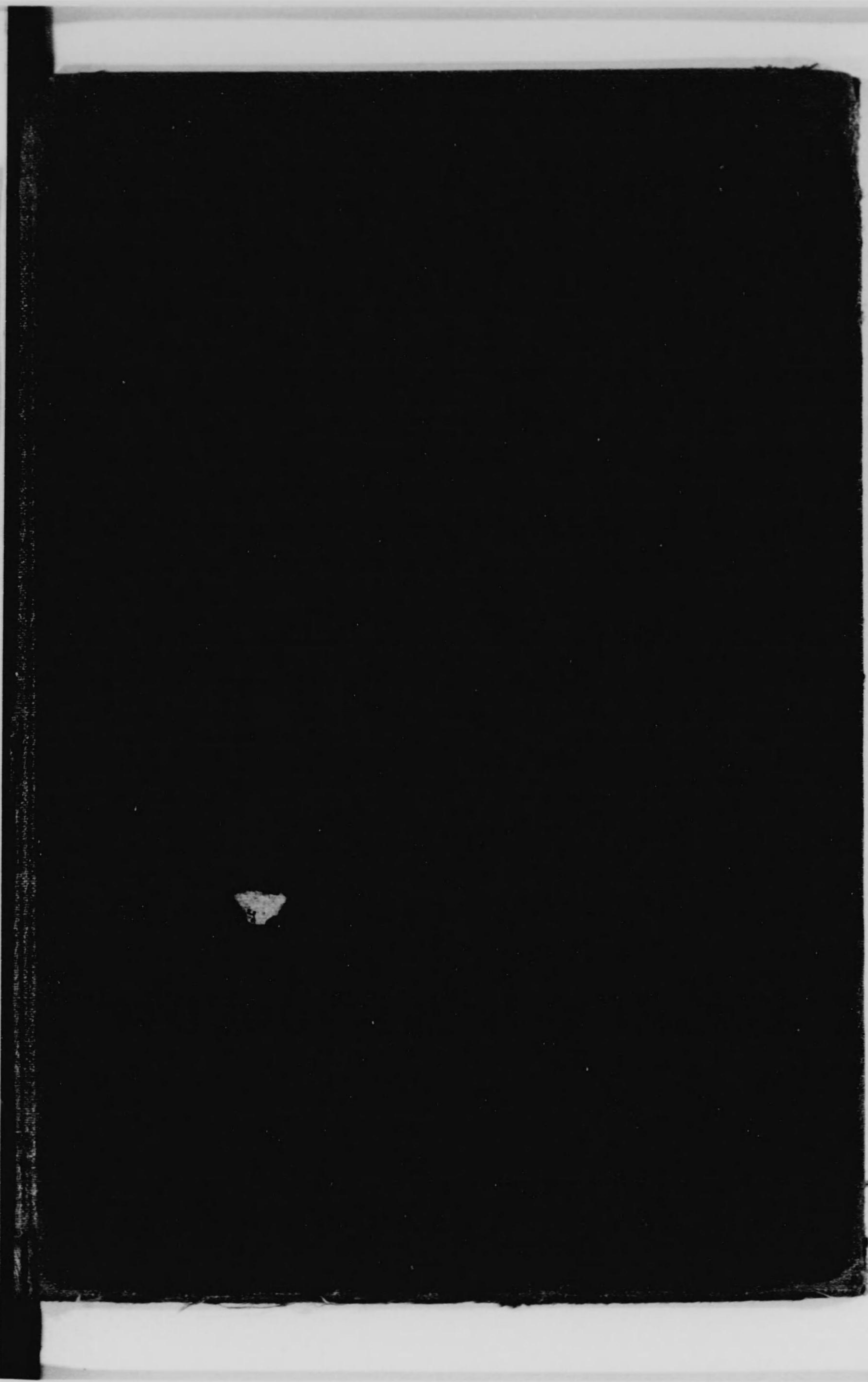
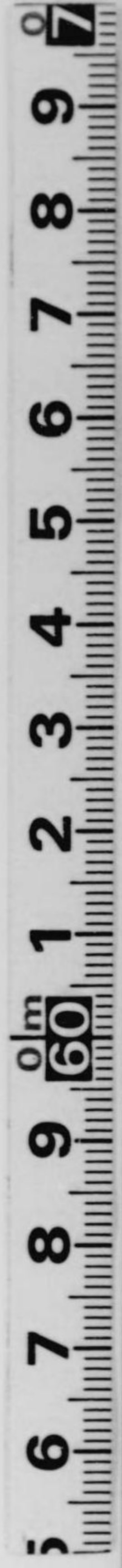
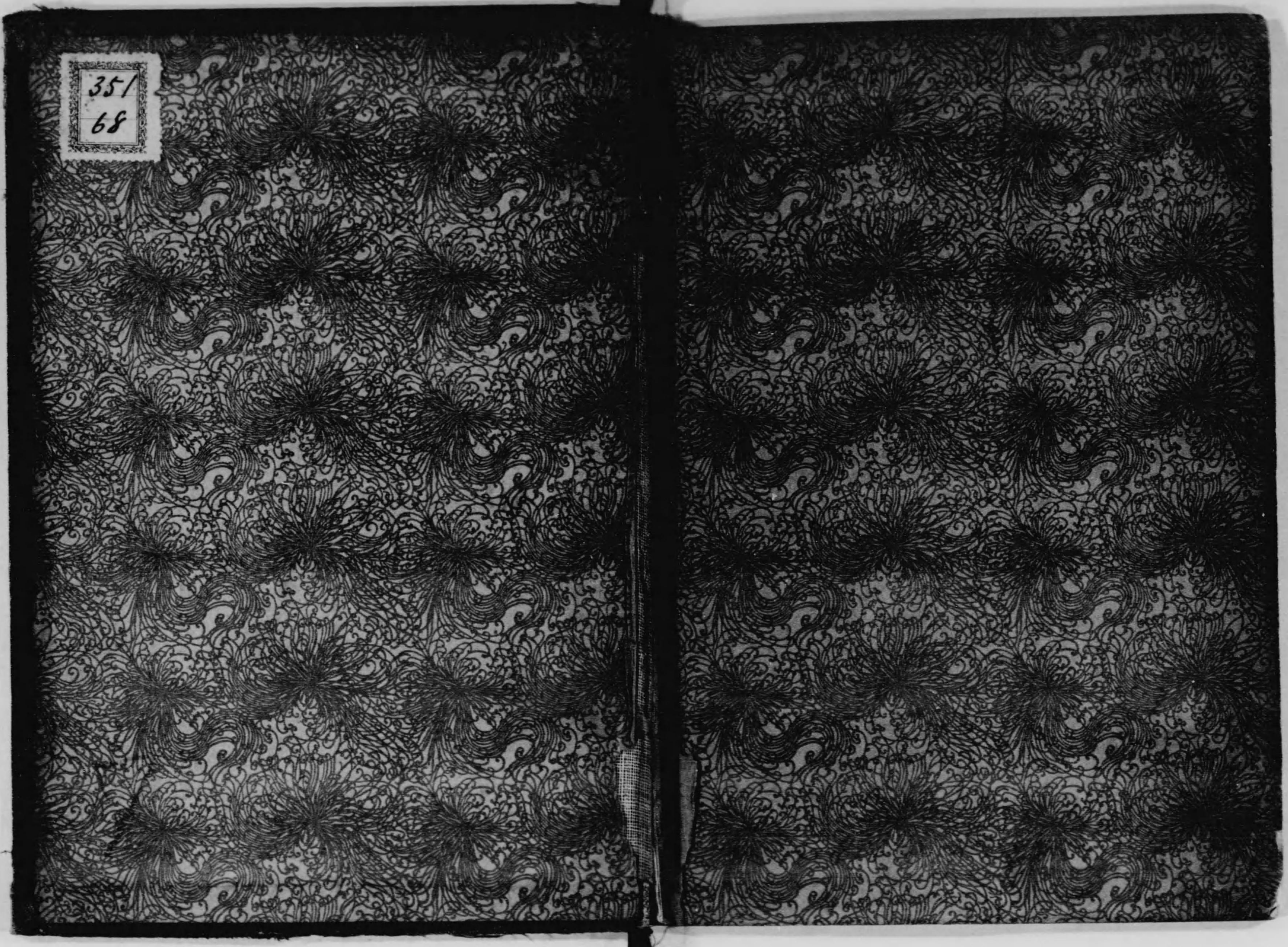


始



351
68





METALLOGRAPHY

IRON AND STEEL

鐵及び鋼の組織並に其應用

宮崎茂三

編

發行所

大日本圖書株式會社

大正

4. 6. 29

內交

鐵及鋼の組織並に其應用

目次

第一章 緒論。

	頁數
1, 金屬材料試験の新方法,.....	1
2, 顯微鏡的試験の要領,.....	4
3, 試験材料の準備,.....	6
4, 照射法と試料表面の明暗,.....	10
5, 結晶,.....	12
6, 同素體,.....	15
7, 同溶體—化合物—混合物,.....	17
8, 冷却の法則及冷却曲線,.....	19
9, 食鹽水の凝固,.....	22
10, ユーテクトイック,.....	26

第二章 純粹の鐵。

11, 純粹の鐵の組織,.....	29
12, 鐵の結晶,.....	31
13, 鐵の同素體,.....	35
14, 不純物,.....	39

- 15, 處理法と金屬の性質との關係, 42

第三章 炭素鋼及鍊鐵。

- 16, 本章説明の範圍, 44
 17, 炭素含有量少なき鋼の組織, 45
 18, セメントタイト及パーライト, 48
 19, 炭素含有量と鋼の組織との關係, 50
 20, ユーテクトイド鋼の組成, 54
 21, 炭素鋼の組織の三形式, 56
 22, 炭素鋼の組織的成分, 57
 23, 炭素鋼の組織的成分の性質, 61
 24, 鍊鐵の組織, 63

第四章 炭素鋼の變態點。

- 25, 炭素含有量少なき鋼の變態點, 65
 26, 炭素含有量と變態點との關係, 68
 27, 加熱の際の變態點, 71
 28, 冷却の遲速と變態點との關係, 73
 29, 變態點に於て發生する熱の割合, 74
 30, 變態點と鋼の組織的成分との關係, 77
 31, 變態點の影響, 80
 32, 變態區域の上下に於ける鋼の比較, 82

第五章 金屬合金の凝固。

- 33, 純粹の金屬の凝固, 84
 34, 全然固溶體を作るべき合金の凝固, 85
 35, 全然固溶體を作るべき合金の凝結曲線, 90
 36, 固溶體を作らざる合金の凝固, 94
 37, 固溶體を作らざる合金の三形式, 98
 38, 一部分固溶體を作る合金の凝固, 101
 39, 鑄鐵及鋼の凝固, 106
 40, 鑄鐵及鋼の完全なる變化, 114

第六章 鋼の組織の變化。

- 41, 鋼の處理法に就いて, 121

第一項 加熱による變化及 鋼の焼鈍。

- 42, 加熱の際起る鋼の組織の變化, 122
 43, 最高溫度と結晶粒の大きさとの關係, 125
 44, 結晶粒の大きさと鋼の物理的性質との關係, 128
 45, 最高溫度と鋼の物理的性質との關係, 129
 46, 鋼の過焼, 130
 47, 鑄物鋼が過焼せざる理由, 133

- 48, 高温度よりの冷却「ソールパイト」.....134
 49, 焼鈍の目的,137
 50, 焼鈍の手段,138
 51, 二重焼鈍,141

第二項 機械的處理。

- 52, 機械的處理の目的,142
 53, 高温度に於ける加工と結晶粒との關係,143
 54, 加工を終るときの温度.....147
 55, 低温度に於ける加工,148

第三項 鋼の焼入。

- 56, 急冷による鋼の性質の變化,150
 57, 急冷の度合と鋼の組織との關係.....153
 58, オーステナイト,154
 59, マルテンサイト,156
 60, ツルースタイト,159
 61, 冷却の度合と鋼の組織變化の段階,160
 62, 鋼の焼入,162
 63, 焼入せられたる鋼に存する内應力,165

第四項 焼戻し。

- 64, 焼戻しの目的,167
 65, 焼入せられたる鋼を加熱する際起る變化,167
 66, 焼戻しの方法,170
 67, 焼戻しに於ける硬度の減少及熱の發生,172

第五項 膚鋼法

- 68, 鐵中に炭素の滲入すること,173
 69, 膚鋼法に處すべき鋼の成分,176
 70, 滲鋼劑,177
 71, 膚鋼法に處したる後の處理,178

第七章 鑄鋼及鑄鐵の組織。

- 72, 鑄鋼の組織,180
 73, 鑄鋼の焼鈍,183
 74, 鑄鐵中の炭素の状態,184
 75, 遊離炭素のみを含有せる鑄鐵,185
 76, 化合炭素のみを含有せる鑄鐵,187
 77, 化合炭素と遊離炭素とを含有せる鑄鐵,189
 78, 冷硬鑄物,192

第八章 鑄鐵の變化及可鍛鑄物。

79, 鑄造温度の影響,	196
80, 鋳鉄の焼鈍,	197
81, 鑄鉄の成長,	199
82, 白鉄の焼鈍,	202
83, 可鍛鑄物の原理,	205
84, 可鍛鑄物の化学成分,	207
85, 包被材料,	210
86, 軟化作業,	211
87, 可鍛鑄物と鑄鉄及鑄鋼との比較,	212

第九章 失敗の探究。

88, 失敗の原因,	214
89, 不純物の析出,	215
90, 蜂巣,	217
91, 蜂巣に伴ふ諸現象,	220
92, 収縮管,	222
93, 完全なる鋼塊を得る方法,	224
94, 過熱せられたる鋼の組織,	225
95, 過焼せられたる鋼の組織,	226
96, 長時間の加熱の害,	227
97, 鍛接に伴ふ失敗,	229
98, 低温度に於て加工せられたる鋼,	230

99, 鋼線に於ける失敗,	232
100, 金属組織上自然に存する弱點,	233
101, 伸張力を受くる鐵の状態,	235
102, 交番應力,	237

第十章 鐵及鋼に及ぼす不純物の影響。

103, 不純物に就いて,	239
---------------	-----

第一項 硅素。

104, 硅素と純粹の鐵との關係,	239
105, 鋼に對する硅素の影響,	240
106, 硅素と炭素との關係,	242
107, 鑄鉄の物理的性質に及ぼす硅素の影響,	244
108, 鑄造上の注意,	244

第二項 硫黄。

109, 硫黄と鐵及「マンガン」との關係,	247
110, 鑄鉄に及ぼす硫黄の影響,	250
111, 硫黄と硅素との關係,	251

第三項 磷。

- 112, 燐と純粹の鐵との關係,253
 113, 燐と炭素との關係,254
 114, 燐と析出,256
 115, 燐と鋼との關係,257
 116, 燐と鑄鐵との關係,258

第四項 「マンガン」及び總括。

- 117, 「マンガン」と鑄鐵との關係,258
 118, 「マンガン」と鋼との關係,260
 119, 鋼の化學的成分と組織的成分との關係,261

第十一章 特種元素。

第一項 概説。

- 120, 特種元素に就いて,265
 121, 特種元素と鋼の變態點との關係,266
 122, 種々の状態にある特種鋼,269
 123, 特種鋼の處理法,273

第二項 アルミニウム。

- 124, 「アルミニウム」と鋼との關係,274
 125, 「アルミニウム」と鑄鐵との關係,275

第三項 ニッケル。

- 126, 「ニッケル」と銑及び炭素との關係,276
 127, 「ニッケル」鋼の處理,279
 128, 鋼の性質に及ぼす「ニッケル」の影響,279
 129, 「ニッケル」と鑄鐵との關係,281

第四項 チタニウム。

- 130, 「チタニウム」の利用,281
 131, 「チタニウム」と鋼との關係,283
 132, 「チタニウム」と鑄鐵との關係,287
 133, 「フュロ,チタニウム」の使用法,288

第五項 ヴァナディウム。

- 134, 「ヴァナディウム」に就いて,290
 135, 「ヴァナディウム」と鋼との關係,262
 136, 「ヴァナディウム」と鑄鐵との關係,294

第六項 其他の特種元素。

- 137, 「クロミウム」と鋼との關係,295
 138, 「クロミウム」と鑄鐵との關係,296
 139, 「マンガン」鋼,296

140, 「タングステン鋼」, 298

第七項 自硬鋼及高速鋼。

141, 工具鋼に就いて, 300

142, 自硬鋼, 302

143, 高速鋼, 303

144, 高速鋼の處理法, 304

目次終

鐵及鋼の組織並に其應用

宮崎茂三編

第一章 緒論

1, 金屬材料試験の新方法。

金屬材料試験に於て採用する方法は、次の四つに區分することが出来る。

- (1) 化學分析によつて成分を檢定すること。
- (2) 金屬の物理的性質を試験すること。
- (3) 顯微鏡を用ひて金屬の組織を明にすること。
- (4) 熱に関する現象を實驗すること。

以上の四方法中(1)(2)は従前より行はれてゐるもので、今日と雖ども勿論必要な方法ではあるが、しかし之だけでは決して完全なものと言ふことは出来ない。いつたい金屬合金等の性質は、其成分の量の多少によつて變化すべきは言ふまでもないが、夫等の成分の結合排列の模様によつて受ける影響は著しいものである。されば、金屬の組織に関する知識なくては到底其性質の變化などを理

解することは出来ない。化學分析によれば、如何なる成分が如何なる量だけ含まれるかを明にすることは出来やうが、しかし夫等の成分が如何に結合せるか、如何なる状態に排列せられてゐるか、と言ふやうな組織上の事柄に就いては少しも知ることは出来ないではないか。かかる組織上の研究には材料を非常に擴大して見る必要があるから、どうしても顯微鏡の助をからねばならぬ。既に顯微鏡を應用するならば、肉眼を以てしては到底觀破し得ざる微細な點にまで立入つて研究が出来るわけで、其研究法は全く根本的である。近來顯微鏡的試験は、金屬材料試験に必要缺くべからざる新方法として認めらるに至つた所以は茲にある。そして顯微鏡に現はれた形状は、直ちに寫眞に撮つて置くことになつてゐる。されば寫眞術の發達も亦金屬組織の研究上、大なる助となつてゐるのである。

次に第四の方法は、金屬合金等を加熱又は冷却する時、或は融解凝固する際、溫度が如何なる有様に變化するかを調べるのであつて、之によつて金屬組織の變化を知る上に大なる便宜を得るのである。此方面の研究は、最近高溫度を精密に測定する装置、並に其變化の模様を記録する方法を發明せられてから頓に發達したのであつて、この方面に關する佛人 Le Chatelier の功績は忘るべからざ

るものである。

金屬組織の研究に顯微鏡を利用することは、1864年 Sorby が始めて世に公にしたのであるが、當時は殆ど世人の注意を惹くに至らなかつた。其後約十二年、1875年英國の鐵及鋼に關する學會 The Iron and Steel Institute が Sorby の外一二の學者に此方面の研究を囑托するやうになつてから、續々熱心な學者が現はれて、多くの研究の結果を發表して金屬内部の秘密を暴露し、遂に金屬組織學 Metallography なる一科學を組織するに至つたのである。

、金屬組織學は、金屬組織の根底に立入つて研究するものであるから、金屬に關する製造家は元より、使用者と雖ども此方面の知識を有たないではもはや安閑として居られなくなつて來た。歐米の大工場では、特に實驗室を設けて研究に従事し、製品の改良を計つてゐる。又多くの著名の學者が熱心な研究を積み、續々其結果を發表するので、其進歩發達は時分をも争ふばかりである。然るに我國では近頃漸く一二の圖書雜誌に於て其片鱗を認めるのみで、まだ一般社會の注意を惹くに至らない。何事にも常に歐米に一籌を輸する我國は、茲にも亦彼の後塵を拜する状態にあるのは誠に歎はしい次第ではないか。

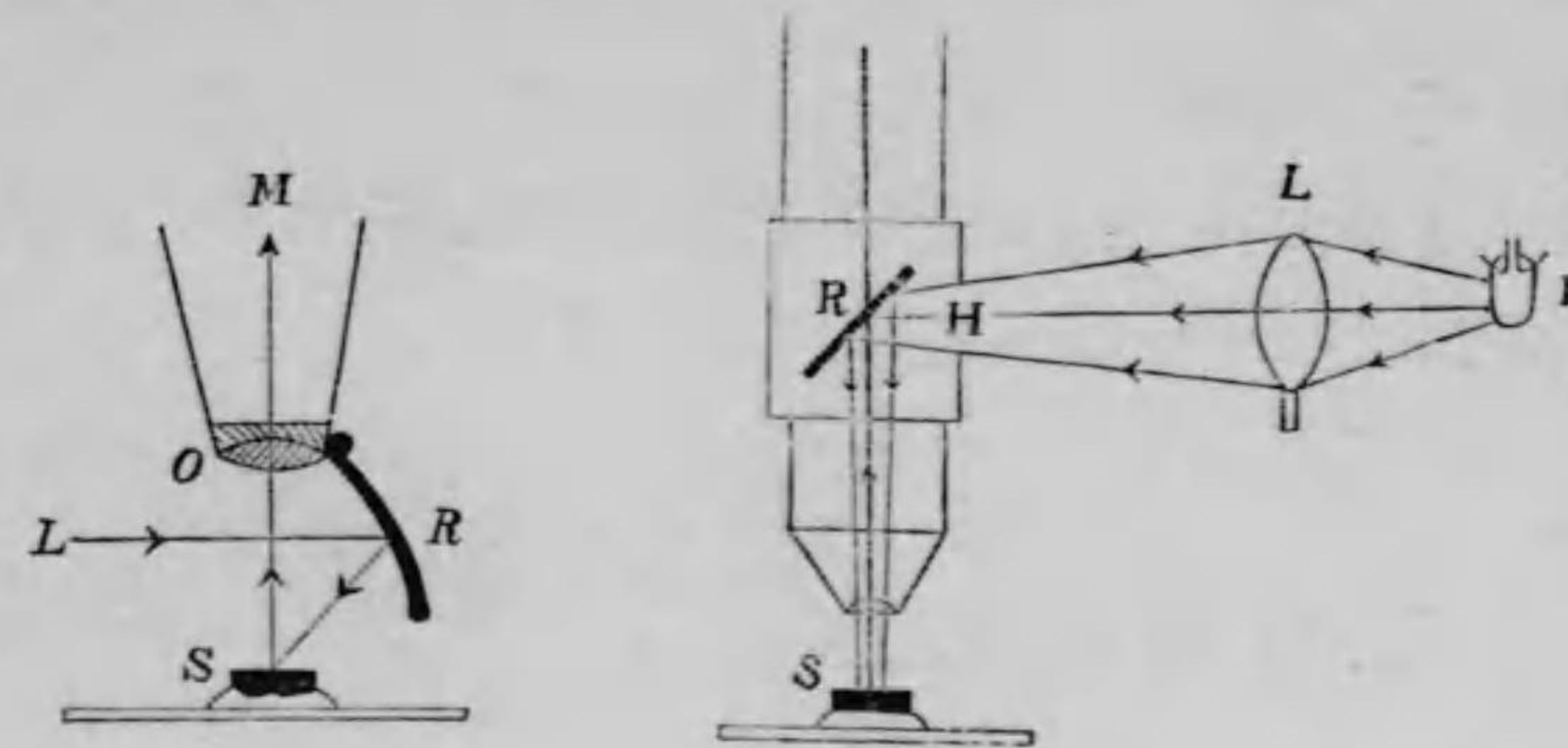
金屬組織學の效果は、時に鐵及鋼の方面に著しきものがある。本書は多くの學者の研究の結果を綜合して鐵及鋼の組織の一般を述べ、且多少實際上の問題にも觸れて見やうとするのであるが、先づ本章に於て顯微鏡的研究の手段を略説し、なほ豫備的事項を二三解説しておかうと思ふ。蓋し金屬組織學に於ては、如何なる研究法を採るのであるか、といふことを知るだけでも多少の利益があるばかりでなく、第二章以下に説くところを了解する上にも大なる助とならうと思ふからである。

2, 顯微鏡的試験の要領。

普通顯微鏡を用ゐて動植物の試験をするには、其試料を極めて薄くして之を透過した光線によつて見るのであるが、金屬は如何に薄くしても光線を透過せしむることは難かしい。夫故金屬の場合には、其表面を強い光線で照して、之から反射する光線によつて見るのである。之には普通の顯微鏡を少しく變形すれば充分使用に耐へるのであるが、現今特に此目的のために作られた顯微鏡が澤山販賣せられてゐる。

上に述ぶる如く金屬の場合には試料から反射する光線中、顯微鏡の筒内を通るやうな方向を取つたものが、觀

察者の眼に入つて其組織を明にせしめることになる。試料を照すには二つの方法があつて、其一つは傾斜照射法 Oblique Illumination と稱へて、斜に光線を投射せしめるのである。第一圖は其一側を示すもので、Lから來た光線は反射鏡Rで反射せられて斜に試料Sに投射し、此所で反射した光線の一部がMの如き方向に顯微鏡の筒内に入つて行く。此方法によると、試料の組織を明瞭に現はすことが出来るのであるが、反射鏡があるために對物レンズOを試料に充分接近せしむることが出来ない。従つて充分大きく擴大した圖形を得られないのが、此方法の缺點である。



第一圖……傾斜照射法

第二圖……垂直照射法

第二の方法は、垂直照射法 Vertical Illumination と稱へて、光線を垂直に投射せしめるのである。第二圖は其一例を

示すもので、顯微鏡の筒の下部にHなる穴がある。水平の方向にHから入つた光線は、45度傾斜せる硝子板Rのために垂直に下方に向けられて試料Sに投射する。Sから反射する光線中、垂直に上に向ふものは鏡にあたつて一部は反射せられ、他は之を透過して上に出て観察者の眼に入るのである。此方法では對物「レンズ」を自由に試料に接近せしめることが出来るから、非常に擴大した圖を得られるのみならず、僅かな擴大にも使用することが出来て便利ではあるが、鮮明の度に於ては到底傾斜照射法に及ばないのである。

此種の顯微鏡では、度々反射せしめるため光線の損失が多くなるから、最初に強烈な光線を送る必要がある。第二圖のIは發光體であつて、弧光燈、白熱燈、「アセチレン」瓦斯燈などを用ゐる。Lは此光線を集めるところの「レンズ」を示したのである。

3, 試験材料の準備。

金屬材料を顯微鏡にかけるには、單に切つたり折つたりしたままではいけない。之には色々準備を要する。其第一着手は、

(a) 試料を切取ること。

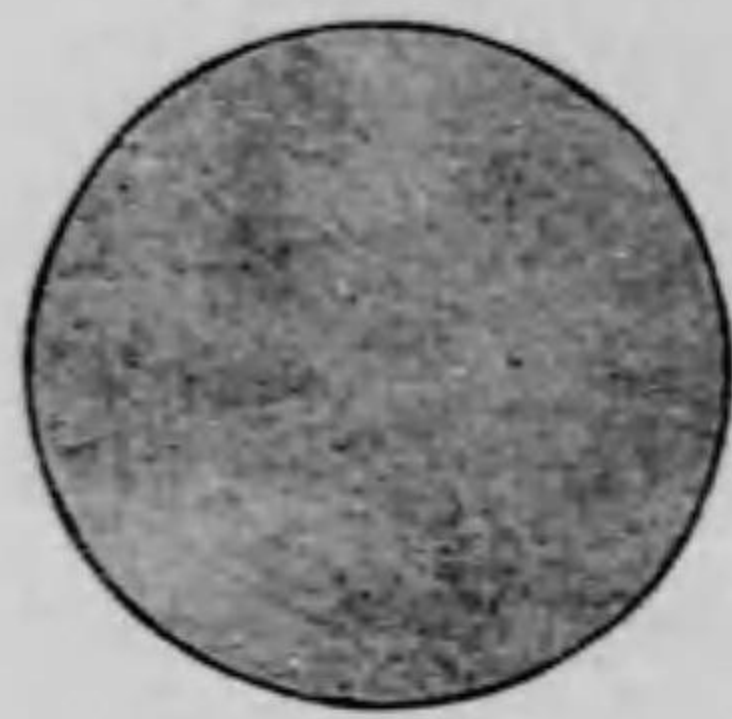
であつて、普通約二分の一吋立方位の大きさに切取るのであるが、此際多少注意すべきことがある。金屬の組織は、材料の内部と外部とて多少趣を異にするものだから、比較試験でもするならば、切取るべき位置を一定しておかねばならぬ。又材料が鍛鍊せられたり「ロール」にかけて壓延せられたりした場合には、必ず鍛鍊の方向に平行か又は直角の方向に切取つて、決して斜に切取るのではない。之は鍛鍊の方向と之に直角な方向とでは、其組織を異にせるためであつて、斜に切取つたものでは鍛鍊によつて組織の上に受ける影響を明にすることが出来ないからである。

軟かい材料は金切鋸で切取るのであるが、堅い材料で鋸を使用し得ない場合には、止むを得ず之を打ちかくのである。すべて試料は其一面だけを平滑に磨けばよろしいのであるから、必ず立法體に切取らねばならぬことはない。次には、

(b) 試料を磨くこと。

であるが、之は些か面倒だ。先づ試料の一面を鑢の荒いものから漸次細かいもので削り、其上を段々に細かい金剛砂で磨いてゆく。かくすれば表面は大分滑かになるのであるが、極めて細微な搔傷でも顯微鏡にかければ太い溝のやうに見えるものだから、こんな搔傷などは全く無

くしてしまはねばならぬ。夫故次には木綿や「ビロード」などに、「ペニガラ」だとか純粹の「アルミナ」の粉末などをつけて磨くのである。此際注意すべきことは、磨擦のために甚しく發熱すると、其熱のために材料の組織を變化せしめることがあるから、常に磨き臺を濕して之を冷却せねばならぬ。又材料の表面は眞の平面にしなければならぬものだから、常に一樣な壓力を加へて磨擦し、且餘り強い壓力を加へないやうにする。餘り強く磨擦するときは、比較的軟かな部分は無暗に擦り耗されて眞の組織を現さないことになる。若し又材料が脆いものならば、かけ易くて其破片のために折角磨いた表面に傷をつける恐がある。かくて時々強い光線にあてて見て、全く搔傷が無くなつたところで最後に鹿革で磨く、といふ風に極めて綿密な磨き方をするのである。



第三圖……磨いたままの
金属の表面



第四圖……酸で處理せられ
たる金属の表面

扱てかく入念に磨き上げられた表面は、極めて平滑な

もので光線を反射し易いため、之を顯微鏡下に照すときは全面一樣に光線を反射し、全體が輝いて見えて眞の組織を明瞭に現さないのが普通である。第三圖は或金属の磨いたまゝの表面を顯微鏡で見た圖であるが、かすかに網狀の組織を現すだけであつて明暗の區別がはつきりしないために、其組織を明にするなどは到底望まれないことが解るだらう。そこで第三の手段として、

(c) 試料の表面を酸類で侵蝕すること。

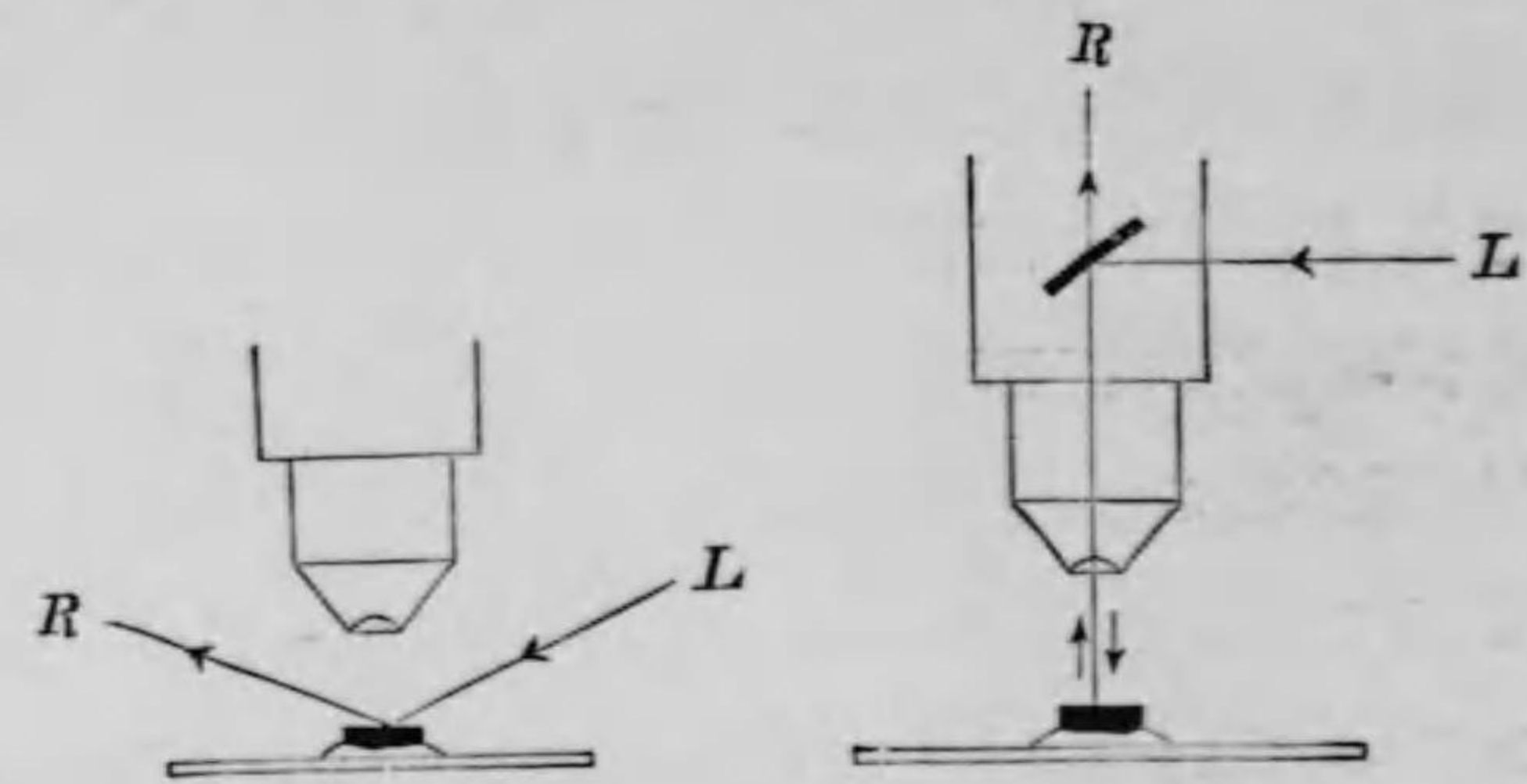
が必要になるのだ。磨いた表面を酸類で處理するとき、全部一樣なものならば格別のことはないが、普通金属は種々な組成物コンステイチュエントが集合せるものであつて、各部分が酸に浸される度合を異にするために、其表面に凹凸を生ずるのである。従つて各部分が光線を反射する度合を異にし、明暗の區別を明にする結果、其組織を明瞭に現すことになるのである。第四圖は第三圖のものを酸で處理したものであるが、試に兩面を比較するならば、如何に侵蝕法 Etching が必要なるかを悟ることが出来るだらうと思ふ。

金属表面を侵蝕するには、鹽酸、硫酸、「ピクリン」酸などを用ゐるのであるが、之等は試験せらるべき金属によつて撰擇すべきもので、一方の金属には有効なる酸でも他の金属に用ゐるときは少しも効果の無いことがある。其他侵蝕法を行ふ代りに、電氣分解の理を應用したり、

或は試料を熱するときは各組成物が異なつた色彩を現はすことを利用して、組織を明瞭に現さしめることもある。

4, 照射法と試料表面の明暗。

金屬試料を顯微鏡で照し見るとき、其表面の明暗の度合は、照射法を異にするに従つて非常に相違することがある。例へば傾斜照射法るとき明るく見えたものが、垂直照射法では暗く見えたり、或は前に暗く見えたものが、照射法を換へたために明るく見えるといふやうなことがある。之等の事柄は少しく考へれば直ぐ了解が出来るものだが、次に其概略を説明して置かう。

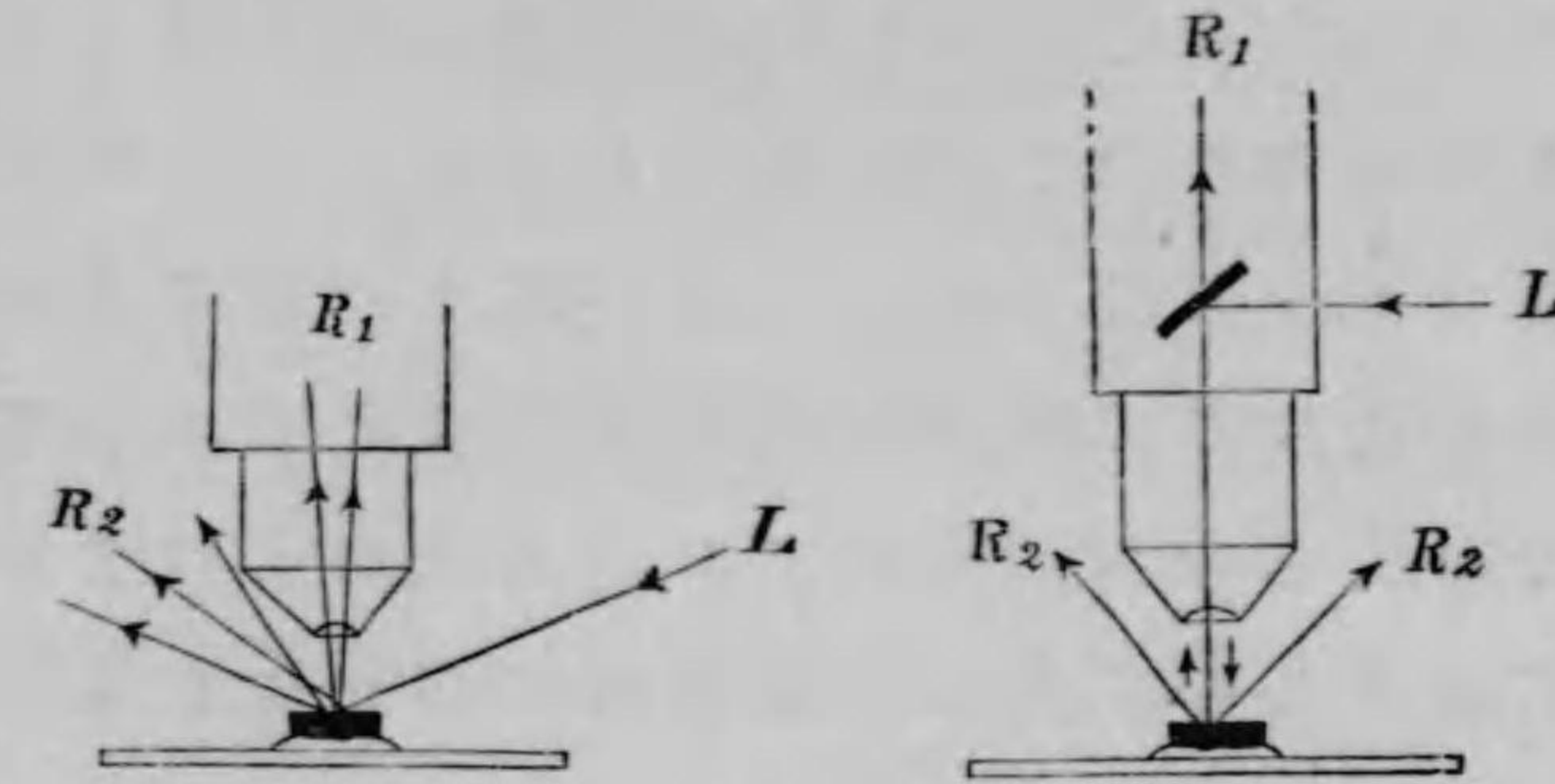


第五圖……極めて滑なる表面を斜に照したる場合

第六圖……極めて滑なる表面を垂直に照したる場合

今極めて滑かな表面を有する試料を試験するに傾斜照

射法を用ゐるときは、第五圖のやうに光線は反射の法則に従つてRの方向に反射し、顯微鏡の筒内には殆ど入つて來ないために試料の表面は暗く見える。然るに垂直照射法によるときは、第六圖に示すやうに光線は殆ど全部垂直に反射して顯微鏡の筒内を通るために、試料は著しく明るく見えるのである。



第七圖……粗なる表面を斜に照したる場合

第八圖……粗なる表面を垂直に照したる場合

次に試料の表面が稍粗なるときは、前の場合とは反対になつて傾斜照射法の場合に明るく見え、垂直照射法の場合には却つて暗く見えることがある。傾斜照射法では第七圖に示すやうに反射光線は發散光線となつて、R₁の如く顯微鏡の筒内に入る光線もあれば、R₂の如く筒外に反射する光線もある。しかし可なり多くの光線が筒内に入るために試料は明るく見える。然るに第八圖に示すや

うに、垂直照射法では R_2 の如く筒外に反射する光線が多く、比較的僅かな光線だけが筒内に入るために、試料は第六圖の場合と反對に却つて暗く見えるのである。

されば酸で侵蝕せられて凹凸のある表面を斜に照すときは、凹んだ部分には光線があたらないで陰となるため他の部分よりも著しく暗黒となり、明暗の區別が明瞭に現はれるのである。然るに之を垂直に照らすときは、凹所にも光線があたつて陰を生じないために、明暗の區別が餘りはつきりしなくなることがある。前に垂直照射法は、鮮明の度に於て傾斜照射法に劣ると言つた理由は茲にあるのだ。かやうな譯で二つの方法によつて同一の試料を照らすときでも、各の場合に於て明暗の有様を轉換することがある。されば顯微鏡に現はれたところを撮つた寫眞圖には、其擴大の割合を記しておくと同時に、何れの照射法を用ゐたかを明記しておく必要がある。

5, 結晶 Crystal.

物體は分子の集合より成ることは、今更説明するまでもないことであるが、其分子が集合するとき、規則正しい幾何學的の形體を形成ることがある。之は所謂結晶なるものであつて、其一例として第九圖に硫黃の結晶形を

示しておいた。結晶に就いては豫め多少了解しておかねばならぬことがある。

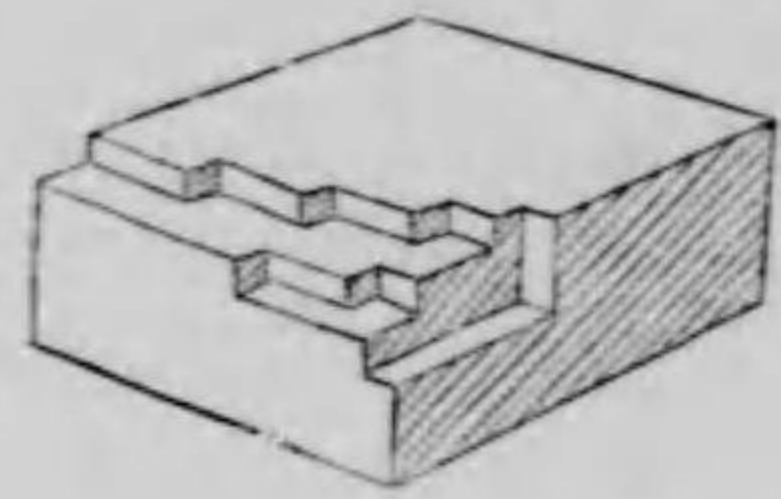


第九圖……硫黃の八面體結晶

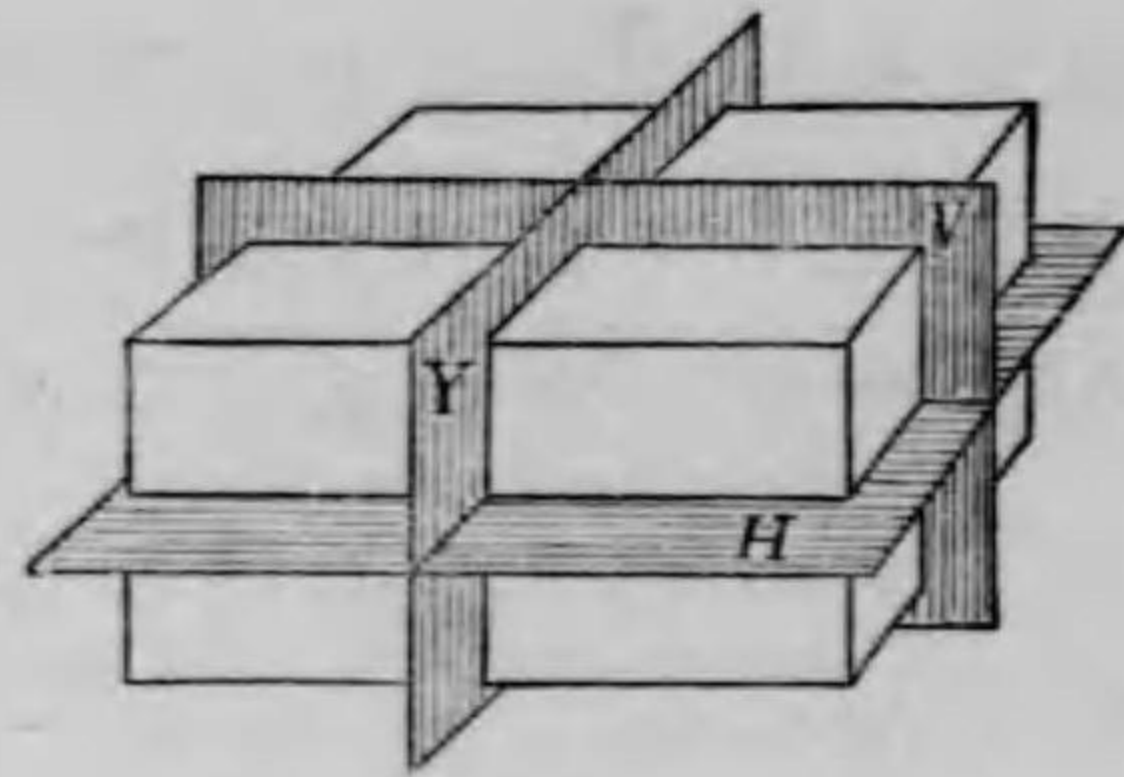
結晶は單に規則正しい幾何學的形體を有するのみならず、其成立ちを調べて見ると却々面白い。結晶は夫れと同一の形狀をなせる小なる結晶が規則正しく排列せられて出來たもので、第十圖は方解石の結晶から斯様な小結晶の幾つかを取り去つたところを示したものである。然るに之等の小結晶は、又も一つ小なる同形の結晶の集合せるものであつて、段々と小なる結晶に分かつことが出来る。言ひ換へると、極めて微細なる結晶が規則正しく排列せられて一つの小さな結晶を作り、此物は更に又規則正しく排列せられて一層大なる結晶を作り、順次斯くの如くし出來上つたものが吾人の所謂結晶體である。

上に述ぶる如く結晶は、より小なる結晶が排列せられ

であるものとすれば、之等の小結晶の並べる方向に裂け易き傾向あることは見易き道理である。かく一定の方向に裂け易き傾向を有することは結晶の一特性であつて、常に其表面に平行なる平面に沿うて裂けやうとするのである。されば第十一圖に示すやうな長方體の結晶ならば、H, V, Yなる三平面の方向に裂け易いわけである。かかる平面を結晶の裂面 Cleavage Plane と稱へる。尙裂面に關聯した事柄に就いては第九章に於て述べることにする。



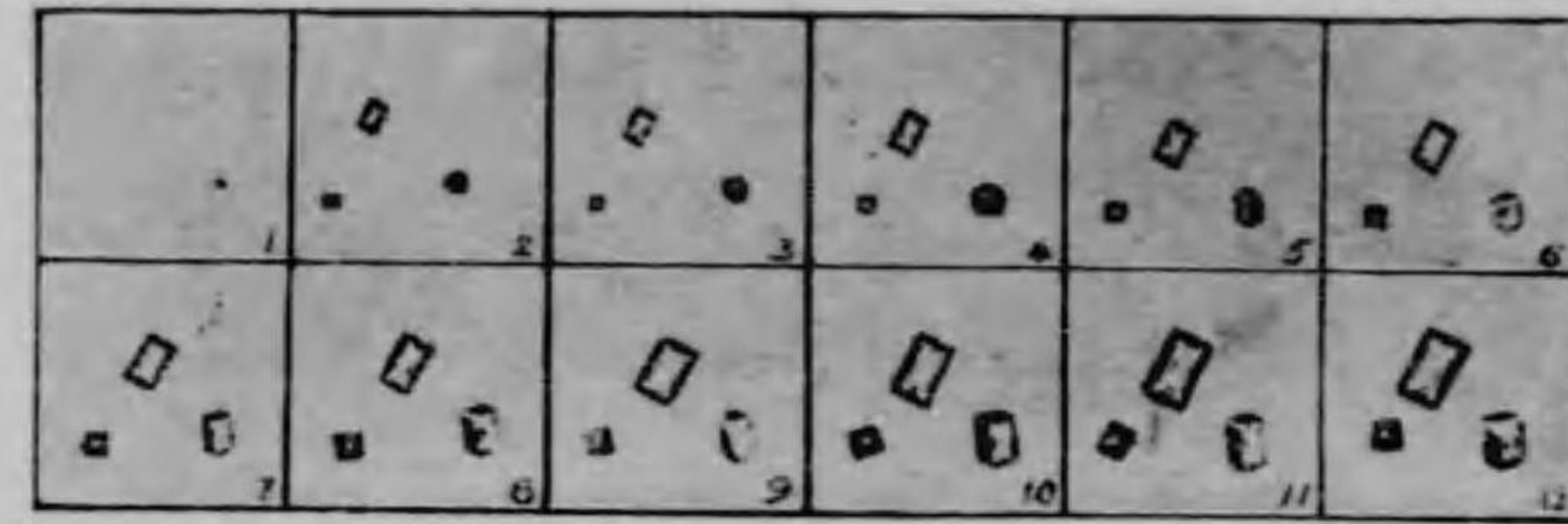
第十圖……方解石の結晶



第十一圖……結晶の裂面

さて溶液が結晶を始めるときは、第十二圖1に示す如く第一に微小なる固體が発生し、之に向つて微細な結晶質が漸次規則正しく集積してきて段々大きくなる。かやうな結晶の核は唯一個に限つたことではなく、2に示すやうに他にも発生し、之等は夫々別々に生長して遂に各完全な結晶となるのである。しかし、若し之等の結晶が

相接近して生長するとき、相觸接して互に妨害をなす結果、完全な外形を現はすことが出来ないことがある。かかる結晶を不完全結晶 Allotrimorphic Crystal と稱へ、完全な外形を有するものを完全結晶 Idiomorphic Crystal と稱へる。



第十二圖……沃度加里の結晶生長の様相

一般に鹽類は多くは完全結晶を作り、金屬が凝固するとき、大概不完全結晶を作るものである。

6, 同素體 Allotropy.

