

# 热处理工作者手册

钢的标准操作和程序

机械工业出版社

TG 15-62  
M 45

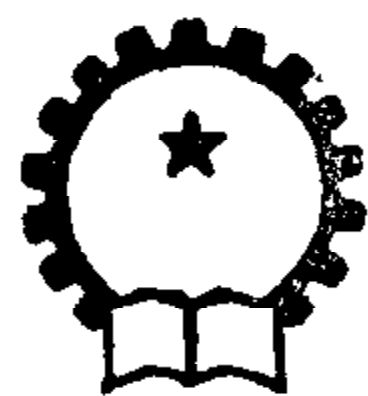
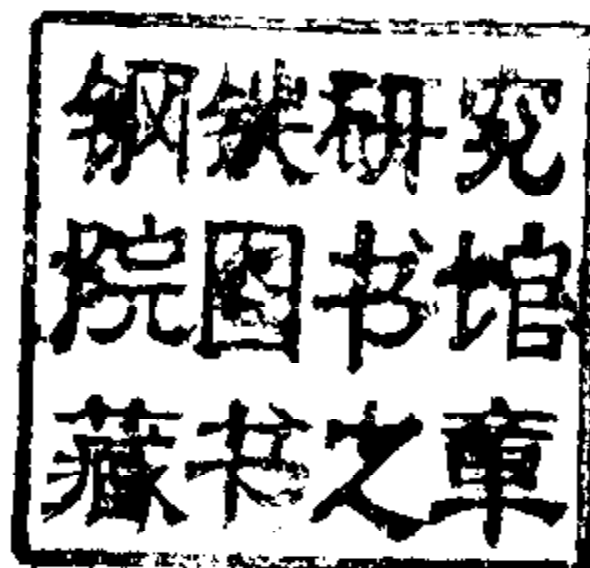
# 热处理工作者手册

钢的标准操作和程序

美国金属学会编

刘先曙 宋黎明 张义 吴敏 译

刘先曙 校



机械工业出版社

215817

HEAT TREATER'S GUIDE  
Standard Practices and Procedures  
for Steel  
American Society for Metals  
1982

\* \* \*  
**热处理工作者手册**  
**钢的标准操作和程序**

美国金属学会编

刘先曙 宋黎明 张义 吴敏 译

刘先曙 校

\*  
机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京通县曙光印刷厂印刷

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45.125 字数1127千字

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数0,001—5,000 · 定价12.50元

\*  
统一书号: 15033·6692H

科技新书目: 141—113

## 内 容 简 介

《热处理工作者手册——钢的标准操作和程序》是美国金属学会新编的具有标准化性质的工具书。手册中共汇编了280余种碳钢、合金钢、工具钢和不锈钢的热处理资料，包括钢的化学成分、美国 and 外国类似钢号的对照表、钢的性能以及热处理的标准操作方法和工艺程序。此外还汇编了650余幅等温转变图、连续冷却图、回火曲线和尺寸变化曲线图以及400多幅不同状态的有代表性的光学和电子显微组织照片。

本书可供冶金、机械制造部门，科研和教学部门的热处理工作者使用，也可供金属材料研究人员、机械零件设计人员和金属加工人员参考。

## 译 者 序

美国金属学会新编的《热处理工作者手册——钢的标准操作和程序》是一本实用性工具书，具有钢的热处理操作标准化手册的性质。

本手册在总结美国100多年热处理实践经验的基础上，汇编了280多种碳钢、合金钢、工具钢、不锈钢的热处理资料数据，具有较强的实用性。手册中收集的许多资料是其它热处理手册中没有收集或很少收集的。例如钢在不同热处理状态的光学或电子显微组织照片、零件热处理中尺寸的变化数据都很有实用价值。

本手册中的许多化学热处理数据，如渗碳、碳氮共渗、氮化工艺数据也是国内已出版的手册中不多见的。

本手册采用了独特的编排方式，是按美国钢铁学会的数字编号系统顺序编排的，只要知道了钢号，就很容易查找到各种钢的热处理数据。为便于我国读者查找国内采用的钢号的热处理数据，我们在手册后增加了中国常用的钢号和美国类似钢号的对照表。查阅时，可先根据对照表找到与国内钢号相对应的美国钢号，再从目录中按数字系统顺序找到美国钢号的正文页码，就可查到该钢号的热处理数据。

本手册中同时并用了两种单位制，即米制和英制，译文中保留不变。手册中的一些排印上的错误在译文中作了改正，有疑问的地方加了译者注，以便读者正确判断。

## 序 言

《热处理工作者手册——钢的标准操作和程序》一书以合理而便于使用的格式收集了各种重要的热处理数据。其最显著的特点是它独特的编排方式，它对美国钢铁学会每一种标准的碳钢、合金钢、工具钢和不锈钢牌号都分别进行了数据汇编。

汇编是根据美国钢铁学会的编号系统按数字编排的，共有 280 多种钢。每张数据表都为读者提供了钢的化学成分、美国和世界各国类似钢号的对照表、钢的性能和常用的热处理程序说明。大多数汇编还进一步提供了各种更详细的热处理数据，其中包括有代表性的显微组织照片、等温转变图、冷却转变图、回火曲线和尺寸变化数据，整个手册中共有 650 多幅曲线图和 400 幅显微照片图。为了提供正确的概念，每一主要章节的前面都有一节引言介绍各类钢的特点。手册后还附有热处理专有名词的解释和对热处理工作者特别有用的常用技术数据。

