

可 鍛 鑄 鐵

魯布佐夫等編

苑吉春、肖柯則譯

出版者的話

本书是全苏第二届可鍛鑄鐵會議的論文集，其中包括科学研究与生产經驗报告，論述了石墨化理論、生产工艺、設備及檢驗等各方面的問題，內容丰富而全面。

本书可供大专及中等技术学校鑄工专业学生、有关研究人員及鑄造車間工长以上技术人員参考。

金相图全部附于书后。

NO. 3234

1960年7月第一版 1960年7月第一版第一次印刷

850×1168 $1/32$ 字数315千字 印張11 6 插頁41 0,001—3,442册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业登记证出字第008号 定价(11 8)3.05元

目 录

一	可鍛鑄鐵的生產與科學發展沿革	5
二	白口鐵中石墨晶核的形成及其生長的規律	13
三	預先淬火對鑄鐵石墨化速度的影響	25
四	鑄鐵加鎂變性後石墨的形成	29
五	鎂對退火碳素形狀的影響	32
六	鎂對可鍛鑄鐵的組織與性能的影響	36
七	用快速退火法生產可鍛鑄鐵的理論基礎	50
八	鐵碳合金中石墨的結晶問題	70
九	普通可鍛鑄鐵及球狀石墨可鍛鑄鐵生產方法的發展及 性能改進的基本途徑	98
十	氣體介質對可鍛鑄鐵第二階段石墨化的影響	113
十一	高錳白口鐵的快速退火	118
十二	可鍛鑄鐵退火爐	124
十三	可鍛鑄鐵的熔煉工藝特征	138
十四	可鍛鑄鐵用鋁及鈦鐵變性對石墨化及機械性能的影響	181
十五	合金元素及熱處理對可鍛鑄鐵性能的影響	204
十六	高強度和耐磨的錳鈦可鍛鑄鐵	230
十七	熔煉含片狀與粒狀滲碳體的珠光體可鍛鑄鐵的新方法	242
十八	鑄造溫度規範對可鍛鑄鐵機械性能及組織的影響	254
十九	提高白口鐵、冷硬鑄鐵的強度及其特殊性能的快速 退火方法	272
二十	後橋的鑄造工藝	289
二十一	渥依可夫工廠用沖天爐熔製高硅可鍛鑄鐵的經驗	302
二十二	水冷式沖天爐	310
二十三	可鍛鑄鐵在液體介質中的退火	326
二十四	沖天爐-反射爐雙聯熔煉法	328

二十五	农业机器厂冲天炉可鍛鑄鉄的生产	334
二十六	可鍛鑄鉄在窑式炉内退火時間的縮短	339
二十七	可鍛鑄鉄鑄件組織的磁力檢驗法	348
二十八	在冲天炉前炉中加氧熔制可鍛鑄鉄	357

功勋科学技术工作者
技术科学博士、教授

Н. Н. 魯布佐夫

一 可鍛鑄鐵的生产与科学发展沿革

革命前的俄国，可鍛鑄鐵的生产为数很少，且多属于半手工业性质。那时，可鍛鑄鐵主要用于农业机械制造上。从革命前俄国的几个較大的可鍛鑄鐵鑄件厂看来〔刘別列次基（Люберецкий）与哈尔科夫（Харьков）农业机械制造厂，頓河区域的叶力乍維德（Елизаветград）、別列揚斯基（Бердянский）以及罗斯托夫（Ростов）等城的工厂，亚历山大洛夫斯克（Александровск）城的半手工业作坊等〕，可以肯定可鍛鑄鐵当时仅在农业机械制造上应用。

