

特殊钢

第一分册

中国工业出版社

特 殊 钢

第 一 分 册

[苏联] 苏联科学院通讯院士 A·C·札依莫夫斯基 主編
技术科学副博士 M·П·别尔恩什杰因

北京編譯社 譯

中 国 工 业 出 版 社

А.С.Займовский
М.Л.Бернштейн
СПЕЦИАЛЬНЫЕ СТАЛИ
ТОМ ПЕРВЫЙ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ
МОСКВА—1959

* * *

特 殊 鋼
(第一分册)
北京編譯社 譯

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯

(北京灯京口71号)

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路西10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $18^{1/2}$ · 插頁 6 · 字数 480,000

1965年5月北京第一版·1965年5月北京第一次印刷

印数 0001—7,940 · 定价 (科七) 3.60 元

*

統一书号: 15165·2995 (冶金-497)

本书是一部較完整的介紹特殊鋼的著作。书中詳細地闡述了合金元素对鋼的組織与性能的影响，列出了許多有关各种牌号鋼的金属学和热处理、用途和应用范围的实际資料。

本书可供車間和工厂实验室的工程技術人員、高等学校和研究机关从事鋼和合金的生产、加工及应用的研究的科学工作人員閱讀，也可供大专学校有关专业学生参考。

本书篇幅較大，上下两卷总共約 160 万字。由于譯者脫稿時間先后不一，并为尽快滿足讀者需要起見，本书中譯本共分 3 册出版。各分册內容如下：

第一分册介紹純鉄及鉄碳合金；

第二分册介紹錳鋼、鎳鋼、鉻鋼、鎢鋼、鉬鋼和鈮鋼；

第三分册介紹鈷鋼、硅鋼以及鋼中的鋁、銅、氧、氮、氢、磷和硫、鉛、鈦、鉍、鉭、鉭、硼、鉍、稀土金屬及其它元素等。

目 录

I. 特殊鋼的应用范围	1
II. 純鉄	4
1. 概論	4
2. 鉄的結晶組織和轉变	6
3. 純鉄的机械性能	11
a. 弹性和塑性变形	12
б. 試驗方法	23
α. 拉伸試驗	24
β. 硬度試驗	34
γ. 反复交变負荷疲劳試驗	37
δ. 应力状态的一般情况。破坏法則	44
ε. 裂断敏感性試驗 (冲击韌性等的測定)	46
ξ. 持久强度試驗	56
η. 特殊的試驗方法和总结性意見	63
B. 单晶体的机械性能	64
r. 多晶体结合体的机械性能	69
α. 在室溫时	69
β. 在高温和低温时	75
4. 物理性能	79
a. 磁性	80
б. 比热	127
B. 热膨胀	130
r. 导电性	132
X. 导热性	141
e. 某些其他的物理性能	143

5. 化学性能	145
6. 純鉄的一些应用实例	150
II. 鉄-碳合金	155
A. 鉄-碳系	155
1. 鉄-碳合金的組織	158
2. 鉄-碳合金中奥氏体过冷时的转变	163
a. 珠光体区域	165
b. 中間区域	181
c. 馬氏体区域	196
3. 性能的改变与转变温度之間的关系	209
4. 鋼的組織在回火时的变化	218
5. 回火时性能的变化	227
6. 与 α -固溶体中碳的存在有关的转变 (低于 A_1 点的过程)	239
a. 溶于 α -鉄中的碳的影响 (弹性后效、磁后效、內耗)	240
b. 碳在晶格缺陷处的不均匀分布	246
α . 明显屈服点的产生	248
β . 淬火后的时效 (弥散硬化)	255
γ . 冷变形后的时效	268
7. 碳化物从 γ -鉄中的析出	278
B. 鉄-碳状态图的实际应用 (热处理)	279
1. 退火	279
a. 扩散退火	279
b. 軟化退火	290
c. 相重結晶退火 (正火、高温退火或粗粒化退火、 珠光体化)	294
d. 消除应力的退火、冷变形和再結晶退火	303
α . 消除应力的退火	303
β . 冷变形	306

