就可證明任何灰口鑄鐵里的石墨都是碳化鐵體分解的產物。如果灰口鑄鐵里的石墨是在凝固之前形成，那麼可以肯定石墨可由液溶體直接析出。

對實用金屬學來說，先析出碳化鐵體分子或是直接析出石墨原子的問題並不怎樣重要，較重要的是：石墨是在液體介質里結晶還是在固體介質里結晶，碳化鐵體是在鑄鐵由液相形成處分解，還是先溶解，然後在他處析出。此二因素決定了游離碳的形狀與位置，因而也就決定着鑄鐵的性能。

在各種生產優質鑄鐵的方法里，以生產可鍛鑄鐵的方法所達到的機械性能最高。

可鍛鑄鐵與灰口鑄鐵不同的是，它的游離碳不成片狀石墨形式，而成絮狀退火碳形式。可鍛鑄鐵是白口鐵經過石墨化後變成的。白口鐵的退火過程相當複雜。然而，退火過程完全可以簡化。

研究鑄鐵石墨化的理論，實際上就是研究碳化鐵的分解歷程，就是來解釋下列反應：



按希伐茨（Schwartz）〔1〕的見解，這個反應是近三十年

来煉鉄中研究最多的。

可鍛鑄鉄生产的巨大发展是由許多因素促成的。首先，用白口鑄鉄石墨化的方法，可以在任何一个鑄工車間里生产机械性能很高的鑄鉄：抗張强度达 $35\sim 40$ 公斤/平方公厘，延伸率达 $10\sim 16\%$ 。

苏联国家标准里的几种牌号的可鍛鑄鉄，抗張强度为 $30\sim 40$ 公斤/平方公厘，延伸率 $3\sim 12\%$ （指試样計算长度为50公厘）。

生产優質可鍛鑄鉄之所以比較容易，是因为白口鑄鉄在一定范围内不象灰口鑄鉄那样，对鑄件壁厚那么敏感，所以，甚至于可使鑄件的厚处也不含游离碳。

用白口鑄鉄石墨化的方法，不但可以提高工艺中常用的称为美国可鍛鑄鉄的純鉄体可鍛鑄鉄性能，而且还可以提高具有其他种組織鑄鉄的性能。

虽然可鍛鑄鉄具有这样許多显著的优点，但实际采用的还是不多。

在机器制造业中时常浪費成千上万吨的金属，这不仅是因为設計者不熟悉各种牌号可鍛鑄鉄的性能，而且还因为可鍛鑄鉄的生产工艺尚未达到应有的完善地步。

我們的車間至今基本上还是采用多年前的二种老方法——美国方法与欧州方法。在五年計劃期間，可鍛鑄鉄的生产是在采用美国方法的基础上发展起来的。

分析一下可鍛鑄鉄的生产工艺，可以看出，其成本最高而且也最复杂的部分是退火。退火的时间达数十小时乃至数百小时。退火爐价格达数十万卢布；例如，每座国外进口的特立斯立尔隧道式退火爐价值五十万卢布。

每个企业都是按自己的情况决定退火规范。退火的种类有好几种：普通退火，加快退火，快速退火，超速退火等。这些规范大部分都不是根据爐子及需退火鑄鉄的具体特点計算确定的，而是用肉眼观察的方法选择的，因而往往不大科学及不很正确。鑄鉄石墨化的时间往往比实际所需时间长数倍，退火温度往往也高于所需温度。

截至目前为止，还没有足够的客观的资料来检查某个退火规范用于某个退火炉是否正确，以便在需要时修正该规范，将它用于别的退火炉子中。

设计师在设计退火炉时，也颇感工艺资料的不足。所以，设计师不得不去摹仿那些落后的并与今天的知识水平不相适应的炉子。

本书的任务之一，就是发展铸铁石墨化的理论，使其更切合实际。

因此，在理论与实践方面曾作了不少研究工作，并由此得出了一些新的结论。

譬如，本书阐明了选择退火规范的新的理论基础，以后称之为“最佳快速”退火规范，每个这样的规范都不是凭经验，而是通过相应的计算选出的。这是一项迫切的任务，因为，只当有了退火规范的正确计算方法后，才能在每个不同的情况下，分别确定什么样的规范适用于那种炉子与铸件。