《热处理工作者手册》这本书的重点是为工业热处理工作者提供各种特别有用的资料。而且所收集的大量准确的尺寸数据将成为研究工作者、教师和工程师不可缺少的资料。由于本书主要是一本资料性的手册，因此不要求对某一工序为什么得到推荐作理论上的解释，也不要求对特殊的工艺、设备或非标准材料进行逐步解释说明，有关这方面的知识，读者可参阅《金属手册》第九版第四卷“热处理”。

作者和编辑保罗·M·昂特韦塞(Paul M·Unterweiser)、霍华德·E·博耶(Howard E·Boyer)和詹姆斯·J·库巴斯(James·J·Kubbs)在本书中总结了 100 多年的热处理实践经验。霍华德·博耶从前是美国《金属手册》的编辑，现在是金属学会的顾问。詹姆斯·库巴斯是金属工业的顾问工程师。要特别强调的是负责本书的主编保罗·M·昂特韦塞，他在本书出版前就去世了，昂特韦塞先生曾在美国金属学会作了 20 多年编辑工作，参加过《金属手册》第八版和第九版的编辑工作。

美国金属学会 蒂莫西·L·高尔

1982.5

# 目 录

<b>第一章 钢的热处理</b> .....	1
<b>第二章 碳钢和合金钢</b> .....	19
<b>第一节 碳钢(1000, 1100, 1200和1500系列)</b> .....	24
<b>一、非回硫碳钢(1000系列)</b> .....	31
1008.....	31
1010.....	32
1012.....	33
1015.....	34
1016.....	35
1017.....	35
1018.....	36
1019.....	41
1020.....	42
1021.....	53
1022.....	54
1023.....	58
1025.....	60
1026.....	62
1029.....	64
1030.....	65
1035.....	68
1037.....	70
1038, 1038H .....	71
<b>二、回硫碳钢(1100系列)</b> .....	123
1110.....	123
1117.....	123
1118.....	126
1137.....	127
1139.....	128
<b>三、回磷和回硫碳钢(1200系列)</b> .....	135
1211.....	135
1212.....	136
1213.....	136
1039.....	74
1040.....	76
1042.....	82
1043.....	83
1044.....	84
1045, 1045H .....	86
1046.....	93
1049.....	95
1050.....	96
1053.....	99
1055.....	101
1060.....	103
1070.....	106
1078.....	109
1080.....	111
1084.....	114
1090.....	115
1095.....	118
1140.....	129
1141.....	130
1144.....	132
1146.....	133
1151.....	134
12 L14.....	136
1215.....	137

四、高锰碳钢(1500系列).....	138
1513.....	138
15B21H .....	138
1522, 1522H .....	140
1524, 1524H .....	142
1526, 1526H .....	145
1527.....	147
15B35H .....	148
15B37H .....	150
1541, 15 41H.....	152
第二节 合金钢(1300~9700系列).....	167
1330, 1330H .....	168
1335, 1335H .....	171
1340, 1340H .....	173
1345, 1345H .....	176
4023.....	178
4024.....	180
4027, 4027H .....	182
4028, 4028H .....	184
4032, 4032H .....	186
4037, 4037H .....	189
4042, 4042H .....	191
4047, 4047H .....	195
4118, 4118H .....	201
4130, 4130H .....	206
4135, 4135H .....	212
4137, 4137H .....	213
4140, 4140H .....	216
4142, 4142H .....	225
4145, 4145H .....	229
4147, 4147H .....	230
4150, 4150H .....	233
4161, 4161H .....	236
4320, 4320H .....	237
4340, 4340H .....	240
E4340, E4340H .....	249
4615.....	250
4620, 4620H .....	253
4626, 4626H .....	258
15B41H .....	156
1548.....	158
15B48H .....	159
1551.....	161
1552.....	162
1561.....	163
15B62H .....	164
1566.....	165
4720, 4720H .....	259
4815, 4815H .....	261
4817, 4817H .....	265
4820, 4820H .....	268
50B40, 50B40H.....	271
50B44, 50B44H.....	273
5046, 5046H .....	275
50B46, 50B46H.....	277
50B50, 50B50H.....	279
50B60, 50B60H.....	281
5117.....	283
5120, 5120H .....	284
5130, 5130H .....	285
5132, 5132H .....	287
5135, 5135H .....	289
5140, 5140H .....	291
5150, 5150H .....	295
5155, 5155H .....	299
5160, 5160H .....	301
51B60, 51B60H.....	307
E 51100 .....	310
E 52100 .....	312
6118, 6118H .....	318
6150, 6150H .....	319
81B45, 81B45H.....	324
8615.....	326
8617, 8617H .....	328
8620, 8620H .....	331



8622, 8622H	344	8655, 8655H	372
8625, 8625H	346	8660, 8660H	374
8627, 8627H	348	8720, 8720H	377
8630, 8630H	350	8740, 8740H	381
86B30H	354	8822, 8822H	383
8637, 8637H	355	9260, 9260H	386
8640, 8640H	357	9310H	389
8642, 8642H	361	94B15, 94B15H	392
8645, 8645H	363	94B17, 94B17H	394
86B45, 86B45H	366	94B30, 94B30H	396
8650, 8650H	369		

