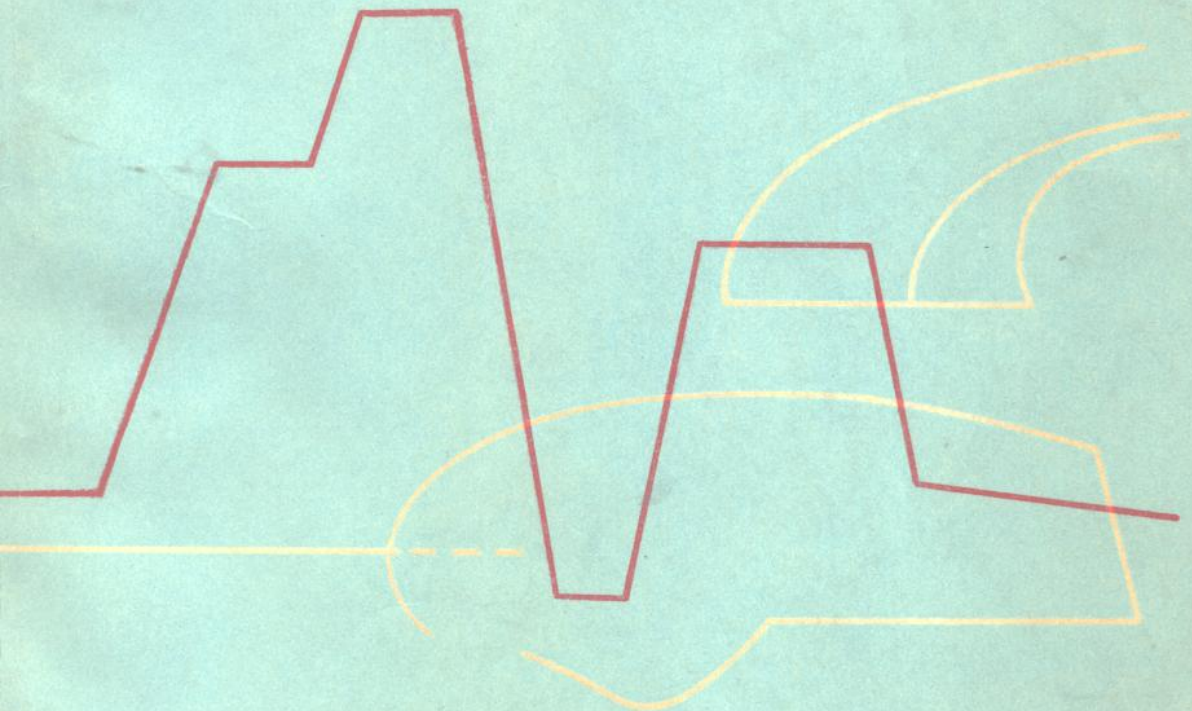




合金钢

《合金钢》编写组编



机械工业出版社

合金钢

《合金钢》编写组 编

本书系统地论述了合金元素在钢中的作用,着重介绍了结构钢、工具钢、特殊性能钢的合金化、热处理、性能和用途。书中内容注意做到理论联系实际,重点介绍了一些典型零件的材料选择和热处理工艺,以加深对理论的理解。

本书可供高等院校和七·二一工人大学金相热处理专业的工农兵学员阅读,也可供具有一定热处理基础知识的工人和有关技术人员参考。

合 金 钢

《合金钢》编写组 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

南京人民印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 15 1/2·字数 379 千字

1978 年 9 月南京第一版·1978 年 9 月南京第一次印刷

印数 00,001--45,000·定价: 1.25 元

*

统一书号: 15033·4449

前 言

伟大领袖和导师毛主席指出：“一个粮食、一个钢铁、有了这两个东西就什么都好办了。”合金钢是社会主义建设事业中不可缺少的金属材料。

解放前的旧中国，钢铁工业十分落后，根本谈不上合金钢的生产。解放后，在党中央和毛主席的英明领导下，在两条路线的激烈斗争中，我国的合金钢生产从无到有，从少到多，从低级到高级，逐步研制了符合我国资源情况的合金钢体系，有许多钢种具有我国自己的特色，并已成功地应用于各工业部门。

无产阶级文化大革命的伟大胜利，极大地解放了生产力。为在本世纪内把我国建设成为一个具有现代工业、现代农业、现代国防、现代科学技术的强大的社会主义国家，一个“抓革命，促生产，促工作，促战备”的高潮正在蓬勃兴起。为了适应当前教育革命和生产发展的需要，满足广大工农兵学员和热处理工作人员学习合金钢知识的迫切愿望，我们编写了这本《合金钢》。

本书由山东工学院、广东工学院、太原工学院、东北重型机械学院、北京工业学院、河北工学院、哈尔滨工业大学、洛阳农机学院、陕西机械学院、黑龙江工学院编写。上海交通大学、北京工业大学、华北农业机械化学学院、河北机电学院、河北机电学校、湖北农机学院及齐齐哈尔钢厂、第一重型机器厂、哈尔滨轴承厂、北京706厂、天津机车车辆工厂、石家庄动力厂、邢台冶金机械修造厂等单位参加了大纲讨论和编审工作。

我们在编写过程中，力求按照辩证唯物主义的观点，坚持理论与实际相结合，努力反映我国合金钢的生产和使用情况。为此，各编写单位深入工厂，进行了广泛的调查研究，并得到有关工厂、科研单位和兄弟院校的大力支持和帮助，在这里我们表示衷心感谢。

