

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СПЛАВОВ
СПРАВОЧНИК

И.В.Фиргер

Издательство «Машиностроение» 1982

合金热处理手册

刘先曙译

中国铁道出版社出版

责任编辑 王雪芬 封面设计 程 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本, 850×1168 1/32 印张, 10.625 字数, 276千

1985年5月第1版 第1次印刷

印数, 0001—14,500册 定价, 2.55元

序 言

在1981~1985年和1990年以前这段时间，苏联规定的经济和社会发展的基本方向是优先发展机械制造业和金属加工工业，这就要求加速热处理设备和工艺改革的步伐。因为热处理在机械制造中的工作量很大。在技术先进的现代化工业生产中，合金的热处理有着特别重要的意义。

提高机械零件的质量、增加零件的可靠性和寿命、降低金属和能源的消耗是近十年内热处理的主要目标，这一目标将决定今后若干年内合金热处理的理论和实践的进一步发展。

为解决这一极为重要的问题，对热处理车间的全体工人掌握复杂的热处理工艺过程和设备知识的技能的要求更加高了。

本手册的出版，要求达到满足热处理生产工人的需要和促进他们提高技术水平的目的。

本手册几乎包括了一般的机械制造中所有主要的热处理方面的资料，介绍了工艺、设备、检验和许多其它的问题。论述了钢、铸铁和有色金属零件的热处理，并特别注意介绍那些能增加热处理效果、改善零件质量、提高劳动生产率、节约能源的新工艺和新技术及先进的工艺设备。

为减轻热处理工人学习的负担，手册注意对专有名词术语、规范分类、设备、合金牌号表示的原则和其它类似问题进行必要的解释。

手册中的物理量采用国际单位制。在附录中列出了国际单位制和米千克秒制的对照表。

目 录

第一章 概 论	1
1. 钢的热处理类型.....	1
2. 热处理的某些理论问题.....	1
3. 钢和铸铁中的组织及其成分.....	15
第二章 确定热处理规范的原始资料	19
4. 先进的热处理加热方法.....	19
5. 合金元素对钢的性能的影响.....	20
6. 钢的临界点温度.....	21
7. 钢件加热和保温时间的定额标准.....	24
8. 淬火介质.....	30
9. 其它资料.....	42
第三章 钢的热处理	54
10. 钢的分类、标记.....	54
11. 钢号的化学成分.....	59
12. 钢的热处理规范.....	69
13. 钢的热处理废品种类.....	69
第四章 钢的化学热处理	90
14. 一般问题.....	90
15. 渗 碳.....	90
16. 氮 化.....	97
17. 氰化和碳氮共渗.....	105
18. 渗 铬.....	111
19. 渗 铝.....	112
20. 渗 硅.....	113
21. 渗 硼.....	114

22. 硫化 (渗硫)	114
第五章 铸铁热处理	116
23. 分类标志	116
24. 铸铁热处理	118
25. 铸铁的化学热处理	126
第六章 有色合金热处理	129
26. 合金的表示方法	129
27. 黄铜、青铜和镍合金的成分及热处理	130
28. 变形铝合金的成分及热处理	130
29. 铸造铝合金的成分及热处理	141
30. 镁合金的成分和热处理	149
31. 钛合金的成分和热处理	153
第七章 工具热处理	157
32. 一般问题	157
33. 切削工具和量具的热处理	160
34. 冲模的热处理	162
第八章 焊接结构的热处理	175
35. 一般问题	175
36. 焊接结构消除应力热处理	177
37. 电渣焊制造的焊接结构的热处理	181
第九章 采用表面加热的热处理	184
38. 采用感应加热的热处理	184
39. 表面感应淬火规范	188
40. 局部气体火焰热处理	194
第十章 在可控气氛中的无氧化加热	196
41. 一般问题	196
42. 可控气氛的特性及制备方法	197
43. 可控气氛的类别和性能	200
44. 按露点调节可控气氛	205
第十一章 无变形热处理	209

