

高等学校教学用书



金 属 热 处 理

北京钢铁学院金相及热处理教研组编

本書較全面地介紹了熱處理原理和熱處理工藝的基本方法，具體內容是鋼在加熱和冷卻時的轉變，過冷奧氏體的分解，馬氏體的形成，淬火鋼在回火時的轉變，合金中的时效硬化，退火，正火，表面淬火，化學熱處理及鑄鐵熱處理等。

本書由冶金工業部教育司推薦為高等冶金學校金屬學及熱處理專業的教學用書，也可供本專業的生產和研究人員參考。

金屬熱處理

北京鋼鐵學院金相及熱處理教研組編

*

中國工業出版社出版（北京佟麟閣路丙10號）

（北京市書刊出版事業許可證出字第110號）

北京市印刷一廠印刷

新華書店科技發行所發行·各地新華書店經售

*

開本 787×1092 1/16·印張 18·字數 335,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印數 0001—3,237·定價（10—6）2.15元

統一書號：15165·671（冶金-183）

序 言

本書系根据教育部审訂的高等学校金屬学及热处理專業金屬热处理課程教学大綱的系統和要求編写而成。內容共分兩大部份計十三章。第一部是鋼的热处理原理，其中比較全面的闡述了鋼在加热和冷却时相和組織的轉变以及合金中的时效理論，这一部份內容全部是在現有資料的基础上新編写的。第二部份，即鋼的实际热处理工艺和操作，其中包括热处理对性能的影响，鋼的淬火、回火、退火、正火、表面热处理，以及鋼的化学热处理和鑄鉄的热处理。这一部除鑄鉄热处理一章外，全部借用 А. П. Гуляев 所著鋼的热处理（1953年版中譯本）相应章节的內容。本書不包括实验部份，这部份內容另有热处理实验指导書。

本書的編写工作是由北京鋼鉄学院金相及热处理教研組金屬热处理教材編写小組完成的。具体参加編写工作的有章守华、楊讓、田琮、邓永瑞等同志，最后經章守华教授总校閱。

对所借用書籍的原作者、譯者以及在編写过程中給予我們帮助的同志致以深切的謝意。

目 录

序言	7
第 一 章 鋼加热时的轉变	
§ 1-1. 奥氏体的形成和状态圖	9
§ 1-2. 奥氏体的本質和性質	11
§ 1-3. 奥氏体形成的机理	12
§ 1-4. 奥氏体恒溫形成的动力学	16
一、奥氏体的形核率及相界面的移动	17
二、影响奥氏体形成速度的因素	20
§ 1-5. 合金鋼中奥氏体形成的特点	22
一、合金鋼中奥氏体形成的一般描述	22
二、合金鋼中奥氏体的均匀化	23
§ 1-6. 奥氏体的非扩散形成	23
§ 1-7. 連續加热时奥氏体的形成	26
§ 1-8. 奥氏体的晶粒度	28
第 二 章 珠 光 体 形 成	
§ 2-1. 珠光体的組織和性質	32
§ 2-2. 珠光体形成的机理	35
§ 2-3. 珠光体相变的动力学	37
一、珠光体恒溫形成的动力学曲綫	37
二、珠光体的生核率和長大速度	39
§ 2-4. 亞共析鋼过冷奥氏体的分解	43
§ 2-5. 合金奥氏体的分解	45
一、合金奥氏体的共析分解	45
二、合金奥氏体的先共析轉变	48
第 三 章 馬 氏 体 形 成	
§ 3-1. 鋼中馬氏体的本質	51
§ 3-2. 鋼中馬氏体的显微組織及其与奥氏体的結晶学关系	52
§ 3-3. 鋼中馬氏体形成过程的一般叙述	58
§ 3-4. 馬氏体形成的热力学条件	62
§ 3-5. 馬氏体形成的动力学	64
§ 3-6. 范性形变对于馬氏体形成的影响	65
§ 3-7. 奥氏体的热稳定化現象	66
§ 3-8. 关于馬氏体型相变的学說	69
§ 3-9. 鋼中馬氏体的高硬度的原因	72

