

蘇 聯 機器製造百科全書



機械工業出版社

蘇 聯

機 器 製 造 百 科 全 書

機器製造百科全書編輯委員會編

第 二 部 分

機 器 製 造 用 材 料

第 四 卷

責任編輯蘇聯科學院通訊院士 奧琴格



機 械 工 業 出 版 社

1 9 5 6

幾點說明

1. 本卷之中俄名詞對照表按金屬與非金屬材料編排，第一～四章編在一起，第五章單獨列出。
2. 本卷第一章承繆棧同志校訂；第二章承石霖同志校訂；第三、四章承安延濬同志校訂；第五章承繆棧、喬丕成同志校訂。

本卷譯者

林震亞、沈紀、鄔渭賢、繆棧

* * *

NO. 0792

1956年8月第一版 1956年8月第一版第一次印刷

787×1092¹/₁₆ 字數 843 千字 印張 28 插頁 2 0,001—4,500 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價(10) 6.80 元

編輯委員會

主任委員兼總編輯院士 丘達科夫 (Е.А.Чудаков)

阿科波夫 (С. А. Акопов), 阿爾托波列夫斯基 (И. И. Артоболевский), 阿切爾康 (Н. С. Ачеркан), 別斯普羅茲萬內依 (И. М. Беспрозванный), 古德佐夫 (Н. Т. Гудцов), 吉古新 (В. И. Дикушин), 葉甫利莫夫 (А. И. Ефремов), 扎波洛瑞茲 (В. К. Запорожец), 濟明 (А. И. Зимин), 卡扎科夫 (Н. С. Казаков), 吉爾比切夫 (М. В. Кирпичев), 柯萬 (В. М. Кован), 康紐沙婭 (Ю. П. Конюшая), 李普噶爾特 (А. А. Липгарт), 馬累歇夫 (В. А. Малышев), 馬爾簡斯 (Л. К. Мартенс), 馬利恩巴哈 (Л. М. Мариенвах), 尼古拉也夫 (Г. А. Николаев), 奧金格 (И. А. Одинг) (編輯委員會副主任委員), 巴頓 (Е. О. Патон), 拉姆金 (Л. К. Рамзин), 魯勃佐夫 (Н. Н. Рубцов), 薩威林 (М. А. Саверин) (編輯委員會副主任委員), 謝明欽柯 (И. И. Семенченко), 薛倫新 (С. В. Серенсен), 赫倫諾夫 (К. К. Хренов), 赫魯曉夫 (М. М. Хрущов), 沙明 (Н. А. Шамин), 謝列斯特 (А. Н. Шелест), 舒赫加利切爾 (Л. Я. Шухгальтер) (副總編輯), 雅柯夫列夫 (А. С. Яковлев)。

本 卷 著 者

工程師阿弗拉新(Я.Д.Аврасин), 教授阿洛諾維奇(В.А.Аронович), 技術科學副博士巴布金(Н.И.Бабкин), 技術科學副博士巴耳鑫(М.Ю.Бальшин), 工程師別蘇特諾娃(М.Ф.Безуднова), 教授, 技術科學博士別爾格(П.П.Берг), 工程師維諾格拉道夫(С.В.Виноградов), 工程師葛拉蘇諾夫(С.Г.Глазунов), 技術科學副博士格魯史科夫(Г.И.Глушков), 副教授, 技術科學副博士杜傑洛夫(Г.Н.Дудеров), 數理科學副博士葉列明(Н.И.Еремин), 副教授, 技術科學副博士卡爾達舍夫(Д.А.Кардашев), 物理數學科學副博士卡普薩諾夫(Я.Н.Каплунов), 技術科學副博士凱斯特聶耳(О.Е.Кестнер), 副教授, 技術科學副博士列別托夫(В.А.Лепетов), 工程師羅日尼科夫(Л.П.Лужников), 副教授, 技術科學副博士馬特弗也夫(М.А.Матвеев), 技術科學副博士密爾曼(Б.С.Мильман), 教授, 技術科學博士別列雷金(Л.М.Перелыгин), 工程師彼得洛夫(П.Г.Петров), 工程師巴密拉則夫(С.Н.Померанцев), 工程師普基則(В.И.Птицын), 技術科學副博士勒席茲尼科夫(В.С.Резников), 教授, 技術科學博士魯托夫斯基(Б.Н.Рутовский), 工程師婁科娃(А.В.Рыкова), 一級科學工作員斯米利雅庚(А.П.Смирягин), 技術科學副博士傅托瓦(С.Б.Футорян), 工程師則甘諾夫(В.И.Цыганов), 技術科學副博士舍依傑曼(И.Ю.Шейлеман), 工程師蘇米洛夫(Н.П.Шумилов)。

*

*

*

科 學 編 輯

教授, 技術科學博士別爾格(П.П.Берг)(第一章), 工程師勃里赫涅斯基(А.С.Близнянский)(術語與符號), 院士鮑契瓦爾(А.А.Бочвар)(第二章), 工程師勃洛特斯基(Г.С.Бродский)(第一和第二章), 工程師格里茲耳(Б.М.Глинер)(本卷副責任編輯), 技術科學副博士普拉特秋克(Н.Ф.Правдюк)(第三章), 教授, 技術科學博士烏曼斯基(Я.С.Уманский)(第四章), 教授, 技術科學博士秋里茨基(Н.Н.Чулицкий)(第五章, 除「壓製木材」以外)。

*

圖表資料編輯工程師卡爾干諾夫(В.Г.Карганов)

*

本卷組織編輯格力傑別爾克(М.И.Гильденберг)

編輯部主任克魯新娜(А.Н.Клушина)

原編者的話

機器製造百科全書第四卷是第二部分兩卷中的一卷，而第二部分是敘述現代機器製造中所用的材料。第四卷內容包括生鐵、有色金屬及合金、硬質合金、粉末冶製材料以及非金屬材料等性質的資料。

關於鋼（結構鋼、工具鋼等）以及機器零件和材料的各種試驗方法都包括在百科全書第三卷內。

在本卷中，除引述為工程手冊中所有的、而為設計師們在其選擇材料時，以及機器製造工藝師們在設計工藝過程時所需材料的一般特性（化學成分和機械及物理—化學性質的主要數據）以外，也列述了金屬在塑性變形和熱處理時決定其性狀的主要特性、金屬組織在各種因素影響之下的變化、合金元素和使用條件對強度的影響等。應該指出，所有這些資料對於現代發展的機器製造業和目前對於生產設備特別是對於動力設備的高度要求來說，具有特殊的意義。

