



1

0046309-000

特223-86

金属材料

茨木正雄・著

大石堂出版部

昭和17

AHF

特223

86

この著作物は、著作権者不明のため、著作権法
第67条の規定に基づき、平成12年3月2日付
けで文化庁長官の裁定を受け使用するものです。

419
362

特223
86

金 料
屬 精



工學士 茨木正雄著



大石堂出版部
發行



緒 言

筆者は先に航空機材料金属篇を編纂しましたが、意に満たぬ所が多いのでこれを絶版とし、これを訂正増補して本誌を編纂しました。而して前者は稿を新にして編纂する豫定であります。

高学年の中等学校生徒諸君に金属材料の手ほどきをなすには適当な教科書を用ひ、これを骨格となし讀者のよりよき理解によつて充分な肉づけをなすことが最も望ましいことと信じます。こんな意味で本書は無暗に多数の事項を羅列するハンドブック式をさけて所謂“ハンドブックを自由につかひこなし得る”の素地を作ることに編纂の重點をおきました。

本書を編纂するに参考にさせて戴いた諸先生諸大家の著書を次にかゝげまして各位に深甚の謝意を捧げます。

山口 珪 次	金属材料
多賀谷 正義	耐蝕耐熱合金
飯 高 一 郎	金属と合金
石 田 四 郎	航空機材料
高 瀬 孝 次	航空機用發動機材料
G. Titterton	Aircraft Materials and processes

編 者 識

金 屬 材 料

目 次

第 1 章 定 義

學術用語	1
熱處理用語	2
機械試験用語	3

第 2 章 金屬材料試験法

抗張力試験法	6
硬度試験法	12
曲げ試験	16
繰返し曲げ試験	17
衝撃試験	17
疲労試験	19

第 3 章 鋼の熱處理

臨界範圍	21
鋼の組織	22
熱處理の原理	24
マルテンサイト	25

トルースタイト	25
ソルバイト	26
焼 鈍	27
焼 準	28
硬 化	29
焼 戻	30
第 4 章 表面硬化	
肌 焼 法	31
窒 化 法	35
第 5 章 鑄 鐵	
銑 鐵	38
鑄 鐵	40
高級鑄鐵	42
特殊鑄鐵	43
第 6 章 合 金 鋼	
合金鋼に於ける諸元素の影響	46
構造用特殊鋼	48
耐 熱 鋼	52
工 具 鋼	53
特殊工具材料	55

焼結合金工具	55
第 7 章 銅及びその合金	
銅	57
黄銅又は真鍮	59
青 銅	65
第 8 章 アルミニウム及びその合金	
アルミニウム	76
鑄造用アルミニウム合金	78
加工して用ひるアルミニウム合金	90
アルミニウム合金の腐蝕	97
第 9 章 マグネシウム	
二元合金系	101
三元以上の合金系	103
第 10 章 錫・鉛・亜鉛及びその合金	
錫	113
鉛	113
亞 鉛	114
軸受合金	115
接合用合金	120

活字用合金	122
硬鉛	123
ダイカスティング用合金	123
可熔合金	124

金 屬 材 料

第 一 章 定 義

學 術 用 語

硬 度

硬度は押込のやうな變形作用に對する抵抗の度合で示される。硬度は鍛打、壓延その他の加工に依つて増加する。

鋼アルミニウム合金其他二三の合金は熱處理に依つて硬度を増加する。焼鈍によつて硬度は減少する。

硬度試験としては硬化した鋼球を一定荷重の下で試験片におしつけ、押込痕の徑又は深さを測定して硬度を定める方法が最も廣く行はれる。如何なる材料でも押込痕の徑又は深さと抗張力との數値間には一定の關係がある。

脆 性

分子の相對位置を變化せんとする力に對抗する性質、即ち形狀を變化せず破壊せんとする傾向である。脆性と硬度とは互に關聯した性質で硬い材質は軟い材質より一般に脆い。

展 性

割目を生ぜず曲つたり、永久歪を生じたりする性質である。壓延されて薄板になつたり鍛打、屈曲等に依る製作を可能ならしめる。

延 性

破壊する事なしに伸び得る性質である。これは延伸に依つて線、

針金又は管を造る時に必要な性質である。展性と非常に似た性質である。又展性と同意に用ひられて破壊することなしに變形する意味に用ひられる事もある。

弾 性

變形を起している力が取去られる時元の形狀に戻らんとする性質を弾性といふ。機械設計では荷重をうけた部分に永久歪の出来ないように設計される。ある限度以上に荷重をうけると永久歪が出来る。この限界を弾性限といふ。

熱 處 理 用 語

臨界範圍

これは鋼に用ひられる言葉で700°乃至870°の溫度範圍を稱する。この溫度範圍を通過すると鋼の組織が變化する。この溫度範圍を通過して急冷すると、鋼の變態が完全に起ることが出来ないでその結果特異な性質を得る。鋼の熱處理はこの現象に基いて行はれる。

焼 鈍

鋼は臨界溫度以上に保つて鋼が平均に加熱され鋼の粒子が均齊する迄その溫度に保ち、その後極めて徐々に冷却する。臨界範圍をもたない金屬でも組織を調整する意味で徐熱徐冷する事を焼鈍といふ。焼鈍は必ず材質の軟化を伴ひ内部歪を除去する。

焼 準

焼準は焼鈍と大體同一であるが、この場合は空氣中で冷却する(空冷)従つて焼鈍の場合より冷却速度が早い。

焼準は鋼のみに適用され、焼鈍より稍程度は低い軟化を起す。

従つて焼鈍の場合より抗張力は一般に高い。

調 質

調質とは材質の物理的性質を改善する操作である。鋼の場合は硬化と焼戻との兩作用によつて調質を行ふ。

硬 化

鋼を臨界範圍の溫度以上に加熱してこれを急冷すれば硬化する。

焼 戻

硬化せる鋼を臨界溫度以下で再加熱後適當な方法で冷却する。目的は焼入歪を除去するにある。

滲 炭

滲炭とは、高温で低炭素鋼と炭素を含んだガス、液體、固體の物質と接觸させて鋼表面に炭素を添加含有させる操作である。炭素0.25%以下の鋼にこの方法を適用する。

機械試験用語

歪

外力が加はつたために物體に生じた變形。

應 力

物體に外力が加はるときは歪を生ずる。その歪のために生ずる反作用として外力に釣合ふ力を物體の内部に生ずる。これを應力といふ。

抗 張 力

これは又最大抗張力ともいふ。材料の耐へ得る最高の引張荷重で、普通單位面積に對する荷重を以て表はす。

即ち最高の引張荷重を抗張試片の最初の断面積で割ればよい。

その単位はポンド/吋² (英米) 又は庇/糎² (日獨佛) である。

弾性限

荷重を取去つたとき永久歪を全然残さない程度の最大荷重を弾性限といふ。

比例限界

歪と荷重とが比例する範囲での最大荷重を比例限界と云ふ。歪と荷重の間の比例の法則はフックの法則として知られてゐるものである。この限界の決定が弾性限の決定より容易である。而して大體弾性限と一致する故比例限と弾性限はよく同一意味に用ひらる。

耐 力

荷重を完全に除去した時、試験片の標點距離の0.1%の永久歪を残す荷重を耐力といふ。

降 伏 點

軟鋼の試験片に荷重を加へて行くとある荷重でそれ以上荷重を加へないにもかゝらず變形量が増加する點がある。この時の應力を降伏點といふ。この現象が明瞭に表れるのは二三の材料に限られる。

伸

伸は試験片に荷重を加へる前の標點距離と破壊後のそれとの差の前標點距離に對する割合を以て示す。即ち試験片を試験機から取去りこれを平面上において切れ口をつき合せ標點距離の増加を測り伸を算出する。

断 面 絞

試験片の最初の断面積と破壊後のそれとの差を最初の断面積で除した商を以て示す。

弾性係數

弾性限以内に於ける荷重と歪の比

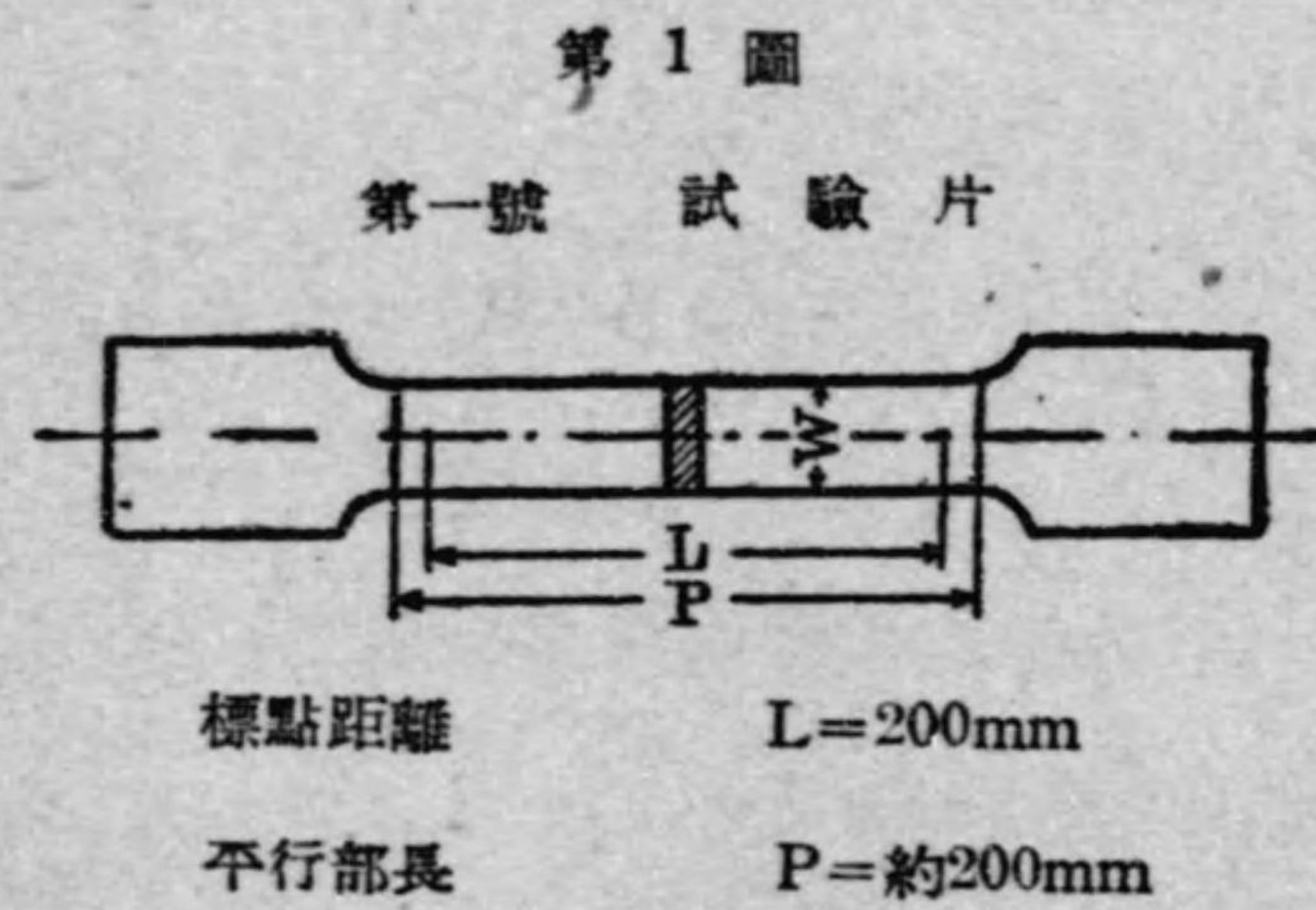
$$E = \frac{\text{單位面積に對する荷重}}{\text{單位長に對する歪}}$$

第二章 金屬材料試験法

抗張力試験法 抗張力試験法は材料の基本的性質を知るのに最も必要なものであつて、最大抗張力以外に降伏点、伸、絞等が同時に本試験法で測定出来る。

日本標準規格では、抗張試験に用ひる試験片の寸法を次の如く定めてゐる。試験片は何れも特別の事情のない限り両端の断面を大きくして取付けを便利にする。その中間は適當の長さの間一様の断面のものとする。此の部分を平行部と呼ぶ。

