

特殊钢

第二分册

中国工业出版社

本书是一部較完整的介紹特殊鋼的著作。原为德文本，中譯本系根据俄譯本轉譯的。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實驗室的工程技術人員、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學生參考。

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、鑲鋼、鉻鋼、鎢鋼、鉬鋼和釩鋼；

第三分册介紹鉍鋼、硅鋼、鋼中的鋁、銅、氧、氮、氫、磷和硫、鉛、鈦、鉍、鉕、硼、鎘、稀土及其它元素等。

參加第二分册譯校的有：

錳鋼由北京編譯社譯；

鑲、鉻鋼由鄭明新、王德明譯，孫一唐校；

鎢、鉬、釩鋼由孫一唐譯，吳兵校。

目 录

IV. 合金鋼	1
A. 合金元素的分类	1
B. 錳鋼	25
1. 总論	25
a. 鉄-錳系	25
6. 含碳的鉄錳合金	30
b. 錳对转变过程的影响	36
r. 关于組織形成的一般見解	42
2. 工具鋼中的錳	45
a. 含錳較高的碳鋼	45
6. 含錳达 2.5% 的錳鋼	46
b. 錳奥氏体工具鋼	49
3. 結構鋼中的錳	54
a. 低合金結構鋼和調质鋼	54
α. 錳对軋制和退火状态鋼的性能的影响	55
β. 錳对調质过程的影响	69
γ. 焊接时裂紋的形成、可焊性和焊縫形成焊接裂紋的敏感性	76
δ. 錳結構鋼的应用范围	78
ε. 錳在高温和低温时的影响	79
6. 奥氏体結構鋼	79
b. 錳結構鋼的特点	81
α. 热处理	81
β. 由冶炼生产所决定的特点	83
r. 錳对渗碳作用的影响	86
4. 錳对鋼的物理性能的影响	89
5. 錳对化学性能的影响	95
6. 有关錳对鋼冶炼和加工过程的影响的一些資料	95
B. 鎳鋼	99
1. 总論	99

a. 鉄-鎳系	99
6. 含碳的鉄鎳合金	107
b. 鎳对相变过程的影响	110
2. 工具鋼中的鎳	117
3. 結構鋼中的鎳	120
a. 总論	120
6. 鎳調质鋼	126
b. 鎳渗碳鋼	133
r. 鎳馬氏体鋼和鎳奧氏体鋼	137
л. 鎳錳奧氏体鋼	138
e. 奧氏体对耐热性的影响	139
4. 具有特殊化学性能的鎳鋼	140
5. 具有特殊物理性能的鎳鋼	144
a. 磁性 (总論)	144
6. 纖維化鉄鎳合金	160
b. 低合金鎳鋼的磁性性能	167
r. 弹性模量和振盪衰减	169
л. 线热膨胀系数	173
e. 热电性能	179
ж. 电阻合金中的鎳	179
з. 导热性	180
6. 鎳鋼冶炼和加工的某些特点	181
Г. 鉻鋼	185
1. 总論	185
a. 鉄-鉻系	185
6. 鉄-鉻-碳合金	193
α. 鉄-鉻-碳三元系	194
β. 鉻和碳对封闭γ-区宽度的影响	201
γ. 鉻对含碳的鉄鉻合金转变性质的影响	203
δ. 鉻对经过淬火的鉄-鉻-碳合金回火时性态的影响	215
b. 鎳和錳对鉻鋼的影响	220
α. 鉻鎳鋼	220