由于我们的水平有限，深入实际不够，以及编写时间匆促，其中必有不少缺点和错误，恳切希望广大读者批评指正，以便今后改进。

《合金钢》编写组

1976. 11

目 录

第一章 总论	1
第一节 合金元素与铁、碳的相互作用	1
一、钢中的合金元素	1
二、合金元素与铁的相互作用	2
三、合金元素与碳的相互作用	5
四、合金元素对铁碳状态图的影响	7
五、合金元素在钢中的分布	8
第二节 合金元素对钢的相变和热处理的影响	10
一、合金元素对加热转变的影响	10
二、合金元素对过冷奥氏体转变的影响	12
三、合金元素对淬火钢回火转变的影响	18
第三节 合金元素对钢性能的影响	24
一、合金元素对钢的机械性能的影响	24
二、合金元素对钢的工艺性能的影响	31
第四节 合金钢中常见的冶金缺陷	32
一、白点	32
二、层状断口	36
第五节 合金钢的分类及编号方法	39
一、合金钢的分类	39
二、合金钢的编号方法	40
第二章 合金结构钢	42
第一节 调质钢	42
一、调质钢基本性能要求	42
二、调质钢合金化特点	44
三、调质钢热处理特点	45
四、常用调质钢特点介绍	47
五、进一步提高我国调质钢质量的几个问题	63
六、典型调质钢零件材料与热处理	64
第二节 渗碳钢	72
一、渗碳件工作条件、失效分析及对渗碳钢性能的基本要求	72
二、渗碳钢的合金化	75
三、常用渗碳钢	77
四、渗碳钢的热处理特点及热处理方案选择	84
五、典型渗碳零件钢材选择与热处理	87
第三节 弹簧钢	90
一、弹簧的工作条件及一般要求	90
二、碳素弹簧钢和合金弹簧钢	91
三、热轧弹簧钢的热处理特点	94
四、冷拔弹簧钢丝	98
五、弹簧钢的表面强化	99

第四节 滚动轴承钢	100
一、轴承钢基本性能的要求	100
二、轴承钢的冶金质量对性能的影响	101
三、铬轴承钢的化学成分及热处理	102
四、渗碳轴承钢及其热处理	111
五、不锈轴承钢及其热处理	115
六、高温轴承钢及其热处理	118
第五节 易切削钢	121
一、易切削钢的意义和发展	121
二、切削性的评定依据及常用易切削元素	122
三、常用易切削钢特点	123
第六节 普通低合金钢	126
一、对普通低合金钢性能的基本要求	126
二、碳和合金元素在普通低合金钢中的作用	130
三、我国常用普通低合金钢简介	131
四、低碳马氏体(钢)	132
第七节 超高强度钢	136
一、低合金超高强度钢	138
二、中合金超高强度钢	139
三、沉淀硬化不锈钢	140
四、马氏体时效钢	141
五、基体钢	142
第三章 合金工具钢	143
第一节 刀具钢	143
一、工作条件及要求	143
二、碳素及低合金刀具钢	144
三、高速钢	152
四、硬质合金	173
第二节 量具钢	174
一、工作条件及性能要求	174
二、量具用钢	174
三、热处理特点	175
四、应用实例	176
第三节 模具钢	177
一、冷模具钢	177
二、热模具钢	186
三、新模具材料和热处理发展简介	197
第四节 轧辊用钢	199
一、热轧辊用钢	200
二、冷轧辊用钢	202
第四章 特殊钢	206
第一节 不锈耐酸钢	206
一、金属腐蚀的基本概念	206

二、不锈钢耐酸钢的主要技术要求	208
三、合金元素在不锈钢耐酸钢中的作用	209
四、常用不锈钢耐酸钢及其特性	210
第二节 耐热不起皮钢	217
一、耐热性的基本概念	217
二、合金元素在耐热不起皮钢中的作用	220
三、常用耐热不起皮钢及其特性	221
第三节 耐磨钢	226
一、热处理——水韧处理	226
二、高锰钢的性能特点	228
三、高锰钢的应用	229
四、履带板的代用钢	230
附 录	231
一、国外某些钢的编号方法	231
二、部分常用钢材热处理工艺参数	235

第一章 总 论

本章所要阐述的是,为了合金化的目的而加入钢中的合金元素所起的作用,以及产生这种作用的理论解释。目的是为了从中指出一些规律性的东西,以帮助我们比较深刻地认识并掌握各种不同种类的合金钢及其热处理,并以此为基础继续向尚未认识的,或者尚未深入认识的各个方面进行研究。但是必须指出的是,人们对合金元素在钢中所起作用的认识是经过长期的生产斗争和科学实验,逐步地丰富、发展起来的。迄今为止,人们在这方面的认识还很不全面,不仅对多种元素在钢中的综合作用和制约关系认识不足,就是对单一元素在钢中的作用也未完全掌握。而且事物总是发展着的,人们的认识也都一步一步地由低级向高级发展着的。因此,我们要用辩证唯物论的认识论批判地、发展地看待它。

第一节 合金元素与铁、碳的相互作用

铁、碳和合金元素是合金钢的基本组元。实践证明:正是这三者之间的相互作用,根本改变着钢的各种性能。然而,这三者之间的相互作用是很复杂的。这里我们只对它们之间简单的相互作用,以及合金元素对铁、碳状态图的影响给予研究、讨论。铁、碳之间的相互作用规律在金属学中已研究过了,现在我们来研究合金元素分别与铁和碳之间的相互作用的规律。

一、钢中的合金元素

我们知道,碳素钢亦可称为含碳小于2%的铁碳合金。但决非是仅含铁和碳两种元素。由于冶炼时所用原料以及冶炼方法和工艺操作等的影响,钢中总不免有少量的其它元素存在,如Si、Mn、S、P、Cu、Cr、Ni等。然而这些一般并不作为合金元素看待,而被看成是杂质或残余元素。只有那些做为提高钢的某些性能,有目的地在钢中加入的、含量在一定范围内的元素,才被认为是合金元素。这种钢称为合金钢。