45. 零件变形的原因	209
46. 克服变形的办法	211
47. 利用合金的超塑性现象克服变形	216
第十二章 零件热处理后的质量检验	221
48. 拉伸、压缩、弯曲试验	221
49. 冲击韧性试验	225
50. 硬度试验	226
51. 金相研究	239
52. 合金牌号的测定	251
53. 显示热处理缺陷的物理方法	253
第十三章 热处理车间设备	254
54. 设备的分类	254
55. 热处理炉和盐浴炉	254
56. 制备可控气氛的设备	269
57. 感应加热设备	273
58. 低温热处理(冷处理)设备	276
59. 热检测设备	279
60. 检验零件热处理质量的无损检测仪器	282
第十四章 零件热处理后的清洗方法	288
61. 一般问题	288
62. 用金属砂清洗	289
63. 用刚玉粉清洗	291
64. 用加水的磨料清洗	291
65. 用超声波清洗	292
第十五章 热处理车间的劳动保护和安全技术	295
66. 对建筑物和厂房的要求	295
67. 对环境保护的要求	295
68. 设 备	296
69. 取暖设备和通风装置	298
70. 安全劳动条件	300

第一章 概 论

1. 钢的热处理类型

钢的热处理和化学热处理的主要类型及其特点列于表 1 和表 2。铸铁和有色合金的热处理类型在第五章和第六章中讨论。

图 1 和图 2 是热机械处理和机械热处理的示意图。

2. 热处理的某些理论问题

铁碳合金状态图 在研究合金和确定热处理规范时要利用各种合金系统的状态图。合金状态图可以用两种或更多种称为组分的物质获得。根据状态图可以确定在什么温度下开始发生凝固和在什么温度下最后完成凝固以及在固体状态下发生什么样的组织转变, 根据状态图也可以找到每种合金的临界点。

从液体状态变成固体状态时, 在某些合金中可能析出两种组分的结晶体, 在另一些合金中则可能析出固溶体结晶。合金可能是均匀的, 即在整個体积内具有同样的性能, 也可能是不均匀的, 即合金是由不同的均质细小微粒组成的混合物。结构和性能相同的合金成分称为相。

钢和一些铸铁可以近似地当作铁碳合金来看待, 因为在其成分中存在的硫、磷、硅、锰等杂质的组分数量不大, 基本上不影响临界点的位置。

碳和铁可以形成铁碳化合物——渗碳体, 碳也可以在铁中形成处于游离状态的石墨, 因此有两种铁碳合金状态图, 即渗碳体型铁碳合金状态图(图 3)和石墨型铁碳合金状态图。按渗碳体型凝固的铁碳合金属于钢(碳的重量百分数在 2% 以下)和白

口铁（碳的重量百分数在2%以上）。

在铁—碳状态图（图3）中，和相变线交叉点相对应的含碳重量百分数（%）为：

$B-0.5$ —包晶温度下液相中碳的重量百分数；

$C-4.3$ —共晶温度下奥氏体和渗碳体处于平衡状态时在液相中碳的重量百分数；

$H-0.1$ —包晶温度下 δ -相中的饱和含碳量的重量百分数；

$J-0.16$ —包晶温度下 δ -相和液相处于平衡时在奥氏体中的含碳重量百分数；

$E-2.14$ —共晶温度下的渗碳体处于平衡状态时，在奥氏体中的饱和含碳量重量百分数；

$S-0.8$ —共析温度下的渗碳体和铁素体处于平衡状态时，在奥氏体中的含碳量重量百分数；

$P-0.02$ —共析温度下（ 727°C ）的奥氏体和渗碳体处于平衡状态时，溶解在铁素体中的饱和含碳量的重量百分数；

相变温度

1499°C ——包晶线（ HJB 线）；

1147°C ——共晶线（ ECF 线）；

727°C ——共析线（ PSK 线）。

居里点线（即磁性转变线）：铁素体为 768°C （ MO 线），渗碳体为 217°C 。

在连续冷却时奥氏体转变图和铁碳平衡组织状态图采用的相应临界点（温度）符号为：

A ——临界点符号；

A_c ——加热时的转变温度；

A_r ——冷却时的转变温度；

A_1 ——奥氏体和铁素体及渗碳体的平衡温度（ PK 线）；

A_2 ——铁素体本身磁性变化的温度（ MO 线）；

A_3 ——铁素体—奥氏体平衡区的上限温度（ GS 线）；

A_{c_m} ——二次渗碳体—奥氏体平衡区的上限温度（ SE 线）；

A_{c_1} ——钢加热时奥氏体开始形成的温度；

A_{c_3} ——亚共析钢加热时完全形成奥氏体的温度；

$A_{c_{\ominus}}$ ——过共析钢加热时二次渗碳体完全溶解在奥氏体中的温度；

A_{r_1} ——钢冷却时，奥氏体转变为珠光体的开始温度 $\ominus$ ；

A_{r_3} ——亚共析钢冷却时，奥氏体转变为珠光体的开始温度；

A_{r_m} ——过共析钢冷却时，从奥氏体中析出二次渗碳体的开始温度；

M_H ——马氏体转变开始温度；

M_K ——马氏体转变终止温度。

在表 3 中，对铁—碳状态图中的相变线——作了说明。

冷却时奥氏体的转变 包括钢在内的合金的热处理，在大多数情况下是（把合金）加热到形成固溶体的温度，再在该温度下保温，然后根据最终要求的组织和机械性能，用不同的速度进行冷却。