§ 3-10. 研究鋼中馬氏體形成過程的實際意義·····	73
-------------------------------	----

第四章 貝氏體形成

§ 4-1. 貝氏體的組織與性質·····	75
§ 4-2. 貝氏體形成過程的一般描述·····	80
§ 4-3. 貝氏體形成的熱力學條件·····	30
§ 4-4. 貝氏體形成的動力學及其影響因素·····	81
§ 4-5. 貝氏體形成的機理·····	87

第五章 鋼在連續冷卻時的轉變

§ 5-1. 在連續冷卻時馬氏體轉變的動力學圖·····	91
§ 5-2. 在連續冷卻時奧氏體轉變產物的組織與冷卻速度的關係·····	94
§ 5-3. 奧氏體轉變動力學的規律性，在制訂熱處理方法時的實際應用·····	96

第六章 鋼在回火時的轉變

§ 6-1. 回火時馬氏體的分解·····	102
§ 6-2. 馬氏體分解時碳化物的形成，轉變及集聚長大·····	105
§ 6-3. 馬氏體回火時 α 相狀態的變化·····	108
§ 6-4. 回火時殘留奧氏體的轉變·····	109
§ 6-5. 鋼回火時內部組織結構的變化與鋼的機械性能的關係·····	114

第七章 合金的时效

§ 7-1. 时效原理·····	118
一、时效機理·····	118
二、脫溶類型·····	122
三、動力學·····	124
四、性能變化·····	127
五、影響因素·····	130
§ 7-2. 工業合金的时效·····	131
一、鋁合金时效·····	131
二、鈦合金时效·····	135
三、銅合金时效·····	139
四、鎳鉻合金时效·····	140
五、純鐵的时效·····	143

第八章 熱處理對鋼的性能的影響

§ 8-1. 概論·····	148
§ 8-2. 關於鋼的強度的本性·····	150
§ 8-3. 鐵素體的性能·····	153
§ 8-4. 馬氏體的性能·····	159
§ 8-5. 碳化物的性能·····	160
§ 8-6. 鐵素體-碳化物混合體的性能·····	161
§ 8-7. 奧氏體等溫分解產物的性能·····	165
§ 8-8. 回火產物的性能·····	166

§ 8-9. 奥氏体直接分解的产物与淬火后回火的产物的性能比较	173
§ 8-10. 淬火对回火后钢的性能的影响	175

第九章 钢的淬火及回火

§ 9-1. 淬火温度的选择	177
§ 9-2. 加热速度	178
§ 9-3. 加热介质的化学作用	182
§ 9-4. 淬火介质	186
§ 9-5. 淬透性	192
§ 9-6. 内应力	198
§ 9-7. 热处理时钢的变形	203
§ 9-8. 淬火方法	206
§ 9-9. 无变形淬火	209
§ 9-10. 稳定尺寸淬火	212
§ 9-11. 冷处理	214
§ 9-12. 回火规程的建立	219
§ 9-13. 淬火操作规程	220
§ 9-14. 淬火裂纹的形成	221

第十章 钢的退火及正火

§ 10-1. 概论	223
§ 10-2. 完全退火	224
§ 10-3. 亚共析钢的不完全退火	226
§ 10-4. 球化	227
§ 10-5. 高温回火	227
§ 10-6. 扩散退火 (均匀化)	228
§ 10-7. 正火	228
§ 10-8. 单一热处理	230
§ 10-9. 铸钢的退火	230
§ 10-10. 焊接工件的退火	231
§ 10-11. 热轧钢的退火	232

第十一章 钢的表面热处理

§ 11-1. 概论、表面淬火法的分类	233
§ 11-2. 铅浴加热表面淬火	235
§ 11-3. 火焰表面淬火	236
§ 11-4. 电解质加热表面淬火	237
§ 11-5. 接触加热	237
§ 11-6. 高频加热淬火	239

第十二章 钢的化学热处理

§ 12-1. 概论	249
§ 12-2. 化学热处理原理	250

§ 12-3.	扩散層的结构·····	257
§ 12-4.	鋼的滲碳·····	258
§ 12-5.	鋼的氮化·····	265
§ 12-6.	鋼的氰化·····	271
§ 12-7.	滲入金屬法·····	275