γ. 回复和再结晶	313
л. 退火的特点	344
2. 淬火 (强化处理)	359
a. 正常淬火	360
α. 淬火介质和冷却速度	360
β. 淬透性和淬硬性 (淬火敏感性)	367
γ. 淬火敏感性的测定	375
δ. 淬火应力	399
ε. 几点实际见解	407
б. 渗碳 (包括高温氰化)	420
α. 基本原理	420
β. 渗碳温度、保温时间、渗碳剂性质和渗碳 成分 (合金化) 的影响	428
γ. 渗碳对钢的性能的影响	444
в. 各种淬火方法的应用实例	473
г. 在保护气体中的热处理	475
3. 调质处理	480
a. 概论	480
б. 对室温性能的影响	481
в. 调质后性能的均匀性 (深透调质)	486
г. 对低温和高温性能的影响	496
л. 特殊的调质方法	500
e. 回火脆性	505
ж. 回火时其他的脆化现象	521
B. 工业用碳钢	526
1. 工具钢	526
a. 对工具钢的要求	526
б. 化学成分和钢的冶炼方法的影响	530
в. 工具钢按含碳量的分类	537
г. 碳工具钢的特殊应用范围	540
л. 石墨化 (黑色断口)	541

2. 結構鋼	548
a. 商業用鋼	550
b. 調質鋼	565
c. 滲碳鋼	580
3. 碳鋼的物理性能	580
4. 碳鋼的化學性能	582
5. 碳在生產和加工鋼時的影響	584

I. 特殊鋼的应用范围

特殊鋼是一种与普通鋼不同的具有特殊性能的鉄基合金，这些特殊性能是由其化学成分、特殊的生产方法或加工方法造成的。只要具备上述任何一个因素，就可以称为特殊鋼。特殊鋼通常都具有上述三个特点。这种情况也适合于合金元素含量高的合金鋼。在决定这些鋼的使用合理性时，不仅应当考虑合金化的成本，而且应当注意合金鋼在以后加工时的那些优点。由于在許多情况下，即便根据上述三个特征中的一个特征也可以把某些鋼归之于特殊鋼，因此特殊鋼可以根据下列特征划分：

化学成分；

生产方法；

加工方法。

根据化学成分划分的特殊鋼，首先有含镍、铬、钨、钼、钒等合金元素的鉄合金，例如含铬 13% 以上并加有镍、钼等元素的不锈钢。当然，在这些鋼的生产和热处理时，合金化的性质具有很大的意义。

給合金鋼的概念下一个比較正确的定义是有好处的。在生产非合金鋼的过程中，各种合金元素如镍、铜、铬等和炉料（也包括废鋼在內）一起自然而然地进入鋼內。总起来說，其数量約为0.5%。这些杂质对鋼的性能产生的影响一般不大，因此可以不予考虑。把这些鋼叫做合金鋼是錯誤的。另一方面，有时在某种鋼內加入少量的合金元素，即使是0.1% 或不到0.1% 的合金元素，也能把这种鋼认为合金鋼。

凡旨在获得一系列特殊性能而加有一定数量合金元素的鉄合金，都称为合金鋼。

因此，熔炼合金鋼时規定要有目的地加入一定数量的合金元素以便获得一定的性能。

同时应当指出，即使合金元素含量有限（不高），如果鋼获得一定的性能，这种鋼也可列入特殊鋼。因此，根据化学成分，純鉄可以属于特殊鋼。

根据生产方法划分的特殊鋼。許多化学成分相同的鋼——包括由于生产过程而錳和硅的含量极低的非合金鋼——都是用碱性轉炉炼鋼法和酸性轉炉炼鋼法，以及在平炉、电炉或坩堝炉中熔炼的。