作为合金化目的加入钢中的元素有那些呢?常见的约有如下几种(依其在周期表中的顺序排列):

B、N、Al、Si、Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zr、Nb、Mo、RE、W。

其中, Si、Mn、Mo、W、V、B、RE等是我国富产元素。特别应该指出的是,我国富产的稀土元素在合金钢中的作用,近年来无论在国内还是国外都受到了极大的重视,已成为合金钢发展中的重要课题之一。

稀土合金大致成分见表1-1。

表1-1 稀土合金大致成分

元素名称	Ce	La	Nd	Pr	其它稀土	其它杂质
含量(%)	50~55	23~27	10.8~14.0	4.5~7.0	1.0~1.5	余量

近年来的研究结果表明: 稀土元素不仅对冶炼和铸造性能有着良好的作用, 而且作为微量合金化的目的加入钢中, 在很多方面亦有独特的效应。主要表现在下列几个方面:

- 1) 降低钢中的有害杂质, 如: O、N、H、S 以及 Pb、Bi、Sn 等, 从而净化了晶界。
- 2) 细化晶粒。
- 3) 强化固溶体, 形成新的强化相。

并且实践也证明, 钢中加入微量稀土元素, 对于提高钢的冲击性能, 降低钢的冷脆温度, 提高钢的高温塑性和强度, 改善钢的特殊性能, 如耐热性、耐蚀性及抗氧化性等方面, 都有良好的作用。

二、合金元素与铁的相互作用

实践告诉我们, 在室温下, 纯铁的平衡组织为 α -Fe。钢(指碳素钢)由于碳的加入, 其平衡组织变成了铁素体+珠光体; 或珠光体; 或渗碳体+珠光体等。合金钢的平衡组织, 随着所含

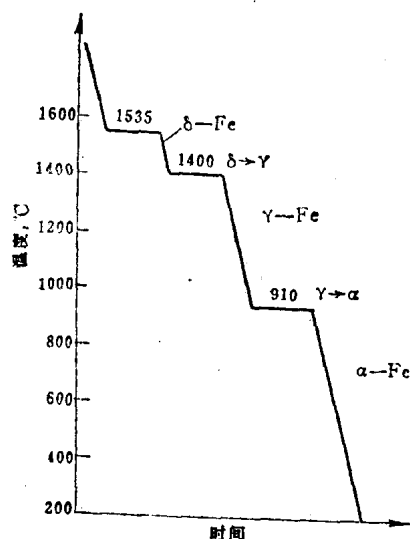


图 1-1 纯铁的冷却曲线

合金元素数量和种类的不同, 差异就更大, 如高锰、高镍钢在室温下仍为奥氏体, 被称为奥氏体钢; 高铬、高硅钢在室温下则为铁素体, 被称为铁素体钢。这是是什么原因造成的呢? 原因固然是多方面的, 但是这些元素与铁的相互作用起着主导的作用。

合金元素与铁之间究竟发生着什么作用呢? 我们知道, 纯铁具有同素异晶转变, 并且这种转变是在一个恒定的温度之下进行的。如 α -Fe 与 γ -Fe 之间的相互转变温度是 910°C, 定为 A_3 ; γ -Fe 与 δ -Fe 之间的相互转变温度是 1390°C, 定为 A_4 。δ-Fe 存在于 A_4 以上, γ -Fe 存在于 $A_3 \sim A_4$ 之间, α -Fe 存在于 A_3 以下。如图 1-1 所示。可是从图 1-2 所示铁碳状态图中我们发现, 由于碳的加入, 这个转变已不再是在一个恒定的温度之下进行, 而是在一个展宽了的温度范围内进行的。

例如, $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ 是在 $A_1 \sim A_3$ 之间进行, 并且其间的 α 相和 γ 相可以在平衡状态下同时存在。同时我们还发现随着含碳量的增加, 各临界点亦有不同程度的相应变化, 如 A_3 有不同程度的下降, 而 A_4 则有不同程度的上升。因而碳素钢与纯铁相比较, 扩大了 γ 区。

不仅如此, 由图 1-2 我们还发现, 随着碳的加入, 还使碳素钢与纯铁相比较出现了新的相变及相变产物。例如, 在 723°C 碳素钢出现了共析转变, 即由单相的奥氏体转变生成了双相的铁素体加渗碳体的珠光体组织。所以碳素钢在室温下的平衡组织与纯铁相比较, 发生了显著的变化。

合金元素与铁的相互作用同碳与铁的相互作用相类似。包括碳元素在内, 按照合金元素与铁相互作用所形成的二元状态图的不同型式, 可将合金元素分为三大类。其中第一、二两类中, 又按元素在铁中的溶解度各分成两组。

第一类: 扩大 γ 区的元素。包括 Ni、Mn、Co、C、N、Cu 等。

这类元素的共同点是使 A_4 点上升, A_3 点下降(钴例外, 当其含量小于 45% 时使 A_3 点上升, 大于 45% 时使 A_3 点下降), 使奥氏体稳定存在的区域扩大。