編寫本卷時，應用了為國家標準和主管機關技術條件所規定的規格，科學研究所和工廠實驗室最新的研究結果以及取自許多國內外文獻中最寶貴的資料。同時，作者和編輯部的主要任務在於把斯大林五年計劃年代中和衛國戰爭時期在材料方面所積累的豐富的科學經驗和實際經驗加以總結和系統化。

本卷極重視生鐵的參考資料。目前，機器製造者們對生鐵的一些特殊性質了解得不很够（因而沒有充分加以利用），而這些特殊性質却使它在很多場合下成為非常有用的結構材料。生鐵的高度周期韌性、高的抗壓力、抗彎力及抗扭力，和它的高度工藝性質一樣，給它在機器製造中的應用開闢了廣闊的前途。

專述有色金屬及合金一章中，介紹了銅合金、鋁基和鎂基輕合金、軸承合金、二重合金等的化學成分、機械、物理及工藝特性，並且指出了這些材料各種牌號的應用範圍。

現代的機器製造業也廣泛地應用着各種非金屬材料——塑料、橡膠、玻璃、皮革、織物、油漆等。關於這些材料的參考資料通常分散在許多尚未完全發表的主管機關的文件和實驗室報告文件中，同時這些材料也包含在各種標準及規格中，現在都收集在本卷內，並加以系統化。這些資料可幫助機器製造人員有根據地選擇材料和合理地應用材料。

在準備本卷材料時，各方面的評閱者對各章、節的內容提出了評閱意見和指示，給作者和編輯很大的幫助。我們謹向給予幫助的下列各位致謝：斯大林獎金獲得者、工程師契爾努舍維奇（В.А.Чернушевич），教授葉果爾諾夫（А.Н.Егорнов）（第一章）；工程師戈里科夫（Ф.В.Куликов）（第二章）；工程師普拉符秋克（Н.Ф.Правдюк）（第三章）；工程師奧列霍夫（И.И.Ольхов）（第四章）；工程師巴比契夫（С.А.Бабичев），教授、技術科學博士畢夫斯忒爾（Р.Л.Певзнер），副教授、技術科學副博士新鳩林（Г.Г.Сентюрин），工程師赫查諾夫（Г.М.Хазанов），教授、技術科學博士基達柯洛特斯基（И.И.Китайгородский），工程師普茲特涅克（А.И.Поздняк），技術科學候補博士列維（А.Н.Левин），技術科學候補博士麥日奧斯（Ф.М.

Манжос), 工程師沙洛夫(М.Я.Шаров)(第五章)。

在此, 必須提出, 對於第一章[生鐵]的科學編輯, 教授、技術科學博士別爾格(П.П.Берг)和第二章[有色金屬及其合金]的科學編輯, 院士鮑契瓦爾所作的巨大的和多方面的工作尤其感謝。

奧琴格(И.Одинг)

目次

原編者的話	V
第一章 生鐵	
(林震亞譯)	
生鐵鑄件的分類和用途	別爾格 1
生鐵的主要特性	1
元素對生鐵組織的一般影響	別爾格 1
生鐵的物理性質和化學性質	別爾格,葉列明和斐科娃 3
生鐵的機械性能	別爾格 18
生鐵的工藝性能	別爾格和傅托瓦 27
生鐵的生產工藝對其性質的影響	別爾格 30
液體生鐵的獲得	30
鑄件的冷卻和凝固	31
鑄件的處理	32
生鐵作為構造材料	別爾格 33
生鐵的靜力性能	33
理想的結構	33
應力的分佈	34
負荷的動力性	35
結構強度	35
提高結構強度的方法	37
灰生鐵鑄件	阿洛諾維奇 38
低強度的鑄件	39
中等強度的鑄件	39
高強度的鑄件	43
特殊性能的鑄件	48
白生鐵和冷硬鑄鐵	彼得洛夫和蘇米洛夫 54
白生鐵鑄件	54
冷硬鑄鐵鑄件	60
可鍛生鐵鑄件	彼得洛夫和蘇米洛夫 64
石墨化鐵素體(美洲)可鍛生鐵	64
脫碳(歐洲)可鍛生鐵	71
珠光體石墨化可鍛生鐵	73
變質生鐵	密爾曼 81
參考文獻	85
第二章 有色金屬及其合金	
(鄧渭賢譯)	
銅合金	斯米利雅庚 1
工業用銅	1
銅鋅合金	3
錫青銅	14
不含錫的特種青銅	24
參考文獻	34
第三章 硬質合金	
格魯史科夫(繆 棧譯)	
司捷里特型鑄造硬質合金	2
粉狀(粒狀)硬質合金	3
金屬粉末冶製硬質合金	4
高碳化物的鑄造硬質合金	7
管狀硬質合金	7
硬質合金鋁條	7
金屬粉末冶製的硬質合金製品	7
參考文獻	10
第四章 金屬粉末冶製材料	
巴耳鑫,別蘇特諾娃(繆 棧譯)	
金屬粉末冶製材料的種類	1

金屬粉末冶製的減摩材料.....	1
金屬粉末冶製的摩擦材料.....	12
多孔體金屬粉末冶製的製件.....	12
金屬粉末冶製的零件.....	14
嵌封管子用的鐵.....	15
難熔金屬.....	15
電機用的銅-石墨及青銅-石墨電刷.....	16
接觸點材料.....	16
磁性金屬粉末冶製材料.....	17
其他金屬粉末冶製製件.....	18
參考文獻.....	19

第五章 非金屬材料

(沈紀譯)

木材.....	別列雷金 1
木材的種類及其分類.....	1
原木.....	1
成材.....	14
參考文獻.....	17
塑膠.....	阿弗拉新、卡爾達舍夫、魯托夫斯基 17
概論.....	17
塑膠的一般性質.....	17
塑膠的物理性質和化學性質.....	20
塑膠的機械性質.....	26
試驗方法.....	34
外國製塑膠.....	36
參考文獻.....	38
橡膠材料.....	列別托夫 39
中俄名詞對照表.....	1~VI

橡膠材料、製品及其分類.....	39
生橡膠和橡膠.....	39
橡膠製品.....	42
參考文獻.....	51
皮革.....	卡普隆諾夫 52
參考文獻.....	57
石棉及石棉製品.....	普基則著 57
石棉及其性質.....	57
石棉製品.....	59
石棉製品的試驗方法.....	68
參考文獻.....	69
紡織材料.....	巴布金和舍依傑曼 69
參考文獻.....	92
玻璃、搪瓷和磁釉.....	92
玻璃.....	馬特弗也夫 92
搪瓷.....	馬特弗也夫 104
磁釉.....	杜傑洛夫 107
參考文獻.....	109
陶瓷材料和耐火材料.....	杜傑洛夫 109
陶瓷材料和製品.....	109
耐火材料和製品.....	117
參考文獻.....	131
清漆和油漆.....	則甘諾夫 131
清漆-油漆材料.....	131
清漆和油漆的主要試驗方法及其耗用量的測定.....	139
參考文獻.....	144