第九圖に示した硫黃の八面體結晶は、常溫に於て存在するものであつて、之を攝氏 95.6 度以上に熱するとき、第十三圖に示すやうな針狀結晶となる。若し又、之を沸騰點近くまで熱して冷水に投ずるときは、粘性に富める無結晶のものとなるのである。かく硫黃なる單一な元素でありながら、溫度によつて三つの異なる形狀に變化することは甚だ面白い現象である。かやうに同一の元素

が温度の相違によつて形状の相異なる物體を作るときは、之等を其同素體と稱へる。茲に注意すべきことは、同素體なる言葉は固體の場合に用ゐるものであつて、決して固體、液體、氣體といふやうな物質状態の變化を指すのではない。又同素體は其外形を異にし従つて其物理的性質も變化するものであるが、之を化學上から見るときは全く同一の元素であつて、元素としての價値に何等の差別はないのである。かの寶石界の王と稱せらるるところの^{ダイヤモンド}金剛石も、吾人が日常目撃せるあの眞黒な炭素と化學上同一元素から成れるもので、畢竟炭素の同素體に過ぎないものだと聞かば、如何にも其變化の大なるに驚かされるであらう。同素體は同一元素でありながら、異なつた外形を有するわけは、要するに其分子の集合の状態を異にせるためであつて、あの建築師が同一の煉瓦を以てしても、之が排列の仕方によつて色々な形の建築物を作り得るが如きものであらう。



第十三圖……硫黄の針狀結晶

扱て硫黄の針狀結晶を除々に冷却するとき、95.6度以下に於て再び八面體結晶となるのである。されば硫黄の八面體結晶は95.6度以下の温度に於て安定であり、針狀結晶は95.6度以上の温度に於て安定なもので、95.6度は二つの形の境目をなしてゐる。かやうな同素體の形状を變化すべき境目の温度を變態點 Critical Pointと名ける。同素體は低温度に於けるものから高温に於けるものに變化するとき、變態點に於て熱を吸収し、反對の場合には逆に熱を發生するものである。然るに熱は一種の「エネルギー」であるから、同素體は其内部に含蓄せる「エネルギー」の量を異にせるものである。これ其分子をして相異なる状態に集結せしめるためには、要すべき「エネルギー」の量も亦従つて異ならねばならぬからである。

7, 固溶體—化合物—混合物。

混合、化合、溶解などいふ言葉に就いては、其意義を明白にしておく必要がある。

ここに或二つの物が混合してゐる場合に、吾々の肉眼では到底兩者を區別し得ないことがあつても、之を顯微鏡で見れば明に兩者を區別することが出来る。即ち混合物 Mixture は、其成分が渾然融合して等齊な一體となつて

あるものではなく、單に各成分が機械的に混在せるものであるから、肉眼では出來ないでも、之を擴大さへすれば明に各成分の存在を指摘し得べきものである。そして其混合すべき量の割合には一定の制限がない。之が混合物の特徴である。

然るに化合物 Chemical Compound となると、二種又は二種以上の元素が合して一種の新たな物質を作るのであつて、各成分は各自特有の性質を少しも現さないのみならず、之を顯微鏡で見れば全部等齊な物質として現はれ、決して各成分を分別することは出來ない。ただ化學的に之を分解し得るのみである。そして化合する場合には、其成分の割合に一定の制限があつて、勝手なことは許されない。

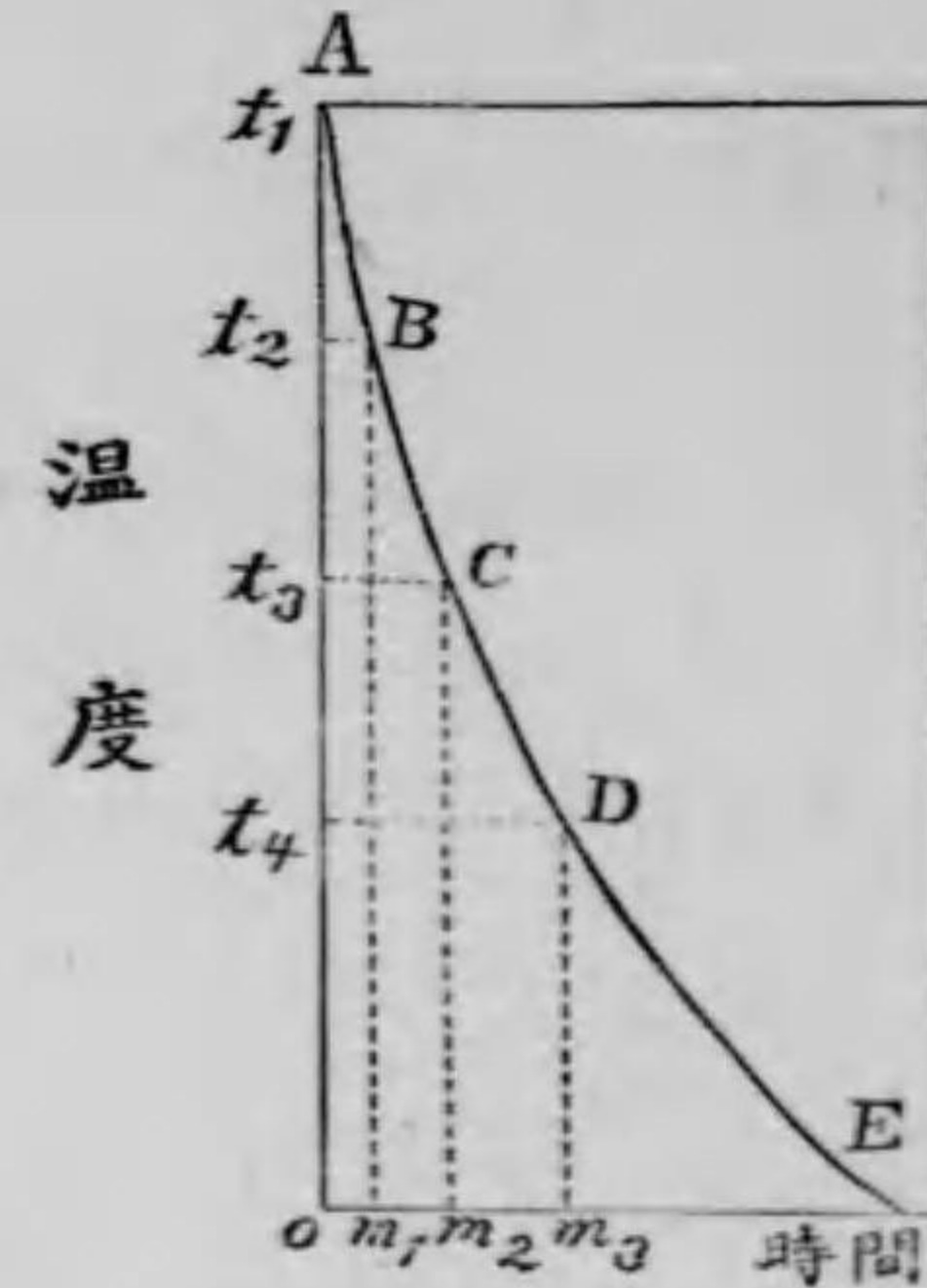
食鹽が水に溶解せるやうな場合には、食鹽と水とは渾然融合して一體となり、いかに顯微鏡で擴大しても食鹽と水とを見分けることは出來ない。この點は化合物に似てゐるのであるが、しかし、溶解の場合には其成分の量に一定の制限がない。食鹽は一割でも二割でも自由に溶解して了ふ。液體に氣體が溶解する場合でも同じことで、かのラムネに炭酸瓦斯が溶解せるときは、決して炭酸瓦

斯は氣泡となつて存在するのではない。溶解の現象は獨り液體に存せるのみならず、固體の場合にも行はれる。即ち固體の中に他の固體が溶け込んでゐることがある。之を固溶體 Solid Solution と稱へるのであつて、合金に多く生ずるものだから良く其意義を了解しておかねばならぬ。二つの金屬が固溶體を作れるときは、^{ユニフォーム}等齊な一體となつて如何に顯微鏡を以てするも、各の金屬の存在を見分けることは出來ない。しかし之が化合物でないと言ふことは、兩金屬の配合の割合を變じても、全く一樣な組織のものとなるので解る。固溶體の適例は硝子である。硝子は硅酸、石灰、アルカリなどの集つて出來たものだが、之等の不透明な成分が融合して透明體となつてゐるので、いかに物理的の手段を盡くしても硝子中に硅酸、石灰乃至アルカリを區別することは出來ない。しかし多少之等の成分の配合を變じても矢張硝子となるのであつて、決して化合物ではないのである。

8, 冷却の法則及冷却曲線。

鋼を約攝氏 1000 度に熱し之を除々に冷却せしむるときは、最初 5 度溫度が降るに 10 秒を要するものとすれば、次の 5 度降下するには 12 秒、又次の 5 度の降下に 14 秒を

要するが如く、温度が降るにつれて冷却の度が漸次一樣に緩慢となる。この事柄は獨り鋼に限つたことではなく、物質の如何に關らず一般に除々に冷却する物體に通ずる法則である。かくの如き場合に、温度と経過時間との關係を圖示すれば第十四圖 AE の如き曲線を得るのである。圖に於て曲線は下方に向つて曲つてゐることは注意すべき事柄で、今 A より順々に等しい温度だけ降れる點 B, C, D 等を探つて見ると、A より B まで降るに要する時間は $\overline{om_1}$ で表され、B より C までには $\overline{m_1m_2}$ 、C より D までには $\overline{m_2m_3}$ だけの時間を要することが解る。そして圖によつて



第十四圖……冷却曲線

明なる如く、温度が低くなるにつれて等しい温度を降るに段々多くの時間を要することが解るだらう。かく曲線

の形によつて二數の關係を一目瞭然たらしむることは、曲線の重寶な所以であつて、 $\frac{t}{m}$ 曲線を見るときは直ぐ如何なる關係を表はすものかといふことを、其形によつて觀取し得るやうにならねばならぬ。

この曲線に就いても少し説明して置かう。若し一定の温度の降下に要する時間が常に一定せるとき、即ち温度の降る割合が所要の時間數に比例するときは、AE 曲線は一直線となる。若し又、温度が降るに従ひ所要時間數が減少するとき、即ち温度が降る程冷却が急速になるやうなことがあるならば、AE 曲線は上に向つて曲るのである。かくの如きことは冷却の法則に悖るのであつて、實際上起らない事柄ではあるが、曲線の成立ちを了解せしむるために述べたのである。次に曲線の一部が水平な直線となるやうなことがあれば、其水平線で表さるる時間だけ温度が一定してゐたことを示すのである。之に就いてはなほ考へなければならぬことがある。一樣に冷却法を行つて其物體から常に一樣に熱を奪ひ取つてゐるに拘らず、温度の降下が一時休止するときは、其物體の内部から熱を發生して、丁度外部に奪ひ去らるる熱だけを補うてゐるに相違がない。物體内部から發生する熱量が外に奪ひ去らるる熱量よりも多ければ、温度は一時却つ

て昇るために冷却曲線中の一部に突起を生ずる。もしも発生する熱量が奪ひ去らるるものよりも少ないときは、曲線の一部分が少しく上方に曲るのである。

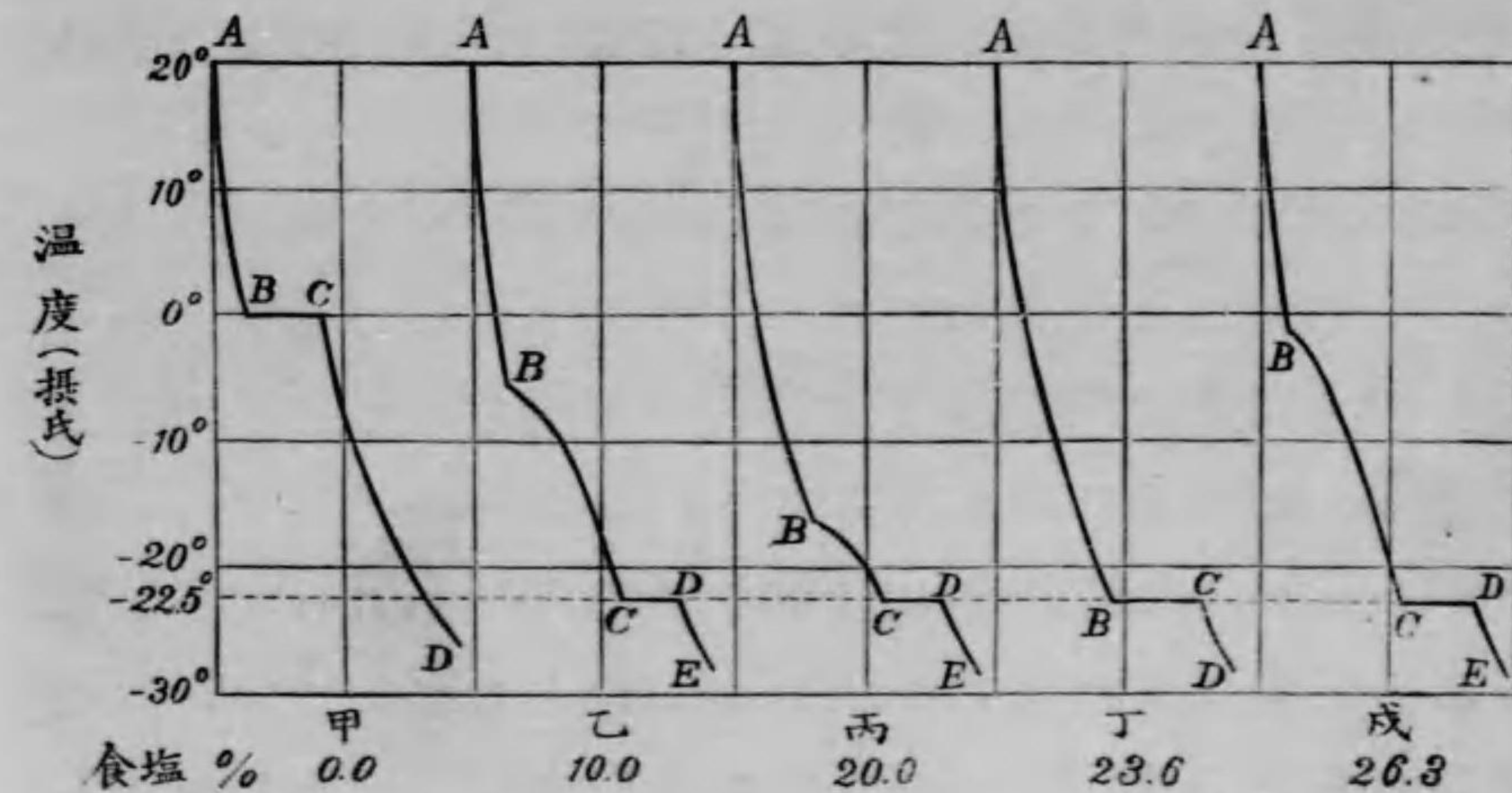
かくの如き冷却曲線の變化は、物體の沸騰、融解、凝固、同素體の變化等に伴うて起る現象であつて、上に述べたる如く物體內に含有せる熱量に變化を起したのである。既に熱量に變化ありとすれば、言ふまでもなく其物體の保有せる「エネルギー」に變化が起つたのであるから、従つて物體の状態に變化を生ずべきは當然の理と言はねばならぬ。これ熱に関する現象を實驗することの必要なる所以である。

9. 食鹽水の凝固。

食鹽水の凝固する有様を知つておくと、合金などの凝固中に起る現象を理解する一助ともなり、且金屬組織學上重要な一術語の意味をも理解することが出来る。

食鹽水の凝固を知る前に、先づ純粹の水の凝固を説いておくと便利だ。誰も知れる如く、純粹の水を冷却するときは零度に於て凝固し、凝固中は温度は一定して降らない。水の冷却曲線は第十五圖甲に示すやうな形になる。AからBまでは水の冷却を示し、CからDまでは氷の冷

却を示すもので、前者は液體の場合後者は固體の場合であるが、共に冷却の法則に従うてゐる。BC間は則ち水の凝固を示すもので、其間温度が一定して下らないのは、前節に述べた如く水が潜熱を放出するからである。茲に注意すべきことは、水は水素と酸素との化合物だと言ふことで、總て化合物は一定の凝固點を有つてゐるのである。此事柄は元より簡單明瞭なことではあるが、後に至つて必要になるから特に注意しておくのである。



第十五圖……純粹の水及食鹽水の凝固

さて、食鹽を少しく溶解せる水を冷却するときは、零度に達しても凝固しない。水は食鹽を溶解するときは、

その凝固點が低くなるのである。かく凝固點の低下する割合は、食鹽の量によつて異なるものである。今10「パーセント」の食鹽水を取つてみると、零下6度に於て凝固を始める。然るに此場合は純粹の水の場合に比して大に其趣を異にする。則ち凝固は一定の溫度で行はれないで、凝固するにつれて溫度が降り、溫度が降れば又從つて凝固して遂に零下22.5度に達する。ここまで來ると最早溫度は降らないで、残れる溶液は全部凝固して了ふ。そして全部凝固して了へば、又漸次溫度が降るのである。以上の溫度の變化を圖示すれば、乙圖のやうになる。今少しく此間に起る事柄を調べてみやう。

圖に於て AB は食鹽の溶液の冷却を示すもので、やはり冷却の法則に従ふのである。B 點は凝固の始まる點であつて、凝固は C 點(零下22.5度)まで繼續する。此間に凝固せるものを良く調べてみると、純粹の水である。(全く純粹の水ではなく僅かに食鹽を固溶してゐるのであるが、了解し易からしむため今は純粹の水としておく。) BC なる曲線が少しく上に向つて曲れる理由は、前節に説明したところから推して知ることが出来ることと思はれるが、要するに其間に除々に凝固する水が潜熱を放出して外に奪ひ去らるる熱を幾分か補ふたからである。BC の間に於て純粹の水のみが凝固するものとすれば、残れる溶液の

鹽分は段々濃くなる筈であるが、丁度 C 點に達したときは、溶液の濃さは 23.6「パーセント」となつてゐるのである。

次に鹽分のも少しく濃い溶液の冷却曲線は丙圖の如くなる。之を乙圖と比較してみると、其形狀は少しも變らないが、唯凝固の始まる點 B は前よりも低くなつてゐる。然るに凝固の終る點は前と同じく零下22.5度であつて、此點に達したとき溶液の濃度は前と同じく 23.6「パーセント」となつてゐるのである。

されば食鹽の割合を増すときは、凝固を始める點が低くなるのであるが、凝固の終る溫度は常に零下22.5度であつて、溶液の濃度に係らず一定してゐる。そして零下22.5度なる一定の溫度に於て凝固するときの溶液の濃さは、いつでも 23.6「パーセント」となれることは注意すべき點である。そこで、次に食鹽 23.6「パーセント」の溶液を作つて之を冷却すると丁圖に示す如く、凝固は單に零下22.5度なる一定の溫度で行はれて、夫以前に凝固するものが無くなつて了ふ。

然らば 23.6「パーセント」以上の溶液はどうかと言ふに、戊圖に示す如く B 點で凝固を始め、零下22.5度に於て終了するのであつて、之を乙圖と比較するに其形狀は全く同様である。しかし、乙圖では BC の間に於て純粹の水が凝固したのであつたが、戊圖では BC の間に純粹の食

鹽のみが凝固するのである。かく豫め純粹の食鹽のみが凝固する結果、残りの溶液の鹽分が減少し、零下 22.5 度に達したときは、其濃度はやはり 23.6「パーセント」となつてゐるのである。

以上説く所を綜合してみると、次の三種に區別することが出来る。

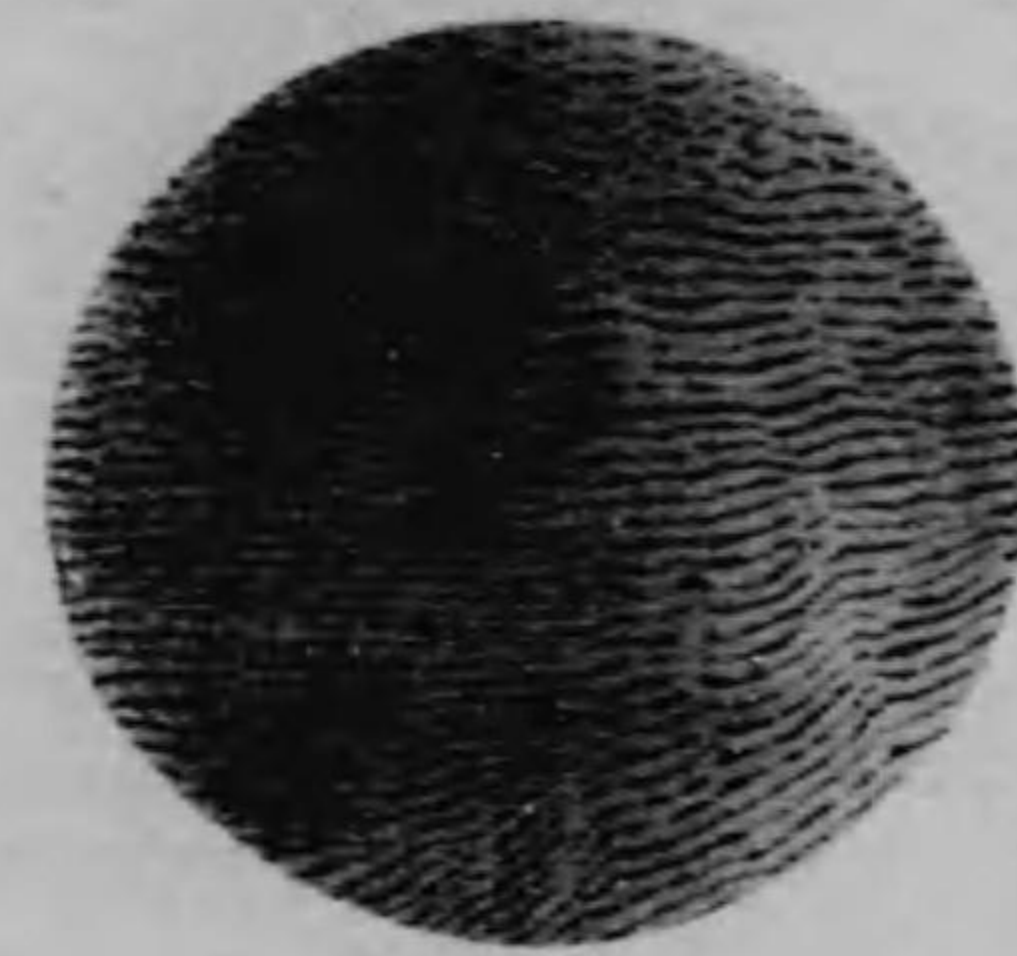
- (1) 食鹽 23.6「パーセント」なるときは、零下 22.5 度に於て全部凝固する。
- (2) 食鹽 23.6「パーセント」以下なるときは、先づ餘分の水分凝固し、残れる溶液の濃度 23.6「パーセント」に達したるとき、零下 22.5 度に於て全部凝固し終る。
- (3) 食鹽 23.6「パーセント」以上なるときは、先づ餘分の食鹽凝固し、残れる溶液の濃度 23.6「パーセント」に達したるとき、零下 22.5 度に於て全部凝固し終る。

10, ユーテクトック Eutectic

前節に述べるところによつて、食鹽 23.6「パーセント」の溶液は、一種特別なる性質を有つてゐることが解る。則ち他の同種の溶液に比して最も低き凝固點を有し、且其

凝固點は一定してゐるのである。かやうにして凝固したものを「ユーテクトック」と稱へる。今「ユーテクトック」に就いて少しく説明しておかう。

「ユーテクトック」は一定の組成を有し、且一定の凝固點を有つてゐる。此點から考へると、化合物であるやうに思はれるが、之を顯微鏡で照してみると、各の成分の存在を明に指摘することが出来るのである。則ち「ユーテクトック」は混合物である。しかも「ユーテクトック」の特性として、各成分は極めて薄い層となつて交互に積み重つて出来てゐるのである。第十六圖は炭素を含有せる鐵が凝固するとき生ずる「ユーテクトック」の組織を示すものである。之に就いては後に詳しく説明するのであるが、今は兎に角「ユーテクトック」は薄層が集積して出来てゐる點に注意しておいて貰ひたい。



第十六圖 ……鐵が炭素を含有するとき生ずる「ユーテクトック」

上に述べたところを綜合して「ユークテック」の特性を擧げて見ると、次のやうになる。

- 1) 「ユークテック」は一定の凝固點を有す。
- 2) 「ユークテック」は一定の組成を有す。
- 3) 「ユークテック」は二種の組成物より成り、各の組成物は極めて薄き層となつて交互に積み重つてゐる。
- 4) 溶液を冷却するときは、「ユークテック」は最後に凝固する。

因に言つておくが、「ユークテック」なる言葉は、最も融解し易いものと言ふやうな意味を有つてゐる。蓋し「ユークテック」は上に述ぶる如く最後に凝固するものだから、之を逆に熱するときは最初に融解するからである。又「ユークテック」を作る組成物は、食鹽と氷といふやうに單純なものでなく、一方が固溶體のやうなものであつても差支はない。例へば第十六圖の場合には、鐵と炭素との化合物と、其化合物と鐵との固溶體とが集つて「ユークテック」を作るのである。

「ユークテック」は固溶體と共に、鐵鋼合金等の重要な組成物となるものであるから、良く其意味を了解しておかねばならぬ。

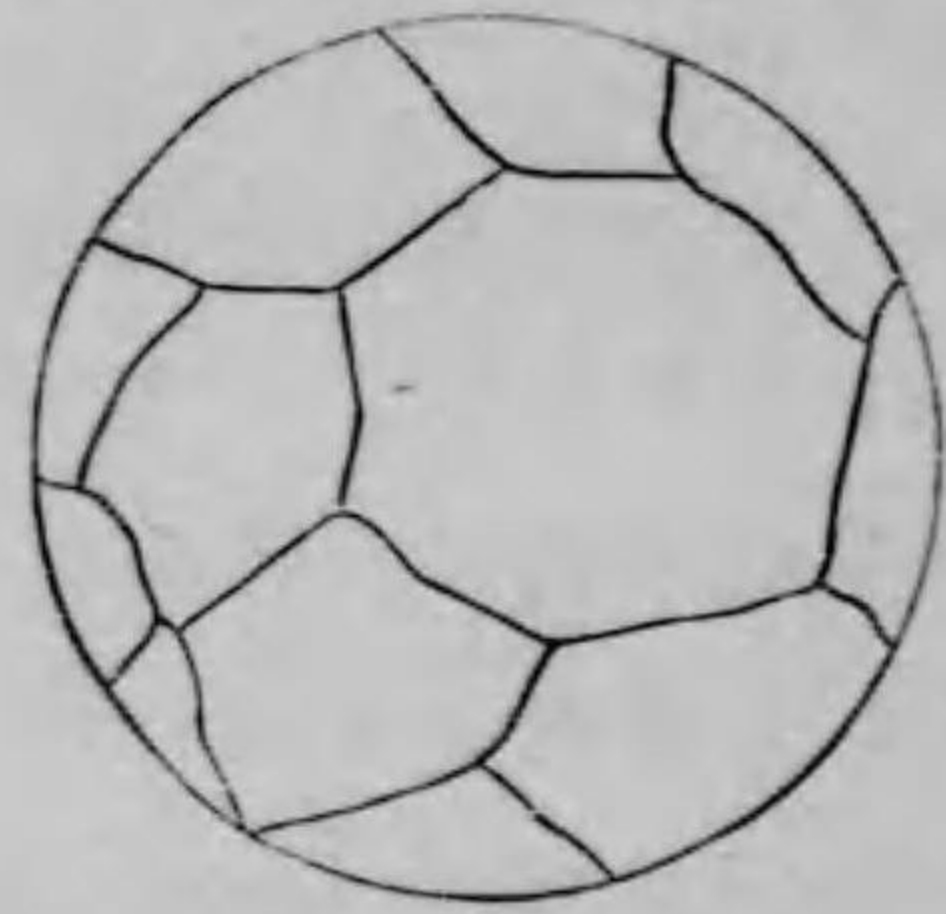
第二章 純粹の鐵

11, 純粹の鐵の組織

吾々が日常取扱ふところの鐵鋼などは、炭素其他の不純物を含むもので、化學的に全く純粹な鐵は容易に得られないものだ。加之、純粹の鐵は融解點極めて高く(攝氏1500度以上)して比較的弱いものだから、工業上必要のないものである。しかし、純粹の鐵は如何なる組織を有するかといふやうなことを調べるのは、金屬組織の研究上極めて必要なものだから、實驗用として成るべく純粹の鐵を得んとするのである。現今電氣分解によつて99.9「パーセント」の鐵分を含むものを得られるやうになつた。かやうな鐵は先づ純粹なものとも、實際上殆ど差支はないのである。

純粹の鐵の試料を取り、之を少しく酸で侵蝕したものを顯微鏡で見ると、第十七圖に示す如き網目を現はすのである。之によつてみると、鐵は不規則なる多面體の集合より成れるもので、各の網目は之等の多面體の斷面を現はすのだといふことが解る。次に之を稍強く侵蝕するときは、第十八圖に示す如く、之等の網狀物の中には暗黒に見えるもの、輝いて見えるもの、或は其中間の明る

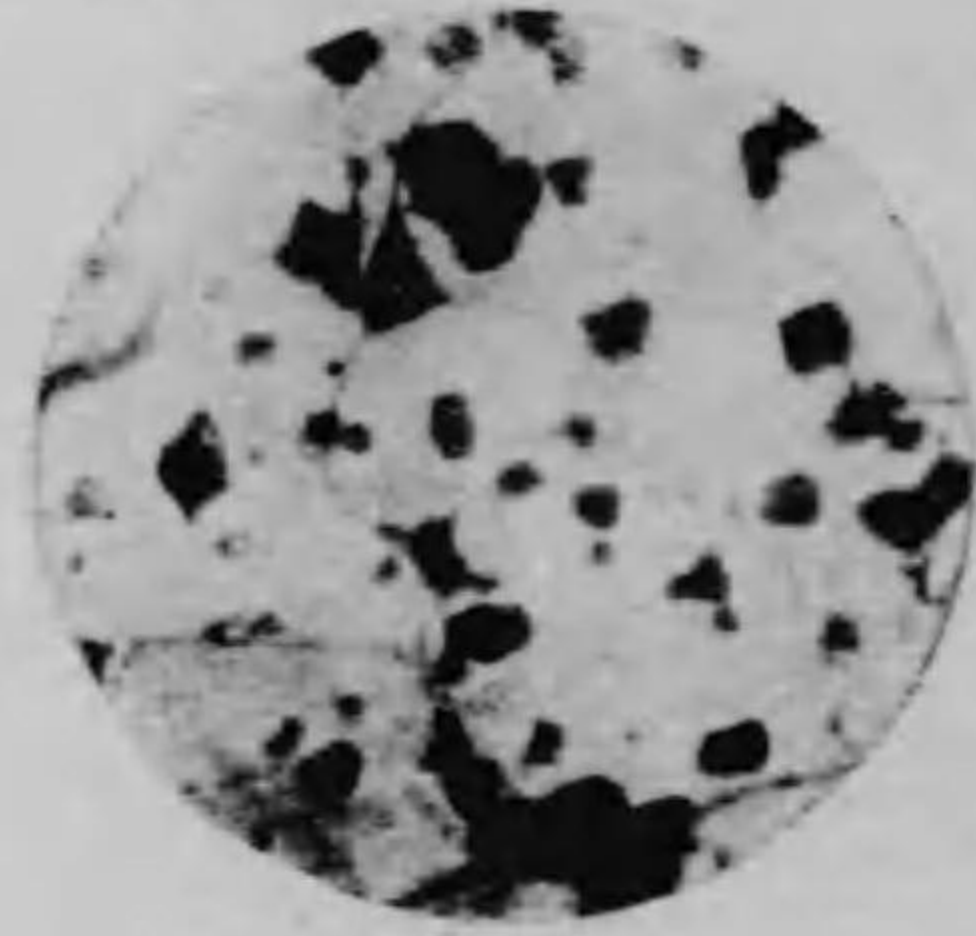
さに見えるもの等が出てくる。此事柄を前章に説明したところに照し合して考へると、各網狀物が酸に侵される度合が違ふのだ。則ち暗黒なる部分は深く侵蝕せられたもの、輝いて見えるのは極めて僅かに侵蝕せられたもので、中間のものは侵蝕の深さも中間の程度にあるものだといふことが解る。そこで今度は極めて強く侵蝕してみると、第十九圖の如く所々に深い凹所が出来る。之を侵蝕坑 Etching pit と稱へる。



第十七圖……純粹の鐵を少しく侵蝕したる場合



第十八圖……純粹の鐵を稍強く侵蝕したる場合



第十九圖……純粹の鐵を強く侵蝕したる場合

かく侵蝕の度合によつて、鐵の表面の顯微鏡に現はるる有様が變つてくることは甚だ面白い現象であつて、之をよく調べると極めて重要な事實を發見するのである。吾等は先づ此事柄を明にし、漸次説明の歩を進めて行くこととしやう。

12, 鐵の結晶

第5節に於て金屬は、凝固するときは大概不完全結晶を作るものだと言つておいたが、之を第二十圖に示す如く、金屬が凝固するときは夫々方向の異なる多くの中心に於て同時に結晶するものだと考へると、明に了解することが出来るだらうと思ふ。則ち第5節に述べたやうに微細なる結晶質が各中心に於て、夫々一定の方向に集まつてきて段々其大きさを増すために、各結晶が互に接觸して完全な外形を現はすことは出来ないて、一種の多面體となるのである。かくの如くして生じたる不完全結晶を特に結晶粒 Crystalline Grain と稱へる。だから結晶粒と言へば、『當然結晶せるものではあるが、周圍の事情に餘義なくせられて、完全な外形を現はし得ないものだ。』と言ふ意味を含める言葉だと解釋しなければならぬ。

さて、かくの如き結晶粒は、之を切斷すれば其斷面は不規則なる多邊形となつて現れることは言ふまでもある

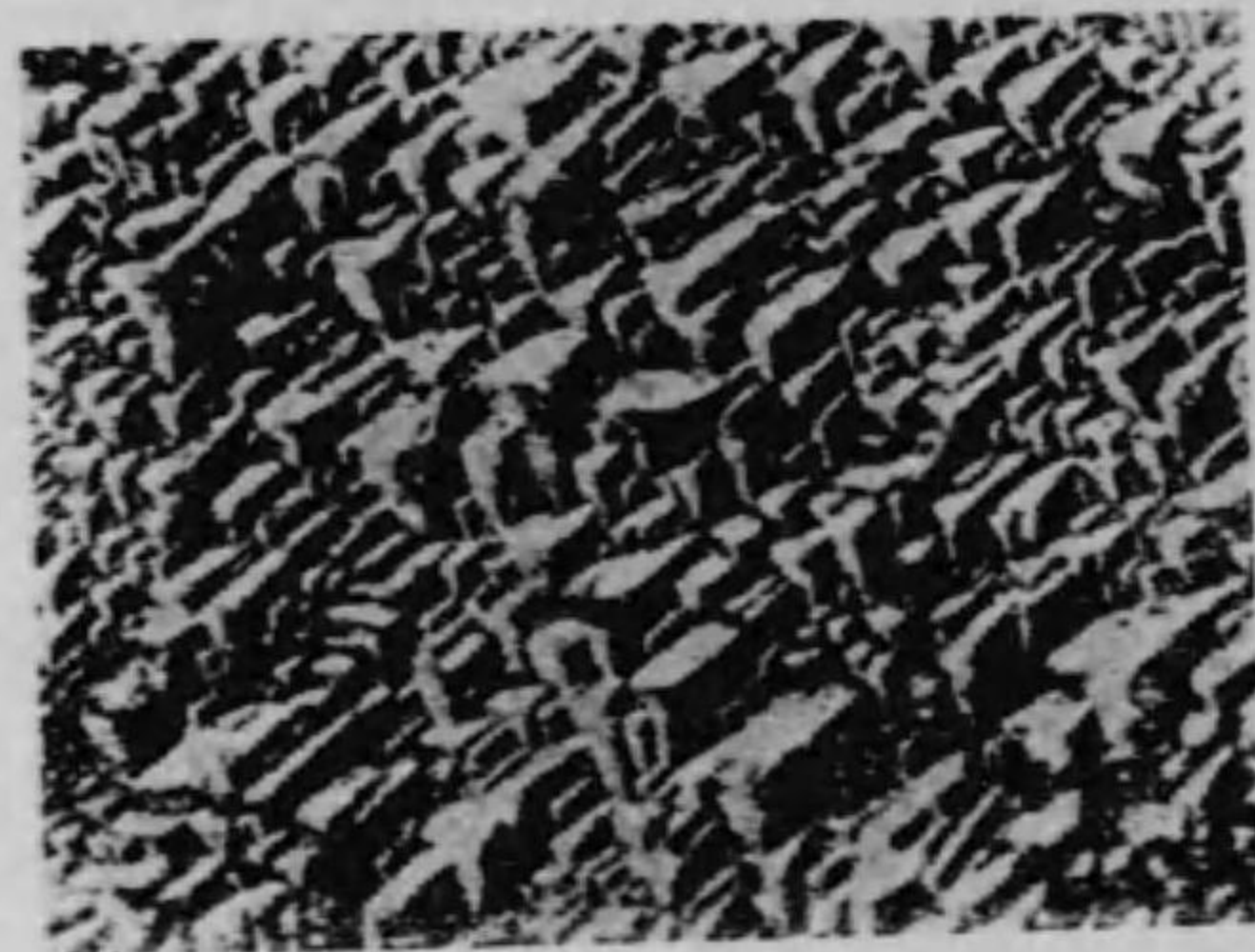
まい。又、之等の結晶粒の境目はどうしても他の部分より弱いために、酸のために侵蝕せられ易くして細き溝を作り、之を顕微鏡で見れば之等の溝は黒線となつて現はれ、一種の網目の如き形狀を現はすだらう。鐵の場合も全く同様であつて、少しく酸にかけたものは結晶粒の境目が先づ第一に侵かされて、第十七圖の如き網狀の組織を現はしたのである。



第二十圖……金屬の結晶する状態



第二十一圖……鐵の立方體結晶(210倍)

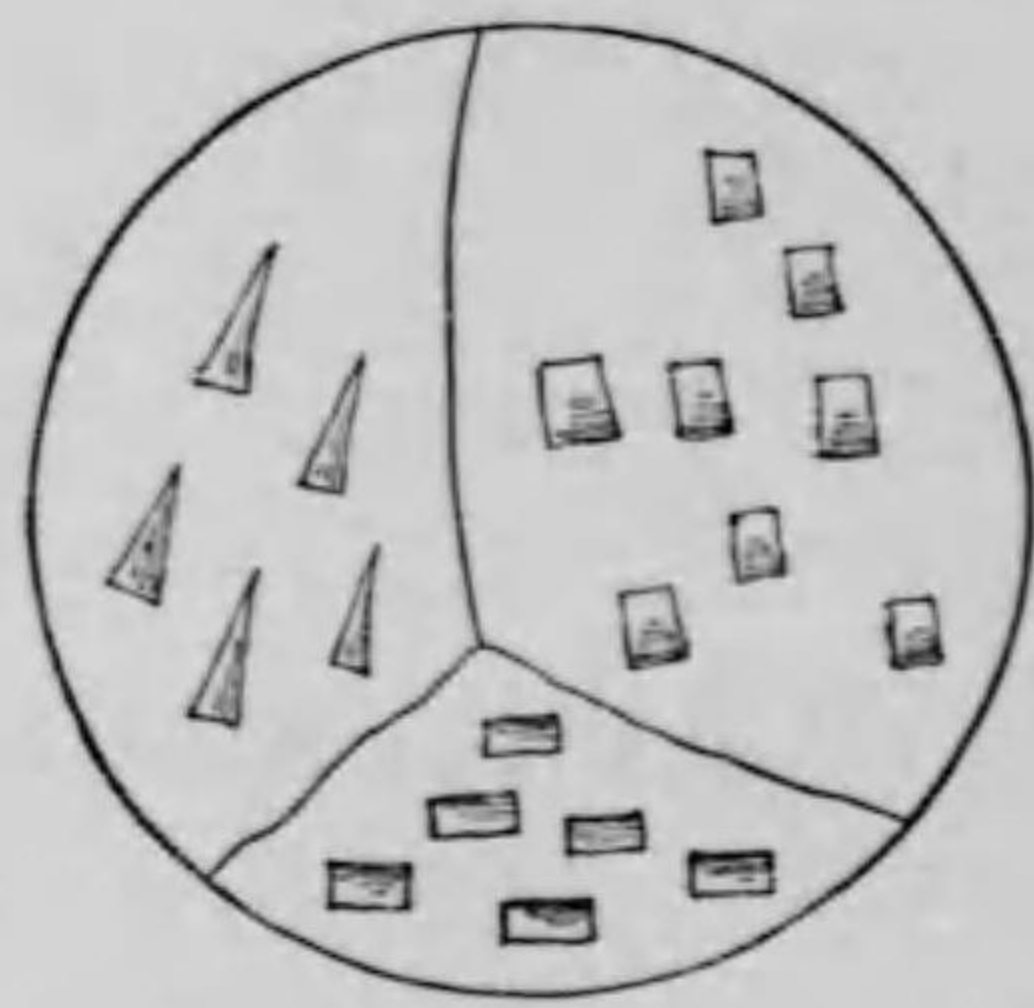


第二十二圖……一つの結晶粒に於ける小結晶の排列の模様(約100倍)

既に第5節に於て述べたやうに結晶は單純なものではなく、より小なる結晶の集合せるものだとすれば、鐵の場合にはどうなつてゐるだらうか。今度は結晶粒其物の正體を見現さねばならぬ。鐵の小結晶は立方體であるとは一般に信ぜらるるところであつて、第二十一圖は^{オスモンド}Osmondの得たものである。斯くの如き小結晶が一つの結晶粒中に於て、一定の方向に規則正しく排列せられたる有様は、第二十二圖に極めて明瞭に表されてゐる。圖は硅素 4.5「パーセント」を含有せる鐵の一つの結晶粒を取り、之を三時間硫酸で處理したものである。鐵が硅素を含めるときは、此有様を最も明瞭に現はすことが出来るのである。

かく規則正しく小結晶の排列せる結晶粒が、種々な方向を採つて集まつてゐるならば、之を一つの平面で切斷した表面に於ては、各結晶粒毎に小結晶の並べる方向が異なる筈である。従つて各結晶粒毎に酸に侵される深さを異にし、或ものは深く、或ものは淺く、或は其中間のものも出来るであらう。かやうな表面を顕微鏡にかけるときは、各結晶粒毎に光線を反射する度合を異にし、其明るさが色々違つてくる。これ稍強く侵蝕せられたものは第十八圖の如き形を現はす所以である。そこで之を一層強く侵蝕するとき、小結晶の或ものは特に酸に侵されて凹みを生ずる。之が侵蝕坑の生ずる理由である。

茲に注意すべきことは、侵蝕坑の形は正方形、長方形、三角形などあつて、一つの結晶粒ではその形相等しく、且總て同じ方向に並べることだ。此事柄はやがて鐵の小結晶は立方體であつて、且結晶粒毎に夫々一定の方向に排列せられてゐると言ふ事實を證明することになる。何故ならば、立方體は其一表面に平行に切れば正方形となり、少しく斜に切れば長方形となり、角のところを切れば三角形となるからである。則ち侵蝕坑の形及其排列によつて、小結晶が如何に排列せるかを知ることが出来るのである。第二十三圖は、此考によつて畫いたところの侵蝕坑の模範形であつて、讀者の觀念を明確ならしむるために茲に出しておいたのである。



第二十三圖……腐蝕坑の模範形



第二十四圖……鐵の結晶

以上述べたところを概括すると、純粹の鐵は立方體の小結晶が規則正しく排列せられて成れる結晶粒の集合せるものであつて、小結晶の排列せる方向は、各結晶粒毎に異なつてゐるのである。一般に金屬は立方體又は夫れと同系統なる八面體の結晶の集合せるものである。第二十四圖はかゝる八面體から成れる鐵の結晶の自然形を示したものである。圖は Tschernoff が大きな銅塊（インゴット）の空洞中から取り出したもので、實物は長さ約15吋あつたと言ふことだ。かやうな鐵の完全結晶は容易に得らるるものではなく、稀に鑄物の空洞中に發見せられるのみである。私が嘗て八幡製鐵所で實見したものは、直徑約5吋位の丸棒の内部が空洞となつた中に出來たもので、穴の中心に向つて小さな結晶が澤山出來てゐた。何のことはない、正に大小無數の塔が亂立せるが如き光景であつた。此一片は儘か俵博士が持ち歸られたといふことだ。

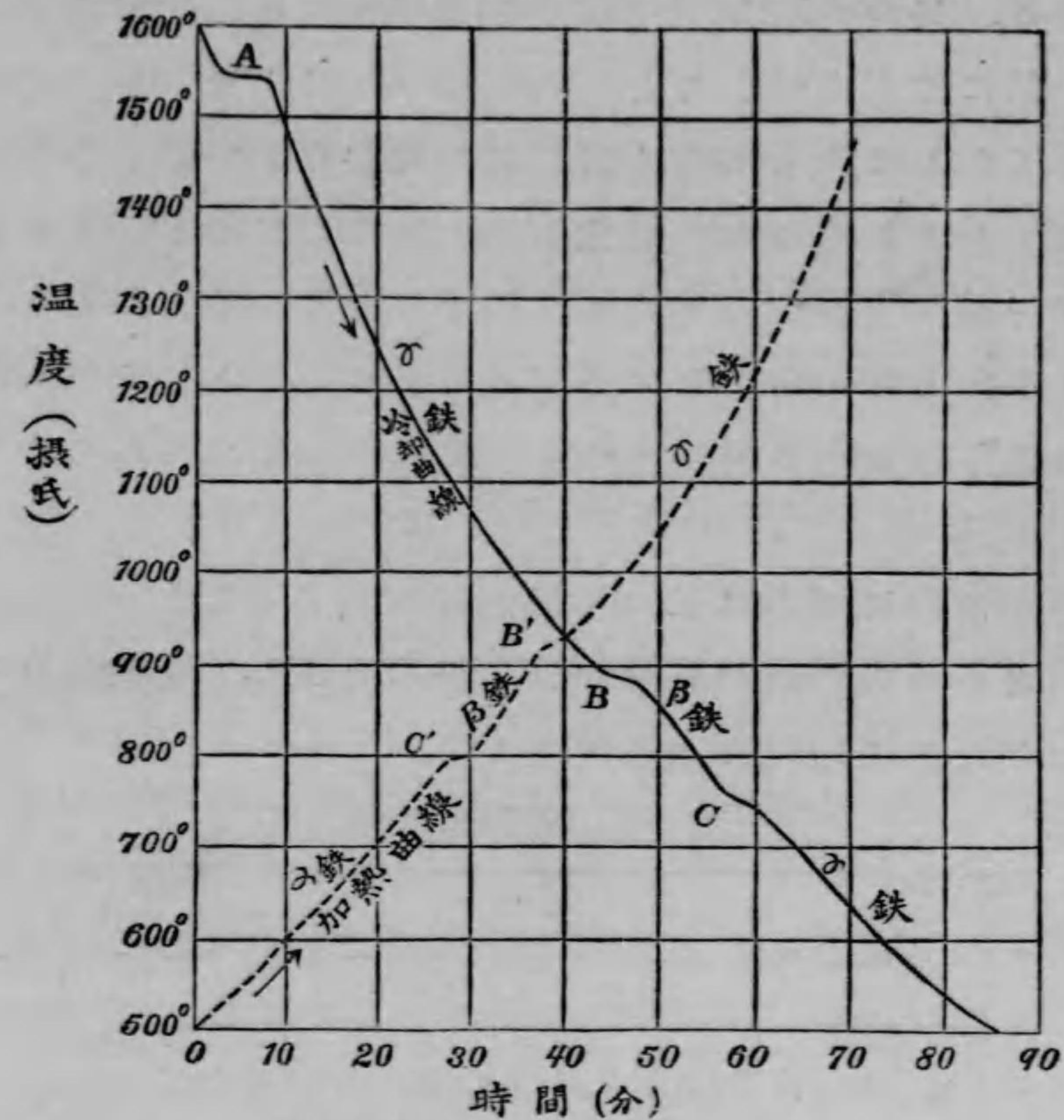
13, 鐵の同素體

熔融せる純粹の鐵を徐々に冷却するときは、冷却曲線は第二十五圖に實線で示すやうな形になる。A 點は純粹の鐵の凝固點であつて、凝固中溫度が一定して降下しないことは、純粹の水の場合などと同様である。一般に化

化合物たると単體たるとを問はず。純粹な物質は夫々固有の凝固點を有するものである。既に凝固し終れる鐵は徐々に冷却せらるるときは、冷却の法則に従ふものであるが圖に於てB及C點で示す如く、約875度及750度附近に於て、一時溫度の降下が停止し、之等の溫度を境目として鐵の性質が著しく變化するのである。既に第8節に述べたやうに、かかる場合には物體内部から熱を發生するのである。今物體内部から熱を發生する場合を調べて見ると、次の三つの場合に分けることが出来る。

- (1) 氣體の液化及液體の凝固する場合。
- (2) 一般に化合物を作る場合。
- (3) 同素體の變化する場合。

今之を鐵の場合に就いてみるに、既に凝固した後の話であるから無論(1)の場合ではない。又之等の溫度に於て化合物も生じないので、結局同素體の變化が起るのだといふことが解る。されば純粹の鐵は875度及750度を境目として、三つの同素體を作るのであつて、875度以上の溫度に於けるものを γ 鐵、^{ガンマ-アイアン}875度と750度との間のもの^{ベータ-アイアン}を β 鐵、750度以下のものを α 鐵^{アルファ-アイアン}と稱へる。かゝる同素體の變化する溫度を^{トランスフォームポイント}變態點と稱へることは既に述べておいたが、鐵の變態點には特に記號を付けて、875度のものを Ar_3 、750度のものを Ar_2 とするのである。



第二十五圖……純粹の鐵の加熱及冷却曲線

さて、既に冷却せる α 鐵を徐々に熱するとき、圖に點線で示したやうな曲線が出来る。B'及C'は此場合に於ける變態點であつて、C'點に於て α 鐵は β 鐵に變化し、更にB'點に於て γ 鐵に變化するのである。さればB'及C'點は、冷却の際に起るB及C點の逆の現象を表はすもの