革命前，俄国机械制造业不能满足国家对农业机械的要求，其中50%以上是由国外輸入的。

在俄国取消农奴制度以前，农业中所使用的工具，在“俄罗斯法典（Русская Правда）”上还有記載。在个别地主农庄中，間或改善机器，但是那只是体现老爷式的妄想，而不是緣于經濟上的需要。当时仅只有打谷机和揚谷机，在某种程度上获得了应用，因缺乏銷路，而不可能大規模地发展生产。例如，1802年，在莫斯科成立的魏利逊（Вильсон）农业机械鑄造厂，最初的产值只有20000卢布。由于在波兰省有較高的农业技术水平，因而华沙的拉烏（Рау）、利尔保浦（Лильпоп）和列文斯杰（Левенштейн）等厂具有較大的成就。1831年在俄国中部莫斯科成立的規模最大的布切諾浦（Бутенюп）兄弟工厂在1837年有工人200名，每年产值約为70000卢布。

在取消农奴制度后25年的过程中，农业机械的銷路日益增加，首先从国外进口来满足需要。外国企业曾在俄国建立了代銷机构，兴建了仓库与小規模的修理工厂，并逐渐地轉变为生产工厂，制造农业机械。

自70年代起，俄国生产的农业机械，与外国輸入的农业机械在农

村經濟中所占的地位几乎是相等的(表1)。

表 1

年 代	本 国 生 产	輸 入 品	总 值	增 加 率 %
	卢 布 (千)	卢 布 (千)	卢 布 (千)	
1878	3204	2957	6161	100
1888	5170	2248	7618	123
1894	9607	4728	14336	232
1908	28836	25348	54184	879

較复杂的机器主要是由国外輸入，促成此种現象的原因，是由于沙皇政权的关税政策以及在农业机器交易中占有领导地位的外商活动力量所致。

1885年以前，所有的农业机械和工具完全是免税进口；在1885年规定了关税每普特收税 50 戈比，但在 1898 年又规定了对某些最复杂的农业机械（束禾-收割机，带有自动抛掷器的收割机以及复杂的蒸气打谷机）免税进口。并对鍋駝机的輸入进行减税。

在对各种农业机械按重量課税的情况下，机械愈简单和便宜，稅額对普特值的比数反而愈高，虽然稅額不大，但仍然使輸入額降低将近二分之一。如：1883年輸入的机器額为 960000 普特，而 1884 年則为——1027000；1885年为485000；1886年——仅 259000 普特。

对金屬品課税后，除减少进口以外，另一結果是使机器制造工业中心轉移到原料供应最有利的地区(表2)。

表 2 农业机械和工具的生产 (%)

年 代	波 兰	沿波罗的海区	俄 国 南 部	中 心 区
1878	32	14	—	—
1888	7	4	32	39
1894	4	3	70	15

在20世紀初期，俄国的农业机械生产很快地上升，最大的原因是冶金工业的严重危机与金屬价格的过分贬值，世界市場的粮食价格上

漲，西伯利亞地區的移民增加，使此地區農業機械的需用量，幾乎每年增加一倍。在歐洲的俄羅斯地區農業機械的使用也逐漸推廣。其推廣的情況如表 3 所示。

表 3

年 代	总的利用率 以一千卢布 計算	增加率 (%)	輸 入 品 以一千卢布 計算	总百分率 (%)	国内生产 以一千卢布 計算	总利用率 (%)
1879	7981	100	4000	50.1	3921	49.9
1889	7184	90	2974	41.3	4210	58.7
1900	27909	349	15851	56.8	12038	43.2
1906	39650	496	19650	49.5	20000	50.5
1907	46096	580	22296	48.0	24000	52.0
1908	61340	768	43276	55.2	35000	44.8
1909	78276	980	42075	48.9	44000	51.5
1910	80075	1078	57878	53.4	50317	46.6
1911	108187	1355	63545	54.6	52628	45.9
1912	116173	1450	48678	44.6	60509	55.4
1913	109186	1365	—	—	—	—

进口的主要为复杂与贵重的农业机械，其情况如表 4：

表 4

值一千卢布的机器	1898年	1910年	增 长 情 况
简单的	7189	16710	增加 1 倍
拖拉机	1789	7344	增加 3.3 倍
复杂的	598	15621	增加 25 倍

