

# 金属材料及热处理

金属材料及热处理专业试用教材

第一分册

钢的热处理

北京钢铁学院

金相专业(钢的热处理)编写小组

一九七六年二月

## 前 言

“教育要革命”的指示，在全国人民认真学习无产阶级专政理论问题的推动下，以工农兵学员为主体的有工人、教师参加的编写教材三结合小组。在几本《金属材料及热处理》的第一分册《钢的热处理》进行了改编。

这本教材，这是无产阶级文化大革命涌现出来的新生事物。它不仅体现了工农兵的作用，而且也说明了工农兵学员如何与十七年的修正主义教育路线对无产阶级专政工具的重要问题。无产阶级文化大革命以前，教材的编写工部局教育路线统治着。他们大搞唯心论和形而上学；脱离无产阶级政治，宣至上；脱离工农群众，宣扬智育第一，成名成家；脱离我国生产实际，宣哲学。这些构成了旧教材的反动思想体系，它只能为培养资产阶级精神贵本主义服务。“不破不立”，我们要编写新教材，就必须对旧教材进行彻头，立也就在其中了”。在批判旧教材的同时，我们认真学习了《实践论》，对在工厂中编写的原教材做了肯定。对原来没有的和不足之处进行了修正。在这个过程中，我们力求用辩证的观点分析在生产实际中碰到的理论和实际的矛盾。实践——认识——再实践——再认识的认识规律。改变旧教材中的从一般到具体，从原理到工艺的违反唯物论的认识论的作法。

这本《金属材料及热处理专业普通班在第一学期刚入学时，下厂的试用教材。也是函授班。所以教材力求达到通俗易懂，在实践的基础上便于自学。但由于编者再加上实践经验很少，一定会存在不少缺点和错误。所以学员应遵照毛主席“**提高年级，主要是自己研究问题**”的教导。坚持独立钻研，有批判，有分析力集中在培养自己分析问题和解决问题的能力上。

在这个过程中，我们曾得到了北京汽车制造厂、北京量具刀具厂、北京齿轮厂、机械厂等二十多个单位的工人和技术人员的大力支持和帮助。许多革命教师和我们提了很多宝贵意见。对此，我们表示衷心的感谢。并热烈希望广大工农兵学员在学习的过程中，对此书提出宝贵意见，以便在今后的修改中改正。

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第一章 我国古代劳动人民对钢铁热处理发展的贡献.....    | 1  |
| 一、我国古代冶铁和炼钢技术的起源和发展.....        | 1  |
| 二、我国古代热处理技术的起源和发展.....          | 2  |
| 三、《天工开物》中对我国古代钢铁热处理技术的科学总结..... | 4  |
| 四、几点启示.....                     | 5  |
| 第二章 碳素钢退火状态的性能与组织结构.....        | 7  |
| 第一节、退火状态碳钢的机械性能.....            | 7  |
| 第二节、退火状态碳钢的显微组织.....            | 8  |
| 第三节、退火状态碳钢中各相的晶体结构.....         | 10 |
| 第三章 铁碳合金相图概论.....               | 15 |
| 第一节、简易铁碳合金相图的初步建立.....          | 15 |
| 第二节、铁碳合金相图全貌介绍.....             | 17 |
| 第三节、铁碳合金相图左下角的分析.....           | 18 |
| 第四节、铁碳合金相图对实践的指导意义.....         | 26 |
| 第五节、合金元素对铁碳合金相图共析温度和成份的影响.....  | 32 |
| 第四章 碳钢在加热时奥氏体的形成与奥氏体晶粒长大.....   | 33 |
| 第一节、奥氏体形成过程概述.....              | 33 |
| 第二节、影响奥氏体形成过程的各种因素.....         | 35 |
| 第三节、奥氏体晶粒大小及长大倾向.....           | 37 |
| 第五章 钢在冷却时的组织变化.....             | 42 |
| 第一节、碳钢在不同速度冷却时所获得的组织及性能.....    | 42 |
| 第二节、过冷奥氏体等温转变动力学曲线（C—曲线）.....   | 43 |
| 第三节、钢的化学成份及其他因素对过冷奥氏体转变的影响..... | 49 |
| 第四节、过冷奥氏体连续冷却转变曲线.....          | 51 |
| 第五节、C—曲线的应用.....                | 59 |
| 第六章 退火与正火.....                  | 63 |
| 第一节、概述.....                     | 63 |
| 第二节、退火工艺.....                   | 64 |
| 第三节、正火工艺.....                   | 78 |
| 第四节、珠光体转变.....                  | 80 |
| 第七章 钢的淬火.....                   | 85 |
| 第一节、钢件淬火的目的是特点.....             | 85 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第二节、淬火加热                | 86  |
| 第三节、奥氏体向马氏体的转变          | 91  |
| 第四节、淬火冷却剂               | 98  |
| 第五节、钢的淬透性               | 102 |
| 第六节、淬火内应力与变形开裂          | 108 |
| 第七节、淬火冷却操作              | 118 |
| 第八节、钢的形变热处理             | 127 |
| 第八章 钢的回火                | 131 |
| 第一节、引言                  | 131 |
| 第二节、淬火钢在回火时组织状态的变化      | 131 |
| 第三节、淬火回火钢的显微组织          | 135 |
| 第四节、钢回火后的机械性能           | 136 |
| 第五节、合金元素在回火时的作用         | 140 |
| 第六节、钢在回火时的脆性            | 144 |
| 第七节、钢的回火热处理工艺           | 146 |
| 第九章 钢的化学热处理             | 153 |
| 第一节、钢的渗碳                | 153 |
| 第二节、钢的氮化                | 178 |
| 第三节、碳氮共渗                | 193 |
| 第四节、渗金属                 | 204 |
| 第十章 钢的表面淬火              | 211 |
| 第一节、感应加热                | 211 |
| 第二节、高频表面淬火              | 215 |
| 第三节、中频表面淬火              | 226 |
| 第四节、工频表面淬火              | 228 |
| 第五节、感应器的设计              | 231 |
| 第六节、电接触加热表面淬火           | 237 |
| 第七节、火焰表面淬火              | 238 |
| 第十一章 铸铁及热处理             | 247 |
| 第一节、铸铁的性质分类及牌号          | 247 |
| 第二节、白口铁的组织与性能           | 248 |
| 第三节、普通灰口铁的组织与性能         | 250 |
| 第四节、可锻铸铁                | 254 |
| 第五节、球墨铸铁                | 256 |
| 第六节、合金铸铁简介              | 257 |
| 第七节、铸铁热处理               | 258 |
| 第十二章 典型另件热处理工艺分析        | 264 |
| 第一节、汽车后半轴的热处理工艺分析       | 264 |
| 第二节、汽车后桥130被动齿轮渗碳典型工艺分析 | 269 |
| 第三节 W18Cr4V 钢拉刀热处理工艺分析  | 275 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>第四节、搓赫板的热处理工艺分析</b> .....   | 281 |
| <b>第五节、热锻模典型工艺分析</b> .....     | 286 |
| <b>第六节、小农具用钢及热处理工艺介绍</b> ..... | 294 |
| <b>第十三章 钢的机械性能</b> .....       | 299 |
| <b>第一节、钢的强度和塑性</b> .....       | 299 |
| <b>第二节、钢的硬度</b> .....          | 303 |
| <b>第三节、钢的冲击韧性</b> .....        | 308 |
| <b>第四节、钢的疲劳强度</b> .....        | 310 |
| <b>附 录</b> .....               | 312 |
| <b>一、钢的类别和钢号</b> .....         | 312 |
| <b>二、布、洛、维、肖氏硬度对照表</b> .....   | 315 |
| <b>三、铝、铜合金牌号及热处理规范</b> .....   | 316 |