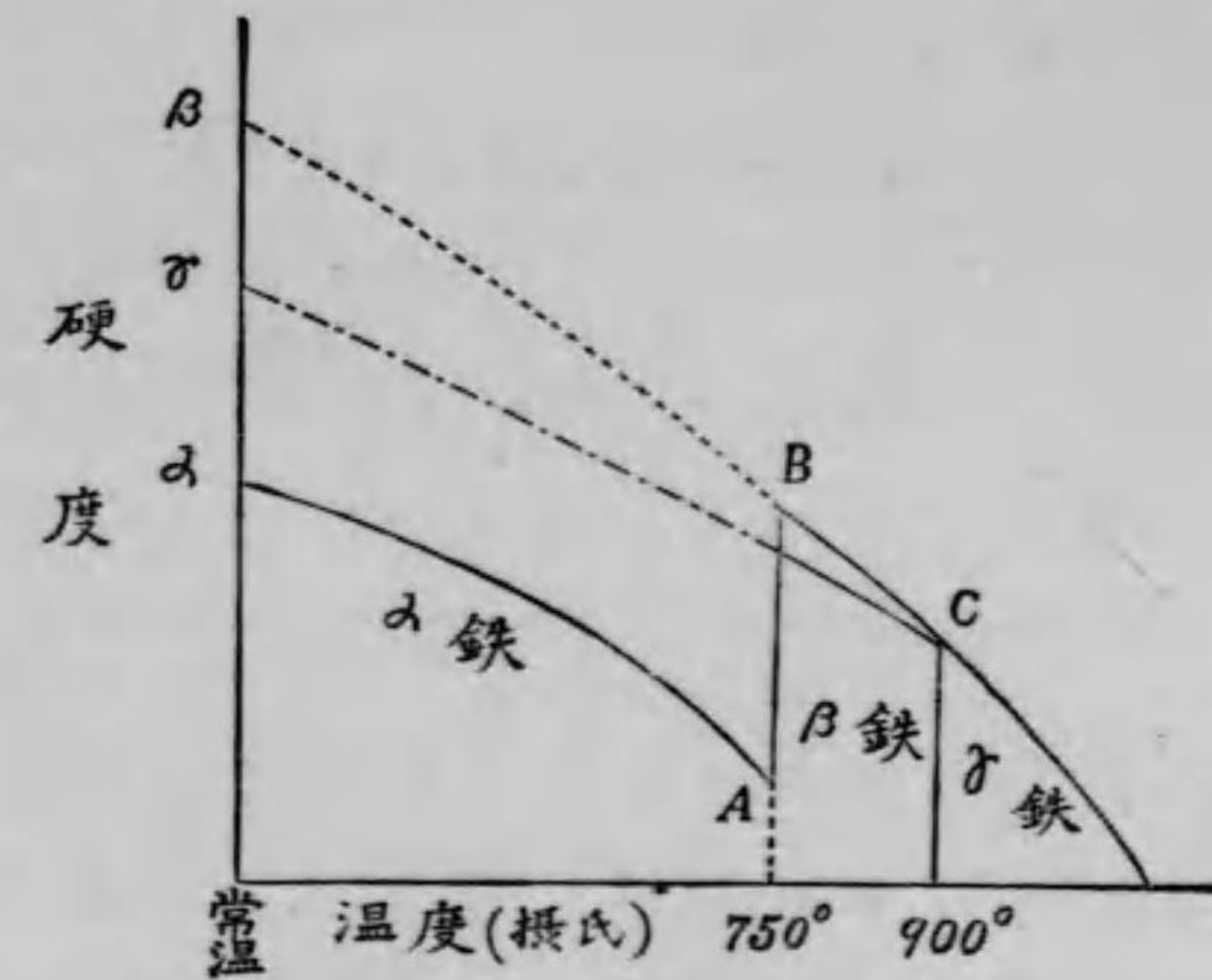
である。便宜上B' 點は Ae_3 , C' 點は Ae_2 なる記號で表される。茲に注意すべきことは、 Ae_3 及 Ae_2 は夫々 Ar_3 及 Ar_2 の逆であるに拘らず全く同じ温度で起らないで、通常圖に示す如く加熱の際の變態點は、冷却の際のものよりも25度乃至50度高いのである。かくの如きは物理學上「ヒステリシス」Hysterisis と稱する現象であつて、解り易く言へば、同温度で起るべき筈のものが少し後れて起つたのである。

吾々は既に鐵には三つの同素體の存することを知つたが、之等のものの性質は如何に相違せるか、今簡單ならしむるために比較表を擧げておく。

第一表...鐵の同素體の性質比較

	γ 鐵	β 鐵	α 鐵
安定なる温度の範圍	875度以上	875度と750度との間	750度以下
結晶形	八面體	立方體	立方體
比重	三者中最大	中位	三者中最小
電気抵抗	常温に於て α 鐵より10倍大	γ 鐵より小にして温度降るにつれて減ず	β 鐵より小にして温度降るにつれて減ず
磁性	なし	微弱	強し
硬度	β 鐵より軟かく α 鐵より硬し	非常に硬し	三者中最も軟し
炭素を溶解する性質	約2.0「パーセント」まで炭素を溶解す	弱し	なし

Rosenhain は純粹の鐵の硬度と温度との關係に就いて、第二十六圖に示すやうな曲線と與へてゐる。則ち α 鐵は常温より温度昇るにつれて硬度を減じ、750度に於て β 鐵となつて急に硬度を増し、夫より温度が昇るにつれて又硬度を減ずるのである。もしも γ 鐵及 β 鐵等を常温まで保存することが出来たならば(そのためには急冷する必要がある。之に就いては第六章で詳しく説明する)、 γ 鐵は鑽線、 β 鐵は點線で示すやうに變化し、常温に於ては α 鐵は最も軟かく、 β 鐵は最も硬く、 γ 鐵は其中間に位する。則ち第一表に示したやうになるのである。



第二十六圖...純粹の鐵の温度と硬度との關係

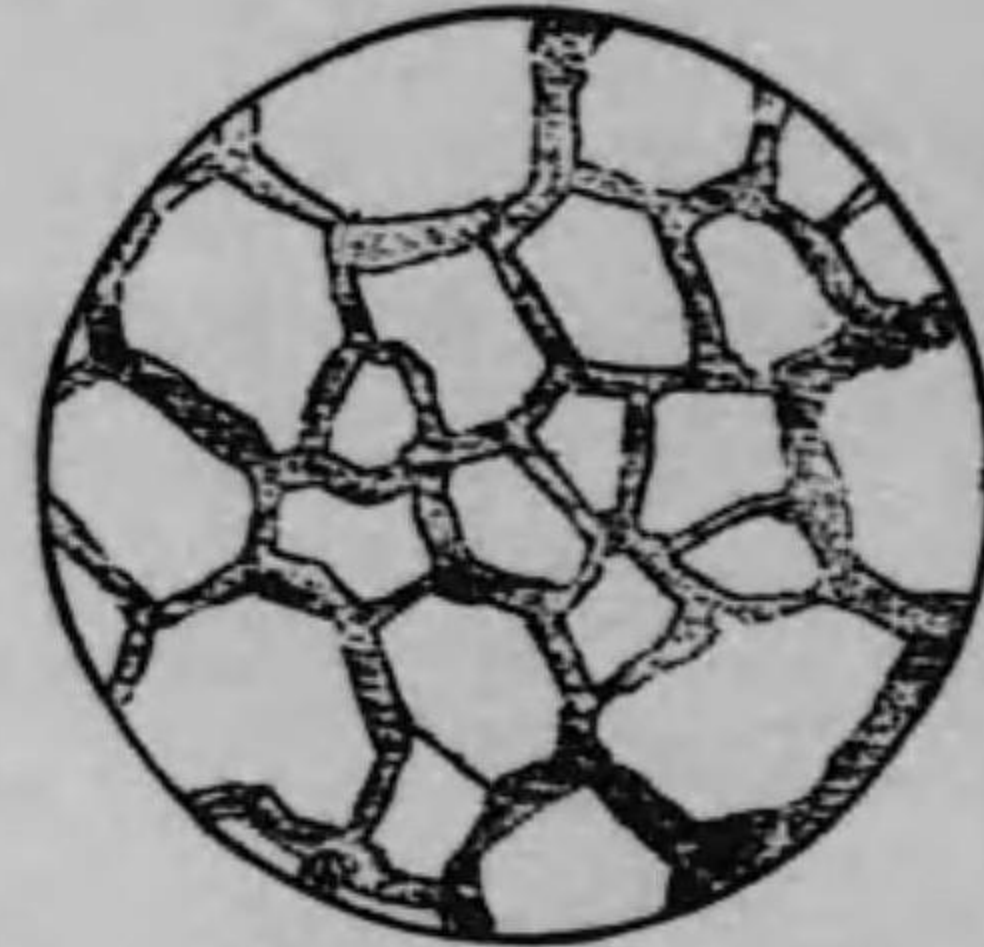
14, 不純物 Impurity

或金屬が他の金屬,非金屬,又は或化合物の少量を含有す

るときは、之等の含有物を一般に不純物と稱へる。金の如き粘い金屬でも、之に僅かに0.2^{パーセント}の蒼鉛を加へると甚しく脆くなるやうに、不純物の量はよし少くとも、金屬の物理的性質を著しく變化することがある。かく不純物が金屬の性質に及ぼす影響の大なる所以を了解せんとするには、金屬と不純物とが如何なる有様に結合して存在せるかを明にしなければならぬ。



第二十七圖……不純物が固溶體を作る場合。——磷を含有せる鐵 (25倍)



第二十八圖……不純物がユークテイツクを作る場合——0.2%の鉛を含有せる金 (110倍)

不純物と金屬との關係は極めて複雑であつて、さう容易く説明しつくされるものではないが、今は一般的の概念を得るために極めて簡単に要點だけを摘んで説明しておかう。すべて不純物は、(1)其金屬の一部と化合するもの、(2)化合せざるものとの二つに大別することが出来る。次に其金屬と化合せるものと否らざるものとに拘らず、

之等は(1)其金屬に固溶するものと、(2)否らざるものとに分たれる。そして固溶せざる不純物は、其金屬の一部と結合して「ユークテイツク」を作るのである。

不純物が固溶體を作るときは、純粹の金屬の結晶粒が固溶體の結晶粒で置換へられるだけで、其性質にさしたる變化を與へないのが普通である。しかし時としては結晶粒の大きさを増すこともある。かかる場合には大抵は金屬の靱性を減じ、之を脆くするのである。第二十七圖は鐵が磷を含有する場合であつて、磷は鐵の一部と化合して Fe_3P なる化合物を作り、残りの鐵中に固溶してゐるのであるが、其結晶粒の有様が別段純粹の鐵の場合と變りなきを認め得るであらう。

不純物が「ユークテイツク」を作る場合には、此ものは金屬の結晶粒から排斥せられて、第二十八圖に示す如く結晶粒の間に薄い膜を作るのである。かやうな組織になると此「ユークテイツク」の性質如何は、金屬の性質に大なる影響を及すことは誰しも氣付き得ることと思ふ。例へば、此「ユークテイツク」の膜が熔融し易いものならば、之を熱するとき金屬がまだ融解しないやうな溫度に於ても、此部分が先づ熔かざるために金屬は高溫度に於て鍛錬することが出来ないて、錘撃するとばらばらになるやうなこともあるだらう。かかる性質を熱脆性 Red Short と稱へ

る。もし又、「ユークテック」の部分が常温に於ても脆いものならば、金属は著しく脆くなるであらう。一般に此場合には、金属の粘靱性、可鍛性、電導性を減じ、脆性、硬度、熔融性を増すものである。

鐵及鋼は、炭素、硅素、「マンガ」^ン、磷、硫黄等の不純物を含有せるものであつて、そのうち炭素、硅素、磷、硫黄などは鐵と化合物を作り、「マンガ」は他の不純物なる炭素、硫黄などと化合し易いものである。そして之等のものの中には、固溶體を作るものもあれば、「ユークテック」を作るものもある。かゝる不純物を含有する多少と處理法^{トリートメント}の如何によつて、鐵の性質は色々に變化するものである。之等の事柄は、本書に於て説明すべき主要なる題目で、之から追々説明してゆくのである。現今鐵の中に「ヴァナディウム」、「チタニウム」、「タングステン」などと、多くの稀金属^{レア・メタル}を加へて其性質を改良するに努めてゐる。之等は工業上誠に必要なことであるから、本書でも出来るだけ詳しく説明する積りである。

15, 處理法と金属の性質との關係

金属の處理法は之を大別すると、加熱處理^{ヒート・トリートメント}と機械的處

理との二つになる。

加熱處理とは、金属を加熱又は冷却することであつて、之によつて其性質が變化するものだ。一般に金属は、冷却の度合が緩慢なるほど、加熱の温度の高いほど、高温度に曝す時間の長いほど其結晶粒の大きさを増すものである。鐵の場合には同素體の變化もあり、不純物の影響もあるので、加熱處理によつて著しく其性質を變化することは、純の燒入、或は可鍛鑄物の軟化などに於て其適例を見出すことが出来る。之等も後に詳説すべき事柄である。

次に機械的處理とは、「ロール」、「プレス」、鍛などによつて壓延鍛打などすること、かやうな場合には、大なる結晶粒の生ずるを防ぎ、多くは組織を緻密にするものだ。一般に結晶粒の小なるものは、靱性に富み且強度の大なるものである。

第三章 炭素鋼及鍊鐵 の組織

16, 本章説明の範圍。

鐵鑛を熔解して得たる鐵は、**銑鐵** Pig Iron と稱へて炭素其他の不純物を多量に含有せるものである。銑鐵を熔解して不純物の大部分を驅除したものは所謂**鋼** Steel 也。銑鐵を半熔融狀に於て鍛鍊して不純物の大部分を除去し、之を「ロール」にかけて棒や板にしたのが**鍊鐵** Wrought Iron だ。従つて鍊鐵は、作業中に生じた**熔滓** Slag を含有し、鋼は之れを含有しないものである。

炭素含有量 0.05「パーセント」以上の鐵は、之を熱して急激に冷却すると著しく硬度を増するものであるが、之以下の炭素を含有するものでは此性質がない。鋼も鍊鐵も不純物を含有することの少ない點は同様であるが、急冷によつて硬化する性質の有無によつて兩者を區別し、炭素含有量 0.05 乃至 1.5「パーセント」のものを鋼と稱へ、0.05「パーセント」以下の炭素を含有するものを鍊鐵と稱するのが普通の分類法である。

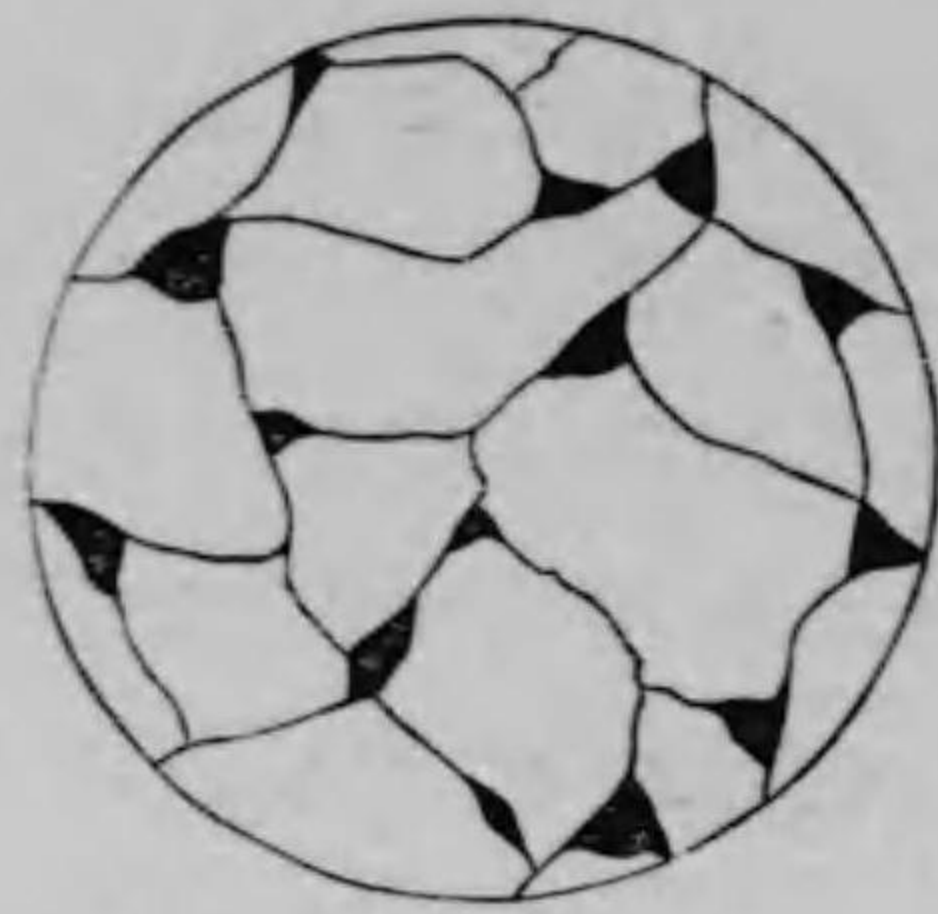
本章では鋼は單に鐵と炭素との一種の合金であつて他の不純物を全く含有せざるものと假定し、鐵と炭素とが

如何なる有様に結合せるかを研究するのである。そして鋼は鍛鍊せられたる後約 900 度乃至 1000 度の高温度から徐々に冷却せられたものとして説明する。蓋し、かかる處理法を受けた鋼の組織は、常温に於て最も安定な状態にあるもので、其組織の基本となるからである。吾々は先づ本章に於て基本たるべき鋼の組織を了解し、進んで夫れが不純物なり處理法によつて如何なる影響を受けるかと言ふことを研究するのが、最も正當なる順序であらうと思ふ。

17, 炭素含有量少なき鋼の組織

第二十九圖に示す如く炭素含有量極めて少ない鋼の組織は、第十七圖に示したところの純粹の鐵の組織と同様不規則なる多面體の結晶粒が集合せるものである。唯いささか異なる點は、網目の間に所々小さな暗黒な面が現はれたことだ。之を第三十圖の如く炭素含有量少しく増加せるものに就いて見るも、其組織にさしたる變動を認めない。しかし、茲に充分注意しなければならぬことは、炭素含有量が増加したために、網目の間に現はれる暗黒部が大きくなつたことである。然らば此暗黒部は何てあ

るか。結晶粒は如何なるものから成立つのであるか。研究すべく興味ある問題ではないか。



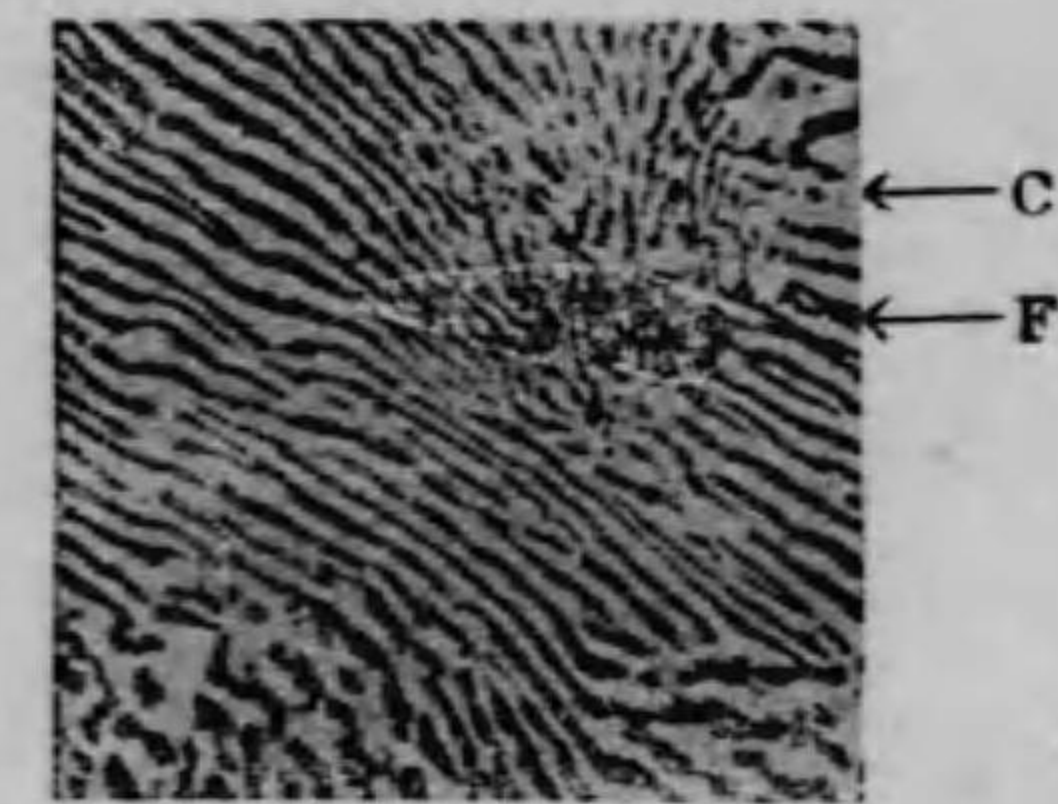
第二十九圖……炭素0.08%を含有せる鋼



第三十圖……炭素0.2%を含有せる鋼(160倍)

吾々が今研究せる鋼は、高温度から徐々に冷却せられたものであるから、鐵は α 鐵になつてゐて炭素を溶解する性質がない。殊に第二十九、三十兩圖に示したものは、炭素を含むことが極めて少ないのであるから、圖に白く現はれた部分は純粹の鐵に相違ない。かやうな純粹の鐵より成れる顯微鏡的組成物を「フェライト」Ferrite と稱へる。されば炭素は暗黒部に含まれてゐるものと解釋しなければならぬ。炭素が増せば暗黒部も大きくなるといふ事實は、此解釋の正しきことを示してゐる。學者の研究せるところによるに、炭素は鐵に含まるゝときは單に炭素として存在するものではなく、其一原子が鐵の三原子と化合して Fe_3C なる化合物を作つてゐるのだ。之を「セメンタ

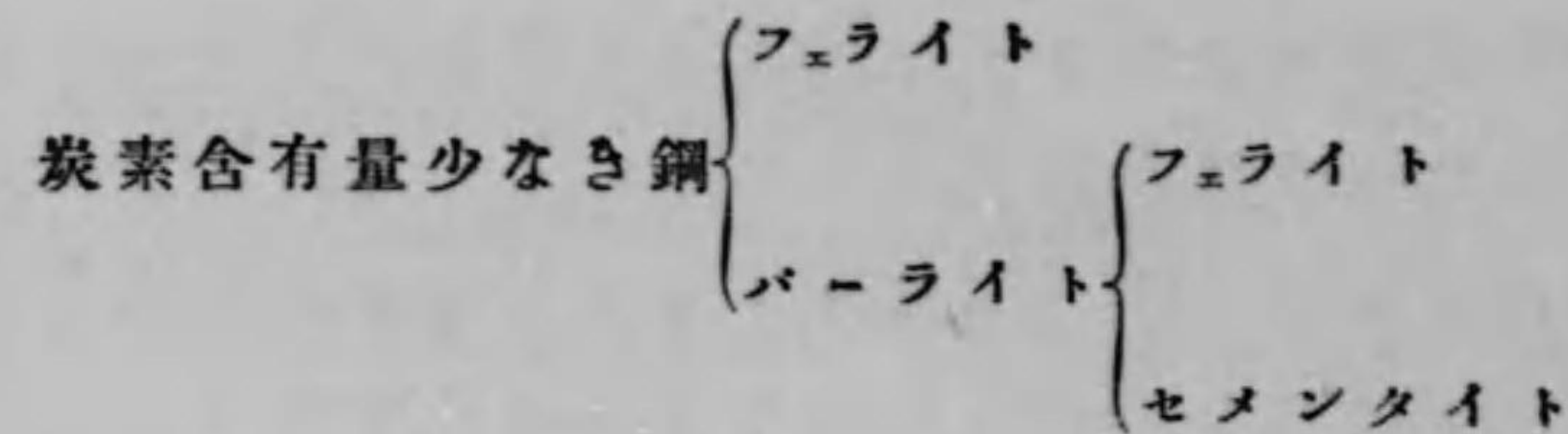
イト」Cementite と稱へる。則ち炭素は「セメンタイト」となつて「フェライト」の結晶粒の間に介在してゐるのである。然らば此暗黒部は「セメンタイト」ばかりで成立つものか。どうか。此點を一層深く探究するために、此部分を特別に擴大して見ると第三十一圖に示すやうになる。則ちCの如き白色部と、Fの如き暗黒部との薄層が交互に積み重つたものだ。之をよく調べてみると、Cの白色部は「セメンタイト」で、Fの暗黒部は「フェライト」である。かく「セメンタイト」と「フェライト」の薄層が積み重つて出來た組成物を「パーライト」Pearlite. と稱へる。



第三十一圖……パーライト(680倍)

以上説くところによつて、炭素が鋼のなかに入るときは、炭素は鐵の一部と化合して「セメンタイト」を作り、此「セメンタイト」は「フェライト」と共に「パーライト」を作つて、「フェライト」の結晶粒の間に介在させることが解つたであらう。今此種の鋼の組織を表にあらはしてみると次のやうにな

る。



之によつてみれば、「フェライト」は「パーライト」の外にあるものと、「パーライト」の中に含まれるものとの二種あることが解る。之を區別するために、前者を「フリー・フェライト」Free Ferrite、後者を「パーライト・フェライト」Pearlite Ferrite と稱へる。

18, 「セメンタイト」及「パーライト」

「セメンタイト」は鐵と炭素との化合物だといふことは既に述べておいたが、その中には幾許の炭素を含有してゐるかと言ふことは、次の如くして解決することが出来る。「セメンタイト」は鐵三原子と炭素一原子との化合物であつて、原子量は鐵は56、炭素は12であるから、鐵 56×3 と炭素 12×1 との割合になつてゐる。よつて、

$$\frac{12}{(56 \times 3) + 12} \times 100 = 6.67\%$$

則ち「セメンタイト」は6.67「パーセント」の炭素を含有してゐるのである。そして、

$$\frac{100}{6.67} = 15$$

則ち炭素1を以てすれば15倍の重さの「セメンタイト」が出来る勘定である。

Howeの言ふところによると、「セメンタイト」は硝子よりも堅硬なもので、ほぼ同様の脆さのものである。かゝる性質の「セメンタイト」が比較的軟かな「フェライト」と共に「パーライト」を作るのであるから、之を酸で處理すれば「フェライト」の部分が深く侵蝕せられるわけである。されば之を顯微鏡にかけると、第三十一圖の如く「フェライト」の部分は暗黒に、「セメンタイト」の部分は白く輝いて見えるわけである。此「パーライト」の組織を第十六圖の「ユークティック」と比較するに、兩者共に二種の組成物が薄層となつて交互に積重れるもので、非常によく似てゐる。しかし、「ユークティック」は第五章に説明する如く凝固の際生ずるものであり、「パーライト」は第四章で述ぶる如く凝固點よりも遙に低い温度で出来るもので、全く違つたものであるから混同しないやうにして貰ひたい。

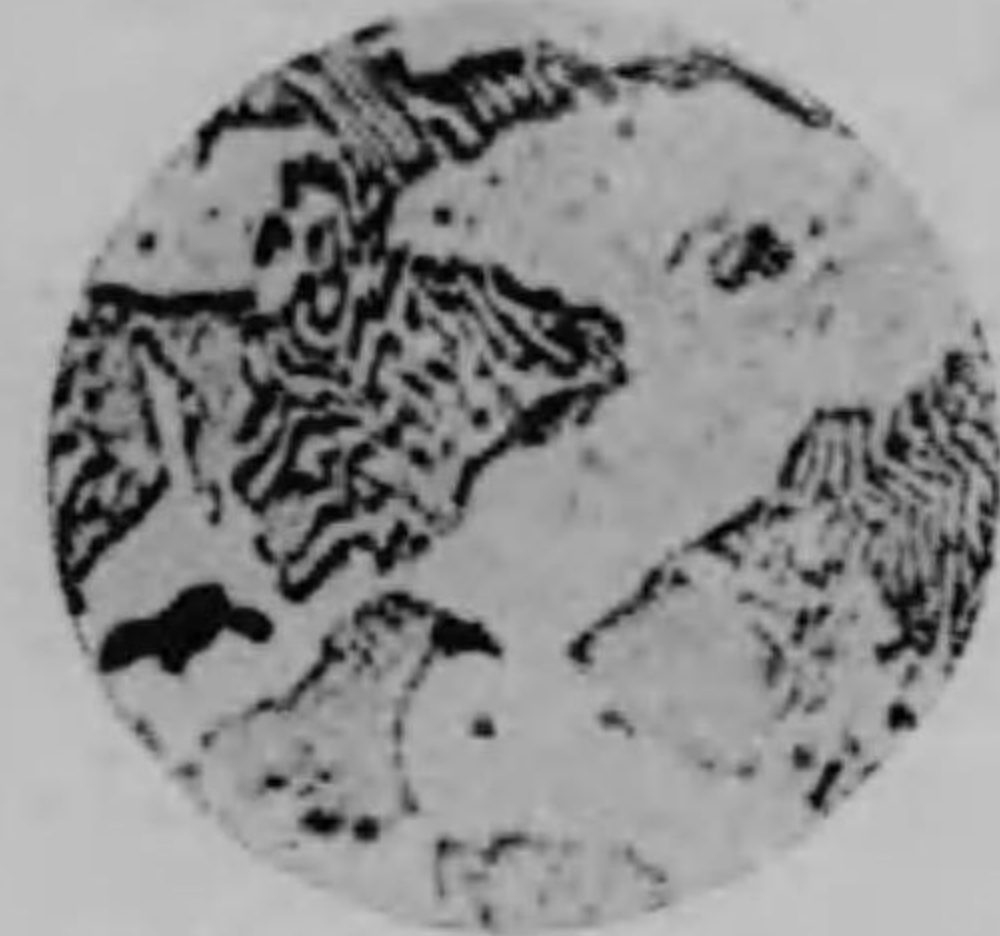
「パーライト」を作れる薄層は極めて薄いもので、厚さ $\frac{1}{25000}$ 吋を超ゆることは稀だといふことである。されば顕微鏡の倍率が小さなきは、單に純齊な組織としか見えない。薄層を現はすためには、どうしても250倍乃至300倍以上に擴大しなければならぬ。かく精微な組織を有する「パーライト」は、無暗矢鱈に生ずるものではなく、すぐ後に説明する如く一定の組成を有し、且第四章で説明するやうに常に一定の温度に於て生ずるなどは、所謂造化の妙なるもので、ここらが自然研究の趣味ある所以てはあるまいか。

19, 炭素含有量と鋼の組織との關係

炭素含有量増すときは、「パーライト」の部分も亦從つて増大することは既に前々節にて述べておいたが、第三十二圖を第二十九、三十兩圖に比較すれば、此事柄を一層明にすることが出来る。そして圖に於て暗黒部は「パーライト」であつて、白色部は「フェライト」なることは、第三十三圖の如く非常に擴大して見ればよく解る。圖に於て「パーライト」の薄層狀をなせる有様が明に認めることが出来るだらう。

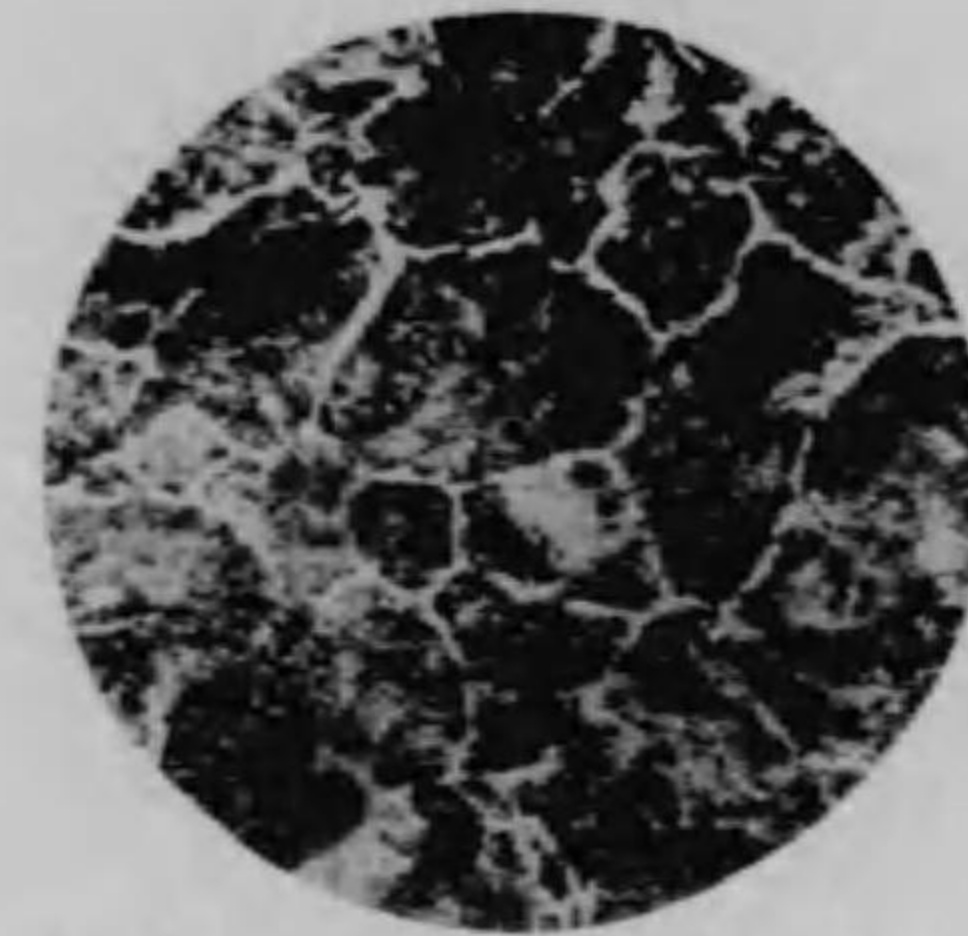


第三十二圖……炭素0.38%を含有せる鋼



第三十三圖……炭素0.45%を含有せる鋼(860倍)

上に述ぶる如く炭素含有量が増すにつれて、「パーライト」の部分が増大するものとすれば、遂には「パーライト」が非常に多く、之に比して「フリー、フェライト」が僅かになる場合がある。かやうな場合には、「パーライト」の結晶粒の間に「フリー、フェライト」が挟まれて網目を作るやうになる。第三十四圖に於て白色の網目を作れる部分は「フリー、フェライト」である。



第三十四圖……炭素0.5%を含有せる鋼(約85倍)



第三十五圖……ユークトイド鋼(750倍)

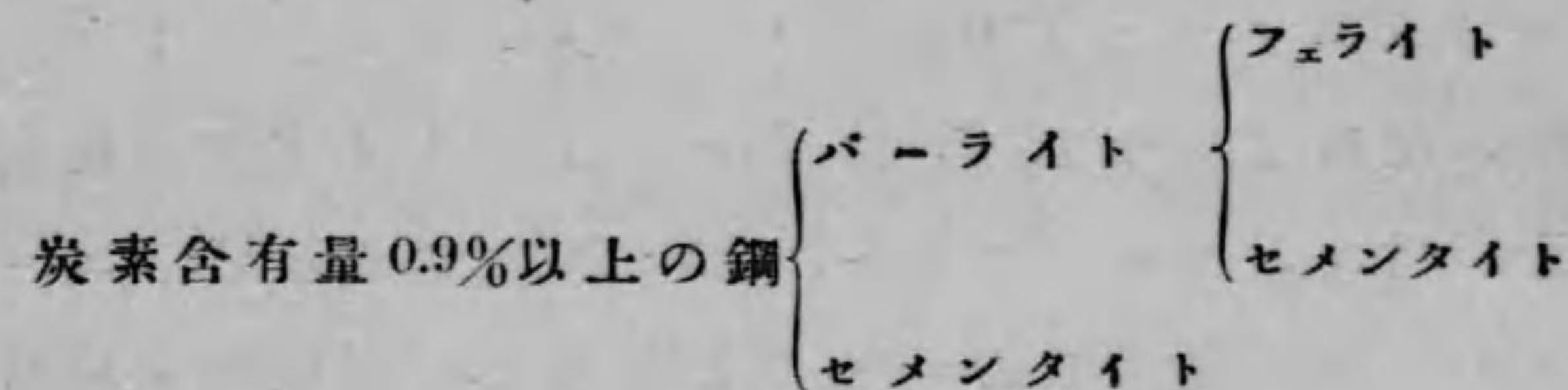


第三十六圖……炭素1.43%を含有
せる鋼(300倍)

かやうにしておし進んで行つたならば、いつか鋼は「パーライト」ばかりで成立つ場合がある筈だ。第三十五圖はかかる場合の鋼の組織を示すもので、全部「パーライト」の結晶粒ばかりで成立つてゐる。此種の鋼を「ユーテクトイド鋼 Eutectoid Steel」と稱へ、炭素含有量約 0.9「パーセント」のとき生ずるものである。

然らば炭素 0.9「パーセント」以上のものはどうかと言ふに、第三十六圖に示す如く、「パーライト」の結晶粒に排斥せられて網目を作るものが新たに出来るのである。此網目の部分は「フェライト」でないことは明である。さらば果して何物であらう。今まで説明したところによれば、炭素は鋼の中に入れば「セメンタイト」を作り、其「セメンタイト」は「フェライト」と合して「パーライト」を作るのであつて、炭素が増せば「セメンタイト」を増加し、従つて又「パーライト」を

増し、反對に「フリー、フェライト」を減じて遂に「パーライト」ばかりの鋼となつたのだ。夫故之以上に炭素を増せば、「セメンタイト」は「フェライト」と共に「パーライト」を作る割合以上に増加して餘分のものが出る筈である。此餘分の「セメンタイト」は「パーライト」の結晶粒のために排斥せられて網目の部分となつたものと考えざる外はありまい。そこで此種の鋼の組織を表示すれば次のやうになる。



之によると、「セメンタイト」は「パーライト」の外にあるものと、「パーライト」の中に含まれるものとある。之を區別するために、前者を「フリー、セメンタイト」Free Cementite、後者を「パーライト、セメンタイト」Pearlite Cementite と稱へる。かく「パーライト」と「フリー、セメンタイト」とより成る鋼を「ハイパー、ユーテクトイド鋼 Hyper-Eutectoid Steel」と稱へる。之に對して炭素含有量 0.9「パーセント」以下のもの、則ち「パーライト」と「フリー、フェライト」より成る鋼を「ハイポユーテクトイド鋼 Hypo-Eutectoid Steel」と名ける。

20, 「ユーテクトイド鋼の組成

前節に於て鋼が「パーライト」ばかりで成立つ場合、則ち「ユーテクトイド鋼は約 0.9「パーセント」の炭素を含有するときに出来るものだと言つておいた。何故に『約 0.9 パーセント』といふやうな漠然たる言葉を用ゐたかと言ふに、之には多少の理由がある。そもそも「ユーテクトイド鋼は、「ハイポ、ユーテクトイド鋼から「ハイパー、ユーテクトイド鋼に移る境目であつて、「ハイポ、ユーテクトイド鋼の炭素含有量が増すにつれて「フリー、フェライト」の量を減じ、「ユーテクトイド鋼に近き成分のものとなれば、顕微鏡を以てするも極めて僅かに存せる「フリー、フェライト」を明に指摘し難くなるだらう。次に「ハイパー、ユーテクトイド鋼の炭素含有量を減じてゆくと、「フリー、セメンタイト」の量を減じて段々「ユーテクトイド鋼に近いものとなり「フリー、セメンタイト」の存在を明に指摘し難くなる。されば炭素含有量幾許のとき、「フリー、フェライト」も、「フリー、セメンタイト」も全く存在しないで、「パーライト」ばかりになるかと言ふ事は、明確に断定し難いわけである。實際炭素含有量 0.8「パーセント」乃至 1.0「パーセント」の鋼は、殆ど全く「パーライト」ばかりのやうに見えるものだ。そこで吾々は先づ 0.9「パ

ーセント」を以て「ユーテクトイド鋼の生ずるときだと思ふのである。此數に就いては學者によつて多少其見解を異にし、Sauveur の如きは 0.85 なる數を採用してゐるが、先づ 0.9 を採る方が多いやうだから本書では之に従ふこととしたのである。

さて「ユーテクトイド鋼の炭素含有量を 0.9「パーセント」と假定するときは、炭素は鐵と化合して 15 倍の「セメンタイト」を作るのだから、

$$0.9 \times 15 = 13.5$$

則ち「ユーテクトイド鋼は、13.5「パーセント」の「セメンタイト」を含有してゐる。従つて「フェライト」の量は、

$$100 - 13.5 = 86.5 \text{ 「パーセント」}$$

となるのである。そこで、

$$13.5 : 86.5 = 1 : 6.4$$

則ち「セメンタイト」1.0 と「フェライト」6.4 とが合して、7.4 の「ユーテクトイド鋼を作るのだ。然るに「ユーテクトイド鋼は全部「パーライト」ばかりだから、「ユーテクトイド鋼の組成は、やがて「パーライト」の組成を表はすことになるのである。よつて之を表示すれば、

ユーテクトイド鋼	{	セメンタイト	13.5%
(パーライト)	{	フェライト	86.5%

若し「セメンタイト」を C_m 、「フェライト」を F で表はすならば、次のやうに書くことも出来る。

$$\text{ユ-テクトイド鋼 (パーライト)} \quad 7.4 = C_m 1 + F 6.4$$

21, 炭素鋼の組織の三形式

上に述べたやうに「ユ-テクトイド鋼」則ち「パーライト」は一定の組成を有するものとするれば、炭素が 0.9「パーセント」以下の場合には、生ずる「セメンタイト」の量は 13.5「パーセント」よりも少なく、従つて「フェライト」は 86.5「パーセント」より多いのだから、両者が結合して「パーライト」を作つても、なほ餘分の「フェライト」が存在するであらう。次に炭素が 0.9「パーセント」以上の場合には、「セメンタイト」は 13.5「パーセント」以上となり、従つて「フェライト」は 86.5「パーセント」より少なくなるのだから、「パーライト」を作る以外に餘分の「セメンタイト」が生ずるわけだ。前者は「ハイポ、ユ-テクトイド鋼」の場合であつて、餘分の「フェライト」は「フリー、フェライト」となる。後者は「ハイパー、ユ-テクトイド鋼」の場合で、餘分の「セメンタイト」は「フリー、セメンタイト」となるのである。よつて炭素鋼を三形式に分けると次のやうになる。

$$\begin{array}{l} \text{炭素含有量0.9\%以下の場合} \\ \text{(ハイポ、ユ-テクトイド鋼)} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{フリー、フェライト} \\ \text{パーライト} \left\{ \begin{array}{l} \text{フェライト} \\ \text{セメンタイト} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} \text{炭素含有量0.9\%の場合} \\ \text{(ユ-テクトイド鋼)} \end{array} \dots\dots\dots \text{パーライト} \left\{ \begin{array}{l} \text{フェライト} \\ \text{セメンタイト} \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} \text{炭素含有量0.9\%以上の場合} \\ \text{(ハイパー、ユ-テクトイド鋼)} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{フリー、セメンタイト} \\ \text{パーライト} \left\{ \begin{array}{l} \text{フェライト} \\ \text{セメンタイト} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

22, 炭素鋼の組織的成分

吾々は既に「ユ-テクトイド鋼」の組成を計算することが出来た。今度は他の二種の鋼に関する計算法を説明しやう。今次の如き記號を用ゐることとする。

- F... 鋼の中の「フリー、フェライト」の量(百分率)
- P... 鋼の中の「パーライト」の量(百分率)
- C_m ... 鋼の中の「フリー、セメンタイト」の量(百分率)
- C... 鋼の中の炭素の量(百分率)
- 0.9 ... 「パーライト」100 中に含まるゝ炭素の量

(a) 「ハイポ、ユーテクトイド鋼の計算。」

「ハイポ、ユーテクトイド鋼は、「フリー、フェライト」と「パーライト」から成立つものだから次の(1)式を得る。又鋼中の炭素は總て「パーライト」の中に含まれるのだから次の(2)式を得る。

$$F + P = 100 \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{0.9 \times P}{100} = C \dots\dots\dots(2)$$

よつて鋼の炭素含有量 C を知るときは、上の聯立方程式を解いて F と P との割合を知ることが出来る。例へば 0.5「パーセント」の炭素を含有する鋼の組織は、(2)式に於て

$$\frac{0.9 \times P}{100} = 0.5$$

$$\therefore P = 0.5 \times \frac{100}{0.9} = 55.6\%$$

$$F = 100 - 55.6 = 44.4\%$$

(b) 「ハイパー、ユーテクトイド鋼の計算。」

「ハイパー、ユーテクトイド鋼は、「フリー、セメンタイト」と「パーライト」から成立つが故に次の(a)式を得る。又鋼中の炭素は、「パーライト」100 中に 0.9 の割合に含まれ、「フリー、セメンタイト」100 中に 6.67 の割合に含まれるのであるから次の(b)を得る。

$$P + C_m = 100 \dots\dots\dots(a)$$

$$\frac{0.9 \times P}{100} + \frac{6.67 \times C_m}{100} = C \dots\dots\dots(b)$$

よつて炭素含有量 0.9「パーセント」以上の場合には、上の聯立方程式を解けば C_m と P との割合を知ることが出来る。例へば炭素 1.3「パーセント」の鋼ならば(b)式によつて、

$$\frac{0.9 \times P}{100} + \frac{6.67 \times C_m}{100} = 1.3$$

然るに(a)式によつて、

$$C_m = 100 - P$$

$$\therefore \frac{0.9 \times P}{100} + \frac{6.67 \times (100 - P)}{100} = 1.3$$

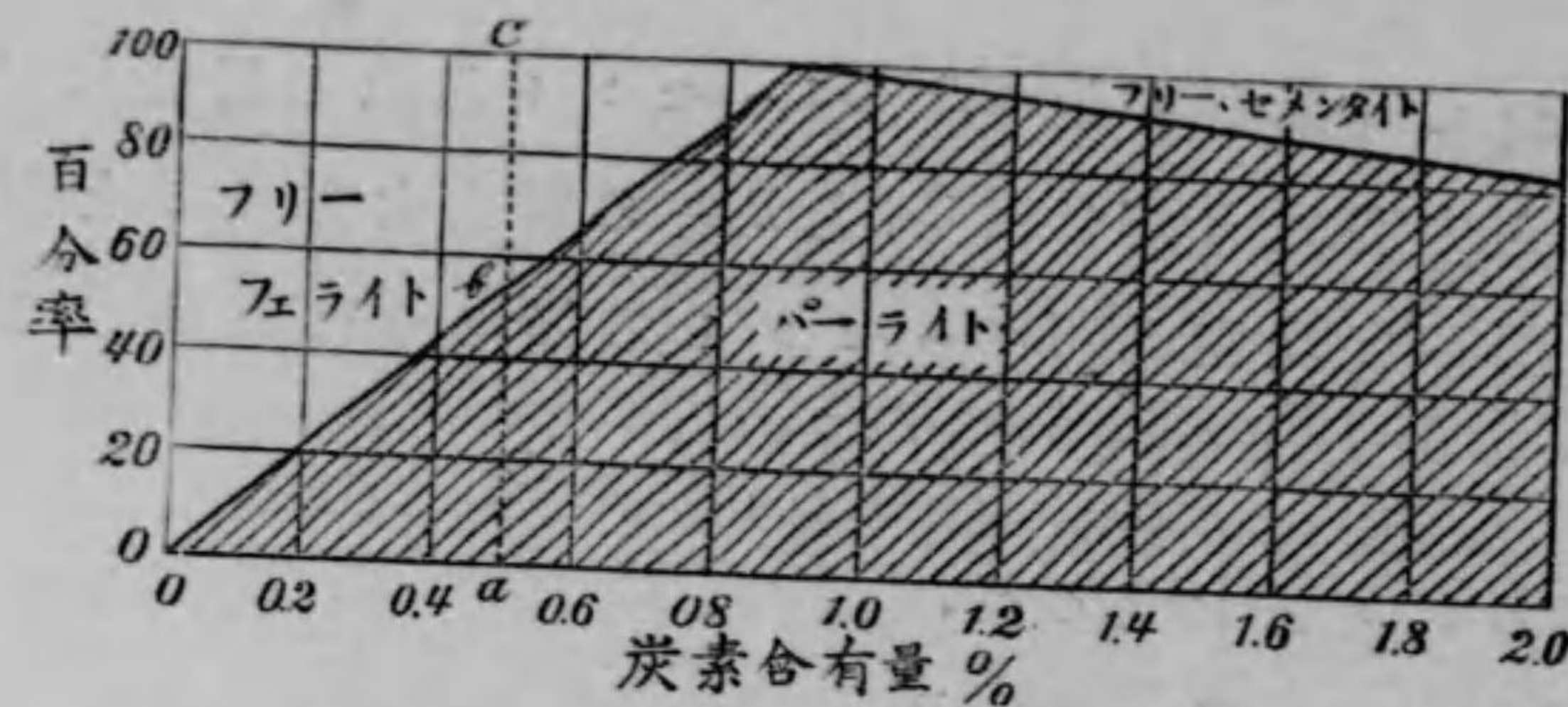
此式を解くときは

$$P = 93\% \quad C_m = 7\%$$

となるであらう。

茲に注意すべきことは、前の例では「ユーテクトイド鋼」よりも 0.4「パーセント」の炭素が少なく、後の例では「ユーテクトイド鋼」を超過すること 0.4「パーセント」であつて、共に「ユーテクトイド鋼」の炭素含有量を去ること 0.4「パーセント」なるに拘らず、前者は 44.4「パーセント」の「フリー、フェライト」を含有し、後者は僅かに 7「パーセント」の「フリー、セメンタイト」を含有せるに過ぎないことだ。則ち「ハイパー、ユーテクトイド鋼」では炭素含有量が可なり増加しても、其割には「フリー、セメンタイト」が増加しない。炭素含有量が 2.0「パーセント」となつても、「フリー、セメンタイト」は僅

かに 19.9「パーセント」にしか増加しないのである。



第三十七圖……炭素含有量と鋼の組織的成分との關係

既に説明せるところによつて、炭素含有量 0.9「パーセント」のとき鋼は「パーライト」ばかりとなり、之より炭素減ずれば漸次「フリー、フェライト」を増し、遂に炭素含有量零となれば言ふまでもなく「フェライト」ばかり、則ち純粹の鐵に歸してしまふ。又炭素が 0.9「パーセント」以上に増加すれば「フリー、セメンタイト」の量も漸次増加し、炭素含有量 2「パーセント」のとき「フリー、セメンタイト」は 19.1「パーセント」となるのである。此關係を圖示すれば第三十七圖のやうになる。圖に於て例へば 0.5「パーセント」の鋼の組成を知るには 0.5 の點 a を取り、a を通じて垂線を立てるが良い。然るときは直線 \overline{ab} と \overline{bc} との長さによつて、「パーライト」と「フリー、フェライト」との割合を表はすことになる。他は推して知ることが出来るだらう。

