

35040

2
1

中文类

金相基础

上册

山东工学院

金 相 基 础

山东工学院金相热处理教研室编

DX60/28



一九七八年

A 847010

G13
3.

目 录

第一章 金属的结晶	1
一、金属结晶.....	1
二、金属结晶理论.....	2
三、铸锭组织.....	9
四、焊缝组织.....	10
五、细化晶粒的途径.....	11
第二章 二元合金相图及组织	13
一、概述.....	13
二、匀晶相图.....	20
三、共晶相图.....	27
四、包晶相图.....	38
第三章 铁碳合金相图及组织	41
一、铁碳合金相图.....	41
二、典型铁碳合金的结晶过程.....	42
三、碳及杂质对钢显微组织的影响.....	46
四、铸钢组织.....	50
第四章 固态相变的类型、形核及长大	53
一、固态相变类型.....	53
二、固态相变的形核.....	55
三、生成相的生长速度.....	67
第五章 钢在加热时的转变	72
奥氏体的形成过程.....	72
影响奥氏体形成速度的因素.....	73



W647A 847007

三、奥氏体晶粒长大.....	81
四、影响奥氏体晶粒大小的因素.....	83
第六章 过冷奥氏体相变类型、先共析相的析出及其形态.....	94
一、过冷奥氏体相变类型.....	94
二、过冷奥氏体等温转变曲线—S曲线.....	97
三、铁的多形性转变.....	100
四、先共析相的析出及其形态.....	102
第七章 珠光体相变及其产物的组织形态.....	129
一、珠光体的组织形态及其形成过程.....	129
二、珠光体相变动力学.....	150
三、珠光体的性能及影响因素.....	159
第八章 钢中马氏体相变.....	165
一、马氏体的组织形态及精细结构.....	165
二、马氏体转变的主要特征.....	186
三、影响马氏体转变的因素.....	198
四、马氏体的性能.....	193

目 录

第九章 贝氏体相变及其产物的组织形态	205
一、贝氏体的组织形态和性能.....	205
二、贝氏体的形成.....	220
三、贝氏体转变规律的实际应用.....	234
第十章 奥氏体在连续冷却时转变	239
一、连续冷却转变的特点及影响因素.....	239
二、连续冷却转变时所产生的金相组织形态.....	249
三、冷却速度与转变产物和性能之间的关系.....	267
四、连续冷却转变图.....	268
五、连续冷却转变图的应用.....	276
第十一章 钢的回火转变	292
一、淬火钢回火时组织转变过程.....	292
二、淬火钢回火时性能的变化.....	309
三、回火脆性及防止措施.....	317
四、非马氏体组织的回火.....	320
第十二章 钢的化学热处理, 渗碳钢的金相组织形态	324
一、化学热处理的基本过程.....	324
二、渗碳钢的金相组织形态.....	329
第十三章 钢的氮化的金相组织形态	351
一、氮化层中的相和组织形态.....	351
二、氮化层的观测.....	357
三、实用氮化件金相组织形态.....	363

四、氮化质量的检验.....	366
第十四章 钢的软氮化和离子氮化的金相组织形态.....	371
一、尿素热分解气体软氮化的金相组织形态.....	371
二、甲酰胺滴注热分解气体软氮化.....	383
三、离子氮化.....	385
第十五章 钢铁渗硼和碳、氮、硼三元共渗的金相组织形态.....	393
一、钢铁渗硼的金相组织.....	393
二、碳、氮、硼三元共渗.....	399

第九章 贝氏体相变及其产物的组织形态

在珠光体转变温度以下，马氏体转变温度以上的温度范围内，奥氏体可在等温或连续冷却条件下转变成贝氏体组织。因此，也可以把奥氏体→贝氏体的转变称为中温转变，把贝氏体称为中温转变的产物。