## 第一章 我国古代劳动人民对钢铁热处理发展的贡献

钢铁的热处理就是把钢铁材料（坯料或构件）加热到规定的温度，使其在随后的保温和冷却过程中发生内部组织转变或化学成分的变化，从而达到改善钢铁材料的各种性能（机械性能、物理性能、化学性能和工艺性能等）的目的。而目前，冷处理、冷加工变形、辐照等工艺，也正在作为热处理的手段，因而更确切全面地说，应把一切有目的地改善钢铁材料内部显微组织和结构，以得到预期的性能的工艺，都包括在钢铁热处理的范畴之中。

正因为钢铁热处理工艺有上述特点，所以多少年来，在资产阶级专家权威那里，一直把钢铁热处理这门科学神秘化，鼓吹这门科学是某些专家权威的天才的发现，是发财致富的“敲门砖”。上海量工具刀一位老工人控诉说：“解放前我在一资本家开设的工厂里当热处理工。老板不仅在政治上压迫工人，在经济上残酷剥削工人，而且在科学技术上对我们实行垄断。在资本家手里有一张‘铁碳合金状态图’，他吹嘘这张图是他制订热处理工艺的法宝。他把这张图挂在办公室的墙上，并且用布帘盖着，不准工人进去，更不让工人知道制订热处理工艺的道理”。在资产阶级手里，这门科学成了他们对无产阶级专政的工具。

伟大的无产阶级文化大革命特别是批林批孔运动开展以来，工农兵登上了上层建筑历史舞台，用马克思主义、列宁主义、毛泽东思想这个锐利的武器，把被颠倒了的历史又颠倒过来。大量的史料，特别是无产阶级文化大革命以来出土的大量文物，有力地证明了，早在两千多年以前，我国古代劳动人民就已经运用热处理来解决铁器使用中的实际问题。劳动人民是热处理这门科学的创造者。热处理和其他一切自然科学一样，也是在生产实践经验的基础上发展起来的，并且在不断地实践中丰富和总结提高的。

宣传“奴隶们创造历史”的唯物史观，颂扬我国古代劳动人民对世界科学文化发展的卓越贡献，是我们的光荣的战斗任务。我们要以实际行动来批判旧的教育和旧的科学研究中存在的“不谈中国历史，不谈中国科学技术发展史，不谈我国古代劳动人民的生产斗争史，不谈社会发展和科学技术关系的“文必称希腊，言必称罗马”的状况，让工农兵劳动群众真正占领上层建筑的各个领域。

了解我国古代劳动人民对钢铁热处理发展的贡献，可使学员加深对我国自然科学史的认识，加深对历史唯物主义的理解，从而加强学习的主动性，树立为巩固无产阶级专政而努力的坚强信念。

### 第一节 我国古代冶铁和炼钢技术的起源和发展

我们的祖先是世界上最早使用铁器的民族之一。我国冶铁技术的起源，象其他一切技术一样，是生产不断发展的结果。商代发达的青铜冶铸技术，为后来冶铁和炼钢技术的发展，创造了良好的技术条件。1972年底河北藁城出土的商代的铁刃青铜钺，是至今为止发现的我国最早的带铁的工具，见图1-1。经分析，铁刃是陨铁，经过加热锻打。这说明早在公元前

十四世纪前后，商代劳动人民就开始了铁器的使用。

到春秋晚期开始了我国炼铁的历史。从一些出土文物中，可证实春秋晚期我国劳动人民已可在固态下用木碳还原铁矿石，即发明了块炼法，得到海棉铁，（锻制后得到熟铁）。在春秋末战国初，发展了液态生铁的生产 and 铸造工艺，同时为解决白口铁的脆性，发明了白口铁的柔化处理或可锻化处理。生铁的冶炼和铸造方面，我国要比其他民族早1800年。

恩格斯指出：“铁使更大面积的农田耕作，开垦广阔的森林地区，成为可能；它给手工业工人提供了一种极其坚固和锐利非石头或当时所知道的其他金属所能抵挡的工具”。铁制农具的使用为深耕创造了有利条件，用牛耕逐渐代替了人拉的耩耕法。到战国时，铁器的使用更为广泛，除农具外，木工、手工工具也使用铁制品，而且战争武器如刀剑、铠甲等也开始用铁。到战国中晚期，又发明了用块炼铁渗碳制钢的方法，开始了钢的生产和使用。铁和钢制生产工具的使用，使农业和手工业有了很大的进步。由于生产力的突飞猛进，产生了代表新生产力和生产关系的阶级——地主和农民，因而要求在整个社会生产关系和上层建筑进行变革。代表革新进步的新兴地主阶级和广大劳动人民在与代表没落的生产关系的奴隶主阶级的不断斗争中，逐渐确立了新兴地主阶级的政权，完成了封建社会取代奴隶社会的革命。同时新的生产关系的确立，法家路线的推行，给生产力以极大的反作用，使我国战国中晚期的采矿业、冶铁业和冶铁技术获得了很大的发展，使用铁器的地区遍及现今的辽宁、河北、山东、山西、河南、陕西、湖南和四川等地区。随着统一的、中央集权的多民族封建制国家的出现，秦汉时期在冶铁和炼钢技术方面又有飞速的发展。西汉由于推行法家路线，贯彻“耕战”政策，又推行了盐铁官营，促进了汉代钢铁业的更迅速发展。生铁品种除白口铁外，广泛地使用了麻口铁和灰口铁，灰口铁的出现标志着我国冶铁技术达到了新的水平。在炼钢方面，西汉到东汉期间出现了炒钢技术，直接用液态生铁炒炼成纯铁或不同含碳量的钢，这可以说是炼钢史上的一次革命。炒钢技术，欧洲在1740年才开始使用。在这期间出现了反复加热锻打的“百炼钢”生产工艺。东汉末年的《太平经》卷72中记载有：“使工师击冶石，求其铁烧冶之，使成水，乃后使良工万锻之，乃成莫邪耶”。其中“成水”即炼成液态生铁，“万锻之”即反复锻打之“百炼钢”工艺。