23, 炭素鋼の組織的成分の性質

炭素鋼の化學的成分は言ふまでもなく炭素と鐵であるが、之を組織上から考へると、「フェライト」と「セメンタイト」とは組織の根本要素である。そして此二つのものは合して「パーライト」を作るのだから、「フェライト」「パーライト」「セメンタイト」の三者は、炭素鋼の組織的成分となるわけである。

「フェライト」は則ち純粹の鐵であつて、ほぼ銅と同様の軟かさと粘さとを有つてゐる。其抗張力は毎平方吋 22.5 噸、伸長率は 2 吋棒にて約 40「パーセント」である。此ものは磁性に富み、電導度大にして急冷によつて硬化する性質を有たない。

「パーライト」は甚だ堅硬にして脆く、抗張力毎平方吋 56 噸、伸長率は僅かに 10「パーセント」である。

「セメンタイト」の物理的性質はまだ充分明になつてゐないが、既に述べたやうに極めて硬くして脆いものである。其抗張力は恐らく毎平方吋 2.2 噸位だらうと言はれてゐる。

かく組織的成分の性質を知るときは、炭素鋼の性質が炭素含有量によつて如何に變化すべきかを略推定することが出来る。則ち「ハイポ、ユーテクトイド」鋼では、「フリー、

フェライト」の存在せるため比較的粘り性質のものとなるべく、炭素含有量増すにつれて「フリー、フェライト」を減じ「パーライト」を増加するため、漸次粘性を減じ抗張力と脆性を増す筈である。次に「ハイパー、ユークトイド」鋼では、「フリー、セメンタイト」が存在するため非常に脆く、炭素の量を増すにつれて抗張力を減じ脆性を増すのである。Howeの實驗せる所によるに、炭素含有量と抗張力との關係は次の表に示すやうになつてゐる。

第二表…炭素含有量と鋼の抗張力との關係

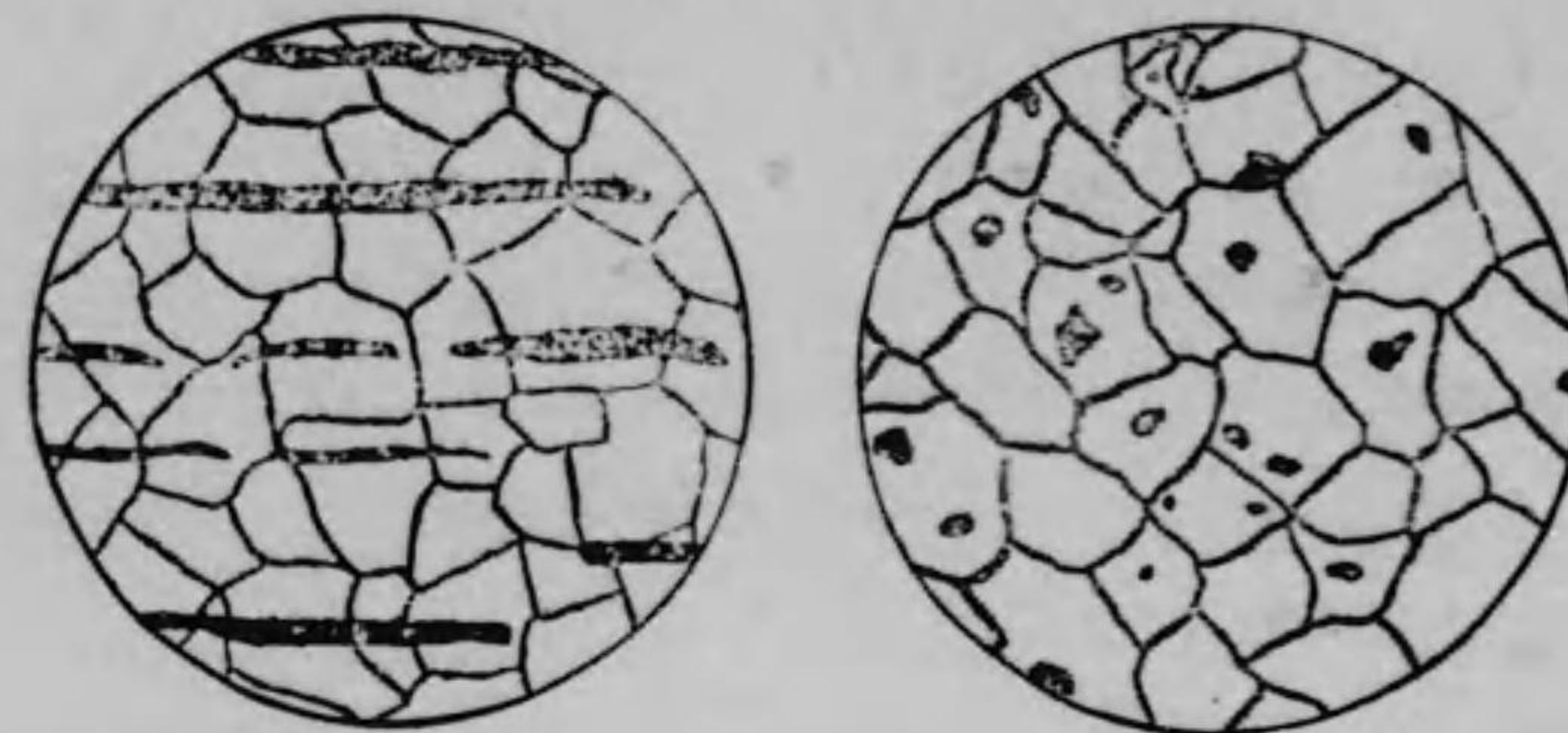
炭素含有量(%)	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.3
抗張力 (每平方吋噸)	25.0	26.9	31.0	36.0	43.0	58.0	60.0	44.0

されば刃物などを作る場合には、其用途によつて鋼の炭素含有量を適當に選ぶべきである。タガネのやうに打撃せられるものは粘くなければならぬのだから、「フリー、セメンタイト」を含まないものが良い。鑪のやうなものは硬いことが必要だが、別段打撃せられるものでないから、多少「フリー、セメンタイト」を含めるものが良い。普通炭素含有量1.2「パーセント」位である。剪刀の如きは極めて鋭き刃先を必要とするが、始ど力がかからないから、可なり多くの「フリー、セメンタイト」を含めるものが良いので、

普通炭素含有量1.5「パーセント」位である。

24, 鍊鐵の組織

鍊鐵は不純物を含有すること極めて少ないもので、炭素含有量の極めて少ない鋼に類似せるものであるが、唯精鍊中に生じた^{スラッグ}熔滓を含んでゐる點が違ふのである。



第三十八圖…鍊鐵—壓延の方向に沿うて切斷したる場合

第三十九圖…鍊鐵—壓延の方向に直角に切斷したる場合

第三十八圖は鍊鐵を壓延した方向に沿うて切斷したもので、第三十九圖は之に直角に切斷したものである。網状を呈せるものは、硅素、燐などを僅かばかり固溶せる「フェライト」の結晶粒であつて、其間に介在せる黒線又は黒點は^{スラッグ}熔滓である。之によつてみると、熔滓は壓延の方向に引き延されてゐることが解る。鍊鐵の斷面が纖維状を現はすのは此ためである。しかし圖に於て明なる如く、「フェ

ライト」の結晶粒は別段引き延されるやうなことはない。

鍊鐵中の炭素は「パーライト」を作り、結晶粒の間に挟れることは第二十九圖のやうになるのだが、其量が少ないのと熔滓のために、其存在を明に指摘することは出来ない。又其影響も僅かなものだから特に説明するほどのこともないのである。

第四章 炭素鋼の變態點

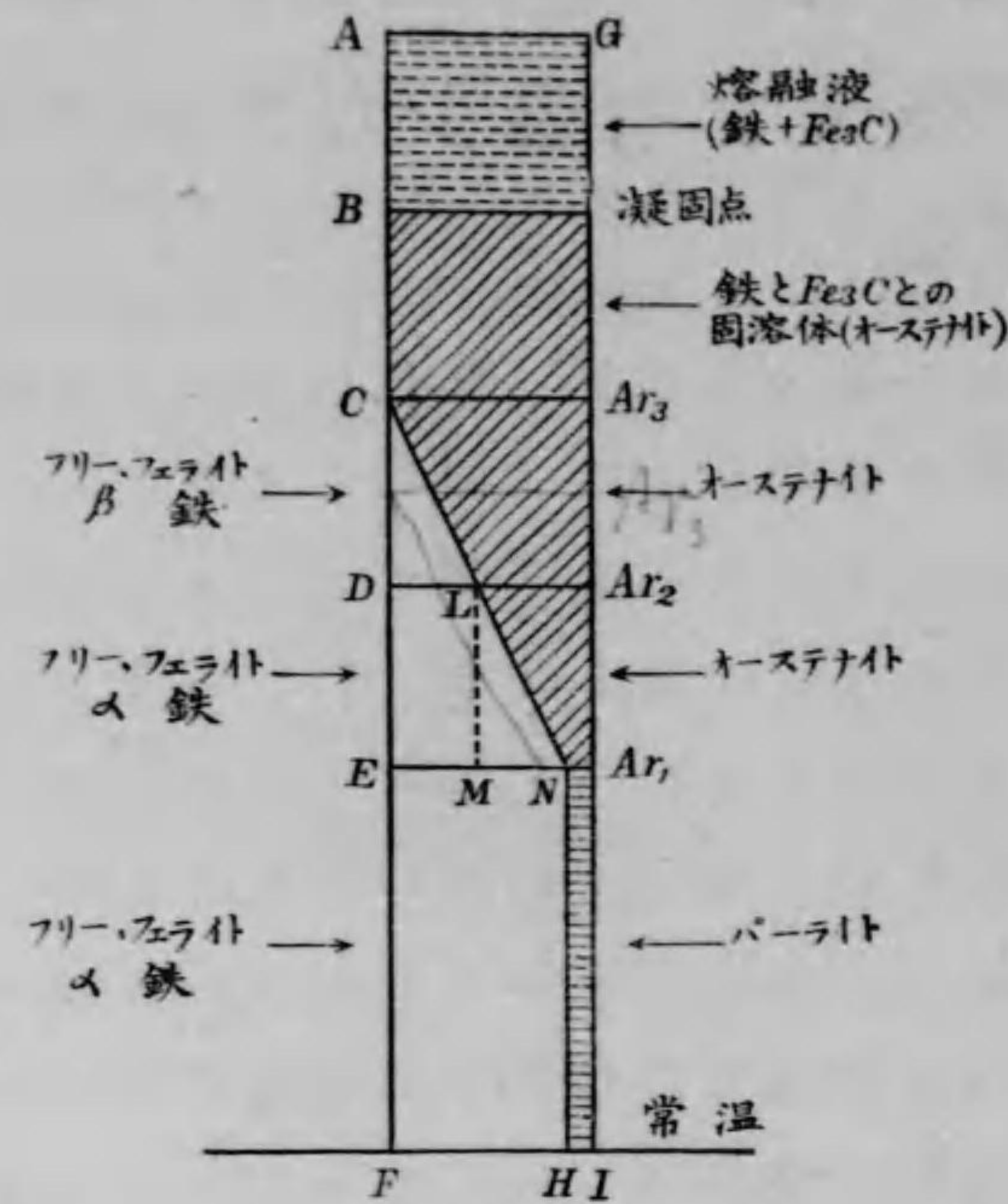
25, 炭素含有量少なき鋼の變態點。

純粹の鐵では約 875 度及 750 度に於て二回變態點の起ることは、既に第 13 節に於て説明してゐいた。然らば之に炭素を含有せしめたる炭素鋼ではどうであらうか。以下少しく之が説明を試みやう。

今假りに炭素含有量 0.1「パーセント」の鋼を取り、之を攝氏 1000 度近くに熱して徐々に冷却するときは、始めは冷却の法則に従うて溫度が降るのであるが、約 875 度に於てはつきりした變態點が起り、次に約 750 度及 675 度に於て微弱なる變態點が起るのである。かく三回起る所の變態點のうち、初めの二つは純粹の鐵に起るものと同様であつて、夫々 Ar_1 , Ar_2 なる記號を附することは純粹の鐵の場合とかはりはない。最後に起る變態點は、鐵のなかに炭素を加へたがために起つたもので、炭素とは密接な關係を有するものである。此點を表はすには Ar_1 なる記號を用ゐる。

上に述べたやうな變態點は、何故に起るのであるか。と言ふことに就いては ⁷⁻⁷⁴⁻²Sauveur は甚だ明瞭な説明法を用ゐ

てゐる。次に之を参考して説明してゐかう。



第四十圖……炭素含有量 0.1% の鋼が熔融状態より冷却する間の組織の變化。

既に説明したやうに鋼の中の炭素は鐵と化合して Fe_3C なる化合物を作るものであるが、此物は鐵が熔融せるときは之に溶解して一種の溶液を作り、鐵が凝固して γ 鐵となるときは之に固溶するのである。かく、 Fe_3C 則ち「セメンタイト」が γ 鐵に固溶せるものを「オーステナイト」Austenite と稱へる。第四十圖に於て \overline{AF} を以て温度を表

はし、 \overline{AG} を以て鋼の量を表さしめるものとせよ。熔融鐵の温度が降つて凝固點(次章に詳しく述べる)に達するとは、鐵は凝固して「オーステナイト」を作る。「オーステナイト」の温度が降つて C なる變態點 Ar_3 に達すれば「オーステナイト」の中から純粹の鐵則ち「フェライト」を分離し β 鐵となる。此際熱を發生して温度の降下一時停止し、所謂變態點^{ポイント}を起すのである。之より温度降るにつれて「フェライト」の分離繼續して其量を増し、D 點に達したときは既に分離した β 鐵の量は \overline{DL} で表される。此物は此點に於て α 鐵に變化し、新たに分離する「フェライト」は一旦 β 鐵となり又直ちに α 鐵に變化する。此際再び熱を發生して第二の變態點 Ar_2 を起すのだ。之より再び温度降るにつれて α 鐵の分離を續け、E なる第三の變態點 Ar_1 に達したときは其量は \overline{EN} で表され、残れる「オーステナイト」の量は N より右の幅で表されるのである。

さて圖に於ては 0.1 「パーセント」の炭素を含有する鋼の場合を示したものであるが、C 點以上の温度に於ては「オーステナイト」は言ふまでもなく 0.1×15 「パーセント」の「セメンタイト」を含有してゐるに相違ない。然るに上に述ぶる如く C 點以下に於て「フェライト」を分離するのだから、「オーステナイト」共物だけに就いて言へば「セメンタイト」の割合が段々増すことになる。かくて Ar_1 に達したときは残留

せる「オーステナイト」は、「セメンタイト」 1 に對して 6.4 の割合の「フェライト」を有することになる。則ち兩者の割合は丁度「パーライト」を作るべき比となつて、今まで固溶體であつたものが一時に「パーライト」に變ずるのである。そして多くの學者の説によるに、「オーステナイト」中の鐵は A_{r_3} 以下の溫度に於ても依然 γ の状態を保つものだ。然らば「オーステナイト」が「パーライト」に變ずるとき、其うちの「フェライト」は γ 状態より一旦 β に變じ、又直ちに α に變化しなければならぬ。斯く D 點に於ては炭素の存在せる状態を變ずると共に、鐵の同素體の變化を伴ひ、此二様の變化のために熱を發生して新たに變態點を起すのである。以上説くところによつて A_{r_1} は全く「パーライト」を生ずるために起るものだと言ふこと、従つて純粹の鐵に於て起らない理由が解るだらう。

かやうにして A_{r_1} を通過した鋼は、第 17 節に述べたやうな組織となり、もはや常溫まで冷却する間に何等の變化も起らないのである。

26, 炭素含有量と變態點との關係。

鋼の炭素含有量が増せば「パーライト」の量も増加するか

ら、「フリー、フェライト」の量は反對に減少する。さすれば A_{r_1} 以上の溫度に於て分離すべき「フェライト」の量を減ずる事は言ふ迄もないことであつて、其結果 A_{r_3} の位置が低くなるのである。第四十圖に於て「パーライト」が増すだけ N 點を左に移し、此點を通じて元の \overline{NC} に平行線を引けば \overline{AF} との交點は C よりも低くなる。之を新たなる A_{r_3} の位置と考へ、斯くの如くして炭素含有量増すにつれて A_{r_3} の位置は漸次低くなるものと想像すれば了解し易いだらう。然るに A_{r_3} , A_{r_1} の位置は炭素の量によつて別段變化しないものだから、炭素含有量増すにつれて A_{r_3} が低くなれば、遂に A_{r_3} と一致するときがある筈だ。 A_{r_3} が A_{r_1} と一致するときの炭素含有量は幾許なるかは正確に斷定し難いのであるが、多くの實驗の結果に徴するに先づ 0.35「パーセント」である。かく A_{r_3} が A_{r_1} に一致する點を $A_{r_{3-2}}$ と稱へる。 $A_{r_{3-2}}$ に於て分離する「フェライト」は一旦 β 鐵に變じ、又直ちに α 鐵に變化するのである。

$A_{r_{3-2}}$ は又、炭素含有量増すにつれて低くなると同時に漸次弱くなるものであつて、炭素 0.5 乃至 0.6「パーセント」位になれば之を識別することが非常に困難になる。かくて炭素の量 0.9「パーセント」に達すると A_{r_1} に一致するのである。此點を $A_{r_{3-2-1}}$ と稱へる。されば「ユーテクトイド鋼」は $A_{r_{3-2-1}}$ なる一個の變態點を有つのみだ。蓋し「ユー

テクトイド鋼は全部「パーライト」ばかりで、豫め分離すべき「フェライト」がないのだから、單に「パーライト」を生ずべき一個の變態點より有たないのは當然のことである。

次に炭素含有量 0.9「パーセント」以上の鋼、則ち「ハイパー、ユーテクトイド」鋼に於ては、 $A_{r_{3.2-1}}$ 以上の溫度で分離すべき「フェライト」の存在せざるは言ふまでもないが、此場合には先づ「フリー、セメンタイト」が分離し、そのために又別の變態點を起すのである。此點を A_{rcm} と稱へる。 A_{rcm} の位置も亦炭素含有量によつて變化するもので、^{カーペンター}Carpenter 及 ^{キーリング}Keeling の調査した結果は次の表に示すやうになつてゐる。

第三表 炭素含有量と A_{rcm} の位置との關係

炭素含有量%	A_{rcm} の位置(攝氏の度)
1.31	883
1.51	911
1.69	985
1.85	1031
1.97	1042

此表を見れば解るやうに A_{rcm} は炭素含有量減ずるほど低くなり、遂に 0.9「パーセント」に於て $A_{r_{3.2-1}}$ と一致すべ

きものだが、「フリー、セメンタイト」の量が比較的少量なるため、1.2「パーセント」以下では殆ど識別し難いほど微弱なものである。されば上表の結果より推して、炭素含有量 0.9 乃至 2.0「パーセント」の鋼に於ける A_{rcm} の位置は、700 度と 1050 度の間にあるものと見做すのである。

27, 加熱の際の變態點。

純粹の鐵を加熱するときは冷却の際の逆の現象が起ると同様に、鋼も亦加熱の際には冷却するとき起つた現象の逆現象が起るのである。例へば炭素含有量 0.1「パーセント」の鋼を加熱すれば三回變態點が起る。之等は最も低いものから順次 A_{c_1} , A_{c_2} , A_{c_3} なる記號を附ける。則ち A_{c_1} に於て「パーライト」は一時に「オーステナイト」に變じ、 A_{c_1} より A_{c_2} の間に「フリー、フェライト」は段々「オーステナイト」中に入り、 A_{c_2} に於て残れる「フリー、フェライト」は β 鐵となり、 A_{c_2} より A_{c_3} に至る間に此 β 「フェライト」は段々に「オーステナイト」に入り、 A_{c_3} に於て全部「オーステナイト」に復するのである。

之等の變態點の起る理由は、冷却の際變態點に於て放出したる熱を吸収して元の状態に復するからであつて、水が零度に於て熱を放出して氷となり、氷は又零度に於

て熱を吸収して水に復するのと同じ道理である。一般に A_{c_1} は A_{r_1} に比すれば25度乃至50度高く、 A_{c_2} は A_{r_2} よりも20度乃至30度高く、 A_{c_2} は殆ど A_{r_2} と同温度に起るものだ。かく冷却及加熱の際の變態點は逆の現象を表はすものなるに拘らず、全く同温度で起らないのは物理學上所謂「ヒステリシス」の現象なることは既に第13節に於て述べておいたが、加熱及冷却を急速に行ふときは之等の差を大ならしめ、徐々に行ふときは其差を小ならしむるものである。されば、冷却も加熱も共に極めて徐々に行ふときは逆現象を表はすところの變態點を一致せしめ得べき道理であるが、實際上吾々が行ふ方法では理想的に緩慢ならしむることが出来なため、どうしても多少の差異を生ずるを免れないのである。

加熱の際に起るべき變態點は上に挙げた三つだけではなく、冷却の際起るべき何れのものにも對應すべき變態點の存することは言ふまでもない。之等はすべて上の例に於けると同様に、冷却の際の變態點の記號中の r 字の代はりに c 字を以てするので、 $A_{c_{r_2}}$ 、 $A_{c_{r_1}}$ 、 $A_{c_{em}}$ 等は夫々 A_{r_2} 、 A_{r_1} 、 $A_{r_{em}}$ の逆を表はす記號である。なほ加熱及冷却の際の變態點を一括するときは、夫々の記號中の r なり c なりを取り去つた記號を用ゐる。例へば A_1 は A_{r_1} と A_{c_1} とを一括して言ふ場合の記號である。他は推して知

るべしだ。

28, 冷却の遅速と變態點との關係。

前節に述べたやうに加熱の際には急に加熱するほど變態點が高くなり、冷却の際には急に冷却するほど變態點が低くなるものであるが、とりわけ後の場合は注意すべき重要な現象である。何故ならば變態點が低くなることは、組織の變化が夫だけ後れることを意味するのであつて、若し非常に急激に冷却して變態點を常溫以下に低下せしめたならば、其間に組織が變化すべき機會が無くなるため、常溫に於ても尙變態點以上の高温度に於ける組織を其まま維持せしむることが出来るからである。かやうな場合には非常に性質の違つた鋼を得られる。又冷却の度合によつては變化の途中にある組織をも得られる道理で、従つて色々性質の異なつた鋼を得られるのである。これが鋼の焼入の原理だ。其詳細は第六章で説明することにする。

因に「マンガン」「ニッケル」の如き金屬は、鋼の中に入ると其變態點を低下せしむる傾がある。其量が多いときは遂に常溫以下に下らしめることが出来る。之等は特種鋼に

重要なる事柄であるが、其詳細は第十一章で説明する。

29, 變態點に於て發生する熱の割合。

既に述べたやうに冷却の際の變態點の位置は炭素含有量によつて異なるものだが、其際發生する熱の割合も亦炭素含有量によつて變化するものである。茲には之等を一括して説明しておく。

A_{r_1} は純粹の鐵及炭素含有量 0.35「パーセント」以下の鋼に起る點であつて、 γ 鐵が β 鐵に變じ、或は β 「フェライト」が「オーステナイト」から分離する點である。純粹の鐵では多量の熱を發生し明に之を認めることが出来るが、炭素含有量増すにつれて急に其強さを減じ、且其位置も亦低下して炭素含有量 0.35「パーセント」のとき A_{r_1} と一致する。

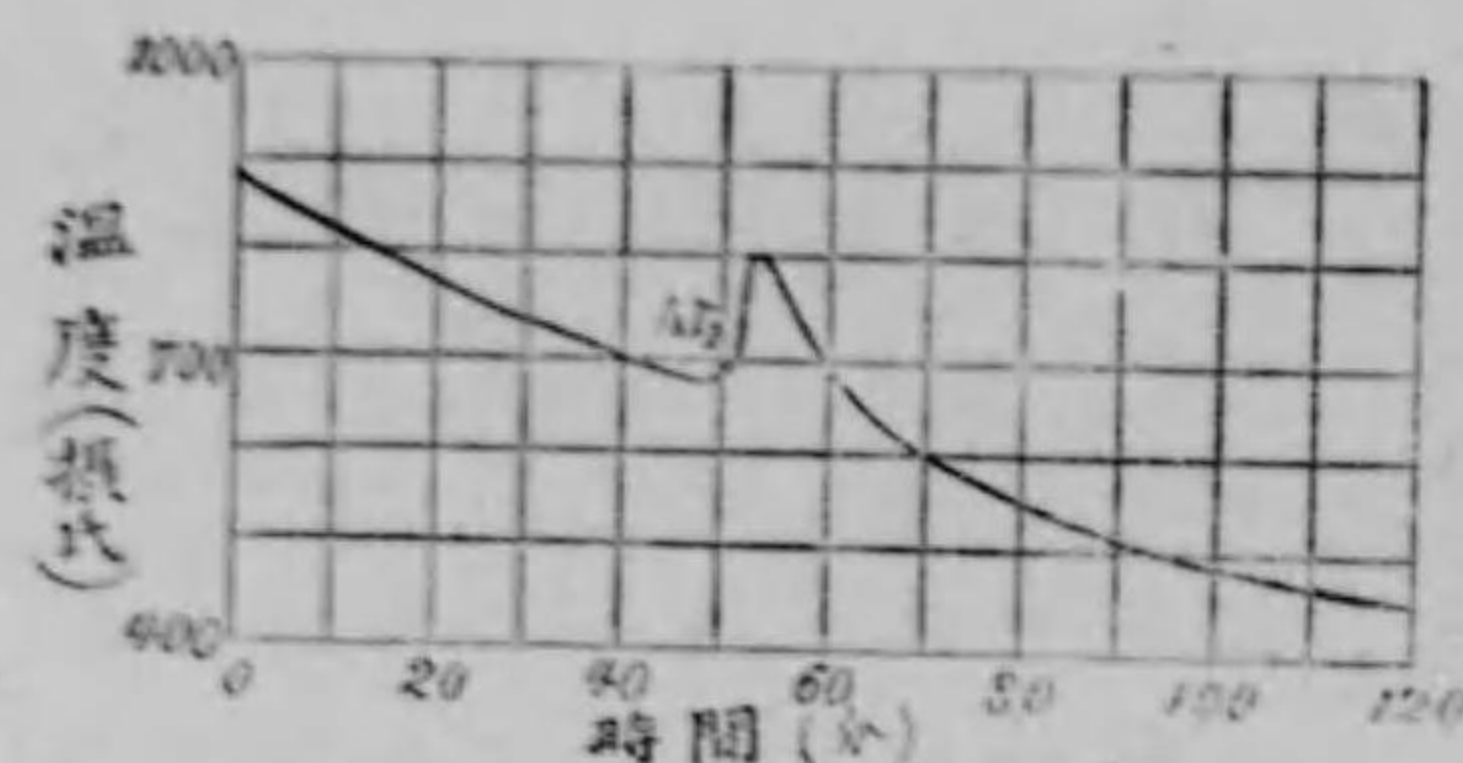
A_{r_2} は純粹の鐵及炭素含有量 0.35「パーセント」の以下の鋼に起る點であつて、 β 鐵が α 鐵に變じ、或は「オーステナイト」より α 「フェライト」の分離する點である。此點に於ては發生する熱量比較的少なく、炭素含有量によつて其強さ及位置を變化すること殆どなく、且其逆現象たる A_{c_2} はほぼ同溫度に於て起ることは此點の特徴である。

$A_{r_{3/2}}$ は炭素含有量 0.35 乃至 0.9「パーセント」の鋼に起る

もので、「オーステナイト」から α 鐵の分離する點である。發生する熱は A_{r_1} よりも強く、純粹の鐵に於ける A_{r_3} よりも弱いのだが、炭素含有量増すときは急に其強さを減じ、且其位置も亦低下し 0.9「パーセント」に達すれば A_{r_1} に一致する。

A_{r_1} は炭素含有量 0.9「パーセント」以下の鋼、則ち「ハイポユテクトイド鋼」に起るもので、炭素の量少なきときは微弱であるが其量を増すにつれて急に其強さを増し、「ユテクトイド鋼」に於て $A_{r_{3/2}}$ と合して最大となる。此點は「パーライト」を生ずるとき起るものだから、炭素の量を増すに従ひ其強さを増し「パーライト」ばかりの「ユテクトイド鋼」に於て最大となるのは當然のことである。しかし此點は常に一定して炭素の量によつて其位置を變へない。なほ此點に就いては面白い現象がある。今假りに炭素含有量 0.6「パーセント」位の鋼に就いて實驗すると、既に述べたやうに $A_{r_{3/2}}$ は極めて微弱であるが、675 度附近に起るところの A_{r_1} に於ては甚しく發熱するために、冷却のために奪ひ去られる熱量よりも多くの熱を發生し、ために此點に於ては一時却て溫度が昇ることがある。かやうな場合に之を暗室で行ふと、其瞬間鋼の光を増して肉眼でも其發熱の著しいことを認め得る位である。此現象を「レカレッツセンス」Recalescence と稱へる。第四十一圖はかや

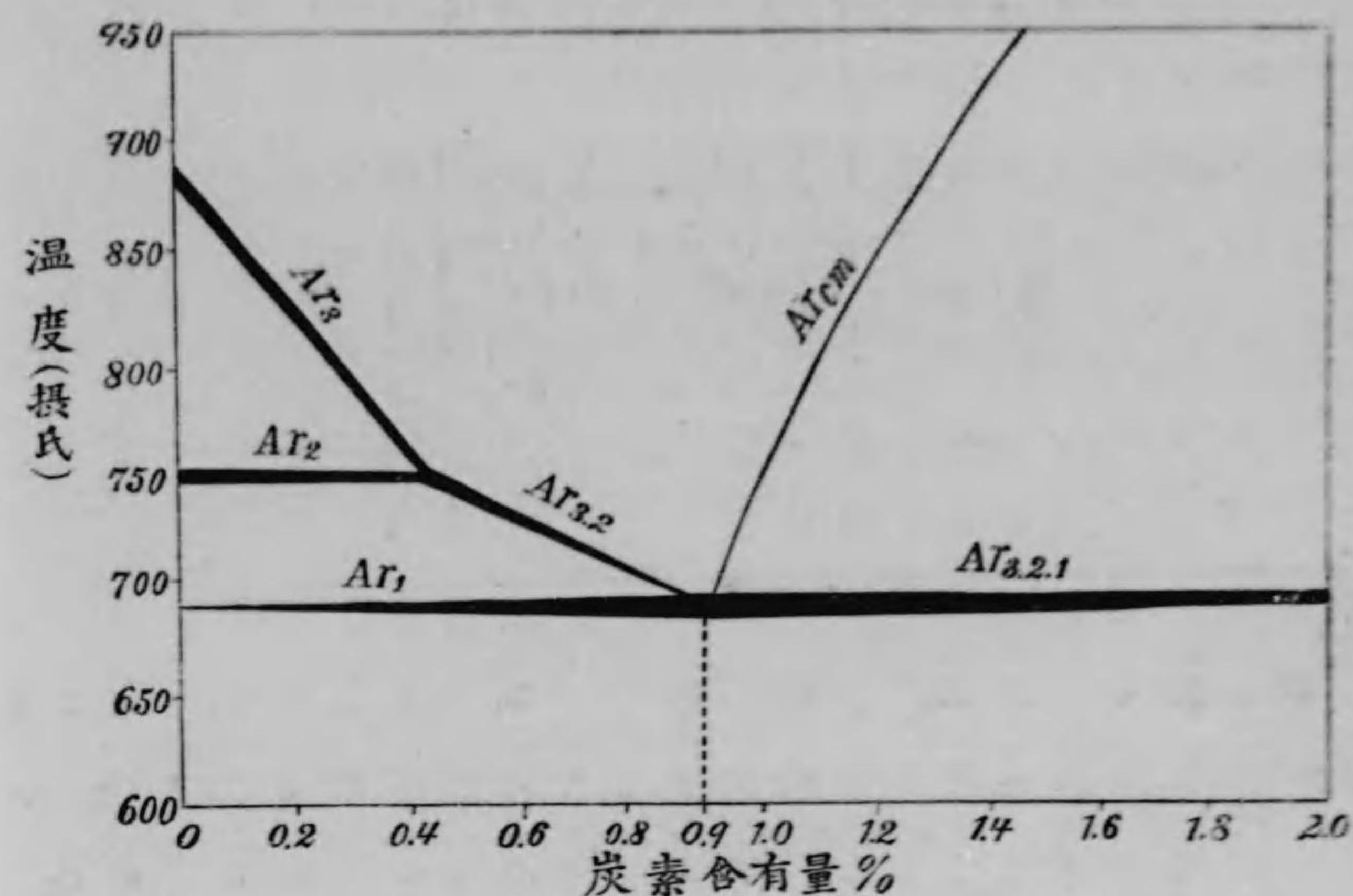
うな場合の冷却曲線を示すものである。



第四十一圖 ……レカレツセス

$A_{r2.1}$ は $A_{r2.2}$ と A_{r1} との一致した点であつて炭素含有量 0.9「パーセント」以上の鋼に起るもので、其高さは A_{r1} に等しく且一定してゐる。発生する熱量は上に述ぶる如く「ユートロイド鋼に於て最大^{マキシマム}であつて、炭素含有量増すにつれて僅かに其強さを減じる。蓋し「ハイパー、ユートロイド鋼では、炭素の量を増しても「フリー、セメンタイト」を増し、「パーライト」を減ずる割合が僅かであるからだ。

A_{rem} は「ハイパー、ユートロイド鋼に起るもので、「オーステナイト」から「フリー、セメンタイト」の分離する点である。発生する熱量極めて少く、炭素 1.2「パーセント」以下では殆ど認めることは出来ない。其位置は炭素含有量増せば著しく高くなるが第26節参照、其強さは僅かに増すだけである。



第四十二圖 ……炭素含有量と變態點との關係
並に發生する熱の割合

第四十二圖は上に述べたところを一目瞭然たらしむるもので、線の太さは發熱の割合を示すのである。

30, 變態點と鋼の組織的成分との關係。

徐々に冷却せられたる鋼の組織的成分は、炭素含有量によつて如何に變化するかは第三十七圖に示しておいた。同圖と第四十二圖とを組合せると第四十三圖のやうにな

31, 變態點の影響。

變態點に於ては鐵の同素體の變化があり、又鋼の組織が變化せられるのだから、従つて其性質に及ぼす影響も少なくない。次に之を一括して説明しておく。

(a) A_{r3} に於ける變化。

A_{r3} を通過するときは鋼は急に膨脹し、其長さ約千分の一を増加する。これ β 鐵は γ 鐵に比べて比重小なる所以である。 A_{r3} 以上の温度にある鋼は常温に於けるものよりも約十倍の電気抵抗を有し、温度が降つても抵抗を減ずることは僅かであるが、 A_{r3} を通過すると急に抵抗を減ずる。 A_{r3} に於て鋼は強さ、硬度を増し粘性を減ずる。炭素を溶解する性質は A_{r3} 以上の温度に於ては強く、 A_{r3} を通過すれば急に減少する。

(b) A_{r2} に於ける變化。

實驗の結果によるに A_{r2} に於ては膨脹、收縮等體積の變化が起らない。夫故 A_{r2} に於て γ 鐵が β 鐵に變化するといふ説に疑を懐く學者がある。Carpenter^{カーペンター} の如きは β 鐵は鐵の同素體にあらずして、 α 鐵と γ 鐵との固溶體だといふ説を發表してゐる。しかし、未だ學者の説が一致して

ゐないから本書では舊説に従ふことにした。 A_{r2} に於ては鐵は急に磁性を増し、強さ、硬度を減じ、炭素を溶解する性質を失ふ。

(c) A_{r3-2} に於ける變化。

A_{r3-2} は A_{r3} と A_{r2} との一致したものであるから前二者に於ける變化は此點に於て同時に起る道理である。則ち A_{r3-2} に於ては著しく膨脹し、電気抵抗を減じ、炭素に対する溶解性を失ひ、磁性を得る。又鋼は此點を通過すれば粘さを増すものである。

(d) A_{r1} 及 A_{r3-2-1} に於ける變化。

之等の點は共に「パーライト」を生ずる點であつて、鋼は著しく膨脹し炭素含有量 0.9「パーセント」のとき最も甚しい。又磁性を増し電気抵抗を減ずる。

(e) A_{rcm} に於ける變化。

此點に於ては分離すべき「フリー、セメントイト」の量少なく、さしたる影響もない。

(f) 加熱の際變態點に於ける變化。

加熱の際起る變態點では、冷却の際の變態點に於て起

る逆現象が行はれるのだから、其影響も亦上に述べたところの逆なることは言ふまでもない。

32, 變態區域の上下に於ける鋼の比較。

變態點の起る溫度の範圍を變態區域 Critical Range と稱へる。この區域の上下の溫度に於ける鋼の間には如何なる相違があるかといふことは、今までの説明で大體解る筈だが、これは極めて重要な事柄であつて第六章で述べるところを理解し得るためには、是非心得ておかねばならぬことだ。次に之を比較對照して參考に供することとする。

變態區域以上の溫度にある鋼。

- (1) 鐵と炭素(詳しく言へばセメントイト Fe_3C)との固溶體。

變態區域以下の溫度にある鋼。

- (1) 「フェライト」と「セメントイト」との聚合體であつて、兩者の割合によつて「ハイポ、ユーテクトイド」、「ユーテクトイド」、「ハイパー、ユーテクトイド」の三形式の

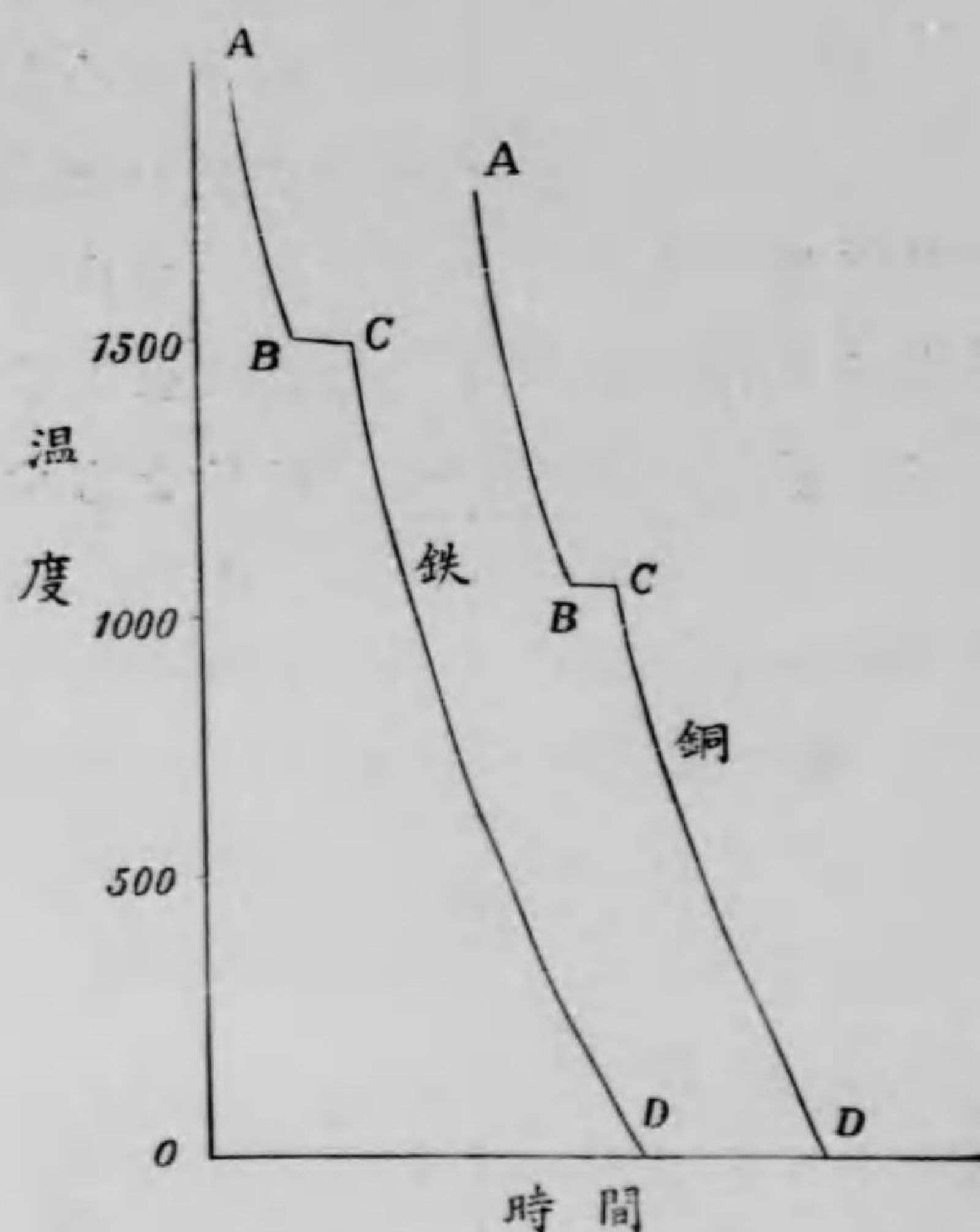
組織となる。

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| (2) 炭素は鐵と化合して鐵中に固溶す。 | (2) 炭素は鐵と化合せるも鐵中に固溶せず。 |
| (3) 鐵は γ 状態にあり。 | (3) 鐵は α 状態にあり。 |
| (4) 炭素の適量を有するとき急冷によりて著しく堅硬ならしむるを得。 | (4) 炭素の適量を有するも急冷によりて最早堅硬ならしむるを得ず。 |
| (5) 徐々に冷却すれば結晶す。 | (5) 既に結晶せるものにして徐々に冷却するも最早結晶を變化せず。 |
| (6) 機械的處理法によりて結晶を妨ぐるを得。 | (6) 機械的處理法によりて組織に歪を生ず。 |
| (7) 磁性を有せず。 | (7) 磁性を有す。 |

第五章 金屬合金の凝固

33, 純粹の金屬の凝固。

純粹の水の凝固に就いては既に第9節で説明しておいた。第四十四圖は純粹の鐵及銅の冷却曲線を示すもので其形狀は水の場合と同様なることはすぐ氣付き得ることゝ思ふ。



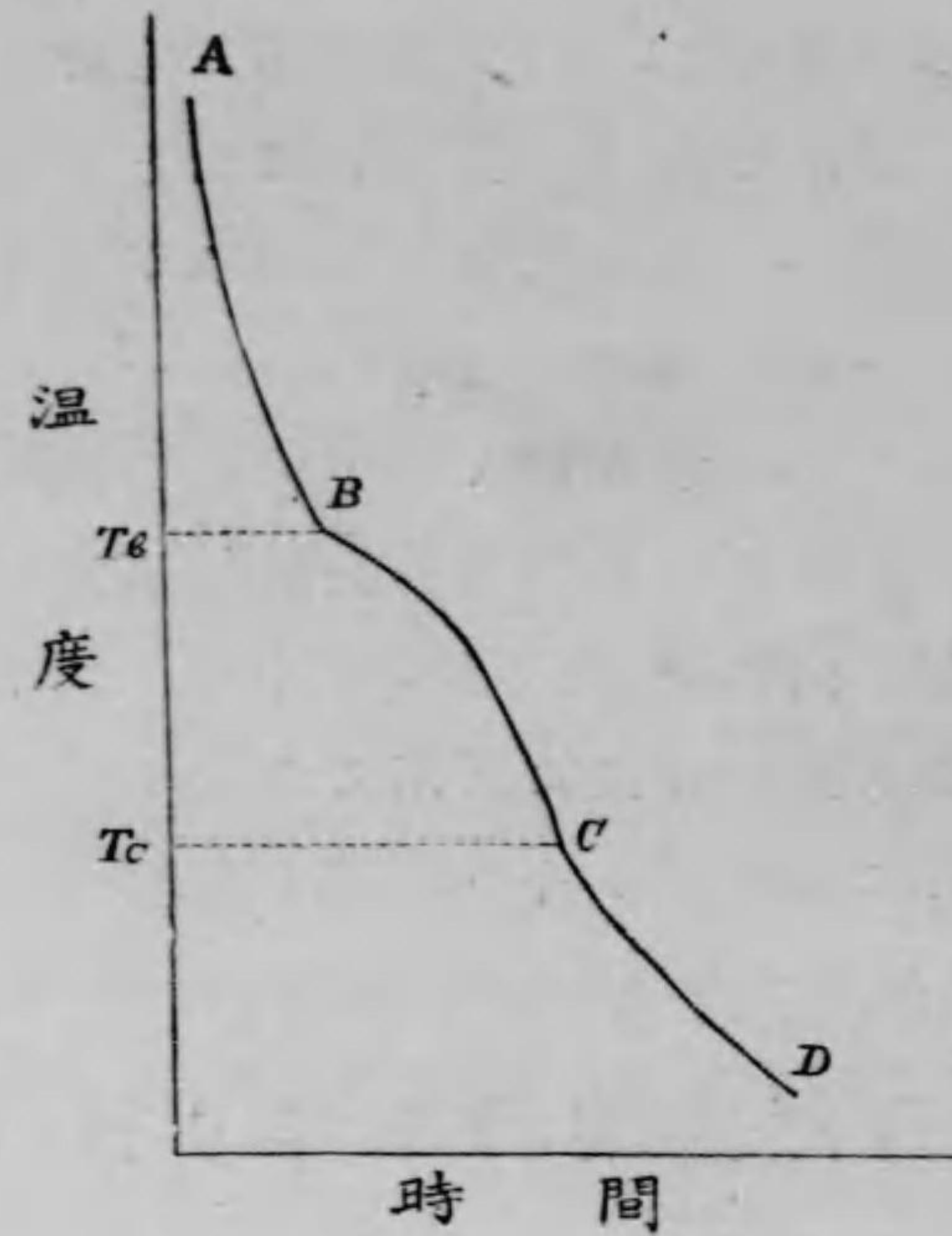
第四十四圖 純粹の金屬の冷却曲線

圖中 AB は熔融金屬の冷却、CD は固體の金屬の冷却を示すもので共に冷却の法則に従ふことが解る。BC は金屬の凝固を示すもので、其間溫度が一定せるは金屬が潜熱を放出する結果である。圖に於て鐵と銅とは凝固點に高低の差こそあれ、ともに同じ法則の下に凝固することが知られる。一般に純粹の金屬は夫々一定の凝固點を有するものであつて、水などゝ全く同一の法則の下に凝固するのである。然るに之に他の金屬又は非金屬が入つて合金を作ると、大に其趣が變つてくる。以下順次之を説明し最後に鐵及銅の凝固に及ぶことにする。讀者は充分に注意して明に了解するやうに努めて貰ひたいのである。

34, 全然固溶體を作り得べき合金の凝固。

二種の金屬が如何なる配合であつても必ず固溶體を作る場合を説明する。かゝる合金の冷却曲線は第四十五圖に示すやうになる。

合金が熔融せるときは勿論溶け合つてゐるものであつて、其冷却は AB で表され、固體となつた後の冷却は CD で表されて共に冷却の法則に従ふものだ。されば之等の點に就いては合金も純粹の金屬と別段相違はない。然る

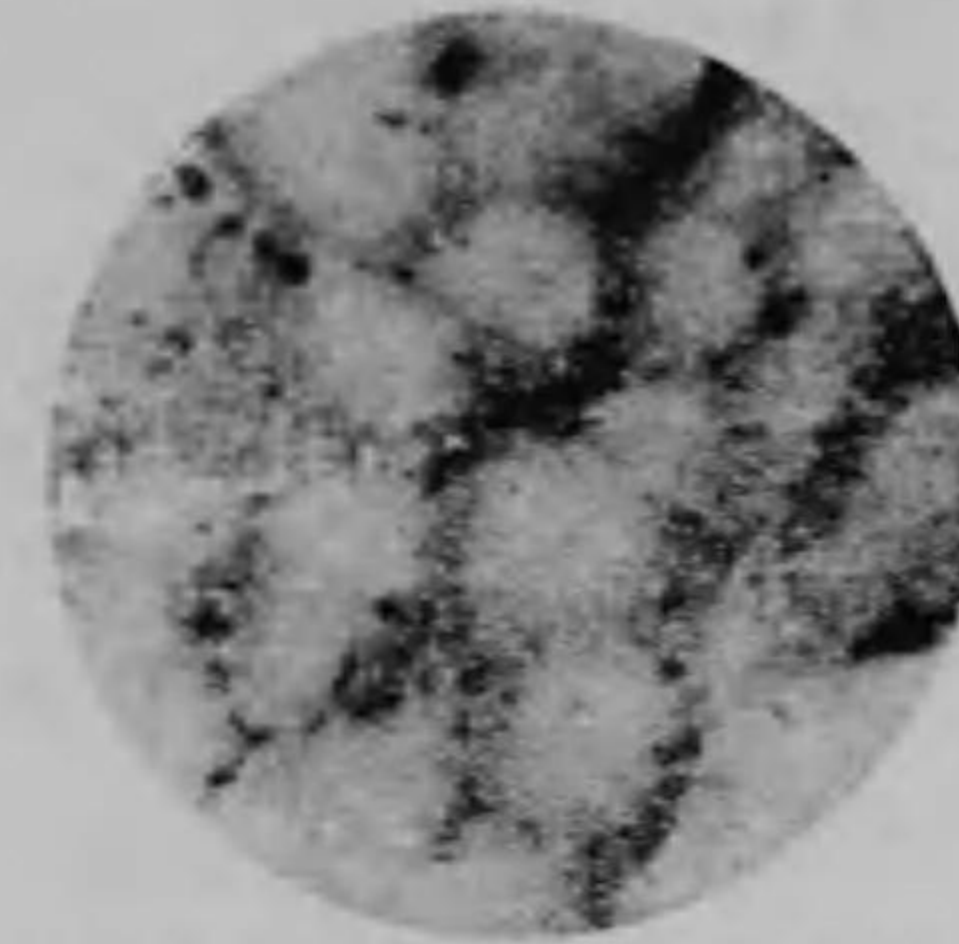


第四十五圖……全く固溶體を作るべき合金の冷却曲線。

に凝固の有様は余程變つて來る。則ち凝固は一定の溫度で行はれないで、B點で始まり凝固進むにつれて漸次溫度が降つて遂にC點に至つて全部固體となるのである。BC曲線が上の方に向つて凸出せるは、凝固中徐々に放出せられた潜熱のために溫度の降るのが後れたので、此事柄は既に第8,9兩節に於て説明したことである。