由于这项工作的结果，某些工厂的炉子作了修改，列宁格勒的列宁工厂取消了特立斯立尔式炉的设计，建造了新式的不带马弗甬的炉子。建造时曾采纳了作者的一些建议。

然而，目前一些工厂还没有达到正确采用理论上的新成就所应达到的效果。

以后我们可以看到，正确地理解白口铸铁石墨化的历程，可以使我們完全不再使用目前生产中采用的欧洲式可锻铸铁的退火方法，因为这种方法既复杂，成本又高，并用一种以简化方法所生产成的可锻铸铁来代替按欧洲方法所生产的可锻铸铁。此外，还有可能生产其他种机械性能高的铸铁。

如前所述，在石墨化理论方面，没有一个统一的看法，可锻铸铁与灰口铸铁石墨化的两种理论互有抵触。其实，可锻铸铁与灰口铸铁石墨化不能分开来研究，因为，可锻铸铁与灰口铸铁石墨化的过程遵循着共同的规律。

创立一种铸铁石墨化的综合性理论是极为适时的，这种理论

不但能解釋灰口鑄鐵與可鍛鑄鐵的形成歷程，而且也能解釋鑄鐵變性的過程（見第三章），因鑄鐵變性是與鑄鐵石墨化的歷程密切相關的。

本書試將把上述問題加以綜合，使之歸納成為鑄鐵石墨化的統一理論。

2. 碳化鐵體在不同條件下的穩定性

經過多年的研究，申克 (Schenk) [2] 提出了碳酸和一氧化碳，游離碳和碳化鐵的平衡圖 (圖 1)。

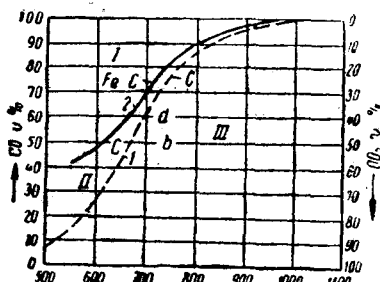
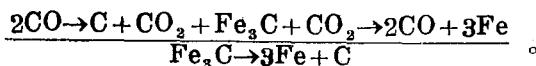


圖 1 CO 與 CO₂ 平衡圖

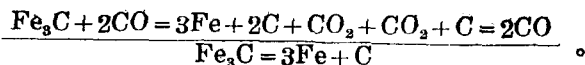
由此圖可見，曲線 1 為 $2\text{CO} \rightleftharpoons \text{C} + \text{CO}_2$ 的平衡條件，而曲線 2 為 $2\text{CO} + 3\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$ 的平衡條件。

圖中有 I、II 與 III 三個區，其中最重要的是 II 區。在 II 區里同時進行兩種反應：



兩種反應的結果，使碳化鐵體產生分解。

這樣一來，氣體在這裡起了催化劑的作用：宏達 (Honda) 和米拉卡密 (Murakami) [3] 提出一種理論，他們認為，可鍛鑄鐵石墨化是經過液相遵循上式或下式進行的：



A. 海亦斯 (Hayes) 和 G. 斯科脫 (Scott) [4] 的試驗表明，石墨化在碳酸與一氧化碳的混合氣體里進行較快，且氣壓越高，速度越快。

可鍛鑄鐵的生產經驗及許多次試驗研究證明，白口鑄鐵的表面石墨化較快，這也說明了氣體對石墨化的催化作用。

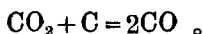
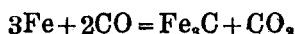
虽然上述现象确实无疑，但我们也不能不承认吉尔曉維奇（Гиршович）教授的话是对的，他说〔5〕：