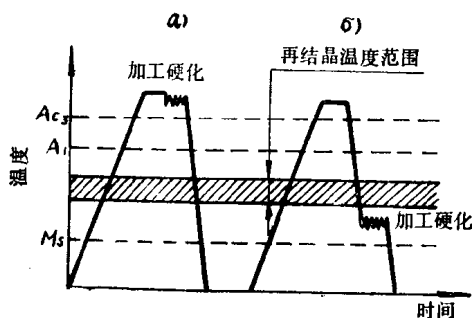


图 1 热机械处理示意图

a ——高温热机械处理； b ——低温热机械处理。

$\ominus$ 原文为 A_{c_m} ，有误，应为 $A_{c_{cm}}$ ——译注。

$\ominus$ 原文为终止温度，有误——译注。

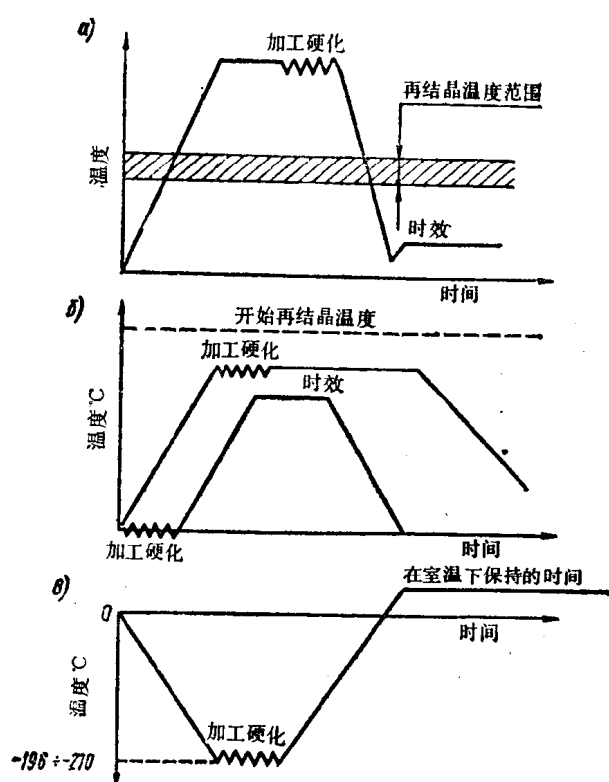


图 2 机械热处理示意图

铁碳合金状态图 (图 3) 能给人们提供铁碳合金在非常缓慢地 (平衡) 加热或冷却时的组织转变概念。当冷却速度增加时, 在过冷度的作用下, 奥氏体的转变移到低温区, 钢在热处理时就利用了这种现象, 因为这可以使钢的组织大大改善, 从而使钢具有不同的物理机械性能。

当增加冷却速度时, 临界点 Ar_3 比临界点 Ar_1 降低得更加显著, 也就是说这两个临界点之间降低得不协调, 以致在一定的冷却速度下, 这两个临界点会汇合到同一点 Ar' 上 (图 4)。

v_M —— 在组织中出现部分马氏体的冷却速度;