1911 年～1912 年間，机器进口的数量上升，原因是在将要提高关税之前，外商急于抛售旧货的缘故。

在收割机的构造中，采用了較多的可鍛鑄鉄零件。在生产这种收割机方面，俄国市場的壟断者为万国收割机公司，它在西欧各国都設有分店。

国会曾研究草拟有关海关保护的政策，因之，美国公司于 1908 年在刘别列茨基設立了一个具有当时第一流技术装备的工厂，企图保持

壟斷，抵制關稅。但由於海關保護政策未能實現，故未積極生產，而繼續在俄國大量地拋售在美國沒有銷路的機械。

在1911年以前，美國向俄國輸出農業機械占第二位，在1911年～1912年間，超過了德國很多，德國被排擠到第二位，但於1913年德國又恢復為第一位。

發生此種現象的原因是由於1913年準備實現提高關稅的辦法，改變為獎金辦法來獎勵俄國本國的機器製造業，因之，美國的萬國收割機器公司減少了对俄國的輸入。那時，他們利用所規定的獎金制度，使別列次基工廠開始積極生產，幾乎它獲得了當時俄國政府所支出的全部獎金。

1913年，別列次基工廠生產了割草機、簡單收割機、自動投擲機、束谷機等38000台以上。

1913年，可鍛鑄鐵生產額僅僅為6000噸，而別列次基工廠是唯一生產黑心可鍛鑄鐵的工廠，其他各廠完全是生產白心可鍛鑄鐵的。

關於生產可鍛鑄鐵的工藝過程、鑄鐵性能以及各種元素與生產條件對可鍛鑄鐵性能的影響，這方面的科學論點當時尚在萌芽時期。А. П. 卡夫連可(Гавриленко)、М. Е. 伊萬古洛夫(Евангулов)等所編著的鑄工學教科書實質上只是把列杰布魯(Ледсбур)所著的書內容加以簡述。在1900～1910年以後，Д. К. 契爾諾夫(Чернов)獲得了顯著的成就，新的科學——金相學。這一形勢的發展，推動了熔製可鍛鑄鐵的實踐，在理論上也初步奠定了基礎。

自蘇維埃政權建立以來，與各部門工業并駕齊驅，可鍛鑄鐵的生產也逐漸提高。如取1913年可鍛鑄鐵的生產水平為100%，則1927年、1932年、1940年、1950年就相應地提高到330%、1250%、1750%及2500%，列居世界的第二位。大大地超過了其他歐洲國家。

在五年計劃的年代里，羅斯托夫農業機械廠、列布斯(Ленсе)、斯大林格勒、車里雅賓斯克(Челябинск)拖拉機工廠、莫斯科及高爾基汽車廠、塔什干(Ташкент)農業機械廠建立了規模較大的可鍛鑄鐵鑄造車間，對別列次基與哈爾科夫、鐮刀及錘子等工廠也進行

了巨大的改进。

在苏联，随着国民經济的发展，对可鍛鑄鉄鑄件产生了新的要求，首先是汽車拖拉机及車厢等的生产。在农业机械制造上可鍛鑄鉄鑄件的需要也急剧的上升。

在卫国战争期間，曾广泛的应用了可鍛鑄鉄以代替鋼鍛件以及有色合金鑄件。

苏联的学者在新的生产条件及新的規模下，为掌握生产所作的理論貢獻，对可鍛鑄鉄的生产发展具有很大的意义。应当指出的是：刘別列次基工厂的工程师 Н. Б. 苏米洛夫与 И. Д. 池布利斯基的有关生产黑心可鍛鑄鉄的报导，与 Н. Г. 盖尔少維奇及 Е. К. 魏金（Видин）的“有关生产白心可鍛鑄鉄理論基础”的論文。