第十三章 鑄鐵熱處理

§ 13-1.	灰口鑄鐵的退火和正火·····	281
§ 13-2.	获得展性鑄鐵的退火·····	282
§ 13-3.	鑄鐵的淬火及回火·····	284
§ 13-4.	合金鑄鐵及其熱處理·····	287

高等学校教学用书



金 属 热 处 理

北京钢铁学院金相及热处理教研组编

本書較全面地介紹了熱處理原理和熱處理工藝的基本方法，具體內容是鋼在加熱和冷卻時的轉變，過冷奧氏體的分解，馬氏體的形成，淬火鋼在回火時的轉變，合金中的时效硬化，退火，正火，表面淬火，化學熱處理及鑄鐵熱處理等。

本書由冶金工業部教育司推薦為高等冶金學校金屬學及熱處理專業的教學用書，也可供本專業的生產和研究人員參考。

金屬熱處理

北京鋼鐵學院金相及熱處理教研組編

*

中國工業出版社出版（北京佟麟閣路丙10號）

（北京市書刊出版事業許可證出字第110號）

北京市印刷一廠印刷

新華書店科技發行所發行·各地新華書店經售

*

開本 787×1092 1/16·印張 18·字數 335,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印數 0001—3,237·定價（10—6）2.15元

統一書號：15165·671（冶金-183）

目 录

序言	7
第 一 章 鋼加热时的轉变	
§ 1-1. 奥氏体的形成和状态圖	9
§ 1-2. 奥氏体的本質和性質	11
§ 1-3. 奥氏体形成的机理	12
§ 1-4. 奥氏体恒溫形成的动力学	16
一、奥氏体的形核率及相界面的移动	17
二、影响奥氏体形成速度的因素	20
§ 1-5. 合金鋼中奥氏体形成的特点	22
一、合金鋼中奥氏体形成的一般描述	22
二、合金鋼中奥氏体的均匀化	23
§ 1-6. 奥氏体的非扩散形成	23
§ 1-7. 連續加热时奥氏体的形成	26
§ 1-8. 奥氏体的晶粒度	28
第 二 章 珠 光 体 形 成	
§ 2-1. 珠光体的組織和性質	32
§ 2-2. 珠光体形成的机理	35
§ 2-3. 珠光体相变的动力学	37
一、珠光体恒溫形成的动力学曲綫	37
二、珠光体的生核率和長大速度	39
§ 2-4. 亞共析鋼过冷奥氏体的分解	43
§ 2-5. 合金奥氏体的分解	45
一、合金奥氏体的共析分解	45
二、合金奥氏体的先共析轉变	48
第 三 章 馬 氏 体 形 成	
§ 3-1. 鋼中馬氏体的本質	51
§ 3-2. 鋼中馬氏体的显微組織及其与奥氏体的結晶学关系	52
§ 3-3. 鋼中馬氏体形成过程的一般叙述	58
§ 3-4. 馬氏体形成的热力学条件	62
§ 3-5. 馬氏体形成的动力学	64
§ 3-6. 范性形变对于馬氏体形成的影响	65
§ 3-7. 奥氏体的热稳定化現象	66
§ 3-8. 关于馬氏体型相变的学說	69
§ 3-9. 鋼中馬氏体的高硬度的原因	72

§ 3-10. 研究鋼中馬氏體形成過程的實際意義·····	73
-------------------------------	----

第四章 貝氏體形成

§ 4-1. 貝氏體的組織與性質·····	75
§ 4-2. 貝氏體形成過程的一般描述·····	80
§ 4-3. 貝氏體形成的熱力學條件·····	30
§ 4-4. 貝氏體形成的動力學及其影響因素·····	81
§ 4-5. 貝氏體形成的機理·····	87

第五章 鋼在連續冷卻時的轉變

§ 5-1. 在連續冷卻時馬氏體轉變的動力學圖·····	91
§ 5-2. 在連續冷卻時奧氏體轉變產物的組織與冷卻速度的關係·····	94
§ 5-3. 奧氏體轉變動力學的規律性，在制訂熱處理方法時的實際應用·····	96

