

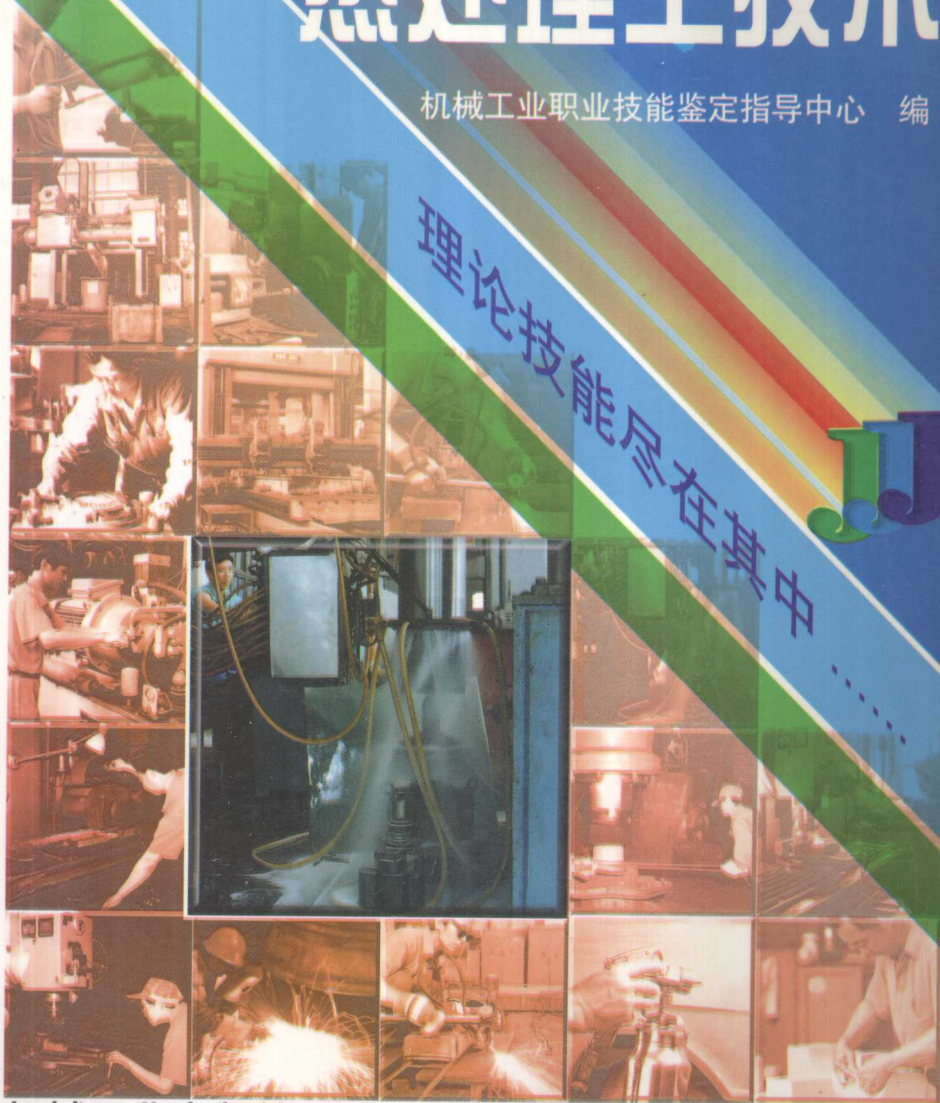
机械工人职业技能培训教材

中级

热处理工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

理论技能尽在其中



机械工业出版社

机械工人职业技能培训教材

中级热处理工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编



机械工业出版社

本书是根据原劳动部、机械工业部颁发的《职业技能鉴定规范(考核大纲)中级热处理工》编写的。内容包括:合金钢基本知识;合金结构钢及热处理;合金工具钢及热处理;钢的表面淬火;钢的化学热处理;铸铁及其热处理;工艺编制与生产技术管理。全书共分七章。