在固态相变中贝氏体转变占有独特的地位，其中，兼有扩散控制相变和马氏体相变的特征。

钢中的贝氏体一般可分为两种，一种称为上贝氏体，转变温度约在 $550^{\circ}\sim 350^{\circ}\text{C}$ 之间，一种称为下贝氏体，转变温度在 350°C （或 400°C ）到 M_s 或 M_s 以下的温度范围内。钢中的贝氏体也是两相组织，一个相是铁素体（ $\alpha\text{-Fe}$ ），另一相是渗碳体（或 ϵ -相）。贝氏体是共格铁素体（ $\alpha\text{-Fe}$ ）和渗碳体或碳化物的非层状的混合物。

在金相检验中，常见到贝氏体组织。因为，在热处理生产中，许多零件经加热冷却后，得到贝氏体组织。例如，直径为150毫米的中碳铬—钼钢曲轴，经水玻璃溶液淬火后，其过渡层组织主要是贝氏体。生产上出现贝氏体的另一情况，则是结构钢或工具钢的等温淬火（接近完全的或部分的，高于或稍低于 M_s 点的），得到的转变产物则有下贝氏体组织，其性能，有较好的塑性和韧性，特别是冲击值与等强度的回火马氏体相当，常常还要高些。再者，近年来发展的低碳和中碳贝氏体高强度钢（如 $17\text{CrMo}1\text{V}$ ， 14CrMnMoVB ， 50SiMnMoV 等）。这些钢经轧制或重新加热冷却后即转变为贝氏体，在贝氏体状态下使用。

本章主要讨论碳钢及低合金钢贝氏体的主要形态及其与力学性能之间的关系，此外，还要着重介绍贝氏体相变特点及贝氏体的形成过程，以做为实践中分析有关金相组织和分析有关热处理工艺的合理性的基础。

一、贝氏体的组织形态和性能

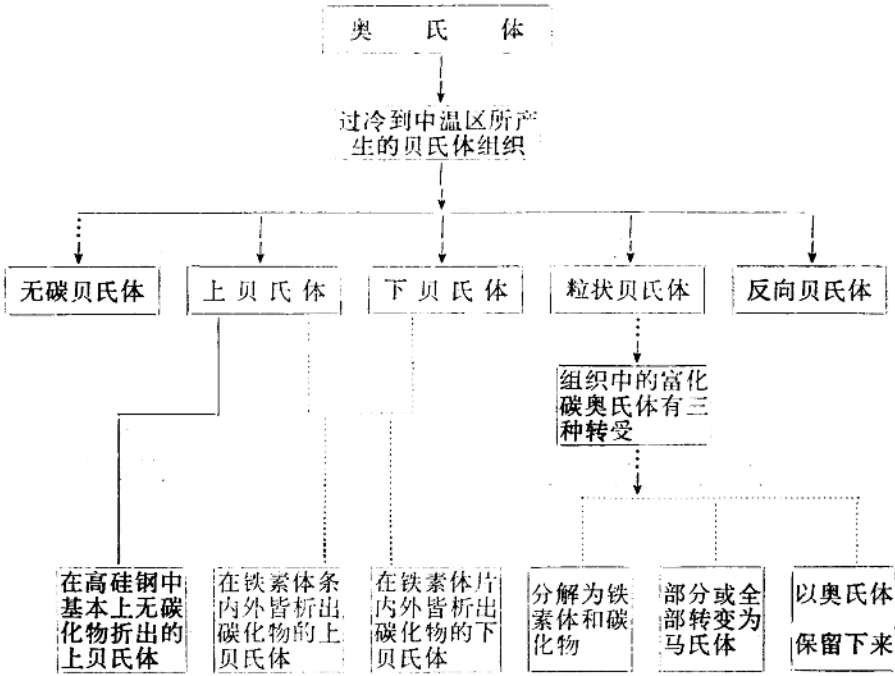
（一）贝氏体的组织形态

钢中贝氏体的金相形态是多变的，转变温度（转变时间也有影响）和合金元素（含碳量不同，其形态也稍有差异）对贝氏体的金相形态都有影响。钢中贝氏体主要包括上贝氏体和下贝氏体两种形式。此外，在钢中有时见到粒状贝氏体的组织。钢中贝氏体比较详细的分类参见下面示图：