v_{KP} —— 在组织中只形成马氏体的临界冷却速度。

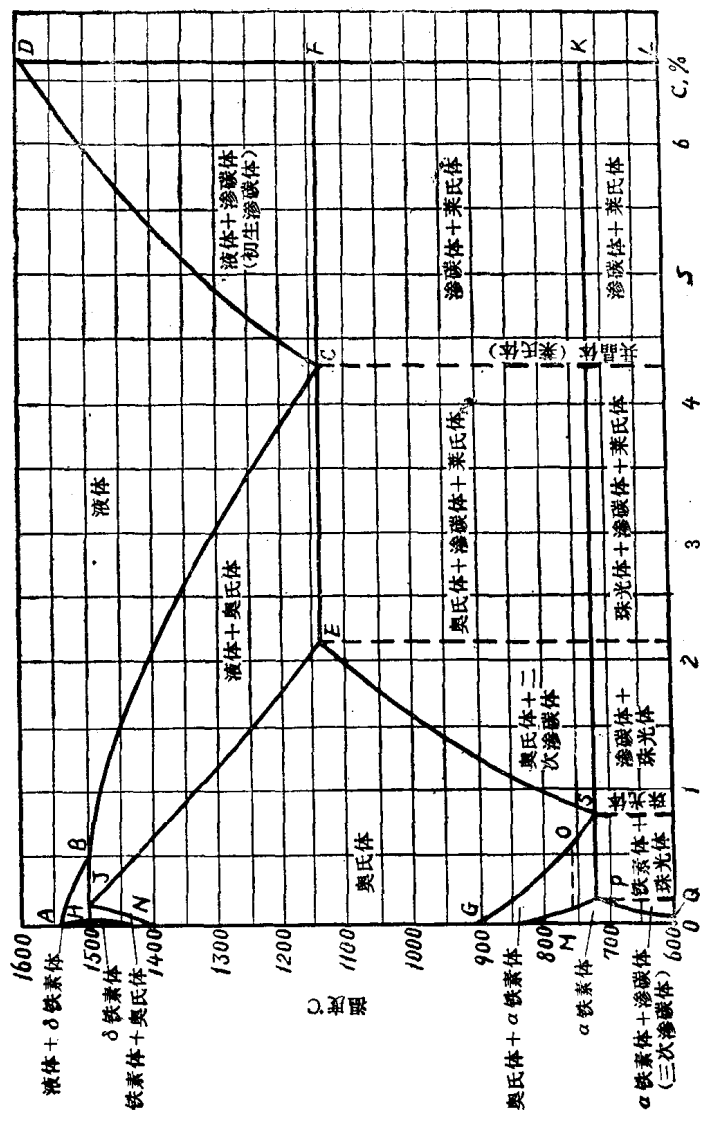


图3 铁碳状态图

钢的热处理主要类型

表 1

热处理类型	特 点
退 火	是把钢加热到一定温度，保持一定的时间然后缓慢冷却的一种热处理，目的是得到比较均匀的组织
I 类 退 火	在这类退火时，通常不发生相变（重结晶），如果发生相变，也不影响最后结果
均匀化退火	在950℃以上的温度长时间保温，目的是使化学成分均匀一致
晶粒长大退火	在950~1200℃的温度下退火，目的是使晶粒长大
再 结 晶 退 火	加工硬化的钢在高于开始再结晶的温度下的退火，目的是消除加工硬化现象，并得到一定大小的晶粒
II 类 退 火	在这类退火时，相变（重结晶）决定其特定的用途
完 全 退 火	在高于 A_{c_3} 的温度下的退火，目的是在完全再结晶以后得到珠光体组织
不 完 全 退 火	在 A_{c_1} 和 A_{c_3} (A_{cm}) 之间的温度区内的退火，目的是在完全再结晶以后得到珠光体组织
等 温 退 火	亚共析钢加热到高于 A_{c_3} ，过共析钢加热到 A_{c_1} 或 A_{cm} 以上的温度，随后保温，再冷却到珠光体转变温度并等温保持到奥氏体完全分解的一种退火，目的是得到珠光体组织
球 化 退 火	在稍低于或稍高于 A_{c_1} 的温度下退火，目的是使碳化物球化
正 常 化 退 火 (正火)	亚共析钢在 A_{c_3} 以上，过共析钢在 A_{cm} 以上的温度下加热、随后在静止的空气中冷却的一种退火，目的是得到细小晶粒并使成分均匀分布
淬 火	把钢加热到一定温度、保温并随后快速冷却的一种热处理方法，目的是得到非平衡组织
多晶转变淬火	亚共析钢加热到 A_{c_3} 以上的温度，过共析钢加热到 A_{c_1} 以上的温度、保温、随后以高于临界冷却速度的速度迅速冷却的一种淬火，目的是得到主要是马氏体的组织
非多晶转变淬火	把钢加热到剩余相溶解的温度、保温，随后快速冷却的淬火，目的是防止过饱和固溶体析出
整 体 淬 火	在整体淬火时，加热和相变是在零件的整个体积内发生的
表 面 淬 火	在表面淬火时，加热和相变是在零件的表面层发生的
连 续 淬 火 (单介质淬火)	根据钢的成分的不同，在一种介质中连续冷却的淬火，目的是得到马氏体组织或防止过饱和固溶体析出