本书将理论知识和操作技能有机地结合起来,具有实用性、针对性、通用性强的特点。

本书可供中级热处理工、初中级本专业技术人员以及从事机械工人职业技能培训的人员参考。

中级热处理工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

*

责任编辑:俞逢英 版式设计:霍永明

封面设计:姚毅 责任校对:魏俊云

责任印制:何全君

*

机械工业出版社出版(北京市百万庄大街22号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 850mm×1168mm^{1/32}·印张 10.625·字数 278千字

1999年5月第1版第1次印刷

印数 0 001—4000·定价:18.00元

*

ISBN 7-111-01938-5/TG·1287

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

机械工人职业技能培训教材与试题库

编审委员会名单

(按姓氏笔画排列)

主任委员	邵奇惠			
副主任委员	史丽雯	李成云	苏泽民	陈瑞藻
	谷政协	张文利	郝广发	(常务)
委员	于新民	田力飞	田永康	关连英
	刘亚琴	孙旭	李明全	李玲
	李超群	吴志清	张岚	张佩娟
	邵正元	杨国林	范申平	姜世勇
	赵惠敏	施斌	徐顺年	董无岸
技术顾问	杨溥泉			
本书主编	王英杰	参编	王英杰	孙秀芬
			张世民	林信智
本书主审	常建业			

前 言

这套教材及试题库是为了与原劳动部、机械工业部联合颁发的机械工业《职业技能鉴定规范》配套,为了提高广大机械工人的职业技能水平而编写的。

三百六十行,各行各业对从业人员都有自己特有的职业技能要求。从业人员必须熟练地掌握本行业、本岗位的职业技能,具备一定的包括职业技能在内的职业素质,才能胜任工作,把工作做好,为社会做出应有的贡献,实现自己的人生价值。

机械制造业是技术密集型的行业。这个行业对其职工职业素质的要求比较高。在科学技术迅速发展的今天,更是这样。机械行业职工队伍的一半以上是技术工人。他们是企业的主体,是振兴和发展我国机械工业极其重要的技术力量。技术工人队伍的素质如何,直接关系到行业、企业的生存和发展。在市场经济条件下,企业之间的竞争,归根结底是人才的竞争。优秀的技术工人是企业各类人才中重要的组成部分。企业必须有一支高素质的技术工人队伍,有一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠,才能保证产品质量,提高生产效率,降低物质消耗,使企业获得经济效益;才能支持企业不断推出新产品去占领市场,在激烈的市场竞争中立于不败之地。

机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训,重视工人培训教材等基础建设工作,并在几十年的实践中积累了丰富的经验。尤其是在“七五”和“八五”期间,先后组织编写出版了《机械工人技术理论培训教材》149种,《机械工人操作技能培训教材》85种,以及配套的习题集、试题库和各种辅助性教材共约700种,基本满足了机械行业工人职业培训的需要。上述各类教材以其行业针对性、实用性强,职业工种覆盖面广,层次齐备和成龙配套等特

点,受到全国机械行业工人培训、考核部门和广大机械工人的欢迎。

1994年以来,我国相继颁布了《劳动法》、《职业教育法》,逐步推行了职业技能鉴定和职业资格证书制度。我国的职业技能培训开始走上了法制化轨道。为适应新形势的要求,进一步提高机械行业技术工人队伍的素质,实现机械、汽车工业跨世纪的战略目标,我们在组织修改、修订《机械工人技术理论培训教材》,使其以新的面貌继续发挥在行业工人职业培训工作中的作用的同时,又组织编写了这套《机械工人职业技能培训教材》和《技能鉴定考核题库》,共87种,以更好地满足行业和社会的需要。

《机械工人职业技能培训教材》是依据原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》编写的,包括18个机械工业通用工种。各工种均按《职业技能鉴定规范》中初、中、高三级“知识要求”(主要是“专业知识”部分)和“技能要求”分三册编写,适合于不同等级工人职业培训、自学和参加鉴定考核使用;对多个工种有共同要求的“基本知识”如识图、制图知识等,另编写了公共教材,以利于单科培训和工人自学提高。题库分别按工种和学科编写。