β. 鉻錳鋼	232
2. 工具鋼中的鉻	235
a. 含鉻量低的工具鋼	236
б. 中等含鉻量的工具鋼	237
в. 含鉻量高的工具鋼	239
г. 鉻錳工具鋼	244
д. 鉻鎳工具鋼	245
e. 奧氏体和萊氏体工具鋼中的鉻	247
ж. 鉻工具鋼的热处理特点	249
3. 結構鋼中的鉻	250
a. 調质鋼	250
α. 鉻鋼和鉻錳鋼	250
β. 鉻鎳調质鋼	273
γ. 鉻、鉻鎳和鉻錳調质鋼的低溫和高溫性能	281
б. 鉻对渗碳的影响	284
α. 鉻渗碳鋼	284
β. 鉻錳渗碳鋼	283
γ. 鉻鎳渗碳鋼	291
в. 奧氏体鉻鎳鋼和鉻錳鋼	298
г. 奧氏体-铁素体鉻鎳和鉻錳結構鋼	314
д. 奧氏体和铁素体-奧氏体鉻鎳鋼和鉻錳鋼的脆化現象	317
4. 鉻鋼的物理性能	327
5. 鉻对各种合金鋼耐蝕性能的影响	339
a. 不銹和耐酸合金鋼	339
α. 組織的影响	368
β. 合金成分的影响	372
γ. 几种特殊腐蝕	400
δ. 腐蝕疲劳破坏	426
e. 磨蝕	429
б. 热强合金	429
α. 高溫下的耐蝕性(耐熱性、耐氧化性)	429
β. 耐氧化合金的机械性能	476

в. 以铬为基的化学稳定金属覆盖层	486
6. 铬钢、铬镍钢和铬锰钢的制造及工艺加工	488
а. 炼钢时的特点	489
б. 合金的铸造组织	491
в. 热变形	504
г. 冷加工	509
д. 焊接	511
е. 酸洗	516
Д. 鎢鋼	519
1. 总論	519
а. 鉄-鎢系	519
б. 含碳的鉄鎢合金	522
2. 工具鋼中的鎢	534
а. 鎢鋼	534
б. 鎢鉻鋼	537
3. 机器結構鋼中的鎢	545
а. 調质鋼	545
б. 渗碳鋼中的鎢	553
4. 鎢在具有特殊物理和化学性能的鋼中的应用	556
5. 有关在冶炼和加工鋼时鎢的影响的一些資料	560
Е. 鉬鋼	562
1. 总論	562
а. 鉄-鉬系	562
б. 含碳的鉄鉬合金	565
в. 鉄鉻鎳合金中的鉬	583
2. 工具鋼中的鉬	585
3. 結構鋼中的鉬	594
а. 調质鋼	595
б. 耐热結構鋼	606
в. 关于选择合金調质鋼成分的一般意見	609
г. 渗碳鋼中的鉬	621
д. 关于选择合金渗碳鋼成分的一般意見	625

4. 具有特殊物理性能的鉬鋼	632
5. 耐蝕合金中的鉬	634
6. 有关在冶炼和加工鋼时鉬的影响的一些資料	639
Ж. 鋼鋼	641
1. 总論	641
a. 鉄-鋼系	641
6. 含碳的鉄鋼合金	643
2. 工具鋼中的鋼	659
3. 高速鋼	664
a. 高速鋼的分类	664
α. 高生产率的鋼	665
β. 中等生产率的鋼	668
γ. 低生产率的鋼	668
6. 高速鋼中合金元素的影响	669
b. 高速鋼的組織	680
α. 鑄造状态的組織	680
β. 热处理时組織的变化	685
γ. 高速鋼中碳化物的性质	694
г. 切削生产率以及热处理、硬度和韌性对切削生产率的影响	698
α. 淬火温度	698
β. 加热时的保温時間	700
γ. 冷却介质	704
δ. 回火	705
ε. 硬度	708
ζ. 韌性	711
д. 高速鋼的熔炼、热机械加工和热处理	713
4. 切削合金 (司太立特合金、硬质合金和弥散硬化合金)	724
a. 司太立特合金	724
б. 硬质合金	729
α. 鑄造硬质合金	729
β. 燒結硬质合金	730

γ. 耐腐蝕的燒結硬質合金	742
δ. 耐氧化的硬質合金	743
в. 弥散硬化的切削合金	746
5. 結構鋼中的鈮	746
а. 總論	746
6. 調質鋼	747
в. 鈮結構鋼的低溫和高溫性能	757
г. 滲碳鋼中的鈮	789
6. 鈮對鋼的物理和化學性能的影響	792
7. 在冶煉和加工鋼時鈮的影響	795

IV 合金鋼

A. 合金元素的分类

合金元素对鉄合金的淬透性和其他性能的影响是多种多样的。在二元合金中由于合金元素的影响,改变了多晶转变的温度,首先是 A_3 温度。在含碳合金中,与鉄对碳的亲合力相比,合金元素对碳的亲合力往往决定了碳化物形成的过程。在无碳合金中,形成和析出金属间化合物。因此,在鉄合金中合金元素的分类具有极其繁多的可能性。