到东汉魏晋时期，又出现了用生铁铸件控制脱碳，制成钢件的方法。更晚的魏晋南北朝时期，炒钢工艺进一步发展，出现了“杂炼生铁”的“灌钢”（又名“团钢”）的生产工艺，用生铁熔化，“灌”入熟铁片间，经加热扩散反复锻打，只要控制好生熟铁的比例，就能控制钢的含碳量，得到钢质均匀的钢件。随后“灌钢”法成为我国主要的炼钢方法。

至此，我国古代冶铁和炼钢方法，在魏晋南北朝时期都为我国劳动人民所掌握。

## 第二节 我国古代热处理技术的起源和发展

我国古代热处理技术是随着冶铁和炼钢技术的发展而不断发展和完善的。春秋末战国初，随着生铁的使用，出现了白口铁过脆，尤其经不起强力的冲击，严重地影响铁器的使用，因而改善白口铁的使用性能，就成了迫切需要解决的问题。热处理技术就随之而产生了。我国古代劳动人民至迟在战国初期，先后发明了对生铁的柔化处理和可锻化处理。

生铁的柔化处理是使它在脱碳气氛的炉内加热，长时间保温进行表面脱碳，使铁器的表面降到钢的含碳量范围，得到心部是白口铁而表面是钢的组织。图1-2是河南洛阳出土的战国初期（公元前五世纪）的铁镞的显微组织，心部是共晶莱氏体组织，边部是珠光体组

织，表层是珠光体加铁素体组织。铁器的表面有一层珠光体或珠光体加铁素体组织，就降低了铁器的脆性，使裂纹不易从表面形成和向内部扩展。这种生铁柔化处理的方法，发展到东汉魏晋时期，成为生铁脱碳成钢的方法，即白口铁完全脱碳成钢的成分。

可锻化处理是使白口铁中的渗碳体在高温下发生分解，生成团絮状的石墨，基体是钢的组织。图 1-3 是我国武安出土的战国铁锹的显微组织，其中黑色部分是团絮状石墨基体是铁素体加珠光体。同柔化处理相比。它的脱碳很少，碳聚集成大块石墨，而不存在白口铁共晶组织，得到铁素体或珠光体以及它们的混合组织的基体，这样使生铁的脆性大大降低，使强度和塑性韧性的配合有了不小的改善，使得铁器的使用寿命得到了提高。

渗碳工艺是热处理的一个重要内容，在战国中晚期，发展了块炼铁经高温渗碳制成钢的方法，并且得到广泛传播，随后渗碳作为淬火前的表面热处理工艺而广为应用。图 1-4 为河北满城西汉墓葬出土的刘胜佩剑表面渗碳的高碳层显微组织。根据满城汉墓出土钢件夹杂物的电子探针分析，渗碳剂除采用木炭外，还可能加入骨粉等作为促渗剂。由此看来，至迟在西汉年间，固体渗碳的工艺已经发展得比较完善了。在魏晋南北朝时期发展的“灌钢”生产工艺的基础上，后来出现了我国所特有的生铁淋口渗碳工艺。即在高温下利用熔化的生铁淋在钢件表面，达到渗碳的目的。只要控制好生铁用量，可以得到满意的结果。其基本操作，至今仍在小农具制造中使用，即所称的“擦渗”工艺。

在战国时期，随着生产的发展和战争的频繁，对钢件（例如兵器）的锋利程度的要求不断提高，要求进一步改善钢的性能。在这种情况下，强化钢的最重要的热处理操作——淬火便发展起来了。淬火基本操作是，将钢件加热到确定的温度，然后在水或其他介质中快速冷却，使钢件的硬度大大增高。河北易县战国燕下都墓葬出土的钢剑，经金相检验，剑的刃部为淬火马氏体组织，见图 1-5。这是到目前为止我国发现的最早的马氏体组织。这就充分说明我国至晚在战国晚期劳动人民就发明了钢的淬火热处理工艺。西汉时期又发展了局部淬火技术。从满城西汉墓葬出土的刘胜佩剑，裨外钢剑及错金书刀，都是经过淬火热处理，而错金书刀是经过刃部局部淬火的。刘胜佩剑刃部的淬火组织见图 1-6，刃部的硬度约  $H_v = 900$  公斤/毫米<sup>2</sup>，剑心部的硬度  $H_v = 220 \sim 300$  公斤/毫米<sup>2</sup>，错金书刀刃部局部淬火，硬度为  $H_v = 570$  公斤/毫米<sup>2</sup>，而刀背部表层组织为经过渗碳的珠光体组织，硬度为  $H_v = 260$  公斤/毫米<sup>2</sup>。由于刀背没有淬火，在刀背刻有槽，并嵌银有金线花纹图案。这样使错金书刀刃部硬、锋利，而整个刀身具有硬度低、韧性好的优点，它显示了我国古代劳动人民的聪明才智和卓越的技术。我国历史上关于淬火热处理有不少的记载。如汉宣帝时，王褒提到当时冶铁工匠就能“巧冶铸干将之朴，清水淬其锋”（《汉书·王褒列传》）。

在发展完善淬火工艺的实践中，逐渐认识到淬火介质的重要作用。三国时期，已经认识到水质对淬火质量的影响，诸葛亮令工匠蒲元在斜谷制造兵器，蒲元发现当地水质不符合淬火要求，就派人去成都取水，蒲元以造刀锋利而著称，他所造的刀能把盛满铁珠的竹筒一刀劈为两半。以后在《北齐书》等书中，又记载了我国古代劳动人民用畜尿、动物油等作为冷却介质对钢件进行淬火。从这里可以看到，劳动者在当时已经从丰富的实践经验中，总结出用不同的冷却介质，可使钢件得到不同的冷却速度，钢的性质也有差别，工匠可以用水、畜尿和动物油等介质来淬火，使各种钢件达到其性能要求。