本套教材继续保持了行业针对性强和注重实用性的特点,采用了国家最新标准、法定计量单位和最新名词、术语;各工种教材则更加突出了理论和实践的结合,将“专业知识”和“操作技能”有机地融于一体,形成了本套教材的一个新的特色。

本套教材是由机械工业相对集中和发达的上海、天津、江苏、山东、四川、安徽、沈阳等地区机械行业管理部门和中国第一汽车集团公司等企业组织有关专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师编写的。在此,谨向为编写本套教材付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢!教材中难免存在不足和错误,诚恳希望专家和广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 合金钢基本知识	1
第一节 合金元素与铁、碳的作用	1
第二节 合金元素对钢热处理的影响	7
复习思考题	12
第二章 合金结构钢及其热处理	13
第一节 合金调质钢及其热处理	13
第二节 合金弹簧钢及其热处理	24
第三节 滚动轴承钢及其热处理	37
复习思考题	53
第三章 合金工具钢及其热处理	54
第一节 合金刀具钢及其热处理	54
第二节 合金模具钢及其热处理	85
第三节 合金量具钢及其热处理	115
复习思考题	122
第四章 钢的表面淬火	123
第一节 感应加热原理	123
第二节 感应加热表面淬火的工艺制定	130
第三节 感应加热淬火设备及其工艺调整	150
第四节 感应器	165
第五节 火焰加热表面淬火	175
复习思考题	188
第五章 钢的化学热处理	189
第一节 钢的渗碳	189
第二节 钢的渗氮	210
第三节 钢的碳氮共渗	250
第四节 其它化学热处理	264

复习思考题	264
第六章 铸铁及其热处理	265
第一节 铸铁的石墨化	265
第二节 灰铸铁的热处理	288
第三节 球墨铸铁的热处理	296
第四节 可锻铸铁的热处理	305
第五节 灰铸铁和球墨铸铁的其它热处理	309
复习思考题	314
第七章 工艺编制与生产技术管理	315
第一节 工艺文件编制	315
第二节 生产技术管理知识	323
复习思考题	329

第一章 合金钢基本知识

培训要求 了解合金元素与铁、碳的相互作用，熟悉常用合金元素对钢的临界点及热处理过程中组织转变的影响。

有意向碳素钢中加入一种或几种合金元素的过程，称为钢的合金化，其目的是为了提高钢的某些性能。本章所阐述的是由合金化而加入钢中的合金元素所起的作用，以及对钢的相变和热处理的影响，为更好地掌握合金钢的热处理打下基础。

第一节 合金元素与铁、碳的作用

一、合金元素与铁的相互作用

铁、碳和合金元素是合金钢的基本组元。就像碳能够溶入铁的晶格中形成固溶体一样，所有的合金元素都能够不同程度地溶入铁的晶格中形成固溶体。因此合金元素与铁的作用则应重点考虑合金元素在铁中的溶解能力和对铁的同素异晶转变的影响。

1. 强化铁素体 大部分合金元素除原子半径与铁原子相差不大外，其晶格类型也与铁的晶格相同，它们与铁形成置换固溶体。即使与铁晶格不同的合金元素，如果原子半径与铁相差不大，则能以置换固溶体的形式存在于铁的晶格中。只有比铁原子半径小得多的元素以间隙固溶体形式存在于铁中。由于铁素体是钢在室温的主要相，了解合金元素对铁的力学性能的影响，有助于分析合金钢的性能。

合金元素溶于 α 铁形成合金铁素体。由于合金元素的原子大小及其结构不同于铁原子，当溶入铁后，会形成晶格畸变，致使晶体变形抗力增大，此外，由于合金元素的溶入，使亚晶尺寸变小，也会使变形抗力增大。因此，合金元素溶入铁素体通过固溶强化改变了铁素体的力学性能，并且随合金元素在铁素体中溶解