早在1890年奥斯蒙德^①就试图解释多种添加物对鉄中所发生的多晶转变的影响,他认为 A_3 点是向较高温度迁移还是向较低温度迁移,这要看加入元素的原子容积比鉄的原子容积大呢还是比鉄的原子容积小而定。后来威维尔^②用比较明显的方法将元素在周期系中的位置与它对温度 A_3 时的相变的特殊作用作了一个对比。

合金元素根据对状态图上 γ -固溶体区的宽度的影响可分为二大类,每一大类又可分为二小类。

第一大类是使鉄的 γ -固溶体区扩大的元素。那就是說,这类合金元素的含量愈高,状态图上 A_4 和 A_3 线的分歧就愈大(图397)。这时应该区别扩大的区域是溶解度无限的 γ -区呢,还是由于出现新的相而使扩大的区域局限于多相区(图398)。

因此可将这一大类合金元素再分为以下二类:

a) 一类元素与鉄一起形成具有均匀的无限固溶体组织的合

① F.Osmond, C.R. Acad. Sci. Paris, 110, 1890, p.346—348.

② F.Weaver, Arch. Eisenhüttenw., 2, 1928—1929, S.739—748.

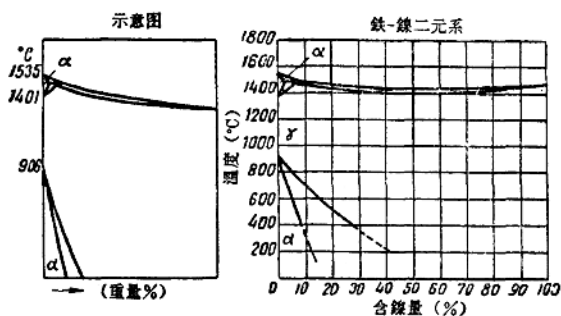


图 397 A_3 转变点下降, A_4 转变点上升至固态线的典型状态图 [根据F. Wever. Arch. Eisenhüttenw., 2, 1928/29, S.739—748.]

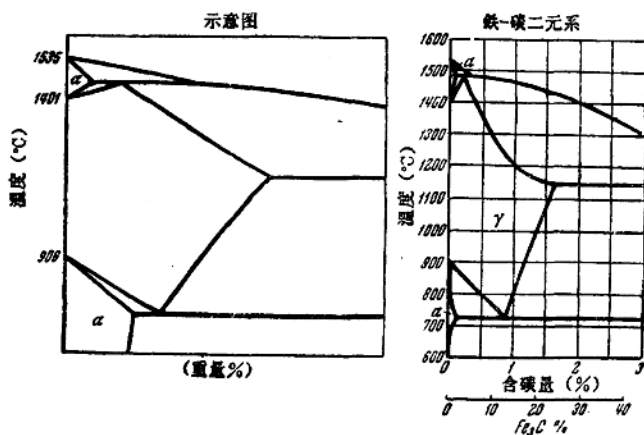


图 398 转变线分歧, 而终止于多相区的典型状态图 [根据F. Wever. Arch. Eisenhüttenw., 2, 1928/29, S.739—748.]

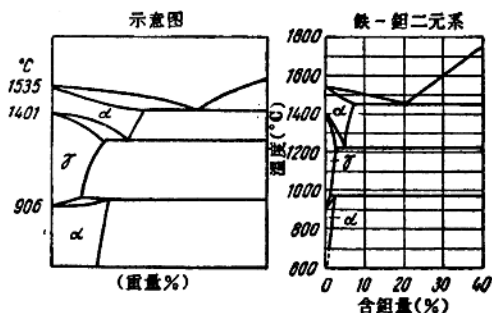


图 400 转变线终于多相区限而连接起来的典型状态图

砷、铝、锡、铟、镉；

属于 26 类的元素有：铌、钽、锆、钽。

也许，应该用合金元素的固有晶格构造来解释合金元素对铁的多相性的不同影响。事实上，第一类（1a 和 16）的大部分元素具有面心立方晶格，与 γ -铁的晶格同型，而与 α -铁同晶型的元素毫无例外地都属于第二类（2a 和 26）。对这个问题进行更详细的研究表明，这样的分类只包括完全溶解度的一些情形，当元素的晶格与铁的两种变态都不处于相同的晶型时，这样的分类显然不适宜。