第六章 鋼在回火時的轉變

§ 6-1. 回火時馬氏體的分解·····	102
§ 6-2. 馬氏體分解時碳化物的形成，轉變及集聚長大·····	105
§ 6-3. 馬氏體回火時 α 相狀態的變化·····	108
§ 6-4. 回火時殘留奧氏體的轉變·····	109
§ 6-5. 鋼回火時內部組織結構的變化與鋼的機械性能的關係·····	114

第七章 合金的时效

§ 7-1. 时效原理·····	118
一、时效機理·····	118
二、脫溶類型·····	122
三、動力學·····	124
四、性能變化·····	127
五、影響因素·····	130
§ 7-2. 工業合金的时效·····	131
一、鋁合金时效·····	131
二、鈦合金时效·····	135
三、銅合金时效·····	139
四、鎳鉻合金时效·····	140
五、純鐵的时效·····	143

第八章 熱處理對鋼的性能的影響

§ 8-1. 概論·····	148
§ 8-2. 關於鋼的強度的本性·····	150
§ 8-3. 鐵素體的性能·····	153
§ 8-4. 馬氏體的性能·····	159
§ 8-5. 碳化物的性能·····	160
§ 8-6. 鐵素體-碳化物混合體的性能·····	161
§ 8-7. 奧氏體等溫分解產物的性能·····	165
§ 8-8. 回火產物的性能·····	166

§ 8-9. 奥氏体直接分解的产物与淬火后回火的产物的性能比较	173
§ 8-10. 淬火对回火后钢的性能的影响	175

第九章 钢的淬火及回火

§ 9-1. 淬火温度的选择	177
§ 9-2. 加热速度	178
§ 9-3. 加热介质的化学作用	182
§ 9-4. 淬火介质	186
§ 9-5. 淬透性	192
§ 9-6. 内应力	198
§ 9-7. 热处理时钢的变形	203
§ 9-8. 淬火方法	206
§ 9-9. 无变形淬火	209
§ 9-10. 稳定尺寸淬火	212
§ 9-11. 冷处理	214
§ 9-12. 回火规程的建立	219
§ 9-13. 淬火操作规程	220
§ 9-14. 淬火裂纹的形成	221

第十章 钢的退火及正火

§ 10-1. 概论	223
§ 10-2. 完全退火	224
§ 10-3. 亚共析钢的不完全退火	226
§ 10-4. 球化	227
§ 10-5. 高温回火	227
§ 10-6. 扩散退火 (均匀化)	228
§ 10-7. 正火	228
§ 10-8. 单一热处理	230
§ 10-9. 铸钢的退火	230
§ 10-10. 焊接工件的退火	231
§ 10-11. 热轧钢的退火	232

第十一章 钢的表面热处理

§ 11-1. 概论、表面淬火法的分类	233
§ 11-2. 铅浴加热表面淬火	235
§ 11-3. 火焰表面淬火	236
§ 11-4. 电解质加热表面淬火	237
§ 11-5. 接触加热	237
§ 11-6. 高频加热淬火	239

第十二章 钢的化学热处理

§ 12-1. 概论	249
§ 12-2. 化学热处理原理	250

§ 12-3.	扩散層的结构·····	257
§ 12-4.	鋼的滲碳·····	258
§ 12-5.	鋼的氮化·····	265
§ 12-6.	鋼的氰化·····	271
§ 12-7.	滲入金屬法·····	275

第十三章 鑄鐵熱處理

§ 13-1.	灰口鑄鐵的退火和正火·····	281
§ 13-2.	获得展性鑄鐵的退火·····	282
§ 13-3.	鑄鐵的淬火及回火·····	284
§ 13-4.	合金鑄鐵及其熱處理·····	287