量的增多,其固溶强化的效果而显著。图 1-1 所示为合金元素对铁素体硬度的影响。可以看出,与 α 铁晶格相同的合金元素 Cr、W、Mo 强化铁素体作用较弱;不同于 α 铁晶格的合金元素 P、Si、Mn、Ni 强化铁素体作用较强。

合金元素对铁素体的塑性影响较小,只是当 Si 和 Mn 质量分数超过 1.5% 后塑性才开始降低。图 1-2 为合金元素对铁素体冲击韧度的影响,对于 W、Mo、Si,从质量分数不到 1%,韧度就开始降低;对于 Mn 当质量分数超过 1%~1.5% 韧度就开始降低;至于 Ni 和 Cr 在含量较低时,还能提高铁素体的韧度。

合金元素强化铁素体以提高钢的强度的方法,在一些不需要热处理的低碳合金钢中获得广泛应用,这类钢的强度比相同含碳量的碳钢高得多。

2. 改变铁的同素异晶转变温度 合金元素溶于铁后,改变铁的同素异晶转变温度。根据合金元素对铁的同素异晶转变影响不同,可分为两类。一类合金元素使 A_4 点升高, A_3 点下降,属于扩大 γ 相区元素如图 1-3a 所示。这类元素有 Ni、Mn、Co、N、Cu 等。其中多数元素和碳一样,当含量增多把 γ 相区扩大到一定温度,奥氏体将发生共析转变或向其它晶体转变。至于 Mn 和 Ni,随着含量增多,可以把 γ 相区逐渐扩大到室温,这时奥氏体便在

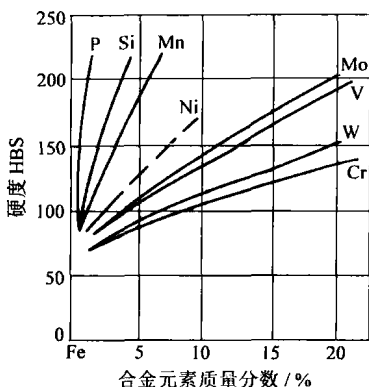


图 1-1 合金元素对铁素体硬度的影响

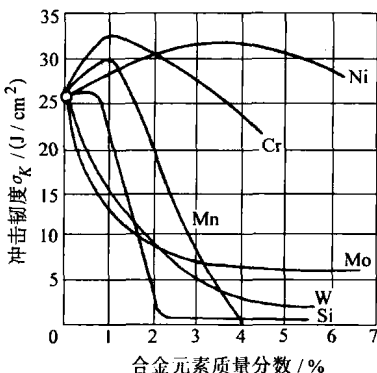


图 1-2 合金元素对铁素体冲击韧度的影响

室温条件下稳定地保持下来。高镍、高锰钢之所以在室温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 Ni 或 Mn 与 Fe 的作用，扩大了 γ 相区，使 A_3 降至室温以下的结果。另一类合金元素是使 A_4 点下降， A_3 点上升，属于封闭 γ 相区元素如图 1-3b 所示。这类元素有 Si、Cr、Mo、W、Al、Ti 等，当它们含量分别增加到一定程度时，例如硅质量分数约为 2%，铬质量分数约为 12%， A_3 和 A_4 点重合，从而封闭了 γ 相区。这时合金铁素体从室温到熔点不再发生 $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ 转变。低碳高硅钢和低碳高铬钢属于铁素体钢。