第一章 生鐵

生鐵鑄件的分類和用途

生鐵鑄件可以按照組織、製造的工藝、化學成分和用途來分類。

按照組織鑄件分爲：

1) 灰生鐵鑄件 它的特點是組織中有石墨而無自由滲碳體；

2) 白生鐵鑄件 它的特點是組織中有滲碳體而無自由石墨體；

3) 冷硬鑄鐵(白口生鐵)鑄件 它的特點是組織中同時有自由滲碳體和石墨，並且滲碳體出現在鑄件中冷卻速度最快的地方，亦即在鑄件的表面層，而石墨則出現在冷卻速度最慢的地方，亦即在鑄件的內部；冷硬鑄鐵主要是以白口層的深度和性質來區別；

4) 可鍛生鐵鑄件 它是由白生鐵進行退火而得，在它的組織中無自由滲碳體但出現有石墨。

灰生鐵和可鍛生鐵的區別是在它們的金屬基體，以及所含石墨的形狀、大小和分佈情況。

按照製造的工藝，鑄件分爲：

1) 普通(未變質)生鐵鑄件；

2) 變質生鐵鑄件。

所謂變質可理解爲生鐵在液體狀態下的一種處理，經過這種處理之後可使石墨化元素含量一樣的生鐵形成石墨化程度更強的組織。由於這種現象，以及生鐵所含石墨夾雜物形狀和分佈情況的變化，遂使變質生鐵的某些特性得到改善。

按照化學成分，鑄件分爲非合金生鐵鑄件和合金生鐵鑄件兩類。

合金生鐵的特點是其中含有若干特種元素，或者其中含有較多量的某些在生鐵中常見的但含量較少的

元素。

合金生鐵可以按照其中增高含量的那種元素來區別。

按照用途，生鐵鑄件可依對它所提的要求分爲幾大類。在這些分類的範圍內也還可以進行更細的劃分。但綜合必要的特性，它們可分屬於下面幾大類：

1) 由灰生鐵製成的一般機器製造上的鑄件在這種鑄件上最能顯著地表示出生鐵作爲構造材料所具的性能：特殊的機械性能，良好的加工性能，優良的鑄造性能，可較易獲得形狀複雜的鑄件，熱應力的感受性較低，因而鑄件可在熱擊作用下(鑄型和冷模)應用，並且由於能使用最廉價的爐料和運轉上最經濟的熔化設備(熔鐵爐)，故生產費用最爲低廉；

2) 由可鍛生鐵製成的韌性高的鑄件；

3) 由冷硬鑄鐵製成的表面硬度高的鑄件；

4) 由合金生鐵製成的某些性能特別高的鑄件。

要得到改善性質的鑄件，可應用經過變質處理的生鐵。

要得到機械性能較高的鑄件，可採用低合金生鐵，要得到某些特性顯著增強的鑄件，可採用高合金生鐵。

應該避免「鋼質」生鐵這一個常被應用的術語，因爲這種材料並不具有顯著的特性，而這個名稱也僅能說明熔鑄工藝的特點而已。

在近代鑄造生產工藝中出現了許多處於與生鐵相銜接的，同時並介乎生鐵和鋼的界限之間的新型合金。可以料到，一些位於生鐵和非鐵金屬之間的或介乎生鐵和非金屬材料之間的合金也會相繼出現。

生鐵的主要特性

元素對生鐵組織的一般影響

生鐵的主要性能決定於它的組織，而它的組織在很大程度上又決定於它的成分[1~6]。各種元素所起

的影響一部分係顯現在鐵-碳平衡圖上臨界點或綫圖的改變(見圖1和表1)。表中的數據只說明一個大概，因爲每一元素的影響大小還取決於鑄件的鑄造工藝規程和生鐵的成分。大多數元素在含量增加時，共

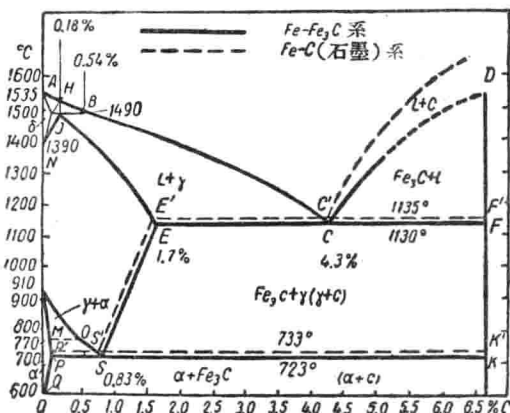


圖1 鐵—碳平衡圖。

表1 增加元素的含量1%對鐵—碳平衡圖上
臨界點或線的變化所起的影响[9]

元素	共 晶		共 析	
	C 點 (°C)	溫 度 (EF綫) (°C)	S 點 (°C)	溫 度 (PSK綫) (°C)
矽	-0.3	+11	-0.18	+20
錳	-0.015	-1	0	-25
磷	-0.3	-35	?	+20?
硫	-0	0	0	0
鎳	-0.02	+	-0.09	-(25至40)
鉻	-0.02至 -0.05	+4	-0.05	+8
銅	0	+	+	-25?
鉬	-	?	-0.06	-
鈮	+	+	+	±?
鋁	-0.16	+11	+	+12
鈦	-0.1	+9	0	0
鎢	-0.15	+	-0.06	+10?
鈷	?	?	?	+10
砷	0	0	0	0

註：符號表示：+——增高，——減低，0——無影响，?——影响不明。有兩個符號時，上面一個指在高濃度時元素的影響，而下面一個則指在低濃度時元素的影響。

晶點C是向碳含量更低的一側偏移，這就說明了碳在液體生鐵中溶解度的減低。在Si和P的含量增加時，則共晶點含碳量的降低最為顯著。因此，碳的共晶含量百分數的大概計算可等於 $C = 4.3 - 0.3(Si + P)$ [8]。

元素的加入既使共析溫度發生改變，因而也就會影響到生鐵的組織：當共析溫度下降時（多半是由於加入鎳和錳），即使在緩慢冷卻下也將形成奧氏體組織。元素對金屬基體組織的變化和石墨析出的性質所產生的影響可根據表2的數據來估計，表中各元素的石