选择这种或那种炼鋼法，取决于鋼的用途（应用范围）。例如，大量生产制件（如淬火的鋼軌）用的含碳0.6~0.8%和含錳約0.6~1%的鋼，是用碱性轉炉炼鋼法或在大容量的碱性平炉中熔炼的。制造模子、切削工具等用的、化学成分与上述鋼接近的鋼，可以在平炉或电炉中熔炼。在酸性轉炉和酸性平炉中熔炼的供制造鋸和犁鏵用的鋼，是属于这些鋼的一个特殊組別。因而在这种情况下，术语特殊鋼与生产方法有关。通过对特別純的鉄施以專門渗碳从而获得所需含碳量的所謂“渗碳”鋼，就是表明性能与生产方法之間关系的一个典型例子。

研究像氮、氧、硫、氢和磷这些元素的最少量杂质对鉄合金性能所起的影响，就能够确定由炼鋼过程所引起的一些特点。对冶金規律性的研究証明，在大多数情况下，要使化学成分，特别是少量杂质造成合金的一些特殊性能，只有对这些合金采用一定的生产方法。因此，根据生产方法划分的特殊鋼（考虑到少量杂质的影响），同时也可以看作根据化学成分划分的特殊鋼。

根据加工方法划分的特殊鋼。大部分的鋼是在大容量的平炉或碱性轉炉中熔炼的。鋼在熔炼后要經過热轧或鍛造、热处理，以及例如冷轧、拉伸諸如此类的特殊加工方法，結果便获得預期的特殊性能。深拉用的軟鋼板可作为一个例子。

由上所述可見，特殊鋼的应用范围是非常广的。許多特殊用途的普通鋼的生产和加工特点，使这些鋼也可以称为特殊鋼，而且在这种情况下，研究少量杂质的影响具有重要的意义。为了了解这一

切，應該詳細地研究冶金特点，并叙述鋼的全部熔炼过程及其加工方法。因为这一点很难做到，所以下面主要討論根据化学成分划分的經過相应加工的特殊鋼；在个别情况下，也指出鋼的生产的一些特点。

II. 純 鐵

1. 概 論

高純度的鐵按照上述定义不但可以看作根据制造方法划分的特殊鋼，而且可以看作根据化学成分划分的特殊鋼。純鐵的性能及其变化的可能性，在很大程度上决定了特殊鋼的性能及其加工方法的选择。

虽然近年来在制造极純等級的鐵方面获得了很大的成就，但至今还不可能在生产規模下炼制完全純的鐵^①。目前，采用极純的炉料和改进熔炼的过程，能通过普通冶金方法获得純度从99.8到99.9%的鐵（例如极軟鋼、阿姆克鐵、瑞典鐵）。利用电解法（炼制电解鐵）或羰基法（炼制羰鐵），可以在工业規模內炼制特別純的鐵^②。通过再熔炼或在真空中退火，主要是通过氢气 and 真空中輪流退火，可以从各种“工业純”鐵中去除大部分残存的杂质（氢、氧、碳、氮等等），而使鐵的含量达到99.95~99.98%。近年来，通过将工业純鐵再熔炼和还原而取得极純鐵的方法，获得了特別大

① 附有文献簡評和性能特性的綜合資料，例如見：J.G. Thompson a. H.E. Cleaves, J. Res. Nat. Bur. Stand., 16, 1936, p. 105—130; 23, 1939, p. 163—174; A.E. van Arkel, Reine Metalle, S. 301—327, Berlin, 1941.

② E.K. Offermann, Herstellung und Eigenschaften von Stahl aus Karbonylisen, Dortmund, 1936; E.K. Offermann, H. Buchholz u. E.H. Schulz, Stahl u. Eisen, 56, 1936, S. 1132—1138; A. Mittasch, Z. angew. Chem., 41, 1928, S. 827—833; L. Schlecht, W. Schubardt u. F. Daftschmidt, Z. Elektrochem., 37, 1931, S. 485—492; Stahl u. Eisen, 52, 1932, S. 845—849.