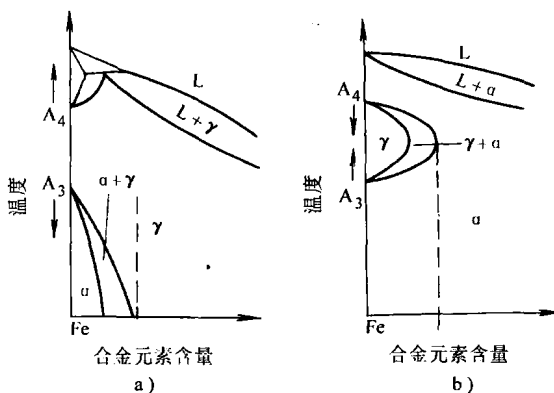


图 1-3 合金元素对铁同素异晶转变的影响

a) 扩大 γ 区 b) 封闭 γ 区

上述合金元素对铁同素异晶转变的影响得出，由于升高 A_3 或降低 A_3 点的结果，对合金含量较高的钢种能得到所谓铁素体钢或奥氏体钢，以适应特殊用途和性能的要求；但对大多数合金钢，其重要的意义是在于确定热处理的加热温度。因为铁碳合金相图上的临界点 A_3 和 A_1 ，是碳钢热处理时选择加热温度的依据。当加入封闭 γ 相区的合金元素后，就会使 A_3 和 A_1 点升高；当加入扩大 γ 相区的合金元素后，就会使 A_3 和 A_1 点降低。这样在进行合金钢热处理加热温度的选择时，就要考虑合金元素改变钢临界点这一影响因素。

二、合金元素对铁碳合金相图的影响

合金钢都是由三个以上组元构成的合金，组元间相互作用极其复杂，为了便于理解，用合金元素对铁碳合金相图的影响，作为分析合金钢组织和相变的理论依据。

图 1-4 所示为合金元素对 γ 相区的影响。从图中可以看出随合金元素含量的增多， γ 相区的移动趋势。可总结为：凡是扩大 γ 相区的元素均使 S 、 E 点向右下方移动；凡是封闭 γ 相区的元素均使 S 、 E 点向左下方移动。合金元素对 S 、 E 点的影响规律，对热处理生产有着重要的意义。

1. 改变 S 、 E 点含碳量 S 点左移，即表示共析含碳量减少，例如钢中铬质量分数为 12% 时，共析含碳量移至 0.4% 附近（质量分数）。这样，原属亚共析的碳钢，当加入铬含量稍大于 12% 时（质量分数），即变成过共析钢。如 4Cr13 不锈钢就属于过共析钢。合金元素溶入奥氏体后对钢共

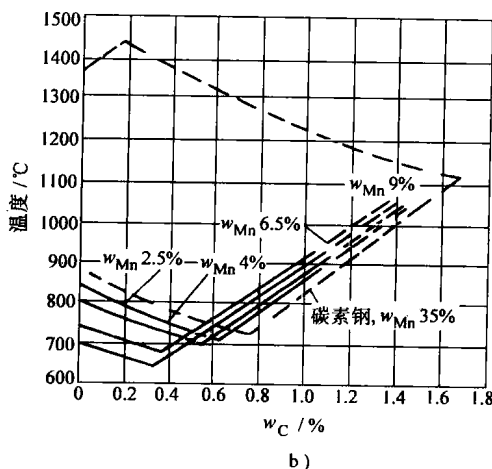
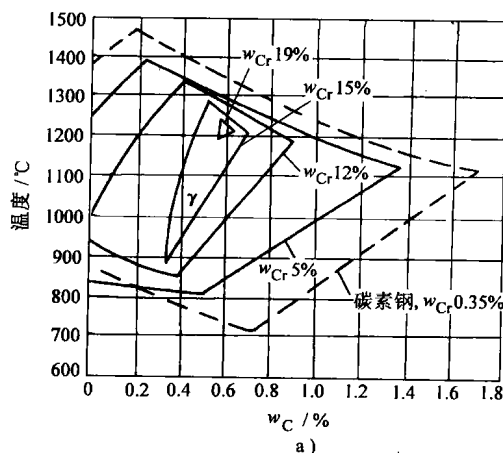


图 1-4 合金元素对 γ 相区的影响

析成分的影响如图 1-5 所示。应该指出,在热处理生产中,强碳化物形成元素,如 Ti、Nb、Zr、V 等所形成的碳化物很稳定,在热处理加热时不易溶解于奥氏体中,即高温时组织仍为奥氏体和碳化物,使奥氏体中的含碳量低于钢的平均含碳量。从而,这相当于共析点左移。因此在热处理生产中,合金钢的共析含碳量是随着加热条件不同而有所变化的。 E 点左移,降低碳在奥氏体中的最大溶解度,即出现莱氏体的含碳量降低了,如高速钢碳的质量分数仅有 0.8% 左右,但其已属莱氏体钢。