**第三章 工具钢** ..... 398

**第一节 水淬工具钢(W系列)** ..... 402

W1	406	W5	413
W2	412		

**第二节 耐冲击工具钢(S系列)** ..... 414

S1	415	S6	425
S2	420	S7	427
S5	422		

**第三节 油淬冷作工具钢(O系列)** ..... 428

O1	428	O6	437
O2	435	O7	440

**第四节 中合金气硬冷作工具钢(A列系)** ..... 442

A2	443	A7	453
A3	448	A8	457
A4	449	A9	458
A6	451	A10	460

**第五节 高碳高铬冷作工具钢(D系列)** ..... 463

D2	463	D5	477
D3	471	D7	479
D4	475		

**第六节 低合金特殊用途工具钢(L系列)** ..... 482

L2	482	L6	486
----	-----	----	-----

**第七节 模具钢(P系列)** ..... 489

P2	489	P6	494
P3	490	P20	495
P4	491	P21	498
P5	493		

第八节 热作工具钢(H系列) .....	499
H10 .....	500
H11 .....	503
H12 .....	508
H13 .....	512
H14 .....	517
H19 .....	519
H21 .....	522
H22 .....	527
H23 .....	529
H24 .....	533
H25 .....	535
H26 .....	537
H42 .....	540

第九节 钨高速工具钢(T系列) .....	542
T1 .....	543
T2 .....	549
T4 .....	551
T5 .....	554
T6 .....	556
T8 .....	558
T15 .....	560

第十节 钼高速工具钢(M系列) .....	563
M1 .....	564
M2 .....	568
M3(1级) .....	573
M3(2级) .....	575
M4 .....	577
M6 .....	579
M7 .....	581
M10 .....	584
M30 .....	588
M33 .....	589
M34 .....	591
M36 .....	593
M41 .....	594
M42 .....	595
M43 .....	599
M44 .....	601
M46 .....	602
M47 .....	604

#### 第四章 不锈钢 .....

第一节 奥氏体不锈钢 .....	613
201 .....	615
202 .....	617
205 .....	618
301 .....	618
302 .....	618
302B .....	619
303 .....	620
303Se .....	620
304 .....	620
304L .....	622
S30430 .....	623
304N .....	623
305 .....	624
308 .....	624
309 .....	625
309S .....	625
310 .....	625
310S .....	626
314 .....	626
316 .....	627
316L .....	627
316F .....	628
316N .....	628
317 .....	629
317L .....	629
321 .....	630

329 .....	631	348 .....	632
330 .....	631	384 .....	633
347 .....	632		
第二节 铁素体不锈钢 .....			633
405 .....	635	430FSe .....	633
409 .....	635	434 .....	637
429 .....	636	436 .....	637
430 .....	636	442 .....	637
430F .....	636	446 .....	637
第三节 马氏体不锈钢 .....			638
403 .....	639	422 .....	658
410 .....	641	431 .....	659
414 .....	647	440A .....	661
416, 416Se .....	651	440B .....	663
420, 420F .....	655	440C .....	665
第四节 沉淀硬化不锈钢 .....			668
630 .....	668	633 .....	673
631 .....	670	634 .....	675
632 .....	672	660 .....	676
第五节 铸造不锈钢 .....			677
附录一 热处理名词解释 .....			679
附录二 热处理常用资料 .....			694
附录三 常用中国钢号和美国类似钢号对照表 .....			710

# 第一章 钢的热处理

钢是最重要的工程材料和结构材料，它的总产量占整个金属生产的约80%。因为钢兼有强度高、容易加工形成各种形状、具有广泛的性能和低的成本等优点，因此成为现代工业中非常重要的材料。

有些钢相当软，并有延性，能顺利地形成各种形状，如汽车挡泥板和车身零件；另一些钢则可以硬化到足以用作工具把其它钢切削成所要求的形状；还有一些钢可制成兼有强度和韧性的远洋轮船的螺旋桨轴或汽车轴。硬度非常高的钢是普遍使用的剃刀片钢。从这些例子可以看出，钢这个词是一个包括许多小的钢类的术语，如果对工业上生产的各种成分的钢进行鉴定，事实上就有几千种不同成分的钢。

我们可以生产各种用途的钢，包括相当软的带钢直到很硬的工具钢。在许多情况下，一种给定的钢的性能取决于成形时或成形以后适当的热处理。

在研究钢和其它铁合金的热处理之前，说明一下什么是钢并简要地研究钢的内部组织将是有益的。

## 什么是钢？

从根本上说，所有的钢基本上是混合物，或者更确切地说，是铁和碳的合金。所谓的普通碳钢一般也含有少量的（但是规定了数量或百分比的）锰和硅，加上少量无法避免但可以测量并且有限制的磷和硫。例如，标准成分的AISI和SAE<sup>⊖</sup> 1045钢有可能含0.45% C, 0.75% Mn, 0.040% P, 0.05% S和0.22% Si。这些钢中还含有其它元素，并规定了百分比，和钢合金化的元素，大多数是镍、铬、钼、钒和钨；根据规定，当锰的含量超过1%时，也属于这种合金化元素。为了得到特殊的性能和工程应用性能，在钢中可能需要一种或更多种这样的合金化元素。但是，在大多数钢中碳是主要的成分，因为在普通碳钢中存在的含碳量对钢的性能有显著影响，对获得某种所需要性能的正确热处理工艺的选择也有显著影响。

由于碳含量的重要作用，所以按碳这种非常主要的成分进行分类是普通碳钢分类的方法之一。当在特定的钢中只存在很少的碳时，这种钢就称为低碳钢或软钢。低碳钢含碳量的重量百分数小于0.30%。当钢的含碳量在0.30~0.60%之间时，叫做中碳钢，含碳量超过0.60%时叫做高碳钢，含碳量超过0.77%时叫做工具钢。很少见到含碳量在1.3~2.0%范围内的钢。钢的含碳量上限大约为2%。当钢的含碳量大于2%时，这种合金（铁-碳合金）通常叫做铸铁。铸铁的含碳量范围通常为2.3%至4.00%左右。铸铁是一种非常重要的铸造合金。