前者是根据刘別列次基工厂的实际經驗，詳細述說黑心可鍛鑄鉄的生产过程，而后者是著者探討有关白心可鍛鑄鉄的退火理論，把这个过程的科学基础向前推进了一大步。

1932年12月至1933年1月間，全苏鑄工学会召开了第一次全苏可鍛鑄鉄會議，对发展可鍛鑄鉄的理論及提高可鍛鑄鉄生产具有很大的意义。

在會議中，鑄造工作者对可鍛鑄鉄生产的新方法交流了經驗，并交換了理論方面的研究成果。

罗斯托夫农业机械厂、斯大林格勒拖拉机厂，以及高尔基与莫斯科汽車工厂等的新鑄造車間，在1931年投入了生产，对参加會議的人們來說，运用新的生产經驗记忆犹新。

罗斯托夫工厂的工作者（В. И. 庫哈尔斯基与 К. С. 卡沙特金）与斯大林汽車厂（即現在的里哈乔夫汽車厂）的工作者（С. Ф. 郭尔布諾夫与 П. С. 作多夫）曾作利用隧道連續式炉退火的报告。А. Ф. 兰达曾报告了高尔基汽車厂使用电炉退火的过程。

利用傳送带生产可鍛鑄鉄的經驗，罗斯托夫农业机械厂的 К. С. 卡沙特金、斯大林汽車工厂的 С. Ф. 郭尔布諾夫与高尔基城莫洛托夫汽車厂的 Н. Н. 捷克尔等人均作了报告。

Л. Я. 沙多古尔斯基的报告“可鍛鑄鐵車間双重熔炼連續生产的組織原則”与Л. И. 范塔洛夫的“可鍛鑄鐵車間的典型布置图”都是較有价值的报告。

关于生产可鍛鑄鐵的理論問題，下列諸学者曾进行过創造性的工作：Н. Г. 盖尔少維奇“可鍛鑄鐵的应力与裂紋”；Н. Н. 捷克尔的“关于石墨化共晶体”；М. М. 乍克拉得内及С. А. 沙尔德闊夫的“白口鐵的石墨化过程理論”；“可鍛鑄鐵內碳与硅的作用”；“磷对可鍛鑄鐵退火与质量的影响”；С. А. 沙尔德闊夫“可鍛鑄鐵中錳硫間的关系”；А. Ф. 兰达“可鍛鑄鐵快速退火法”。

依据上述报告的簡單介紹，可以看到上述會議中曾討論了采用新品种可鍛鑄鐵与有关可鍛鑄鐵新車間开工时期最实际的問題。苏联的鑄工工作者学习到的有关工厂生产的經驗，因在會議中的爭論而愈益丰富，結果改进了可鍛鑄鐵的生产工作。

苏联与外国不同的是：苏联的鑄工工作者是在理論与实际紧密相結合的基础上进行可鍛鑄鐵的生产。这样，生产中理論与实际的問題，才能得到綜合解决。

属于这类性质問題的例子之一是对可鍛鑄鐵連續式隧道炉退火操作过程的研究，消除了美国炉子构造的缺点，研究出这种炉子更好的构造形式。苏联文献中記載了在1933年~1934年間，下列各学者关于此項問題发表了詳尽的論述。即Н. Н. 托布洛火多夫(Доброхотов)与А. Ф. 兰达論述了“德列司列尔(Дреслер)隧道式可鍛鑄鐵退火炉的缺点”，Д. П. 依万諾夫(Иванов)的“关于德列斯列尔式隧道炉”与“列別列次基工厂使用德列司列尔式隧道炉的說明”，Н. Г. 盖尔少維奇的“关于德列司列尔式炉的缺点問題”。

仔細研究了德列司列尔式炉的工作情况与分析了其操作上的故障及构造上的缺点以后，苏联鑄工工作者对当时美国文献大肆宣傳的这种技术上的新穎設計，美国技术最新成就的炉子，得到正确的估价，并用国产的更为优良的隧道式退火电炉来代替。