墨化影響是以矽的石墨化作用作為單位來比較的。但這種關係並不是固定不變的，它將隨着生鐵中其他元素的含量，特別是碳的含量而發生變化。矽和碳的含量對生鐵組織的關係列於圖2和圖3[7,15]中。

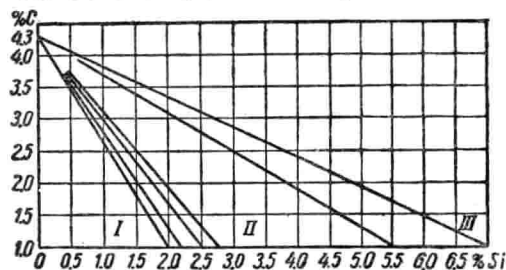
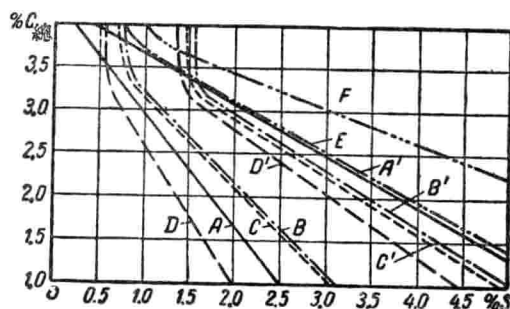
圖2 矽和碳的含量對生鐵組織的關係(馬烏烈爾圖)：
I—滲碳體生鐵，II—珠光體生鐵，III—鐵素體生鐵。

圖3 生鐵成分和冷卻速度對其組織的影響：

A, A'—珠光體組織型的最高成分，乾模鑄件，直徑30公厘；
B, B'—同上，金屬模鑄件，直徑75~80公厘；
C, C'—同上，但由普通模澆注，加熱至250°C；
D, D'—同上，但由普通模澆注，加熱至450°C；
E—直徑75~80公厘金屬模白生鐵鑄件的最高成分；
F—同上，直徑75~100公厘，但在厚壁金屬模中澆注。

當這些元素的含量增高時，生鐵的組織可由滲碳體逐漸轉變為珠光體，並可進而轉變為鐵素體。這種轉變將取決於兩個元素之間的數量對比關係，可用一個通式來表示：

$$mC + nSi = A,$$

式中 A——石墨化常數，是一絕對值，隨工藝規程（主要看鑄件硬化和冷卻的速度）的不同而異。C和Si之間的對比關係，對共析生鐵可用公式 $C + Si = A$ 表示之，對過共析生鐵則可用公式 $0.5C + Si = A$ ，而亞共析生鐵則可用公式 $2C + Si = A$ 。

石墨化常數A與C、Si、Mn、P、S、Ni和Cr的關係可用下列各式表示之[9]：

過共析生鐵

$$A = 0.5C + Si - 0.1(Mn - 3.3S) + 0.2P + 0.5Ni - 1.5Cr; \quad (1)$$

表2 元素對生鐵組織大概的影響

元 素	約 計 含 量 (%)	影 響		相 對 石 墨 化 作 用		
		對金屬基體[15]	對石墨形狀[15]	在結晶情況下		總 合 的 [9]
				共晶的[12]	共析的[12]	
矽	至 3	增加鐵素體含量	擴大石墨和減少碳的總含量	+ 1.0	+ 1.0	+ 1.0
碳	大於 1.7	增加鐵素體含量	擴大石墨	+ 0.6	+ 2.0	+0.5至+2.0
錳	至 0.8	分化珠光體	微弱的分化	+ 0.2	?	- 0.1
磷	大於 1.0	分化珠光體	微弱的分化	- 0.4	?	—
硫	至 1.0	形成磷化物	未確定	+ 0.2	?	+ 0.2
硫	至 0.2	未確定	未確定	- 1.0	- 0.25	- 1.0
銀	至 1.5	分化珠光體	微弱的分化	+ 0.5	?	+0.2至+0.5
鉻	至 1.0	分化珠光體	微弱的分化	- 1.2	- 0.3	-0.6至 1.5
銅	至 3.0	未確定	未確定	+ 0.3	?	0
鉬	至 1.0	分化珠光體	強烈的分化	- 0.5	- 1.4	- 0.7
鈳	至 0.5	分化珠光體	分化	- 1.5	?	- 2.0
鋁	至 0.25	減少珠光體含量	擴大	+ 3.0	~ 0	+10.0?
鈦	至 0.2	減少珠光體含量	分化	+ 0.3	- 0.1	+ 3.0?
鎢	—	—	—	—	—	+ 0.25?
硼	—	—	—	—	—	- 3.0
錫	—	—	—	—	—	- 0.5
鉛	—	—	—	—	—	- 0.15

註：Bi, Ba, Ca 和 Co 促進石墨化，而 Ce 和 Te 阻礙石墨化。關於其他元素的已驗證資料還沒有。

$$A = 0.5C + Si - \left(S - \frac{Mn}{3.3} \right) + 0.2P + 0.5Ni - 1.5Cr; \quad (2)$$

共析生鐵

$$A = C + Si - 0.1(Mn - 3.3S) + 0.2P + 0.25Ni - 0.75Cr; \quad (1)$$

$$A = C + Si - \left(S - \frac{Mn}{3.3} \right) + 0.2P + 0.25Ni - 0.75Cr; \quad (2)$$

亞共析生鐵

$$A = 2C + Si - 0.1(Mn - 3.3S) + 0.2P + 0.2Ni - 0.6Cr; \quad (1)$$

$$A = 2C + Si - \left(S - \frac{Mn}{3.3} \right) + 0.2P + 0.2Ni - 0.6Cr. \quad (2)$$

當硫呈硫化鐵狀態存在時，它阻止石墨化。在含硫生鐵中增加錳時，則硫將形成硫化錳而不阻止石墨化。當生鐵中 S 的含量在 0.1% 左右，而錳的含量在 Mn: S = 3.3 的比例時才充分發揮中和作用。因此，Mn: S < 3.3 時，應該引用公式 (1)，而 Mn: S > 3.3 時則應用公式 (2)。當硫的含量較低時，這個比例將大為提高 [10]。