简言之，钢是铁和碳的合金，含碳量一般从约0.05%到约1.0%的范围，当然有时也可能含1~2%的碳。通称为普通碳钢的许多铁碳合金的化学成分，除了含0.040%的磷和0.040%的硫加上千分之几的锰和千分之几的硅之外，仅由铁组成。在碳钢中有些未规定的

⊖ AISI为美国钢铁学会的缩写；SAE为美国汽车工程师学会的缩写——译注。

元素如铬、镍、钼的含量约为千分之一时，称为残余元素。在碳钢中这些未规定的元素百分数对某些用途的热处理工艺过程是很重要的，如果其含量超过某一确定值，那么实际上就成了低合金钢，而不再是碳钢了。

## 钢的组织

在钢块的表面无法显示钢的内部组织结构，但如果金属块是断开的，在断口处就显示出晶粒的状态。这种晶粒通常很小，需要用放大镜才能看到它的存在。

用高放大倍数来显示断口很困难，因为用显微镜无法对粗糙的表面进行聚焦，在聚焦时断口的有些部位不是太近就是太远。

为了用显微镜正确地检验金属试片，首先必须用研磨方法制备出一块平面，然后用一次比一次更细的磨料抛光这一平面，直至得到没有划痕的镜面为止。由于抛光作用而使整个横向表面弄得模糊不清的金属薄膜用适当的试剂进行侵蚀(例如，一种叫做尼塔(Nital)的5%硝酸酒精溶液常用来侵蚀碳钢)，用以显示出晶粒。显微金相照片是通过显微镜拍下来的照片。冶金学显微镜通称为金相显微镜。图1所示是近于纯铁或铁素体的显微金相照片，它表示了试样通过适当的制备和侵蚀而显示的显微组织。黑线通常表示晶粒的边界。照片上的黑色区是由于侵蚀的深度不同而造成的。图1中的每个晶粒都是金属的单晶体，放大100倍后通常就足以显示纯金属的晶粒；用电子显微镜能把晶粒直径放大50000倍，但冶金检验一般采用100~500倍的放大倍数。

所有的固体金属事实上都是结晶体，金属在冷却过程中从熔化的钢中形成小的晶体，然后开始凝固。

但是，即使在放大倍数最大的显微镜下面也不能显示金属中的原子或空间点阵，只能见到单个的晶粒或晶体。为了能看到铁或钢中原子的晶体点阵排列，抛光和侵蚀的金属表面必须放大3500万倍。因此，在显微镜下观察到的最小晶粒也是由大量的原子组成的。