さて、BCの間に於て凝固は如何なる有様に行はれるのであるか。これは明に了解して置かねばならぬ。今 M_1 と M_2 なる二金屬が合金を作るものとし、 M_2 は M_1 よりも凝固點高きものと假定する。この合金の凝固を始むるときの溫度 T_b は、 M_2 の凝固點よりも低く M_1 の凝固點よりも高い。斯くの如きは兩金屬が互に影響を及ぼす結果に相違ない。夫故兩金屬を別々に考へると、B點に於ては M_2 は既に自己の凝固點よりも低い溫度にあり、 M_1 はまだ自身の凝固點よりも高い溫度にあるのだ。かやうなわけだから凝固が始まるときは、生じたる結晶中には兩金屬の配合の割合に比して M_2 を多く M_1 を少なく含有してゐるのである。果して然らば残れる熔融液では以前に比して M_1 の割合を増し、 M_2 の割合を減ずる道理だ。従つて此物に相應せる凝固點はBよりも低くなる。そして茲で生ずる結晶はB點で生じたものに比して M_2 を減じ M_1 を増してゐるのである。かくの如く幾分か凝固すれば従つて凝固點を低下し、順次かくの如くして凝固は T_b より T_c まで連続して行はれる。遂にC點に達したときは残留せる熔融液は多くの割合の M_1 を含有し、之に反して M_2 の割合が減つてゐるのだ。夫故最後に生ずる結晶は合金の配合よりも M_1 が多く M_2 が少ない割合のものとなるのである。

以上述ぶる所の凝固の有様を概言すれば、B點に於て最初に生ずる結晶は多量の M_2 と少量の M_1 を含有し、溫度が降るに従ひ生ずる結晶中には M_2 を減じて M_1 を増し、C點に於て最後に生ずるものは却つて M_1 を多く M_2 を少しく含有せるものとなるのである。然らば結晶粒の中心部と外部とでは其成分を異にするやうに思れるだらう。しかし事實はさうではなく、各部一様な成分の合金となるのである。これは凝固するにつれて結晶粒の内外に成分の移動が行はれ、過不足相補ふ結果であつて、物理學上所謂**滲透** Diffusion なる現象が固體の間に行はれるからである。されば、此場合には凝固が徐々に行はれることが必要である。もし餘り速に凝固せられるときは冷却が速いために充分滲透が行はれずして、結晶粒の内外に於て其成分の割合を異にすることがある。第四十六圖はかやうな場合の合金の組織を示すものである。圖は鐵が10パーセントの銅を含有せるものであるが、滲透が充分に行はれなかつた結果、結晶粒の内部の色は銅を含有すること少なく、外部の暗黒部は多量の銅を含んでゐるのである。もし滲透が完全に行はれたならば、第14節で述べたと同様に固液體の結晶粒を得るわけである。第四十七圖は銅と亞鉛とを半々に配合した合金の組織を示すもので、完全に滲透が行はれたものだ。



第四十六圖……鐵と銅(10%)との合金滲透不十分なるもの(95倍)



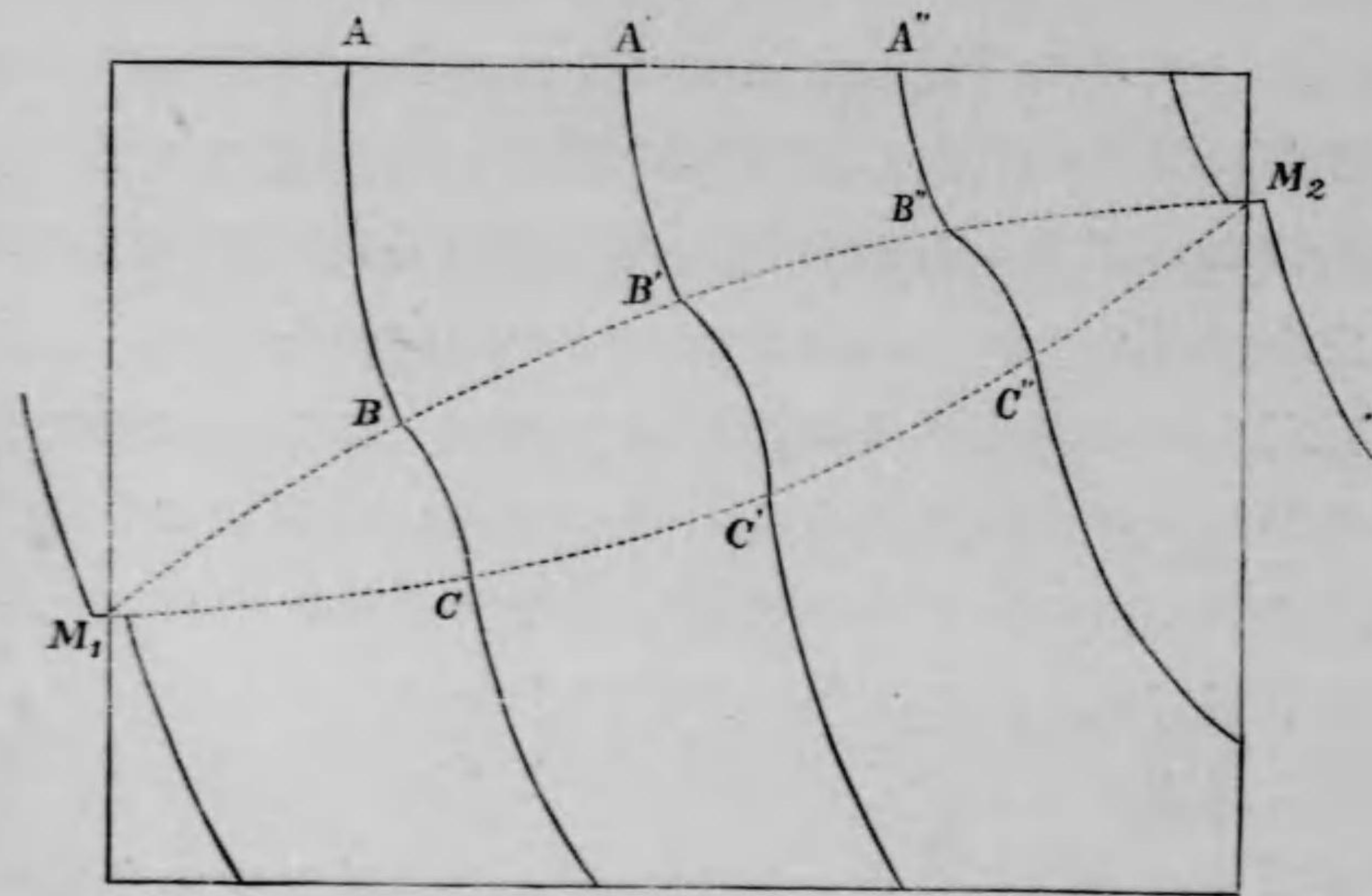
第四十七圖……銅と亞鉛との合金固液體の結晶粒(150倍)

因に普通の物理學の書物では滲透といへば單に液體の場合に就いて説明してあるが、上に述ぶる如く此現象が固體の間にも行はれることは甚だ興味あるのみならず、實際上にも却々重要な事柄である。滲透は溫度が高いほど容易に行はれるが、又常溫に於ても行はれるのである。金と鉛との平滑な表面を押し付け、四日間40度の溫度の真空中に置いた結果、接觸面がしつかり接合したといふ事實がある。かやうな場合には接觸面を通して兩金屬の滲透が行はれ、一種の合金を作つたために兩者が接合せられるのである。これは異種の金屬の鍛接などには必ず起る事柄であるのだ。かの**滲炭法** Cementation と稱へて、鍊鐵に炭素を滲入せしめてこれを鋼に化するが如きも滲透の應用に過ぎないのである。かく滲透は色々の場合に起るもので甚だ重要なものだから注意してゐて貰ひたい。

なほ折に觸れて説明するであらう。

35, 全然固溶體を作るべき合金の凝結曲線。

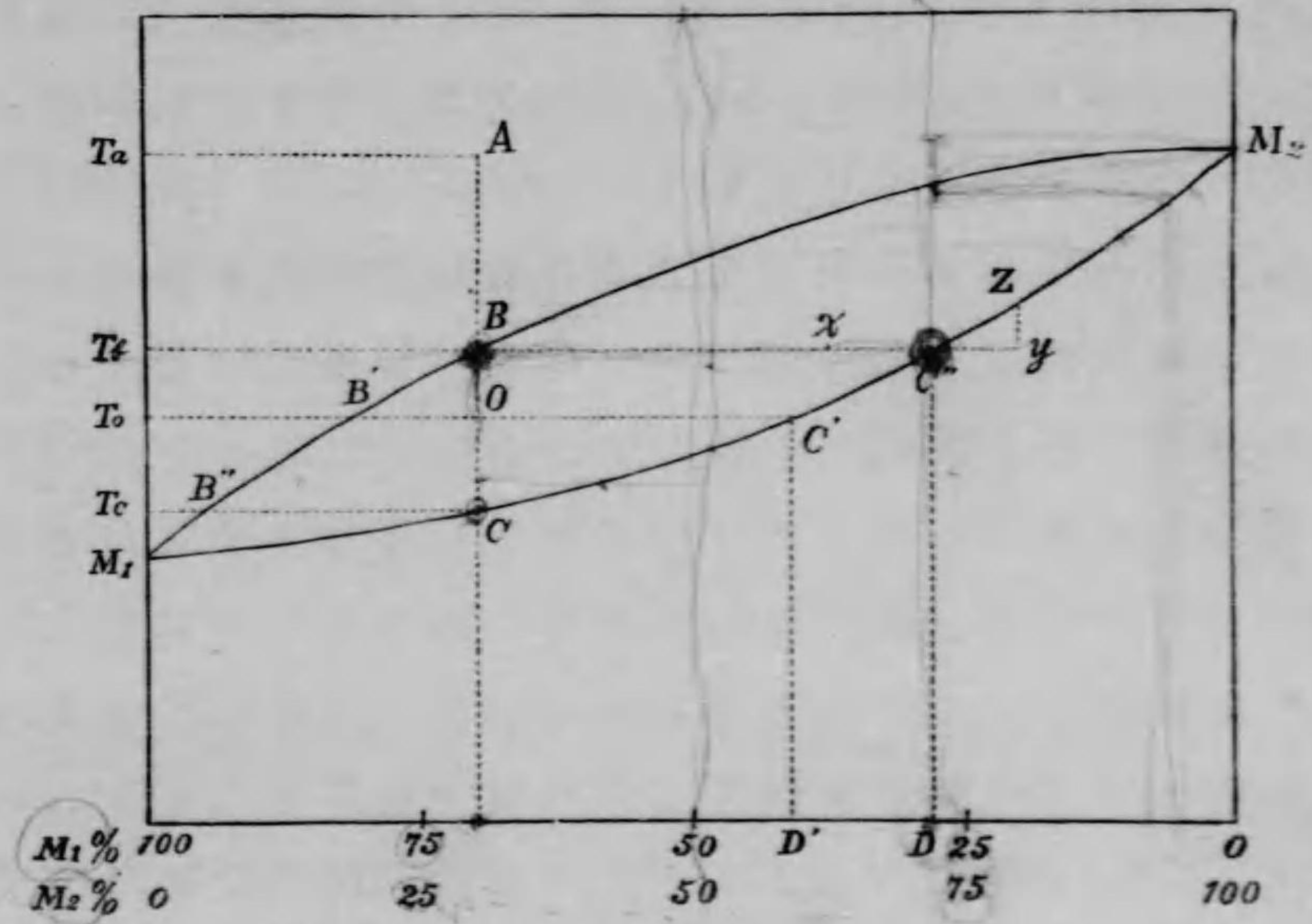
前節に述べた合金の凝固に就いてなほ一層探究すべき事柄がある。それは合金の配合の割合を變ずれば、同種の合金でも其凝固點が變化するからだ。則ち凝固點低き M_1 の割合が増せば合金の凝固點が低くなり、之に反して凝固點高き M_2 の割合が増せば、合金の凝固點が高くなる



第四十八圖……全然固溶體を作るべき合金の凝結曲線が如何にして作らるるかを示す

のである。よつて色々な配合の同種の合金の凝固點を並べて見ると、第四十八圖のやうになる。

圖に於て見る如く、 M_1 のみならば勿論 M_1 に固有な凝固點があつて一定の溫度で凝固するが、之に M_2 が加はると凝固は一定の溫度に於て行はれず、且凝固の始め終りの點が M_2 の増すにつれて高くなり、遂に M_2 のみとなれば言ふまでもなく M_2 に固有の凝固點となる。されば、 M_1 と M_2 との合金の凝固點は、兩極端 M_1 及 M_2 の凝固點の間で變化するので、凝固の始めの點及終りの點によつて $M_1BB'B''M_2$ 及び $M_1CC'C''M_2$ の如き曲線を得るのである。しかし、圖



第四十九圖……全然固溶體を作るべき合金の凝結曲線

は合金の配合と凝固點の變化する模様を就いて大體の觀念を得しむるために作つたものであつて、正確な曲線といふことは出來ない。之を正しく表はすには先づ水平線を以て合金の配合を表さしめ、各配合毎に垂線を立て其上に其配合に相應せる合金の凝固の終始の點を記し、かやうな點を連結しなければならぬのである。

第四十九圖はかやうな考によつて作られたもので之を凝結曲線と稱へ、凝固の始めを表はす曲線 M_1B を「リクイダス」Liquidus、凝固の終りを表はす曲線 M_1C を「ソリダス」Solidusと稱へる。今A點に依つて表される合金($M_170\%$, $M_230\%$ 温度 T_0)を冷却すれば、B點(温度 T_b)に於て凝固を始めC點(温度 T_c)に於て終る。されば「リクイダス」以上の温度にあるものは全部熔融し、「ソリダス」以下の温度にあるものは全部固體の合金である。そして兩曲線の間にあるものは既に凝固した部分と、未だ熔融状態にある部分とが混在してゐるのである。

此曲線の便利なことは、BよりCに冷却する間に凝固する結晶の成分、並に残留熔融液の成分が如何に變化すべきかを明に示し得ることである。今Bを通じて水平線を引き「ソリダス」との交點C'を取れば、C'點によつて表される配合(C')を通じて垂直線を作り成分の配合を表はす水平線との交點Dを見よ、約 $M_130\%$ $M_270\%$ はやがてB點

に於て生ずる結晶の成分の配合を示す事になる。何となればC'より右にy點を取れば、y點にあるものは既にxに於て凝固したものであつて T_b より高温度で凝固したものであるから問題にはならない。次にC'より左にx點を取れば、此點にあるものは既に凝固した結晶と未だ凝固せざる熔融液との混在せるもので、吾々は今B點で凝固する結晶其物に就いて考へてゐるのだから之亦問題にならぬ。すてにC'點の左右何れも不可なりとすれば、C'點はB點で生じた結晶の成分の配合を表はすものと斷言することが出来るのである。かくて温度降るに従ひ逐次生ずる結晶は、前節に述べたやうに段々 M_1 の割合を増し M_2 の割合を減ずるけれども既に出來てゐる結晶との間に滲透が行はれてゆく。例へばO點に達したときの結晶の成分の配合割合はC'點(D'點を見よ)によつて表される。かやうにして遂にC點に達すれば凝固終り、C點自身が結晶の成分の配合割合を表はすことになる。則ち元の合金の配合の割合を示してゐるので、之は無論さうなければならぬことだ。されば凝固が始つてから終るまでの間に結晶の成分はC'から「ソリダス」に沿うてCまで變化して來るのである。次に凝固中熔融液の成分は如何に變化するかといふに、B點に達したときは勿論合金其物の配合の割合であるが、最初 M_2 を多く M_1 を少しく含有せる結晶が

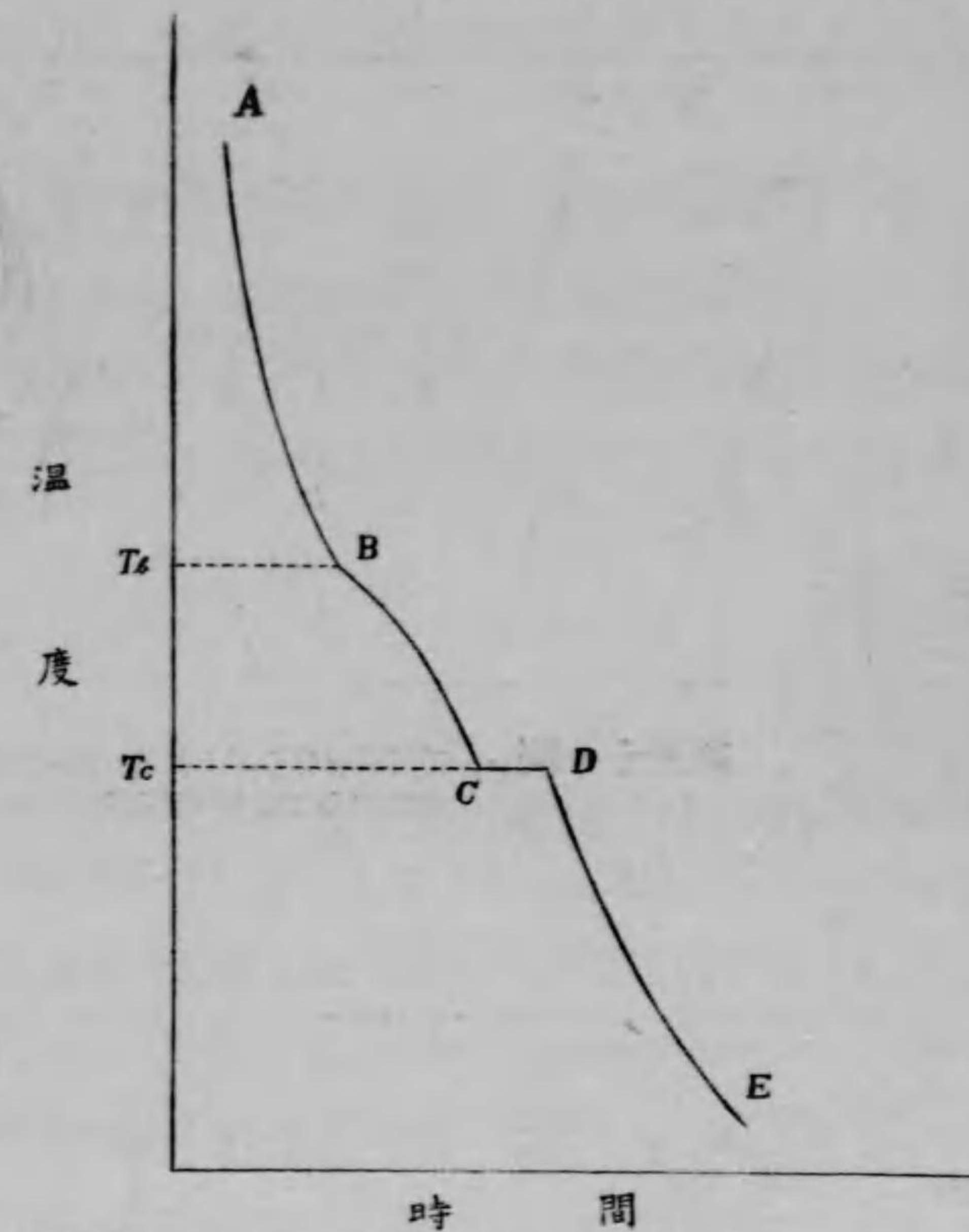
分離する結果、熔融液では M_2 の割合を減じ M_1 の割合を増してくる。例へば O 點に達したときは其割合は B' 點で表される。かくて C 點に達して最後の一滴が凝固するときは、B'' 點で表される配合のものとなる。以て如何に M_2 の割合を減じ M_1 の割合を増したかを知るべしだ。かやうにして熔融液の成分の割合は、「リクイダス」に沿うて B よ B'' まで變化するのである。

なほ二つの金屬が化合物を作り、且其化合物が餘分の一金屬と固溶體を作るやうな場合には、之を其化合物と他の一金屬との合金だと見做すときは、上に述べたところと全く同様に考へることが出来るのである。

36, 固溶體を作らざる合金の凝固。

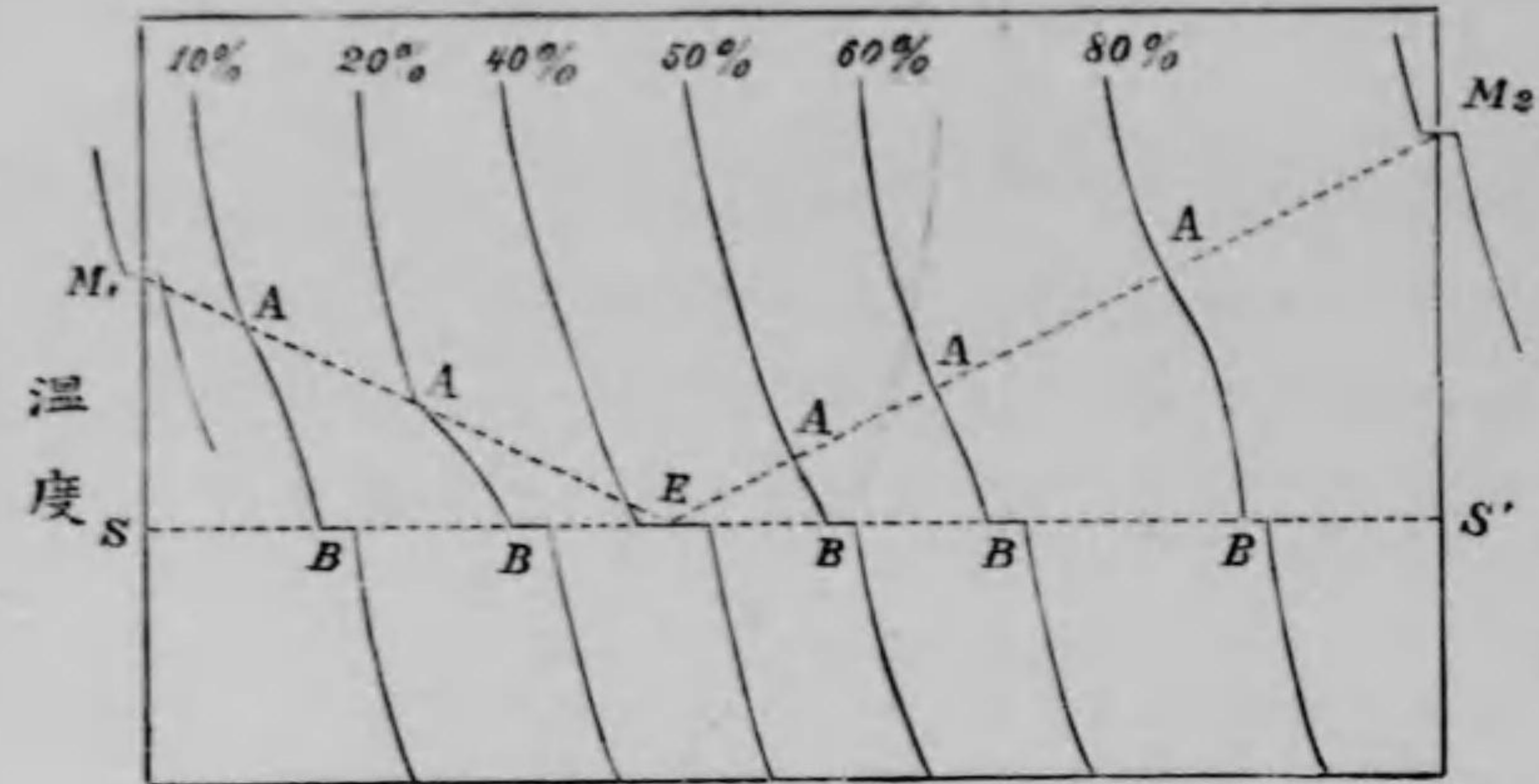
二金屬が少しも固溶體を作らないときは、第 9 節で説明した食鹽の溶液の凝固と同様になる。則ち二金屬は一定の割合に「ユ-テクティック」を作り、若し一方の金屬が餘分があれば、其餘分のものが先づ凝固する。其冷却曲線は第五十圖に示す如く四部分から成立つ。則ち AB は熔融合金の冷却を示し、BC は餘分の金屬の凝固、CD は「ユ-テクティック」の凝固を表はし、DE は凝固後の冷却を示

すのである。

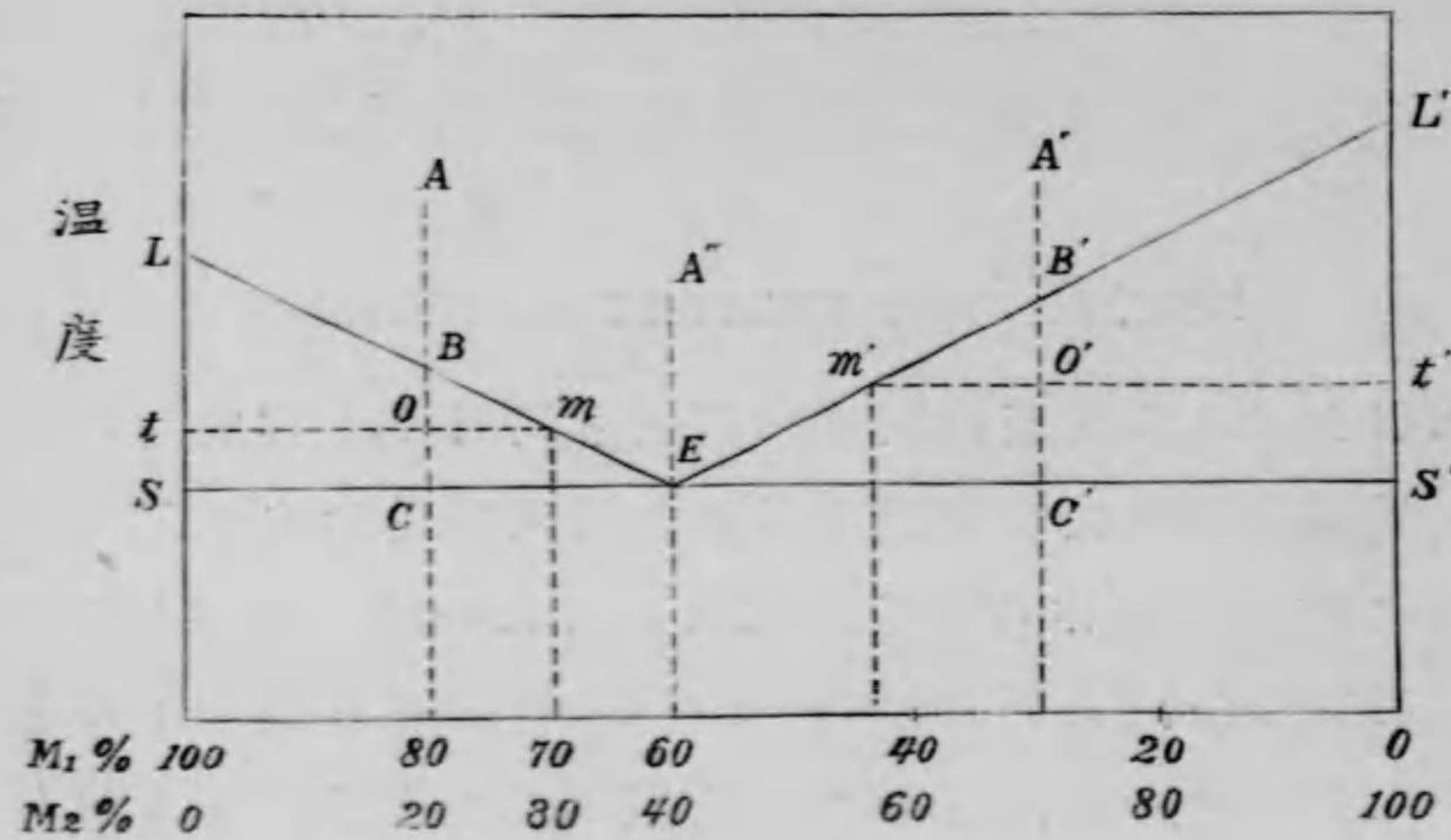


第五十圖……全く固溶體を作り得ざる合金の冷却曲線

此場合は全く食鹽の溶液の凝固と同じく、其成分の配合を異にするに従ひ凝固を始める温度を異にするが、「ユ-テクティック」を作るときの温度は常に一定して變化しない。第五十一圖は M_1 60「パーセント」、 M_2 40「パーセント」のとき「ユ-テクティック」を作るものと假定したとき、 M_2 の割合に相應せる冷却曲線を並べたものである。



第五十一圖……固溶液を作らざる合金の凝結曲線は如何にして作らるるかを示す。



第五十二圖……固溶液を作らざる合金の凝結曲線

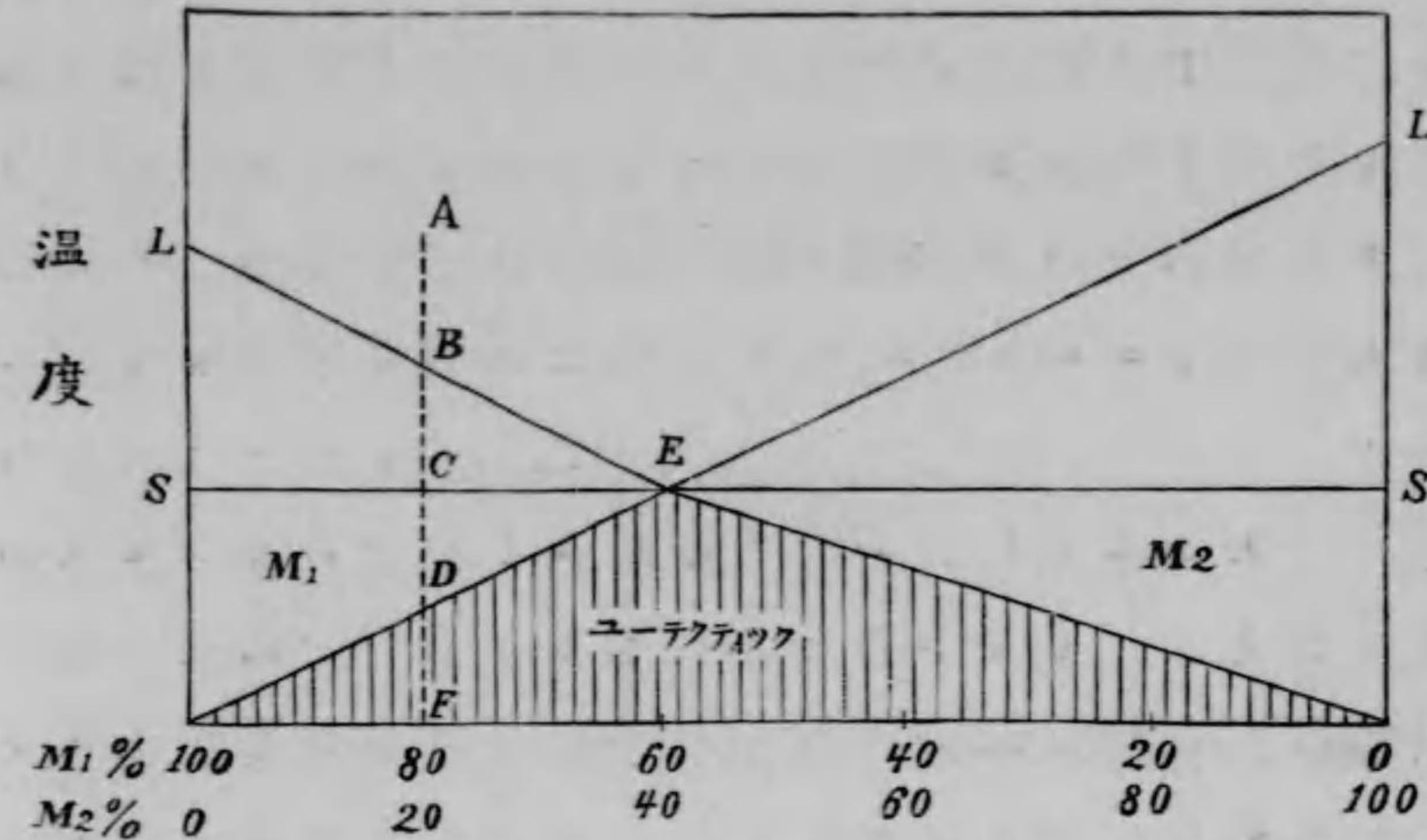
圖に於て見る如く、 M_1 のみならば無論 M_1 其物の凝固點を有つてゐるが、之に M_2 が加はると凝固を始める點が低くなり遂に M_2 40「パーセント」のとき最低となり、之より M_2 を増せば却つて凝固を始める點が高くなつて遂に極端 M_2 の凝固點に達する。そして凝固の終る點則ち「ユークレティック」を作る點は常に一定してゐる。されば、此場合には凝固を始める點は M_1EM_2 の如き屈曲線で表され、凝固を終る點は SS' の如き水平線で表されることが解る。しかし、圖は單に凝結曲線が如何にして作らるるかを示すもので、之を正確に表はすためには前節で説明したところと同様にしなければならぬ。第五十二圖はかくして作られた凝結曲線であつて、 LEL' は「リクイダス」、 SS' は「ソリダス」である。例へば M_2 を 20「パーセント」含有せる合金は B 點で凝固を始め C 點で終ることになる。この場合は前節の場合と異なり、 BC の間に凝固するものは純粹の M_1 ばかりだ。従つて其間に熔融液では M_1 を取り去らるる結果 M_2 の割合が増してくる。其模様は圖に於て明に示される。たとへば O 點溫度に達したときは、 O を通して引いた水平線と「リクイダス」との交點 m は、其時の残留液の成分の配合を表してゐる。圖に於ては M_1 70「パーセント」、 M_2 30「パーセント」となつてゐる。かやうにして残留液の成分の配合は「リクイダス」 LE に沿うて變化し、 C

點に達したときはE點で表されることになる。然るにE點はM₁ 60「パーセント」M₂ 40「パーセント」なることを示してゐるので、残留液は丁度「ユートクティック」を作る割合となり、茲て一定の溫度に於て「ユートクティック」を作るのである。若しA'點(M₁ 30%, M₂ 70%)の如き場合ならば、B'に於て凝固を始め純粹のM₂のみを凝固する結果残留液に於てはM₁の割合を増し、其配合の割合はL'Eに沿うて變化し、O'點に達すればm'、C'點に達すればE點で表されることになる。則ちB'C'の間に餘分のM₂が凝固し盡してC'點に於て残留液は「ユートクティック」を作るのである。又A''の如く合金は最初から「ユートクティック」を作る割合ならば、E點に達するまでに凝固すべきものなく、單一なる凝固點を有することになるのだ。

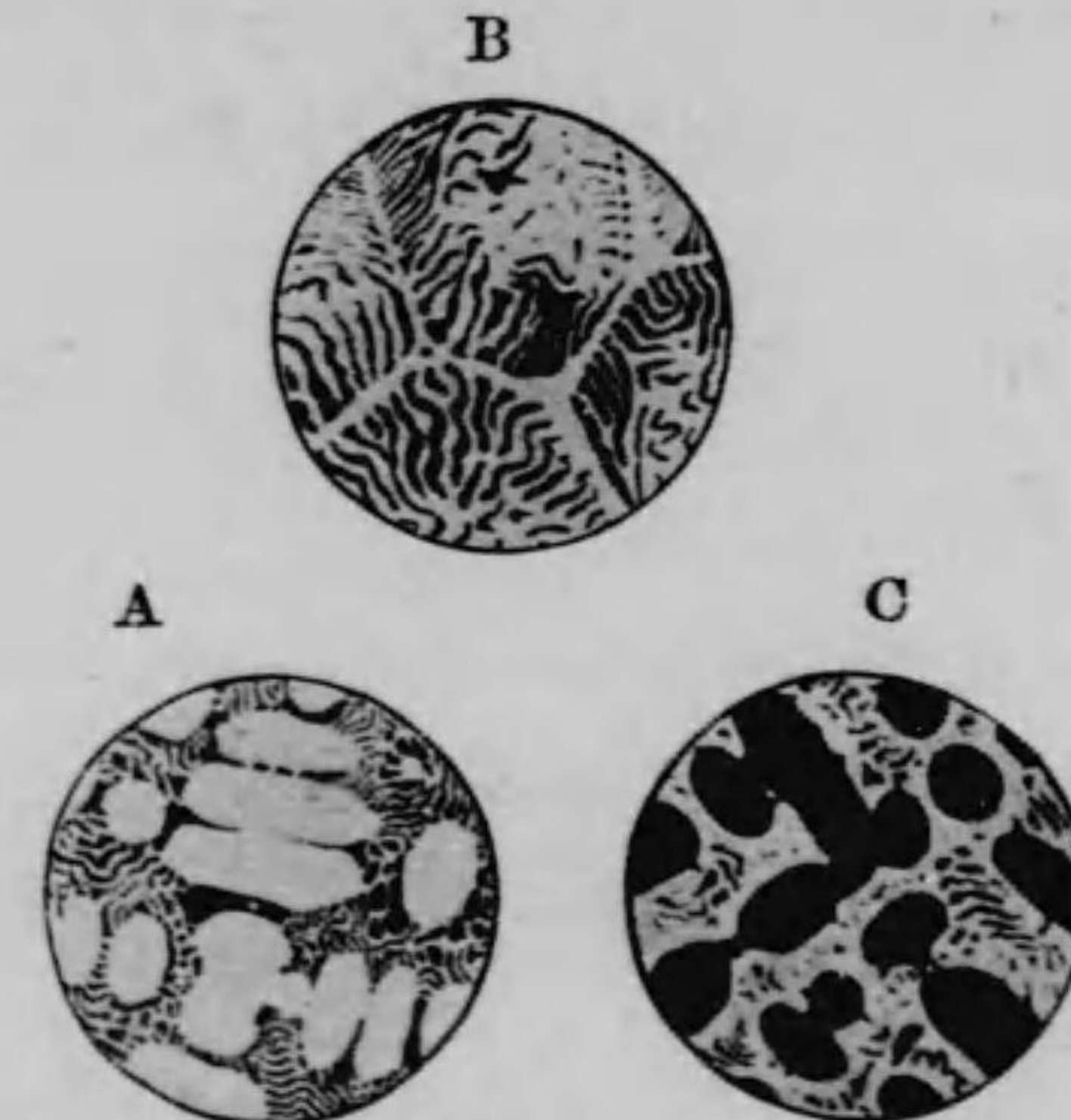
37, 固溶體を作らざる合金の三形式。

前節に説明したところによつて、M₂が零より40「パーセント」までは合金は純粹のM₁の結晶と「ユートクティック」とより成り、M₂が増すほど「ユートクティック」を増し遂にM₂ 40「パーセント」のとき「ユートクティック」ばかりとなる。M₂が40「パーセント」以上のときは、合金はM₂の結晶と「ユート

クティック」より成り、M₂が増すほど「ユートクティック」を減



第五十三圖……凝結曲線と組織的成分との關係



第五十四圖……固溶體を作らざる合金組織の三形式

ずる。かやうな場合には其化學的成分と組織的成分との關係は、第三十七圖と全く同じ方法で圖示することが出来る。第五十三圖は第五十二圖に組織的成分を表はす圖を附加したものである。

圖に於て例へば A 點 (M_1 80%, M_2 20%) を取れば、B に於て凝固を始め BC の間に餘分の M_1 を凝固し、C 點に於て「ユ-テクティツク」を作る。そして餘分の M_1 と「ユ-テクティツク」との割合は \overline{CD} と \overline{DE} との長さの割合によつて表される。他は推して知ることが出来るだらう。此種の合金は其組織によつて之を三種の形式に分けることが出来る。

第一は餘分の M_1 と「ユ-テクティツク」より成るもので、

第五十四圖 A の白色部は M_1 を表はし、他の部分は「ユ-テクティツク」である。之を「ハイポ、ユ-テクティツク合金 Hypo-Eutectic Alloy」と稱へる。

第二は全部「ユ-テクティツク」より成るもの。第五十四圖 B は之である。之を「ユ-テクティツク合金 Eutectic Alloy」と稱へる。

第三は餘分の M_2 と「ユ-テクティツク」とより成るもの。

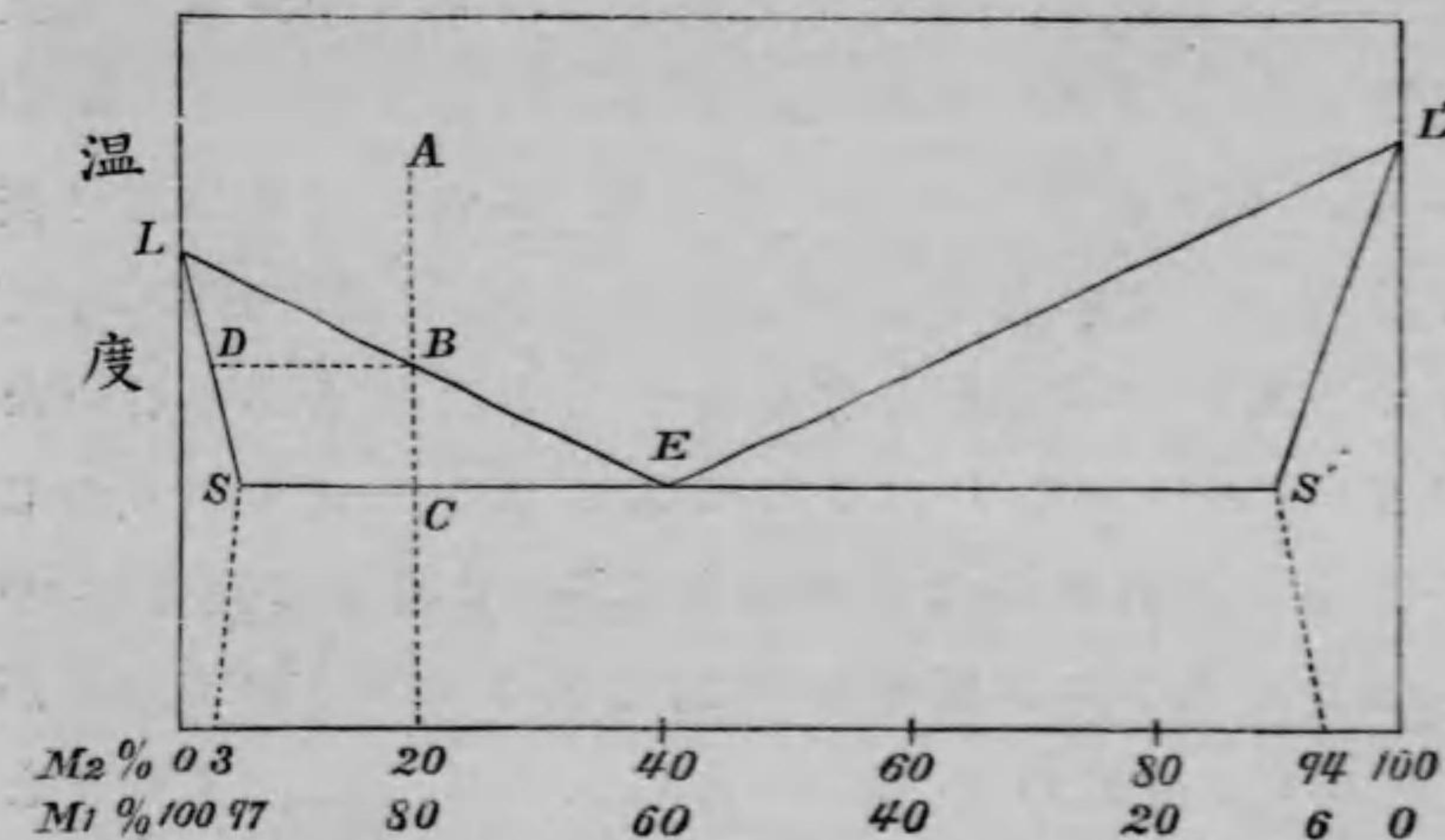
第五十四圖 C の暗黒部は M_2 を示し、他の部分は「ユ-テクティツク」を表はす。之を「ハイパー、ユ-テクティツク合金 Hyper-Eutectic Alloy」と稱へる。

以上の説明に於ては、 M_1 60「パーセント」、 M_2 40「パーセン

ト」が「ユ-テクティツク」を作るものとして説明したが、之は説明の便宜上取つた例に過ぎない。合金の種類に依つては色々な割合で「ユ-テクティツク」を作るものがあるだらう。しかし、其理論に至つては少しも異なるところがないのだ。誤解のないやう一言お断しておくのである。

38, 一部分固溶體を作る合金の凝固。

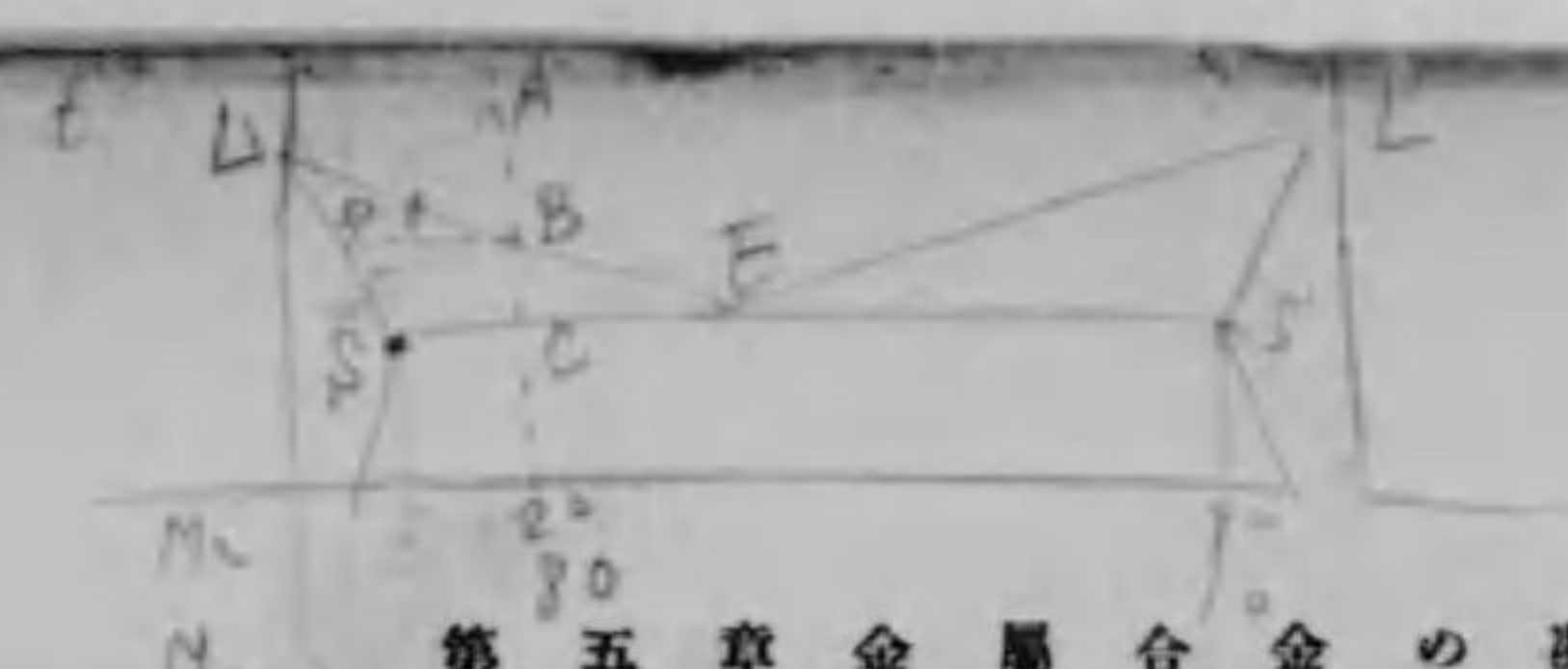
前二節に説明したやうな、少しも固溶體を作らない合金は實際極めて稀なもので、多くの場合幾分か固溶體を作



第五十五圖……一部分固溶體を作る合金の凝固曲線

るものである。今凝固したとき M_1 は 5「パーセント」の M_2 を固溶し、 M_2 は 10「パーセント」の M_1 を固溶し得るものであつて、 M_1 60「パーセント」、 M_2 40「パーセント」のとき「ユークテック」を作るものと假定すれば、其凝結曲線は第五十五圖のやうになる。

圖に於て LEL' は第五十二圖と同様「リクイダス」であるが、今度は「ソリダス」が大分變つてくる。則ち SS' は M_2 5「パーセント」及び M_1 10「パーセント」の處で終り、新に LS 及び $L'S'$ なる「ソリダス」が加はるのである。 SS' はやはり「ユークテック」を生ずる點を表はし、新に加つた LS は 5「パーセント」以下の M_2 が M_1 に固溶せるものの凝固を表はし、 $L'S'$ は 10「パーセント」以下の M_1 が M_2 に固溶せるものの凝固を表はしてゐる。この圖の意味は、第四十九圖と第五十二圖とから解釋しなければならぬ。今 A 點の如く M_2 20「パーセント」を含有するものならば、 B 點まで冷却して凝固を始める。このとき生ずる結晶は M_2 を固溶せる M_1 であつて、幾許の M_2 を含有せるかは B より水平に引いた直線と LS との交點 D によつて表される。則ちあらかじめ凝固する固溶體の成分の割合は LS に沿うて變化し、 C 點に達したときは其割合は S 點で表される。則ち M_2 が 5「パーセント」となつて、 M_1 は之以上の M_2 を固溶することは出来ないのである。以上の説明は第四十九圖の説明を



參照して貰ひたい。さて一方残留せる熔融液の成分の割合はどうかといふに、之は第五十二圖に於けると同様 LE に沿うて變化し、 C 點に達したときは熔融液の成分の割合は E 點で表され、丁度「ユークテック」を作る割合になるのである。しかし、茲て出来る「ユークテック」は單に M_1 と M_2 とから成れるものではなく、5「パーセント」の M_2 を固溶せる M_1 (DS の間に凝固したものと別物) と 10「パーセント」の M_1 を固溶せる M_2 とが薄層狀に集積したものとなるのである。此點は誤解のないやうにしなければならぬ。

若し M_2 が 40「パーセント」以上のときは、先づ M_1 を固溶せる M_2 が凝固してくるので、之は E より右方の曲線に就いて考へるが良い。そこで此種の合金の組織は次の五つの場合に分けることが出来る。

第一、 M_2 5%以下(M_1 95%以上)の場合、

M_2 は全部 M_1 に固溶す。

第二、 M_2 5%乃至 40% (M_1 95%乃至 60%)の場合、

ハイポユークテック $\left\{ \begin{array}{l} 5\% \text{の} M_2 \text{を固溶せる} M_1 \\ \text{ユークテック} \left\{ \begin{array}{l} 5\% \text{の} M_2 \text{を固溶せる} M_1 \\ + \\ 10\% \text{の} M_1 \text{を固溶せる} M_2 \end{array} \right. \end{array} \right.$

第三、 M_2 40% (M_1 60%)の場合、

ユークテイツク $\left\{ \begin{array}{l} 5\% \text{の } M_2 \text{を固溶せる } M_1 \\ + \\ 10\% \text{の } M_1 \text{を固溶せる } M_2 \end{array} \right.$

第四, M_2 40%乃至90%(M_1 60乃至10%)の場合.