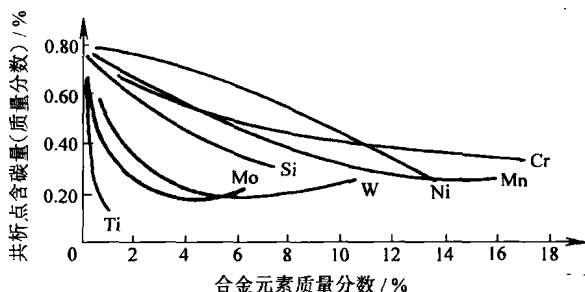


图 1-5 合金元素对钢共析成分的影响

2. 对临界点的影响 由图 1-4 可见,合金元素的加入会导至 S 点、 GS 、 ES 线的上下移动。

S 点、 GS 、 ES 线向下移动表明临界点 A_1 、 A_3 和 A_{cm} 下降, S 点、 GS 、 ES 线向上移动表明临界点 A_1 、 A_3 和 A_{cm} 上升。常用合金元素对共析温度的影响如图 1-6 所示。

三、合金元素与碳的相互作用

碳是提高钢的强度和硬度最有效的元素。按照

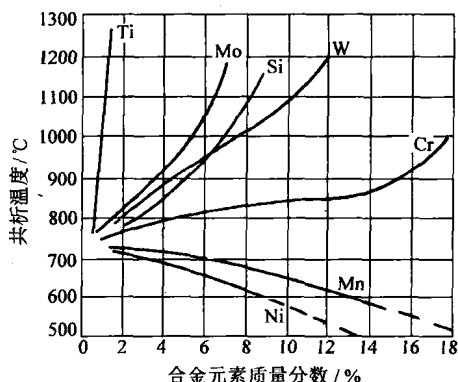


图 1-6 合金元素对共析温度的影响

合金元素与碳的结合能力，可将合金元素分为碳化物形成元素和非碳化物形成元素两大类。

1. 非碳化物形成元素 这类元素与碳的结合能力比较小，它们在钢中不仅本身不与碳形成碳化物，有的还具有促使渗碳体分解，形成石墨的倾向，例如 Si 和 Ni。非碳化物形成元素有 Si、Al、Cu、Ni、Co 等。这类元素在钢中除部分形成氮化物和氧化物外，主要固溶于铁素体中。

2. 碳化物形成元素 这类元素与碳的结合能力比较强，易于与碳相结合，形成各种类型的碳化物。按其 与碳结合能力的强弱，依次为 Ti、Nb、Zr、V、W、Mo、Cr、Mn、Fe。钢中只要有碳化物形成元素存在，渗碳体 (Fe_3C) 就不是唯一的碳化物，根据合金元素与碳的结合能力，以及合金元素和碳浓度等因素，在钢中可以形成不同类型的碳化物。其中与碳结合能力很强的合金元素，如 Ti、Nb、Zr、V 等，能与碳单独结合，形成特殊碳化物 TiC 、 NbC 、 ZrC 、 VC 等。中等强碳化物形成元素，如 W、Mo、Cr，当含量较低（质量分数为 0.5%~3%）时，溶于渗碳体，形成如 $(\text{FeW})_3\text{C}$ 、 $(\text{FeMo})_3\text{C}$ 和 $(\text{FeCr})_3\text{C}$ 等合金渗碳体。只有含量足够高（质量分数>5%）时，才形成 $\text{Fe}_7\text{W}_5\text{C}_2$ 、 $\text{Fe}_7\text{Mo}_5\text{C}_2$ 、 Cr_7C_3 和 Cr_{23}C_6 等复杂碳化物。弱碳化物形成元素，如 Mn 则多溶于渗碳体中形成 $(\text{FeMn})_3\text{C}$ 。应该指出，碳化物形成元素并不总是以碳化物形式存在钢中，若多种合金元素共存于同一钢中，当含碳量较低时，强碳化物形成元素优先与碳结合形成碳化物，而其它合金元素几乎全部溶入渗碳体和铁素体中。只有含碳量足够高时，合金元素才能以各种碳化物形式存在于钢中。