生鐵的物理性質和化學性質

重量和體積

比重 如果生鐵中所含各元素之間不發生化學結

合，則生鐵的比重(密度)可按混合法則來計算。在生鐵中存在的元素和一些組織成分的比重列在表3內。應用這個表內的數據，便可用下列公式來確定近似的比重 γ

表3 元素和組織成分的重量

元素或組織成分	分子量或原子量	比重	分子化含量對元素原子量的比例
γ-鐵[18]	55.85	7.85±0.05	1.0
α-鐵[18]	55.85	7.870±0.005	1.0
滲碳體[18]	179.5	7.66±0.03	15.0
錳[19]	54.93	7.2	—
珠光體[18]	—	7.8	—
鉻[19]	52.01	7.1	—
磷化鐵[19]	198.52	6.9±0.2	6.4
矽化鐵[12]	223.6	6.5	4.0
硫化鐵[19]	87.90	4.9±0.1	—
硫化錳[12, 19]	86.99	4.00±0.01	2.7
鋁[19]	26.97	2.7	—
矽	28.06	2.4	—
α-石墨	—	—	—
(退火碳)[20]	12.01	2.28	1.0
β-石墨	—	—	—
(原石墨)[20]	12.01	2.22	1.0
硫[19]	32.06	1.96	—
磷[12]	30.98	1.83	—

$$\frac{100}{\gamma} = \frac{\text{Fe} - 15 C_{\text{化合}} - C_{\text{石墨}} - 4 \text{Si} - 6.4 \text{P} - 2.7 \text{S}}{7.87} + \frac{15 C_{\text{化合}}}{7.66} + \frac{C_{\text{石墨}}}{2.25} + \frac{4 \text{Si}}{6.5} + \frac{2.7 \text{S}}{4.0} + \frac{6.4 \text{P}}{6.9},$$

或者用下面的簡化公式來求出[9]

$$\frac{1}{\gamma} = 0.127 + 0.002\text{Si} + 0.0014C_{\text{總}} + 0.0025C_{\text{石墨}},$$

式中 Fe, C, Si, S, P——相當元素的百分含量 [11~13]。

用這些公式求出的比重較直接測得的為高，因為生鐵中有細孔存在，它們是沒有被考慮在計算之內的。經採用直接測定而得出的幾種最大特徵的生鐵其比重平均值如下[11, 12, 15]

生鐵類別	比 重
最不緻密的灰生鐵	6.6
普通灰生鐵	7.0
最緻密的上等灰生鐵	7.4
含碳量高的(2.3~2.7%)	
退火白生鐵(可鍛的)	7.2
同上, 含碳量低的(2.0~2.2%)	7.4
未退火的白生鐵	7.4~7.6
最緻密的未退火生鐵	7.7

即使在同一鑄件中，表面與內部，上層與下層(在大鑄件中)，其比重相差範圍也可達10%。

液體生鐵的比重是隨着含碳量的增加和溫度的升高而減低的。在熔化溫度(熔點)時，不論含碳量多少，比重大致是固定不變的，對鐵—碳系來說，其比重可以取為 7.10 ± 0.05 [16]。雜質將使液體生鐵的比重減低；對實在的液體生鐵(在熔化時)在作概略的計算時，其比重可取為 7.0 ± 0.1 [17]。

生鐵在加熱時體積的變化 生鐵在低於和高於相變溫度加熱時，體積的增大是不同的。

在前一種情況下係產生可逆性的體積增大(熱膨脹)，但當長時間的在 PSK 綫(圖1)下於 $150 \sim 200^\circ\text{C}$ 加熱時，則可能有部分非可逆性的體積增大(由於相變)。

生鐵的綫膨脹係數 α 取決於它的組織和成分。

各種生鐵組織成分在溫度 $20 \sim 100^\circ\text{C}$ 之間的平均綫膨脹係數如下列數據所示：

組織成分	$\alpha \times 10^6$ (公分/公分 $^\circ\text{C}$)
奧氏體	17~24
鐵素體[21]	12.0~12.5
珠光體[12]	10~11
滲碳體[12]	6.0~6.5
石墨(0~400 $^\circ\text{C}$)[19]	7.5~8.0

α 值係隨組織成分的含量不同而有變動。各種元

素的含量增加1%對鐵的固溶體綫膨脹係數的變化所起的影響大概如下[21]：

含量增加1%	α 的變化(%)
鋁	+1.0
錳	+0.5
鎳	-0.5
矽	-1.0
鉻	-1.5
碳(碳化物狀態)	
Fe_3C [22]	自-5至-10
Cr_3C_2 [23]	+5
Mn_3C [23]	+5

α 值並隨着溫度升高而增加，但在磁變點範圍內稍有停滯(滲碳體磁性變化)。

碳對 α 有最顯著的影響，這是和出現新的組織成分 Fe_3C 相關連的。

由上列數據可以看出，隨着滲碳體的分解 α 值也隨之增大，並且石墨的形成還對這種增大有一些補償[22, 23]。

碳對係數 α 的變化所起的數量上的影響列於表4中[22]。

表4 碳對生鐵的平均熱膨脹係數的影響

生鐵成分(%)			$\alpha \times 10^6$, 溫度自 20°C 至					
C	Si	Mn	100°	200°	300°	400°	500°	660°
0.06	微跡	0.08	11.7	12.3	13.0	13.6	14.2	14.6
1.97	0.08	0.15	9.9	10.0	11.1	12.2	13.1	—
2.24	0.08	0.15	9.6	9.6	11.0	12.1	13.2	—
3.66	0.09	0.14	8.6	8.8	9.9	11.3	12.5	13.2
3.80	0.05	—	8.7	8.5	10.1	11.5	12.6	—

碳對 α 的影響 矽在不同溫度間隔中對 α 的影響如圖4所示[21]。高矽生鐵(2.25% C和5.8% Si)在各種不同的溫度時的膨脹係數 α 可用下列數據表示之：

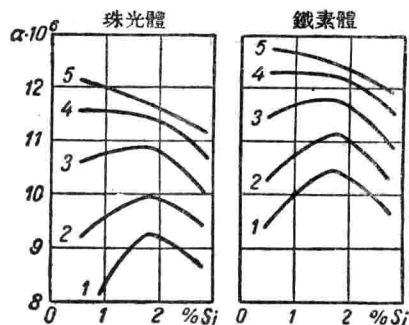


圖4 矽對生鐵綫膨脹係數的影響；

1—於 $20 \sim 200^\circ\text{C}$ ；2—於 $20 \sim 300^\circ\text{C}$ ；3—於 $20 \sim 400^\circ\text{C}$ ；4—於 $20 \sim 500^\circ\text{C}$ ；5—於 $20 \sim 600^\circ\text{C}$ 。

溫度間隔(°C)	$\alpha \times 10^6$
20~200	11.3
20~300	11.6
20~400	12.0
20~500	12.5
20~600	12.9
20~700	13.3
20~800	13.6

錳、硫和磷加入量若在通常範圍內，它們的影響是不顯著的[21]。

鎳的影響見圖5[21]及圖6[15, 24]所示。當鎳的含量增加到6%左右時，它的作用與矽相似，但較弱。在鎳的含量大量增加時，係數 α 由於奧氏體的形成而增大。繼續增加鎳含量至35%左右時則係數 α 將達到最小值。