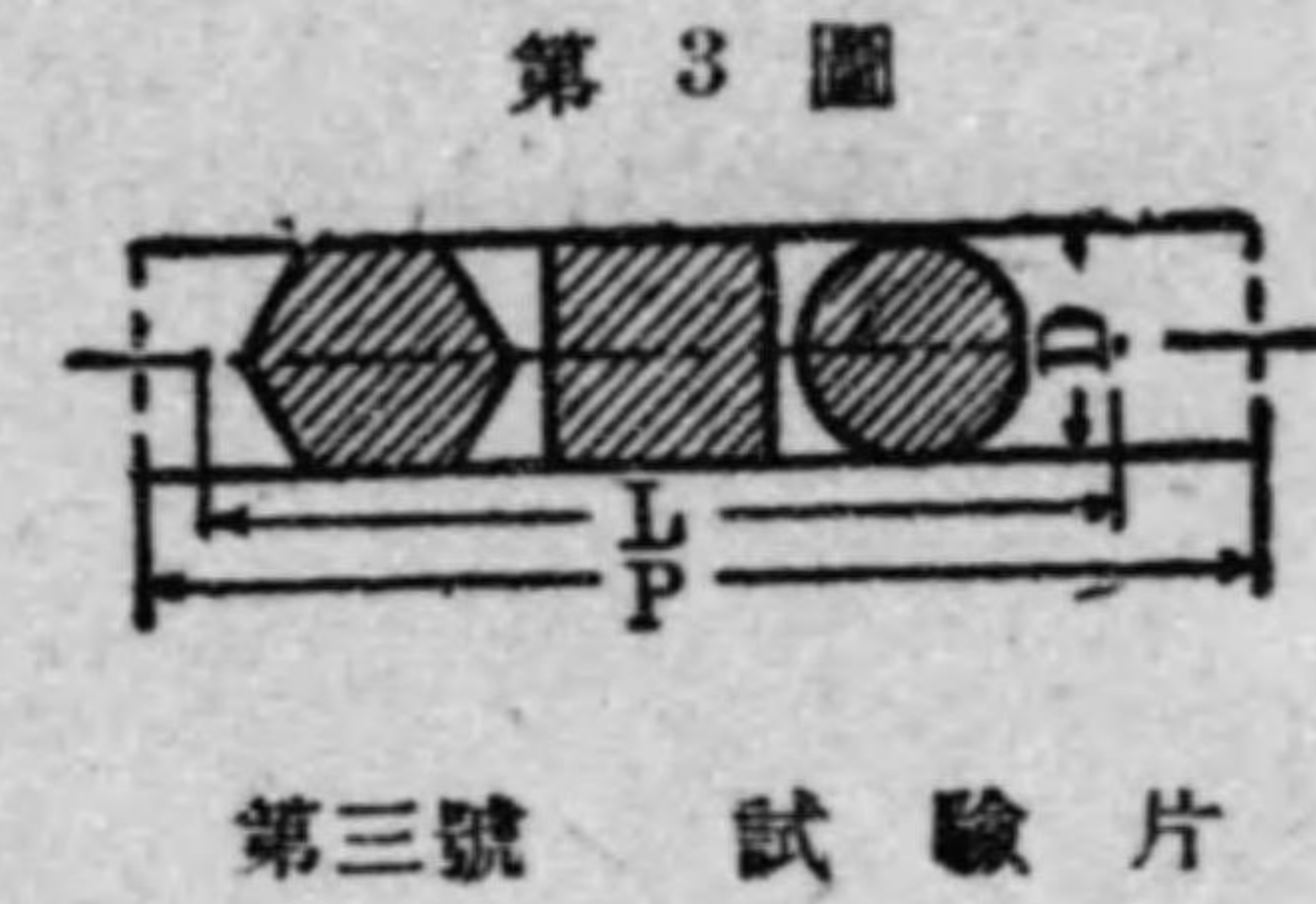
金屬材料引張試験片



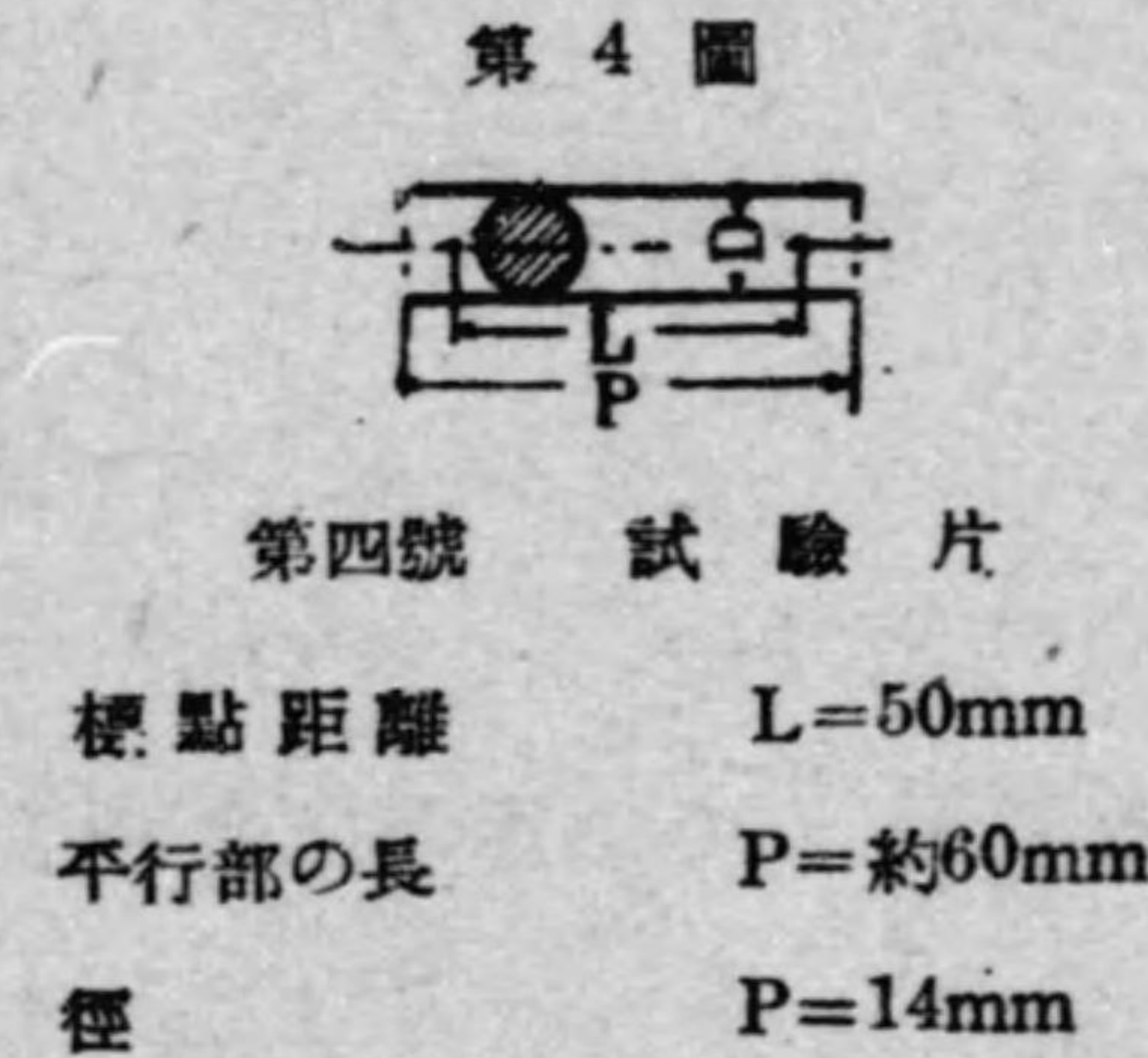
試験片ノ厚mm	幅mm
23ヲ超ユルモノ	40以下
9以上23以下	50以下
9未満	60以下



標點距離Lは徑（又は對邊距離）Dの8倍、兩端を太くするものにおいて平行部の長さPはDの約9倍。



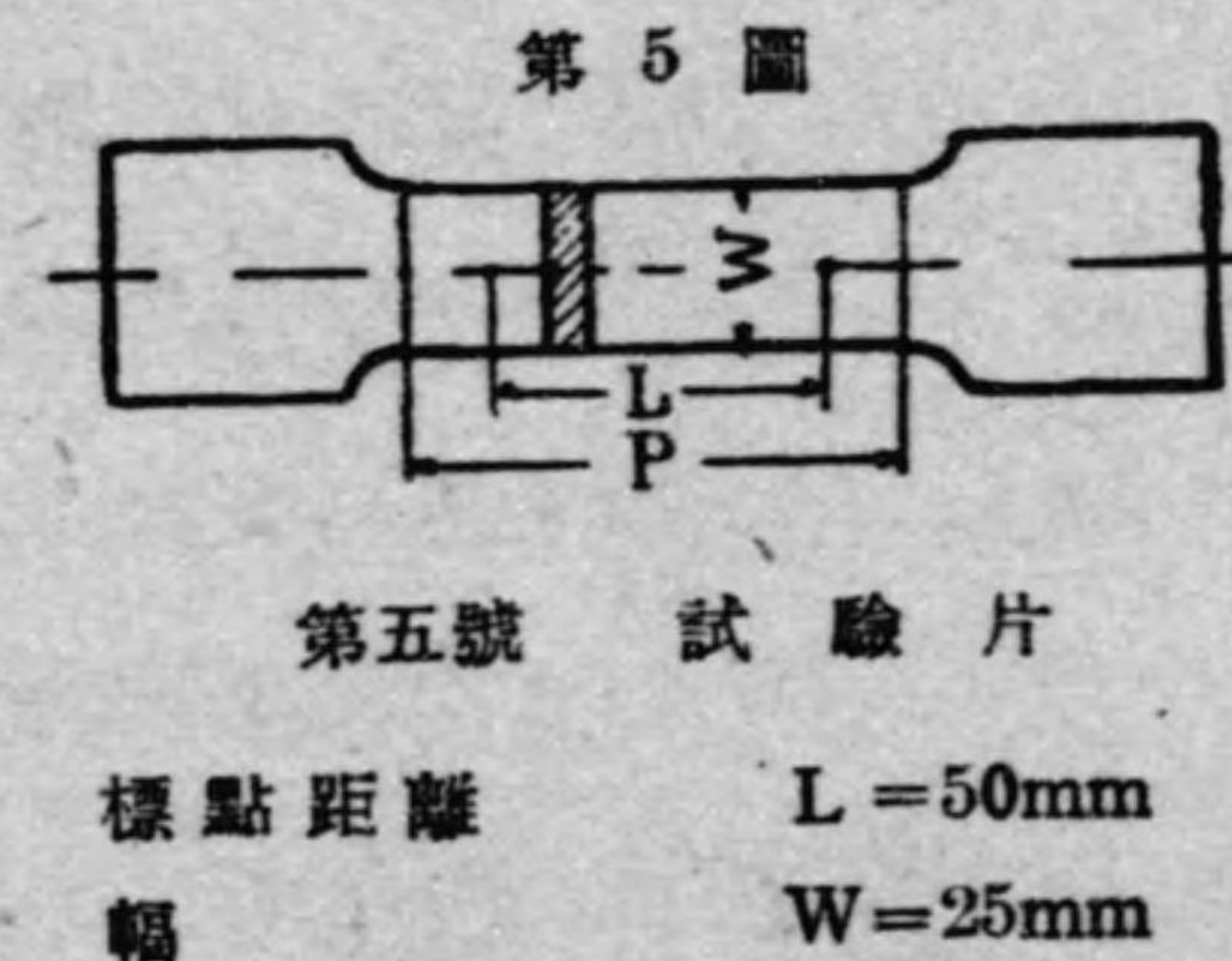
徑（又は對邊距離）25mmを越ゆる試験片
標點距離Lは徑（又は對邊距離）Dの4倍、兩端を太くするものにおいて平行部の長さPはDの約4.5倍



本試験片の断面は圓形なるを要す。
材料の都合により左記の寸法によること能はざるときは次式により標點距離を定むることを得

$$L=4\sqrt{A}$$

(Aは試験片の斷面積)