正火热处理工艺出现得比较早，从易县燕下都墓葬出土的矛，分析矛后部的骹的显微组织为低碳钢正火组织，见图 1-7，其中白色条状为魏氏组织，深色区为珠光体。矛的骹部采用正火可以得到较好的韧性和塑性以及较高的硬度，不易脆断。这说明至迟到战国晚期已采



用了加热后空冷的正火工艺。

### 第三节 《天工开物》中对我国古代钢铁热处理技术的科学总结

《天工开物》是我国明末杰出的科学家宋应星的一部科学巨著。宋应星全面地总结了我国古代农业、手工业方面劳动人民丰富的实践经验，是我国古代工农业科学技术的集大成者。《天工开物》由于内容的广泛性和科学性而引起中外科学工作者极大的赞赏和重视。书中第十卷锤锻卷中，全面记述了我国古代劳动人民针对不同工件的不同性能要求，所采用的各种热处理手段，这不仅是我国历史上有关钢铁热处理的最完整的论述，也是同时代世界上这方面最全面科学的总结。

关于钢的淬火硬化，书中这样写道：“凡熟铁钢铁，已经炉锤，水火未济，其质未坚。乘其出火之时，入清水淬之，名曰健钢”。以后，在对刀剑、斤斧、锄、镘、针等热处理的论述中，也都谈到把淬火作为使钢件硬化的手段。在“镘”节中他写道：镘面纵横纹理“划后烧红退，微冷入水健”。这说明当时已采用了先进的“冷待”淬火工艺。即钢件淬火加热毕，取出时“微冷(在空气里冷待片刻)再入水，以减低钢件内外温度差，减少变形开裂危险。

对于退火，在“镘”节中还提出：镘磨平后，用退火方法“入火退去健性”，再划纹理。即经过淬火硬化的钢件经过退火可以降低硬度，去掉“健性”。在“锯”节中写道：“凡锯，熟铁锻成薄条，不钢，亦不淬健，出火退烧后，频加冷锻”。“出火退烧”就是加热后空气中冷却，就是现代的正火工艺，锯不采用淬火硬化，而采用正火冷作硬化的联合工艺。这样锯具有较好的硬度和弹性韧性的配合。

关于渗碳热处理，他也有专门论述。在“锄搏”节中，他论述了“生铁淋口”的液体渗碳法。在“针”节，他详细地记载了再结晶退火和固体渗碳及淬火工艺如下：由冷拔铁线制成针，“然后入釜，慢火炒熬，炒后以土末入松木、火矢、豆豉三物罨盖，下用火蒸。留针二三口插于其外，以试火候。其外针入手捻成粉碎，则其下针火候皆足。然后开封，入水健之”。这里先讲对冷拔的针“慢火炒熬”，即在较低温度下进行再结晶退火，然后加入固体渗碳剂进行渗碳；不仅讲了固体渗碳剂的成分由松木屑、木炭(火矢)和豆豉组成，而且讲了渗碳时间的控制方法，即针渗碳的时间等于留在外边的针的氧化完全，一捻成氧化铁的时间；最后讲了渗碳后的淬火热处理。关于固体渗碳剂也是很科学的，其中木炭(即火矢)是基本渗碳剂，松木屑在加热时一方面变成木炭，一方面挥发出碳氢化物气体，有利于渗碳，豆豉是作为一种促渗剂加入的。

在谈到用百炼钢包熟铁制做兵器时，指出：“非钢表铁里，则劲力所施，即成折断”。这说明当时已明确认识到获得综合机械性能的重要性，要求强度和韧性的良好配合，并且创造了钢表铁里，经淬火表面硬化，心部保持韧性的方法。

从《天工开物》中可以清楚地看出，劳动人民已经较自觉地针对不同工件采用各种热处理方法。书中讲到缝纫刺繡用刚针，马尾刺工制冠用软针，“分别之妙在于水火健法之”。以对钢件的强化为例，就采用了多种强化方法。比如，兵器采用百炼钢包在纯铁外制成，经过淬火，既保证了刃部的硬度和锋利，又不易发生脆断。而锄却采用了一种表面强化法，以熔化的生铁淋口后淬火；镘等采用直接加热淬火使之硬化；锯不包钢也不淬火，而采用正火后冷锻的冷加工强化法，针又采用固体渗碳淬火的方法。由此可以看到，我国古代劳动人民在实践中不断地丰富钢铁热处理科学的宝库，作出了巨大的贡献。

宋应星所以能在科学上作出重大的贡献，完全是由于他在法家革新进步思想的影响下，在朴素唯物主义世界观的指导下，冲破了儒家思想的牢笼，重视发展生产，重视实践，重视劳动人民的发明创造，使得他走上了发展科学技术的正确道路。宋应星比较注意从劳动人民的发明创造中吸取营养，开阔思路，获得生产技术最确切的第一手材料，这是宋应星科学成就的泉源。离开了这一点，宋应星不可能有什么聪明才智，也必定是一事无成的。我国古代在科学上有作为的科学家，也都体现了宋应星所具有的这些特点。宋应星是我国科学史上反儒倾向的杰出代表之一，是我国科学史上重视生产、重视实践和重视群众发明创造的优秀传统的杰出代表之一。

#### 第四节 几点启示

遵照毛主席关于“古为今用”的教导，在伟大的批林批孔运动中，我院广大工农兵理论队伍和专业理论队伍相结合，研究了我国古代冶金史，给了我们很大的启示：

1. 劳动人民是发展科学技术的真正主人。上面列举的许多事实，使我们清楚地看到，我国古代劳动人民通过自己的辛勤劳动，已经创造出比较完整的钢铁热处理工艺。这是对孔丘、林彪一类鼓吹的唯心主义的“天才论”、“上智下愚”的唯心史观的最有力的批判。它雄辩地证明，任何科学技术的产生，都是与生产的发展相联系的，是生产发展到一定的历史阶段的必然产物，并且由劳动人民长期的生产实践中丰富经验的积累而逐渐深化的。钢铁热处理这门科学也绝不例外。随着铁器的使用，必然会出现提高铸铁使用性能和使用寿命的问题，而且由于生产的发展，这种要求愈是迫切，这样就必然会产生最初级的热处理技术，以改善铸铁（白口）的脆性，适应生产日益增长的需求。“人类总得不断总结经验，有所发明，有所创造，有所前进”。在长期的生产活动中，钢铁热处理技术为劳动人民在实践中不断创造发展、丰富和完善。这种经验积累多了，达到一定条件下，必然会出现一个飞跃，成为理性的认识。因此那些科学家在科学上的贡献，完全是千百年来劳动人民智慧的结晶，是生产技术发展的必然结果，而绝不是某些人“天才”的创举。研究我国古代热处理发展的事实，使我们加深了对马克思主义的历史观和认识论的理解。我们必须重视向生产实际学习，向有丰富实践经验的工人师傅学习，工厂是我们最好的课堂，工人师傅是我们最好的老师。