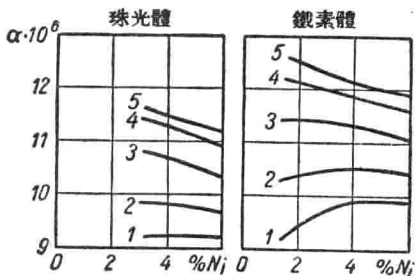


圖5 鎳對生鐵綫膨脹係數的影響：

1—於20~200°C；2—於20~300°C；3—於20~400°C；
4—於20~500°C；5—於20~600°C。

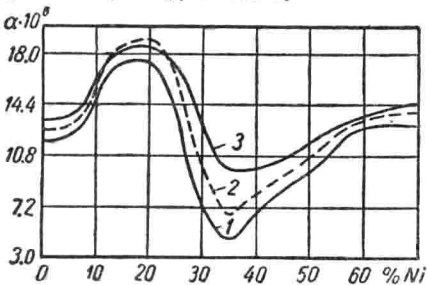


圖6 鎳對生鐵綫膨脹係數的影響：

1—於95°C；2—於150°C；3—於375°C。

鉻的影響如圖7所示[21]。在性質上來說，它與矽和鎳的影響相似。

鋁的影響如圖8所示[21]，銅——見圖9[21]。

鉍使 α 稍微減小[15]。

若僅作概括的計算，則在溫度20~100°C時平均熱膨脹係數 α 可採取下列的數值[64]：

生鐵種類	$\alpha \times 10^6$
白生鐵	9~11
灰生鐵及退火白生鐵(可鍛的)	10~12
奧氏體生鐵	16~18

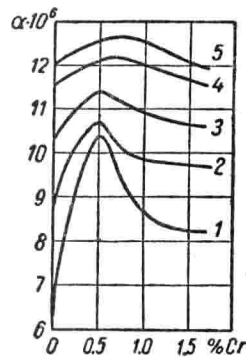


圖7 鉻對生鐵綫膨脹係數的影響：

1—於20~100°C；2—於20~200°C；3—於20~300°C；
4—於20~400°C；5—於20~500°C。

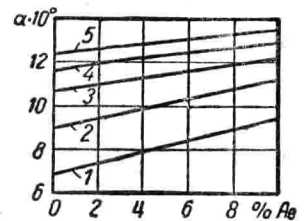


圖8 鋁對生鐵綫膨脹係數的影響：

1—於20~100°C；2—於20~200°C；3—於20~300°C；
4—於20~400°C；5—於20~500°C。

在高溫時(至700°C以下)白生鐵和灰生鐵的 α 增高，數值趨於相等，並可取為 $\approx 14 \times 10^{-6}$ 。

高於相變溫度加熱時，則產生非可逆的體積變化。

由奧氏體形成珠光體時，體積隨珠光體含量的增加而增大，並在珠光體含量為100%時達最大值0.0004公分³/克[18]。

石墨析出時體積增大

約為0.0025公分³/克，或每形成1%石墨其體積增加為2%[9]。白生鐵退火時(得可鍛生鐵)綫膨脹平均為1%。

液體生鐵凝固時體積的改變取決於石墨的析出量。白生鐵在凝固時測定的體積收縮值為1.3~5.8%[18, 25, 26]。最常見的收縮值為1.3~3.4%。灰生鐵凝固時的體積漲大值為0.0~1.6%[15, 25, 27]。最可能的範圍是0.9~1.6%。在作概括計算時可將白生鐵的體積收縮值取為1.8%($\beta_s = 0.018$)，並將灰生鐵的體積漲大值取為0.9%($\beta_s = 0.009$)[9]。

液體生鐵體積熱膨脹係數 β_* 的變化範圍自 100×10^{-6} 至 300×10^{-6} 公分³/公分³°C[15, 16, 25及26]，它是隨着生鐵中含碳量的提高而增加的[16]。

在作概括計算時可取 β_* 的平均值 $\approx 160 \times 10^{-6}$

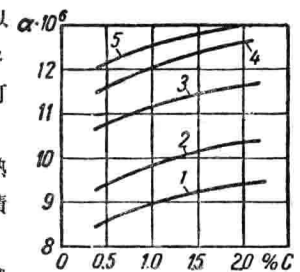


圖9 銅對生鐵綫膨脹係數的影響：

1—於20~100°C；2—於20~200°C；3—於20~300°C；
4—於20~400°C；5—於20~500°C。

公分³/公分³·°C[9]。

生鐵的增長現象(Рост),在個別場合中乃是一種非可逆的加熱體積膨脹,它是由於石墨析出、氣體吸收(氧化)和氣體從固體溶液析出在細孔中(氫自原子狀態轉變為分子狀態)等鬆散作用所造成的結果。

生鐵的增長將因下列因素而加強:1)加熱溫度提高時,尤其當加熱溫度超越 PSK 綫(圖1)將隨之發生滲碳體的分解和石墨的析出時;2)當碳化物的穩定性減低和它們的含量增加時;3)當金屬密度和石墨夾雜物分散程度減小時;4)當金屬中氣體含量增大時(主要為氫氣)。

在不利的情况下生鐵的增長能達到原有體積的30%以上。

當加熱不超過600°C時,增長通常不超過3%,只有在很少數的情況達到10%。

收縮 收縮 λ 是以模型大小 V_m 和鑄件大小 V_o 之差對鑄件大小的百分比來表示的:

$$\lambda = \frac{V_m - V_o}{V_o} \times 100 = 100 \lambda \%,$$

式中 λ ——綫收縮係數, t ——溫度。

收縮應分為:1)實際收縮,即相當於冷却凝固的生鐵物理性質;2)約制收縮,這是由於生鐵的收縮力與阻止收縮的熱應力及機械力互起作用的結果而得到的;約制收縮恆較實際收縮為小;3)工藝收縮是當模型從砂型中取出時砂型走樣後的約制收縮所造成的結果;工藝收縮較約制收縮為小,而過度的畸變也可能造成相反的結果;4)完全收縮相當於生鐵自液體狀態凝固及凝固後體積變化的物理性質。

在確定模型尺寸時應該估計到實際收縮及與之相當的約制收縮和工藝收縮,而在計算液體生鐵在冷却、凝固和完全冷透時的體積時則應考慮到完全收縮。

液體生鐵體積 $V_{ж}$ 可以根據固體生鐵體積 $V_{мс}$ 按下列公式來求出:

$$V_{ж} = V_{мс} \left[1 + 3 \frac{\gamma}{100} + \beta_s + \beta_{ж}(T_{ж} - T_s) \right],$$