续上表

热处理类型	特 点
断续淬火 (双介质淬火)	在两种介质中进行冷却的淬火, 开始是用冷却能力高的介质冷却, 然后用冷却能力低的介质进行冷却, 目的是得到马氏体组织和减少残余应力
分段淬火	在温度稍高于马氏体开始转变温度 M_H 的介质中冷却, 使奥氏体保持不发生相变, 让零件整个断面达到温度均匀, 然后再冷却, 目的是得到马氏体组织和减少残余应力
等温淬火	在高于 M_H 温度的介质中淬火冷却, 等温保持到奥氏体完全转变或部分转变, 然后冷却, 目的是得到细小的有塑性的贝氏体组织或贝氏体加马氏体的组织
淬火和自行回火	零件仅表面或局部冷却的淬火, 然后依靠剩余的内热进行回火, 目的是得到回火马氏体组织或马氏体的分解产物
淬火和冷却处理	淬火时一直冷却到 20°C 以下, 但温度在 $M_H \sim M_K$ 之间, 目的是使更多的奥氏体转变成马氏体
回 火	经多晶转变淬火的钢加热到 A_{c1} 以下的温度并保温, 然后冷却的一种热处理方法, 目的是使不平衡的组织变成比较平衡的组织
高温回火	在 $500 \sim 680^{\circ}\text{C}$ 的温度进行的回火, 目的是得到回火索氏体组织或二次硬化的回火马氏体组织 注: 淬火加高温回火也称为钢的调质
中温回火	在 $250 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 的温度进行的回火, 目的是得到马氏体分解的弥散产物和减少残余应力
低温回火	在 250°C 以下的温度回火, 目的是得到回火马氏体和减少残余应力
时 效	把过饱和固溶体状态的钢加热到一定温度、保温然后冷却的热处理工艺称为时效, 目的是得到状态比较平衡的合金
热 时 效	钢在冷态时不进行变形在高温下的时效叫热时效
变 形 时 效	冷变形的钢在高温下时效叫变形时效
形变热处理	是热作用和塑性变形相结合的一种处理工艺, 目的是改变钢的组织 and 性能
热机械处理 (图1)	把钢加热到高于 A_{c3} 的温度进行保温, 再使奥氏体塑性变形后进行相变的一种形变热处理工艺, 目的是得到特殊的马氏体组织
高温热机械处理	把钢加热到 A_{c3} 以上的温度、保温, 在该温度下进行塑性变形, 随后以高于临界冷却速度的速度进行冷却的一种热机械处理工艺

续上表

热处理类型	特 点
低温热机械处理	把钢加热到 A_{c_1} 以上的温度, 再冷却到开始再结晶的温度以下奥氏体比较稳定的温度, 在该温度下进行塑性变形, 随后快速冷却的一种热机械处理工艺
机械热处理 (图 2)	使钢在高于或低于开始再结晶的温度下进行塑性变形然后进行时效的一种形变热处理工艺, 目的是得到多角形组织
高温机械热处理 (图 2a)	把钢加热到过剩相溶解的温度, 在该温度下进行塑性变形, 快速冷却, 然后进行时效的一种热处理工艺
亚再结晶机械热处理 (图 2b)	钢在低于开始再结晶的温度下进行塑性变形, 然后进行时效的一种热处理工艺
低温机械热处理 (图 2c)	钢在低温下进行塑性变形, 然后长期在室温 (20℃) 进行保温的一种热处理工艺

钢的化学热处理类型

表 2

处 理 类 型	特 点
化学热处理	由热作用和化学作用构成的一种热处理工艺, 目的是改变钢的化学成分组织和性能
非金属扩散饱和或扩散清除	钢用非金属进行扩散饱和或从钢中扩散排除非金属的一种化学热处理工艺, 目的是改变钢的化学成分、组织和性能
渗 碳	用碳对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺
氮 化	用氮对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺
渗 硼	用硼对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺
脱 碳	用扩散方法从钢的表面层去除碳的化学热处理称为脱碳
除 氢	用扩散方法从钢中清除氢气的化学热处理称为除氢
碳 氮 共 渗 (高温氰化)	在 800~950℃ 的温度范围内同时用碳和氮对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺
氮 碳 共 渗 (低温氰化)	在 450~650℃ 的温度范围内同时用氮和碳对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学处理工艺
氮碳硫共渗 (渗硫或硫氰共渗)	同时用氮、碳、硫对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺

续上表

处 理 类 型	特 点
用金属扩散饱和 (渗金属)	用各种金属对钢的表面层进行扩散饱和的化学热处理称为渗金属, 目的是改变钢的表面成分、组织和性能
扩 散 渗 铝	在700~1100℃的温度下用铝对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺
扩 散 渗 铬	约在900~1200℃的温度下用铬对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺
扩 散 渗 锌	约在300~550℃和700~1000℃的温度下用锌对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺
渗 硅	约在800~1100℃的温度范围内用硅对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺
渗 钛	用钛对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺
铬 铝 共 渗	约在900~1200℃的温度下同时用铬和铝对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺
铬 硅 共 渗	约在900~1200℃的温度下同时用铬和硅对钢的表面层进行扩散饱和的一种化学热处理工艺

确定钢和铸铁最终组织的铁-碳相图的相变线

表 8

相图中的符号 (图 3)	相 变	
	冷却时的相变	加热时的相变
<i>A</i>	纯铁的凝固温度	纯铁的熔化温度
<i>ABCD</i>	合金开始凝固	合金完全熔化
<i>CEJHA</i>	钢完全凝固—形成奥氏体	钢开始熔化
<i>ECF</i>	铸铁完全凝固—形成莱氏体	铸铁开始熔化
<i>GOS</i>	奥氏体开始分解, 形成铁素体。临界点 A_{r_3}	得到均一的奥氏体。临界点 A_{c_3}
<i>SE</i>	奥氏体开始分解, 形成渗碳体。临界点 A_{r_m}	得到均一的奥氏体。临界点 A_{c_m}
<i>PSK</i>	奥氏体完全分解, 形成珠光体。临界点 A_{r_1}	奥氏体开始形成(珠光体转变成奥氏体)。临界点 A_{c_1}

续上表

相图中的符号 (图 3)	相 变	
	冷却时的相变	加热时的相变
GP	奥氏体完全转变成铁素体 (合金中含碳量很少时)	铁素体开始转变成奥氏体
PQ	从铁素体中开始析出渗碳体 微粒 (三次渗碳体)	三次渗碳体完全溶解
MO	铁素体具有磁性	铁素体失去磁性

随着冷却速度的增加, 从奥氏体中析出的渗碳体微粒变得很细小, 因而只有在高放大倍数的显微镜下才能分辨出来。形成索氏体和珠光体的区别仅仅在于其中的渗碳体的尺寸大小不同 (见表 4)。

在大的冷却速度下, 渗碳体微粒变得非常细小, 以致用普通显微镜已无法把它辨别出来。

托氏体的结构与珠光体和索氏体的结构没有什么区别。当形成珠光体、索氏体和托氏体时, 从奥氏体中析出的渗碳体的同时, 还伴随 γ -Fe晶格改变成 α -Fe晶格。

在临界速度淬火时, 奥氏体不再分解, 过冷奥氏体在温度约为 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 时形成针状组织:

即马氏体。表示这一转变的直线

(见图 4) 相当于马氏体开始转变温度 (M_H 点), M_H 点实际上和冷却速度无关, 而和钢的化学成分有关, 特别是和钢的含碳量有关。随着奥氏体中溶解的含碳量的增加, M_H 点向温度更低的方面移动 (图 5)。

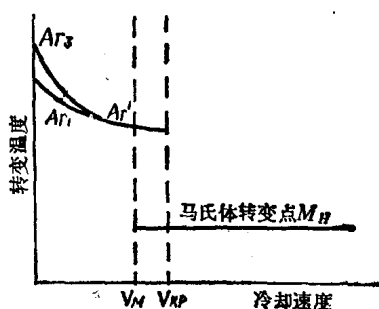


图 4 γ 向 α 转变的温度和冷却速度的关系

在相当于 M_H 的温度下, 相当多一部分奥氏体几乎立刻转变成马氏体。但是, 有一定数量的奥氏体仍保留下来, 只有在继续冷却时, 即在低温下进一步处理 (冷处理) 时才发生转变。奥氏