ハイパーユークテイツク $\left\{ \begin{array}{l} 10\% \text{の } M_1 \text{を固溶せる } M_2 \\ \text{ユークテイツク} \left\{ \begin{array}{l} 5\% \text{の } M_2 \text{を固溶せる } M_1 \\ + \\ 10\% \text{の } M_1 \text{を固溶せる } M_2 \end{array} \right. \end{array} \right.$

第五, M_2 90%以上(M_1 10%以下)の場合.

M_1 は全部 M_2 に固溶す。

以上の中第二より第四までの三者を前節のものに比較するに、組織の基本となるべきものは前節の場合では純粋の金属であるが、本節の場合では M_1 にしろ M_2 にしろ、いくらか他の金属を固溶せる點が違ふだけであつて、組織の形式には別段相違はないのである。第五十六圖以下の三圖はかやうな三つの形式の組織を比較したもので、順次に上の第二より第四までの場合に相當するものである。

なほ一言注意して置くが、金属は高温度に於けるよりも常温に於ては他の金属を固溶する率を減ずることがある。第五十五圖に於ては常温に於ては、 M_1 は M_2 を3「パーセント」まで、 M_2 は M_1 を6「パーセント」まで固溶するもの



第五十六圖……銀と銅との合金
銅15%(450倍)



第五十七圖……銀と銅との合金
銅28%ユーク
テイツク(450倍)



第五十八圖……銀と銅との合金
銅56%(450倍)

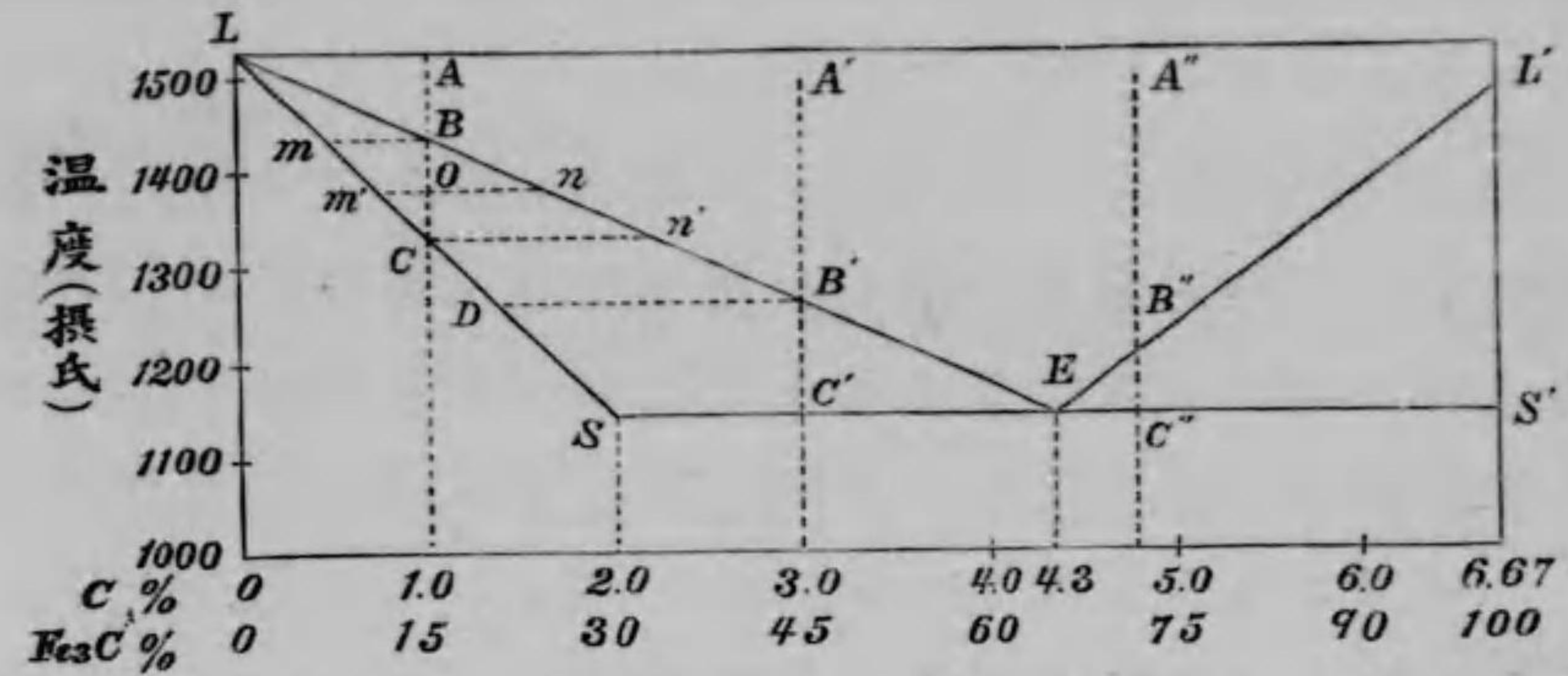
と假定した。夫故凝固したときより常温まで冷却する間に固溶する率が段々減じてくる。圖に於て S 及び S' より下方に斜に引いた點線は其變化を示すのである。かやうな場合には常温に於ける合金の組織に就いては、上に挙げた第一より第五までの場合に於て、固溶する率を5%

を3%に、10%を6%に書き換へれば良いので、別段組織の形式に変化はないのである。

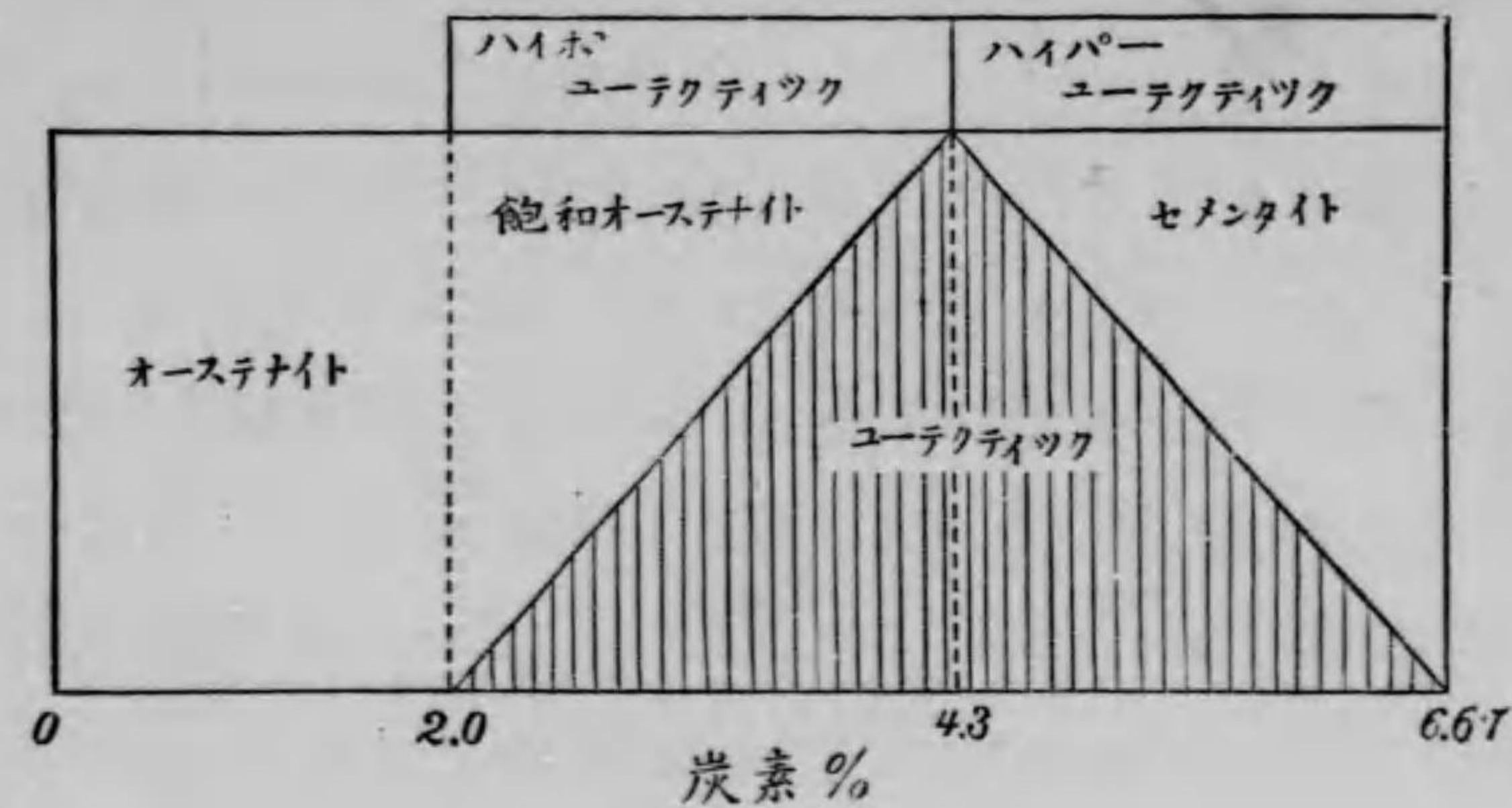
39, 鑄鐵及鋼の凝固。

鑄鐵及鋼は鐵と炭素との一種の合金と見做し得るものである。既に述べたるが如く高温度の鐵は炭素を2「パーセント」(Fe₃C 30%)まで固溶し得るもので、無制限に炭素を固溶することが出来ないものだから、前節と同様の合金だと見做すことができるのである。そして此場合には炭素4.3「パーセント」の時「ユーテクトイック」を作るのだ。其凝固曲線は第五十九圖のやうになる。いつたい鐵は熔融状態に於ても5「パーセント」以上の炭素を溶解し得ないものだから、圖に於て炭素5「パーセント」以上の曲線は必要がないのである。しかし、炭素は常に鐵と化合して「セメンタイト」Fe₃Cを作り、此「セメンタイト」が組織の要素となるものであつて、炭素6.67「パーセント」のとき「セメンタイト」は100「パーセント」となるために、圖には炭素6.67「パーセント」のところまで表はしてあるのだ。

第五十九圖の意味は前節の説明から推して知ることが出来るのだが、本書では極めて必要なものだから特に茲に説明しておかう。先づ凝固點から言つて見ると、純粹



第五十九圖...鑄鐵及鋼の凝固曲線



第六十圖...凝固終りたるときの鑄鐵及鋼の組織的成分の割合。

の鐵の凝固點は約1530度であつて勿論この温度で全部凝固してしまふ。然るに之に炭素が加はると著しく凝固點が

低くなり、且凝固は一定の温度で行はれなくなるのは他の合金と同様である。凝固の始めの點は炭素増すに従ひ LE に沿うて降り、炭素 4.3「パーセント」のとき E 點(約 1130 度)に達する。炭素が之以上に増すときは凝固の始めの點は EL' に沿うて再び高くなる。凝固の終りの點は炭素増すにつれて LS に沿うて降り、炭素 2「パーセント」のとき遂に S 點(E 點と同じ、約 1130 度)に達する。そして炭素が之より増しても凝固の終りの點は SS' で示す如く、常に一定して變化しない。さて LEL' は「リクイダス」であつて、LSS' は「ソリダス」である。「ソリダス」は二部分より成り、LS は固溶體の凝固を表はし、SS' は「ユークテック」の凝固を表はすのである。次に炭素含有量により各種の場合に分けて説明しやう。(第五十九圖を参照せよ)

第一、炭素 2「パーセント」以下の場合。

假りに炭素 1「パーセント」のものを取れば、A 點に於ては鐵は Fe_3C を溶解してまだ熔融状態にあるが温度降つて B 點に達すれば凝固を始め C 點で終ることになる。かくて凝固したものは Fe_3C を固溶せる γ 鐵、所謂「オーステナイト」である。凝固を始めたとき「オーステナイト」の炭素含有量は m 點(m を通して垂直線を引いて見よ)で表され、O 點に於ては m' 點で表されることになる。則ち「オーステ

ナイト」の炭素含有量は凝固中 LS に沿うて變化し、凝固終つたときは O 點で表され、丁度 1「パーセント」の炭素を含有することになる。一方熔融液の成分は凝固中如何に變化するかと言ふに、前節と同じく LE に沿うて變化するので、O 點に於ては n 點で表され、凝固の終る瞬間には n' 點で表される。若し 2「パーセント」の炭素を含有せる場合ならば、凝固の終りは S 點となり、「オーステナイト」は無論 2「パーセント」の炭素を含有せるものとなる。前に述べたやうに「オーステナイト」は 2「パーセント」以上の炭素を含有することが出来ないのだから、この場合のものを飽和「オーステナイト」と稱へる。

第二、炭素 2% 以上 4.3% 以下の場合。

假りに A' 點にある炭素 3「パーセント」のものを取ると、B' 點に於て凝固を始め C' 點で終る。B' 點に於て生ずる「オーステナイト」の炭素含有量は D' で表され、凝固進むにつれて LS に沿うて變化し、C' 點に達すれば S 點で表される。則ち飽和「オーステナイト」となるのである。然るに一方熔融液の組成は LE に沿うて變化し、C' 點に達したときは E 點で表されることとなり、炭素が丁度 4.3「パーセント」(残留熔融液に對して)となるから、残りのものは「ユークテック」を作るのである。此「ユークテック」は「セ

メンタイト」と飽和「オーステナイト」(B'C' の間に生じたものとは別物)とが薄層状に集積せるものである。この場合に生じた組織は所謂「ハイポユータクティック」であつて、之を表示すれば次のやうになる。

$$\text{炭素含有量} 2.0\% \text{ 乃至 } 4.3\% \dots \left\{ \begin{array}{l} \text{飽和「オーステナイト」} \\ \text{ユータクティック} \left\{ \begin{array}{l} \text{飽和「オーステナイト」} \\ \text{セメントイト。} \end{array} \right. \end{array} \right. \\ \text{(ハイポユータクティック)}$$

このものの顕微鏡的組織は第六十一圖に示してある。圖に於て暗黒部は餘分の飽和「オーステナイト」で、他の部分は「ユータクティック」である。今飽和「オーステナイト」の百分率を A、「ユータクティック」の百分率を E、鐵中の全炭素量を C と表すと、

$$A + E = 100 \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{2.0}{100} \times A + \frac{4.3}{100} \times E = C \dots \dots \dots (2)$$

なる二式を得る。そこで炭素の量さへ解れば夫を(2)式の C に代入して、この聯立方程式を解けば、飽和「オーステナイト」と「ユータクティック」の割合を知ることが出来る。上の式の意味は第22節を参照すれば解るだらう。



第六十一圖……鐵と炭素との合金、ハイポユータクティック、凝固せる際の組織(600倍)



第六十二圖……鐵と炭素との合金、ユータクティック、凝固せる際の組織(600倍)



第六十三圖……鐵と炭素との合金、ハイパーユータクティック、凝固の際の組織(600倍)

第三、炭素 4.3「パーセント」の場合。

この場合には温度が E 點(約 1130 度)に達するまで少しも凝固することなく、E 點に於て全部「ユータクティック」となる。その組織を表示すれば次のやうになる。

炭素含有量 4.3 % { 飽和「オーステナイト」。
(ユ-テクティック) { セメンタイト。

之を顯微鏡て見た有様は第六十二圖に示してある。これは既に第十六圖に示したのと同様のものであるが念のため茲に出したのである。圖に於て飽和「オーステナイト」(暗黒部)と「セメンタイト」(白色部)とが薄層となつて交互に集積せる有様を明瞭に認めるところが出来る。今第二の場合の記號の外に Cm を以て「セメンタイト」の百分率を表はすときは、「ユ-テクティック」に就いて次の二式を得る。

$$A + C_m = 100 \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{2.0}{100} \times A + \frac{6.67}{100} \times C_m = 4.3 \dots \dots (4)$$

この聯立方程式を解くと、「ユ-テクティック」は約 49.2「パーセント」の「セメンタイト」と、50.8「パーセント」の飽和「オーステナイト」を含有せるものである。

第四、炭素 4.3「パーセント」以上の場合。

假りに A' 點(炭素 4.8%)を取れば B' に於て凝固を始め C' 點で終る。B'C' の間に凝固するものは第二の場合と異なり、今度は「セメンタイト」である。従つて凝固進むにつれて残留液の炭素の割合は減じてくる。其變化は EL' によつて表され、C' 點に達した時は炭素の割合は 4.3「パ

ーセント」となり、「ユ-テクティック」を作るのである。この場合の組織は所謂「ハイパー、ユ-テクティック」で之を表示すると次のやうになる。

炭素 4.3 % 以上 { セメンタイト
(ハイパー、ユ-テクティック) { ユ-テクティック { 飽和「オーステナイト」
{ セメンタイト

之を顯微鏡て見た有様は、第六十三圖に示す如く餘分の「セメンタイト」は針状となつて「ユ-テクティック」の間を走つて居るのである。この場合の組織に就いては次の二式によつて計算することが出来る。

$$C_m + E = 100 \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{6.67}{100} \times C_m + \frac{4.3}{100} \times E = C \dots \dots (6)$$

以上説くところの四つの場合を概括すれば、炭素 2「パーセント」以下のものは炭素の量如何に關らず總て「オーステナイト」となり、炭素が 2「パーセント」を超すと「ユ-テクティック」を増して飽和「オーステナイト」を減じ、4.3「パーセント」のとき全部「ユ-テクティック」となる。炭素 4.3「パーセント」を超過するときは「ユ-テクティック」を減じて「セメンタイト」を増し、遂に 6.67「パーセント」のとき「セメンタイト」ばかりになる。此變化の様子は第六十圖に於いて明瞭に表

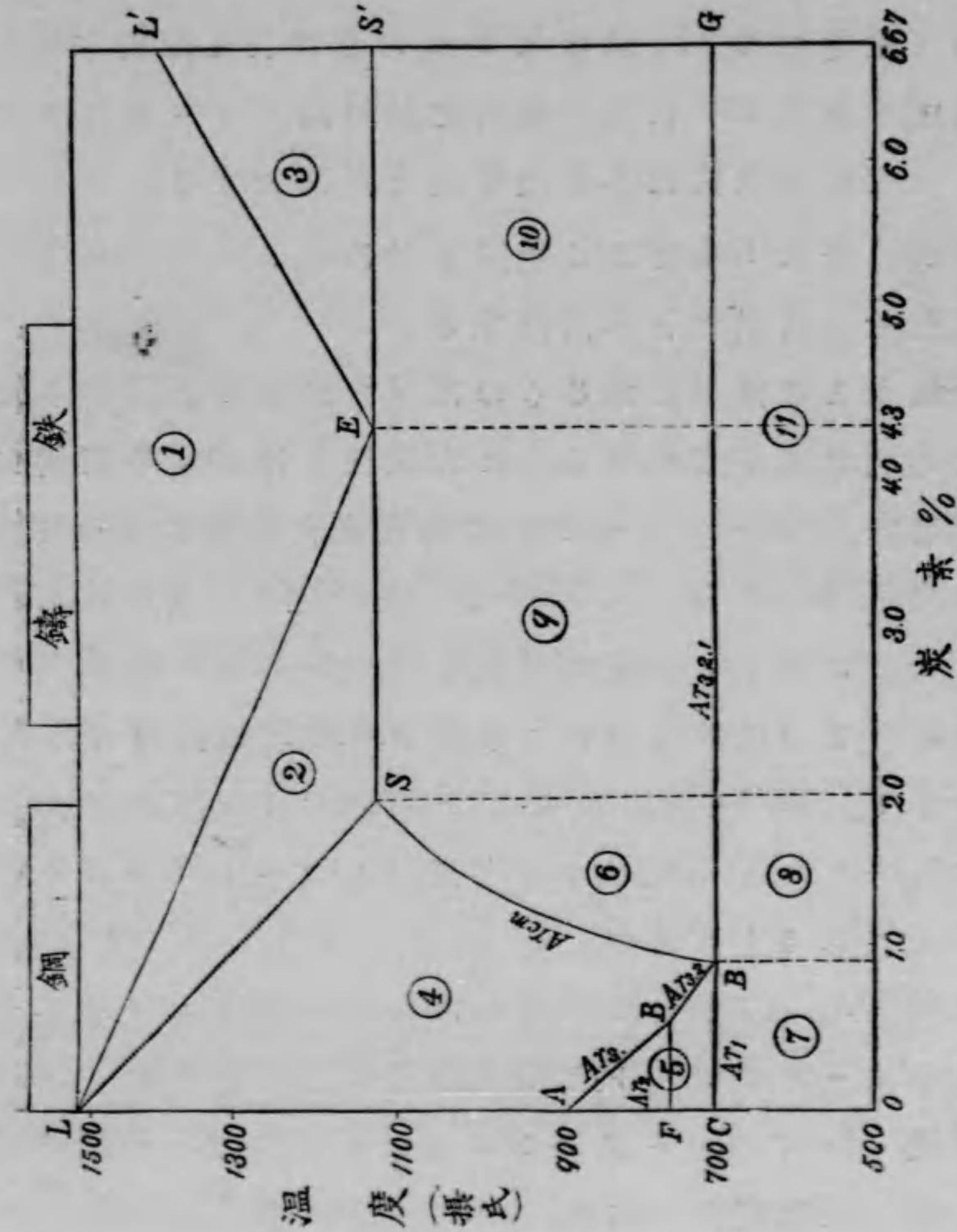
されてゐる。

上に挙げた第二より第四までの組織を第21節で述べた鋼の三つの形式の組織に比較するに、前者の「フェライト」を飽和「オーステナイト」で置き換へただけであつて非常に酷く似てゐる。名稱まで似てゐるのである。しかし、(第一)前者は炭素2「パーセント」以下の場合に起り、後者は炭素2「パーセント」以上の場合に起ること。(第二)後者は凝固の際生ずるもので次節に述ぶる如く常温に於ては存在しないものだが、前者は凝固點より遙に低い温度で生じ且常温に於て存在し得ること。この二ヶ條の主要なる相違點によつて両者は全然異なるものだといふことが解るだらう。決して混同すべからざるものである。

40, 鑄鐵及鋼の完全なる變化。

前節に述べたのは單に熔融狀態より凝固するまでの變化であるが、既に述べたやうに鋼は常温まで冷却する間に色々變化するものだし、鑄鐵も亦色々變化するのである。鋼の變化に就ては第四十二圖に其曲線を示しておいた。今同圖と第五十九圖とを組合して見れば、鋼は熔融狀態から常温まで冷却する間に如何なる變化を経るもの

かといふことを一目瞭然たらしめ得る筈だ。此目的で作られた曲線は第六十四圖に示すやうな形状のものとなる。この圖は甚だ複雑なものだが、極めて重要なものだから



第六十四圖……鑄鐵及鋼の完全なる平衡圖。

充分了解しておかねばならぬ。圖の主要なる區域(區域の意味に就いては第30節を参照せよ)に符號を付けておいた。次にこの符號によつて全般の説明をすることにす。

①區域. この區域にあるものは「リクイダス」LEL' 以上にあつて全部熔融し、炭素は Fe_3C の形に於て溶解する。

②區域. 既に LE に於て凝固を始めた「オーステナイト」と、未だ熔融状態にある残留液とが混在する。

③區域. 既に LE に於て凝固を始めた「セメンタイト」と、残留せる熔融液とが混在する。

④區域. この區域にあるものは IS に於て凝固終了たる「オーステナイト」であつて、この區間を冷却する間變化は起らない。「オーステナイト」は其炭素含有量によつて變態點 A_{r_3} 又は $A_{r_{3.2}}$ に至つて「フェライト」を分離し、或は $A_{r_{cm}}$ に達して「セメンタイト」を分離する。

⑤區域. この區域は二つに分たれ、ABF の間のものは β 「フェライト」、FBDC の間のものは α 「フェライト」であるが何れにしても「フリー、フェライト」と残れる「オーステナイト」とが混在してゐるのである。

⑥區域. $A_{r_{cm}}$ に於いて分離した「フリー、セメンタイト」と残留せる「オーステナイト」とが混在する。

⑦區域. 「ハイポ、ユーテクトイド鋼」であつて、常温まで冷却するも最早變化しない。

⑧區域. 「ハイパー、ユーテクトイド鋼」最早常温まで變化が起らない。⑦と⑧との境目のものは「ユーテクトイド」鋼で、之亦常温まで變化しない。

以上は所謂鋼の説明であるが、圖によつて炭素含有量を異にするに従ひ、凝固の終始の點並に變態點が如何に變化するか、又三種中何れの形式の鋼となるか、といふやうな事柄を一目の下に見ることが出来る。

さて、然らば炭素 2「パーセント」以上のものはどうかといふに、「ソリダス」SS' を經過したときは炭素含有量によつて前節に述べたやうな三つの形式の組織となるが、之等は凝固したときだけの話で、冷却するに従つて變化し、いつまでも第六十一圖以下の三つの圖のやうな組織を維持することの出来ないものである。次に又順を追うて其變化を説明しやう。

⑨區域. この區域に屬するものは「ハイポ、ユーテクティク」であるが、この區間を冷却する間に餘分の飽和「オーステナイト」及び「ユーテクティク」中の飽和「オーステナイト」から「セメンタイト」を分離する。かく分離した「セメンタイト」及び「ユーテクティク」中の「セメンタイト」は、冷却の度合によつて一部分又は全部黒鉛グラフアイト(第七章参照)と「フェライト」とに分離する。かやうにして約 675 度 ($A_{r_{3.2.1}}$) に達したとき「オーステナイト」が残つてゐるならば、ここで「パーライト」に

變ずるのである。

⑩區域. この區域のものは「ハイパー、ユーテクティック」であるが、冷却するにつれて「ユーテクティック」中の飽和「オーステナイト」から「セメンタイト」を分離する。かく分離した「セメンタイト」及び「ユーテクティック」の内外にあつた「セメンタイト」はすべて冷却の度合によつて一部分又は全部黒鉛と「フェライト」に分解する。かやうにして $A_{r_{3.2.1}}$ に達したとき尙「オーステナイト」があれば「パーライト」に變化するのである。

⑨⑩の境目. のものは「ユーテクティック」であるが、これも亦冷却するにつれて「オーステナイト」から「セメンタイト」を分離し、「セメンタイト」は冷却の模様によつて一部分又は全部黒鉛と「フェライト」とに分解し、 $A_{r_{3.2.1}}$ に於て「パーライト」を作ること前の二つの場合と同様である。

以上の説明によれば「パーライト」を生ずべき變態點 $A_{r_{3.2.1}}$ は獨り鋼に存するのみならず、炭素2「パーセント」以上の鐵にも存在せるものである。夫故圖に於てはG點まで連續さしてあるのだ。この場合に於ては冷却の緩急は非常に大なる影響のあるもので、もし極めて徐々に冷却し且黒鉛の發生を助くる硅素を多量に含めるときは、「セメンタイト」を全部分解せしめ、「パーライト」を作るべき「セメン

タイト」がなくなるかも知れない。かやうな場合には組織は黒鉛と「フェライト」ばかりになる。或は冷却が急激に行はれたならば、少しも「セメンタイト」の分解が行はれないかも知れない。かやうな場合には「パーライト」の外に多量の「セメンタイト」を含有せるものとなる。

又上に述べたところから見ると、 SS' 以下 $A_{r_{3.2.1}}$ までの間の變化は何れも同様のもつと見做すことが出来る。従つて $A_{r_{3.2.1}}$ の區域を一括して⑩とした。此區域に於けるものは最早變化しないものだが、以前の冷却の度合によつて、次の四つの組織に區別することが出来る。

- | | | | |
|----|-------|---|-----------------------|
| 第一 | | { | 黒鉛
フェライト |
| 第二 | | { | セメンタイト
パーライト |
| 第三 | | { | 黒鉛
フェライト
パーライト |
| 第四 | | { | 黒鉛
セメンタイト
パーライト |

この中第一のものは極めて稀に存すべきもので、容易に得られない。第二のものは所謂白銑鐵と稱へるもので、「ハイパー、ユークトイド鋼と同じ系統のものである。第三第四のものは所謂鑄鐵に屬すべきものだ。讀者試に各の組織より黒鉛を取り去つたものを考へて見給へ。面白い關係を覺り得るであらう。之等に関する詳細は第七章で説明するのである。

上に述べたところに依つて明かなる如く、第六十四圖は鐵と炭素との一種の合金が、熔融状態から常溫にまで冷却する間に如何に變化するものかといふことを一目瞭然たらしむるものだ。かやうな圖は平衡圖 Equilibrium diagram と稱へるもので、合金の研究上極めて必要なものである。現今各種の合金の平衡圖は殆ど研究し盡されてゐる。

第六章 鋼の組織の變化

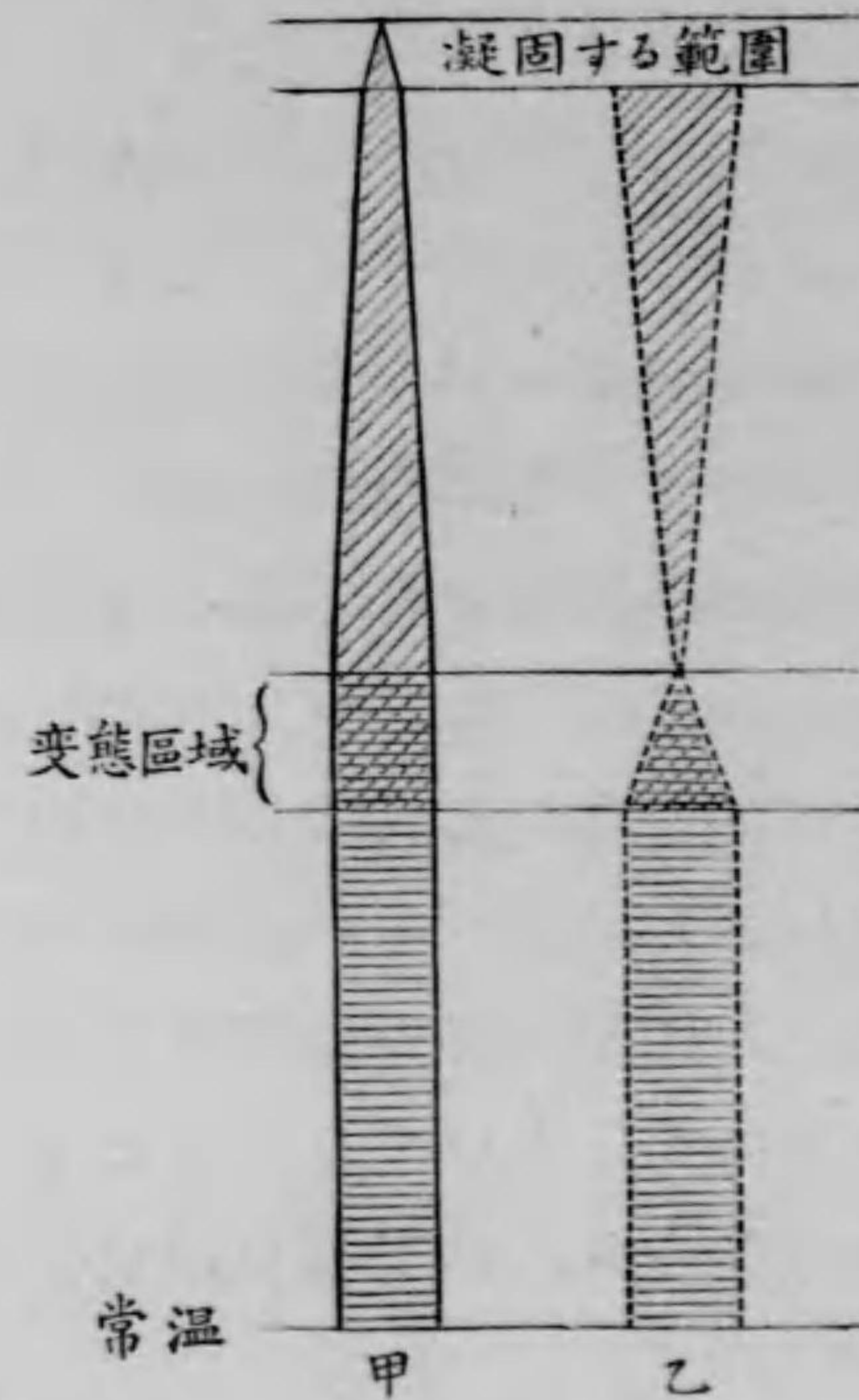
41, 鋼の處理法に就いて。

鋼を加熱又は冷却し、或は之を機械的に處理することによつて其組織を變化し、従つて其性質を著しく變化せしむることが出来るといふことは、工業上誠に必要な事柄である。Howe が其著 Iron steel and other Alloys に於て述べてゐるやうに、鋼に於ける處理法は恰も調理法に於ける如く肝要なものである。腐つた材料を以てしては如何に卓越せる技能を有するコックでも、之を善良なる食物とすることは出来ないが、良き材料を下手法によつてより悪くすることはわけのない話だ。鋼に於ても亦かくの如く、化學的成分の不良なるもの又は前の處理法を誤つたため全くだめになつた鋼を、より悪くすることは何でもないが、之を良質のものに變ずることは到底望まれない。しかし、良き材料を悪くするのは誰にても容易に出来る。されば、鋼の處理法に就いては根本の理を明にし、明確な考を有つてゐることは極めて必要なことと言はねばならぬ。以下項を別つて説明することとしやう。

第一項 加熱による變化及鋼の焼鈍。

42, 加熱の際起る鋼の變化。

鋼を高温度から徐々に冷却すれば色々な變化が起り、逆に加熱すれば冷却の際の逆現象の起ることは既に説明しておいたが、之に就いては尙説明すべき事柄がある。



第六十五圖……加熱及冷却の際鋼の結晶粒の大きさの變化

Sauveur は冷却及加熱の際に鋼の結晶粒の大きさが如何に變化するか、といふことに就いて明瞭な説明法を用ゐてゐる。第六十五圖に於ては高さを以て温度を表はし、陰線を施した部分の幅を以て結晶粒の大きさの變化を表すのである。甲圖は冷却の際の變化を示すもので、凝固を始めてから「オーステナイト」の結晶粒は段々大きくなるが、しかし凝固の終つた頃はまだまだ微細な組織を有つてゐる。この「オーステナイト」の結晶粒は徐々に冷却せらるるにつれて漸次其大きさを増し、遂に變態點に達する。ここでは第四章に述べたやうに色々な變化が起るわけだが、兎に角「セメンタイト」が「フェライト」に固溶してゐたものが、變態區域を通過する間に兩者の聚合體に變ずる(鋼の組織は三つの形式に分つことが出来ても何れも「セメンタイト」と「フェライト」とが聚つたものだ)。しかし此變化のために結晶粒の大きさに影響を及ぼすことなく、變態點以下に冷却した鋼は、「オーステナイト」が變態區域に達したとき有つてゐたと同じ大きさの結晶粒を有するものである。そして之が常温まで冷却しても結晶粒の大きさは最早少しも變化しないのだ。

次に乙圖は一旦常温に冷却した鋼を再び加熱する場合を示すもので、之によると結晶粒の大きさは變態點に達するまでは變化せず、變態區域を通過する間に全部「オース

テナイト」となり、極めて緻密な^{ユニフォーム}等齊な組織となる。なほ之を熱すると「オーステナイト」は結晶を始め、温度昇るにつれて段々其大きさを増すのである。

上の事柄は之から説明することに重大な関係のあるものだから、念のため三形式の鋼に就いて別々に説明しておかう。

(a) 「ユニフォーム鋼の場合

この場合には A_{c2} (約 700 度餘) に達すれば、一時に「オーステナイト」に變じ、之より温度昇るるに従ひ「オーステナイト」の結晶粒は大きさを増してゆく。

(b) 「ハイポユニフォーム鋼の場合。

この場合には A_{c1} に於て「パーライト」だけが「オーステナイト」に變じ、「フリー、フェライト」は其儘存在し、炭素含有量の多少に應じて A_{c3} 又は A_{c2} (則ち其鋼の最高の變態點) に達して始めて全部「オーステナイト」となる。茲に注意すべきことは「フリー、フェライト」が「オーステナイト」のなかに入る頃には、既に A_{c1} に於て生じた「オーステナイト」の結晶粒はいくらか大きくなつてゐることだ。全部「オーステナイト」になつたときから結晶を始めるのでは決してない。

(c) 「ハイパーユニフォーム鋼の場合

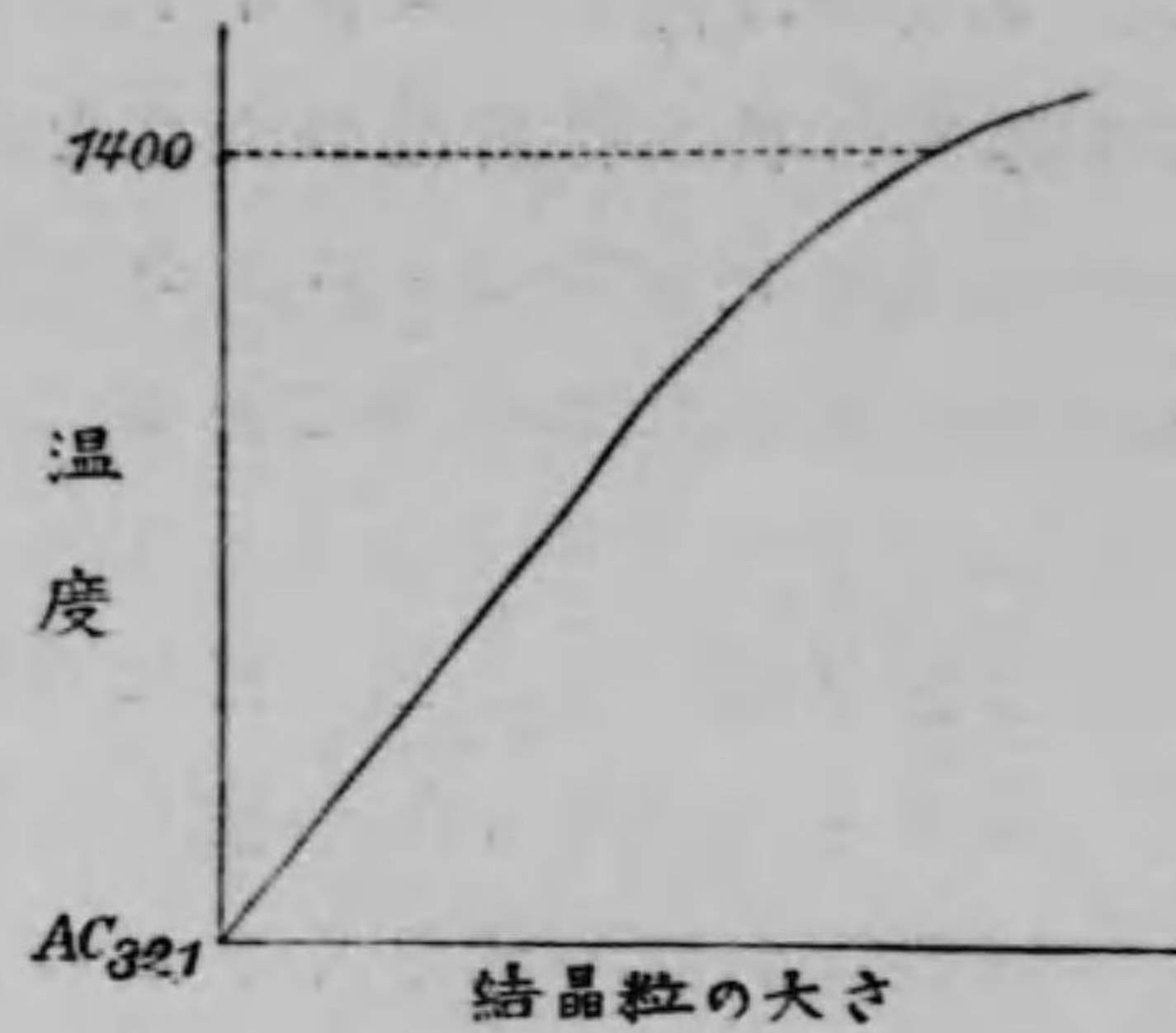
この場合には A_{c3} に於て「パーライト」が「オーステナイト」に變じ、温度昇るに従ひ結晶粒の大きさを増し、 A_{cm} に於て「フリー、セメンタイト」も亦「オーステナイト」のなかに入つて全部「オーステナイト」になるのである。

以上の三つの場合を總括すると、何れの場合に於ても最低の變態點から「オーステナイト」の結晶が始まり、温度が昇るにつれて結晶粒が段々大きくなるのである。之から見ると、乙圖の如く變態區域の頂上に達したときから「オーステナイト」の結晶を始めると見るのは少しく間違つてゐる。此點はよく注意してゐて貰ひたい。

43, 最高温度と結晶粒の大きさとの關係。

上に述ぶる如く最低の變態點以上に加熱するときは、「オーステナイト」の結晶粒の大きさを増すものであるが、^{ソーヴェーヌ}Sauvenr の考では其大きさは温度に比例するやうに見える。^{ホウ}Howe も亦「オーステナイト」の結晶粒の大きさは、最低の變態點より上に熱せられた温度數に比例するものとなし、「ユニフォーム鋼」の結晶粒の大きさと最高温度との關係を第

六十六圖の如き曲線で表はしてゐる。



第六十六圖 …… 最低の變態點以上の温度と「ユ-テクトイド」鋼の結晶粒の大きさとの關係

この圖によれば「ユ-テクトイド」鋼では、「オーステナイト」の結晶粒の大きさは最低の變態點 A_{c321} に於て零であつて、之より温度昇るにつれて之に正比例して其大きさを増し、約 1200 度からは急に其大きさを増すのである。Sauveur 及び Howe は炭素 1.10%、硅素 0.02%、マンガン 0.41% の鋼に就いて研究の結果、最高温度と結晶粒の大きさとの關係を次の式で表した。

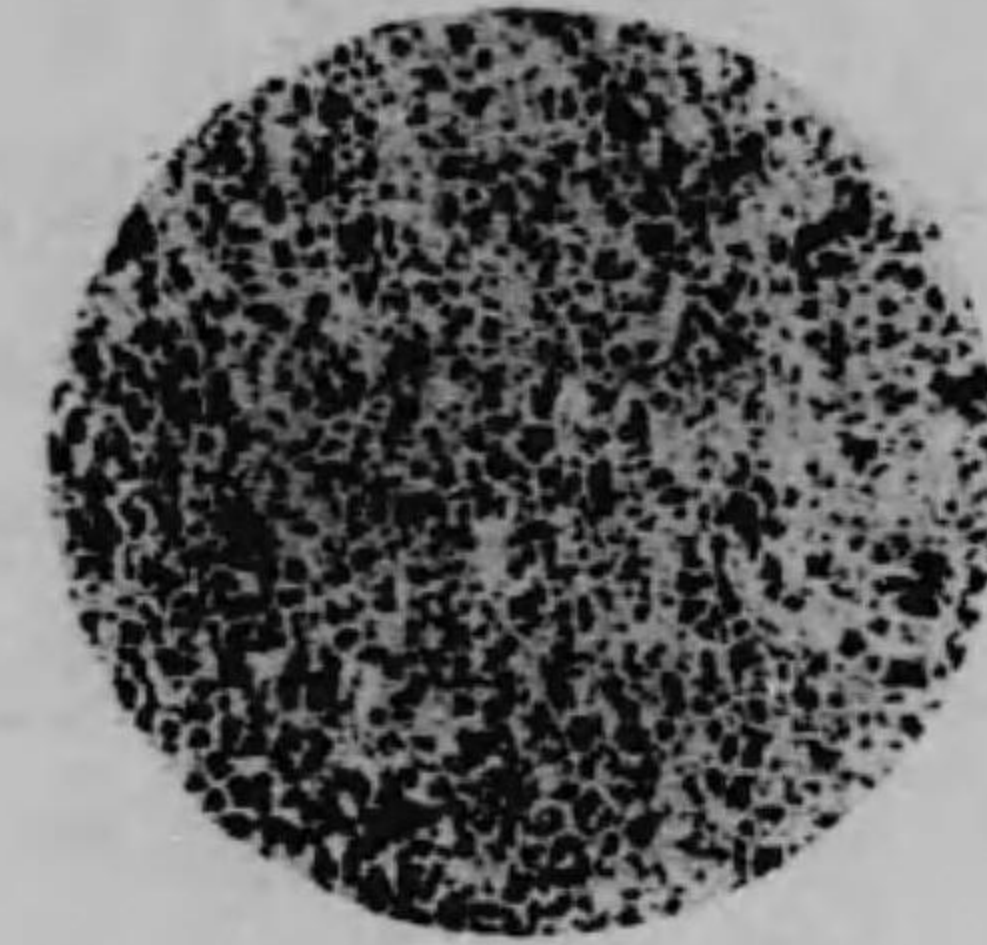
$$A = \frac{T - 680}{281250}$$

この式に於て T は最高温度、A は 250 倍に擴大したと

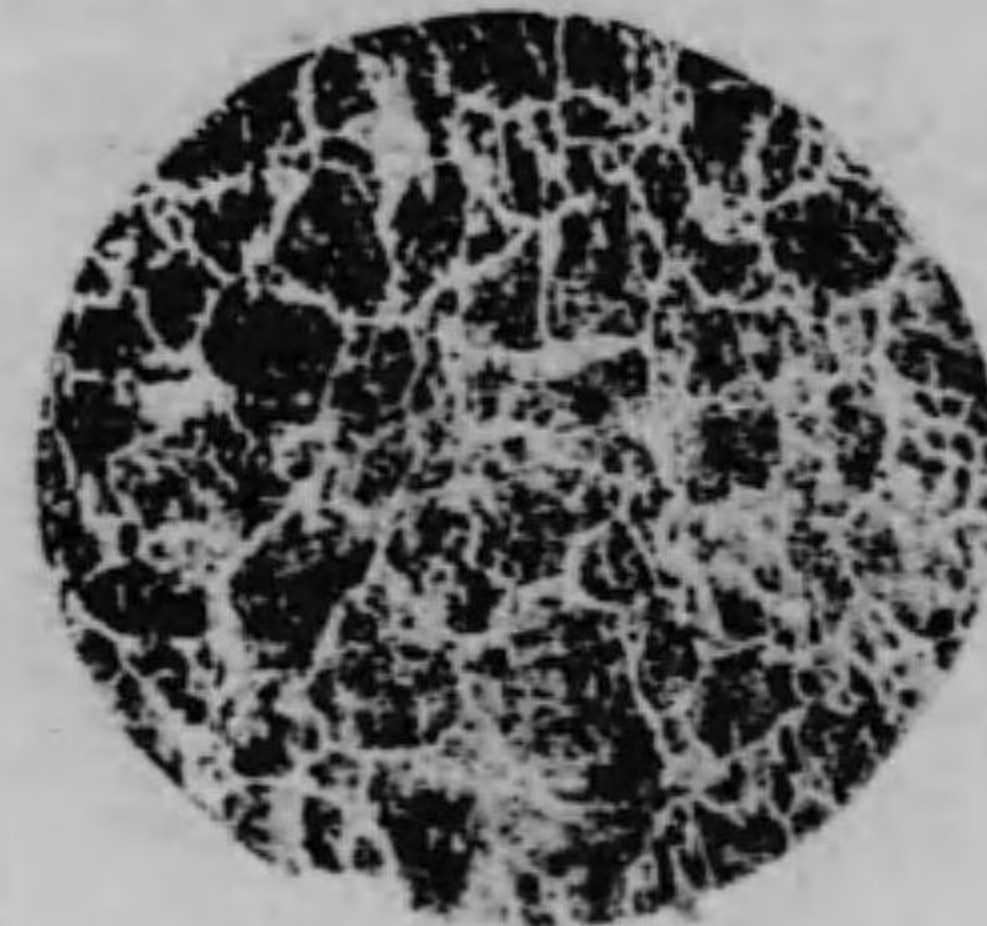
きの結晶粒の斷面積を平方耗て測つた數である。Tschernoff は實驗上この式は 1400 度以下の温度に於ては正しいものだと言つてゐる。今加熱の際の最低の變態點を 680 度(稍低きに失するが)と見做すときは、 $T-680$ は最低の變態點以上の温度數を表はすことになる。

以上によつて兎に角、吾々は加熱の際「オーステナイト」の結晶粒の大きさは、最低の變態點以上の温度數にほぼ比

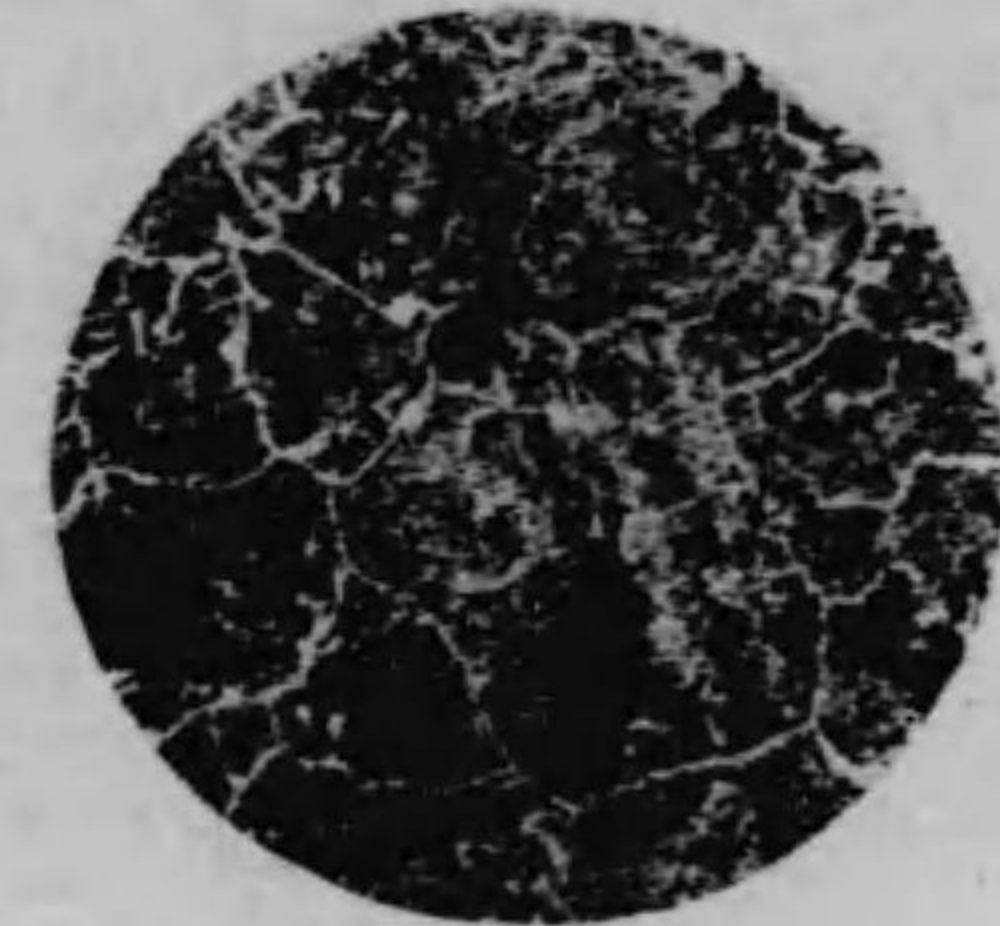
A... 900 度に熱せられたるもの



B... 1200 度に熱せられたるもの



C... 1300 度に熱せられたるもの



第六十七圖 …… 加熱の最高温度と結晶粒の大きさとの關係比較

例することを知つたのである。なほ第六十七圖に於ける三つの圖を比較すれば、最高温度の高いほど結晶粒の大きさが著しく増加せることを明かに認めることが出来るだらう。

さて鋼が或温度に達したとき、其結晶粒の大きさが其温度に相應せるものより小さければ、之に時間を與へてやれば段々其大きさを増し遂に其温度に相應した大きさに達するものだ。次に或温度に於て結晶粒が其温度に相應せるものよりも大き過ぎるときは、この鋼は一旦もつと高い温度に熱せられ、然る後今の温度に冷却したもので、冷却によつて結晶粒は小さくはならないのである。このことは常温まで冷却したときも同様で、常温に於て有する結晶粒の大きさは、加熱の際最高温度に於て得たものと同一である。