威维尔得出和奥斯蒙德相同的结论：各种铁合金和合金元素原子容积之间存在着密切的关系。不过，和奥斯蒙德不同，威维尔确定这一关系不仅适用于原子容积或原子半径的绝对值，而且还考虑到原子的半径及其在周期系中位置的关系，也就是实际上考虑到原子的构造。

图 401 上示出各种合金元素对 γ -区域位置的影响与其原子半径以及周期系中原子序数之间的关系。原子半径小的元素（位于曲线上坡），大部分与铁形成具有扩大 γ -区域的合金；原子半径大的元素，特别是那些位于曲线下坡的元素则相反的形成具有缩小 γ -区域的合金，原子半径非常大的元素在铁中不溶解。

以上的分类只能指出某些近似的和普通的规律，因为有许多元素（硅、磷、锰、钴，以及银和镉）一般未列入这一分类。当然，这时应该考虑到在个别情况下原子半径的差别很小，所以没有把握能相当精确地加以测定。

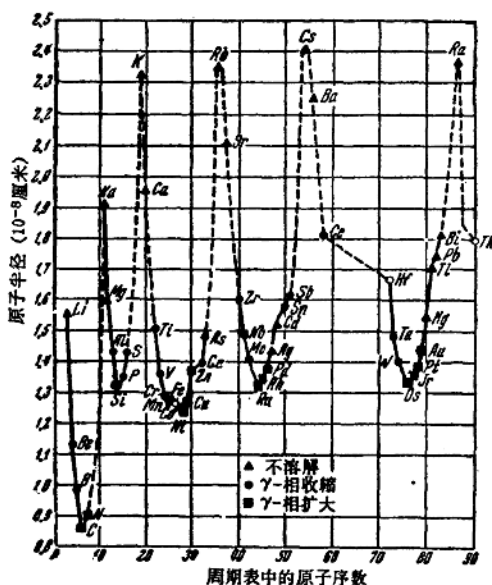


图 401 合金元素对固态铁相变的影响与其原子半径的关系

[根据 F. Wever, Arch. Eisenhüttenw., 2, 1928/29, S. 739—748.]

尽管如此，已经确定的合金元素在周期系中位置的关系可以表明，某种元素的原子构造和它对铁合金性能的影响之间存在着有规律的联系。施累赫特韦格^①曾企图把合金元素对铁合金的影响和合金元素的原子构造联系在一起。

① H. Schlechtweg, Techn. Mitt. Krupp, Forschungsber., 3, 1940, S. 45—47, Z. Metallkde, 32, 1940, S. 18—20.

按照現代金屬物理學的概念，在固溶體中有一種特殊的結合形式，即所謂的金屬鍵，它和有極鍵以及無極鍵（價鍵）同時存在，並且還可能存在過渡型的結合。因此，在固溶體和化合物之間不一定能夠划出明顯的界限（請參看超結構的形成）。不過，在這兩種情況下，原子的外電子層的填滿特點，是一重要的因素。表 71 上列出週期系中的各化學元素，表中注明了各個原子殼層填滿電子的性質，而且用粗綫把完全填滿電子的內層和未完全填滿的外層劃分開。因此，位於粗綫右面的這些電子層是有意義的。

通常在說明原子構造的表中列出單原子氣（對），即隔離原子的電子層結構的數據——見中譯本第 1 分冊表 5；不過應該指出，在固態下電子的分布由於相鄰原子的影響一般說來不可能不改變。研究在固態下原子集合體（結晶格子）的各種物理性能，只能單純象徵性地認為各個原子是具有某種程度的嚴格固定電子狀態的，而這種電子狀態決定了相應的物理性能。如果認為在單原子氣（對）狀態的鐵原子具有的電子排列為 $3d^6 4s^2$ ，那末根據晶體鐵具有鐵磁性這一點可以得出，在絕對零度時固體鐵的原子具有完全不同的電子排列，即 $3d^{7.8} 4s^{0.2}$ 。這一式子表明，從統計學觀點上看，在 $4s$ -殼層上只有 20% 的鐵原子有電子。