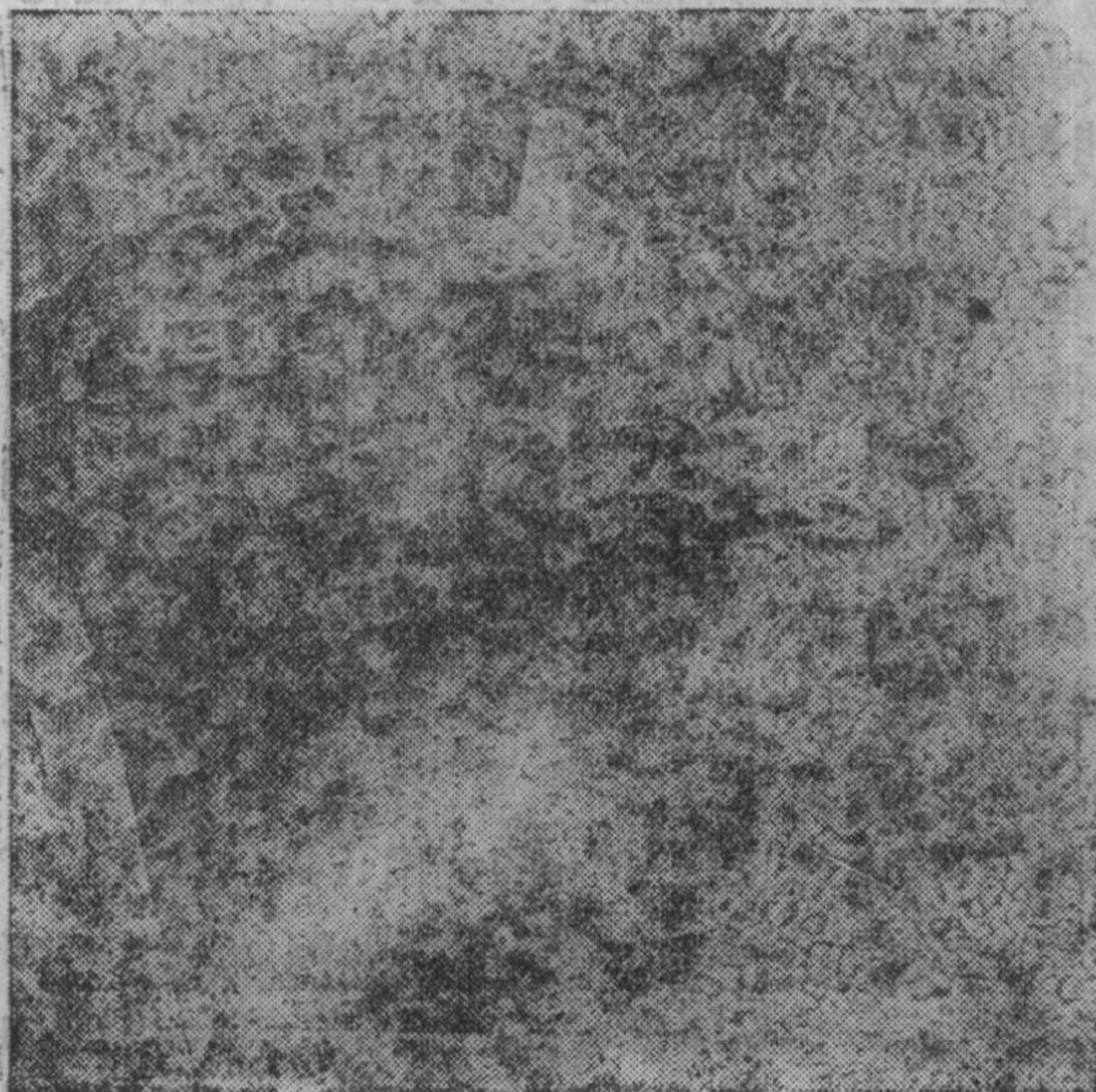


图1 接近于纯铁的显微金相照片 100×

虽然金属的晶粒或晶体可以具有一定的外形，也可能有各种尺寸，但晶粒的内部晶体组织是以特定金属的空间点阵为基础的。所有的晶粒或晶体都是以一定的模式或结构联结在一起的原子组成的。这种原子结构称为晶体材料的空间点阵。在固定温度下，晶粒中的原子彼此相距一定的距离，而且这一距离不能改变。当然，原子照这样的情况保持在一起是不可能的，但是，用假想线连接起来的原子三维晶格结构的晶体图很有用。

虽然存在有14种可能出现的空间点阵，但黑色冶金学家只需要知道两种空间点阵：(a)体心立方点阵(图2)和(b)面心立方点阵(图3)。体心立方往往缩写成bcc，在假想的立方体的每一个角上有一个原子，在立方体

的中心也有一个原子。面心立方点阵缩写成fcc，在立方体的每一个角上有一个原子，在立方体的六个平面上每个面的中心有一个原子。纯铁和碳钢在室温下具有体心立方点阵，而在某一高温区它们呈面心立方点阵排列。当钢或铁加热通过某一温度时，在晶粒内的原子排列就

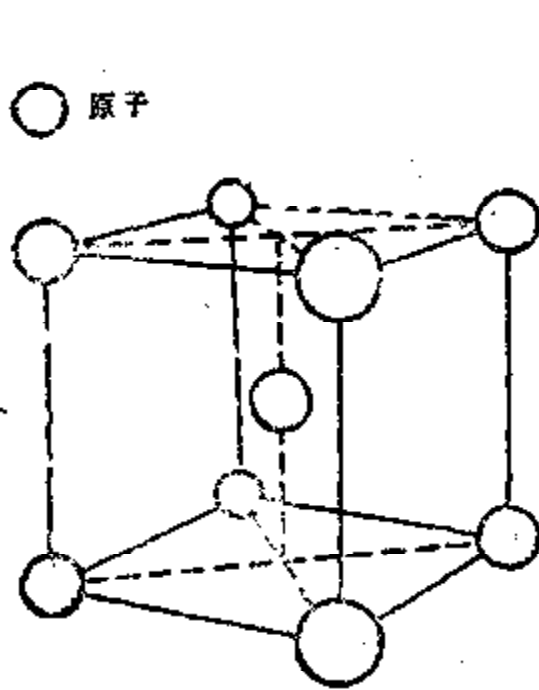


图2 体心立方点阵

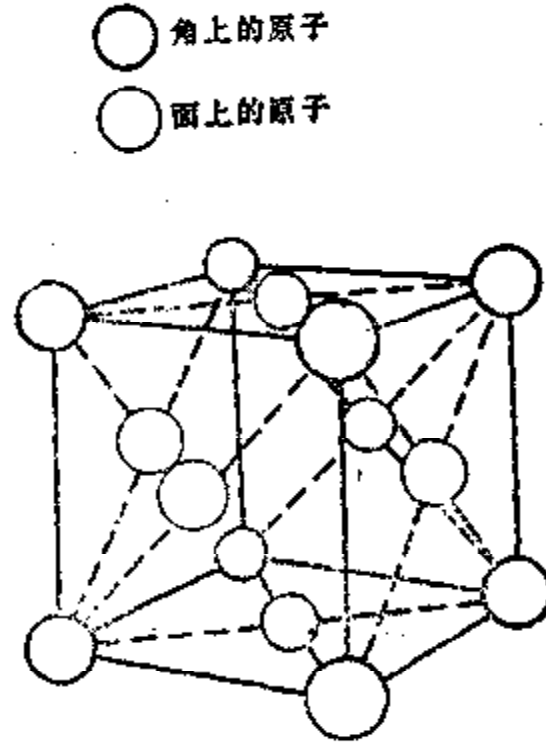


图3 面心立方点阵

发生由体心立方点阵到面心立方点阵的变化。原子的这种变换叫做同素异性转变。碳元素发生的变化是同素异形现象的一个普通实例，碳可以许多形式存在，包括灯黑、石墨或金刚石。发生同素异形变化的温度叫做转变温度。

钢的热处理科学就是依靠铁的这一同素异形转变和碳在各种形态的铁晶体中溶解度的变化。

#### 纯铁的同素异形变化

由于铁在铁-碳合金中是最主要的元素，在大多数碳钢中铁的含量大约占99%，因此简要地研究一下纯铁中的同素异形变化，作为进一步详细研究钢在热处理中重要的同素异形变化的入门是有价值的。