钢中所有碳化物都是硬而脆的，尤其是特殊碳化物更为硬而脆，碳化物是提高钢强度、硬度的强化相，不但通过其数量多少来改变钢的性能，而且通过它的大小、形态和分布来影响钢的性能。为了改变碳化物的大小、形态和分布，正确的热加工和热处理是有效的途径。合金碳化物的某些特性，如加热时不易溶解，回火时不易聚集和长大等，唯有通过热处理才能使合金钢的优越性

能体现出来。这将在对各具体钢种介绍中予以阐述。

第二节 合金元素对钢热处理的影响

合金元素的加入，使钢的组织转变过程发生很大的变化。因此，在制订合金钢热处理工艺规程时，应当考虑合金元素的影响因素。

一、合金元素对奥氏体化的影响

钢在加热时，所发生的珠光体向奥氏体转变以及奥氏体成分均匀化等过程，不论在合金钢或碳素钢，其基本规律都是相同的。但是，合金元素都会不同程度地延缓上述过程。这是因为一方面合金碳化物远比渗碳体稳定，不易溶于奥氏体中，即使碳化物溶解后，由于合金元素的原子半径较大，在奥氏体中扩散较难，不少合金元素，特别是碳化物形成元素，还要降低碳在奥氏体中的扩散速度。另一方面，存在于铁素体中的非碳化物元素，在生成的奥氏体中扩散也较为缓慢。此外，几乎所有合金元素都能阻止奥氏体晶粒长大（锰除外），细化钢的晶粒。强烈阻止奥氏体晶粒长大的元素有 V、Ti、Nb、Zr、Al 等。中等阻止奥氏体晶粒长大的元素有 W、Mo、Cr 等。阻止奥氏体晶粒长大倾向较弱的元素有 Si、Co、Ni、Cu 等。阻止奥氏体晶粒长大的原因是，合金元素能形成难溶的碳化物、氮化物，并且这些化合物存在于晶界处，阻碍晶界迁移所至。合金元素阻碍奥氏体晶粒长大的作用，能有效的防止热处理时的过热倾向，使钢获得细小晶粒，有利于促进钢的强韧性。

二、合金元素对过冷奥氏体转变的影响

固溶于奥氏体中的合金元素（钴除外），都能不同程度地增加过冷奥氏体稳定性，即减缓奥氏体向铁素体和碳化物的转变过程，表现在使 C 曲线向右移。图 1-7 为合金元素对奥氏体等温转变曲线位置和形状的影响示意图，从图中可以看到，合金元素溶入奥氏体后会使得 C 曲线右移，有些不仅使 C 曲线右移，而且还改变了曲线的形状，使之产生两个“鼻子”。一般说来，非碳化物形成元

素及少量碳化物形成元素，如 Ni、Si、Cu、Al 等对珠光体转变和贝氏体转变的影响不大，使等温转变曲线还是保持着一个“鼻子”，只使曲线向右移动，而且合金元素越多，其右移也越多。强碳化物形成元素，如 Ti、V、Mo、W 及 Cr 等含量较多时，将强烈延迟珠光体转变，但并不强烈延迟贝氏体转变，从而使珠光体转变和贝氏体转变在曲线的鼻处分离，形成两个“鼻子”，在两者之间（500~600℃范围内）形成一个奥氏体最大的稳定区。根据合金元素对 C 曲线的影响不同，可有如下几种类型：