1. 上贝氏体组织

（1）无碳贝氏体

无碳贝氏体是条状的铁素体组织，在贝氏体相变温区的上部形成。它多半起源于奥



氏体晶界或以先期在晶界上析出的铁素体作为基础，形成大致相互平行排列的条状铁素体（图9—1），铁素体内不含碳或近于无碳。每个条较宽，条间的距离也较大。在条的界面没有因奥氏体富化碳而析出的渗碳体粒子。



0.1 μ

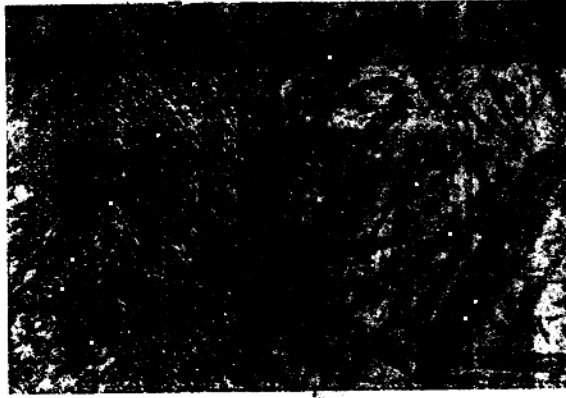
图9—1 0.1% C的碳钢600℃等温形成的无碳贝氏体

通常，在钢中是难以形成单一的无碳贝氏体组织，它常与珠光体或马氏体共存而形成混合组织。

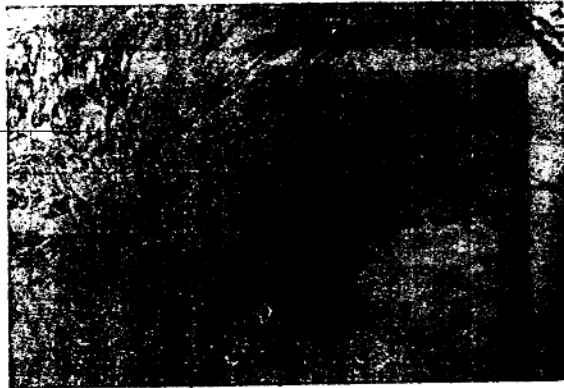
无碳贝氏体在本质上与魏氏组织没有差异，不过后者的形成温区比前者更高些。

(2) 上贝氏体

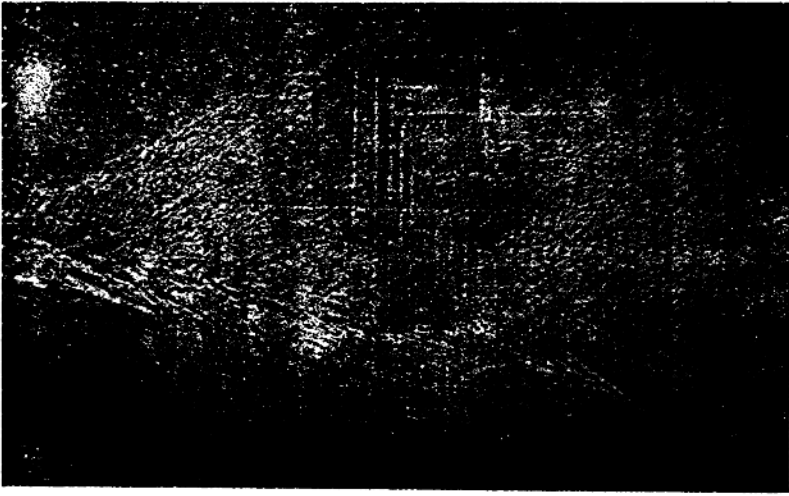
钢中的上贝氏体是成束的平行的条状铁素体和条间夹有相平行的渗碳体所组成的非层状组织。其铁素体中含有饱和的碳原子，量较少。普通的中、高碳钢上贝氏体的形成温度范围约为 $350\sim 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在低碳钢中它的形成温度要高些。在光学显微镜下，当转变量不多时，可以观察到成束的自晶界向晶内生长的铁素体条，具有羽毛状（或单片羽毛状）的特征（图9—2(a)~(c)），但分辨不清条间的渗碳体粒子。转变温度愈低，条愈细，愈为密集（图9—2(d)~(e)）。后者受浸蚀程度较深，这是由于形成温度较低，生成较多的碳化物的缘故。部分转变和转变完全的组织形态不尽相同（图9—3和图9—4），因为在较长时间的等温或降温过程中条状铁素体逐渐破断和集聚，使其呈现出断续的条状或粒状。