“通过气相的石墨化仅对鑄件的外部薄层来说有某些意义，因为气体能够渗入鑄件外层。但是，这种石墨化方法对鑄件的內层实际上是无能为力的”。

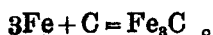
碳化鉄体是一种吸热的化合物，所以不稳定。据很多学者的試驗来看，碳化鉄体在分解时放出的热量甚微。

既然碳化鉄体分解反应时一定要扩大体积与改变自由能，那末，最好是用計算自由能变化的方法来闡明，在那种情况下分解反应較快，反之，在那种情况下碳化鉄体較穩定。

許多研究者都研究过这些問題。可惜他們得出的結論表明，根据热力計算暂时还得出与实践相符的数据。例如麦哈惠尔（Maxwell）和海亦斯〔6〕确定的反应平衡常数 K_1 与 K_2 如下：



将此二反应合起来得：



他們的数据是：

当 650° 时， $K_1 = 0.8572$

当 700° 时， $K_1 = 0.4525$

当 650° 时， $K_2 = 4.774$

当 700° 时， $K_2 = 1.47。$

按热力学，自由能为：

$$\Delta F = -RT \ln K，$$

式中 R ——气体不变能，等于 1.985 卡；

T ——绝对温度。

此时自由能的变化为 $\Delta F_3 = \Delta F_1 - \Delta F_2$, 其中 ΔF_1 是伴随第一个反应的自由能的变化, ΔF_2 为伴随第二个反应的自由能的变化。

所以:

$$\Delta F_3 = -RT (\ln K_1 - \ln K_2)。$$

計算后可得:

当 650° 时, $\Delta F_3 = 3180$ 卡;

当 700° 时, $\Delta F_3 = 2281$ 卡。

Fe_3C 自由能的儲量就决定化合物在該温度下的穩定性: ΔF 值越大 (对不平衡体系來說), 該化合物的穩定性越小。

所取得的数字說明, 温度越高, 碳化鉄体的穩定性应越大。然而, 大家都知道, 可鍛鑄鉄的全部生产实践与此恰恰相反, 温度越高, 碳化鉄体分解的越快。在这一点上, 可以同意皮沃瓦斯基 (Пивоварский) 的看法, 他認為, 随着温度的增高, 碳化鉄体的分解速度也大大加快, 以致超过了其对增加穩定性的影响。

首先必須考虑到, 碳化鉄体分解时体积要漲大, 这就是說, 需要有一部分能, 耗費在周围凝固的金屬介質的扩大上。事实上, 木.格.奥克諾夫的研究已經証明, 硬化层能促使碳化鉄体迅速的分解, 大家都知道, 有硬化层时, 金屬的密度是要減低的。

由許多次試驗里可以看出, 假如鑄鉄預先淬了火〔7〕或进行了变性处理, 那么碳化鉄体分解得格外快些。鉄水过热时的情形也与此相仿〔8〕。在所有这些情况下, 都会形成一些十分微小的二次的或共晶的碳化鉄体晶体。

在較薄鑄件里的碳化鉄体的分解要快得多, 并在这些部分上的碳化鉄体組織亦較薄。所有这些情况都說明, 碳化鉄体积累的自由能越多, 它分解的也越快。

随温度的增高, 出現一系列可加快碳化鉄体分解的其他因素, 虽然这些因素并可能不会改变碳化鉄体本身的性質, 而只是間接地影响它而已。

現在我們來研究一下其中最主要的一些因素：

1) 固体鑄鐵里的碳化鐵体四周被固体金屬所包围，因而妨碍了碳化鐵体的分解。随温度的增高，金屬的密度及强度下降，所以給石墨晶核的形成与碳化鐵体的分解創造了良好条件。