体转变为马氏体的终了温度称为 M_K 点，它取决于钢的成分。

在 $450\sim 500^{\circ}\text{C}$ 以下和 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 以上发生奥氏体向中间贝氏体的转变，虽然这种转变包含了某些类似的成分，但不同于马氏体转变和珠光体的分解。贝氏体（奥氏体的扩散分解产物）是铁素体和碳化物的混合物，但是和珠光体中的铁素体不同，贝氏体中的铁素体含有更多的碳。在高温下形成的贝氏体和低温下转变时形成的贝氏体也不同，因此用通俗的名字即所谓上贝氏体和下贝氏体加以区别。

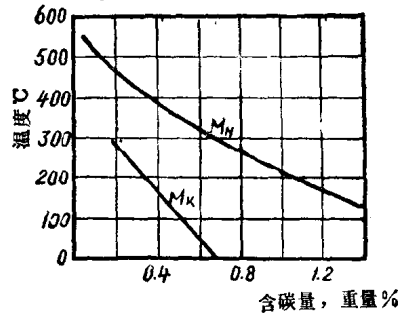


图5 在过冷奥氏体中的含碳量对马氏体形成温度的影响
 M_H ——马氏体开始形成温度； M_K ——马氏体终止形成温度。

上贝氏体在 400°C 左右的温度形成，具有《稻草状》或《羽毛状》形貌，下贝氏体具有针状结构，类似于马氏体。上贝氏体和下贝氏体也可以根据机械性能来区别。可见，根据冷却速度的不同，在钢的固溶体（奥氏体）中可能有下列几种基本的转变

冷却速度增加 ↓	珠光体转变	转变产物为铁素体和不同弥散度的渗碳体的机械混合物
	贝氏体转变	转变产物介于机械混合物和针状组织之间
	马氏体转变	转变产物为单一的针状组织

在热处理实践中，在调整奥氏体的过冷度时，可以利用实验方法得到的各种C型曲线来获得所需要的组织。这种C型曲线可提供奥氏体过冷温度和形成的钢铁组织之间的关系直观图形。在绘制C型曲线时，用纵坐标表示奥氏体过冷的温度，横坐标用对数比例标明时间。靠近纵坐标的第一条C型曲线相当于奥氏体开始转变，第二条C型曲线相当于奥氏体转变结束。利用C型曲

线（奥氏体等温分解图）可以表现出用不同速度连续冷却时将发生什么样的相变。但是单单这一点还不够，还必须进一步知道定量的数据，即钢的冷却速度和得到的硬度之间的关系。目前，广泛采用奥氏体转变热动力图，这是一种把C型曲线和冷却速度曲线归纳在一个曲线图上的综合图。

图 6 和图 7 是表示同一牌号的铬镍钼钢 (30X2H2M)⊙的两幅奥氏体等温转变图。其中之一 (图 7) 就是热动力图。有关 C 型曲线和热动力图的更详细的说明可参见著作〔45〕。

回火时的转变 淬火的钢在回火时，淬火时得到的不稳定淬火组织力求向比较平衡的状态转变。加热可以促进这种转变，因为随着温度的增加，原子的能动性也增加。回火时可发生下列转变：

(1) 马氏体分解 在低温区 ($100\sim 150^{\circ}\text{C}$) 首先开始形

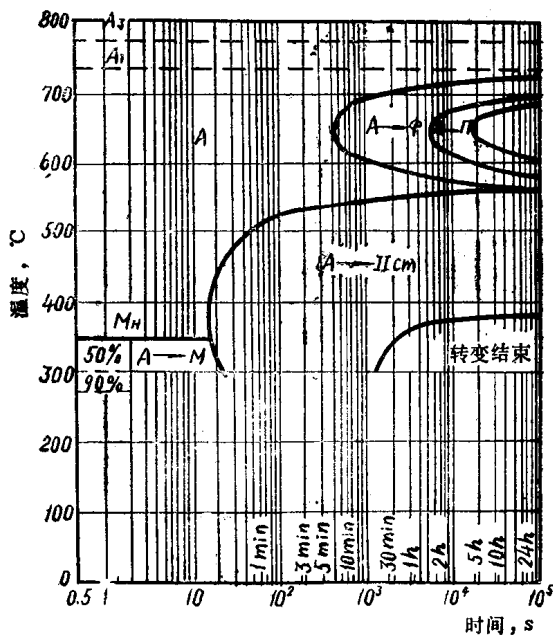


图 6 30X2H2M钢的C型曲线图

⊖30X2H2M为苏联标准代号, 相应的中国标准代号为30Cr2Ni2Mo——译注。