44, 結晶粒の大きさと鋼の物理的性質との關係。

結晶粒の大きさは非常に大切なもので、一般に結晶粒が細かいほど強度大にして靱性に富み、之に反して結晶粒の粗なるものは力も弱く且脆いものである。第四表によつて同じ成分の鋼でも、其結晶粒の大きさが増すにつれて

強さを減じ脆さを増すことが解るだらう。伸張率の小なることは脆いといふことを表はしてゐるのである。

第四表……結晶粒の大きさと鋼の性質との關係

結晶粒の大きさ (平方ミクロン)	抗張力 (毎平方ミクロン)	伸張率 (%)
0.0148	69.6	15.0
0.0118	70.3	19.0
0.0062	77.7	22.5

45, 最高温度と鋼の物理的性質との關係。

上に述ぶる如く鋼を加熱する温度の高低によつて結晶粒の大きさを變じ、從つて其物理的性質を變化するのだから、加熱の際の最高温度と鋼の性質との間には重要な關係があるに相違ない。殊に鋼の強度、弾性、伸張率などが如何なる影響を受けるかを明にすることは、工業上重要な事柄である。しかし、不幸にして此點に關してはまだ充分なる實驗の結果がない。今其大體の關係を擧げて見ると次のやうになる。

(a) 弾性に及ぼす影響

弾性は A_c (700 度餘) に於て最小となり、夫れより温度

昇るに従ひ漸次増加して 800 度前後に於て最大となる。之より温度が昇れば却つて減少する。そして弾性は徐々に冷却するほど減ずるものである。

(b) 強度に及ぼす影響

炭素含有量少なき鋼では餘り影響がないが、炭素の可なり多いものでは A_{c1} 以上に温度が昇るに従ひ強度を増し、800 度前後からは急に減ずる。

(c) 伸張率に及ぼす影響

炭素含有量少なき鋼では太した影響はないやうである。炭素 0.5「パーセント」の鋼に就いて実験した結果を見るに、伸張率は温度昇るにつれて増加し、1200 度乃至 1300 度から急に減少してゐる。

46, 鋼の過焼。

炭素含有量多き鋼を取り之を融解點近くまで熱すると、非常に脆く熱脆性並に冷脆性著しくなり、其断面は粗くしてびかびかしたものとなる。かやうな鋼を過焼 Burning したと稱へる。Howe によれば鋼の過焼は、其温度に於て空気中の酸素が鋼のなかに侵入し、其炭素と化合して一酸化炭素を作るからである。そして鋼が固溶せる水素、窒素等(第 90 節参照)の瓦斯は、高温度に於て放出せられてい

くらか過焼を助ける傾向がある。則ち之等の瓦斯は結晶粒の間に入つて其凝集力を減ずるのである。鋼が甚しく過焼せられると結晶粒の間に酸化物が出来る。かうなると鋼は如何にしても最早再び善良な性質に復することは出来なく凍る(過焼鋼の組織は第百十二、三兩圖を見よ)。焼鈍第 49 節参照)によつて恢復し得る温度に就いては、Howe は次のやうな実験の結果を與へてゐる。この実験では 1.2 「パーセント」の炭素を含有せる鋼を $\frac{5}{16}$ 吋角の棒とし、之を折れるまで曲げて其曲げ得た角度によつて鋼の脆さを測つたのである。

第五表 … 加熱の温度と恢復の度合との關係

加熱の温度 (攝氏度)	曲 げ 得 る 角 度	
	過焼したままのもの	前のものを焼鈍したもの
1250	14	144
1300	7	21
1350	4	10
1400	3	0

この表によると、1250 度に熱したままでは僅かに 14 度だけより曲げられないが、焼鈍によつて 144 度曲げられるやうになつたので、餘程恢復したわけだ。然るに加熱の温度を高むるに従ひ脆くなる割合は左程増さないが、

恢復し得る度合は著しく減じて1400度に熱したものでは恢復するどころか、焼鈍したために却つて脆くなつてゐる。一般に鋼を高温度に熱することは害を伴ふものだが、1400度にも熱せられたものは非常な障害を受けてゐるのだ。然るに焼鈍の目的を以て再び加熱せられたため、益其障害を甚しくしたのである。蓋し人間の身體でも、既に障害のある箇所では左程でもない打撃も痛切に感ずるやうなものであらう。鋼が既に恢復するを得ざる程度に達したときは之を過焼と稱へ、まだ恢復し得る場合には特に過熱 Over heating と稱へて區別するのが普通である。

過焼の現象は炭素含有量が増すほど著しくなるものである。之は炭素が増せば従て生ずる一酸化炭素も増加するからだといふことは勿論であるが、茲に見逃すべからざる他の原因がある。それは前章で述べたやうに炭素含有量が増せば鋼の凝固點が低くなるといふことだ。夫故炭素の多い鋼ほど早く融解するため、従つて過焼し易くなるのである。今念のため炭素含有量と鋼の凝固點との二三の例を挙げると第六表のやうになる。

今炭素0.5%と1.0%のものを同じ温度、例へば1350度に熱すれば0.5%の方のものは未だ固体のまゝであるが、1.0%の方のものでは既に1310度で融解し始めるから、此温度では一部分が熔融状態にあることになる。以て炭素の量

第六表……炭素含有量と鋼の凝固點との關係

炭素含有量 %	凝固の始まる點 (攝氏度)	凝固の終る點 (攝氏度)
0	1530	1530
0.5	1450	1400
1.0	1400	1310
1.5	1360	1210
2.0	1325	1130

の多少が過焼に大なる關係あるを知るべしだ。

47, 鑄物鋼が過焼せざる理由。

鋼塊 Steel Ingot や鋼鑄物 Steel Casting は鋼が過焼するやうな高温度を通過して冷却するに拘らず、何故に過焼しないのであるか、と言ふやうな疑問は當然起ることであらう。之に就いては鋼塊や鋼鑄物は熔融状態から冷却するのだから、凝固は先づ外部から始まつて漸次内部に及ぶものだが、加熱せらるゝ鋼は外部から熱を受けてゐるといふ事實に注目しなければならぬ。Howe は其根本の理由として次のやうなことを言つてゐる。前に述べたやうに過焼の主要原因は空氣中の酸素が鋼の中に侵入するから

だ。然るに鋼塊や鋼鑄物は熔融状態に於て溶解してゐた水素を凝固冷却の際多量に放出する(第90節参照)。この水素が酸素に作用して一酸化炭素を作ることを妨げるのである。なほ鋼塊は鍛錬せられ、鋼鑄物は鑄型のために保護せられて酸化作用を妨げることは、過焼を防ぐ一助となつてゐるのであらう。

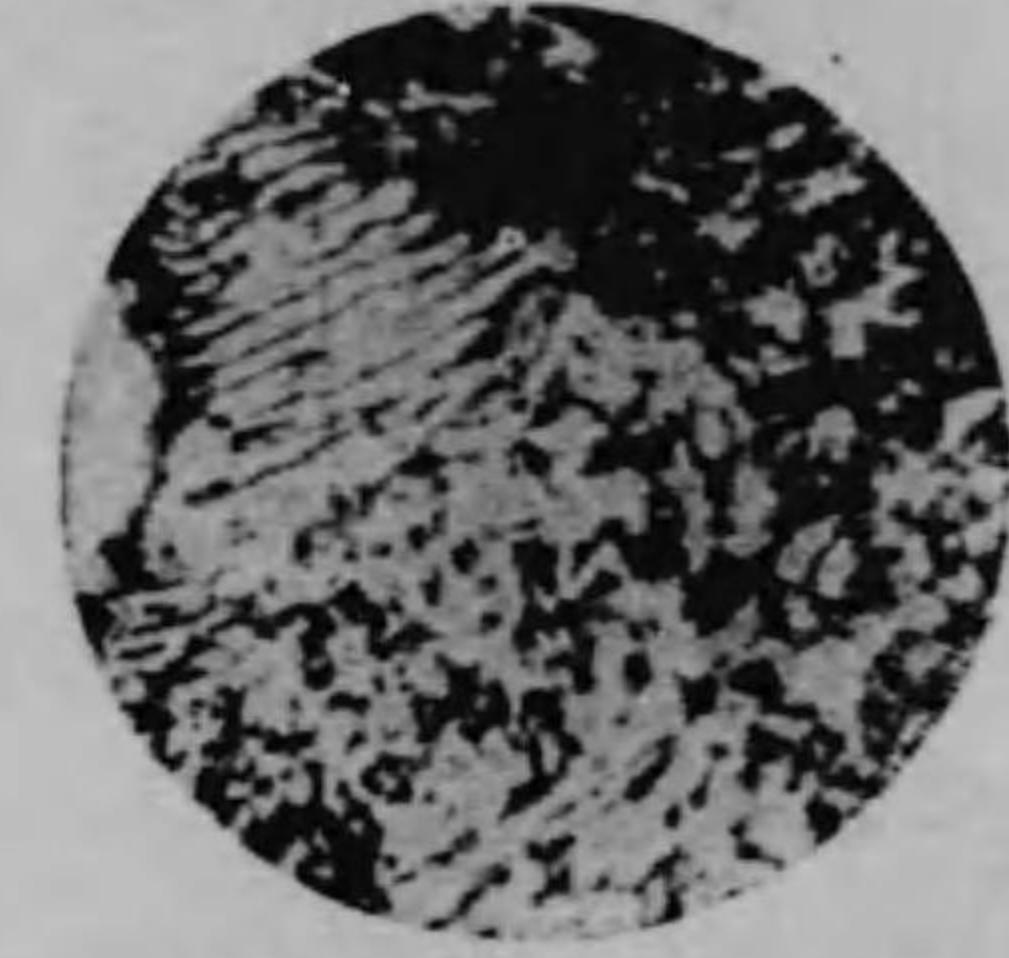
48, 高温度よりの冷却—「ソールバイト」。

高温度に熱した鋼を冷却する緩急の度によつて、著しく鋼の性質に影響を及ぼすものである。このことに関しては本章第三項で詳しく説明するのであるが、茲でも少しばかり説明して置く必要がある。第三章で述べたやうな鋼の組織を得るには、之を爐の中で極めて徐々に冷却しなければならぬ。もし之を空气中などで自然に冷却せしめると、比較的早く冷却せられるために前のやうな組織を得られないのである。第六十八、九兩圖は共に0.5「パーセント」の炭素を有する鋼であるが、前者は爐中で冷却せられたために充分「フェライト」を分離し、「パーライト」の部分は明に薄層状を呈してゐる。然るに後者は空气中で冷却せられたため「パーライト」は充分薄層状になる事が出

來ないで、むしろ顆粒状を呈してゐるのである。



第六十八圖……炭素0.5%の鋼1000度より爐中にて冷却せられたるもの(360倍)



第六十九圖……炭素0.5%の鋼空气中にて冷却(917倍)



第七十圖……薄層状ソールバイト(780倍)



第七十一圖……顆粒状ソールバイト(780倍)

かく充分「パーライト」に變ずることの出来なかつた過渡の組織を「ソールバイト」Sorbiteと稱へる。「ソールバイト」は當然「パーライト」になるべくしてなり得なかつたものだから、其組織は判然一定の形式を備へたものではなく、第七十圖のやうに不鮮明な薄層状を現はすこともあれば、

第七十一圖のやうに顆粒状になることもある。「ソールバイト」を得るには「パーライト」を得るよりも稍速に冷却すれば良い。小さな材料ならば變態區域以上の溫度から空氣中で冷却してもよし。或は變態區域以下の溫度から水中に投じて出来る。又大きなものならば變態區域以上の溫度から油の中に投じて、内部に「ソールバイト」が出来るのである。

「ソールバイト」は如何なる成分を含有せるかに就いて現今一般に信ぜらるゝところによると、次の如きものである。

- 第一、「ソールバイト」は「セメンタイト」を固溶せる β 鐵を含有してゐる。この β 鐵が存在せる結果、「ソールバイト」は「パーライト」よりも強くして硬いものとなる。
- 第二、「ソールバイト」は多量の α 鐵を含有してゐる。「ソールバイト」が磁性を有せることは之を證據立てゝゐる。其結果「ソールバイト」は比較的粘いものとなる。
- 第三、「ソールバイト」は「セメンタイト」の結晶を含有してゐる。其結果「ソールバイト」は硬さを増すわけである。

されば「ソールバイト」は「パーライト」に比すれば粘さに於て多少劣るのであるが、しかし尙可なりの粘性を有し、且「パーライト」よりは硬くして強いものである。^{ソールバイト}Sauveur 及び ^{ゴイントン}Boynton は 0.55「パーセント」の炭素を有する鋼に於て、「パーライト」を有する場合と「ソールバイト」を有する場合とで次表の如く其性質を異にせることを示してゐる。

第七表 ……炭素 0.55%の鋼性質

冷却の方法	組 織	弾性の際限 (每平方吋封度)	抗 張 力 (每平方吋封度)
爐中に於て	「パーライト」を有す	39901	81162
空氣中に於て	「ソールバイト」を有す	55000	99979

かく「ソールバイト」が比較的柔軟なることは鋼線の製造に必要な事柄である。則ち特種な爐に於て針金を加熱し之を冷却する際殆ど全部「ソールバイト」になるやうにするのである。なほ之に就いては第99節を參考して貰ひたい。

49, 焼鈍 Annealing の目的。

鋼を焼鈍する目的を列挙すると次のやうになる。

- (a) 工作を容易ならしむるため鋼を軟かくすること。
- (b) 普通の鋼よりも強くして比較的粘きものとなすこと。

- (c) 鑄造物の收縮によりて生じたる^{インナー・ストレス}内應力を除去すること。
- (d) 鍛錬の際得たる粗なる組織を緻密ならしめ、且其硬度を減ずること。
- (e) 処理法を誤りたる鋼の性質を恢復せしむること。

50, 焼鈍の手段。

焼鈍に於て採るべき手段は次の三段に分けることが出来る。

- 第一段. 一定の温度に熱すること。
- 第二段. 一定時間焼鈍温度に曝すこと。
- 第三段. 焼鈍温度より冷却すること。

今之等に就いて注意すべき事柄を述べておかう。

(1). 焼鈍温度

焼鈍に於ては一旦鋼を「オーステナイト」に変化せしむることが必要である。然るに第42節に述べたやうに炭素含有量によつて鋼が全部「オーステナイト」に変化する温度が違ふから、従つて焼鈍温度も異にしなければならぬ。則ち鋼を全部「オーステナイト」に変化するためには、「ユーテクトイド」鋼では $A_{c3-2.1}$ まで、「ハイポ、ユーテクトイド」鋼では

炭素 0.35 乃至 0.9「パーセント」のものは A_{c3-2} まで、0.35「パーセント」以下のものは A_{c3} まで、又「ハイパー、ユーテクトイド」鋼では A_{cm} まで熱しなければならぬ。されば「ユーテクトイド」鋼は $A_{c3-2.1}$ まで熱して徐々に冷却すれば極めて緻密な組織を得るが、しかし其他のもの 全部「オーステナイト」に變ずるまでに多少「オーステナイト」の結晶粒の大きさを増し、その上冷却の際「フリー、フェライト」又は「フリーセメンタイト」を分離するため比較的粗らい組織のものとなる。夫故之等はどうしても「ユーテクトイド」鋼のやうな緻密な組織を得られないのである。就中炭素の少ない鋼は多量の「フリー、フェライト」を分離するため、著しく粗らい組織のものとなる。しかし「ハイパー、ユーテクトイド」鋼のやうに分離すべき「フリー、セメンタイト」の少ないものは割合に緻密な組織に變ずることが出来るのである。

上に述べたやうな次第であるから、焼鈍温度は炭素含

第八表……炭素含有量と焼鈍温度との關係

炭 素 含 有 量 %	焼 鈍 温 度 (攝氏度)
0.12 以下	875-925
0.12-0.25	840-870
0.30-0.49	815-840
0.50-1.00	790-815

有量の多少によつて調製しなければならぬ。今米國に於ける材料試験に關する協會の調査委員の報告を挙げると、第八表のやうになつてゐる。

もし鋼が0.75「パーセント」以上の「マンガン」を含有せるときは、焼鈍温度を上表より少しく下げるが良いといふことだ。

(2) 焼鈍温度に曝す時間

鋼を高温度に長く曝すことは害のある(第96節)ものだから、時間は適當ならしむることは必要な事柄である。焼鈍に於ては材料の各部を一様の温度に達せしめる必要があるから、其大きさに應じて時間を適當に變化しなければならぬ。上に挙げた委員の報告によると、12時の厚さのもので一時間、之より厚さを増すに従つて時間も長くするが良いといふことである。

(3) 焼鈍温度よりの冷却

既に述べたやうに冷却の緩急は鋼の組織に重大な關係があるから、其度合を適當に定めなければならぬ。之には如何なる性質を材料に附與しやうかといふ目的によつて自然決定せらるべきものだ。例へば強さなどよりも寧ろ軟いものを希望するならば冷却を緩くし、之に反して

多少粘さを犠牲にしても硬いものを得たいならば冷却を急にすべきものである。

冷却の度合を定めるには炭素の量を考へてゐなければならぬ。例へば炭素の極めて少ない鋼(0.15%以下)を冷水に投じた場合と、炭素0.2乃至0.3「パーセント」の鋼を同じ温度から油の中に投じた場合とは殆ど同様の結果を得るものだ。又炭素の多いものならば空氣中で自然に冷却しても硬さに失する場合がある。次に材料の大きさも亦注意すべきこととて、大小二個の鋼を同一状態の下に冷却すれば、小さな方が著しく硬くなるものである。

51, 二重焼鈍 Double Annealing

Steadの研究によれば、鋼は變態區域の近くまで熱して徐々に冷却すると著しく柔軟なものとなる。鋼が變態區域に於て得た緻密な組織を維持せしむるためには之を急冷するが良い。しかし斯くすれば後に述べるやうに鋼は非常に硬度を増して焼鈍の目的に適はなくなる。そこで之を再度約500度乃至650度に熱して徐々に冷却すると、其硬度を減じて柔軟なものに變化するが、緻密な組織は影響を受けなくて維持せしむることが出来るのである。蓋し第42節に述べたやうに變態區域以下の温度では結晶

粒の大きさが變化しないからだ。かやうな方法を二重焼鈍と稱へる。この方法に於ては第一の加熱は組織を緻密ならしむるもの。第二の加熱は鋼を軟化する手段となるのである。

第二項 機械的處理

Mechanical Treatment

52, 機械的處理の目的。

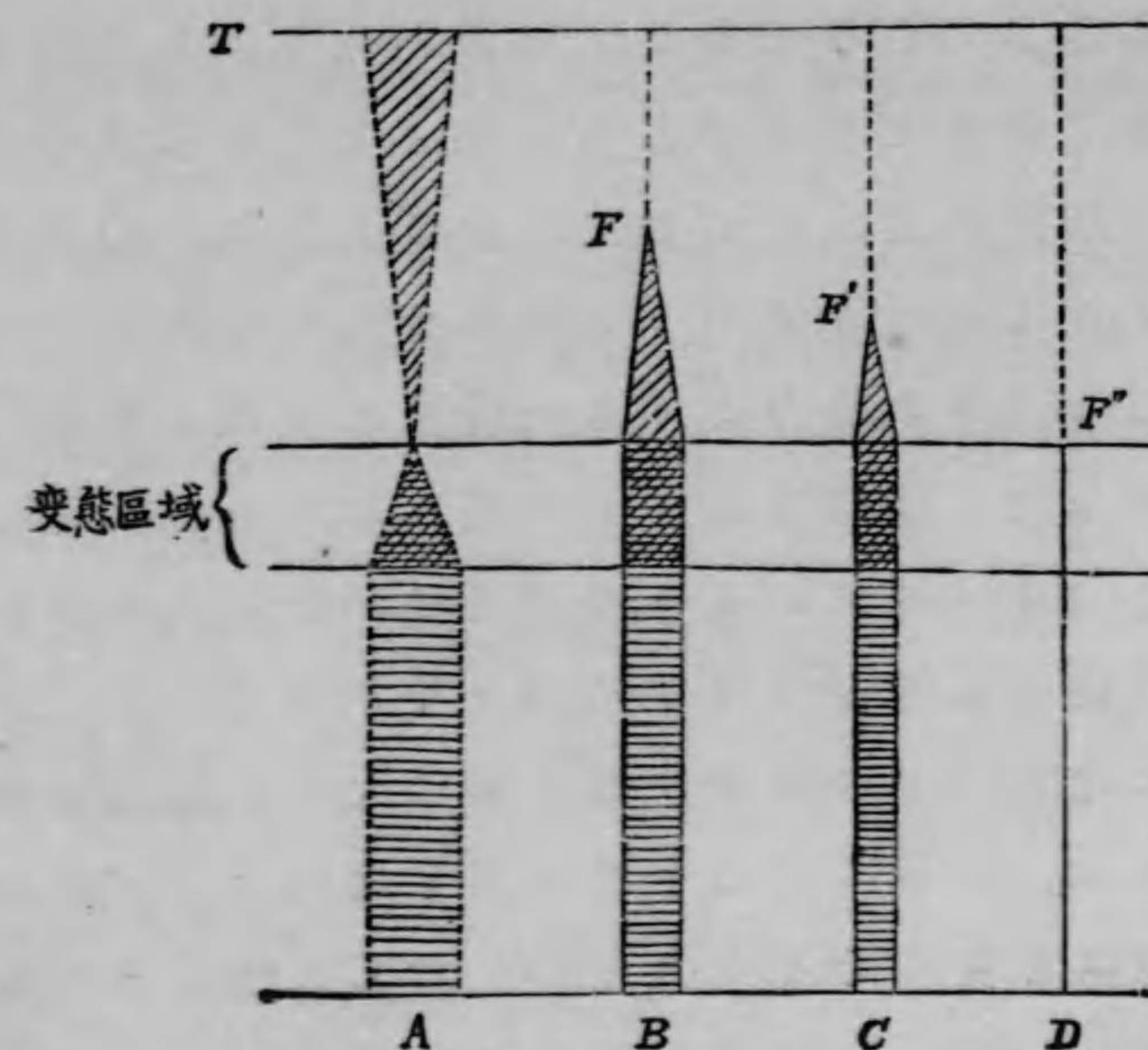
熔融せる鋼を一旦型に入れて鋼塊とし。然る後之を壓延又は鍛延する目的を列挙すれば。次のやうなものであらう。

- (a) 一定の形狀を與ふること。
- (b) スラッグ 熔滓を搾り出すこと。
- (c) フロー、ホール 蜂巢を塞ぐこと。
- (d) 材料内部の不整を去ること。
- (e) 組織を緻密ならしむること。

機械的處理は之之を行ふ溫度によつて二つに大別することが出来る。第一は高溫度に於ける加工 Hot workingであつて最低の變態點以上の溫度で行ふもの。第二は變態區域以下の溫度で行ふもので。之を前者に對して低溫度に於ける加工 Cold working と稱へる。

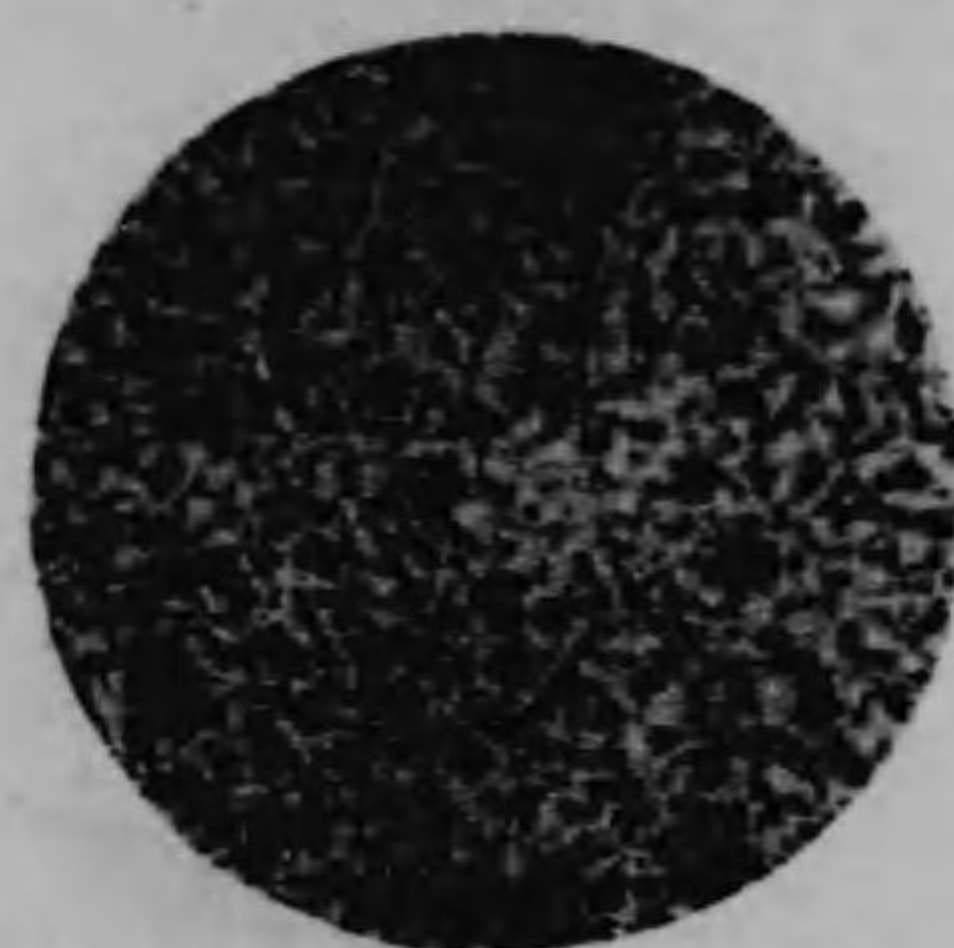
53, 高溫度に於ける加工と結晶粒との關係。

高溫度に熱せられた鋼は其溫度に相應せる結晶粒の大きさを有することは既に述べておいたが。之に加工して壓力を加へ或は打鍛すれば。其結晶粒は破壊せられて了ふものである。之に就いては ソウヴェール Sauveur の説明は簡單明瞭である。次に之を紹介してあかう。

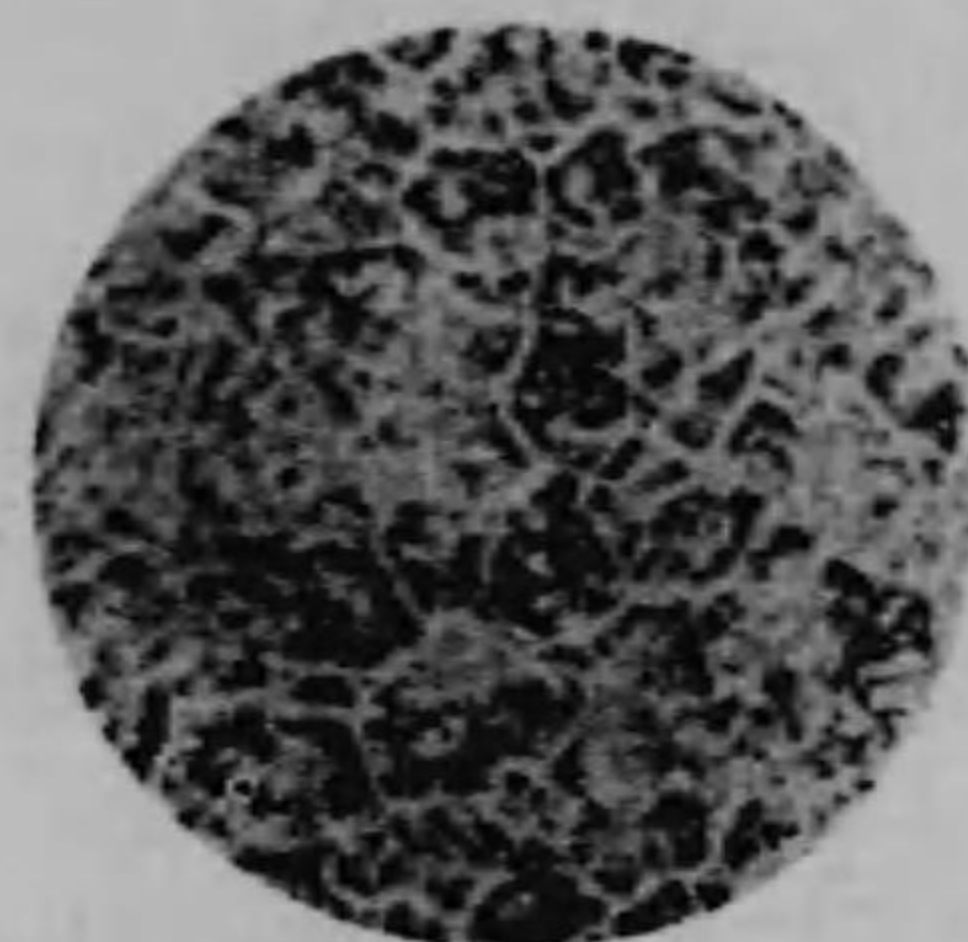


第七十二圖 ……加工を終る溫度と結晶粒の大きさとの關係

第七十二圖に於てAは既に第六十五圖で示したところの加熱の際の結晶粒の大きさの變化である。今之をTなる溫度に於て加工を始めると、前に存在してゐた結晶粒は破壊せられる。加工が相當に激しければ、よし溫度が降つても其間に結晶は生ずることが出来ない。圖に於て點線はこの有様を示したのである。Fに於て加工を終ると茲て結晶を生じ始め、溫度が降るに従つて段々に大きさを増してくる。かやうにして生じた「オーステナイト」の結晶粒が變態區域に達したときは、第六十五圖甲に於けるものよりも小さいわけである。夫故かやうにして得た鋼は多少細かな組織を有つてゐる。然るにCに示すやうに前よりも一層低い溫度F'で加工を終るときは、變態區域に達するまでに「オーステナイト」の結晶粒の増大する時間が少ないため、Bの場合よりも一層密な組織を得る。次にDに於ける如く變態區域よりも僅かに高い溫度F''で加工を終ると、「オーステナイト」の結晶粒が増大する餘裕がないため、極めて緻密な組織の鋼となるのである。かやうに加工を降るときの溫度は結晶粒の大きさに大關係のあるものである。試みに第七十三、四圖を比較せよ。兩者共に同量の炭素を含有せるに拘らず、加工を終るときの溫度を異にしたため、其組織に粗密の差を生じたことを明にすることが出来るだらう。



第七十三圖……炭素0.5%の鋼、變態區域近くにて加工を終りたるもの(85倍)



第七十四圖……炭素0.5%の鋼、變態區域より遙に高き溫度に於て加工を終りたるもの(80倍)

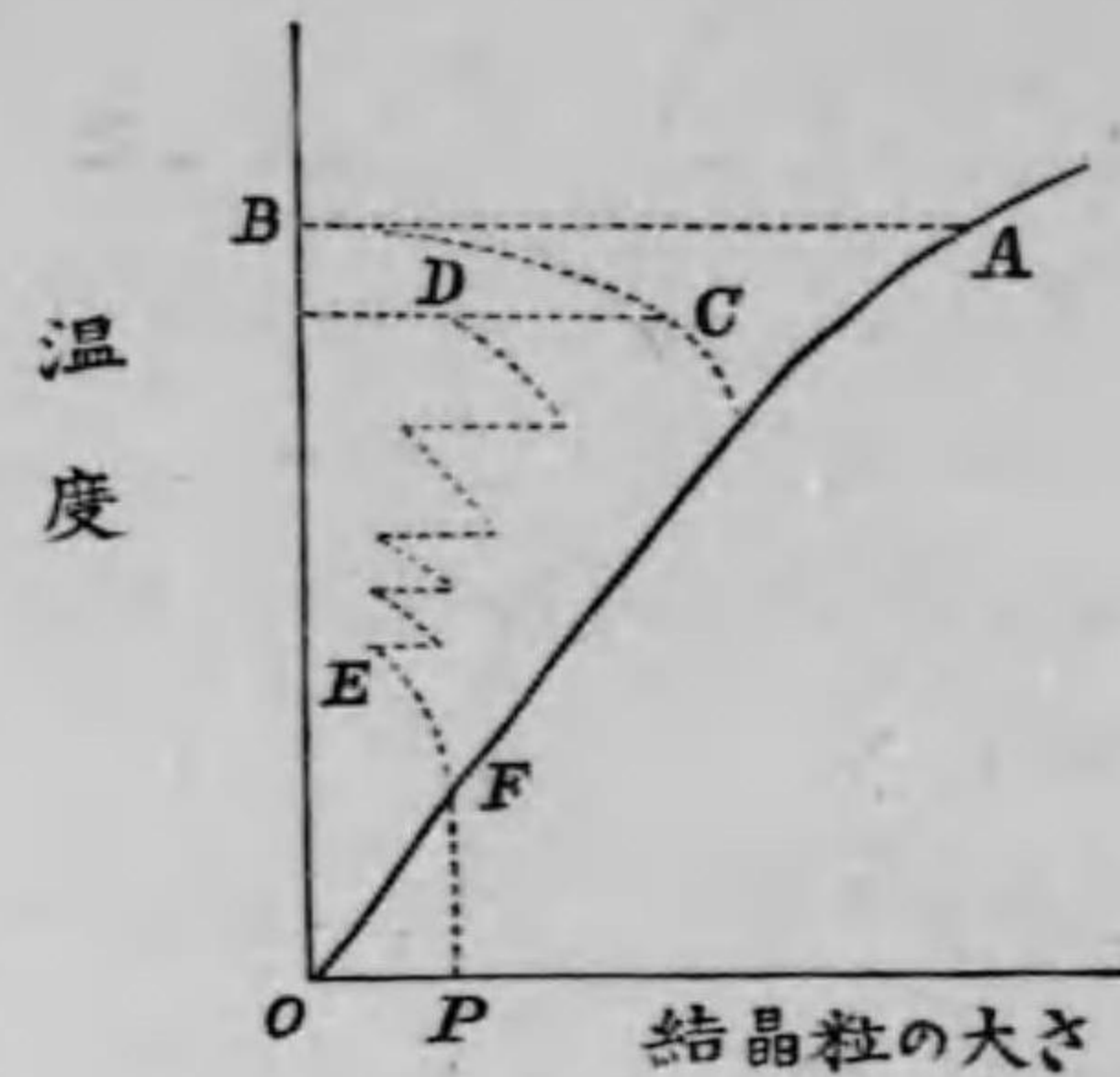
されば高溫度に於ける加工中に起る變化は、次のやうに言ふことが出来る。

- (1) 加工が激しいときは既に存せる結晶粒を破壊し、加工中溫度降るも結晶を生ぜしめない。
- (2) 高溫度に於ける加工は鋼の組織に直接の變化を與ふるものではなく、加工終るまで結晶の生成を後れしむるものである。

「ロール」にかけて壓延するときのやうに、時々加工を中止するやうな場合に就いては、Howeは第七十五圖の如き圖を擧げて説明してゐる。

圖に於てAOなる曲線は第六十六圖に示した最高溫度と結晶粒の大きさとの關係を示すものである。Bなる溫度に於ては結晶粒の大きさはABなる線で表されるが、之を壓

延するときはこの結晶粒は破壊せられる。茲て一時加工を中止すれば、温度降ると共に結晶粒の大きさを増してくる。その関係は BC なる曲線で表はすことが出来る。かくて C 點に達したとき再び壓延すれば、結晶粒は再度破壊せられる。そこで又加工を中止すれば又々結晶が生成



第七十五圖……加工を終るときの温度と結晶粒の大きさとの關係

するであらう。かやうなことを繰返してゆくと、屈折線で示すやうに結晶粒は破壊せられては生じ、E 點で全く加工を終れば結晶粒は EF に沿うて其大きさを變化し、AO との交點 F に於て其温度に相應せる大きさに達する。之より温度降るも最早大きさを増さないで(第 43 節参照)結局 OP なる大きさの結晶粒の鋼となると言ふのである。

Howe の説明を Sauveur のに比較するに、加工を終ると

きの温度が高いほど結晶粒の粗い鋼を得るといふ點は同一であるが、やや考へ難い感がある。先づ Sauveur のやうに解釋しておく方が解り易くてよからうと思ふ。

54, 加工を終るときの温度 Finishing Temperature

上に述べたやうに、加工を終るときの温度は鋼の組織の粗密に重大な關係があるのだから、適當に之を撰擇することが肝要である。一般的に言へば「ユーテクトイド鋼」では唯一の變態點 $A_{r3.1}$ より少しく高い温度で加工を終れば、極めて緻密な「パーライト」の結晶を得べきことは明である。他の「ハイポ」及び「ハイパー、ユーテクトイド鋼」では「フリー、フェライト」又は「フリー、セメンタイト」を分離するため組織を粗鬆ならしむる憂があるから、やはり最低の變態點より少し上の温度で加工を終へるが良いのである。

温度が高ければ高いほど鋼は剛性を減ずるから、成るべく高温度で加工する方が作業は樂である。しかし、高温度で加工を終へると組織が粗くなるのだから、この二つの條件はどうしても衝突することになる。夫故高温度で加工して樂に望みの形狀を附與しておいて、加工を終る少し前に冷水を注ぐが如き方法で急に其温度を下げ、

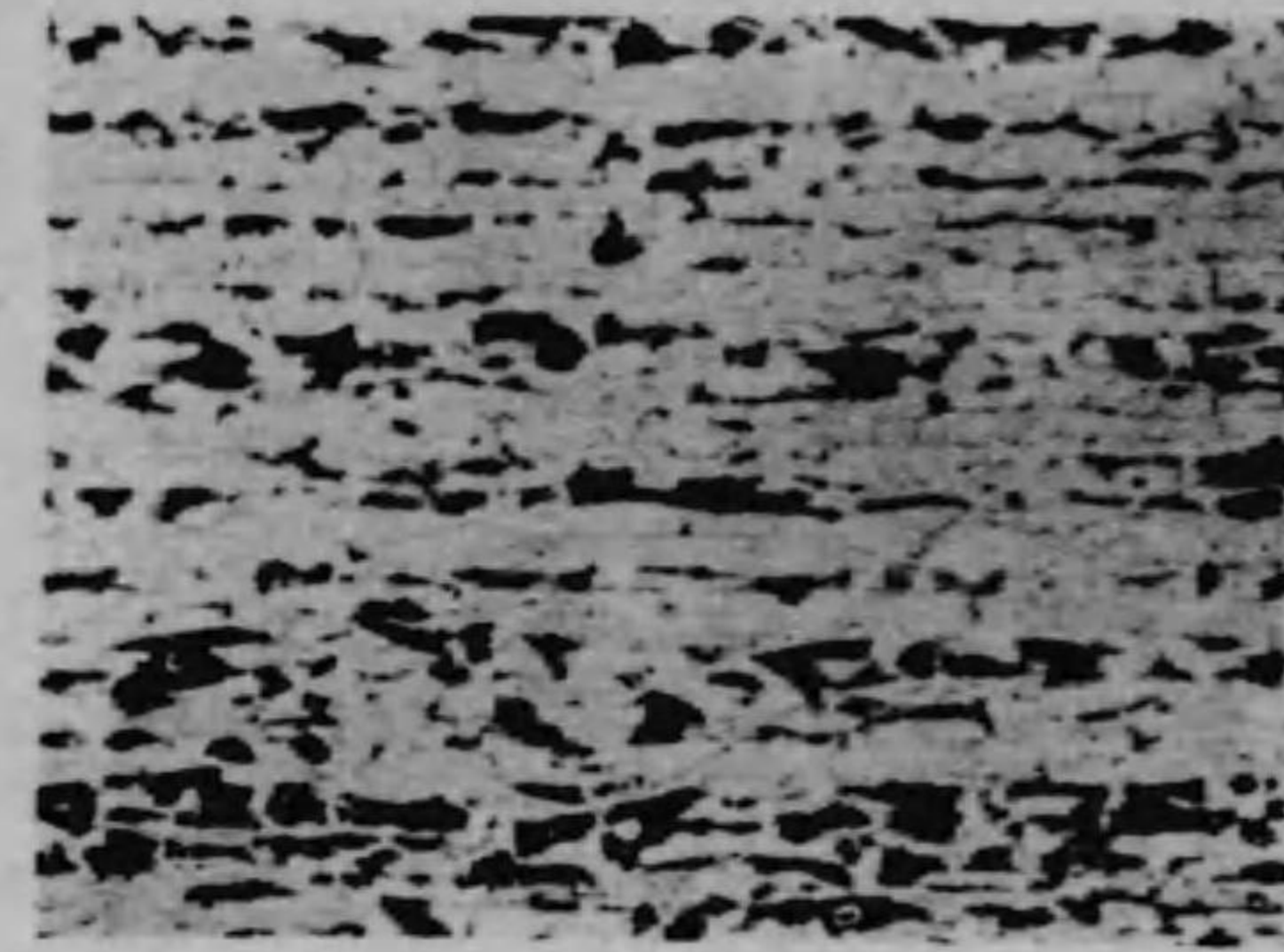
かうして加工を終るときの温度だけを低くする方法を實際に行ふことがある。又「レール」の如く頭部が脚部よりも厚いものでは、厚い部分は加工中冷却が遅いため他の部分よりは組織の粗なものとなるのである。之等は實際上注意すべき點である。

一般に物體を冷却すれば、材料の外部は内部よりも速に冷却するといふ事實は、加工を終る温度を適當ならしむる點に於て大なる困難を來たすものである。則ち外部の温度が適當なるときは内部の温度が高きに失し、内部の温度が適當なるときは既に外部は冷却し過ぎてゐるといふわけになる。この事柄は小なる品物ならば左程たいした影響もないが、大きさを増すほど困難の度も加はるのである。されば鋼を精練するといふ點から言へば、機械的處理は絶對的、理想的のものではない。鑄造したままのものに比べれば餘程^{マクドナルド}完全の度を増し得るといふだけのものである。

55, 低温度に於ける加工。

低温度に於て加工せられた鋼は第七十六圖に示す如く、其組織は鍛鍊の方向に延ばされるのである。之を高温度に於いて加工せられたものに比べると、著しく相違して

ゐる。其理由は變態區域の上下の温度に於ける鋼の組織から考へると解る。則ち變態區域以上の温度に於いては「オーステナイト」の結晶は生成することが出来るが、以下の温度に於ては最早結晶を生じないからである。



第七十六圖……炭素0.3%の鋼—低温度に於て加工せられたるもの(100倍)

かやうな鋼は一般に粘性の乏しい脆弱なものである。かかる加工の影響は變態點に近い温度では左程のこともないが、温度が低ければ低いほど甚しくなるものだから注意して避けなければならぬ。なほ之に就いては第98節を見て貰ひたい。

上に低温度に於て加工せられた鋼は脆くなると言つたことに就いても少し説明すべきことがある。一般に金屬は壓延又は錘延せられたるときは、壓力の加はる方向に

沿うては強さを減じて脆くなり、之に直角な方向には著しく強くなるものである。其好例は低温度に於て引き延された針金に見出すことが出来る。針金は周囲から壓力を加へられたものだから、其長さに沿うては著しく強くなるが、縦に裂くやうな力に對する抵抗を減じてゐる。夫故時によると藤などのやうに裂け易いことがある。板金又は針金を曲げたときは、曲り角の外側は引き延され、内側は壓縮せられてゐる。従つて内側の方は弱くなつて伸張力には余り耐へられなくなつてゐるのである。夫故之を元の形に伸ばさうとすれば、内側の方から裂け始めるのである。

第三項 鋼の焼入 Hardening

56, 急冷による鋼の性質の變化。

鋼を高温度から急激に冷却すると著しく其硬度を増すことは、一般によく知られた事實である。Howeは0.21「パーセント」の炭素鋼を種々の度合に冷却して次の表に示す如き結果を得た。

第九表……冷却の度合と鋼の性質との關係

冷却の方法	抗張力 (毎平方吋, 封度)	伸張率 (%)	断面積の減少 (%)
半は融解せる鹽水	237555	2.00	1.30
冷水	216215	1.50	1.67
油	174180	2.90	1.40
空氣中に於て	86797	27.76	57.83
爐中に於て	80103	28.15	54.75

之によつて見ると、爐中にて冷却せられた鋼は非常に粘性に富めるものであるが、之を鹽水に投じて急冷した結果、抗張力は約三倍になつたけれども粘性は殆ど無くなつたのである。以て如何に急冷によつて硬度を増すかを知るべしだ。

急冷によつて硬度を増す度合は、又炭素の量によつて非常に異なるものである。第十表によつて其模様を明にすることが出来るだらう。

之によつて見れば、炭素の量が増すほど抗張力を増し、伸張率を減ずる。つまり炭素が多いほど急冷によつて著しく硬度を増すのである。

急冷するときの温度も亦鋼の性質に大なる影響がある。

第十表…炭素含有量と急冷の影響との關係

炭素含有量	抗 張 力 (每平方吋・封度)		伸 張 率 (%)	
	焼鈍したるもの	急冷したるもの	焼鈍したるもの	急冷したるもの
0.10	60300	66400	29	24
0.14	61500	73100	27	22
0.23	66500	99400	26	14
0.52	97800	132100	20	9
0.60	116400	153400	14	4
0.72	130700	180100	9	0

次の表は Howe が炭素 0.21 「パーセント」の鋼に就いて實驗した結果である。

第十一表…急冷するときの温度が鋼の性質に及ぼす影響

急冷するときの温度 (攝氏・度)	抗 張 力 (每平方吋・封度)	硬 度 の 比 較 (播き紙の幅・耗)
836	207500	0.0276
797	218200	0.0285
733	220898	0.0290
714	221300	0.0281
650	142000	0.0298
620	121058	0.0329
600	91600	0.0333

一般に言へば急冷するときの温度が變態區域以下ならば硬化することなく、變態區域内では温度が高いほど硬度を増すこと多く、變態區域以上になれば温度を高くしても其上硬度を増すことはない。

57, 急冷の度合と鋼の組織との關係。

既に第28節に於て急に冷却すれば變態點を低くするものだと言つておいた。前節に述べたやうに急冷の度合によつて鋼の性質を色々に變化し得る理由を解り易く言つて見ると、急冷するといふことは固溶體たる「オーステナイト」が、「フェライト」と「セメンタイト」との聚合體に變化すべき變態點を低下せしめて、高温度に於て存する組織を常溫に於ても尙維持せしめやうとすることである。もし冷却が極めて急激に行はれたならば、「オーステナイト」を常溫に於て維持せしめ得べき道理だ。「オーステナイト」は高温度に於て安定なものであるから、常に變化せんとする傾向を有つてゐる。されば之を常溫に於て維持しやうとするには、此傾向を阻止するものがなければならぬ。夫れは鋼の剛性の働きてある。夫故冷却の度合が極めて急激に行はれないときは、剛性が充分に働く以前に「オース

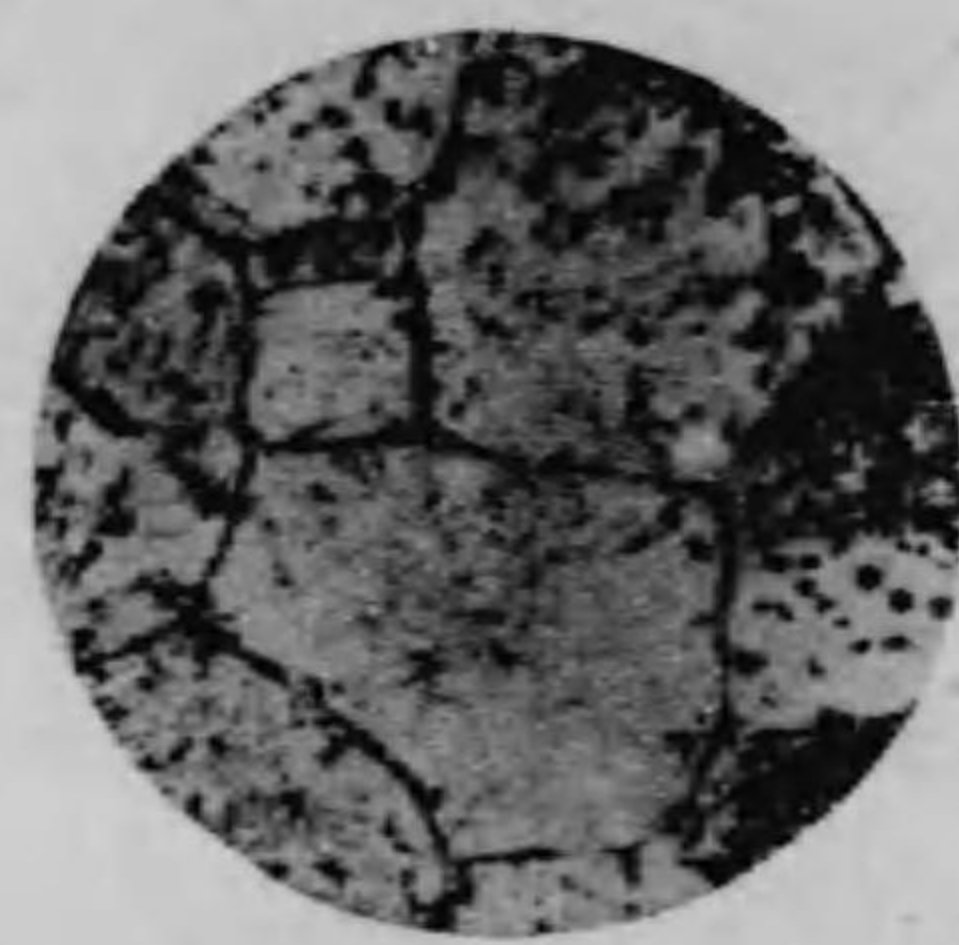
テナイトはいくらか變化して過渡の組織を作るのである。かやうな過渡のものには、「マルテンサイト」Martensite、「ツルースタイト」Troostiteなどいふものがある。則ち急冷せられたる鋼は、冷却の度合によつて「オーステナイト」、「マルテンサイト」又は「ツルースタイト」となるのだ。これ急冷によつて鋼の性質を色々に變化し得る所以である。然らば之等の組織は果してどんなものであらうか。次に之を説明しやう。

58, オーステナイト Austenite.