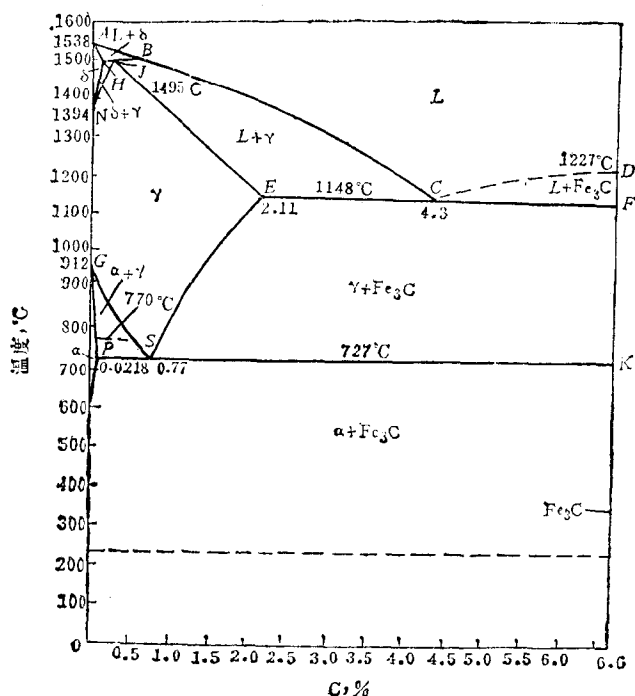


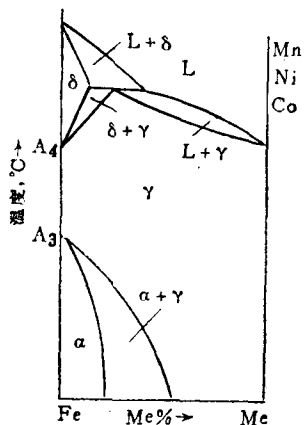
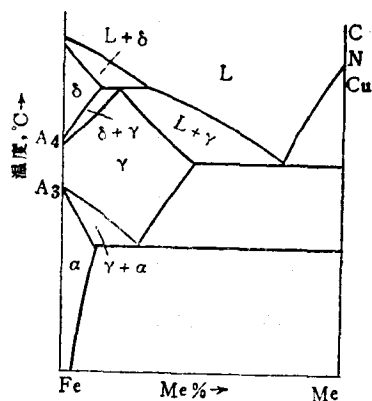
图 1-2 铁碳系平衡相图

前面所述及的高镍、高锰钢之所以在室温下能够获得稳定的奥氏体组织，被称为奥氏体钢，其原因就是高含量的镍或锰与铁作用，扩大了 γ 区，使 A_3 降至室温以下的结果。

在这类元素中，Ni、Mn、Co能和 γ -Fe无限互溶，列为第一组。如图1-3所示。

C、N、Cu只能部分溶解于 γ -Fe中，在 α -Fe中的溶解度更小，列为第二组。如图1-4所示。这组元素含量较低时能扩大 γ 区，但是因为它们在铁中的溶解度是有限的，所以达到某一含量以后， γ 区又逐渐缩小，最后使 γ 区消失。

第二类：形成封闭 γ 区的元素。包括Cr、V、Mo、W、Ti、Si、Al、P、Sb、Sn、Ge、As、Be等。

图 1-3 扩大 γ 区并与 γ -Fe无限互溶的Fe-Me状态图图 1-4 扩大 γ 区，并与 γ -Fe有限互溶的Fe-Me状态图

此类元素的特点与第一类相反,使 A_4 点下降, A_3 点上升(铬稍有例外,其含量小于 7% 时, A_3 点下降,含量大于 7% 时 A_3 点上升)。当这类元素含量达到一定量时, γ 区被一个月牙形的 $\gamma + \alpha(\delta)$ 两相区所封闭而最后消失。因此,高铬、高硅钢与高镍、高锰钢不同,由于铬、硅与铁相互作用,封闭了 γ 区,所以在室温下所获得的组织为铁素体,而被称之为铁素体钢。

在上述元素中只有 Cr、V 能与 α -Fe 无限互溶,列为第一组。如图 1-5 所示。其余只能部分溶解于 α -Fe 中,列为第二组。如图 1-6 所示。

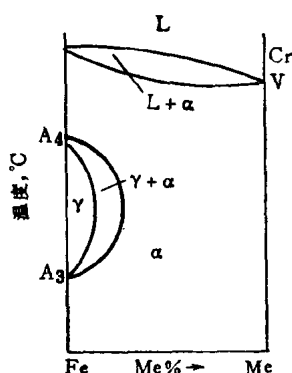


图 1-5 封闭 γ 区,并与 α -Fe 无限互溶的 Fe-Me 状态图

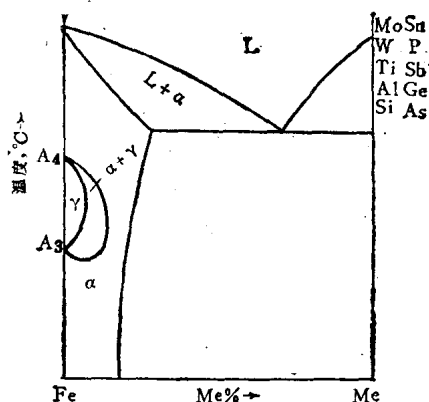


图 1-6 封闭 γ 区,并与 α -Fe 有限互溶的 Fe-Me 状态图

第三类: 缩小 γ 区的元素。包括 B、Nb、Ta、Zr 等。

此类元素近似第二类,即使 A_4 点下降, A_3 点上升,但它们不使 γ 区呈封闭状态,而只是使其缩小,如图 1-7 所示。

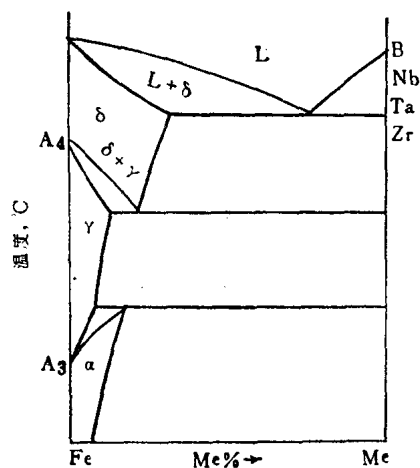


图 1-7 缩小 γ 区的 Fe-Me 状态图

为什么有的合金元素与铁相互作用能扩大 γ 区,而有的是缩小 γ 区呢? 目前对这个问题还没有系统的理论给予完满的解释。这里仅用金属的互溶度来粗略地探讨一下其中的规律。