備考 各號試験片の兩端は試験に適合する形狀に仕上げるものとす。

各號試験片の用途

第一號試験片

本試験片は主として鋼板・平鋼・形鋼の引張試験に用ふ。

第二號試験片

本試験片は主として鋼棒の引張試験に用ふ。

本試験片の平行部は壓延せるまゝとし又は機械仕上により之を作成することを得。

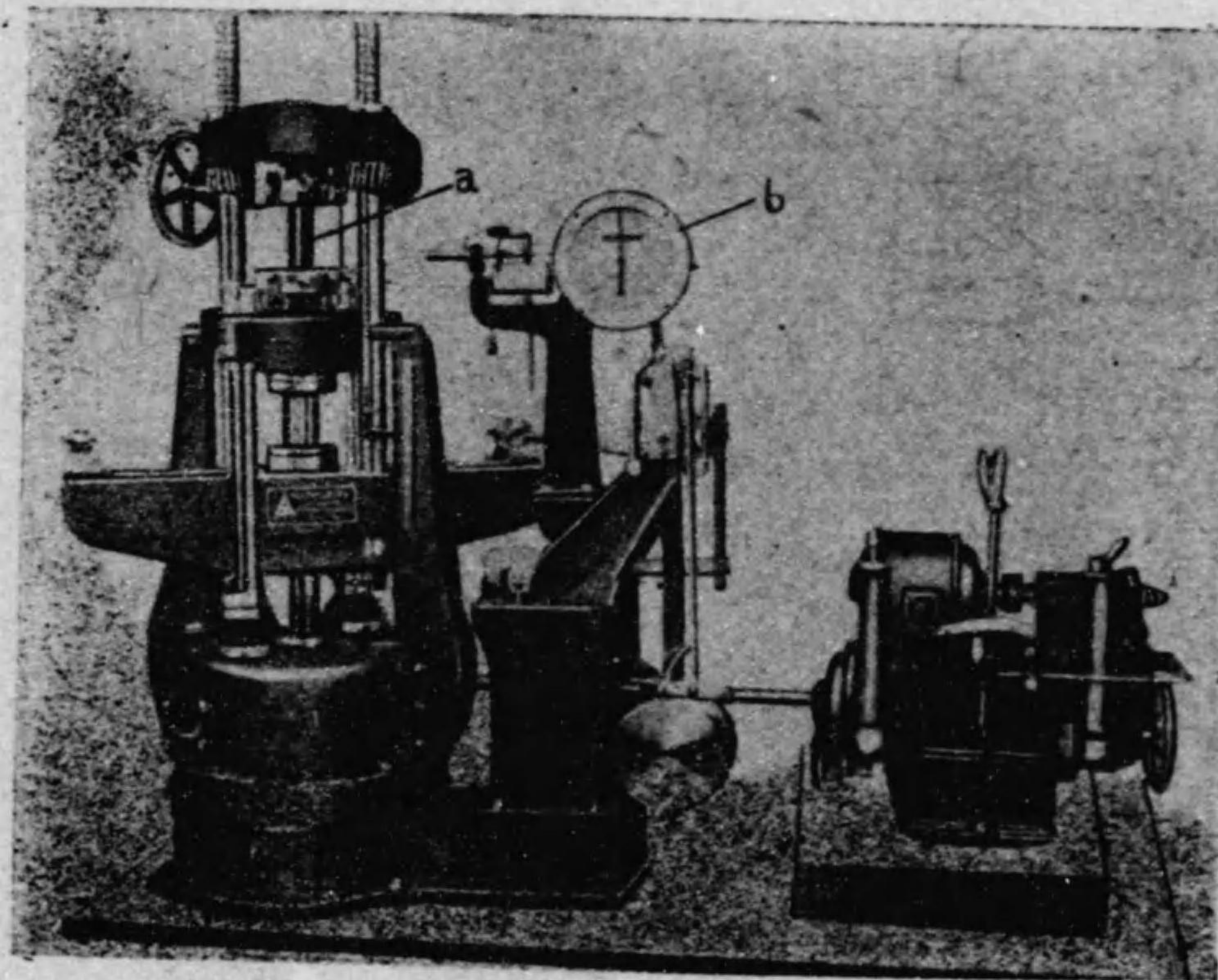
第三號試験片

本試験片は径(又は對邊距離) 25mmを超ゆる鋼棒の引張試験に用ふ。

本試験片の平行部は壓延せるまゝとし又は機械仕上によりこれを作成することを得。

第四號試験片

本試験は主として鍛・鑄鋼品並非鐵金屬(又は其の合金棒)の引張試験に用ふ。



第 6 圖

第6圖は松村式萬能試験機で曲げ壓縮の装置も具へてゐる。

aは抗張力試験片でbで試験片にかゝる全荷重を示す。

試験片が破断する迄にかゝつ

た最大荷重をMとし

試験前の試験片平行部の断面積をSとすると

抗張力 $T = M/S$

又 $l =$ 試験前の標點距離

$l_1 =$ 試験後の標點距離

とすれば伸 δ は

$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\%$$

又 $F =$ 試験前の断面積

$F_1 =$ 試験後の最小断面積

絞 φ は

$$\varphi = \frac{F - F_1}{F} \times 100\%$$

弾性限界, 降伏點:

今軟鋼の丸棒をとつてこれを引張るものとする。荷重の小さい間は荷重と伸びとは直線的に變化し、荷重をとり去れば棒は殆んど全く原形に復する。荷重がある大きさ以上になると之を取去つても棒は原形に復しないで永久伸びが残る。これを残留延伸といひその限界の荷重に相當する應力を弾性限界といふ。實際問題としてこの残留延伸を實測することは、その價が小さければ小さい程困難であるから、通常は標點距離の0.03%又は0.005%の残留延伸に對する弾性限界を定めてゐる。故に弾性限界値を表はすときは必らず残留延伸の値を添附しなければならない。

今弾性限の測定記録をかゝげて説明をなさう。(第1表)

弾性限界を知るには試片を抗張試験機に装置し階段的に荷重をかけ精密計器で全體伸を測る(伸第一行)。次に各階段に於てその荷重を除いて基本荷重 200kgとしたときの残留伸(伸第二行)を測定し、

第 1 表

荷 重 kg	伸 (単位0.0001mm)			1階段の弾性伸 単位0.0001mm
	全 體 伸	残 留 伸	弾 性 伸	
600	200	172	0	172
1.000	200	344	0	344
1.400	200	516	0	516
1.800	200	688	2	686
2.200	200	860	4	856
2.600	200	1.032		170
3.000	200	1.204	8	1.196
3.400	200	1.378	10	1.368
3.800	200	1.552	12	1.540
4.200	200	1.727	16	1.711
4.600	200	1.903	19	1.884
5.000	200	2.078	22	2.056
5.400	200	2.253	25	2.228
5.800	200	2.431	27	2.404
6.200	200	2.610	30	2.586
6.600	200	2.793	35	2.758
7.000	200	2.977	42	2.935
7.400	200	3.162	50	3.112
7.800	200	3.350	63	3.287
8.400	200	3.648	91	3.557
9.000	200	3.961	124	3.837
9.600	200	4.295	186	4.109
10.200	200	4.698	293	4.405
10.800	200	5.252	540	4.712
11.200	200	5.785	834	4.951
11.400	200	6.079		107

11.600	200	6.633	1.041	5.058	177
11.800	200	7.210	1.398	5.235	
11.900	200		1.920	5.290	55

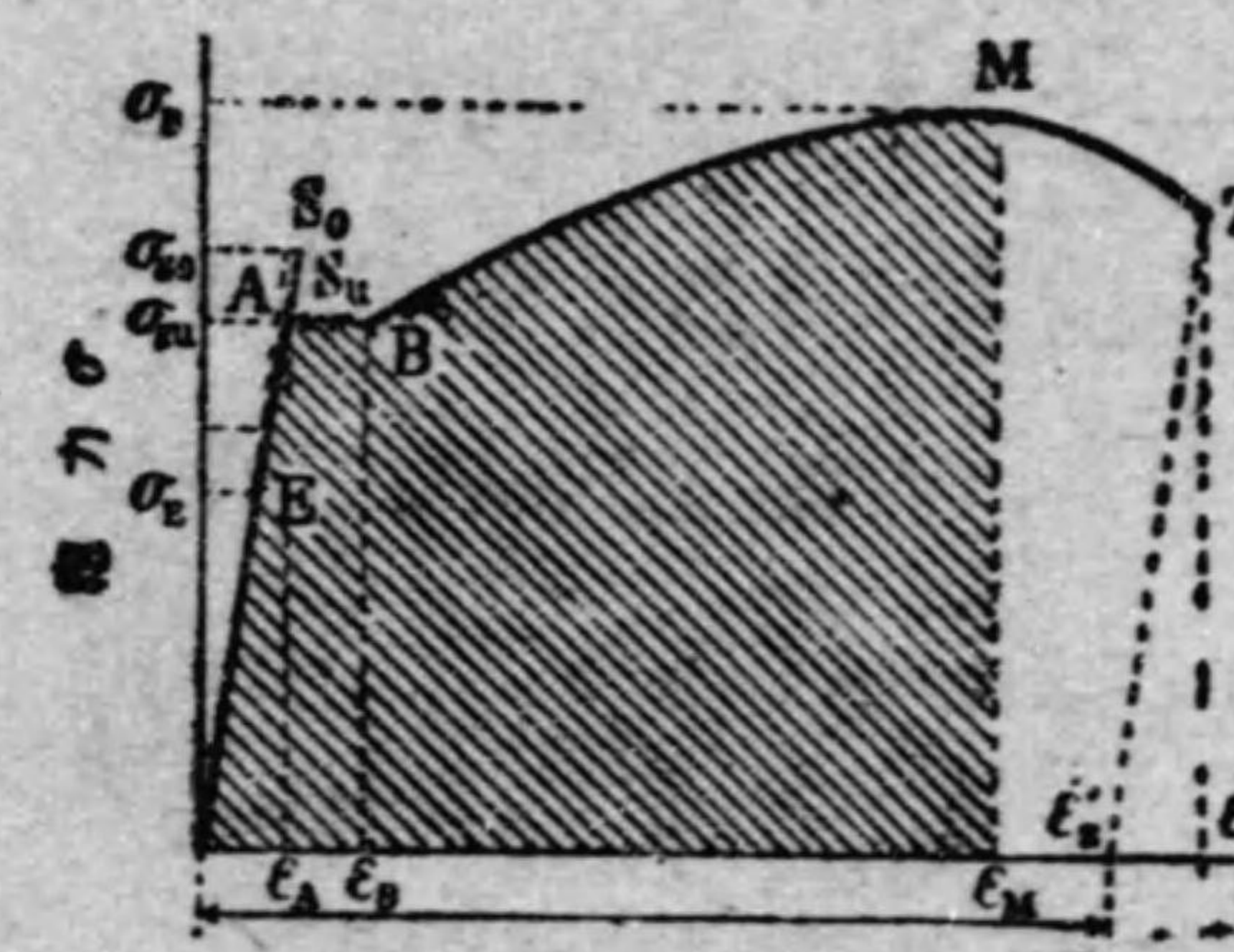
尺度目盛動き讀取り不能

適當の残留伸に對する荷重を以て弾性限とする。例へば残留伸

- 0.001% (0.001mm)に對して 3400kg 30kg/mm²
- 0.005% (0.005mm) " 7400kg 65kg/mm²
- 0.03% (0.3mm) " 10200kg 89kg/mm²

この場合階段的荷重を取除いたときは荷重を全然かけない即ち零荷重のときの残留伸を測定するのが理想ではあるが、實際測定の場合には不安定となつて測定が困難であるから、200kgの荷重をかけ試片を安定して残留伸の測定を行ふ。

次に降伏點の測定法を説明しよう、軟鋼試験片を弾性限を超えて尙引張り続けると伸の増加は荷重の増加に比して次第に大となり遂にある荷重に達して急激に大なる伸を生ずるようになる。此の時の應力を降伏點といふ、降伏點に達すると荷重は平衡を失つて一時低下し以後暫くは伸びは増加するが荷重は不變である。ある程度伸びると又荷重は増大し最大値に到達後暫時にして破斷する。第7圖は引張試験の際の荷重と伸との關係を試験機械に附屬した装置で自記した線圖でこれを應力—歪線圖といふ。



伸 ε
第 7 圖

圖中の S_0 , S_u が降伏点を示す。 S_0 を上降伏点 S_u 下降伏点といふ。 S_0 , S_u の差は試験片の形状: 平行部と端部の断面の関係で定まるものであつて、断面變化が急激なもの程上下降伏点の差は小である。又 E は弾性限であるが自記装置ではこれを記録することは出来ない。 M が抗張力を示す。 Z が破断点であるから最大抗張力は破壊抗張力より大であることが窺へる。

硬度試験法

製品の各部の材料が同一であつても、その各部の抗張力は必ずしも同一でない。何となればその部分により熱処理を異にしたり又は製造の際加工の程度を異にするからである。更に又その出所が鑄塊の中心部か或は外部にあるかに従つて抗張力は異なる。

一材料に就ては大體硬度と抗張力の関係は一定であるから製品を傷けたり破損することなしに各部の力を推知したいときは各部の硬度を測定すればよい。

普通用ひられる硬度計はブリネル、ロックウェル、ビッカース及シヤーの計器である。前三者はダイヤモンド錐又は焼入硬化した鋼球を金属表面上に押し込み、その押し込み痕で測定す、シヤーの方法は尖端にダイヤモンドを取付けた重錘を一定の高さから落下せしめその跳返りの高さで硬度を定める。硬度を測定する場合金属表面は滑かで傷がなく塵埃等が存在してはならない。又測定試片は相當の厚みをもち反対面に「フクラミ」が生じては不可である。

ブリネル硬度

徑10mmの鋼球を3000kgの荷重の下で試験片面に押し込ませる。軟

い材料に対しては500kgの荷重を使用する。又圓形押し込み痕の直径を0.05mm迄正確に測定出来る顕微鏡で測定する。硬度を示すのにはブリネル数を用ひるがこれは荷重(kg)を押し込み痕の表面積(mm^2)で除した商を以て表はす。