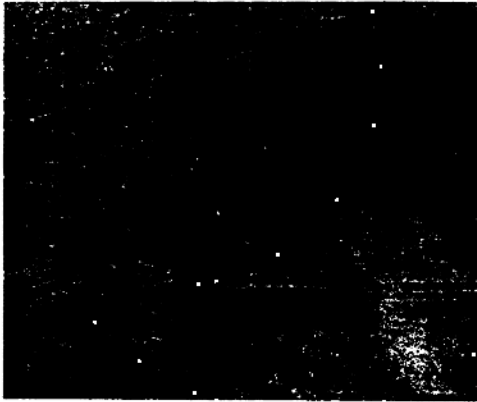
(a) 0.3% C 钢经 $920\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加热后，空冷 $\times 500$



(b) $0.38\% \text{C} - 1.0\% \text{Cr} - 0.14\% \text{Mn}$ 。钢经 $985\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加热，后 $480\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温30秒，所形成的上贝氏体组织 $\times 1000$



(c) Fe-1.4%C合金500℃等温3秒的上贝氏体组织



(d) - 0.6C-1.8%Ni-0.8%Cr-0.25%Mo钢495℃等温形成的上贝氏体组织×750



(e) - 同(d)钢种, 在410℃等温形成的上贝氏体组织×750

图9-2
几种上贝氏体的金相形态

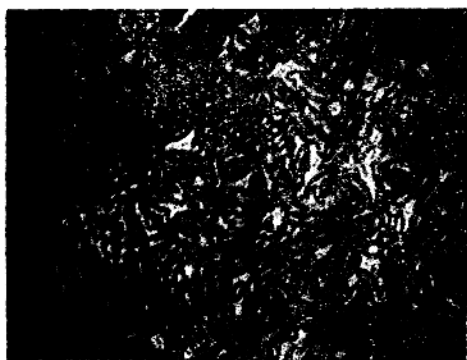


图 9—3 845℃加热10分375℃等温160秒的高碳高硅钢(0.73% C, 1.62% Si, 0.73% Mn)的上贝氏体组织×1500



图 9—4 985℃加热35分, 400℃等温7分的共析碳钢的上贝氏体组织×1000

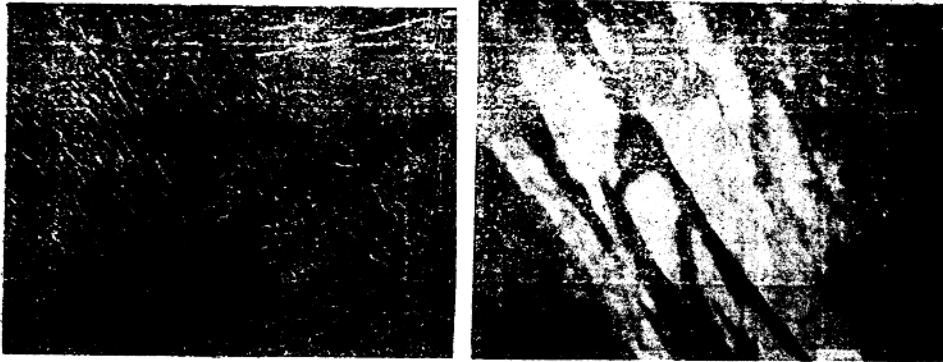
上贝氏体中渗碳体的形态随钢中含碳量的变化而有所不同。在含碳量很低的碳钢中(0.1%C), 由于铁素体条略宽, 渗碳体呈长条状。在中、高碳钢中, 随含碳量增高, 渗碳体数量逐渐增多, 而其形态则由粒状、联珠状而出现长杆状。含碳量很高的碳钢(1.0%C以上)的上贝氏体组织似雪花状, 实际上它是由几个不同取向的铁素体束并排而成。雪花状的上贝氏体基本上是由短条铁素体和短杆渗碳体所组成。