因此，研究各種元素對鐵的 A_3 點位置的影響是非常有意義的，這時還要考慮到元素的電子構造。在表 71 中列出合金元素在與鐵化合時其原子所應具有的電子狀態（電子排列）；由此可見，這個表與表 5 不同，表 5 只給出原子氣（對）的電子狀態。有關這個問題的詳盡細節見原著^①。

可以認為（作為大致的規律），金屬中置換固溶體的形成是由空間條件（容積因素）所決定的，而空間條件取決於基本元素和雜質的原子半徑的比例。如果合金組元的原子半徑和母體金屬的原子半徑相差 15% 以上，則照例不形成固溶體。這時晶格中的最小原子間距等於原子的直徑。最好在價電子數目相等的簡單電子排列情況

① H. Schlechtweg, Techn. Mitt. Krupp, Forschungsber., 3, 1940, S. 45—47, Z. Metallkde, 32, 1940, S. 18—20

表 71 固态元素的电子排列

[根据施莱特特书格]

	相变 ^① Δ_s	K 1 s	L 2 $s p$	M 3 $s p d$	N 4 $s p d f$	O 5 $s p d$	P 6 $s p d$	Q 7 s
1H		1						
2He		2						
3Li	△	2	1					
4Be	○	2	1 1					
5B	○	2	2 1					
6C	□	2	2 2					
7N	□	2	2 3					
8O	△	2	2 4					
9F	△	2	2 5					
10Ne		2	2 6					
11Na	△	2	2 6	1				
12Mg	△	2	2 6	2				
13Al	○	2	2 6	2 1				
14Si	○	2	2 6	2 2				
15P	○	2	2 6	2 3				
16S	○	2	2 6	2 4				
17Cl	△	2	2 6	2 5				
18Ar		2	2 6	2 6				
19K		2	2 6	2 6	1			
20Ca		2	2 6	2 6	2			
21Sc		2	2 6	2 6 1	2			
22Ti	○	2	2 6	2 6 3	1			
23V	○	2	2 6	2 6 5				
24Cr	○	2	2 6	2 6 5	1			
25Mn	□	2	2 6	2 6 5	2			
26Fe		2	2 6	2 6 7	1			
27Co	□	2	2 6	2 6 8	1			
28Ni	□	2	2 6	2 6 9	1			
29Cu	□	2	2 6	2 6 9	2			
30Zn	□	2	2 6	2 6 10	2			
31Ga		2	2 6	2 6 10	2 1			
32Ge	○	2	2 6	2 6 10	2 2			
33As	○	2	2 6	2 6 10	2 3			
34Se		2	2 6	2 6 10	2 4			
35Br	△	2	2 6	2 6 10	2 5			
36Kr		2	2 6	2 6 10	2 6			
37Rb		2	2 6	2 6 10	2 6	1		
38Sr		2	2 6	2 6 10	2 6	2		
39Y		2	2 6	2 6 10	2 6 1	2		
40Zr	○	2	2 6	2 6 10	2 6 3	1		
41Nb	○	2	2 6	2 6 10	2 6 5			
42Mo	○	2	2 6	2 6 10	2 6 5	1		
43—		2	2 6	2 6 10	2 6 6	1		
44Ru	□	2	2 6	2 6 10	2 6 7	1		
45Rh	□	2	2 6	2 6 10	2 6 8	1		
46Pd	□	2	2 6	2 6 10	2 6 9	1		