的意义^①；但是，这些方法实质上只能用于实验室目的；所达到的纯度约为99.98%。在实验室的实验中，采用化学方法——使氯化铁或硝酸铁多次重结晶，将其转变为氧化物，再使氧化物在氢中还原，随后在高度真空中烧结或熔化铁——可以保证最高的纯度。这时，铁的含量达到99.99%以上。现在，用这种方法已能得到接近光谱纯度的金属，也就是说只能用光谱分析法才能发现其中的微量铜、钼和硅的铁^②。纯度愈高，用分析法确定残余杂质的存在就愈困难。

随着纯度的增加，纯铁的性能甚至在极小浓度的杂质范围内也会有显著的变化。对金属组织的极微小变化非常敏感的物理性能尤其如此。由此可见，我们对于现已成为人类最重要金属的铁的性能，知道得并不十分精确。各位作者所引用的铁的性能之所以有差别，乃是由于所研究的铁的纯度不同。

表1列出各种等级纯铁的大致成分。

表1 各种等级工业纯铁和极纯铁的化学成分(%)

铁的等级	C	Si	Mn	P	S	O ₂
极软钢.....	0.04	<0.02	0.10	<0.02	<0.035	<0.005
阿姆克铁.....	0.015	0.01	0.02	0.01	0.02	0.15
瑞典铁.....	0.03	0.005	0.005	0.002	0.037	—
电解铁.....	0.008	0.007	0.002	0.006	0.003	—
羰铁.....	0.02	0.01	—	痕迹	0.004	—
极纯铁 ^①	0.001	0.003	0	0.0005	0.0026	0.0004

① 根据 W.F. Roesser 及 H. T. Wenzel 的资料。J. Res. Nat. Bur. Stand., 26, 1941, p. 273—287。

② J.D.Fast. Phillips Techn. Rdsch., 11, 1950, S. 245—248; Stahl u. Eisen, 73, 1953, S. 1484—1496; B.E.Hopkins, G. S. H. Jenkins 及 H.E. N.Stone. J.Iron Steel Inst., 168, 1951, p. 377—383; F.Wever, W.A. Fischer 及 H.Engelbrecht, Stahl u. Eisen, 74, 1954, S. 1515—1521。

② A.Gatterer 及 J.Junkes. Specola Astronomica Vaticana. Comunicazione, № 6, 1938。

2. 鐵的結晶組織和轉變

鐵結晶而形成立方系晶格。隨着溫度的增高，鐵的性能發生不同的變化^①，這些變化部分地與相變^②有關，並對鐵在工業上的運用具有決定性的意義。

在室溫下穩定的鐵的變體，可用 α -鐵表示。這種變體具有體心立方晶格（圖1）。如果作純鐵從室溫至熔點的加熱和冷卻曲線（圖2），那末根據在溫度曲線進程中的某些固定的點，可以確定跳躍式的變化（以曲線上的停點表示）。這些點以 A_2 、 A_3 、 A_4 ^③表示，並且對加熱時測得的點，加一個小符號 c ，而對於冷卻時測得的點加一個小符號 r ，例如 Ac_3 或 Ar_3 。

第一個停點 A_2 出現在 768° ，過去認為這一點是相變的表現。不同於在室溫下穩定的 α -鐵，在 A_2 和 A_3 之間保持穩定的鐵，則以 β -鐵表示之。

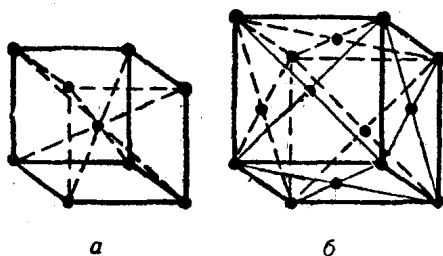


圖1 α -鐵和 γ -鐵的晶格中原子的分布：

a - α -鐵，晶格常數在室溫時為2.86 仟倫琴^④； b - γ -鐵，
晶格常數在 900° 時為3.64 仟倫琴^④。

① 又見“物理性能”一章。

② 根據塔姆曼（Тамман）的意見，相變可以有第一類相變和第二類相變；在第一類相變時，總性能（例如比容或內能）發生跳躍式的變化；第二類相變的特点是只在綜合性能的变化曲線上有所彎折，在單分性能（例如比熱）的变化曲線上出現突變（又見 L.A. Encken, Physik in regel. Ber., 3, 1935, S. 83—84）。