德列司列尔式退火炉主要的缺点如下：炉內各工作区的划分不正

确，加热循环的时间过长，石墨化終了后冷却过慢，噴火口的位置不当，不适当地采用大气保护，而不能保证得到中性气氛，而且构造复杂，投資很多。

斯大林格勒拖拉机厂及列布斯工厂依据了苏联鑄工工作者所指出的办法来建筑国产的燧道炉，大大地降低了成本，并提高了生产率一倍以上。

苏联的研究者研究的可鍛鑄鉄标准退火規範的理論基础也是很有价值的工作。

根据上述工作所証明的，美国式的退火双阶曲綫，仅只是在炉中可以迅速达到最高温度的退火过程和可鍛鑄鉄的“高速”退火方为正确。而这按照美国专家們的意見，认为只能在电炉中才可实现，这种曲綫实际上并非某种特殊的規範，而只是适当的过程，这种过程是根据鑄件的特点和所采用的退火炉的特定情况来选择的。

在生产可鍛鑄鉄时最重要的問題之一是双重熔炼法，这一問題引起了苏联的鑄造工作者与研究家的极端重視。

C. Ф. 郭尔布諾夫 (Горбунов) 等首先在生产中利用硅酸盐作底料，从冲天炉熔制出低碳鑄鉄，而H. Г. 盖尔少維奇，将冲天炉炉底提高到風口水平，以达到同一目的。这一工作的理論基础是H. Г. 盖尔少維奇、Л. М. 馬林巴哈等研究出来的。在苏联最初成立的可鍛鑄鉄車間連續生产，是按着美国双重熔炼方式进行的，也就是将冲天炉熔化出的鉄水放在鹼性炉衬的电炉內加以精炼。

苏联的鑄工工作者，根据C. Ф. 郭尔布諾夫的建議不采用此种双重熔炼法，改用酸性炉衬代替电弧炉內的鹼性炉衬，因而显著提高可鍛鑄鉄的质量，熔炼稳定性及技术經濟指标。

苏联的鑄造工作者，也否定了美国专家們关于含鉻量超过0.01%的可鍛鑄鉄不能进行退火的說法。因而有效的解决了生产高鉻(0.060%以下)可鍛鑄鉄的問題，对广泛地使用含鉻合金鋼廢料，以生产可鍛鑄鉄的汽車工业，具有特別重要的意义。

A. Ф. 兰达早在1932年所写的“关于含鉻可鍛鑄鉄电炉退火”的

論文中，指出了含鉻0.06%的可鍛鑄鐵可以經過退火得到鐵素體可鍛鑄鐵。

莫斯科巴烏曼 (Бауман) 高等工業學校鑄工實驗室的鑄造工作者，B.A. 福克列夫 (Фуклев) 等 (奧斯其-克大也夫 Усть-Катавский 工廠) 証明，製造珠光體可鍛鑄鐵時含鉻量即使提高到0.10~0.12%也是適當的。

在衛國戰爭時期，蘇聯的鑄造工作者，完成了沖天爐生產黑心可鍛鑄鐵的任務，擴大了可鍛鑄鐵的用途，用以代替鋼鍛件及鋼鑄件，並作為耐磨材料代替有色金屬。

在B.A. 福克列夫關於“沖天爐熔製低碳鑄鐵”的論文中，詳細地敘述了他所積累的經驗。從他的生產經驗與研究中証明：沖天爐生產可鍛鑄鐵的質量關鍵，在於鼓風及燃料問題，而此種問題又不可能分別對待。本文作者擬定的“按鑄鐵要求的含碳量決定低碳鑄鐵熔化的基本參數圖表”，對可鍛鑄鐵生產有肯定的價值。近幾年來的研究工作中，H.A. 巴利諾夫與B.И. 沃爾果夫的“高硅可鍛鑄鐵”是值得重視的。

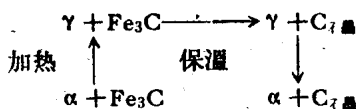
此外，還應指出的是蘇聯的研究家獨創的關於可鍛鑄鐵快速退火的新規範，A. Д. 阿索諾夫與B. И. 坡列吉洛夫的鑄件預先淬火法，以及A. М. 施杰別爾格的在液體介質中可鍛鑄鐵的快速退火法。