扩大 γ 区的元素: 此类元素一般都具有与 γ -Fe 相同或极其近似的晶体结构。其中 Ni、Co、Mn 不仅与 γ -Fe 结构相同(或极其近似),而且电化学性质亦很接近(在周期表中位置很靠近),与 γ -Fe 的原子半径差亦很小。因此它们与 γ -Fe 形成无限固溶体。Cu 与 γ -Fe 的晶体结构相同,原子半径也非常相近,在周期表中的位置也处于相邻,这一些似乎决定了铜应该在 γ -Fe 中无限互溶,然而实际上铜虽然扩大 γ 区,但溶解度却很小,这个问题尚待进一步研究。C、N 虽然与铁原子的半径差超出了形成置换固溶体的条件,但是由于其原子半径较铁小得多,能与铁形成间隙固溶体。而且,由于 γ -Fe 内的间隙尺寸比 α -Fe 要大,这类元素在 γ -Fe 中的溶解度大于在 α -Fe 中的溶解度,故它们也能扩大 γ 区。

缩小 γ 区的元素: 除 Al(面心立方)、硅(钻石结构)外,所有缩小 γ 区的元素均为体心立方

结构,与 α -Fe相同。其中Cr、V不仅结构相同,原子半径亦很接近,故与 α -Fe能无限互溶。

按照合金元素对铁同素异晶转变的影响及其在 α -Fe和 γ -Fe中的溶解度,可将常用元素分类列表于1-2中。

表 1-2 按元素与铁的相互作用分类

	与 γ -Fe无限互溶	与 γ -Fe有限互溶	与 α -Fe无限互溶	与 α -Fe有限互溶
扩大 γ 区	Mn、Co、Ni	C、N、Cu	—	Mn、Co、Ni、C、N、Cu
封闭 γ 区	—	Si、Al、Mo、Ti、Cr、V、W	Cr、V	Si、Al、Mo、Ti、W
缩小 γ 区	—	B、Zr、Nb、Ta	—	B、Zr、Nb、Ta

应该指出的是,在上述各铁基二元合金中,元素除溶于 γ 或 α -Fe以外,当元素含量高时还可能形成金属间化合物,例如,在Fe-Cr、Fe-V、Fe-Mo等系中,当条件合适时,可能产生分子式分别相当于FeCr、FeV、FeMo的金属间化合物,一般称之为 σ -相。此问题将在特殊钢中重新遇到,这里暂不多谈。

综上所述,我们分析讨论了合金元素与铁的相互作用,这是很必要的。首先它对生产实践和科研有着直接的指导意义,比如在以后的“不锈钢酸钢”一节中我们将会遇到,为了保证钢具备良好的耐蚀性,需要在室温获得单相组织,就是运用了上述合金元素与Fe相互作用的规律,通过控制钢中合金元素的种类和含量使钢在室温下获得单相的奥氏体或铁素体等组织来实现的。另外它还将有助于我们进而了解合金元素对铁碳状态图的影响,以及有助于我们更深刻地认识合金元素、铁、碳三者之间的关系和相互作用。

三、合金元素与碳的相互作用

合金元素,按照它们与碳之间的相互作用,首先可分为两大类:

(一)非碳化物形成元素 包括Ni、Si、Co、Al、Cu、N、P、S等。它们与碳不形成碳化物,在钢中固溶于铁中,或者形成其它化合物,如氮即可与铁或钢中其它元素形成氮化物。其中硅不仅不与碳形成碳化物,反而在C、Si含量高的钢中使碳游离呈石墨状态存在,即所谓石墨化作用。

(二)碳化物形成元素 包括Fe、Mn、Cr、W、Mo、V、Nb、Zr、Ti等。它们都是过渡族元素,分别属于第4、5、6长周期中的IV_B、V_B、VI_B、VII_B族。

碳化物形成元素都有一个未填满的d-电子层,当形成碳化物时,碳首先将其电子填入元素的d-电子层,从而使形成的碳化物具有金属键结合的性质,并具有金属的特性,如导电性。合金元素与铁原子比较,d-电子层愈是不满,形成碳化物的能力就愈强(也即所谓的与碳具有更大的亲合力),所形成的碳化物也愈稳定。

这些过渡族元素的电子层情况见表1-3。

应该指出的是碳化物的稳定性并不单纯由d-电子层未填满程度来决定。比如金属元素与碳结合生成碳化物时的热效应亦会影响所生成的碳化物的稳定性。一般来说,碳化物的生成热愈大,其稳定性也就愈高。

按照碳化物形成元素所生成的碳化物的稳定程度由强到弱,可将这些元素依次排列如下:
Ti、Zr、Nb、V、Mo、W、Cr、Mn、Fe。

表 1-3 过渡族元素原子的电子层

原 子 序 数	元 素	K	L			M			N				O			P
		1S	2S	2p	2S	3p	3d	4S	4P	4d	4f	5S	5P	5d	6S	
22	Ti	2	2	6	2	6	2	2								
23	V	2	2	6	2	6	3	2								
24	Cr	2	2	6	2	6	5	1								
25	Mn	2	2	6	2	6	5	2								
26	Fe	2	2	6	2	6	6	2								
27	Co	2	2	6	2	6	7	2								
28	Ni	2	2	6	2	6	8	2								
29	Cu	2	2	6	2	6	10	1								
40	Zr	2	2	6	2	6	10	2	6	2	—	2				
41	Nb	2	2	6	2	6	10	2	6	4	—	1				
42	Mo	2	2	6	2	6	10	2	6	5	—	1				
73	Ta	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	3	2	
74	W	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	4	2	