“人民，只有人民，才是创造世界历史的动力。”劳动人民不仅以自己的辛勤劳动，丰富着世界文明和科学的宝库，而且推动着历史车轮的前进，铁器的使用使社会生产力得到了很大的发展，从而推动了我国战国时期社会生产关系的大变革，在我国从奴隶制发展到封建制的过程中起到了促进作用。钢铁热处理技术的发展也是如此。经过热处理的农具有更好的使用性能和寿命，兵器更加锋利，这些无疑都有助于法家耕战政策的推行，有助于多民族中央集权的封建制国家的巩固，有助于社会的进步与发展。今天，我们也要把改善金属材料的性能提高到加强国防，促进国民经济的高涨，为巩固无产阶级专政的高度来认识。为加强战备，加速社会主义祖国工农业现代化的步伐而努力奋斗。

2. “思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。”从战国到西汉时期，由于法家路线的推行，重视发展生产，巩固国防，因而对钢铁生产和钢铁热处理技术的发展起了推动作用，生产规模和产量发展很快，发明创造不断出现，钢铁冶炼和热处理技术发展出现飞跃。随着地主阶级逐渐腐朽和儒家路线的推行，成为生产发展的桎梏。我国在随后漫长的封建社会中，除少数几个相对兴旺的阶段外，冶金生产沿着迂回曲折的道路向前发展。直到解放前，我国钢铁产量仍然很小，钢铁热处理技术仍处于落后状态。

解放后，在党和毛主席的领导下，我国的工业落后面貌得到了根本的改变，无产阶级文化大革命是我国社会生产力发展的又一强大动力，各部门广泛开展了“工业学大庆”，贯彻“鞍钢宪法”精神，大打翻身仗，在热处理方面，创造了大批新设备和新工艺，朝着赶超世界先进水平的道路上阔步前进。

3. 继承我国古代科学技术发展的优秀传统，发扬我国古代劳动人民的勤劳智慧和创造精神。无数的历史事实充分证明，我国古代劳动人民是勤劳的人民、智慧的人民、伟大的人民。历史无情地唾弃了刘少奇、林彪一类散布的洋奴哲学和爬行主义的反动谬论。毛主席指出：“中国是一个具有九百六十万平方公里和六万万人口的国家，中国应当对于人类做出较大的贡献”。我们要认真发掘我国丰富的历史遗产和民族文化，发扬我国古代劳动人民的伟大的创造精神。我们的祖国是世界上的冶铁技术、钢铁热处理技术发源最早的国家之一，我国的劳动人民和科学家对世界作出了杰出的贡献，它加强了我们的民族自信心，激励着我们在无产阶级专政的新的历史时期，在毛主席革命路线的指引下，对世界作出新的更大的贡献。

## 第二章 碳素钢退火状态的性能与组织结构

冶金厂生产的一些优质碳钢不少是退火状态交货。机械厂用的许多钢材就是这种退火状态。研究退火状态下碳钢的性能，识别碳钢内部的组织与结构，初步分析并建立性能对成分、组织结构的依赖关系规律，为学习以后各章节打下基础。各种退火具体工艺对性能组织的影响，将在以后的章节中详细讨论。

### 第一节 退火状态碳钢的机械性能

碳钢的基本成份是铁与碳。此外，由于炼钢过程带入了一些少量元素，如硅（含量低于0.5%）、锰（含量低于0.8%）、硫（含量低于0.045%）、磷（含量低于0.045%）以及微量的氧、氮、氢等元素。其中硫、磷及气体是有害杂质，应该严加控制。当这些有害杂质被控制在所规定的限度之内时，碳钢的机械性能主要地是取决于含碳量及热处理。退火状态碳素钢的机械性能和含碳量的关系如图2-1所示。随着含碳量增加到0.8%左右，退火碳钢的抗拉强度“ $\sigma_b$ ”不断提高，当碳含量超过一定含量以后，强度反而下降。

由于不同的含碳量的碳钢具有不同的性能，因此具体用途也不同。高碳钢（含碳量超过0.7~0.8%）常用来制造要求高硬度、高强度、高耐磨性的各种工具，如刀具、冲模等。中碳钢（0.3~0.5%碳）经常用来制造要求强度高与塑性、韧性都较好的结构件，（如轴类、齿轮等）。低碳钢（含碳量在0.3%以下）则用来制造要求塑性好的工件。

“自然界的**变化，主要地是由于自然界内部矛盾的发展**”。

碳钢的性能随着含碳量的变化的这种规律，是其内部铁与碳之间相互作用（即铁与碳以怎样的形式结合组织起来的）规律的反映。为了进一步了解性能变化的规律，下面我们可以利用显微镜来观察其内部的组织特点。

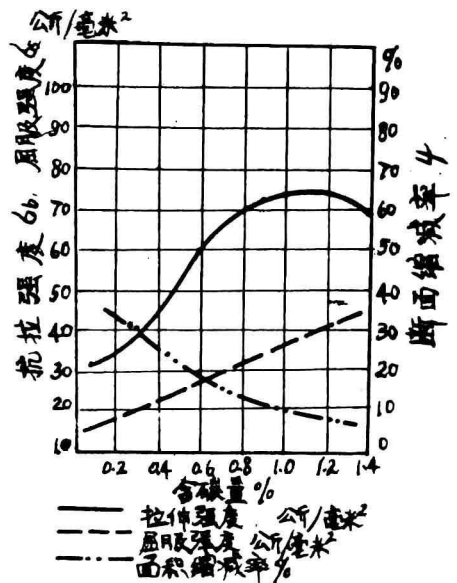


图2-1 含碳量对碳钢退火状态机械性能的影响

## 第二节 退火状态碳钢的显微镜组织 (实验观察)

### (一) 工业纯铁

为了便于认识碳钢的显微组织，我们首先来观察含碳量低于0.01%的工业纯铁。如图2-2所示，其特点是在白色基体上被网络状的黑色曲线所分割成许多多边形小块。黑色网络所包围的各个白色小块称为“铁素体晶粒”或“纯铁体晶粒”。黑色网络就是各个铁素体晶粒的交界线，故称为铁素体的“晶粒界”。