根据列-沙得耶利-凡特-荷夫原理，与增大体积有关的过程，是随压力的降低而加快速度的。温度越高，金屬的塑性越大，强度越小，所以温度越高，碳化鐵体分解时經受的压力越小。这种情况也可以說明鑄鐵鑄件表面石墨化进行得比較快的事实〔9〕。

如果我們的判断是正确的話，那么碳化鐵体在去掉周圍介質压力影响的情况下，應該在低温下也能很容易地进行分解。

为此我們曾作过下列試驗：将含C 2.51%，Si 1.13%，Mn 0.61%，S 0.08%，P 0.12% 的白口鑄鐵磨成 200 篩孔大小的粉末。在870°的温度下退火；温度不可能再高，否則鐵粉要燒結成块。为了减少气体的作用，把鐵粉装在密閉的箱中。在 5 小时內，全部游离碳化鐵体即分解完。将用同样鑄鐵作成的厚 5 公厘的鐵板在同样温度下退火，这样經過 5 小时的退火后，鑄鐵中尚殘留有1.97%的化合碳。

2) 随温度的增高，溶解的碳化鐵体的数量增加，而游离的碳化鐵体数量却减少。所以，其分解時間也应减少。

3) 高温退火时，形成許多石墨晶核。A. 摩茨 (Mertz) 和斯秀司脱尔 (Schuster)〔10〕的著作証明，随温度的增高，石墨晶核也大大增多。罗欧 (Ruer) 和杰罗英 (Jlyin)〔11〕和其他学者以前也証实了这一点。

石墨晶核越多，固溶体里的碳也越易扩散。所以，温度高在形成退火碳时的另一个意义，是增高温度不仅加快了扩散速度，而且也縮短了碳向附近晶核移动的距离。

这样一来，可以断定，随温度的增高（高于 Ac_1 ），因金屬密度的降低，奥氏体塑性的增大，游离碳化鐵体的减少，石墨晶核的增多，以及固溶体里碳扩散的加快，鑄鐵里的碳化鐵体分解

应較快。

根据这种情况，可以作出下述結論：碳化鉄体顆粒越小，則其分解的也越迅速，因为它的表面自由能比較多。周圍介質的阻力越小，則碳化鉄体分解时所需要的能越少。根据这个結論，我們可以确定一个对下一步討論十分重要的論点。

碳化鉄体成次微型晶粒由液溶体或固溶体内析出时的分解速度，應該比其长大的粗晶粒快。

要使形成的顆粒在金相显微鏡下能看得見，需要有一系列阻止碳化鉄体分解的因素，如迅速冷却，加入成碳元素等。

3. 一元論与二元論对鉄碳平衡图和

鑄鉄石墨化理論的解釋

灰口鑄鉄和可鍛鑄鉄石墨化理論至今未能統一；对鑄鉄石墨化有着几种不同的假說。

各假說的根据是鉄碳平衡图和專門試驗或生产实践中所发生的一些事实。

数十年来，学者在解釋与繪制鉄碳平衡图方面一直爭論不休。如果能認識到，鑄鉄形成过程本身无法观察，只能据已形成的組織加以判断，那么就会了解至今尚无統一鑄鉄石墨化理論的原因了。

目前有两个学派，即一元論学派与二元論学派，它們对鉄碳平衡图的解釋互有分歧。

一元論学派的代表者只承認由实綫构成的一元鉄碳平衡图。他們采用的穩定系是鉄-碳化鉄体合金，而不是鉄-石墨。他們把石墨当作碳化鉄体分解的产物，把石墨-金屬組織只当成一种简单的混合物。

二元論学派的代表者則承認二元鉄碳平衡图。他們將鉄-石墨看成是穩定系（虛綫图）將鉄-碳化鉄体看成是介穩定系（实綫图）（詳見图2）。

我們尝试在本書內对鉄碳平衡图作一次統一的解釋，解决两