假定熔化的纯铁在保温良好的坩埚中有可能缓慢地冷却，并假定按图4所示的一样，用铁的冷却温度对时间作曲线图。

参照图4，当温度在 $2800^{\circ}\text{F}$  ( $1540^{\circ}\text{C}$ ) 以上时铁是液体，在 $2800^{\circ}\text{F}$  ( $1540^{\circ}\text{C}$ )，在温度不变的情况下铁开始凝固，直到完全成为固体；图4中的水平台阶(a)说明了这一过程〔在 $2800^{\circ}\text{F}$  ( $1540^{\circ}\text{C}$ )的冷却曲线段〕。在铁凝固成固体后，温度又一次降低，并以均匀的速度连续冷却，直至达到 $2540^{\circ}\text{F}$  ( $1395^{\circ}\text{C}$ )，在这一温度点，只有一个比在 $2800^{\circ}\text{F}$  ( $1540^{\circ}\text{C}$ )时短小的平台。

在 $2800^{\circ}\text{F}$  ( $1540^{\circ}\text{C}$ )和 $2540^{\circ}\text{F}$  ( $1395^{\circ}\text{C}$ )之间，固态的铁叫做 $\delta$ -铁， $\delta$ -铁具有体心立方结构。图4中冷却曲线上的平台或台阶(b)的温度为 $2540^{\circ}\text{F}$  ( $1395^{\circ}\text{C}$ )，这一温度表示固态的铁发生了一种变化；由 $\delta$ -铁变成了 $\gamma$ -铁(面心立方结构。这种特定的变化或转变对工业热处理作业没有什么重要意义。

当转变在 $2540^{\circ}\text{F}$  ( $1395^{\circ}\text{C}$ )完成时，温度又一次以均匀的速度下降到 $1675^{\circ}\text{F}$  ( $915^{\circ}\text{C}$ )，在

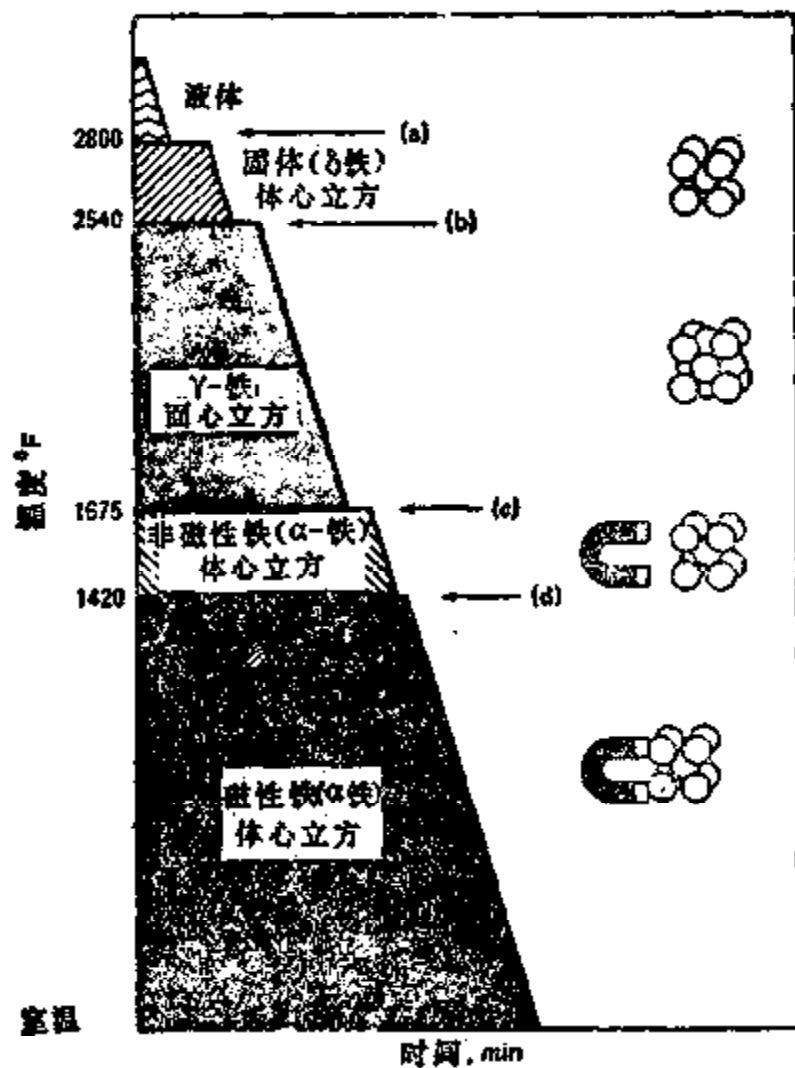


图4 纯铁从熔化状态冷却至室温时的变化

时从一种原子排列变成另一种原子排列的过程叫做转变。这种转变不仅在铁中发生，而且在许多铁合金中也发生；每种合金成分都在其特有的温度下发生转变。正是这种转变使钢的热处理有如此重要的意义。

### 热处理操作的种类

在深入研究碳加入铁中对上述转变的影响之前，在这里将简要说明钢的主要热处理类型，然后将阐述碳加入铁时对其晶体结构的影响，再研究为获得各种热处理的预期结果，如何对加热及冷却速度进行控制。在这一课题中详细说明了五种基本的热处理操作，这些操作的说明如下：