“晶粒”是个立体的小颗粒，我们在显微镜下观察到的只是许多晶粒的截面。一大块工业纯铁就是由无数个这种“晶粒”结合成的整体。如果一块金属只有一个晶粒，例如：单晶硅就称为“单晶体”，如果有许多晶粒，则称为“多晶体”。工业纯铁与钢铁都是多晶体。在通常条件下，晶粒尺寸大约在0.05~5毫米之间。

在这里我们称为“晶粒”，是因为它是属于晶体，即其内部原子是以一定的规律排列的。关于铁素体的晶体结构，我们将在下一节中讨论，在此只要求认识其显微镜下的形态。

晶粒界上的原子排列是不规则的，所以晶粒界基本上属于“非晶体”，具有非晶体的某些特点。将在下一节再加以讨论。

铁素体性能极软，强度低，退火状态的抗拉强度还不到30公斤/毫米<sup>2</sup>，但塑性较好。

### (二) 低碳钢

图2-3及图2-4(a)分别为20钢(含碳0.2%左右)，30钢(含碳0.3%左右)退火状态的组织。除了有大量的铁素体晶粒(白色小块)之外，还有一定数量的黑色区域。这黑色区是什么组织？在放大倍数较大的情况下(如图2-3b)可以看到原来是黑白交替的条状组织，取名为“珠光体”。20钢、30钢等是由铁素体和珠光体组成的。比较图2-3、图2-4(a)可以看到，含碳量高的30钢比含碳量低的20钢的珠光体量多一些。就是说随着含碳量的增高，珠光体的数量增加。

我们在显微镜下看到的条状组织实际上是片状组织的截面。所以珠光体是由黑白交替的片层所组成的。用很高倍数的电子显微镜可以把这两种组织的排列和形态显示得更清楚，如图2-4(b)所示。可以看到，珠光体中存在两种东西。在普通光学显微镜下所看到的黑色条状在此就是白色的条状，好象浮凸在白色的基体上，它是铁与碳的化合物，化学式为 $Fe_3C$ ，称为渗碳体。灰白色的基体就是在普通光学显微镜下的白色条状区，它是铁素体。铁素体和渗碳体共同组成了珠光体。这个在珠光体中的铁素体和那些块状铁素体在本质上是完全一样的，只是由于形成的条件不同，组织形态不同而已。

所以，珠光体是由铁素体和渗碳体共同组成的一种混合组织。珠光体的硬度较高，抗拉强度达到70公斤/毫米<sup>2</sup>，塑性比铁素体低，这是由于其中渗碳体是一种硬而脆的物质(其硬度可达 $H_v \approx 800$ ，塑性几乎等于零)。

### (三) 45钢，T8钢

45(含碳0.45%左右)、T8(含碳0.8%左右)的钢退火状态组织如图2-5、2-6所示。可以看到，随着含碳量的增加，块状铁素体量不断减少，珠光体的数量不断增多。直到含碳量约为0.8%的T8钢，就全部都是珠光体了。

### (四) T12，T13钢

T12(含碳量1.2%左右)，T13(含碳量1.3%左右)钢的退火组织如图2-7、2-8所示。

在这些图中发现，除了前面所讲的珠光体以外，还出现有白色的网状物包围着珠光体，这个白色网状物是什么呢？是铁素体吗？不是，它是在形成珠光体以前就产生的渗碳体。如果我们在制备金相试样时改用一种化学浸蚀剂，即不用硝酸酒精浸蚀，而用热的苦味酸钠溶液浸蚀，这个白色网状物就变成了黑色网状物，如图2-7(b)所示。而如果是铁素体网状则仍为白网状。当然还可以用其它方法来鉴别，都证明是渗碳体。

综上所述，我们所观察的退火碳钢的组织可以分为四类：即

- 1) 工业纯铁——含碳量在0.01%以下。只有铁素体。
- 2) 含碳量低于0.8%的碳钢——其组织的共同点就是皆为铁素体和珠光体组成。（珠光体又是由铁素体渗碳体所组成的）。但随着含碳量的增加，珠光体量也增加。
- 3) 碳含量为0.8%的钢——全部都是珠光体。
- 4) 碳含量超过0.8%的钢——其组织则是珠光体和渗碳体。而且含碳量越高，渗碳体的数量也越多。

在此需要指出：具有全部珠光体组织的0.8%碳的钢叫做“共析钢”，“共析”是什么意思？前面曾经看到，珠光体中包含有铁素体和渗碳体，而这些铁素体和渗碳体是在钢的缓冷退火过程中共同析出形成的，所以称为“共析”。在低于0.8%含碳量的钢称为“亚共析钢”，“亚”字就是不足的意思，即还不到0.8%碳。在珠光体之外的那些铁素体，是在珠光体形成之前产生的，所以称为“先共析铁素体”。高于0.8%碳量的钢称为“过共析钢”。珠光体之外的渗碳体叫做“先共析渗碳体”。有关这些组织的形成条件，将在下一章中进一步讨论。