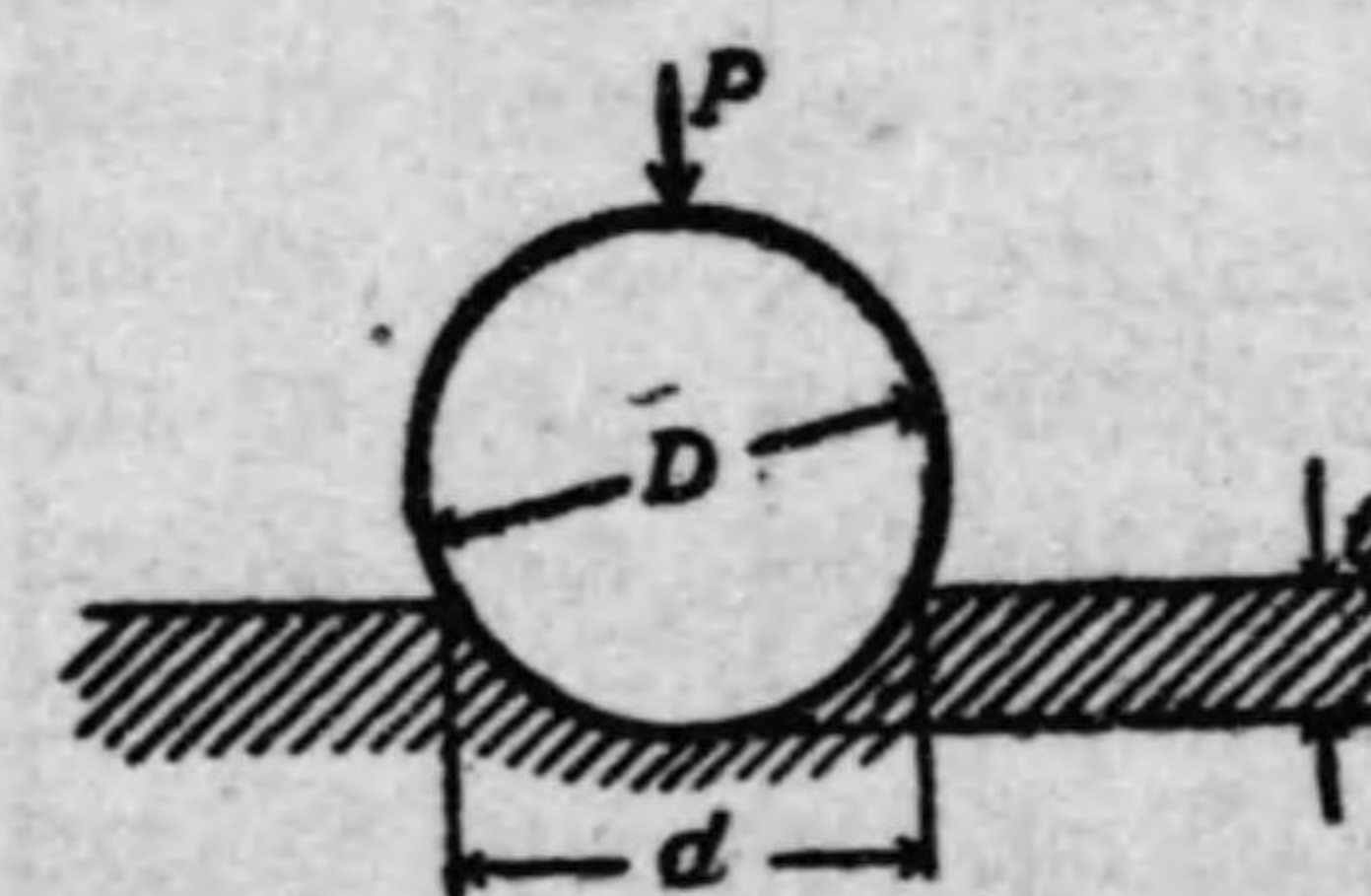
今第8圖に於て

P = 荷重kg

D = 鋼球の直径mm

d = 窪みの直径mm

t = 窪みの最大深さmm



第8圖

とすると

$$\text{ブリネル硬度 } H = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{又は } H = \frac{P}{\pi D t} \dots \dots \dots (2)$$

茲で P , D は既知であるから d 又は t を測定すればブリネル数が得られる普通は(1)式によつて硬度を測定する。然し毎時こんな計算をやるのは面倒であるから通常は3000kg 500kgの荷重に対して押し込み痕の直径とブリネル数の関係を表にして置く。第2表はその関係を示す。

ロックウェル硬度

ロックウェル硬度はダイヤモンド錐、又は鋼球を一定荷重で金属表面に押し込みその永久窪みの深さで硬度を表は



ブリネル硬度計

第9圖

第 2 表

窪みの 直 径 mm	硬度数		窪みの 直 径 mm	硬度数		窪みの 直 径 mm	硬度数		窪みの 直 径 mm	硬度数		窪みの 直 径 mm	硬度数	
	500 kg	3000 kg		500 kg	3000 kg		500 kg	3000 kg		500 kg	3000 kg		500 kg	3000 kg
2.00	158	946	3.00	70	418	4.00	38	228	5.00	23.8	143	6.00	15.9	95
2.05	150	898	3.05	67	402	4.05	37	223	5.05	23.3	140	6.05	15.6	94
2.10	143	857	3.10	65	387	4.10	36	217	5.10	22.8	137	6.10	15.3	92
2.15	136	817	3.15	63	375	4.15	35	212	5.15	22.3	134	6.15	15.1	90
2.20	130	782	3.20	61	364	4.20	34.5	207	5.20	21.3	131	6.20	14.8	89
2.25	124	714	3.25	59	351	4.25	33.6	202	5.25	21.5	128	6.25	14.5	87
2.30	119	713	3.30	57	340	4.30	32.6	196	5.30	21	126	6.30	14.3	86
2.35	114	683	3.35	55	332	4.35	32	192	5.35	20.6	124	6.35	14	84
2.40	109	652	3.40	54	321	4.40	31.2	187	5.40	20.1	121	6.40	13.8	82
2.45	105	627	3.45	52	311	4.45	30.4	183	5.45	19.7	118	6.45	13.5	81
2.50	100	600	3.50	50	302	4.50	29.7	179	5.50	19.3	116	6.50	13.3	80
2.55	96	578	3.55	49	293	4.55	29.1	174	5.55	19	114	6.55	13.1	79
2.60	93	555	3.60	48	286	4.60	28.4	170	5.60	18.6	112	6.60	12.8	77
2.65	89	532	3.65	46	277	4.65	27.8	166	5.65	18.2	109	6.65	12.6	76
2.70	86	512	3.70	45	269	4.70	27.2	163	5.70	17.8	107	6.70	12.4	74
2.75	83	495	3.75	44	262	4.75	26.5	159	5.75	17.5	105	6.75	12.2	73
2.80	80	477	3.80	43	255	4.80	25.9	156	5.80	17.2	103	6.80	11.9	71.5
2.85	77	460	3.85	41	248	4.85	25.4	153	5.85	16.9	101	6.85	11.7	70
2.90	74	444	3.90	40	241	4.90	24.9	149	5.90	16.6	99	6.90	11.5	69
2.95	73	430	3.95	39	235	4.95	24.4	146	5.95	16.2	97	6.95	11.3	68

す。先づ10kgの荷重を與へて指針を零に置きその後適當な荷重を與へる。然るときは鋼球又はダイヤモンド錐は金屬面に押込まれる。次にこの荷重をとり去り初めの10kgの荷重まで戻すと指針は文字盤上を回轉して所要のロックウエル硬度を示す。ロックウエル硬度には C, B, E, S の區別があつて各々の荷重は次の通りである。

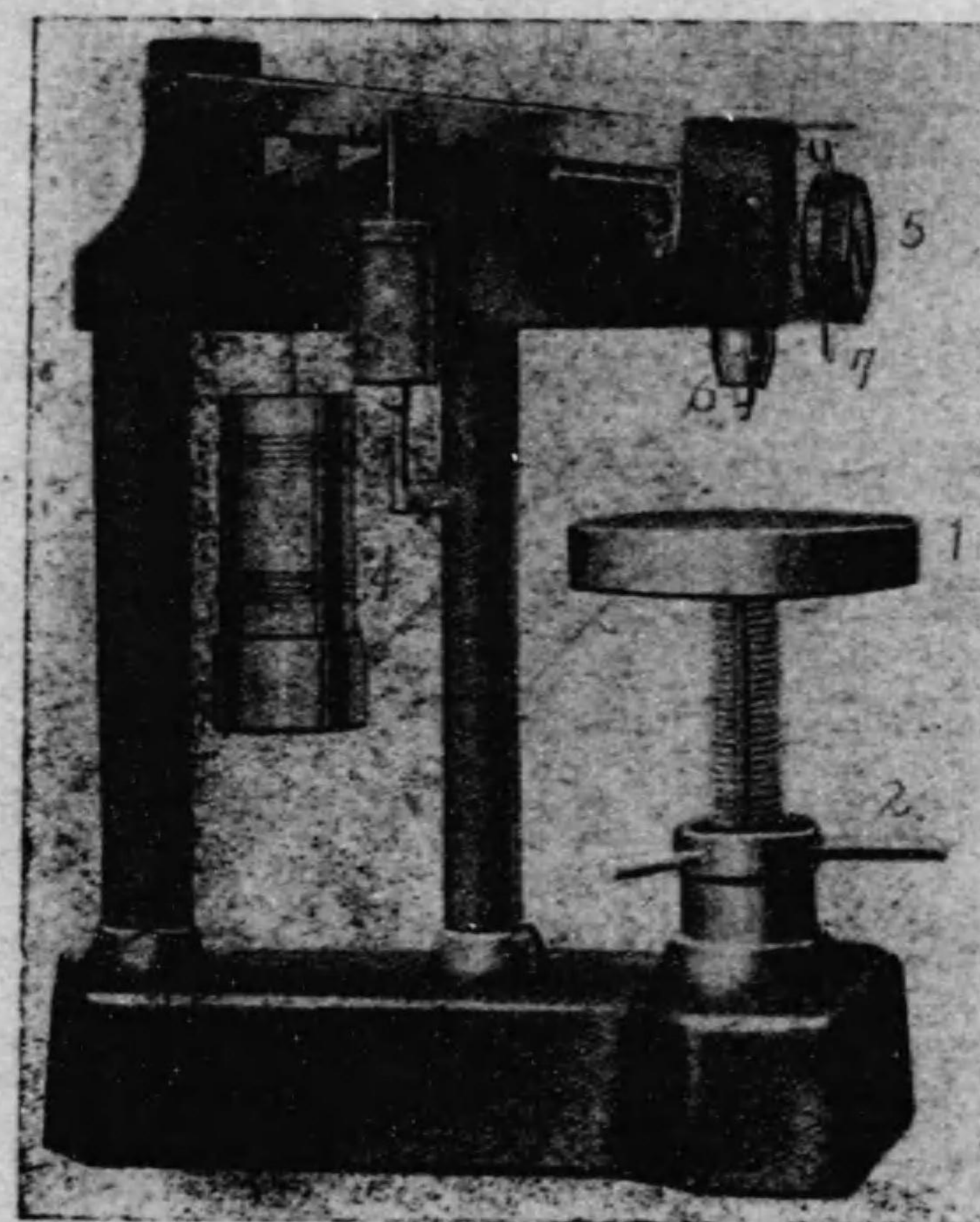
文 字	押込材料	荷重kg	目 盛
C	ダイヤモンド錐	150	Cヲ讀ム
B	徑 $\frac{1}{8}$ "鋼球	100	B "

E	徑 $\frac{1}{8}$ " "	100	B "
S	徑 $\frac{1}{8}$ " "	60	B "

今tを、荷重を10kgに戻した時の窪みの深さとしR_C R_Bを夫々ロックウエル硬度"C"スケール又は"B"スケールとすれば

$$\text{"C" スケール} \quad R_C = 100 - \frac{t}{500}$$

$$\text{"B" スケール} \quad R_B = 130 - \frac{t}{500}$$



第 10 圖 ロックウエル硬度計

鋼板の硬度を測定するには約0.7mm以上の厚さを必要とする。軟い金屬に對しては荷重を減少して押込み球の徑を大にする。即ち徑 $\frac{1}{8}$ "の鋼球、60kgの荷重で薄いAl板等を試験する。然しこの値は比較するための値を定めるだけで一般的ではない。ロックウエルでは曲面の硬度も測定出来るが曲面の曲率半径が5mm以上

の時に限られる。航空機の製作方面ではロックウエル硬度計が一般的に使用される。それは硬度が直ちに讀め操作が比較的簡便であるからである。

ビッカースの硬度計

押し込み材料は正方形の底面をもつたダイヤモンド錐でその頂角は 136° である。硬度は押し込み痕の面積で荷重を割つた商で表はす。荷重は1-120kgの範囲で變更することが出来る。故に荷重を小さくして極薄い材料或は滲炭層窒化層の硬度を求めることが出来る。

ピッカース硬度は非常に硬い材料を除いてブリネル硬度と一致する。

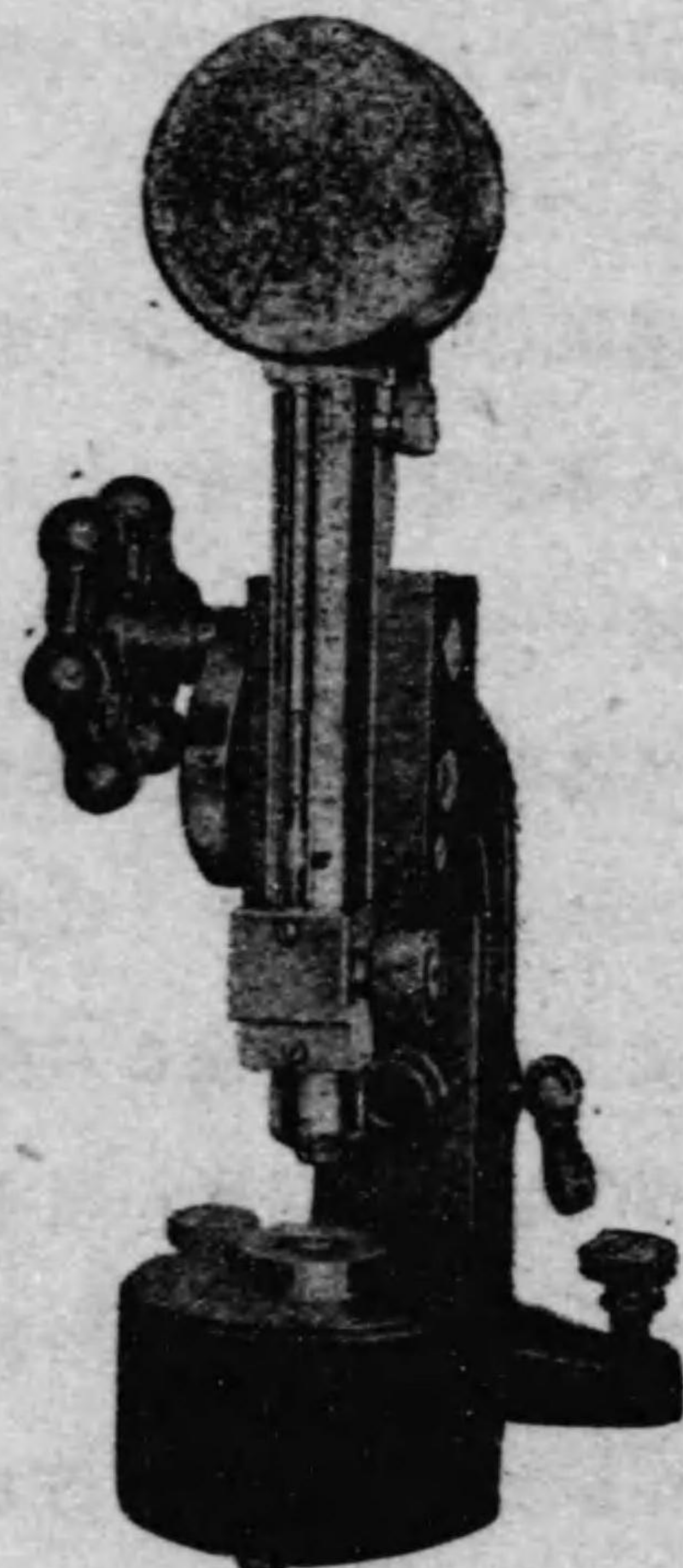
シヨア硬度

シヨア硬度は先端にダイヤモンド錐を取り付けた重量3瓦の重錐を30cmの高さより落下せしめ、跳上りの高さを讀んで測定する。製品の多數の部分の硬度を測らうとする時には甚だ便利である。正しい