**完全退火** 完全退火是通过加热和冷却操作使钢软化的一种工艺方法，以便使钢容易弯曲和切削。在退火时，钢被加热到转变温度以上，在达到适当的温度以后再很缓慢地冷却。完全退火的突出特点是：(a) 退火温度在临界温度以上，(b) 冷却很缓慢，通常在炉内冷却。

**正常化** 除了在空气中冷却之外，钢的正常化和退火相同；在空气中冷却比在炉内冷却要快得多。钢进行正常化是为了细化晶粒尺寸、使其组织更加均匀，或改善加工性能。

**淬火** 淬火是把钢进行急冷，即从转变温度以上的温度快速冷却。钢在水中或在冷却最快的盐水中淬火，某些合金钢在油中淬火，某些高合金钢在空气中淬火，钢淬火后，通常很硬和很脆；如果落地甚至可能断裂。为使钢更有韧性，必须进行回火。

**回火** 以前，回火也叫延伸，包括重新将淬火的钢加热到转变温度以下适当的温度并保持适当时间，然后冷却至室温。这种工艺怎样使钢发生变化将在后面讨论。

**消除应力** 消除应力和回火一样是把钢加热到转变温度以下的温度，但主要是为了消除内应力，从而防止机械加工时的变形和裂纹。这种操作有时也叫退火工艺。

冷却曲线上又有一个台阶(c) (图4)。在1675°F (915°C)，温度又一次保持一段短时的恒温，在这一温度下，γ-铁变成α-铁 (具有体心立方点阵)。正如在下一章中将要提到的，这种转变对钢的热处理是极为重要的。图4中的1420°F (770°C)处的台阶(d)对热处理没有什么意义，它仅表示非磁性的铁变成成为磁的体心立方结构的铁。这一温度称为居里点。

必须强调指出，图4表示的变化是在冷却非常缓慢时发生的，只有在实验室条件下才能做到，在工业生产条件下是做不到的。铁在缓慢加热时，上述转变以相反的方式发生。在这样缓慢的冷却速度和加热速度下发生的转变叫做平衡转变，因为有足够的时间，为在图4中所示的温度下发生的转变创造了条件。

简言之，铁在加热通过1675°F (915°C)

转变温度随钢中碳和合金含量的变化而变化。直到最近，转变温度也被称为临界温度。

### 热处理的理由

钢的热处理通常是想要实现下列任务：

- 消除冷加工引起的应力或消除热的钢件因冷却不均匀而造成的应力；
- 细化热加工钢的晶粒组织，因为热加工的钢可能产生粗晶粒；
- 获得适当的晶粒组织；
- 降低硬度和增加塑性；
- 增加硬度以便增加耐磨性，或使钢有更长的使用寿命；
- 增加韧性，即使钢既具有高的抗拉强度，又有良好的延展性，能经得起大的冲击。
- 改善机械加工性能；
- 改善工具钢的切削性能；
- 改善电气性能；
- 改变或改善钢的磁性。

### 铁-渗碳体相图

当纯铁在 $1650^{\circ}\text{F}(915^{\circ}\text{C})$ 进行转变时，它是在单一的温度下进行转变。在 $1675^{\circ}\text{F}(915^{\circ}\text{C})$ 以上铁是面心立方点阵，在 $1675^{\circ}\text{F}(915^{\circ}\text{C})$ 以下它是体心立方点阵。当存在碳原子时就发生了两个变化：即转变温度下降，并且这种转变是在一定的温度范围内发生，而不是在一个单一的温度下发生转变。这种转变已简明地示于图5的铁-渗碳体相图中。相是指合金中在物理、化学或结晶学上完全相同的部分，它被明显的界面和合金的其它部分所分开。在铁-碳合金中有以下一些相：合金液体、奥氏体、铁素体、渗碳体和石墨。应当指出，这些相中的任何相也可以叫做组分，但是，并不是所有的组分(如珠光体或贝氏体)都是相，因为有些组分是混合物，有些是不完全均匀的成分。相图是在合金系统中的平衡温度和相界成分极限及相反应的曲线图象。在铁-渗碳体系统中，温度画作纵坐标，成分画作横坐标。在金属系统中，压力通常看作常数，不过，在某些偶然情况下也可以看成为附加的变量。在本节和工业热处理中这种图中的压力指的就是常数。

这种重要的相图经常被错误地称为铁-碳平衡图。叫铁-碳是错误的，因为在最右边的相是渗碳体而不是碳或石墨，平衡这个词也不恰当，因为在铁-石墨系统中渗碳体相实际上不稳定。换句话说，给予足够的时间(在较高的温度下需要的时间较少)碳化铁或渗碳体就会分解成铁和石墨。这就是钢的石墨化。石墨化是一种完全的自然反应，因此只有图6这一铁-石墨相图才能正确地称为平衡图。

图5的铁-渗碳体图只涉及了铁-碳化铁系统的组织，其中包括在每一种温度下存在的相和每一种相的成分极限。在相图中，温度作为纵坐标，成分作为横坐标。因此图上的任何一点都代表着一定的成分和温度，向特定的参考轴投影就可找到每一个值。

虽然这一相图由 $3500^{\circ}\text{F}(1925^{\circ}\text{C})$ 的温度一直延伸到室温，但我们所关心的将是位于 $1900^{\circ}\text{F}(1035^{\circ}\text{C})$ 以下的部分。钢的热处理操作很少使用 $1900^{\circ}\text{F}(1035^{\circ}\text{C})$ 以上的温度。