上述这些元素所形成的碳化物,按照其晶格类型又可分成两类:

1. 当 $\frac{r_c}{r_{Me}} > 0.59$ (其中 r_c ——碳原子半径, r_{Me} ——碳化物形成元素的原子半径) 时, 碳与合金元素形成一种晶格复杂的碳化物, 这种晶格是由按照严格规律定位的金属离子和碳离子所构成的。Cr、Mn、Fe 属于这一类元素, 它们形成下列形式的碳化物: $Cr_{23}C_6$ 、 Cr_7C_3 、 Mn_3C 、 Fe_3C 等 (由左至右稳定性依次降低)。

2. 当 $\frac{r_c}{r_{Me}} < 0.59$ 时形成晶格简单的间隙相, 在间隙相中, 金属原子一般形成具有配位数 12 的六方晶系或立方晶系结构, 碳原子在金属原子所形成的点阵中没有固定的位置, 它们填塞于金属原子点阵的空隙。Mo、W、V、Ti、Nb、Ta、Zr 均属于此类, 它们所形成的碳化物是:

MeX 型: WC、VC、TiC、NbC、TaC、ZrC。

Me₂X 型: W₂C、Mo₂C、Ta₂C。

此类碳化物具有下列特点:

(1) 此类碳化物比第一种类型碳化物的硬度稍高。可是, 这种区别实际上并未反映在钢的硬度上, 碳化物影响钢的硬度主要决定于碳化物的数量和弥散度。

(2) 具有很高的熔点, 可高达 3000°C 以上, 并有高的分解温度, 往往在 1200°C 以上。

(3) 间隙相碳化物虽含有 50~60% 非金属原子, 但是仍具有明显的金属特性。

(4) 可以溶入各该金属原子, 呈缺位式固溶体形式, 在合金钢中常遇到这类碳化物, 其成分偏离分子式。

然而实际上钢中的碳化物, 除上述两种类型外, 在某些条件的影响下, 还可出现下述两种

情况：一种是当合金元素含量很少时，合金元素将不能形成自己特有的碳化物，只能置换渗碳体中的铁原子，常以合金渗碳体的形式出现，如： $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ 、 $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ 等；另一种是合金元素含量有所升高，但仍不能构成足以生成自己特有的碳化物，这时将生成具有复杂结构的合金碳化物，如： $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ 、 $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$ 、 $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$ 等，仍属第一类。

通常称 Fe_3C 及合金渗碳体为渗碳体型碳化物，称 Cr、Mo、W、V、Ti 等中、强碳化物形成元素所生成的碳化物为特殊碳化物，如： Cr_7C_3 、 Cr_{23}C_6 、 MeX 、 Me_2X 型，以及 $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$ 、 $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$ 等具有复杂结构的合金碳化物。然而，所有两种以上金属元素与碳形成的碳化物又可统称为多元碳化物或复合碳化物。

合金元素与碳的相互作用具有重要的实际意义。一方面它关系到所形成的碳化物的种类、性质和在钢中的分布。而所有这些都会直接影响到钢的性能，如钢的强度、硬度、耐磨性以及塑性、韧性、红硬性和某些特殊性能等。同时对钢的热处理亦有较大影响，如奥氏体化的温度和时间，奥氏体晶粒度的长大等。另一方面由于合金元素与碳有着不同的亲和力，对相变过程中碳的扩散速度亦有较大影响；如：强碳化物形成元素阻碍碳的扩散，降低碳原子的扩散速度，而弱碳化物形成元素锰以及大多数非碳化物形成元素就无此作用，甚至某些元素（如钴）相反还有增大碳原子扩散速度的作用。因而合金元素与碳的作用对钢的相变有重要的影响。对此，后叙章节都有专门讨论，这里不再详述。

四、合金元素对铁碳状态图的影响

在合金钢中都是三元以上的组元相互作用相互联系的。因此，只了解 Fe-C 和 Fe-Me 状态图，以及合金元素与碳的相互作用显然是不够的，需要建立起三元或多元状态图，如 Fe-Mn-C、Fe-Cr-C、Fe-Cr-Ni-C 等来作为研究合金钢组织和相变的基础。

但是，正如前述，这三者之间的相互作用是极其复杂的，目前对三元状态图，尤其是多元状态图的研究还很不充分。因此，实际上人们总是习惯以铁碳状态图为出发点，再考虑合金元素对它的影响，以此来作为研究合金钢组织和相变的参考基础。同时，钢在热处理时又往往是把它加热到奥氏体区，然后依不同速度冷却来获得所需要的组织和性能。所以我们将着重讨论合金元素对铁碳状态图中 γ 相区的影响。

（一）对 S、E 点的影响

图 1-8 和图 1-9 为铬和锰对 γ 相区的影响。从图可以明显看出，合金元素增多时相界移

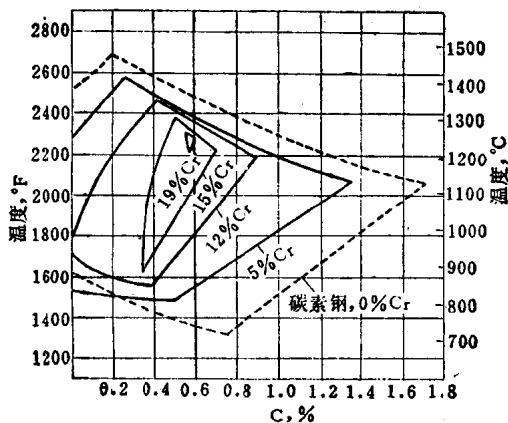


图 1-8 铬对 γ 区的影响

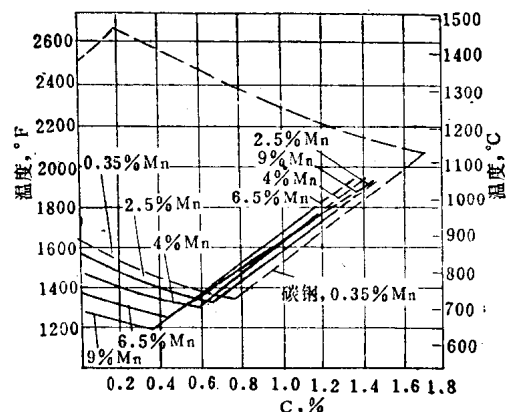


图 1-9 锰对 γ 区的影响

动的情况。

总结合金元素对 S、E 点的影响,可得出如下规律:

凡能扩大 γ 相区的元素均使 S、E 点向左下方移动(如 Mn、Ni 等);

凡是封闭 γ 相区的元素均使 S、E 点向左上方移动(如 Cr、Mo、Si 等)。

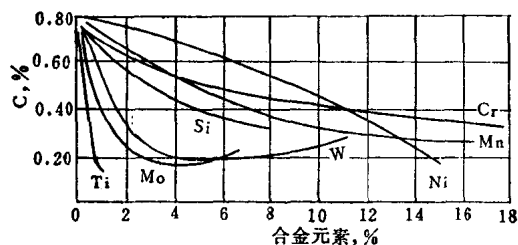


图 1-10 合金元素对共析成分的影响

合金元素对 S、E 点的影响规律,对实际热处理生产有着重要的意义。S 点左移,即表示共析含碳量减小,例如,一般碳素钢共析成分含碳量为 0.8%。而当钢中含铬 12% 时,共析含碳量即移至 0.4% 附近。这样一来,原属亚共析成分(0.4% C)的碳钢,当加入其中的铬含量稍大于 12% 时,即变成过共析钢,如含 0.4% C, 13% Cr 的 4Cr13 不锈钢就属于过共析钢。图 1-10 表示出了常用合金元素溶入奥氏体后对钢共析成分的影响。

应该指出,在实际生产中强碳化物形成元素,如 V、Ti、Nb、Zr 等加入钢中后,将形成稳定的碳化物。这些稳定的碳化物在热处理加热时不容易溶入奥氏体中,即在高温时组织仍为奥氏体和碳化物,这样不仅合金元素未充分溶入奥氏体,不能发挥其作用,同时还占据了奥氏体中的碳含量,使之低于钢中碳的平均含量。因而,为了满足奥氏体向珠光体转变时碳的浓度条件,钢中需要的碳含量不是更少些,而是更多些。

E 点向左移动,就意味着出现莱氏体的碳含量降低。我们知道一般碳钢中不存在莱氏体组织,但是当加入大量的合金元素(如某些高合金钢)时,尽管碳含量仅有 1% 左右,钢中却已出现莱氏体组织,如高速钢含碳只有 0.8% 左右,但其属于莱氏体钢。

(二) 对临界点的影响

由图 1-8、图 1-9 可见,合金元素的加入会影响 S 点,GS、ES 线的上下移动。

S 点、GS 线向下移动表明临界点 A_1 和 A_3 点下降, S 点、GS、ES 线向上移动表明临界点 A_1 、 A_3 和 A_{cm} 点上升。常用几种合金元素对共析温度的影响如图 1-11 所示。

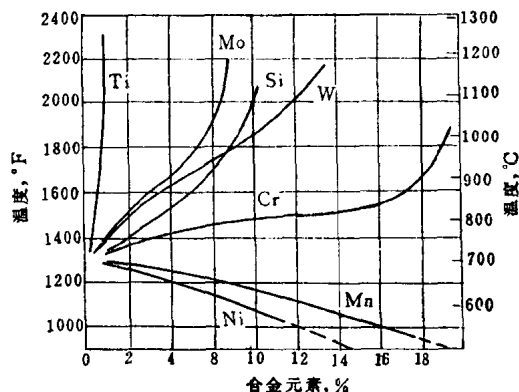


图 1-11 合金元素对共析温度的影响

五、合金元素在钢中的分布

前面我们讨论了合金元素分别与铁和碳的相互作用以及合金元素对铁、碳相图的影响。透过这些分析和研究,即可使我们初步建立起一个合金元素、铁、碳等三者之间相互作用规律的概貌,为我们进而讨论合金元素对钢的相变以及性能的影响打下基础。然而仅就此还是不够的,铬在不锈钢中是良好的抗蚀性元素,但必须是在充分溶入固溶体中才能发挥其效应,否则钢中虽然加入了铬,如铬与碳结合形成了碳化物,则不能发挥其提高钢抗蚀性的作用。与此相反,在某些情况下,例如在 42Mn2V 等锰、钒合金结构钢中,加入钒是为了在钢中形成部分细小弥散分布的钒的碳化物,以细化晶粒、降低锰的过热敏感性;可是如若淬火加热温度过高,

钒的碳化物将大部或全部溶解进入奥氏体,上述作用就会消失,从而达不到预期的效果。

因此,并不是一旦合金元素加入钢中就能发挥出其应有的作用,合金元素能不能发挥出预期的效应还需视合金元素在钢中的存在形式及分布状况决定。并且无数事实也一再表明,即使是同一种钢,但由于合金元素的存在形式以及分布状况不同,它们的机械性能也将会有显著的不同。

究竟合金元素在钢中有哪些存在形式,其分布状况又是如何变化的呢?