蘇聯的研究家И. Н. 鮑加捷夫 (Богачев)、K. П. 布寧、K. И. 瓦申柯 (Ващенко)、H. Г. 蓋爾少維奇、B. Ф. 左巴列夫 (Зубарев)、Д. П. 依萬諾夫 (Иванов)、A. Ф. 蘭達，對白口鐵石墨化理論的探討上，有顯著的成績。

他們用自己的勞動對這個尚缺少研究的鑄工領域作出了巨大的貢獻。

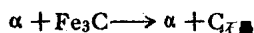
二 白口鉄中石墨晶核的形成及其生长的規律

白口鉄中的渗碳体是不稳定相，在鑄鉄退火时，渗碳体分解成为較稳定的相——石墨，这过程称之为石墨化。对于稳定性較小的相系（渗碳体）过渡到稳定性較大的相系（石墨）乃是自然过程，一般自然过程均趋向于自由能量减小。由不稳定轉变到稳定状态的平衡可用下列图解表示，即有 γ 相参与变化的由 $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ 系統过渡到 $\alpha + \text{C}_{\text{石墨}}$ 系統图解：



若保温以后，达到稳定状态平衡，而冷却不够緩慢，那末在冷却时就可能发生与不稳定系統相同的变化。在这种情况下，由 γ 溶液中分解出碳化鉄——再生渗碳体，并在共析变化时形成純鉄体-碳化鉄的混合物。在此条件下，渗碳体形成的結果已經离开稳定平衡状态，而获得不滿意的純鉄体鑄鉄。

轉变白口鉄的相組織，可以在沒有 γ 相出現的（奥氏体）低于临界温度的条件下达到，按照下面簡單的图解：



但在低于 A_1 的温度条件下，这轉变过程是非常緩慢的，需要数百小时才能完成，如有 γ 相出現，能显著加速过程且提高效率。

根据上述熔制純鉄体可鍛鑄鉄的图解，其退火规范如下：首先升温至 $900 \sim 950^\circ\text{C}$ ，在这个温度保温，然后在稍低于共析点的温度范围长时间的保温，进行緩慢冷却，或在冷却温度范围内分阶段冷却。

石墨化机构及其动力学 石墨化过程，就是通过扩散使 $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ 轉变到 $\alpha + \text{C}_{\text{石墨}}$ 的过程，同时使石墨核心从形成到生长。这过程的速度

度基本上决定于碳在 γ 及 α 固溶体中的扩散速度。硅在这个过程中所起的作用很大。在不含硅的純鉄碳合金中，实际上是不发生石墨化过程的。K. П. 布宁的理論认为石墨化过程是由鉄的自行扩散所决定，此种說法是不能成立的，因为鉄的自行扩散只起着次要的从屬的作用。

通过显微分析，看到白口鉄加热时所发生的石墨核心数量以及核心显著的生长情况，証明鑄鉄石墨化过程是随着鑄鉄成份及温度的变化而变化。石墨核心形成数量的曲綫对一定成份的鑄鉄來說(图 1)是有限度的，这是因为在扩散过程中細小杂质的熔化，以及碳向較大的核心迁移所引起的核心集結，結果在扩散过程的一定阶段内核心的数量逐漸减少。

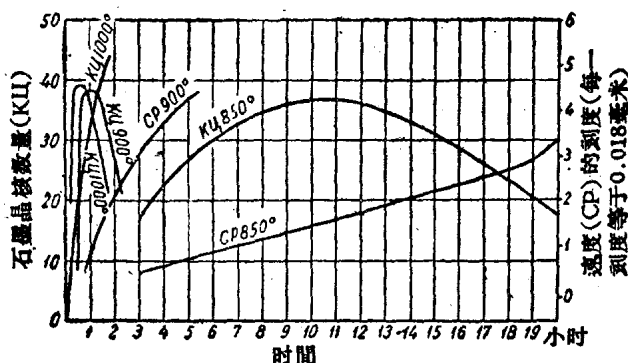


图 1 温度及保温时间对石墨結晶晶核数量变化及其生长的影响。

从第一图中的曲綫可以看到，温度愈低，晶核发生愈晚，其生长愈慢，集結也愈慢。晶核生长曲綫变化較为緩慢，这是因为石墨生长速度較慢的緣故。增长速度也决定于时间与温度，温度增高时增长愈快。在达到最大的极限值以后，经过一个时间可以明显看到，石墨增长显著衰退的現象。