序 言

本書系根据教育部审訂的高等学校金屬学及热处理專業金屬热处理課程教学大綱的系統和要求編写而成。內容共分兩大部份計十三章。第一部是鋼的热处理原理，其中比較全面的闡述了鋼在加热和冷却时相和組織的轉变以及合金中的时效理論，这一部份內容全部是在現有資料的基础上新編写的。第二部份，即鋼的实际热处理工艺和操作，其中包括热处理对性能的影响，鋼的淬火、回火、退火、正火、表面热处理，以及鋼的化学热处理和鑄鉄的热处理。这一部除鑄鉄热处理一章外，全部借用 А. П. Гуляев 所著鋼的热处理（1953年版中譯本）相应章节的內容。本書不包括实验部份，这部份內容另有热处理实验指导書。

本書的編写工作是由北京鋼鐵学院金相及热处理教研組金屬热处理教材編写小組完成的。具体参加編写工作的有章守华、楊讓、田琮、邓永瑞等同志，最后經章守华教授总校閱。

对所借用書籍的原作者、譯者以及在編写过程中給予我們帮助的同志致以深切的謝意。

第一章 鋼加热时的轉变

把鋼加热到預定的溫度，并在这个溫度保持預定的時間，然后以預定的速度冷却，这种綜合工艺叫做热处理。

要想指望鋼通过热处理而获得所要求的性能，在制訂每一热处理工艺規程时，都必須考虑鋼的內在变化。如果在热处理的过程中，鋼的内部不起任何变化，那就不能設想在热处理以后它的性能会有任何的改变。