硬度を得んには試験器を水平におき、如何なる方向にも動かぬ様固定する必要がある。極く僅な動搖があつても跳ね返りは不正確となる。通常異つた場所を5個測定しその平均を硬度とする。硬度の目盛0→100又は0→140迄刻まれてゐるがこれは任意に定められたもので他の方法と全然無關係である。

曲げ試験

試験片をその直徑又は厚さに等しい徑をもつた丸棒の周圍に180度曲げる。この時龜裂が生じなければこの材料は曲げ試験に合格したといふ。この試験は金屬に展性が



シヨア硬度計
第11圖

あるか否かを調べるのに最も簡單で確實な方法である。薄板、帶鐵等を試験する時は大體巾25mm 長さ150mm のものを使用す厚さは原材のまゝで試験する。

繰返し曲げ試験

圓形切口の鋼即ち針金等に対しては繰返し曲げ試験を行ふ。試片は長さ250mm 以上で之を萬力又は繰返し曲げ試験器に取りつけ固定し固定點に於て180度だけ繰返し曲げてその靱性を切斷迄の繰返數を以て表はす。萬力の嚙口に對しては徑5mm 以下の針金に就ては5mmの半徑のRをつける事が必要である。太い針金に對してはその徑の3倍のRをつける。曲げの速さは毎分50回以下で針金に熱を生じないように注意する。但しこの試験の1回とは90度曲げたときを以て表はす。

衝撃試験

衝撃試験は材料の靱性を調べる目的で行はれるものでシャルピー、アイゾツドの二方法が最も普通に用ひられてゐる。兩試験機とも振り型で一定の高さから振子を振動させて鉛直の位置で試験片を破壊する。その時試験片に吸収されるエネルギーの大きさを以て靱性を判断する。

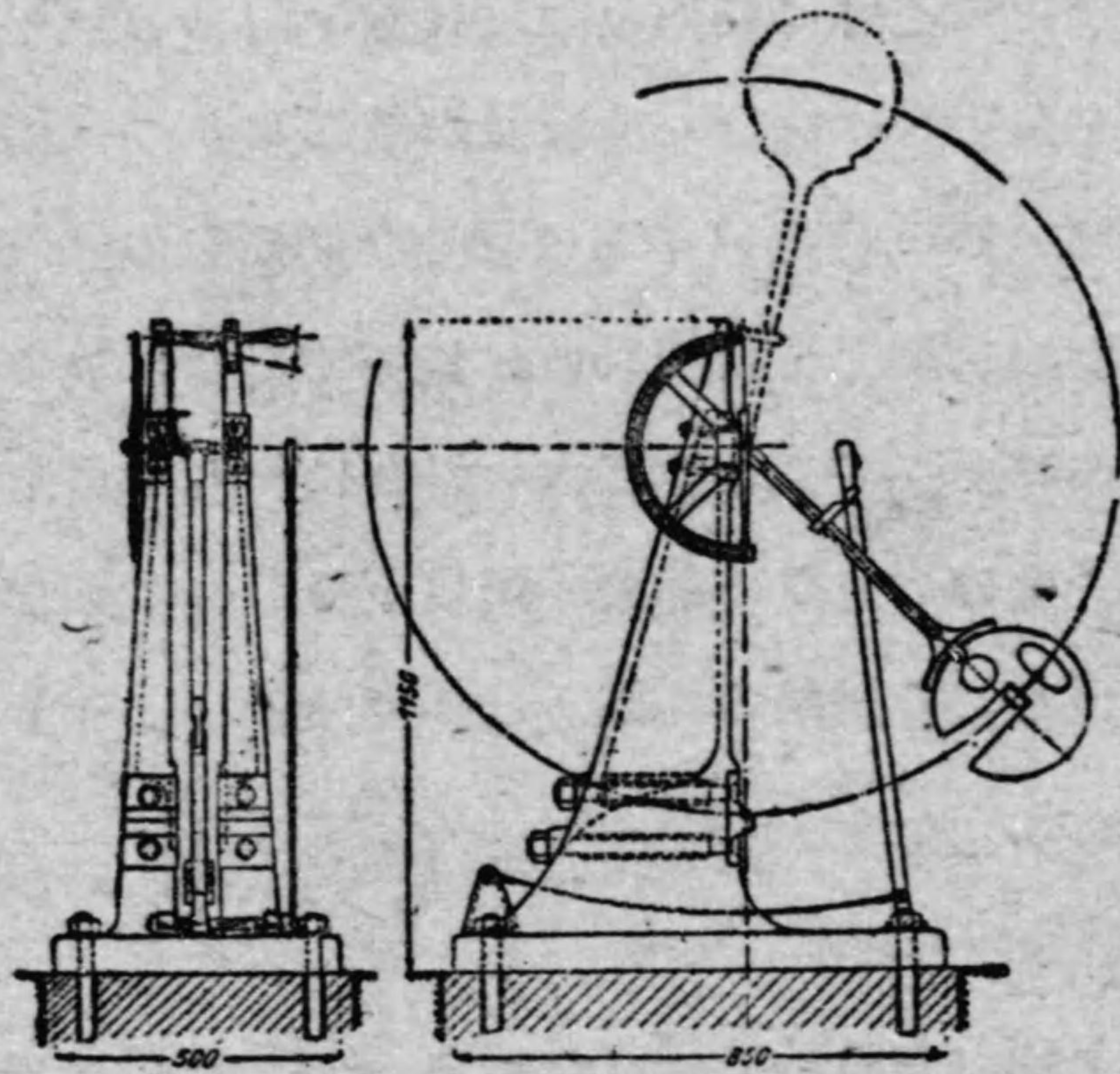
1) シャルピーの試験法

試験片を振り軸承の鉛直の位置におき、振子を角 α の位置から振らすときはその有する運動のエネルギーにより試験片は破壊する。通常振子のエネルギーは試験片の破壊に要するエネルギーより大きいから更に角 β だけはね上る。今振子の重量をQ、重心の軸か

らの距離を l , 最初の高さを h , 試験片破壊後の高さを h' とすれば, 振子のエネルギー損失即ち試験片の吸収エネルギーは

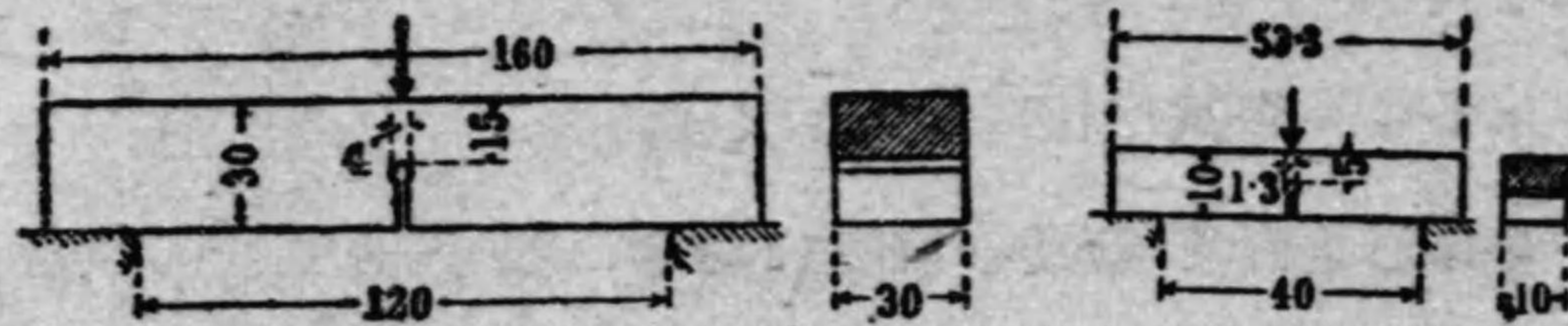
$$Q(h-h') = Ql(\cos\beta - \cos\alpha)$$

で α, l は一定であるから α, β を測定すれば試験片の吸収したエネルギーがわかる。試験



第 12 圖

を行ふときは角 α を一定となし β だけを適宜に取りつけたダイヤルゲージ等の装置に依り測定すると直ちにエネルギーが測定出来るようになってゐる。左圖は試験機の畧圖である。シャルビー試験に用ひられる試験片の寸法を次に記す左圖は75mkg右圖は30mkg 試験機に用ひられるものである。