「オーステナイト」なる名稱は、^{オスモンド} Osmond が ^{ロバート} Roberts-^{オーステン} Austen の名譽のために名づけたものである。現今一般に信ぜらる



第七十七圖……炭素1.57%の鋼
1050度より氷水
のなかに投じた
もの(擴大不明)



第七十八圖……「オーステナイト」の
結晶粒炭素1.6%、マ
ンガン 1.0%、1400度
より氷水のなかに投
じたるもの(225倍)

るところによれば、「オーステナイト」は「セメントイト」が ^γ 鐵に固溶せるもので、約2「パーセント」までの炭素を含有することが出来るものである。

「オーステナイト」は變態區域以上の溫度に於て安定なものであるから、之を常溫に於て維持しやうといふことは甚だ困難なことで、吾々が普通行ふ冷却法は決して完全なものではない。それには炭素含有量の多い鋼を1000度以上の溫度から冷却し、そして極めて有効な冷却法を用ゐなければならぬ。炭素1.5「パーセント」以上の鋼を1000度以上の溫度から完全に急冷するときは、「マルテンサイト」を混有せる「オーステナイト」を得られる。第七十七圖はかやうな鋼の組織を示すもので、暗黒部は「マルテンサイト」、土臺は「オーステナイト」である。急冷するには鋼は小さい方が都合が良いのであるし、變態點を低下せしむる働のある點から言へば「マンガンの」含有を便宜とする。第七十八圖は1.0「パーセント」の「マンガンを」含有せるものであるが、「オーステナイト」の結晶粒の有様が良く解る。「マンガンの」量12「パーセント」以上となれば、變態點は常溫以下に下げられるものだから此場合には急冷しなくても「オーステナイト」を常溫に於て維持せしむることが出来る。「ニッケル」も25「パーセント」以上になれば同様の働をする。^γ 鐵は^β 鐵に變化する際膨脹するものだから、之に強壓を

加へて其膨脹を妨げると、「オーステナイト」を維持せしむるに都合が良いわけだ。Benedicks は此方法を用ひなければ到底完全に「オーステナイト」を維持することが出来ないとまで言つてゐる。

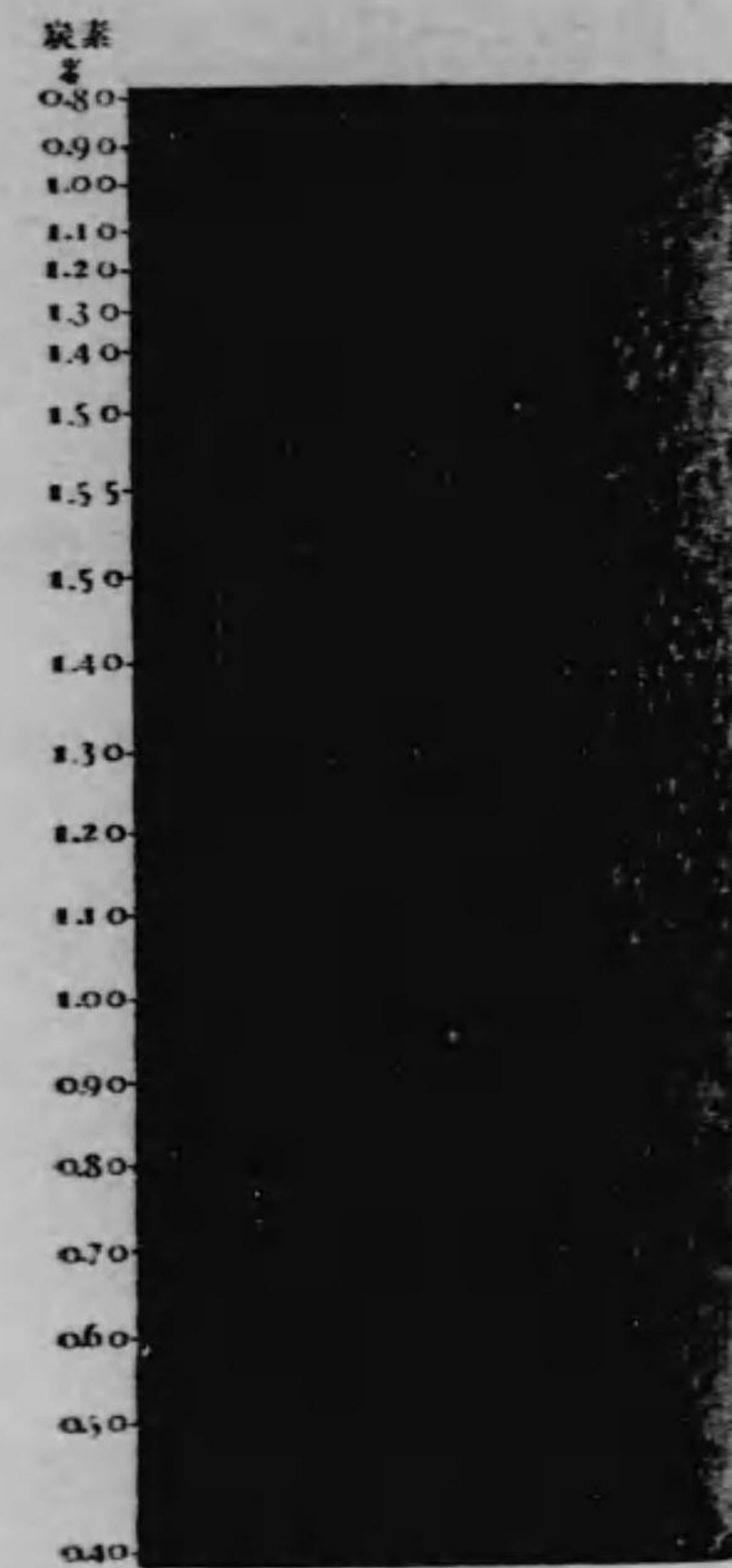
「オーステナイト」は第七十八圖に示す如く、不規則なる多面體の結晶粒より成れるもので、其結晶形は Osmond は八面體だと言つてゐる。「オーステナイト」は「マルテンサイト」と共に存在せるときは、第七十七圖に示す如く網狀を現さないのである。

「オーステナイト」は「マルテンサイト」よりは軟かなるのであるが、其炭素含有量によつて性質を異にするものだ。則ち炭素を増すときは「セメンタイト」を増加する結果、其硬度並に強さを増し粘さを減ずるのである。此物は少しく加熱すれば「マルテンサイト」に變ずる。

59, マルテンサイト Martensite.

「マルテンサイト」とは如何なるものかといふことに就いては種々なる説明があるが、現今 Osmond の説は最も正確なものと信ぜられてゐる。其説によると、「マルテンサイト」は「セメンタイト」が β 鐵に固溶せるものであつて、非常に堅硬なるものである。蓋し「オーステナイト」の軟かいの

は γ 鐵のためであり、「マルテンサイト」の硬いのは β 鐵の存在せる結果である。又「マルテンサイト」は多少磁性を有つてゐるから、可なり多くの α 鐵を含有せるものだと Osmond は言つてゐる。



第七十九圖……急冷せられたる鋼の硬度比較

「マルテンサイト」が「オーステナイト」より硬い事實は、



第八十圖……「マルテンサイト」の組織(250倍)

Osmond の實驗によつて明瞭に示されてゐる。Osmond は中央に於て 1.55「パーセント」の炭素を含有し、兩端に向つて漸次其量を減少せる鋼を厚さ 9 耗、幅 10 耗、長さ 19 耗の棒に作り、之を 1050 度から零度以下 9 度の水銀中に投じた。かやうにして得た棒の表面を磨き、一樣な壓力を加へて針をもつて搔たのである。第七十九圖は之を示したのである。之によると炭素 1.0「パーセント」以上の部分は「オーステナイト」を生じたため搔疵を附けることが出来るが、0.7 乃至 1.2「パーセント」の間の部分には「マルテンサイト」を生じて硬くなつたため搔疵を附けることが出来なかつたのである。

炭素含有量の多い鋼を冷水中に投ずると、小さなものならば全部「マルテンサイト」となり、大きなものならば外部に「マルテンサイト」を生じ、内部は「ツルースタイト」となる。又炭素の少ないものならば「ツルースタイト」が「マルテンサイト」と一緒に出来るのである。第七十九圖に於て炭素 0.7「パーセント」以下の部分では、幾分「ツルースタイト」を生じたため搔疵が附いたのである。されば急冷せられた鋼の組織中では「マルテンサイト」は最大の硬度を有し、且非常に脆いものである。

「マルテンサイト」の組織は第七十七圖及第八十圖に示す如く針狀を現はすのが特徴である。此物は少しく加熱す

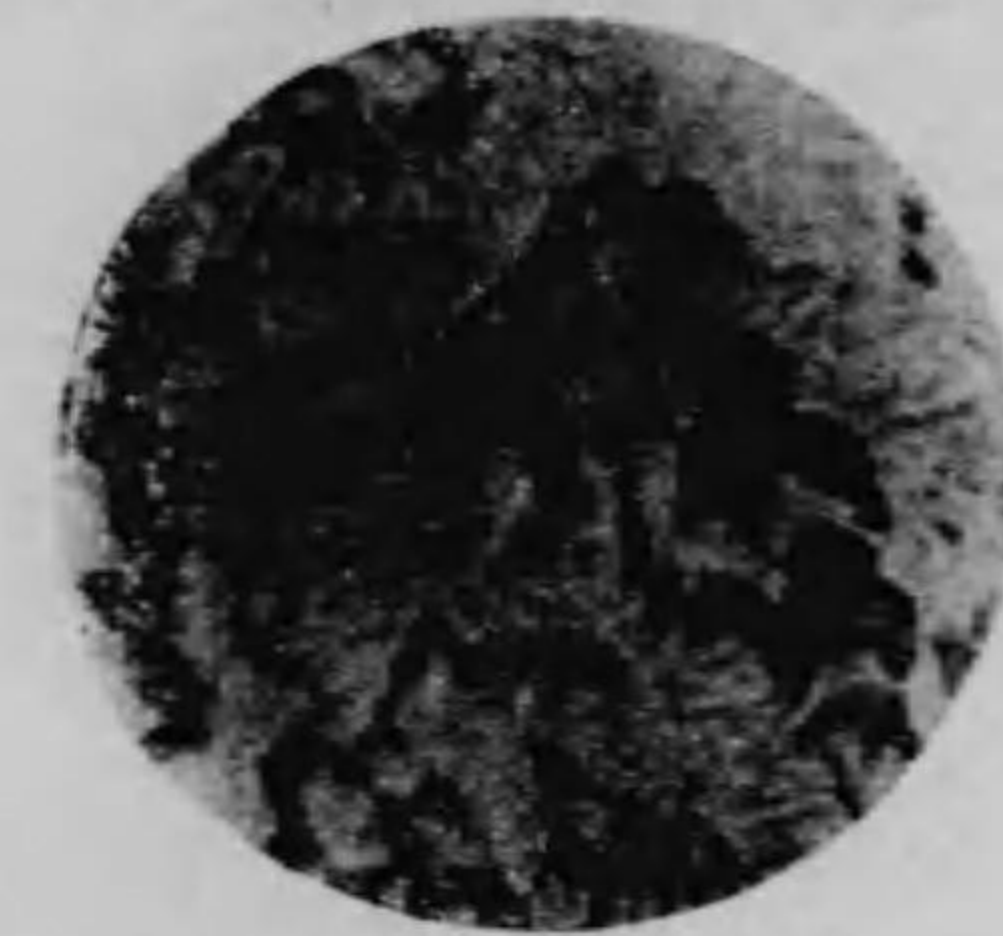
ると「ツルースタイト」に變ずるものだ。

60, ツルースタイト Troostite.

「ツルースタイト」は「マルテンサイト」を得るよりも少しく徐々に冷却せられたときに出来るもので、その如何なるものなるかに就いては異説がある。しかし、最も正確なりとせらるるところの Benedicks の説によれば、次の三者の混在せるものである。

- (1), 「セメンタイト」と β 鐵との固溶體。
- (2), 「セメンタイト」の結晶。
- (3), α 鐵の結晶。

「ツルースタイト」が比較的堅硬なるは β 鐵を含有せるを語り、磁性に富めるは α 鐵を含有せる證左である。



第八十一圖……「マルテンサイト」中に存する「ツルースタイト」炭素 0.45%(540倍)

「ツルースタイト」を得るには始めは徐々に冷却し、變態區域の中程から小さなものならば油の中に、大きなものならば水中に投ずればよろしい。又「マルテンサイト」を400度に熱しても「ツルースタイト」を得られる。第八十一圖は「ツルースタイト」が「マルテンサイト」のなかに含有せらるゝ状態を示すものである。此ものは「マルテンサイト」よりは軟かなもので400度に熱すると「ソールバイト」に変化する。第48節に述べたところを本節と比較すれば、「ソールバイト」は「ツルースタイト」と同様の組織的成分を有つてゐるもので、唯 β 鐵の存在が少なく一層「パーライト」に近い組織を有つてゐる點が違ふのである。

61, 冷却の度合と鋼の組織變化の段階。

今まで説明したところを綜合すれば、變態點以上の溫度から冷却する緩急の度によつて、鋼は次の五つの階段を経ることが解る。

- 第一段、オーステナイト。
- 第二段、マルテンサイト。
- 第三段、ツルースタイト。
- 第四段、ソールバイト。

第五段、パーライト。

この中「オーステナイト」は極めて完全に急冷しなければ得られないものであるし、「パーライト」は極めて緩慢に冷却しなければ得られないもので、共に兩極端を代表してゐる。普通焼入せられた鋼の成分は初めの三者であつて、焼鈍せられた鋼は主に「ソールバイト」を有つてゐる。上の五つの階段は「オーステナイト」から「パーライト」に変化すべき経路であるから判然と明確な分界線を劃し得べきものはなく、「オーステナイト」と「マルテンサイト」、「マルテサイト」と「ツルースタイト」といふ風に二者の混淆せる組織も得べき道理である。されば理論上、冷却の度合によつて次の如き順序に変化すべきものである。

- | | | |
|-------------|---|---------------|
| (1) オーステナイト | } | (2) { オーステナイト |
| | | マルテンサイト |
| (3) マルテンサイト | } | (4) { マルテンサイト |
| | | ツルースタイト |
| (5) ツルースタイト | } | (6) { ツルースタイト |
| | | ソールバイト |
| (7) ソールバイト | } | (8) { ソールバイト |
| | | パーライト |
| (9) パーライト | | |

62, 鋼の焼入。

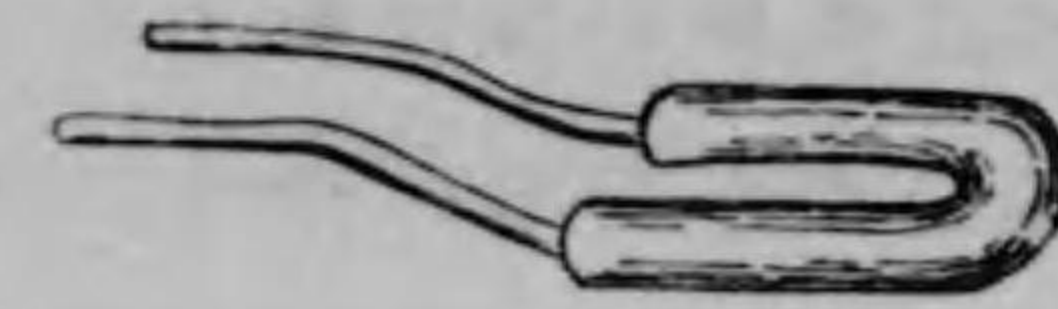
鋼を焼入する目的は、前節に説いた「オーステナイト」以下三つの階段の組織のものを作り、堅硬にして緻密な鋼を得んとするにある。されば其手段は次の二段に分けることが出来る。

第一段、鋼を加熱すること。

第二段、加熱せられた鋼を急冷すること。

變態區域以下の温度にある鋼は急冷しても硬化する性質がないから、焼入にはどうしても變態點以上に熱して一旦「オーステナイト」に變ぜしめることが必要である。しかし、餘り高温度に熱することは色々の弊害を伴うのみならず、急冷すれば曲つたり龜裂を生じたりする恐がある。従つて加熱の温度を適當ならしむることが極めて必要である。鋼が「オーステナイト」となれば其上熱する必要はないのであるが、丁度その時は磁性を失ふ時だから、過熱を防ぐためには磁石を應用するが良いと Howe は言つてゐる。英國人 Taylor 及び Hobson 兩氏は之を實際に應用するために、第八十二圖に示すやうな永久磁石を作つた。この磁石は丁度片手で持てるやうにしてあつて、兩極は特種の金屬で作つて高温度に熱しても磁性を失はないやうになつてゐる。今焼入すべき品物を此磁石で吸附

けて瓦斯爐で熱すると鋼が「オーステナイト」になつて磁性を失つて落ちる。之を冷却器に受けるやうにするのである。



第八十二圖 燒入用特種磁石

以上は一般的の説明であるが、之を三形式の鋼に就いて別々に考へて見ると、多少趣きの異なる點がある。第一に「ユークトイド鋼」では變態點は唯一つであるから、 $A_{c3.21}$ より少しく高い温度から急冷すれば良い。普通 775 度乃至 825 度を適當としてある。第二に「ハイパー、ユークトイド鋼」の場合に於て假りに 1.30「パーセント」の炭素を含有せるものを取つて見ると、此鋼は 93「パーセント」の「パーライト」と 7「パーセント」の「フリー、セメンタイト」から成立つてゐる。(第 22 節)。之を $A_{c3.21}$ まで熱すると 93「パーセント」の「パーライト」は「オーステナイト」に變化するが、7「パーセント」の「セメンタイト」は變化しない。之を全部「オーステナイト」に變ずるためには $A_{c_{cm}}$ まで熱しなければならぬ。今急冷によつて「マルテンサイト」を得るものと假定すると、 $A_{c_{cm}}$ から急冷して得た「マルテンサイト」は、 $A_{c3.21}$ から急冷して得た「マルテンサイト」よりは炭素を含む割合が多いか

ら、後者に比すれば硬度が大なる筈だ。しかし $A_{c_{3.1}}$ から急冷した鋼は非常に堅硬な「セメンタイト」を含有せるために、鋼全體として考へると前者よりも却て硬度が大なるわけである。されば此種の鋼は $A_{c_{3.1}}$ より少しく高い温度から急冷する方が利益である。則ち「ユーテクトイド鋼と同様 775度乃至 825度を以て適當とするのである。第三に「ハイポ、ユーテクトイド鋼に於いて假りに炭素 0.5「パーセント」のものを取つて見ると、約 56「パーセント」の「パーライト」と 44「パーセント」の「フリー、フェライト」から成立つてゐる(第 22 節)。之を A_{c_1} から急冷すれば 56「パーセント」だけは「マルテンサイト」となるし、 A_{c_2} から急冷すれば全部「マルテンサイト」となる。この二つの場合の「マルテンサイト」を比較するに、前の場合の者の方が炭素の割合が多いから無論後者より硬度は大であるが、鋼全體としては 44「パーセント」も「フェライト」を含んでゐるために却つて後者より硬度は小である。其上 A_{c_2} から急冷せられた鋼は「フリー、フェライト」を含有しないため組織が等齊な^{ユニフォーム}ものになる。されば「ハイポ、ユーテクトイド鋼では最も高い變態點まで熱する必要がある。普通 825度乃至 925度を適當としてある。但し 0.25「パーセント」以下の炭素を有する鋼は、殆ど急冷するも硬化しないものである。

鋼を急冷するに普通用ゐる冷却剤は水、油などであるが、冷却の度合は之まで液の温度及熱の傳導度によるものだと考へられてゐた。然るに近來冷却の度合は之等のものに關係なきのみならず、比熱にも無關係であると考へられるやうになつた。Benedicks^{ベネディックス}の如きは冷却の度合は主として液の蒸發の潜熱に關係するものだと言つてゐる。此點から言へば水銀などは水に劣るわけだ。Le Chaterier^{レシャリエール}の實驗の結果によるも實際水は甚だ有效な冷却剤であつて、水銀などは遙に劣つてゐるのである。しかし、Le Chaterierは蒸發の潜熱に餘り重きを置かず、水銀が水に劣るのは比熱が小なるためだと言つてゐる。氏は比熱は冷却に重大なる關係のあるもので、熱の傳導度の如きは左程重要なものでない。又液の動搖によつて取り去らるる熱は傳導によるものよりも多いものだと考へてゐる。實際氏の實驗の結果で見ると、水を注ぎかけるのが最も有效だといふことになつてゐる。Benedicks^{ベネディックス}は此點には餘り重きを置いてゐないやうだ。

63, 焼入せられたる鋼に存する内應力。

鋼を焼入すると内部に一種の應力を生ずる。之は主として材料の内部と外部とに於て收縮の度を異にする結果である。材料の内部はどうしても外部よりも冷却が後れるものであるが、殊に急冷するやうなときは外部は速に冷却して堅固となるから、内部が冷却收縮するとき外部は之に應じて其容積を縮めることが出来ない。その結果内部は伸張力を受け、外部は壓縮力を受けるのである。之が甚しくなれば外部に龜裂を生じる。かの薄い板が急冷によつて曲るのは、兩面の收縮の度が異なるためである。

初めから壓縮力を受けてゐる材料は壓縮に對しては弱く、初めから伸張力を受けてゐる材料は引き切られ易い。しかし、反對の外力に對すると強いものである。夫故内應力を有する材料は格段な場合には大變都合のよいことがある。例へば砲身の如きは壓縮力を受けてゐれば都合の良いやうなものだ。されど一般に材料は如何なる外力にもよく抵抗し得るものが良いのだから、内應力を有する材料は實際上避くべきものである。

急冷せられた鋼の堅硬なるは、この内應力の結果であるといふ説がある。或は多少そんな傾向があるかも知れないが、全然之に歸することは受取り難いことだ。若し

果して内應力が焼入せられた鋼の堅硬な主要原因ならば、高温度に熱する程硬度が増す筈である。しかし、實際一定の度以上に熱しても硬度は増さないではないか。又銅だとかマンガン鋼などのやうに急冷すれば却て軟化する原因は、此説によつて説明することが出来ないのである。

第四項 焼戻し Tempering

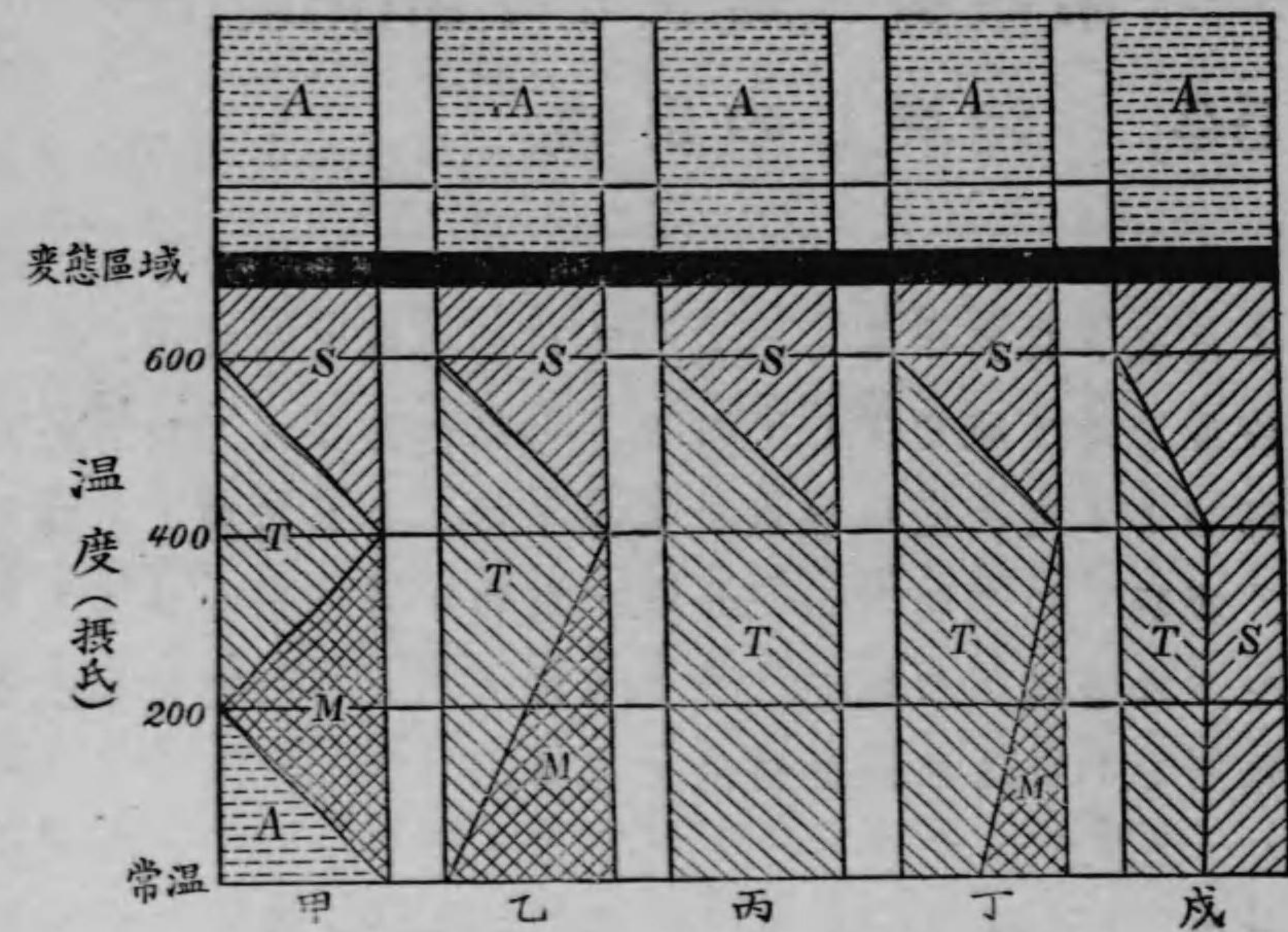
64, 焼戻しの目的。

上に述べたやうに焼入せられた鋼は、内應力を有し且多くは脆きに失するものだ。それで有害な内應力を去り、其硬度を餘り減ぜずして可なりの粘さを保たしむるため、變態點より遙に低い温度に再熱する。之を焼戻しと稱へる。焼戻しの原語 ^{テンパーリング} Tempering は、調和するとか和けるといふやうな意味の言葉で、つまり焼入のために得た不整脆性などを和けるのが其目的である。

65, 焼入せられたる鋼を加熱する際起る變化。

焼入せられた鋼は、何故に焼戻しによつて和げられるかといふことは、容易に理解し得べきことである。則ち

焼入せられた鋼の組織は極めて不安定なもので、機會さへあればより安定な状態に變化しやうとしてゐるので、「オーステナイト」よりは「マルテンサイト」に「マルテンサイト」よりは「ソールサイト」といふやうな順序に變化し、出來得べくんば最も安定な「パーライト」に變化しやうとしてゐるのである。唯常温に於ては剛性が其變化を許さないの



第八十三圖 焼入せられたる鋼を加熱する際の変化

だから、之を加熱して剛性を減じてやりさへすれば、いくらでも變化すべき道理だ。Sauveurは100度に加熱すれば、最早多少焼戻の効果が表示されるものだと言つてゐる。

氏は焼入せられた鋼を熱する際起る變化に就いても明瞭な説明を與へてゐる。次に之を紹介してゐかう。

第八十三圖甲は常温に於て「オーステナイト」ばかりの鋼を加熱した場合を示すもので、加熱するにつれて「オーステナイト」は漸次「マルテンサイト」に變じ、200度に於て全部「マルテンサイト」となる。此「マルテンサイト」は200度以上に熱せられると漸次「ソールサイト」に變じ、400度に於て全部「ソールサイト」に變ずる。かくの如くにして得た「ソールサイト」は400度以上に熱せられるにつれて漸次「パーライト」に變じ、600度に於て全部「パーライト」になる。乙圖は常温に於て「マルテンサイト」ばかり、丙圖は「ソールサイト」ばかりのものであるが、之等は甲圖と比較して考へれば解るだらう。もし丁、戊兩圖に示す如く常温に於て単一の組織のものでない場合には、400度までには「マルテンサイト」の部分ばかり、600度までには「ソールサイト」の部分ばかりといふ風に、先づ變化し易い部分から變化してゆくのである。

かやうにして常温に於て如何なる組織を有するに關らず、600度に加熱すれば全部「パーライト」になるのであるが、この「パーライト」をもつと加熱すれば遂に變態區域に入る。變態區域に於ては温度が昇るにつれて「ソールサイト」は先づ「ソールサイト」に變じ次に「マルテンサイト」

に變化し、變態區域以上に達すれば「オーステナイト」になるのだと Sauveur は言つてゐる。

上に述べた所によれば 600 度に再熱せられたものは、最早焼入の効果が全く消滅して了ふのである。然るに金屬を切削するやうな場合には随分熱を發生するものだから、其熱のために幾分焼が戻るわけだ。殊に高速度で切削するやうな場合には特に甚しいわけである。従つて高速度刃物としては炭素鋼は適當しないのである。

66, 焼戻しの方法。

前節に述べたやうな次第だから、焼戻しに於て加熱するときの温度は餘り高くする必要なきのみならず、却つて弊害がある。されば其温度を選定することは極めて肝要な條件であつて、それは處理すべき品物の用途によつて異にすべきものだ。例へば剪刀の如く非常な硬度を要するけれども別段力を要しないものでは、温度を低くすべく約 230 度位を適當とする。之に反して「タガネ」の如く錘打せられるやうなものは、餘り脆くては困るのだから温度を高くして 300 度位にする。

焼戻しする鋼は豫め充分に磨いておくのであるが、かやうなものは熱せられると表面に酸化物の薄膜を生ずる。

この薄膜の色合は温度によつて異なるものだから、普通この色合によつて温度を見分けることになつてゐる。Howe は其色合と温度との關係は次の如きものだと言つてゐる。

第十二表……焼戻しの温度と色合との關係。

色	合	温度(攝氏度)
鮮	黄	220
葉	色	230
金	黄	243
褐	色	255
帶	紫	277
紫	色	288
藍	色	297
暗	藍	316

焼戻しをするに當り、望みの温度に達してから幾許時間其温度に曝しおくを可とするかといふことは一つの問題である。從來一定の色合に達した時は、其上長く其温度に曝しておいても焼戻しの效力を増すものではなく、もつと焼戻しするためには其温度を昇さなければならぬと信ぜられてゐた。然るに近來一定の温度に曝す時間を永くすれば、焼戻しの效力も進み同時に色合も進むもの

だといふことが解つてきた。もし果して然りとすれば、焼色は温度を表はすよりも寧ろ焼戻しの效力の進んだ程度を示すものだ。と見る方が正しいのである。されば或温度から直ちに冷却した場合と、夫よりも低い温度に永く置いて、其色合が前のものと同様になつたとき冷却した場合とでは、同一の結果を得べき道理である。しかし、一定の温度に永く曝しておくよりも、望みの色合に達するまで温度を昇せて直ぐ冷却する方が實際上便利である。

焼戻しの場合に於ては冷却の緩急は、鋼の性質に少しも影響しないものである。何となれば、例へば今 300 度に熱したとすれば、鋼が變化せんとする傾向と其温度に於ける剛性とが釣合ふまで變化する筈だ。然るに之を冷却して 299 度になつたとすれば、300 度のときに比して剛性が少しでも増すわけだから、鋼の變化を阻止する働きを増すのである。かやうに温度が少しでも下れば最早鋼は變化することが出来ないのだから、焼戻しの場合には冷却の緩急は鋼の性質に影響を及さないのである。

67, 焼戻しに於ける硬度の減少及熱の發生。

焼戻しをすれば硬度を減ずることは當然の理である。Heyn の實驗に依るに各温度に於て硬度の減ずる割合は、次の表に示す通りである。

第十三表 焼戻し温度と硬度の減少割合。

温度(攝氏度)	硬度の減少 (%)	温度(攝氏度)	硬度の減少 (%)
100	2.5	400	70.0
200	14.0	500	87.5
300	41.0	600	97.5

焼入は鋼の變化を妨げるものだから、變態點に於ける熱の發生を阻止することになる。従つて其熱は潜熱として鋼中に保存せられてゐる。然るに焼戻しに於ては幾分か其變化を許すのだから、この場合には多少の熱を發生すべき道理である。Heyn は 350 度に於て熱を發生する割合は最大であると言つてゐる。

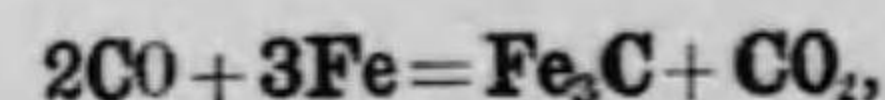
第五項 膚鋼法 Case Hardening

68, 鐵中に炭素の滲入すること。

鐵が炭素を吸収する性質は温度が昇るにつれて増加することは、既に述べたことである。今鐵を炭素物で包

み之を高温度に熱すると、鐵は直ちに炭素を吸収し始める。この方法を數日間に涉つて行ふときは、その吸収せられる炭素の量は多くなる。之を^{セメント化}滲炭法 Cementation と稱へて鍊鐵を鋼にするに用ひる。もし之を數時間行ふときは外部は炭素を吸収して硬くなるが、内部にはまだ炭素が滲入するに至らずして柔軟な心部を得るわけだ。之を^{オーステナイト}膚鋼法と稱へて主として軟鋼に行ふ方法である。いつたい焼入せられた鋼はよく磨耗に耐へるものだが、充分磨耗に耐へ得るほどに硬度を増せば、材料は餘りに脆く且^{衝撃}衝撃に耐へ得ないものとなる。そこで外部は充分に硬くして、しかも比較的柔軟な心部を有し、磨耗にも衝撃にも耐へ得るやうにしやうといふのが膚鋼法の目的である。

鐵のなかに炭素の滲入するのは如何なる状態に於て行はるるものであるかと言ふことに關しては、近來包被せる含炭素物より發生する瓦斯の作用であつて、炭素其物が直接働くものではないといふ説が行はれてゐる。この説によると、炭素は空氣中の酸素と化合して一酸化炭素(CO)を作り、この一酸化炭素が鐵に働いて、



なる變化を起して「セメンタイト」と炭酸瓦斯とを作る。この「セメンタイト」は直ちに「オーステナイト」に固溶して其炭素含有量を増し、炭酸瓦斯は滲炭剤中の炭素と化合して

一酸化炭素となり再び鐵に働くのである。又窒素との化合物 CN も亦滲炭の働きを助けるものだと言はれてゐる。

かやうな譯だから膚鋼法に於ては、少なくとも變態點以上に加熱する必要がある。普通 900 度乃至 950 度位である。膚鋼法に處せられた鋼では、外皮より中心に向つて漸次炭素の量を減すべき筈であるが、外皮の炭素量は 0.9「パーセント」を超えない方が良いといふことになつてゐる。この方法では處理すべき時間が長いほど、深く炭素が滲入すべきことは言ふまでもない。Lake の著書によれば直徑 $\frac{5}{8}$ 吋の丸棒を處理したとき、時間と滲炭の深さとの關係は次の表に示すやうになつてゐる。

第十四表……膚鋼法に處する時間と滲炭の深さとの關係。

時 間 數	深 さ (吋)
4	0.040
8	0.062
10	0.071
12	0.079
14	0.085
16	0.090

茲に面白いことには、膚鋼法に處せられた鋼を長時日

放置すれば滲透によつて外部の炭素が漸次内部に滲入するのである。表皮が1.25「パーセント」の炭素を含有してゐたものを六ヶ月間放置しておいた爲に、炭素が内部に滲入した結果外皮に於て炭素は0.92「パーセント」に減じた事實がある。

69, 膚鋼法に處すべき鋼の成分。

膚鋼法に於て滲炭の度合は、次の五つの條件によつて異なるものだ。

- (1) 鋼の成分。
- (2) 滲炭剤の性質。
- (3) 滲炭温度。
- (4) 時間數。
- (5) 滲炭後の處理。

膚鋼法に處すべき鋼の炭素含有量は少ない方が好いので、普通0.2「パーセント」以下としてある。蓋し元々多量の炭素を含有せるときは、長時間加熱する必要あり、其結果心部が著しく脆くなるからである。特種元素の存在は膚鋼法に於て重大な影響を及ぼすものである。「マンガン」、「タングステン」、「クロミウム」、「モリブデナム」などの如く重炭化物を作るものは滲炭の度を増加し、硅素、「ニッケル」、「アルミ

ニウム、「チタニウム」などの如く固溶し得るものは之を妨げるのである。今之等の元素と滲炭の度合との關係を表示すれば次のやうになる。

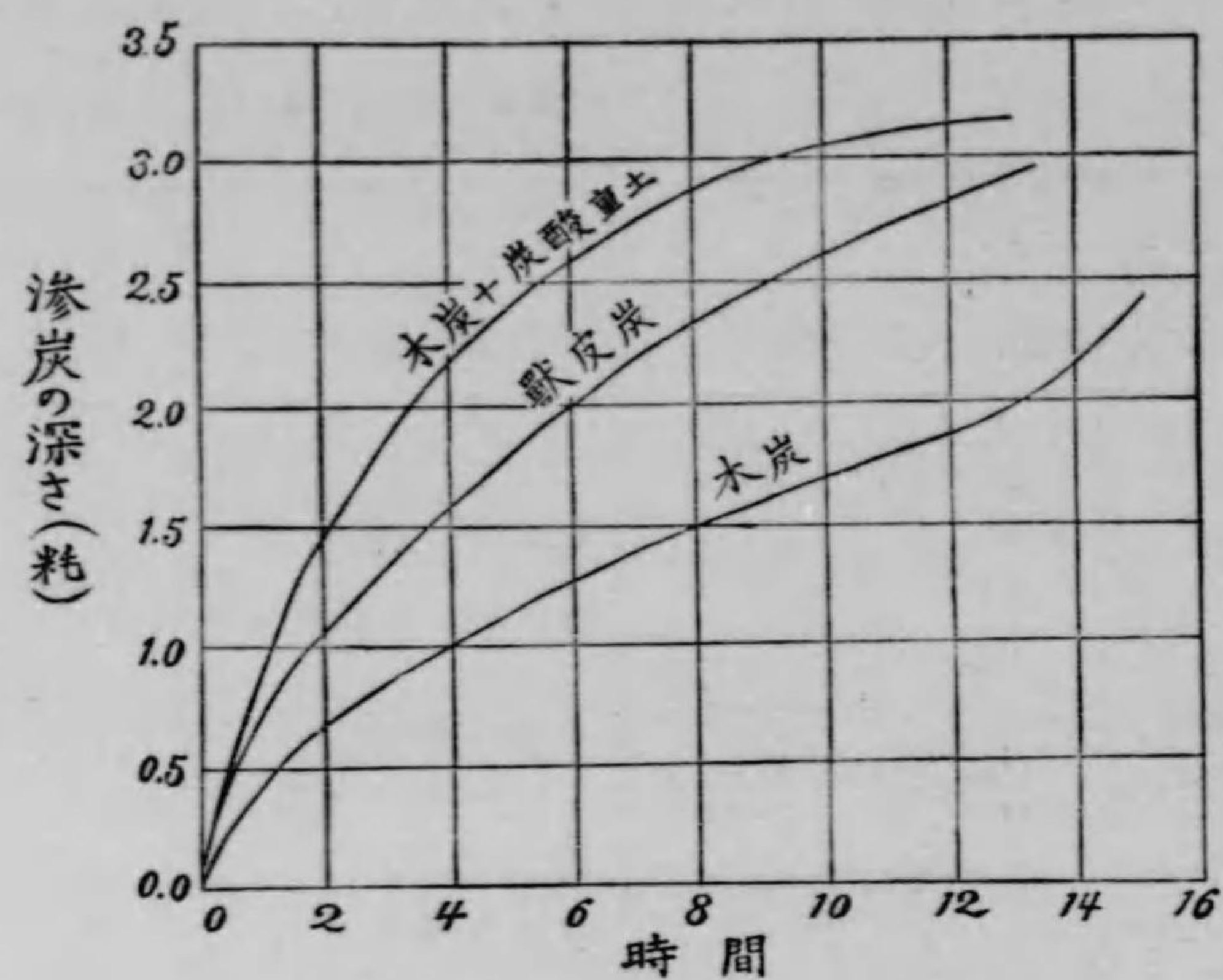
第十五表… 特種元素と滲炭の度合との關係。

滲炭を助くる元素		滲炭を妨ぐる元素			
元素の量(%)	滲炭の度合(毎時間時)	元素の量(%)	滲炭の度合(毎時間時)		
マンガン	...0.5	0.043	硅素	...0.5	0.024
	...1.0	0.047		...2.0	0.020
クロミウム	...1.0	0.039	ニッケル	...2.0	0.028
	...2.0	0.043		...5.0	0.020
タングステン	...0.5	0.035	チタニウム	...1.0	0.032
	...1.0	0.036		...2.0	0.028
モリブデナム	...1.0	0.026	アルミニウム	...1.0	0.016
	...2.0	0.043		...3.0	0.008

70, 滲炭剤。

滲炭の度合は鋼の材質によることもあるが、滲炭剤の良否も亦極めて重大なる關係のあるものである。滲炭剤として廣く用ゐらるゝ材料は、木炭、獸炭、及び炭酸重土と木炭との混合物などである。英人 Scott が之等の材料を用

ひ. 0.14「バ〇セント」の炭素を含有せる鋼を 900 度に於て
 滲炭した結果は第八十四圖に示すやうなものだ。



第八十四圖……各種滲炭剤と滲炭の度合との關係

之によつて見れば木炭と炭酸重土とを混じたものは最も有効である。其混合割合は 6 に對する 4 とするのが普通である。

71, 膚鋼法に處したる後の處理。

膚鋼法に處したる鋼は龜裂を生じ易いものでもあり、又注意しないと折角の炭素を脱出せしめることがある。

堅き外皮を得るためには變態區域以上の溫度から急冷すべきものだが、非常な高溫度に長時間曝されたため組織が粗くなつてゐるから注意しなければならぬ。現今最も普通に行はるる方法は、一旦除々に冷却して常溫に達した後之を再熱し、變態點より少しく高い溫度から急冷するのである。

第七章 鑄鋼及鑄鐵の組織

72, 鑄鋼 Cast Steel の組織

一般に鋼といへば 0.05 乃至 1.5 「パーセント」の炭素を有するものであり、炭素が約 2.3 「パーセント」以上のものは鑄鐵と稱せられる。其中間 1.5 乃至 2.3 「パーセント」の炭素を有するものは鍛鍊も鑄造も出来ないう工業上必要なものである。されば鑄鋼は凝固すれば第六十四圖④區域に入るべきもので、適當なる型に鑄造せられて靜に冷却せらるる結果、結晶粒は粗くなり、適當に鍛鍊せられた鋼に比すれば弱くして靱性乏しきものとなる。時としては脆いやうなこともある。その組織は普通の鋼と別段異なるところもないが、多少趣きを異にするところもあるから次にざつと説明しておく。

(a) 鑄造せられた「ユーテクトイド」鋼の組織

鋼が熔融せるときは無論 Fe_3C が鐵のなかに溶解せる一種の溶液であつて第六十四圖⑦區域に屬する。之が凝固すれば「オーステナイト」となり、④區域を冷却する間に其

結晶粒を増大する。かやうにして結晶粒の大きな「オーステナイト」は變態點 $A_{r_{3-2}}$ に於て全部「パーライト」に變化するため、其組織は粗くなるのである。第八十五圖は此組織を示すものである。

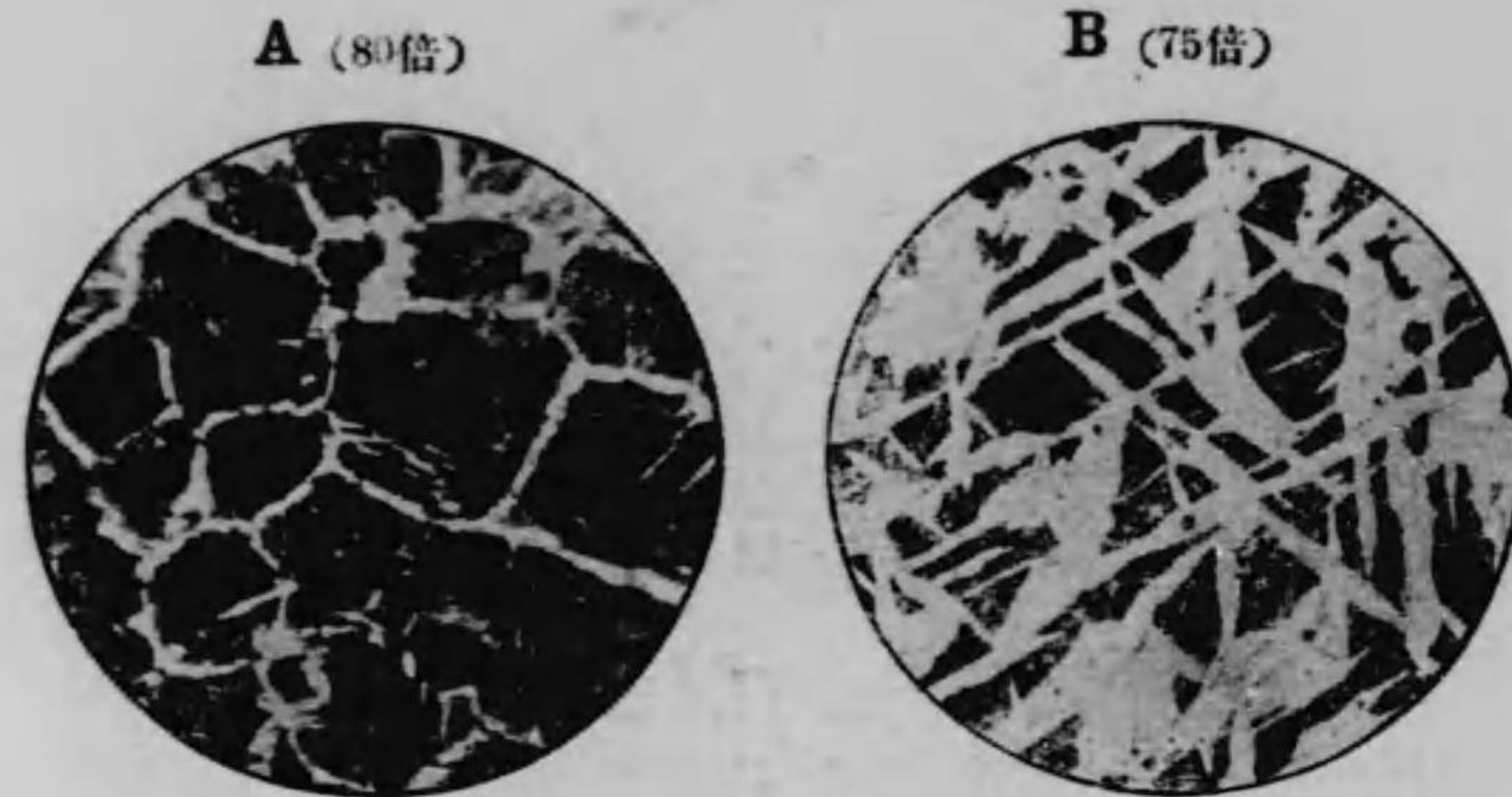


第八十五圖……鑄造せられたる「ユーテクトイド」鋼 (400倍)

(b) 鑄造せられたる「ハイポユーテクトイド」鋼の組織

此種の鋼も亦凝固の後第六十四圖④區域を冷却する間に「オーステナイト」の結晶粒を増大し、その炭素含有量の多少によつて A_{r_3} , A_{r_2} , 或は $A_{r_{3-2}}$ に於て「フリー、フェライト」を分離し、 A_{r_1} に於て「パーライト」を生ずる。分離せられた「フリー、フェライト」は第八十六圖Aの如く主として「パーライト」の結晶粒の間に排斥せられ、或はB圖に示す如く主として結晶の裂面の間に排斥せられることもある。従つて兩圖の中間に位する組織、則ち「フリー、フェライト」の一部分は結

晶粒の間に、一部分は裂面の間に排斥せらるることもあり得べき道理だ。されば此種の鋼は「フリー、フェライト」の存在せる位置によつて三種に區別することが出来るのである。



第八十六圖……鑄造せられたる「ハイポ、ユーテクトイド」鋼

「ハイポ、ユーテクトイド」鋼は除々に冷却せられた結果、充分「フェライト」を分離し「ユーテクトイド」鋼より粗い組織となるのである。

(c) 鑄造せられたる「ハイパー、ユーテクトイド」鋼の組織

この場合には A_{cm} に於て「フリー、セメンタイト」を分離し、 $A_{r_{2-1}}$ に於て「パーライト」を作る。「フリー、セメンタイト」の存在する位置は、前の場合と同様に結晶粒の間或は裂面の

間及び其中間に位するものとの三種の別がある。第八十七圖は「フリー、セメンタイト」が結晶粒の間と裂面の間とに排斥せられたものを示したのである。この種の鋼も冷却中充分に「フリー、セメンタイト」を分離するため、「ユーテクトイド」鋼に比べると其組織が粗くなるものである。



第八十七圖……鑄造せられたる「ハイパー、ユーテクトイド」鋼 (75倍)

73, 鑄鋼の焼鈍。

前節に述べたやうに鑄鋼は極めて粗い組織を有し、且冷却収縮のため生ずる内應力を有するものだから、之を焼鈍することは必要なことである。鑄鋼は鍛錬せられた鋼よりも焼鈍し難いもので、變態點以上遙に高い温度に加熱する必要がある。焼鈍温度からの冷却は除々に行へば組織を粗くし、急速に行へば不平等の断面を有する鑄