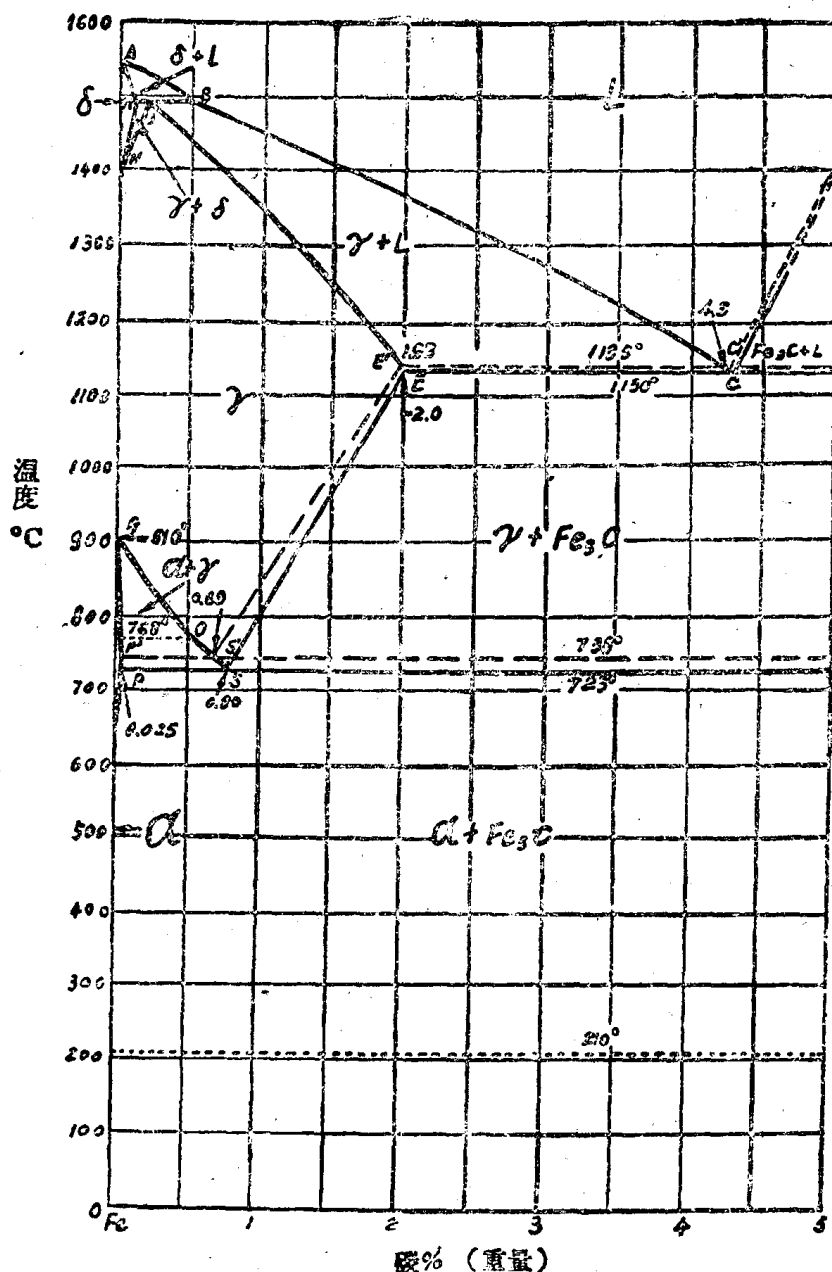


圖 1-1 Fe-Fe₃C 状态圖[2]

極大多數鋼的熱處理工藝是把鋼加熱到臨界點以上，使其轉變成為奧氏體狀態，然後以適宜的速度冷卻，獲得應有的組織，從而使鋼具有所期望的性質。鋼在冷卻後的組織，不但依賴於鋼的化學成分和原始組織，而且在很大程度上依賴於加熱時形成的奧氏體的特性。因而，討論鋼在加熱時奧氏體的形成是具有理論上和實際上的意義的。

本章的目的就是討論在加熱時奧氏體形成的規律。

§ 1-1 奧氏體的形成和狀態圖

$\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 狀態圖是研究碳素鋼的熱處理的依據 [1]、[2]，如圖 1-1。鋼在 723°C 以下的平衡狀態的相組成物都是鐵素體、滲碳體。它們之間的相對量可以根據槓桿定則來確定。在共析成分時，鋼緩慢冷卻後的組織可以說全部是由片狀鐵素體及滲碳體組成的混合物——珠光體（圖 1-2）。而亞共析（或者過共析）鋼，除了珠光體之外，還有組織自由的先共析鐵素體（或者先共析滲碳體）存在，它們常常以塊狀或網狀形態分布在珠光體的周圍（在原來奧氏體的晶粒界上）（圖 1-3，1-4）。在 723°C 以下溫度加熱，這些組織往往



圖 1-2 珠光體[3]



圖 1-3 珠光體 + 先共析鐵素體 $\times 500$ [4]

保持不變。當加熱高於 723°C 時，鋼中產生了奧氏體。在亞共析鋼（過共析鋼）中，當加熱溫度高於 A_1 而低於 $A_2(A_{cm})$ 時，則得到鐵素體（滲碳體）加奧氏體的組織。在不同溫度的奧氏體中的含碳量是不同的，它按照圖 1-1 中 $SG(SE)$ 綫變化，這時和鋼的總含碳量無關。加熱到 $A_2(A_{cm})$ 溫度時，在鋼中就消失了自由的鐵素體（滲碳體），只有奧氏體一相。這時奧氏體中的含碳量與鋼的含碳量相等。繼續提高溫度，在鋼中不再進行任何的相變。