③ 關於 A_4 點請參看“鐵—碳系”。

④ 1 仟倫琴=1.00202 Å。——譯者

业已确定, A_2 点的特点是 α -铁失去了铁磁性 (居里点), 而且这一过程不是突变式地进行, 而是逐渐进行的 (图 3)。X-射线照相研究表明, 从 α -铁转变为 β -铁时, 晶格是不发生变化的。对其余的性能进行研究也证明不发生相变。

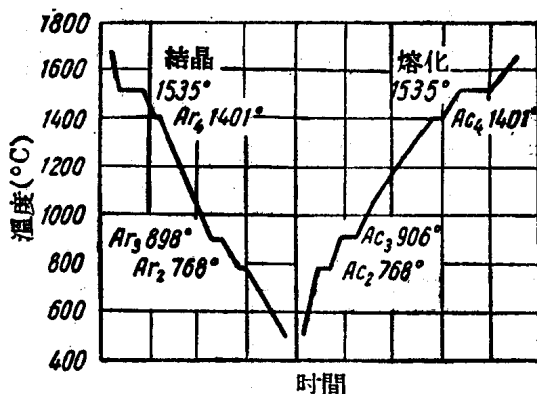


图 2 纯铁的加热 (右) 和冷却 (左) 示意曲线。

引起铁磁性损失和 A_2 点出现的过程, 将在下面有关磁性的一章内讨论。

与 A_2 点不同, 在 A_3 点 (906°) 发生相变, 其特点是晶格的改组和性能的突变。在 A_3 点以下处于稳定状态的体心立方晶格的 α -铁转变为面心立方晶格 (图 1)。这时形成的新相用 γ -铁表示。晶格常数由 2.9 (在 900°) 骤增至 3.6 Å。但因为面心立方晶格中有四个原子属于一个晶胞, 而在体心立方晶格中有二个原子属于一个晶胞, 并且由于原子在面心立方晶格的晶面上较在体心立方晶格的晶面上排列更密集, 所以 γ -铁具有较 α -铁为小的比容。由此可见, 在铁的 α -变体转变为 γ -变体时, 体积同时骤然减小^① (图 4)。

① 根据晏森 (T.D.Yensen. Science, 68, p. 376—377, 1928) 的意见, 在 A_3 点发生的转变是存在杂质, 特别是存在碳的结果。晏森认为, 随着纯度的提高, A_3 点的转变向更高的温度方面移动; 而 A_4 点的转变则移向较低的温度。由此作出结论, 即绝对纯的铁不发生转变。在比较晚的一些研究中 (B.A. Rogers a. K.O. Stamm. Amer. Inst. Min. Met. Engrs., Techn. Publ. № 1388. Metals Techn., 8, №7, p. 1—11, 1941, H.E. Cleaves a. J.M. Hiegel J. Res. Nat. Bur. Stand., 28, p. 643—667, 1942), 确定了高纯度的铁在任何情况下都存在 A_{c3} 点 (910°)。

当 α -铁转变为 γ -铁时，构成原子键的外层电子的能量状态发生变化，比热的变化证实了这点^①。可以认为，这一受温度变化也就是受热能变化的影响而发生的外层电子能量状态的变化，其本身也是相变的一个原因。高的压力会降低 A_s 点，平均每1000公斤/厘米²降低 5°C ^②。铁从 α -状态转变为 γ -状态而引起的性能的变化，对于那些用合金化方法可以在室温下固定 γ -状态的钢，也就是对于奥氏体钢的性能具有极大的意义。各种元素的溶解度的变化，是在铁从 α -状态转变为 γ -状态时发生的一个技术上最重要的性能的变化。例如，碳的溶解度的增加是一切制造和运用钢制件的技术的基础。