式中 γ ——實際收縮或工藝收縮; β_s ——生鐵凝固時的體積變化; $\beta_{ж}$ ——液體生鐵的體積膨脹係數; $T_{ж}$ ——液體金屬溫度; T_s ——凝固溫度。

溫度低於和高於珠光體轉化溫度時的實際收縮是不同的。低珠光體收縮可採取等於1%。在這種情況下它將相當於熱膨脹係數

$$\alpha = \frac{1}{100(720 - 20)} = 14 \times 10^{-6}.$$

高珠光體收縮有很大範圍的變動,並且主要取決

於析出的石墨數量,因此元素對這收縮大小的影響決定於析出石墨的數量變化(參閱第5頁)。

高珠光體收縮的絕對值變化範圍係自+1%至-0.5%,亦即在極有利的石墨化條件下能產生生鐵的膨脹而不發生收縮。熱膨脹係數將與此收縮數值相當

$$\alpha = \frac{\text{自}+1.0\text{至}-0.5}{100(1150 - 720)} \\ = \text{自}+23 \times 10^{-6}\text{至}-12 \times 10^{-6}.$$

為了大約估計各個元素的作用趨勢和總的綫實際收縮的大小,可以應用公式[9]:

$$V_o = 1.8 + 0.2(C - 2.5 - P) \\ + 0.03Mn - 0.12(Si + 2C_{\text{石墨}}).$$

應用這公式時應該考慮到石墨化的程度,後者是隨冷却速度的減低而增高的。因此,在乾模中,尤其是在預熱的鑄型中澆注時,以及在液壓半徑增大時,收縮減少。液壓半徑係取決於鑄件體積與其面積之比或截面與其周長之比。由於生鐵吸收氣體,受熱處理的影響和其他原因,所以實在的實際收縮同計算所得的是稍有出入的。

作為概括的計算,可採取下列的實際收縮平均值:

生鐵類別	實際收縮(%)
灰生鐵	1.0
退火前的白生鐵	2.0
按美洲方法退火後的可鍛生鐵	1.0
按歐洲方法退火後的可鍛生鐵	1.7

生鐵的熱性能

熱容量 生鐵的熱容量從屬於其中的組織成分要比從屬於它的化學成分為大,所以能充分精確地根據組織來確定生鐵的熱容量[11, 28]。已知組織成分的生鐵,其熱容量可以照混合法則來求出:

$$c = \frac{\alpha_1 c_1 + \alpha_2 c_2 + \dots + \alpha_n c_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n},$$

式中 $c_1, c_2, \dots, c_n$ ——組織成分的熱容量, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ——組織成分的含量。

組織成分的比熱列在表5中。

在800°C至溶化溫度的範圍內,生鐵的熱容量可以當作是一個不變的常數,等於0.18卡/克·°C[32, 33]。液體生鐵的熱容量亦可當作是不變的常數,等於0.23±0.03卡/克·°C[32, 33]。

在確定生鐵的含熱量時,必須計算珠光體轉變時和熔解時所耗費的潛熱。珠光體轉變時的最大熱效應是在含碳量約0.8%時,這時的熱效應可估計為21.5±1.5卡/克,而當含碳量為0%及6.7%時則均降至0[34]。熔化潛熱可以估計為55±5卡/克[34]。

表5 組織成分的熱容量

溫度 (°C)	熱容量 (卡/克°C)			
	鐵素體 [29]	奧氏體 [30]	滲碳體 [31]	石 墨 [31]
100	0.1107	0.12	0.1480	0.2024
200	0.1161	—	0.1488	0.2248
300	0.1215	—	0.1490	0.2467
400	0.1275	—	0.1505	0.2671
500	0.1337	—	0.1524	0.2865
600	0.1417	—	0.1557	0.3070
700	0.1515	—	0.1559	0.3271
800	0.1650	—	0.1649	0.3460
900	0.1700	—	0.1710	0.3610
1000	—	—	—	0.3755
1100	—	—	—	0.3860
1200	—	—	—	0.3952
1250	—	—	—	0.3992

概括地計算生鐵的熱容量和含熱量可以利用表 6 中的數據和表 7 中的公式來進行[33]。

表6 生鐵的熱容量和含熱量

從0°C到下列溫度(°C):	生 鐵 成 分 (%)					
	3.7C;1.5Si; 0.6Mn;0.15P; 0.07S[35]		4.2C;1.5Si; 0.7Mn;0.12P; 0.02S[31]		普通成分[32]	
	量 容 容 (卡/克°C)	量 熱 含 (卡/克)	量 容 容 (卡/克°C)	量 熱 含 (卡/克)	量 容 容 (卡/克°C)	量 熱 含 (卡/克)
	熱 容 容 (卡/克°C)	熱 容 容 (卡/克°C)	熱 容 容 (卡/克°C)	熱 容 容 (卡/克°C)	熱 容 容 (卡/克°C)	熱 容 容 (卡/克°C)
100	—	—	0.131	13	—	—
200	0.110	22.0	0.134	27	—	—
300	0.118	35.3	0.137	40	—	—
400	0.121	48.5	0.140	54	0.135	54.0
500	0.123	61.7	0.142	70	0.143	71.5
600	0.128	76.6	0.148	87	0.150	90.0
700	0.144	100.7	0.154	107	0.167	116.9
800	0.159	127.3	0.168	132	0.179	143.2
900	0.162	145.4	0.172	153	0.179	161.1
1000	0.161	161.3	0.175	172	0.178	178.0
1100	0.160	176.5	0.178	192	0.176	193.6
1200	0.208	250.0	0.219	260	0.178	213.6①
1300	0.203	264.3	0.218	282	—	—

① 潛熱不計。

重量熱容量 c_γ 乘比重 γ 則得體積熱容量 c_v :

$$c_v = c_\gamma \gamma \text{ 卡/公分}^3\text{°C}.$$

概括地計算 c_v 時, 對固體生鐵可以取 ≈ 1.0 卡/公分³°C; 液體生鐵—— ≈ 1.5 卡/公分³°C。

導熱性 合金和混合物的導熱性不同於熱容量,

表7 生鐵的熱容量和含熱量

溫度 (°C)	有效熱容量 (卡/克°C)	含 熱 量 (卡/克)
0~600	0.123	0.123
600~900	$+0.7 \times 10^{-4} t$ 0.221	$+0.35 \times 10^{-4} t^2$ 0.222 t —46.06
900~熔點	0.181	0.181 t —10.518
高於熔點	0.20~0.21	0.20 t +20.55