鑄鉄石墨化动力学的曲綫特性反映着扩散过程的始末。最初是潜伏期(准备期)，而后是过程的旺盛期，最后是逐渐衰减(图 2)。

上述过程的特性可以由不同成份的許多鑄鉄的实际曲綫来証明。

在溫度-時間坐標上繪制的一般的所謂S形動力學曲線，對石墨化過程來說是具有特殊形狀的：隨着溫度的升高，過程的速度也上升。關於若干鑄鐵的動力學曲線（圖3），只繪出過程的開始情況。由此可見，

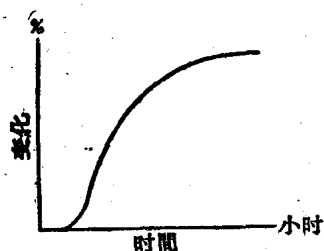


圖2 在常溫下石墨化的程度與時間的關係。

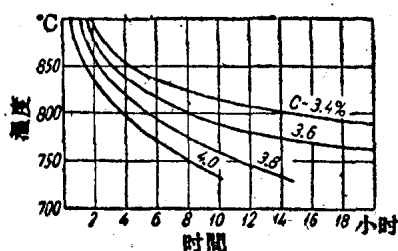


圖3 不同含碳量鑄鐵的石墨化開始曲線。

在接近臨界點 A_1 的溫度下，石墨化的速度極小，隨着溫度的升高，石墨化速度增加。

石墨化動力學已經充分的表明，它是遵循相變的一般規律的。但石墨晶核的發生機構及其與各因素的關係迄今尚不夠明確。

為使石墨晶芽隨意產生在均勻的 α 及 γ 固溶體內，要求其能量與成份有巨大的波動，因而石墨核心形成困難是與一系列原因分不開的。

石墨晶芽邊界上的表面張力很大，遠遠超過碳化物晶芽邊界上的表面張力。石墨結晶格架較滲碳體結晶格架與原固溶體的結晶格架差別要大得多。就成份來說，石墨的含碳量比滲碳體、尤其是比 α 及 γ 固溶體的含碳量多得多。所以在其他條件相同時，很可能在原固溶體內能量與成份波動的影響下，容易形成滲碳體而並非石墨。

在固溶體內開始出現滲碳體也可能發生成份及能量的波動，看來，此種情況可能促使石墨晶芽的形成。

但在滲碳體內部不能形成石墨的晶芽，因為這種過程發生時其體積急劇膨脹，而且在此種狀態下所產生的強大應力阻礙着變化的進行。在有滲碳體的情況，石墨晶芽可以位於碳化物表面，與周圍的固

溶体相接触，因后者的可塑性較渗碳体要大，此种现象是經常发现的。

在低于 $E'S'$ 的温度沒有剩余碳化物的情况下，在均匀奥氏体区域内产生石墨晶芽在理論上是可能的，但渗碳体晶芽的出現則要在低于 ES 温度下才有可能。这种均匀固溶体过冷温度所决定的奥氏体析出的石墨晶芽与渗碳体晶芽的数量可以用曲綫表示(图4)。

加热温度愈高，即奥氏体内含碳量愈多，則石墨核心的形成可能性就愈大。在石墨及渗碳体結晶曲綫交点以上的温度时，石墨晶芽即由奥氏体中析出，如最初产生渗碳体，則石墨的产生可能是另一过程与渗碳体相接触的结果，因为这过程也出現渗碳体晶芽而加速。当有碳化物时，由于扩散作用，在所有温度晶芽的形成过程加速了。