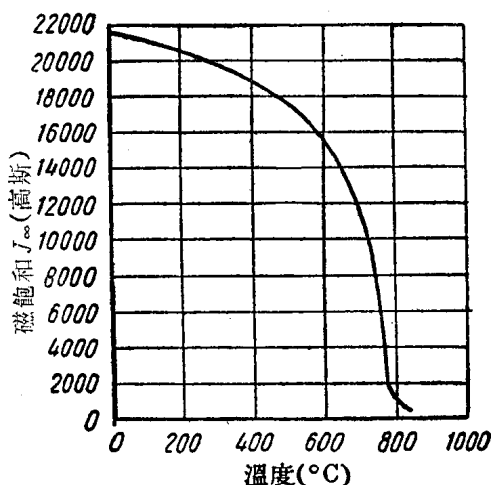


图3 电解铁在改变温度时磁化强度的变化[根据 H. Lange u. K. Mathieu, Mitt. K.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., 20, 1938, S. 239—246]。

必须指出，在加热和冷却曲线上 Ac_3 点位于较 Ar_3 点更高的温度（图2和图4）。可见，滞后现象是 $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ 转变的特点，它决定于加热的速度，或相应的冷却的速度；随着加热（或冷却）速度的增

① H. Schlechtweg. Verh. dtsh. phys. Ges., 19, S. 19—20, 1938.

② G. Tammann u. G. Bandel. Arch. Eisenhüttenw., 7, S. 571—578, 1933—34; F. Birch, Amer. J. Sci., 238, p. 192—211, 1940.

加，转变温度相差（滞后现象）也就愈大。

但是即便温度变化非常缓慢和在转变温度范围内停留时间很长，这一差别也不消失。滞后现象的存在是下列情况的结果：尽管作为转变原因的价电子能量状态的变化是与一定的温度有关的，但是为转变所必需的原子的位移和由此而产生的体积变化仍然需要消耗一定的能量，以便完成与此有关的工作。此能量是由预定温度下和真正转变温度下的自由能之差来保证的：真正转变温度时这两种状态的自由能相等。根据这些概念，利用比较简单的热力学计算就可以求出滞后的值，这个值与实验方法求得值完全一致^①。例如升华作用中获得的、而且原子在层中的位移功非常小的极薄的铁层，在这种极薄的铁层中滞后现象应当消失。实际上，在厚 50 毫微米（约 500 Å）的层内，也出现滞后现象^②。在厚 100 毫微米（约 1000 Å）的层内，滞后现象重新出现（图 5）。

密致铁的滞后值决定于它的纯度。例如威尔斯、阿克莱和梅耳^③发现极纯的铁只滞后 2.5°，但是当存在微量的杂质时，滞后增

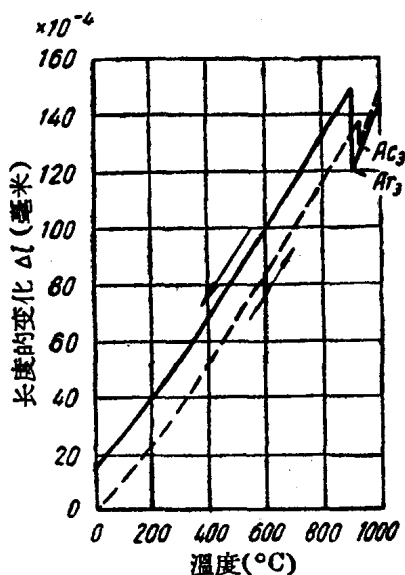


图 4 电解铁的长度随加热和冷却时的温度而发生的变化（利用施捷勃列恩〔Штеблеин〕装置摄得）。

① K. Honda. Sci. Rep. Res. Inst. Tôhoku Univ., A1, p.1—6, 1949. E. Hondremont u. O. Krisement. Arch. Eisenhüttenw., 24, S. 53—68, 1953. 又见 U. Dehlinger. Chem. Phys. der Metalle und Legierungen, Leipzig, 1939.

② E. Hondremont u. O. Rüdiger. Naturwiss., 39 S. 399—400, 1952; Stahl u. Eisen, 74, S. 227, 1954.

③ C. Wells, R. A. Aekley a. R. F. Mehl. Trans. Amer. Soc. Met., 24, p. 46—74, 1936.