在电子显微镜下, 可清楚地看到上贝氏体中铁素体与渗碳体两个相(图9—5(a)~(c))。铁素体条之间大体上以几度到十几度的小位向差相互并列, 渗碳体沿条的长轴方向排列成行。在电镜下观察到的上贝氏体铁素体的亚结构是位错(图9—6)。其密度随相变温度的降低而增高。

上贝氏体铁素体条的宽度通常比相同温度下形成的珠光体铁素体为大(图9—7), 因此上贝氏体一般比珠光体浸蚀稍浅。



(a) - 电镜下的上贝氏体×5000



(b) - 电镜下的上贝氏体 $\times 5000$

(C) - 图 9-2 (d) 薄膜透射组织

图 9-5 电镜下上、下贝氏体组织

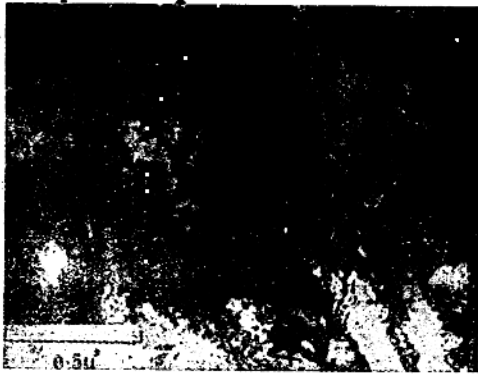


图 9-6 0.1% C 钢 550°C 形成的贝氏体亚结构 $32000\times$

上贝氏体铁素体的空间形状似板条，与低碳马氏体相像。在抛光的表面上出现浮凸现象。上贝氏体铁素体与其母相间具有一定的位向关系，它的惯习面为 $(111)_r$ 。

在含有提高奥氏体稳定性的合金元素如硅、铝钢中，上贝氏体铁素体条间比较“干净”，很少存有渗碳体（图9-8），这时奥氏体非常稳定，在这些钢中残余奥氏体量可达30~40%之多。

也可能存有这样的情况：如若相变温度较低些，与在铁素体条间析出渗碳体的同时，在条内也析出少量的多向分布的渗碳体粒子（参见表9-2）。与上述的典型的上贝氏体组织有所不同。