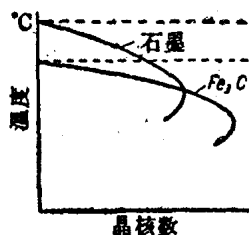


图4 核心产生的数量与奥氏体过冷程度的关系。

与碳化物处于平衡状态的奥氏体，由于温度不同，其石墨的过饱和程度亦不相同，因之，加热温度愈高，石墨晶芽产生的数量愈多。

在有現成“底衬”的情况下，易于生成晶芽，鑄鉄内的各种夹杂物包括石墨在內，都可以充当底衬。大家都知道，在断面为白口的鑄鉄，常出現有若干数量石墨。此鑄鉄內的石墨及非金屬夹杂物并非由晶芽生成，仅是“底衬”。为使它們变为晶芽，則必須使成份及能量发生波动，以便使其具备一定临界尺寸。就是說要經過激活达到临界尺寸成为晶芽。

由于很多因素阻碍着石墨晶核的形成，所以現成的“底衬”的存在，只能稍微加速石墨晶芽的形成。在石墨化过程中，石墨的自发結晶作用，尚未得到充份的研究，而且在什么情况下，此种作用才能决定石墨化进行的速度，也不够明确。

在奥氏体过冷程度較低的情况下，共析体内渗碳体稳定而沒有石墨化，这一有趣的事实，是由Л. П. 依万諾夫[●]在实验中所发现的，

他使鉄液自 1400°C 至 200°C 进行了 115 小时的緩冷，获得了具有普通形状石墨基体为珠光体的可鍛鑄鉄。当冷却速度极慢时，奥氏体在成份上具有高度均一性，共析体的渗碳体不会石墨化。

为了使白口鉄中存在的石墨晶核积极活动，也就是說提高其繼續生长的能力，必須具备补充条件。条件之一即在不均匀的 α 固溶体中，碳原子（离子）强烈扩散的可能性，对石墨晶核形成及生长过程有相当大的意义。此种情况可以从下列事实中得到証实：如鉄液冷却发生共析体的变化，則白口鉄石墨化的速度提高。此外， α 固溶体因外来影响而增加石墨化速度时，其作用也很重要。在这方面最有效的办法就是提高鉄液冷却速度，在石墨化前使白口鉄变形和預先淬火。

白口鉄在石墨化前进行淬火， α 溶体所起的作用最为显著。白口鉄淬火加热結果可能形成若干石墨晶核，但不能說明預先淬火造成那样大的石墨化速度。由此可知，加速石墨化是与过饱和 α 溶体，即馬丁体的分解特性有关。含硅馬丁体的分解特性是当馬丁体受热时，硅不能阻碍非磁性的碳化物 Fe_3C 自过饱和溶液中析出，且不能变更其析出溫度。但是，硅阻碍扩散，和延緩低溫的磁性碳化物 Fe_3C 改变为渗碳体型的 Fe_3C 磁性碳化物。在硅存在的情况下，碳化物的轉变溫度改变到 $400\sim 450^{\circ}\text{C}$ 范围，当扩散积极开始时，碳原子（离子）的扩散来源也逐渐增多。由于硅削弱鉄碳联系的特殊影响，扩散强化，因而加强了碳原子相接触的可能。結果形成石墨晶核，并促进其繼續生长的能力。正如一般的規律那样，淬火能导致大量核心的形成，縮短了碳原子的扩散距离。因而对加速石墨化过程起着良好的影响。

当碳在 α 固溶体中积极扩散时，在沒有現成（晶芽）分界面的情况下石墨晶核能够自动形成。白口鉄預先淬火时就发生此种現象，此时晶核数量生长非常迅速。不必依靠已有晶芽的現成分界面来造成晶核，是自动生长石墨晶核的最有利条件。

在文献中有这样一种見解，认为鑄鉄預先淬火能使渗碳体細化，因它可以加速它的分解。

此种見解應該认为是錯誤的，已被很多試驗所否定。在鋼石墨化