(一) 合金元素在钢中的存在形式

我们已经知道,不同合金元素与铁和碳作用反映出的特性是不同的,非碳化物形成元素,只以原子状态存在于奥氏体或铁素体中,如 Si、Al、Cu、Ni、Co 等。而强碳化物形成元素和碳有极强的亲和力,只要有足够的碳,在平衡状态下,就形成它们自己特殊的碳化物,仅在缺少碳的情况下,才以原子状态进入固溶体,如 V、Zr、Nb、Ta 等。其它碳化物形成元素介于这两者之间,一部分进入固溶体,另一部分进入渗碳体,形成合金渗碳体。但当含量超过一定限度时(除锰外)又将形成它们自己的特殊碳化物,如 $(\text{FeCr})_7\text{C}_3$ 、 $(\text{FeW})_6\text{C}$ 等,这类元素在碳化物中的浓度,一般都高于在奥氏体或铁素体中的浓度,同时碳化物形成元素在钢中的分布还将受合金元素的含量以及碳含量的影响。因此,根据合金元素的这些不同特性,在不同外界条件的影响下,合金元素在钢中将会出现不同的存在形式:

1. 溶入固溶体中(铁素体、奥氏体);
2. 形成各种碳化物;
3. 存在于夹杂物中,一些比较活泼的元素,能与钢中 O、N 化合成稳定的氧化物和氮化物,如 TiO_2 、 AlN 、 TiN 、 ZrN 等。Ce、Zr、Mn 也能与钢中的硫化合,形成硫化物夹杂;
4. 存在于金属间化合物中,如 σ -相中;
5. 合金元素的含量超过它在钢中的溶解度后,将以较纯的金属相存在,如 Cu、Pb 等。

因此,一般说来,合金元素在钢中的分布是不均匀的。要确切判定合金元素在钢中的作用,还有必要弄清楚合金元素在钢中的分布状况。

(二) 合金元素在钢中的分布

前已述及,由于合金元素与铁、碳作用表现出不同的特性,因而合金元素在钢中的分布是不均匀的。不仅如此,合金元素在钢中的分布还受热处理工艺条件的直接影响。如:加热温度和保温时间影响合金元素(化合物)的溶解度,冷却速度则影响合金元素的析出程度。所以我们只能分别讨论在退火、正火、淬火、回火状态下合金元素在钢中的分布。

1. 退火状态下:

非碳化物形成元素 Ni、Si、Al、Co 等,基本上溶于铁素体中,在碳化物中的溶解度极微。碳化物形成元素,当钢中这类元素含量较少,碳量又足够时,则它们大部分处于碳化物中(或者形成合金渗碳体,或者形成特殊碳化物)。其中锰稍有例外,它的一小部分溶于渗碳体,而大部分则溶入铁素体中。当钢中这类元素含量较高,而碳量不足于使之全部形成碳化物时,则和碳亲和力较大的元素,优先形成碳化物,如有余量则溶入铁素体中。而与碳亲和力较小的元素则全部溶入铁素体中。

2. 在正火状态下:

一般在正火状态下钢材具有铁素体+珠光体的组织,合金元素的分布与在退火状态下的分布没有质的差别,而有些钢材经正火处理后可形成贝氏体组织或马氏体组织,合金元素在钢

中的分布与淬火状态下的分布相类似,因此不在此讨论。

3. 淬火状态下:

在淬火状态下,合金元素的分布与淬火加热温度有关。加热时溶入奥氏体的合金元素,淬火后将存在于马氏体及残余奥氏体中。加热时不溶入奥氏体的碳化物,在淬火钢中通常以独立相存在。

对于工具钢通用的不完全淬火来说,淬火后总会残余一部分碳化物,这些碳化物往往包含着大部分强烈碳化物形成元素,如 Ti、V 等。如钢中有几种碳化物形成元素,那么在加热时,一些不太强烈的碳化物形成元素,将先溶入奥氏体中,经淬火后,即处于马氏体和残余奥氏体中。

4. 在回火状态下:

淬火钢低温回火,由于温度低,合金元素不能扩散,将不会引起合金元素的重新分布。当回火温度升高到 400°C 以上时,合金元素进行重新分布,非碳化物形成元素进入铁素体,碳化物形成元素进入碳化物相。重新分布的剧烈程度决定于回火温度和回火时间。对于每一种合金元素,都存在着一个一定的温度,在这个温度以上回火时合金元素重新分布的过程开始显著加速,对锰这一温度为 350°C,铬为 450°C,钨为 550°C,钼为 600°C,钒为 650°C。表 1-4 列举了结构钢中合金元素在各种状态下在各相中的分布。

表 1-4 结构钢中合金元素在各种状态下在各相中的分布

热 处 理	合 金 元 素		
	在铁的固溶体中	在碳化物中	非金属夹杂物
退 火	Ni、Si、Al、Cu、 Mn 、 Cr、Mo、W	Mn、 Cr 、 Mo 、 W 、 V、Nb、Zr、Ti	MnO、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Cr ₂ O ₃ 、 V ₂ O ₅ 、WO ₃
淬 火	Ni、Si、Al、Cu、Mn、 Cr、Mo、W、V	V 、Nb、Zr、Ti	TiO ₂ 、MnS、ZrS ₂
600°C 回火(调质)	Ni、Si、Al、Cu、 Mn 、 Cr、Mo、W、V	Mn、 Cr 、 Mo 、 W 、 V 、Nb、Zr、Ti	(MnFe)S

注: 有□者表示此元素有两种可能存在形式时,其中最可能者。

第二节 合金元素对钢的相变和热处理的影响

一、合金元素对加热转变的影响

合金钢加热时,奥氏体化的过程与碳钢相同,即包括奥氏体的形成、残余碳化物的溶解、奥氏体的均匀化和奥氏体的晶粒长大等四个阶段。合金元素的存在将影响上述不同阶段的变化过程,以下分段进行分析。

(一) 对奥氏体形成速度的影响

合金元素加入钢中,一方面改变了奥氏体的形成温度,即改变了 A_1 、 A_3 、 A_{cm} 点的位置,