	相变 ^① A_3	K 1 s	L 2 s p	M 3 s p d	N 4 s p d f	O 5 s p d	P 6 s p d	Q 7 s
47Ag	△	2	2 6	2 6 10	2 6 9	1 1		
48Cd	△	2	2 6	2 6 10	2 6 10	1 1		
49In		2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 1		
50Sn	○	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 2		
51Sb	○	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 3		
52Te		2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 4		
53J	△	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 5		
54X		2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6		
55Cs	△	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6	1	
56Ba	△	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6	2	
57La		2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6 1	2	
58Ce	○	2	2 6	2 6 10	2 6 10 1	2 6 1	2	
59Pr		2	2 6	2 6 10	2 6 10 2	2 6 1	2	
60Nd		2	2 6	2 6 10	2 6 10 3	2 6 1	2	
61—		2	2 6	2 6 10	2 6 10 4	2 6 1	2	
62Sm		2	2 6	2 6 10	2 6 10 5	2 6 1	2	
63Eu		2	2 6	2 6 10	2 6 10 6	2 6 1	2	
64Gd		2	2 6	2 6 10	2 6 10 7	2 6 1	2	
65Tb		2	2 6	2 6 10	2 6 10 8	2 6 1	2	
66Dy		2	2 6	2 6 10	2 6 10 9	2 6 1	2	
67Ho		2	2 6	2 6 10	2 6 10 10	2 6 1	2	
68Er		2	2 6	2 6 10	2 6 10 11	2 6 1	2	
69Tm		2	2 6	2 6 10	2 6 10 12	2 6 1	2	
70Yb		2	2 6	2 6 10	2 6 10 13	2 6 1	2	
71Cp		2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 1	2	
72Hf	○	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 2	2	
73Ta	○	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 3	2	
74W	○	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 5	1	
75Re	□	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 5	2	
76Os	□	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 7	1	
77Ir	□	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 8	1	
78Pt	□	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 9	1	
79Au	□	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 9	2	
80Hg	△	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	1 1	
81Tl	△	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 1	
82Pb	△	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 2	
83Bi	△	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 3	
84Po		2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 4	
85—		2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 5	
86Rn		2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	
87—		2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	1
88Ra		2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	2
89Ac		2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 1	2
90Th		2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 2	2
91Pa		2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 3	2
92U		2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 5	1

① △——不溶于铁中；○—— γ -区域缩小；□—— γ -区域扩大。

下研究母体金属和合金元素的原子半径的比例；例如镁和铜的合金具有有利的容积因素；镁和铝的合金较差，而镁和镓的合金具有不利的容积因素。

在铁合金中，由于 $3d$ -层未填满， $3d$ -层和 $4s$ -层重迭，所以电子关系较为复杂；不过上面所说的有关原子半径比例的法則对铁合金基本上也还适用。不溶于铁中的元素一般具有很大的原子半径（图 401），在其他的原子团中也发现溶解度随着原子半径的增大而减小的情况：从钨到钼，从钼到铌和锆，从钒到钛。原子半径很小的元素，例如铁中的碳化氮一般形成间隙固溶体（在间隙固溶体中，杂质的原子分布在晶格中的原子间隙内，它并不替代晶格结点上的基本元素原子，而在置换固溶体中晶格结点上的基本元素的原子被杂质的原子所置换）。

形成固溶体时，熔合元素原子中价电子的排列也具有相当重要的意义。如果不去研究原子半径与铁的原子半径相差很大的元素（因此也就不溶于铁中的元素，或与铁形成间隙固溶体的元素），那末为了形成具有开启 γ -区域的合金，可以指出以下的规律： d -层未填满（ $3d$ 、 $4d$ 或 $5d$ ）的元素使 γ -区域扩大，这些元素在 d -层上至少有 5 个电子，此外还有二个 s -电子，或在 d -层上至少有 6 个电子和一个 s -层电子。

可见， d -和 s -层上的电子总数至少应该有 7 个（见 $Mn-Zn$ 、 $Ru-Pd$ 和 $Re-Au$ 类），因而 $d+s$ -层应填满一半以上，这是铁本身的特点。如果没有填满到这种程度，那末就可能形成以 α -铁体心立方晶格为基的固溶体，这时 γ -区域缩小。电子的分布对晶格构造的影响就是这样。

所发现的上述规律有一部分可能是因为凡 $d+s$ -层填满一半以上的金属结晶时都形成密集晶格：六方晶格或面心立方晶格（与 γ -铁的面心立方晶格同晶形）。

核外电子（价电子）对一个组元是铁类金属的合金的性能的影响可作为一个有趣的例子来计算^①，对铜镍合金就作过这种计算。

① J.C.Slater, Phys. Rev., 49, 1936, S.537—546 u.931—937.