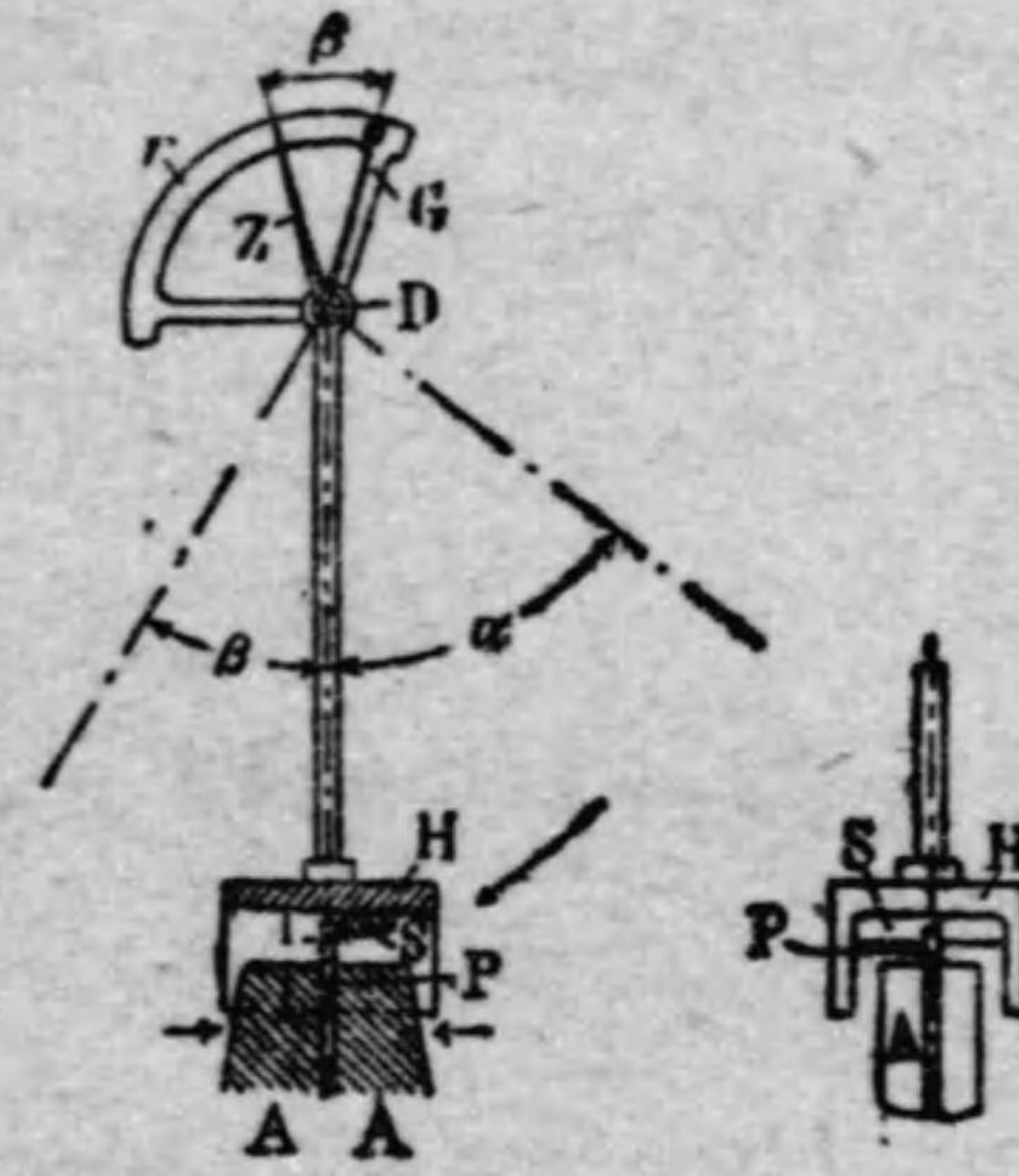


第 13 圖

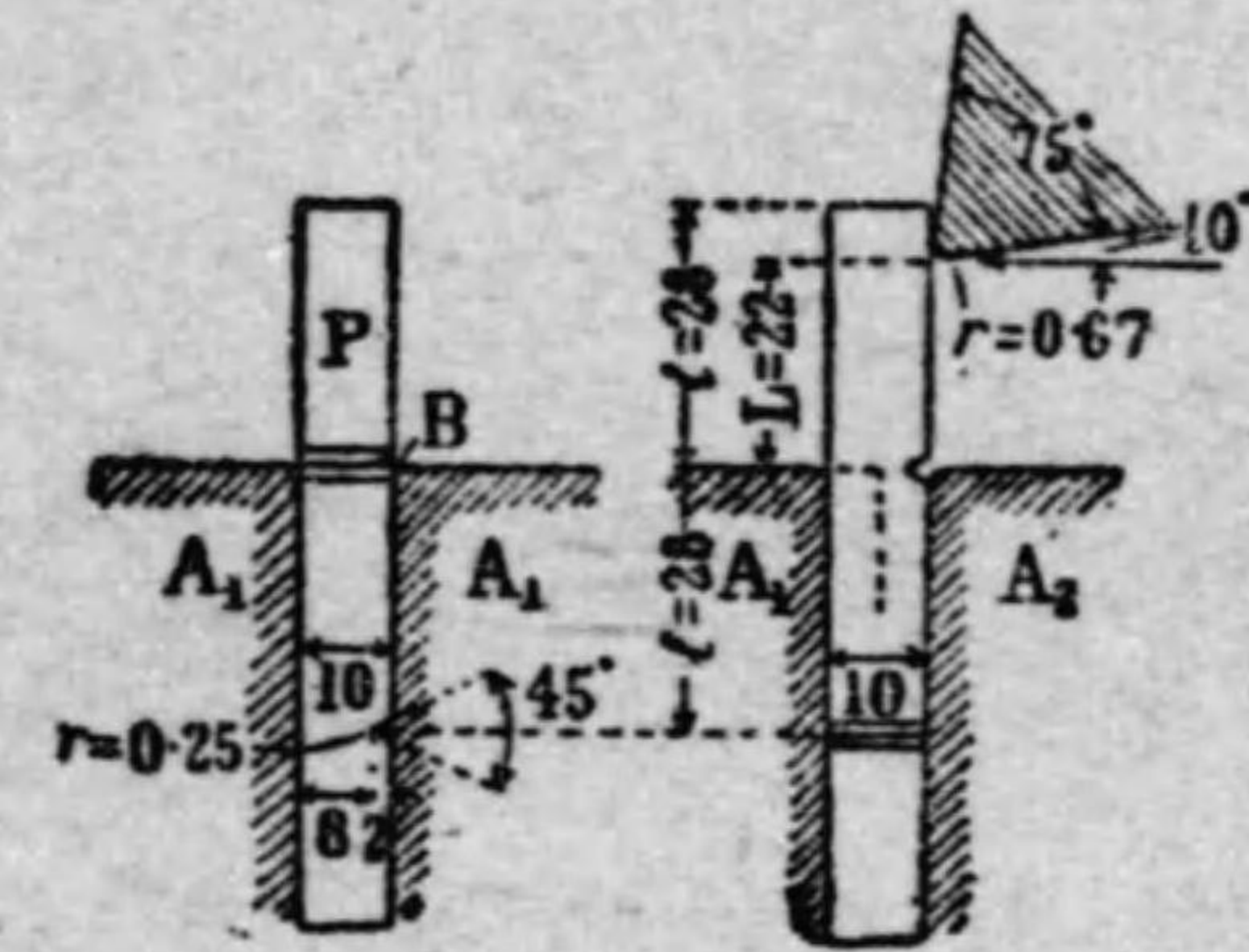
2) アイゾッド試験

原理はシャルビー試験と同一であるがシャルビー試験と異なる點は

振子が試験片を衝撃する部分, 試験片の寸法並びにその取付け方法である。第14圖の如く振子には突起部 S があつて, 片持梁となつて一端を固定されてゐる試験片を打撃する。その明細及び試験片の寸法を第15圖に示す。試験片は10mm角, 切込は45°V字型, 深さ2mm, 底の丸味半径は0.25mmである。



第 14 圖



第 15 圖

疲労試験

材料が繰返し應力を受けるときは豫期よりはるかに小なる荷重で破壊する現象が存する。應力の大きさが常に一定の範囲で變動しながら繰返して作用する所の軌條, 軸等又はある大きさの應力が長時間引續いて作用する蒸氣罐等に於てよく見られる現象である。

研究の結果によると繰返し應力の小さい間は殆んど無限回数應力を與へるも材料は破壊しないが段々應力が大になると遂に破壊する。この臨界の應力をその材料の疲労限界と稱する。實際問題として繰返應力を無限回加へることは不可能であるから硬鋼 2,000,000 回, 軟鋼 1,000,000 回, アルミニウム マグネシウム合金は 50,000,000 回以上繰返し應力を與へても破壊しなければ無限回になつても破壊

しないと假定する。

試験片は径約 25mm に壓延又は鍛造される。柱表面は滑らかに仕上げ絶対に穴、切込等の疵があつてはならない。僅かな疵でも疲労限は低下する。疲労限界は鋼では大體抗張力の半ば、非鐵金屬では抗張力 $\times 0.3 \sim 0.4$ である。小野式疲労試験機では試験片は電動機で回轉され一回轉中に張力と壓力を交互に受けるように考案されてゐる。

第三章 鋼の熱處理

狹義の熱處理は調質を意味するが、通常は廣義に解釋されて焼鈍、焼準、硬化、焼戻を總稱する。特別な熱處理としては滲炭、青化鹽浴、窒化作業がある。

以下その理論と方法に就て簡単に述べよう。

臨界範圍

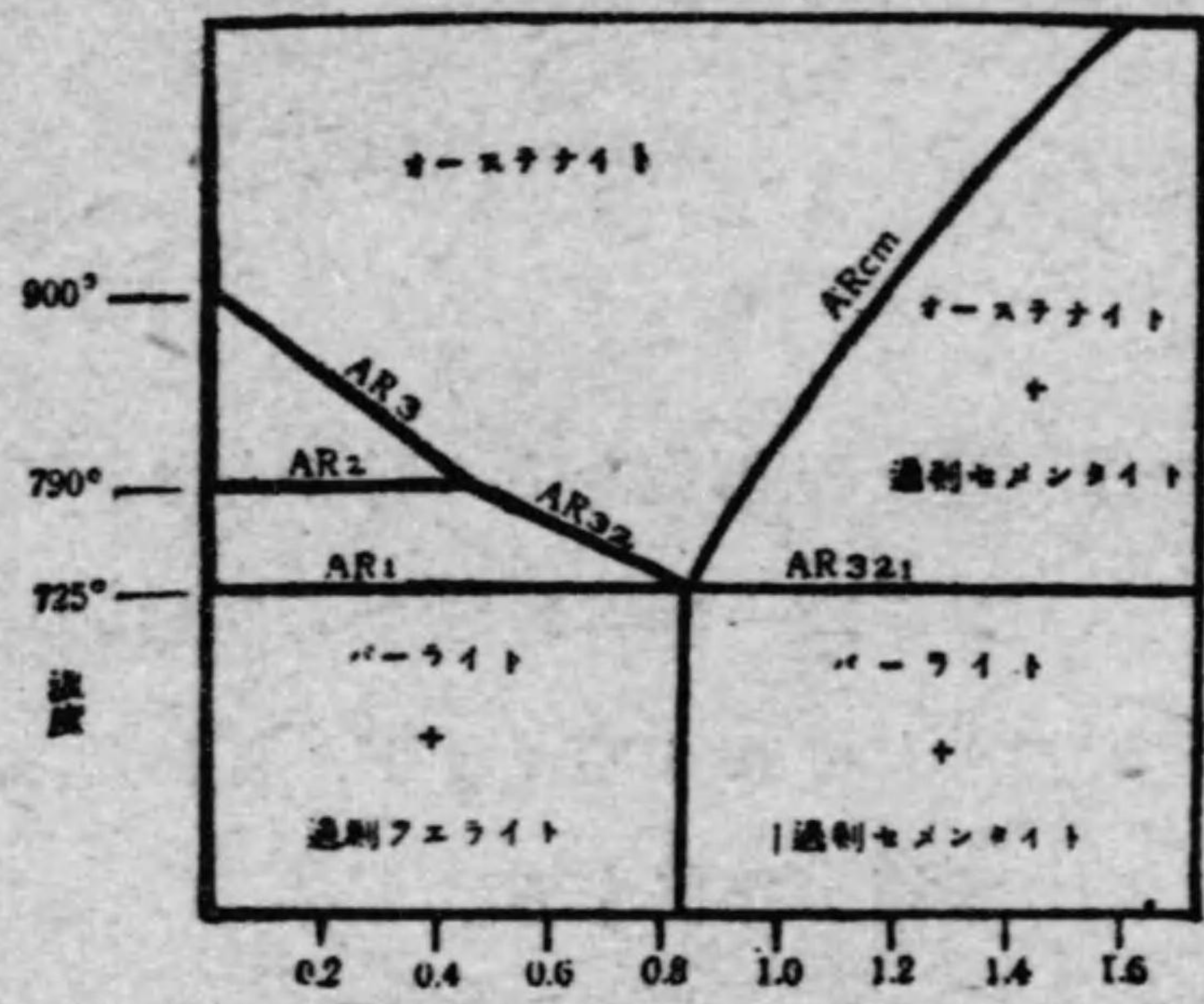
化學組成の變化がなくして物質が種々の形態をとり得るとき、この物質は同質異形の性質をもつといひ、同一物質の種々の形態を同素體と稱する。例へば炭素は同素體としてダイヤモンド、黒鉛、木炭をもち、鐵も同質異形で α, γ の二状態が存在する。

今熔融鐵が凝固し徐々に冷却すると 900° で冷却が少時ながら停止する。換言すると約 900° で短時間ながら冷却速度が零となる。即ちこの溫度で鐵の組織に變化を生じ γ 鐵が α 鐵に變化する。この組織の調整の爲に熱が発生し、外部への熱の放散と釣合つて冷却速度が零となるのである。この溫度を A_{rs} なる記號で表す。次に鐵を徐々に加熱すると約 900° に於て吸熱反應が起り溫度上昇の加熱速度が少時零となる。この溫度を A_{cs} なる記號で示す。 A_{cs} は A_{rs} より通常やゝ高く、理論的には一致すべきものであるが通常の加熱冷却速度では一致しない。

炭素鋼では尙約 720° に $A_{r1} A_{c1}$ なる變態點が存在する。而して A_{rs} A_{cs} 點は炭素量の増加に従つて降下し 0.9% 炭素量で夫々 $A_{r1} A_{c1}$ 點と

一致する。鋼に於ては A_1 , A_3 点を臨界点, その温度範囲を臨界範囲と稱する。

第16圖は鋼の炭素量と臨界温度の關係を示す。炭素量が 0.9% を超えると A_{rcm} なる臨界点が A_{rc1} 上に表れる。このやうに臨界点と合金元素量との關係を表した圖を状態圖と稱する。