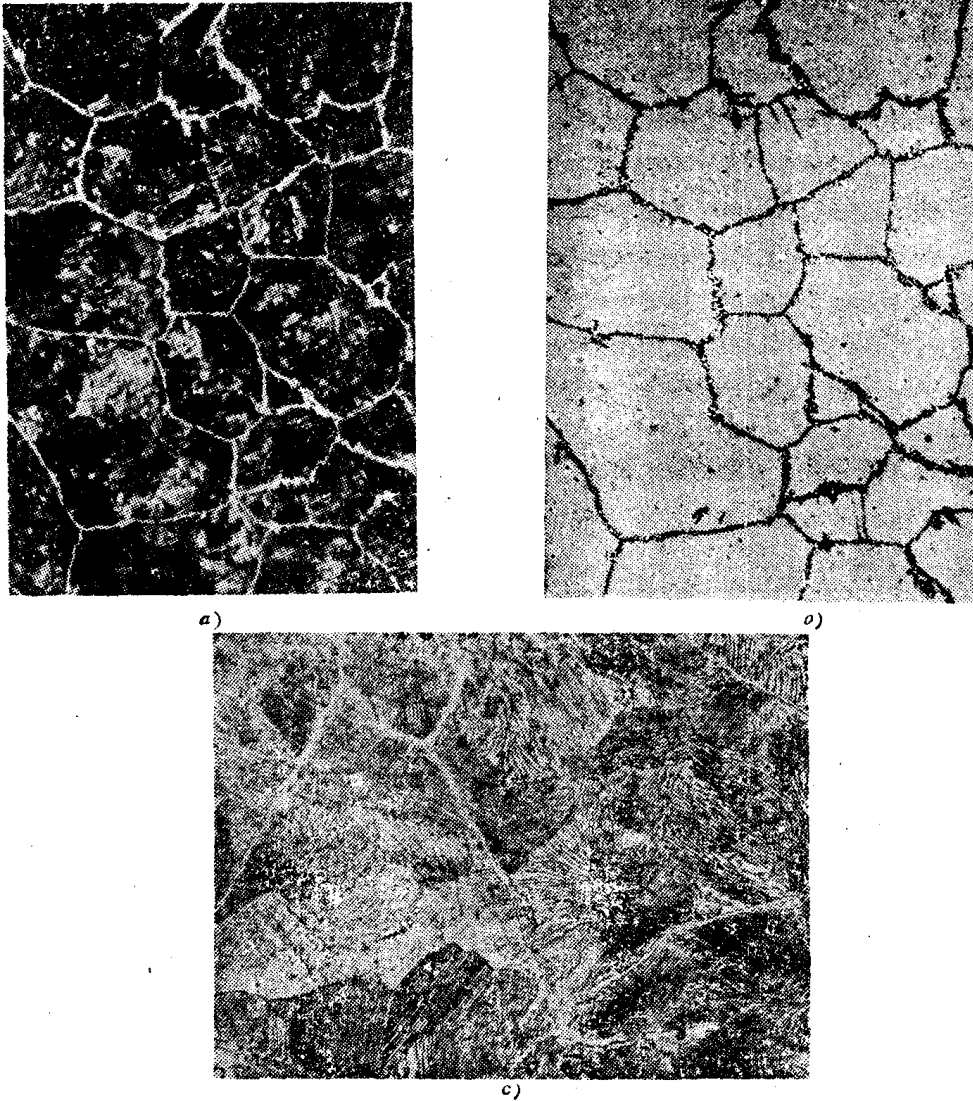


圖 1-4 先共析滲碳體+珠光體 [4][5]

a) 硝酸酒精溶液浸蝕, $\times 100$ 。b) 鹼性苦味酸鈉溶液電解浸蝕, $\times 100$ 。
c) 2.5%苦味酸-2.5% HCl 浸蝕, $\times 500$ 。

鋼在加熱時所發生的轉變, 和其他相變一樣, 取決於系統的热力學條件。例如, 對共析鋼來說, 珠光体的自由能曲線和含碳為 0.8% 的奧氏体的自由能曲線在 723°C 相交 (圖 1-5)。

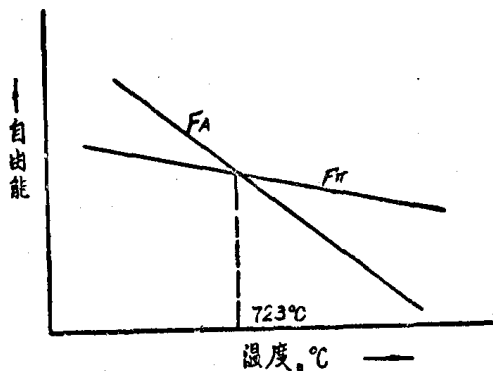


圖 1-5 珠光体自由能 (F_F) 和奧氏体自由能 (F_A) 的變化和溫度的關係

所以, 在高于 723°C 時奧氏体比珠光体具有更低的自由能, 鋼處於奧氏体狀態最穩定, 這就引起了珠光体向奧氏体的轉變。新相和母相之間的自由能差, 就是這個相變的動力。

實際上, 當加熱和冷卻時, 轉變並不按照狀態圖中所示的溫度進行, 而往往是在一定的過熱或者過冷情況下進行。過熱或者是過冷的溫度間隔因加熱速度或冷卻速度加大而加大。這樣, 就使得加熱或冷卻時的臨界點不在同一溫度上。通