**碳在铁中的溶解度** 碳在熔化的铁中均匀地溶解这一事实很容易理解，这和盐溶解在水中的情况大致相同，但要设想固体碳或碳化铁在固体铁中的溶解情况就比较困难。然而，正



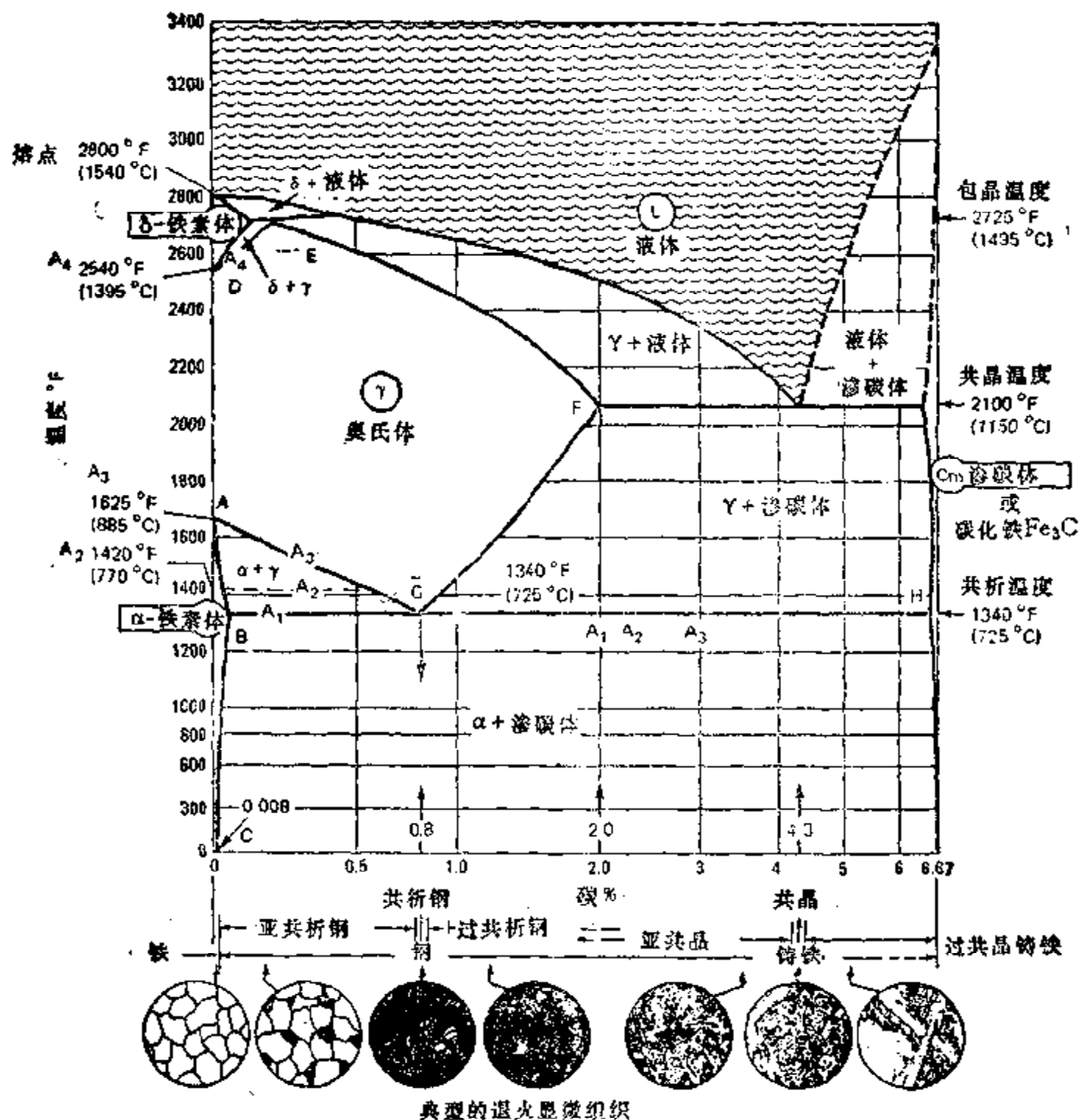


图5 铁-渗碳体相图

是铁和碳形成固溶体的这种能力使钢能够成功地进行热处理。

在图 5 中，表示奥氏体的区域实际上是铁中保留大量溶解碳的区域。事实上，大多数热处理操作，例如退火、正常化和淬火加热都是从加热钢到奥氏体区开始使碳化物溶解在铁中，在进行这种加热操作时，铁、碳或奥氏体在任何时候也不是在熔化状态。观察碳在铁中的固溶体的最简单方法可设想为一个篮球金字塔和在篮球之间的空隙中挤进去的高尔夫球，篮球表示铁原子，高尔夫球表示铁原子之间比较小的碳原子，因为碳原子只有铁原子的八分之一那么大。

奥氏体是用来表示碳在面心立方体铁中的固溶体的名词术语，和相图中的其它组分一样，奥氏体随温度的不同具有某一确定的碳溶解度，即图 5 中以 AGFED 为边界的阴影区。正如图 5 中奥氏体区所指出的，奥氏体的含碳量范围为 0~2%。由于奥氏体有一个边界是  $\gamma$ -纯铁，奥氏体可称为碳或碳化铁在  $\gamma$  铁中的固溶体。在正常条件下，普通碳钢在室温下不会有奥氏体存在；只能在图 5 中 AGFED 线为边界的高温下才能存在。虽然在碳钢中奥氏体通常在室温下不存在，但是碳钢从奥氏体区的冷却速度对碳钢的室温显微组织和性能有极大影响。因为称为奥氏体的相是面心立方晶体的铁，可以含多达 2% 的溶解碳，