第 16 圖

A_r , A_c 中の r_c は夫々佛語 refroidissement (冷却) chauffage (加熱) の頭字をとる。

同様に合金鋼も臨界点をもつがその種類によつて臨界温度が異なる。ニッケル, マンガンは臨界温度を下げる性質がある。例へば13%

マンガン鋼はその臨界点は常温以下に下り従つて常温でオーステナイト組織を示す。

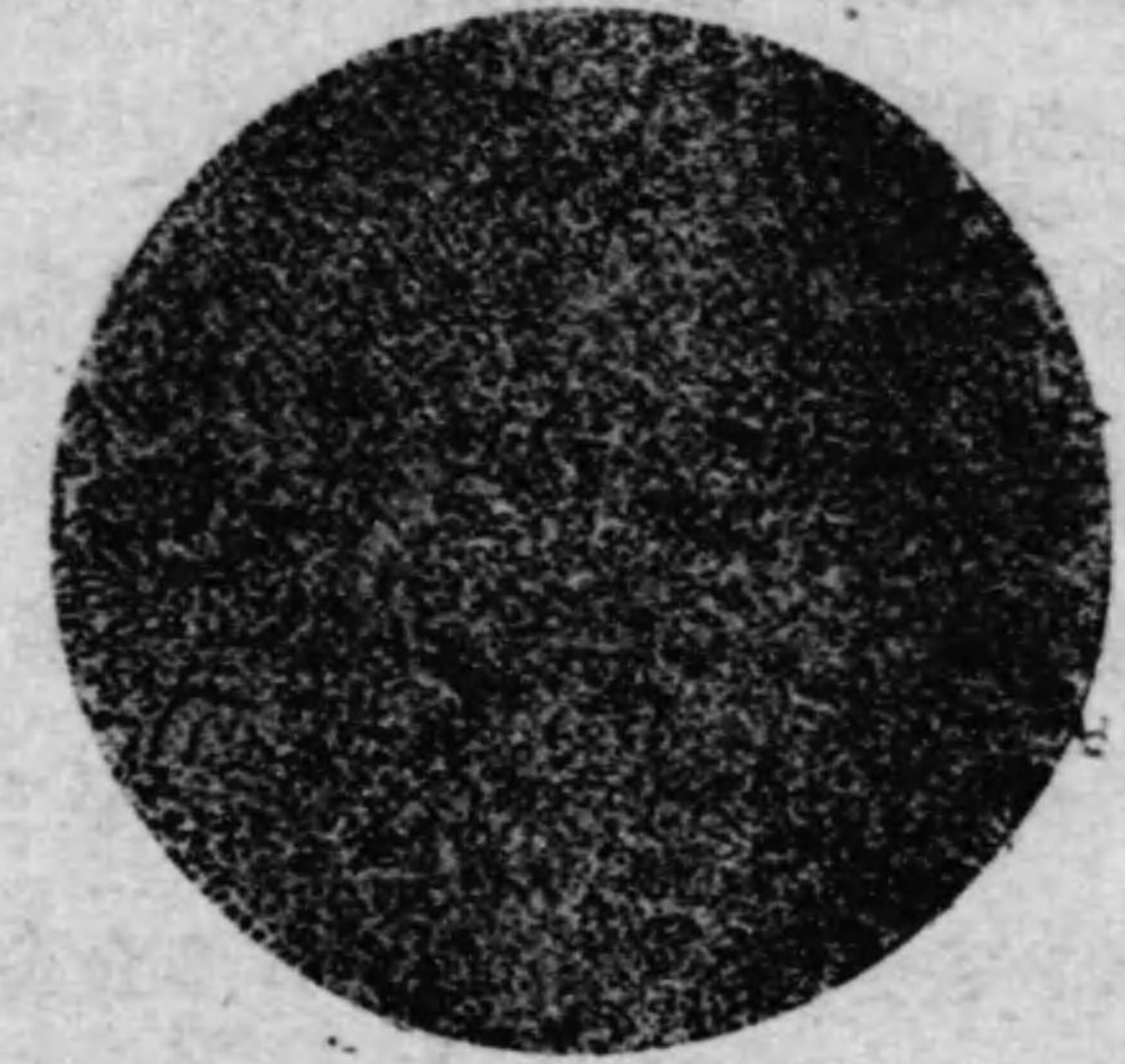
鋼の組織

炭素は鐵と Fe_3C (セメンタイト) なる化合物を作る。0.9% 炭素鋼の組織はセメンタイトとフェライトの混じた組織でこれをパーライトと稱する。適當に蝕像されて現出したパーライトは眞珠様の光澤を呈するからこの名がある。

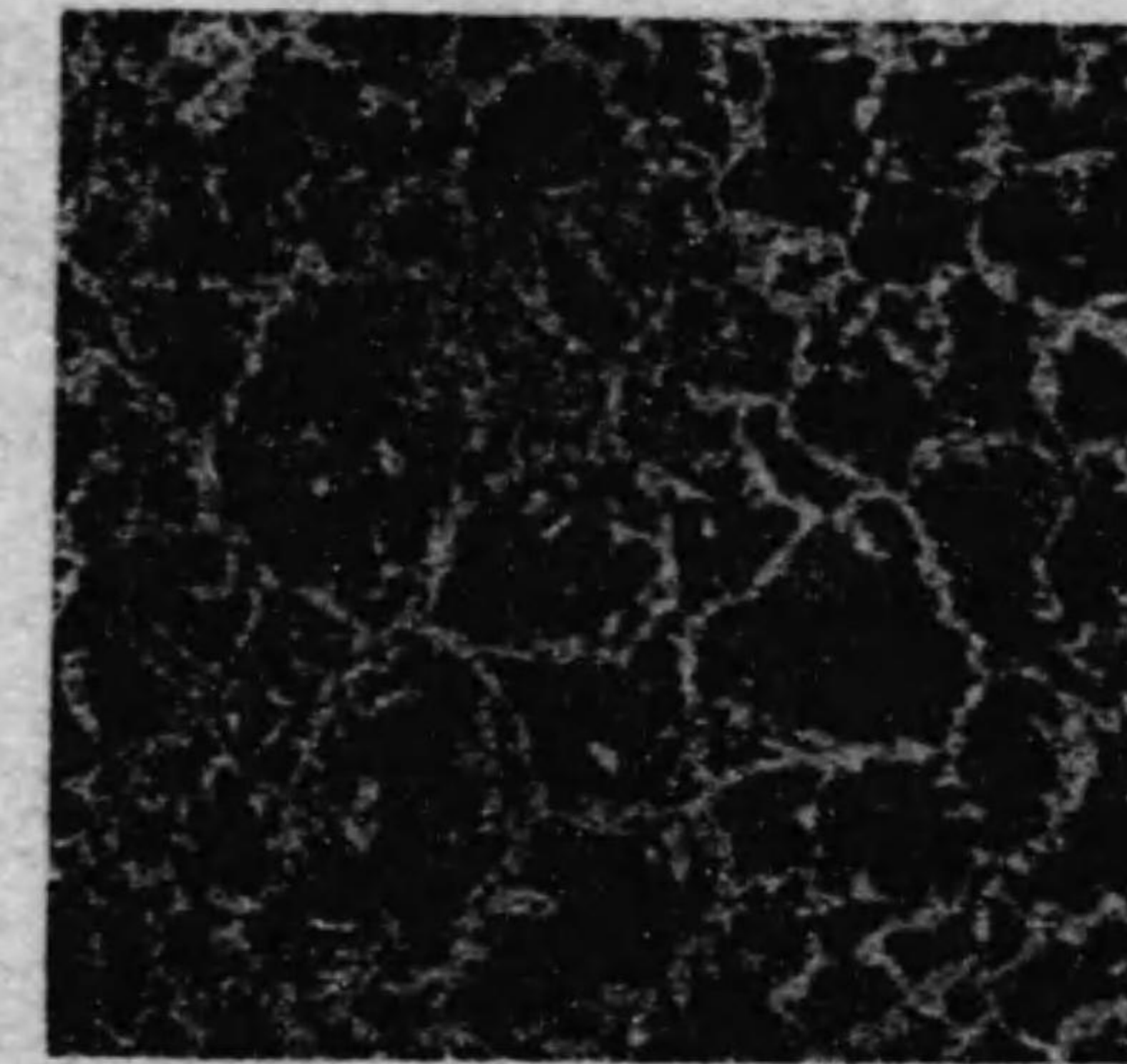
パーライトは交互に層状をなしてゐる組織で, 時にはパーライト中のセメンタイトが球状をなしてゐることがある。之を球状セメン

タイトと呼ぶ。パーライトは相當硬く且延性をもち抗張力 $70kg/mm^2$ 以上伸10以上である。

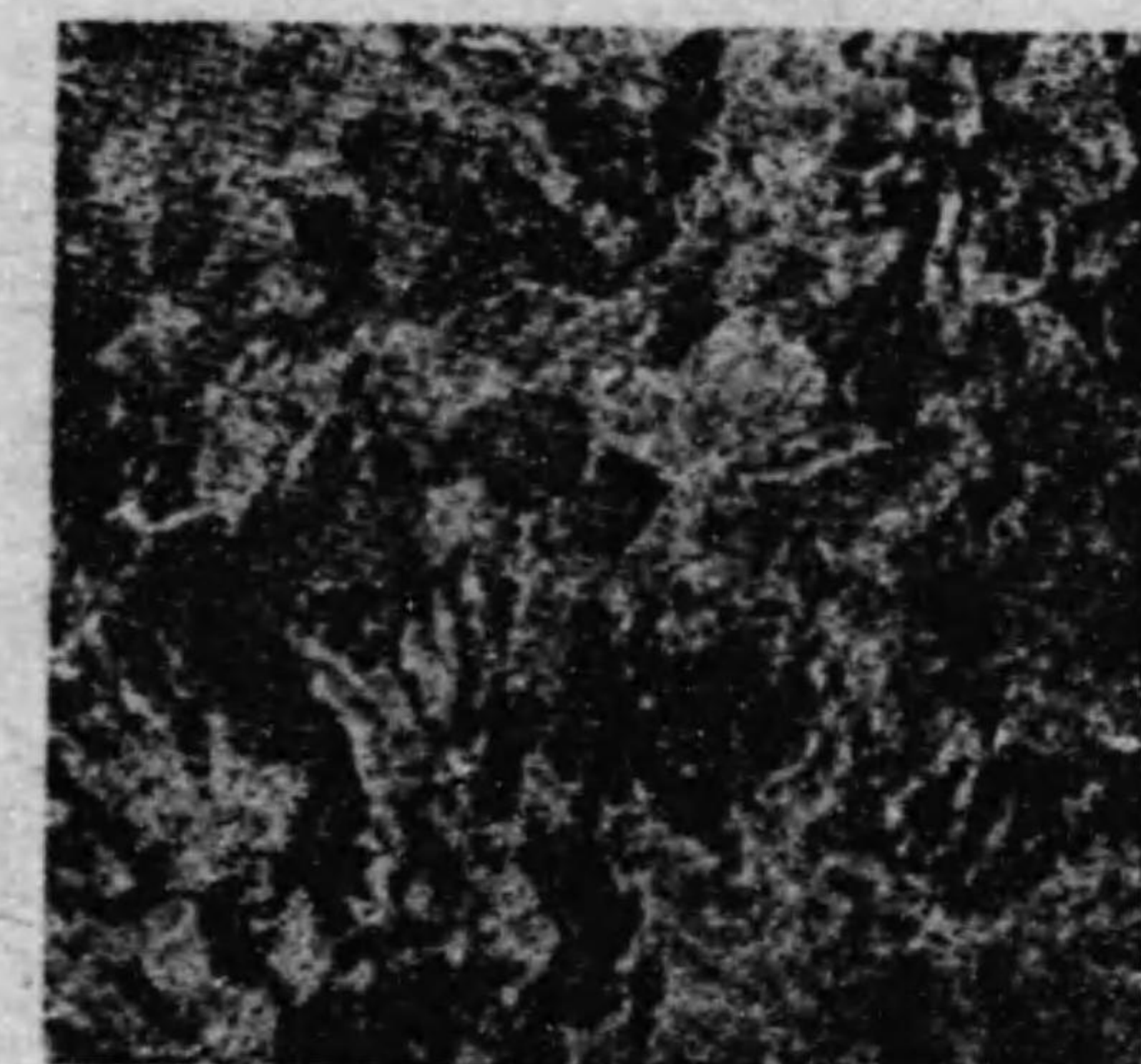
第18~21圖に示したやうに 0.9% 炭素鋼はパーライトのみ, 0.9% 以下の炭素鋼はフェライトとパーライト, 0.9% 以上のものはパーライトとセメンタイトよりなり, 夫々共析鋼,