综合以上两节内容，我们利用图2-9把退火状态碳钢的成份、组织与机械性能的关系表示出来。对于碳钢退火状态下各种相或组织的成份、性能列在表2-1中。

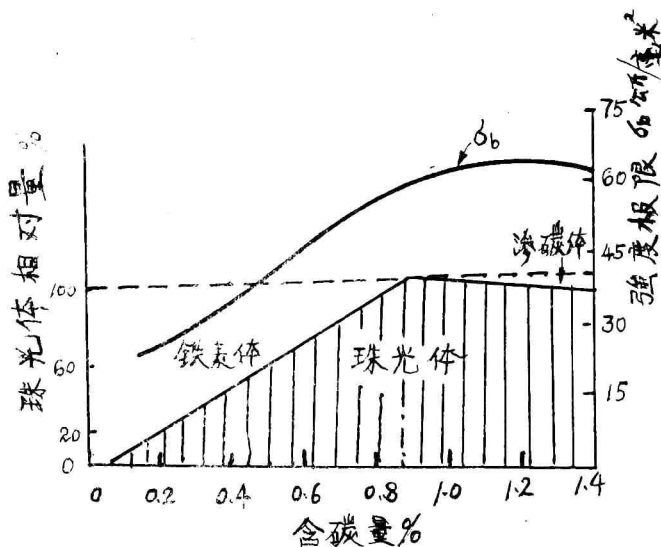


图2-9 退火状态碳钢的成份、组织和机械性能的关系

由此可以得出结论：退火状态碳钢的机械性能随含碳量的增加而变化的规律，是直接和组织中的渗碳体（指珠光体中的渗碳体和先共析渗碳体）和铁素体的相对量的变化相联系的。渗碳体的数量又取决于碳钢的含碳量。因此产生随碳含量的增加强度增加，塑性降低的现象。

表2-1

| 名称  | 符号                        | 含碳量           | 硬度<br>$H_B$ | $\sigma_b$<br>公斤/毫米 <sup>2</sup> | $\delta$ % | 说明                             |
|-----|---------------------------|---------------|-------------|----------------------------------|------------|--------------------------------|
| 铁素体 | F                         | 室温: 小于0.008 % | 80~100      | 25~30                            | 30~50      | 碳在 $\alpha$ -铁中的固溶体            |
| 渗碳体 | C, C <sub>m</sub><br>或(K) | 6.67%         | ~800        | ~                                | 0          | 铁和碳的化合物, 化学式为Fe <sub>3</sub> C |
| 珠光体 | P                         | 0.80%         | ~300        | 70                               | 10         | 铁素体(占87.5%)+<br>渗碳体(占12.5%)    |

碳钢的机械性能不仅与渗碳体的数量有关,还与渗碳体的粗细分布有关,过共析钢中当出现了硬而脆的网状渗碳体组织时,强度不是随碳量增加而增加,反而下降。由于碳钢的机械性能与碳含量有关,所以作为切削刀具用的碳钢必须碳量高,要求强度、塑性都较好的零件,必须采用中碳钢。由于碳钢的性能还与渗碳体相存在的状态有关,所以同样是高碳钢也还可以通过改变渗碳体的形态来改变性能,例如,为了降低共析钢(T8)、过共析钢(T10, T12等)的硬度以利于切削加工,为了提高其塑性,以及保证必要的工艺性能,这些钢退火时就不允许有大量的片状珠光体,更不允许有网状渗碳体,因此采用“球化退火”见第六章使组织中的渗碳体成为球状,如图2-10。球化退火与非球化退火的性能列于表2-2中,可见碳钢的性能不仅决定于碳含量,还决定于其组织形态。

表2-2 高碳钢不同退火组织的性能

| 碳含量 % | 片状珠光体及网状渗碳体                     |              |               | 球化渗碳体及铁素体                       |              |               |
|-------|---------------------------------|--------------|---------------|---------------------------------|--------------|---------------|
|       | $\sigma_b$ , 公斤/毫米 <sup>2</sup> | $\delta$ , % | $H_B$         | $\sigma_b$ , 公斤/毫米 <sup>2</sup> | $\delta$ , % | $H_B$         |
| 0.8   | 80                              | 14           | } 230~<br>260 | 59                              | 29           | } 160~<br>190 |
| 1.1   | 90                              | 4            |               | 60                              | 28           |               |

### 第三节 退火状态碳钢中各相的晶体结构

上节我们所看到的铁素体、渗碳体,就统称为“相”。这里所指的“相”,是对于那些成份均匀、结构相同的物质区域的统称。如水和油混在一起是两相;水和冰混在一起也是两相。但盐水中虽然溶解有盐,但盐粒完全溶解到水中去(和砂子混在水中不同),所以是单相。珠光体中包含有铁素体和渗碳体两种不同的相,所以珠光体是两相的混合物。在工业纯铁中只有铁素体一个“相”,所以是“单相”。

在退火状态的碳钢中,也还是两种“相”,即铁素体和渗碳体。不管是先共析的铁素体,还是珠光体中的共析铁素体,都是铁素体,所以都属于一种“相”。同样先共析渗碳体与共析渗碳体是同一种相。

相的晶体结构就是指在这种相中,组成这种相的化学元素的原子是以什么方式排列组合

起来的。

### (一) 晶体结构基本知识

在光学显微镜下，我们是看不到铁素体、渗碳体内部原子排列的，因为原子本身的大小和原子间的距离太小了。到目前，即便能放大到几十万倍的电子显微镜下，也还不能看到钢中各个相的晶体结构。但是人们可以用 X-线结构分析仪来揭露各相的晶体结构的神秘。经过长期的科学实验积累起来的结果证明，金属一般都是晶体。原子在空间的排列是有规则的这种物质叫做晶体。原子在空间（即指一块晶体内部）呈有规则的排列的“队形”称为“空间点阵”。如果将原子之间的中心用直线联结起来（当然这种直线在实际上是不存在的，仅仅为了人们便于分析），就成为“空间格子”或简称“晶格”。“空间点阵”和“空间格子”实际上是一回事。

人们为了便于研究，通常可以从“空间点阵”中选取一个能够代表点阵基本特点的最小单位，这个单位就称为“晶胞”，也就是可以理解为“晶体的细胞”。晶胞在空间三个方向上的周期重复，就构成整个晶粒。根据晶体学的分析，原子在空间的有规则的排列（即空间点阵）共有十四种类型（将在金属学中介绍）。在钢中最常见的点阵类型有四种，即体心立方（铁素体）、面心立方（奥氏体）、体心正方（马氏体）和正交（渗碳体），见图 2-11 及 2-12 所示。晶胞的边长叫做“晶格常数”或“点阵常数”。在 X 轴上的以“a”表示 Y 轴上以“b”