2. 下贝氏体

典型的下贝氏体是片状铁素体与其内部沉淀的碳化物的两相组织。对于一般中、高碳钢而言，它的形成温度约在350°C至 M_s 点之间，这时其铁素体中的含碳量较之上贝氏

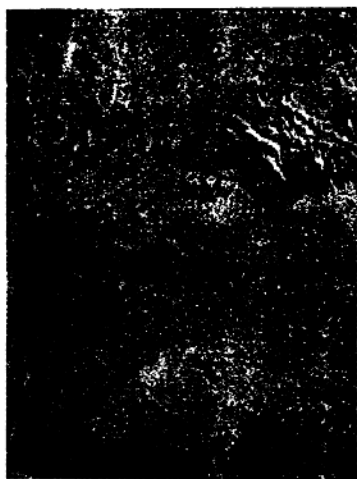


图 9—7 共析钢上贝氏体与屈氏体
组织 × 5000

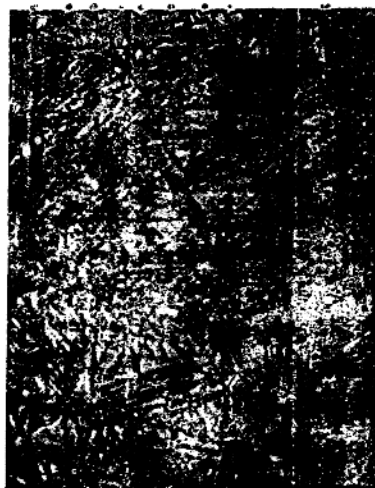


图 9—8 0.6% C - 2.0% S 钢 400℃ 等温
形成的上贝氏体组织 × 1000

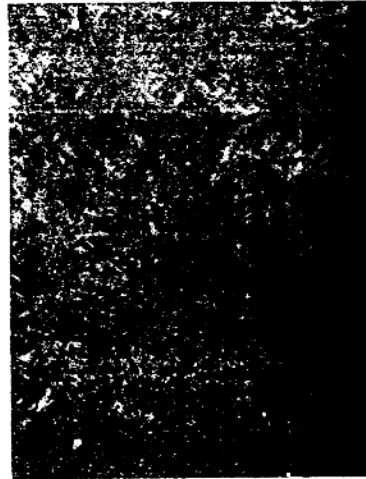
体的铁素体中具有更大的过饱和度，在 250℃ 以下可达 0.2% 左右。在光学显微镜下，当转变量不多时，由于下贝氏体易受浸蚀，观察到在浅色马氏体的基体上，多向分布的铁素体片，外貌呈黑针状（图 9—9(a)~(d)）。转变结束后的组织，常因各铁素体片互相接触其针形特征不甚明显而不易识别（图 9—10(a)、(b)）。



(a) —轴承钢 (1.0% C, 1.5% Cr),
860℃ 加热 15 分, 265℃ 等温 150 秒形
成的下贝氏体组织 × 1500



(b) —硅钢 (0.73% C, 1.62% Si, 0.73
% Mn), 845℃ 加热 10 分, 265℃ 等温
2700 秒, 形成的下贝氏体组织



(c) —0.55% C, 1.2% Cr, 4.12% Ni, 0.48% Mo, 0.82% W, 850℃加热, 30分, 0.006℃/秒冷却
 (d) 同左钢种在较高倍数下的贝氏体组织 ×1500

图 9—9 下贝氏体的金相形态

下贝氏体中的碳化物及其形态只有在电镜下始可看得清楚，它呈粒状或短状条，沿着与片的长轴相夹 $55\sim 65^\circ$ 的方位分列成排（图9—11）。下贝氏体中的亚结构与上贝氏体一样，也是位错，但其密度高些。



(a) —0.87% 碳钢 985℃加热 35分, 232℃等温 30分的形成的下贝氏体组织 ×500
 (b) —1.04% C, 1.53% Cr 轴承钢 860℃加热 15分, 265℃等温 1小时所形成的下贝氏体组织 ×1500

图 9—10 转变完全的下贝氏体组织



图9—11 (a) 60Si₂Mn钢255℃28小时的复型电镜组织



图9—11 (b) 60Si₂Mn钢255℃28小时的薄膜透射组织



图9—11 (C) 电镜下的下贝氏体组织×10000。钢的成分与处理条件同图9—9(c)

下贝氏体铁素体的空间形状似片状，与高碳马氏体相像。在事先抛光的样品磨面上

可观察到浮凸现象。下贝氏体铁素体与其母相间具有一定的位向关系，它的惯习面为 $(112)_r$ 。

虽然下贝氏体类似于高碳回火马氏体，它们晶体的空间形状都呈片状并都在过饱和固溶碳的共格铁素体基体内沉淀出碳化物。碳化物结构类型的变化过程大致上也相似，即开始阶段为 ϵ -碳化物，随后才代替以渗碳体。不过其间还是有差别的，下贝氏体的碳化物只分布在 $[121]_\alpha$ 一个方向上，而回火马氏体中的碳化物分布在两个以上的方向上。高碳马氏体的惯习面是 $(225)_r$ 或 $(259)_r$ ，然而下贝氏体的惯习面为 $(112)_r$ 。

如果相变温度不是过低，钢的含碳量又比较高，可能出现这种情况：下贝氏体中碳化物不但出现于铁素体的内部，也有少量的碳化物分布在它的外缘，与典型的下贝氏体组织形态有所差异（参见表9—2）。

贝氏体中碳化物的晶格类型随相变温度不同而异。在上贝氏体温度范围内($> 350^\circ\text{C}$)形成的贝氏体铁素体间的碳化物为渗碳体。下贝氏体中的碳化物相的晶格类型决定于相变温度、相变时间和钢的成分。开始形成时往往是 ϵ 相碳化物，随后，随保温时间的延长再逐步地部分地或全部地转变为渗碳体。钢中若有硅、铝将延缓这种转变或保持不变（表9—1）。但若提高回火温度含铝、硅钢中的 ϵ 碳化物可逐渐转变渗碳体。