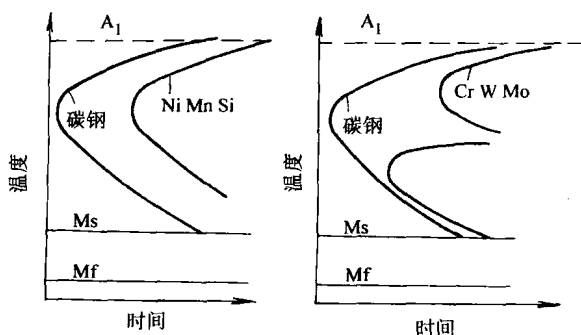


图 1-7 合金元素对奥氏体等温转变
曲线位置和形状的影响示意图

1) 图 1-8a 所示为锰钢、镍钢、硅钢的 C 曲线示意图，C 曲线只有一个“鼻子”。

2) 铬钢、铬硅钢、铬锰钢、铬镍钢及高速钢的 C 曲线具有两个“鼻子”如图 1-8b 所示。

3) 高铬钢，如 1Cr13、2Cr13 等，贝氏体转变被抑制，C 曲线只有珠光体转变和马氏体转变，如图 1-8c 所示。

4) 含钼、钨的钢与铬钢相反，C 曲线只有贝氏体转变和马氏体转变，如图 1-8d 所示。

5) 提高奥氏体稳定性的合金元素含量很高时，C 曲线图中没有珠光体转变和贝氏体转变，只有马氏体转变，如图 1-8e 所示。

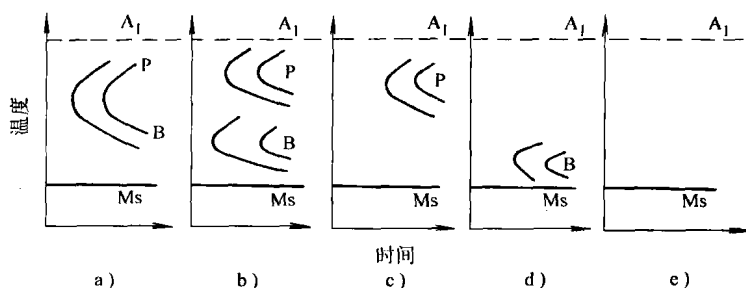


图 1-8 合金钢 C 曲线的典型形式

合金元素对马氏体形成的影响，主要是对马氏体形成温度 $M_s \sim M_f$ 的影响。合金元素对 M_s 点的影响如图 1-9 所示。 Mn 、 Cr 、 Ni 使 M_s 点下降； Cu 的影响不大， Si 基本上无影响； Co 和 Al 使 M_s 点升高。合金元素对 M_f 点的影响和 M_s 点类似，凡是提高 M_s 点的元素也同样升高 M_f 点；凡是降低 M_s 点的元素也同样使 M_f 点降低。同时由于 $M_s \sim M_f$ 的降低，会增加淬火钢的残余奥氏体量，图 1-10 所示为合金元素对淬火钢的残余奥氏体量的影响。

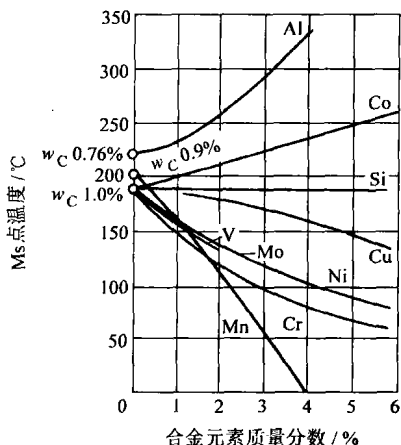


图 1-9 合金元素对 M_s 点的影响

合金元素对过冷奥氏体转变的影响有着极为重要的实际意义。一方面，增加过冷奥氏体稳定性，能使截面尺寸较大的

工件在淬火冷却时，不仅外层甚至内层也能得到马氏体组织，从而在回火后获得表层与内层均匀一致的性能。另一方面，增加过冷奥氏体稳定性，能降低钢的临界冷却速度，从而允许钢淬火冷却时，采用冷却能力较弱的淬火介质，这样会大大降低淬火内应力，避免工件的开裂和减小变形。同时，合金元素使钢的马氏体