它不能按照混合法則來確定。各個元素對生鐵導熱性的影響[11]只能近似地加以確定。按化學成分確定鋼的導熱性的一些公式不適用於生鐵, 因為在這些公式中沒有考慮到組織的變化, 特別是析出石墨的數量[36, 37]。

生鐵的主要組織成分的導熱性見下列數據:

組織成分	導熱性(卡/公分·秒·°C)
鐵素體[36, 38, 39]	0.180±0.005
珠光體[37, 39]	0.122±0.002
奧氏體[40]	0.1
石墨體[37, 41]	0.036±0.001
滲碳體[37]	0.017±0.001

導熱性隨這些組織成分的分散程度的增高而減低[40, 41, 42]。

元素對導熱性的影響是從組織成分的組織改變和成分改變而顯現的。所有被研究過的元素其固溶體的導熱性都較鐵素體的導熱性為低。

碳的影響可從表 8[39]中所列的數據看出。在碳含量開始增加的時候導熱性急劇降低, 繼續增加時降低則比較平穩。總含碳量不變而石墨含量由於滲碳體的分解而有增加時, 將使導熱性提高。

表8 碳對生鐵導熱性的影響

成 分 (%)					組 織 (%)			約 100°C時 的導熱性 (卡/公分·秒·°C)
C	Si	Mn	P	S	鐵素體	珠光體	滲碳體	
微跡	0.092	0.20	0.007	0.014	100.0	—	—	0.175
0.10	0.001	0.34	0.031	0.041	88.0	12.0	—	0.161
0.26	0.140	0.61	0.025	0.053	68.8	31.2	—	0.134
0.44	0.113	0.67	0.024	0.037	47.2	52.8	—	0.129
0.92	0.177	0.56	0.032	0.039	0.0	98.5	1.5	0.120
1.09	0.058	0.46	0.034	0.023	0.0	95.6	4.4	0.118

矽的影響同時表現在幾方面: 矽增加時, 一方面將由於固溶體的形成而使導熱性減低, 而另一方面却將由於滲碳體的分解和石墨析出物的擴大而使導熱性增高。

矽對導熱性所起的作用結果見表 9[15, 39] 中所

表9 矽對生鐵導熱性的影響

成 分 (%)							組 織 (%)			100°C時的導熱性 (卡/公分·秒·°C)
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	鐵素體	珠光體	滲碳體	
3.35	0.65	0.85	0.17	0.12	—	—	—	97.5	—	0.135
3.08	1.24	0.94	0.36	0.08	—	—	2.9	94.8	—	0.128
3.16	1.48	0.97	0.70	0.05	—	—	15.9	81.6	—	0.122
3.25	1.91	0.97	0.81	0.07	—	—	25.4	72.0	—	0.110
2.89	1.87	0.32	0.27	0.05	—	—	10.0	90.0	—	0.112
2.87	2.81	0.28	0.28	0.05	—	—	50.0	50.0	—	0.105
3.02	4.20	0.28	0.39	0.04	—	—	97.5	—	—	0.097
2.75	6.49	—	—	—	—	—	97.5	—	—	0.088 (矽拉耳)
1.81	6.42	—	—	—	18.65	2.02	—	—	97.5	0.070 (鎳鉻矽拉耳)

列數據：在矽含量開始增加時，導熱性急劇降低，繼續增加時則降低趨於緩慢。

錳對導熱性的影響較不明顯，這可對照表 12 中第 4、5、6 等項看出來。

磷的影響見表 10 [39]中所列，這些生鐵的組織大體上是相同的，但磷化物共晶體含量的增加除外。所示導熱性的數據與其他研究者[41, 44]所得數據的差別，可以就磷呈磷化物時降低導熱性比它溶於固溶體中時強烈來說明之。但是即使在退火狀態的鐵素體生鐵中，磷含量的增加也引起導熱性的降低[44]。

表10 磷對生鐵導熱性的影響

化 學 成 分 (%)					導 熱 性 (卡/公分·秒·°C)	
C	Si	Mn	P	S	100°C	400°C
3.34	1.90	0.76	0.18	0.065	0.1165	0.1095
3.40	1.90	0.92	0.59	0.060	0.1150	0.1070
3.30	2.00	1.00	0.95	0.050	0.1110	0.1030

表11 退火對生鐵導熱性的影響

退 火 時 間 (小時)	化 合 碳 (%)	導 熱 性 (卡/公分·秒·°C)	
		100°C	400°C
0	0.68	0.122	0.107
40	0.12	0.136	0.115
80	0.11	0.134	0.116
120	0.09	0.134	0.116
160	0.12	0.130	0.113
200	0.12	0.131	0.112

硫對導熱性的影響尚未經研究，但可認為[11]這一個元素是降低生鐵的導熱性的。

鎳對導熱性的影響與矽相似，這可以從對照表12

[39]中第 6、9 兩項以及表 9 中標號矽拉耳[⊙]和鎳鉻矽拉耳[15]看出來。

鉻對提高導熱性的作用（參閱表12中第 2、3、7 和 8 等項）尚未準確地確定[44]。

銅的影響當它處在溶於鐵的固溶體狀態時是減低導熱性的。當銅以獨立相的形式沉澱時，生鐵的導熱性便開始增高[44]。

鈳使導熱性稍為減低[43]（參閱表12中第10項）。

鎢及鉍對導熱性的影響不清楚[45]（參閱表12中第11項）。

退火的影響在溫度550°C時列在表11中[43]。所用生鐵試樣的成分相當於表 12 中的第 3 項。增加退火時間可以使導熱性提高，但並不是連續不斷地，而是超過一最大值的，這可能是與退火時間過長生鐵部分氧化有關。

導熱性隨着溫度升高而降低（參閱表12），溫度每增高100°C導熱性減小 0.002~0.01卡/公分·秒·°C。

液體生鐵的導熱性可估定為0.04卡/公分·秒·°C。

各種成分生鐵的導熱性列在表12中。在概括地計算時可以應用下列的平均數據：

生鐵類別	導熱性(卡/公分·秒·°C)
退火鐵素體生鐵	0.15~0.17
非合金灰生鐵	0.12~0.16
奧氏體生鐵	0.07~0.09
白生鐵	0.05~0.12

傳溫率 傳溫率表示加熱或冷卻時溫度傳播的速率，它由於導熱率除體積熱容量所得之商來確定。在概括計算時，固體生鐵的傳溫率在數量上可採取與導熱率相等，而液體生鐵則等於0.03公分²/秒。

● 矽拉耳 (Силал) 為一種高矽鑄鐵。——編者