在贝氏体形成时，在事先磨光样品表面上形成浮凸，这一点和马氏体形成时有共同之点。但是上贝氏体浮凸和下贝氏体浮凸之间是有区别的。前者是迭连相接的多重浮凸（图9—12(a)），而后者显示出单一的浮凸，并在一片大的浮凸的一个侧面有许多小的贝氏体浮凸，它们之间成“V”形或“Λ”形排列（图9—12(b)）。

3. 粒状贝氏体

毛主席教导我们：“人类认识的历史告诉我们，许多理论的真理是不完全的，经过实践的检验而纠正了它们的不完全性。”人们经过生产实践又发现，钢中的上、下贝氏体的金相形态，不是贝氏体的全部形态。除上述的上、下贝氏体外，在近十年又确定钢中存有粒状贝氏体。譬如，许多低、中碳合金钢以及普通碳钢在连续冷却和等温转变条件下均可产生这种组织。它的形成温度范围位于上贝氏体相变温区的上面，粒状贝氏体是由粒状的和块状的铁素体，以及在其间或为其所包围的岛状组织所组成，见图9—13(a)~(d)。这些孤立的“小岛”形状多样，很不规则。经证实这些“小岛”的组织为残余奥氏体（图9—13(b)）。它在随后的转变过程中可能有三种变化情况：其一，部分分解或全部分解为铁素体和碳化物（图9—14(a)、(b)）；其二，一部分富碳奥氏体转变为马氏体（图9—14(c)）；其三，仍保留为富碳奥氏体（图9—14(a)、(d)）。

表9—1 两种钢下贝氏体中的碳化物相

0.5% C, 4% Cr 奥氏体化温度1260℃	
处 理 规 程	碳 化 物 相
180℃, 20小时, 水淬	ϵ 相
185℃, 80小时, 水淬	ϵ 相 + 渗碳体
240℃, 20小时, 水淬	ϵ 相 + 渗碳体
270℃, 20小时, 水淬	ϵ 相 + 渗碳体
0.6% C, 2% Si, 奥氏体化温度870℃	
处 理 规 程	碳 化 物 相
315℃ 48小时, 水淬	ϵ 相

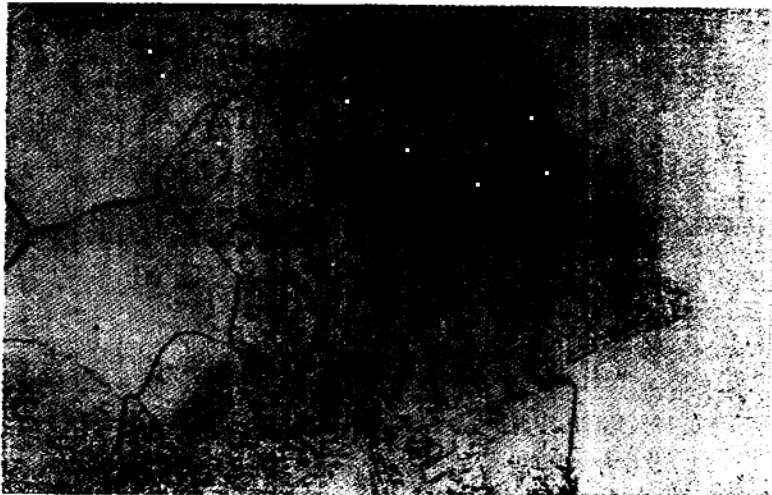


(a) —上贝氏体, 0.15% C, 9% Ni 钢经
400 °C 等温形成



(b) —下贝氏体, 0.6% C, 1.8% Ni,
0.8% Cr, 0.25% Mo 钢经 260 °C 等温
形成 × 360

图 9—12 贝氏体的表面浮凸



(a) 0.09% C, 2.30% Cr, 0.84% Mo 钢 930 °C 加热 30 分, 以 1.5 °C/秒
冷至 600 °C 后空冷 × 1500