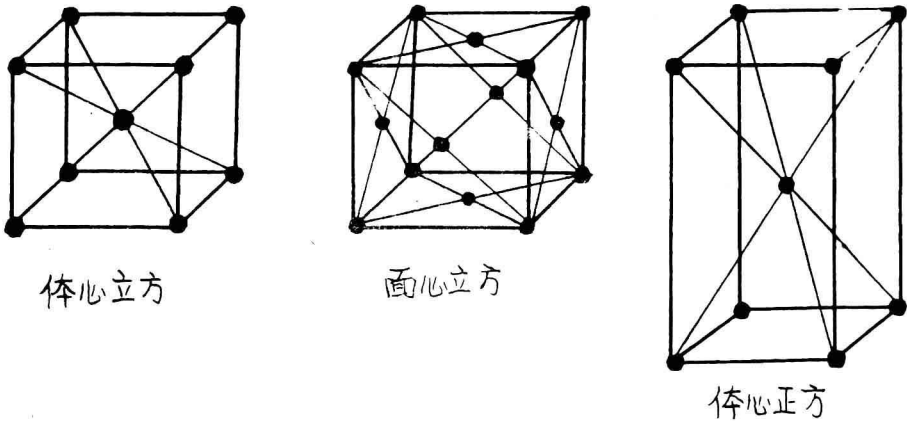


图2-11 钢中三种常见的晶胞类型

表示，Z轴上以“c”表示。晶格常数以埃（ $\text{\AA}$ ）来度量（ $1\text{\AA} = 10^{-8}$ 厘米， $a = 2 \sim 9\text{\AA}$ ）。对于立方点阵晶胞各边长相等，即 $a = b = c$ ；对于正方点阵则 $a = b \neq c$ ；正交点阵则 $a \neq b \neq c$ 。如果用  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  分别代表 Y-Z 轴、Z-X 轴和 X-Y 轴之间的夹角，则对立方点阵、正方点阵和正交点阵都是  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ，即三个轴互相垂直。三个空间轴互相垂直的单位晶胞的体积为  $a \times b \times c$ ，对于立方点阵则为  $a \times a \times a = a^3$ 。

“点阵常数”并不一定等于原子间的最近距离，例如体心立方晶胞中原子间最近距离是指八个角上的原子和体心中那个原子间的距离，等于  $\frac{\sqrt{3}}{2} a$ 。面心立方晶胞中原子间最近距离则是指八个角上的原子和六个面心的原子间的距离，等于  $\frac{\sqrt{2}}{2} a$ 。

如果把晶胞内每个原子看成是一个球形，就很容易求出原子的体积。晶胞内原子所占的总



体积和晶胞的总体积之比称为“致密度”，表示原子排列的紧密程度。面心立方晶胞的致密度为0.74，体心立方晶胞的致密度为0.68。所以面心立方点阵比体心立方点阵排列得紧密。因此同一种金属如果从面心立方点阵转变为体心立方点阵，就会产生体积膨胀，反之则为收缩，这是我们在热处理时工件引起变形甚至开裂的内因之一。

### (二) 铁素体的晶体结构

我们先讨论铁素体中铁原子的原子排列情况。铁素体中铁原子在空间的排列具有体心立方点阵类型，点阵常数为 $2.86 \text{ \AA}$ （即 $2.86 \times 10^{-8}$ 厘米）。如图2-13所示。这种具有体心立方点阵结构的铁用“ $\alpha\text{-Fe}$ ”表示。铁素体中含有微量的碳。碳溶解在铁的点阵之中，因为铁是固体，所以也就称为“固体溶液”，简称固溶体。铁素体就是碳溶解在 $\alpha\text{-Fe}$ 中形成的固溶体。因为碳原子比铁原子小得多（铁的原子半径有 $1.27 \text{ \AA}$ ，碳的原子半径只有 $0.77 \text{ \AA}$ ），所以碳原子是挤在 $\alpha\text{-Fe}$ 铁点阵的最大空隙处。以这种方式溶解在固体中形成的固溶体称为“间隙式固溶体”，以区别另一种“代位式固溶体”（如锰、铜、钨、铬等合金元素溶解在铁中时，由于这些原子和铁原子大小差不多，所以就代替铁原子的位置而存在，所以称为“代位式固溶体”）。如图4-14所示。

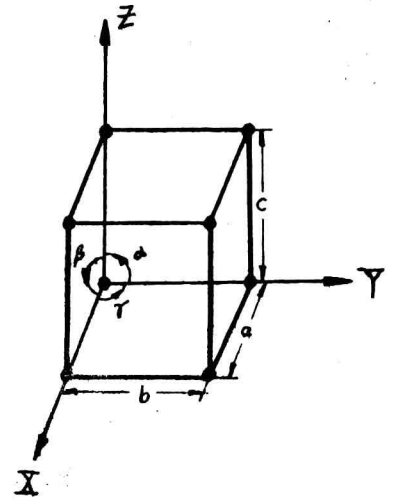


图2-12 晶胞的点阵常数 (a, b, c)

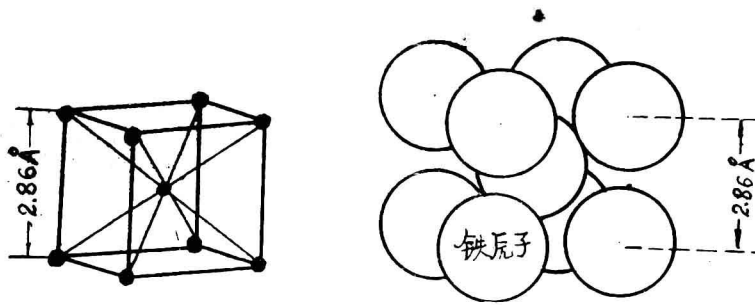
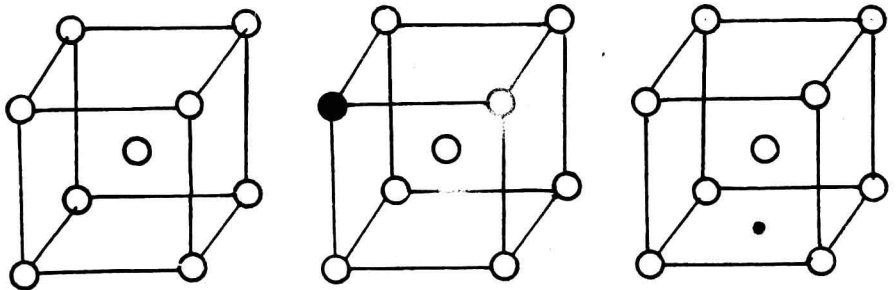


图2-13  $\alpha\text{-Fe}$ 的“体心立方”格子的晶胞示意图 ( $\alpha\text{-Fe}$ 的晶胞，铁素体中铁原子的排列方式)



(a) 纯铁

(b) 代位式固溶体

(c) 间隙式固溶体

○铁原子

图2-14 铁的两种固溶体的晶胞

●合金元素原子

·碳原子