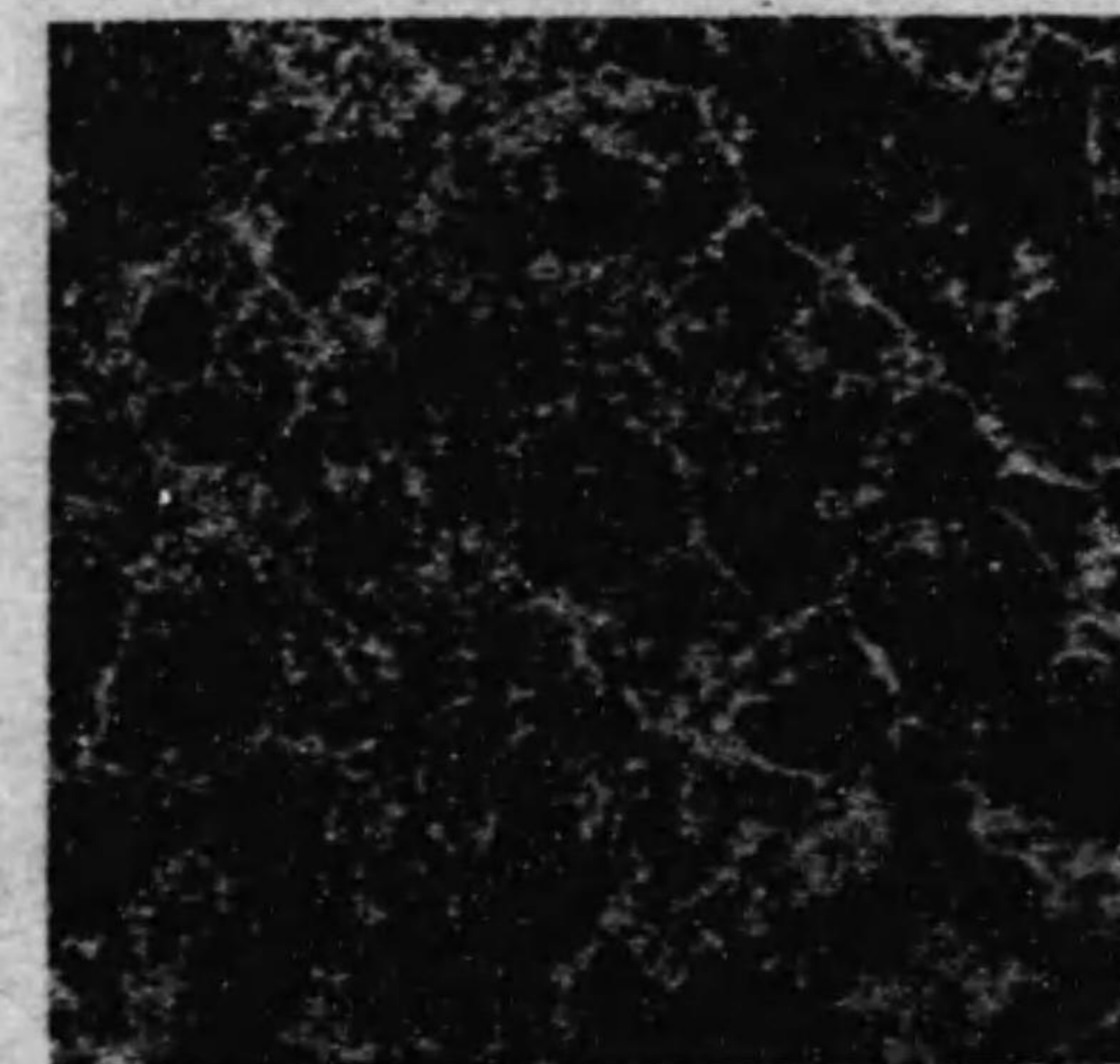
第17圖 球状セメンタイト ×200



第 18 圖
×100 0.44% C 白はフェライト, 黒はパーライト



第 19 圖
×100 0.94% C 全部パーライト



第 20 圖
×100 1.3% C 白はセメンタイト, 黒はパーライト



第 21 圖
×1,200 0.9% C 全部パーライト 幅の廣い白はフェライト, 黒い線の中はセメンタイト

亞共析鋼，過共析鋼の名がある。

共析鋼の硬化能は最も大である。換言すると焼入すると共析鋼が他の鋼に比べて最も硬くなる。

低炭素鋼は焼入されても餘り硬化しない。炭素が0.9% に近づくと共に大なる焼入硬度が得られる。

炭素鋼のフェライトは α 鐵で ニッケルモリブデン，バナヂウムを含む合金鋼に於てはかゝる合金元素はフェライトと固溶體を作る。

(水に砂糖を少量入れると完全に水にとけて何ら砂糖らしいものを外部から窺知し得ない。所謂均一な液體となる。同様に一つの固體元素と他の元素とが均一に混合してあたかも一元素よりなる固體の如き外觀乃至顯微鏡組織を與へるときこれを固溶體と稱する) フェライトの抗張力は $28\text{kg}/\text{mm}^2$ である。

セメンタイトは硬いが脆い。鋼に硬化能を與へる。

鋼を臨界範圍以上に加熱すると γ 鐵中にセメンタイトがとけこんで来る。この固溶體をオーステナイトと稱する。

鋼の結晶粒は臨界點より僅か高い溫度で最微細化することが知られてゐる。最微細な結晶粒子をもつものが最強最良の金屬であることは常識であるから焼入又は加工しやうとすれば臨界點より僅か上の溫度で均熱するに必要な時間だけ保つた後に急冷又は徐冷する。

熱處理の原理

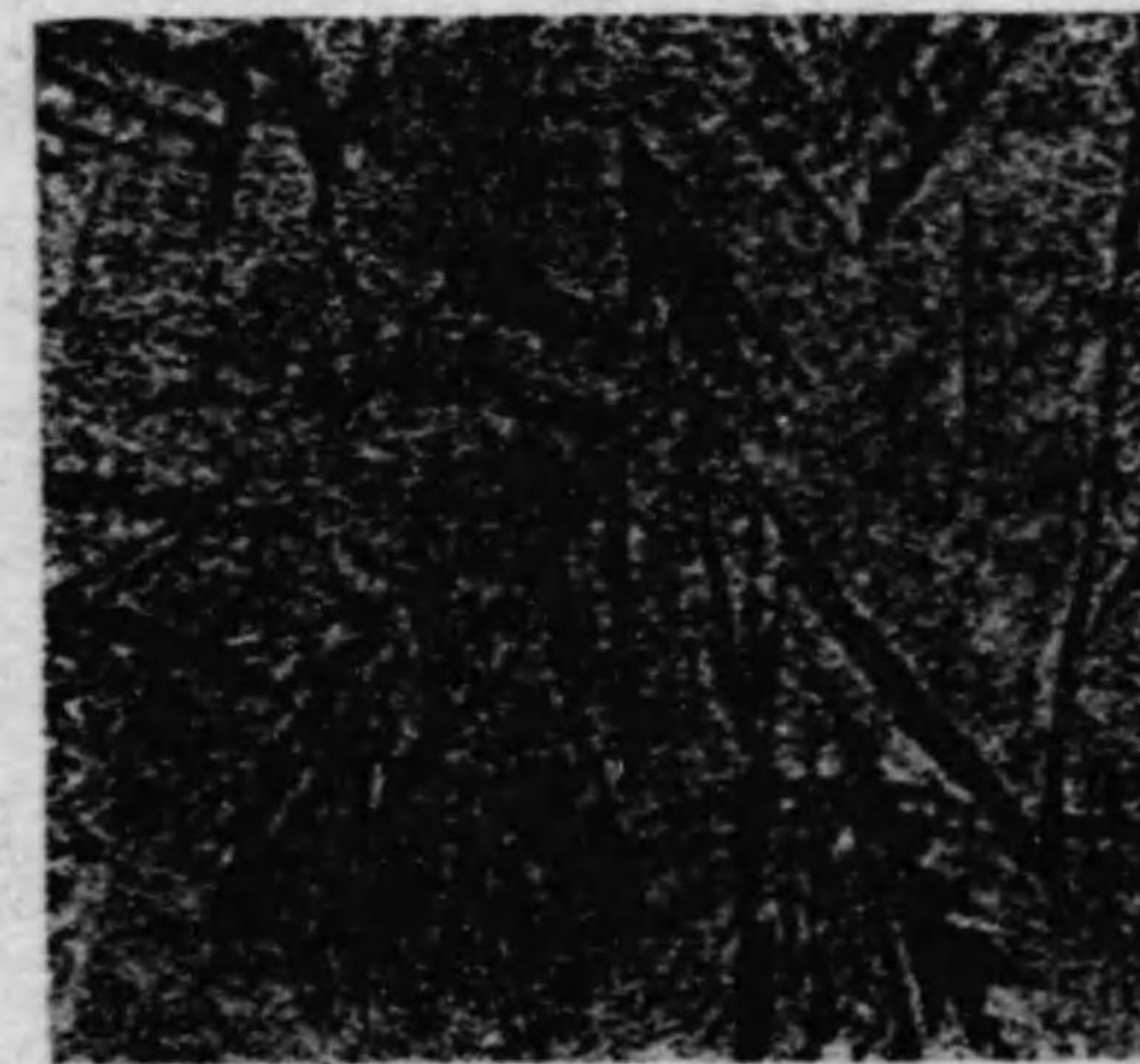
熔融鋼が凝固するとオーステナイトが生じる。徐々に冷却が進んで A_1 臨界點に達するとオーステナイトは變化し初め A_1 臨界點で(フェライト+パーライト) 又は(パーライト+セメンタイト) の組織

となる。

今臨界點より少し上の溫度の鋼を油又は水中に投じると上述の變化は阻止される。故に急冷するのと徐冷したものとは異つた物理的性質をもつ組織が常溫で得られる。この焼入鋼は硬く脆く且つ内部歪をもつてゐる。これを臨界點以下で加熱すると歪が消失し適當な硬度抗張力の材質が得られる。

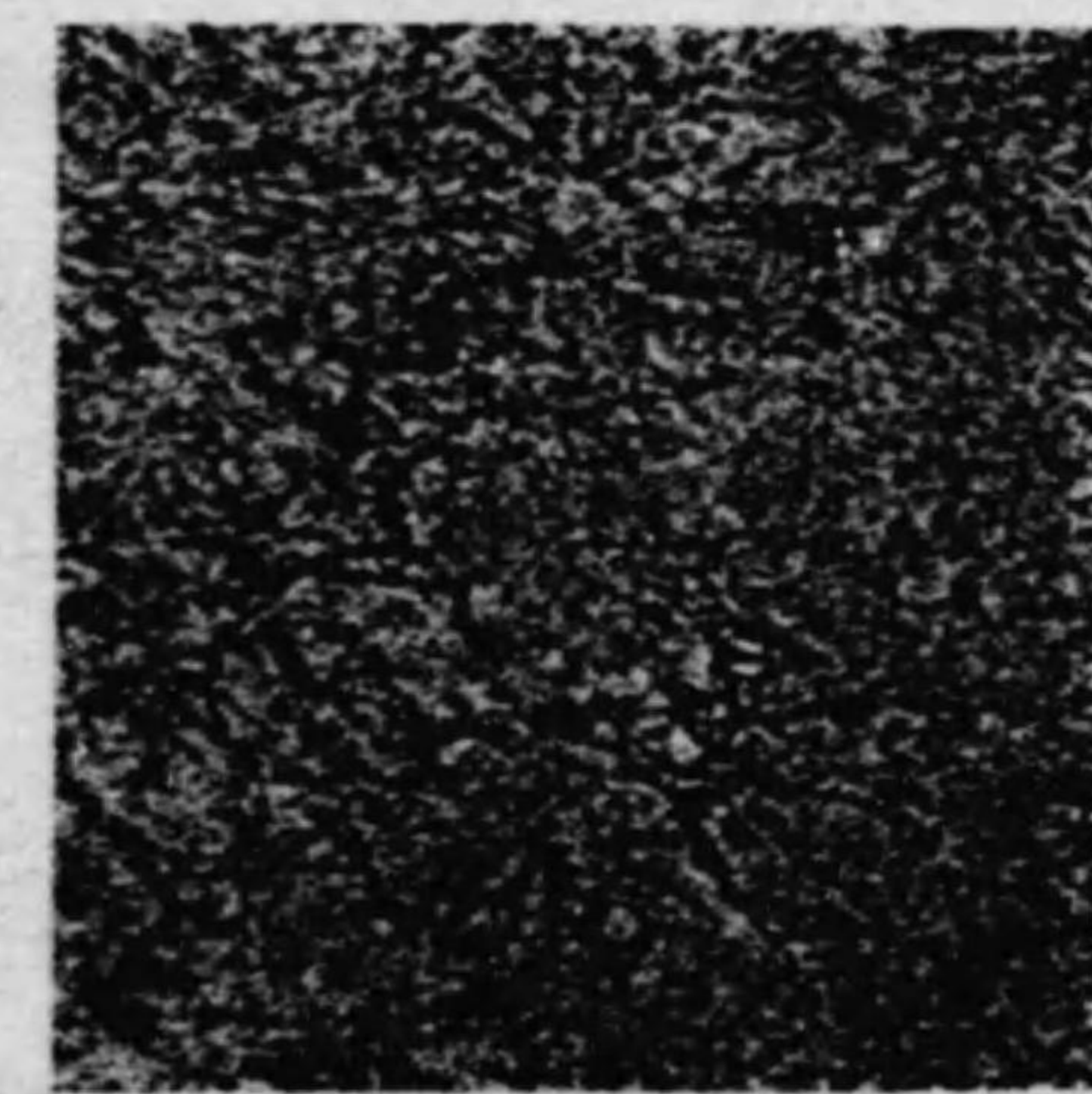
マルテンサイト，トルースタイト，ソルバイト，パーライトは鋼の組織名でマルテンサイトは急冷臨界點以上より急冷して得られる。冷却速度を小にするに従つてトルースタイト，ソルバイト，パーライトが得られる。

マルテンサイト：硬化鋼の主要組織でオーステナイトからパーライトへの變化が途中で阻止された中間組織で α 鐵中にセメンタイトのとけたものである。最も硬い組織である。(H_B=600)



第 22 圖

×200 オーステナイト
黒い針はマルテンサイト



第 23 圖

×500 0.9% C 1,000 C
で焼入れ マルテンサイト

トルースタイト：これもオーステナイトとパーライトとの中間状態でマルテンサイトを約 300° で焼戻すと表はれる。(0.9% CでH_B=400)



第24圖 トルースタイト
白地マルテンサイト
黒トルースタイト

ソルバイト

これもオーステナイトとパーライトの中間組織である。(0.9% Cで $H_B=270$)マルテンサイトを約 450° に焼戻すと大部分ソルバイト組織をもち抗張力高く延性も相当大である。焼入硬化した鋼の組織はマルテンサイトで焼戻すとトルースタイトとソルバイトの組織となる。焼戻温度が高くなるとトルースタ

イトに比べてソルバイトの量が増し従つて物理的性質の異なる鋼が得られる。

鋼を臨界範囲を超えて尙高温に加熱すると鋼の結晶粒子は段々粗になる。粒子の粗い鋼の性質は微細なものに比べると甚しく劣るから、加熱焼入後鋼に微細な結晶粒をもたすためには、焼入温度を臨界範囲以上で然もそれより餘り高くない程度に保つ必要がある。従つて最良の焼入温度を知るためには臨界範囲を知悉しなければならない。

加熱温度冷却速度の結晶粒子の大きさに及ぼす影響を纏めると次のようになる。

- 1) 鋼を A_{c3} 点で保持すると、その鋼の既往の状態即ち粗粒子をもつた組織か、否か、歪をうけてゐたか否か、等に無関係に微細組織の鋼となる。
- 2) 鋼を A_{c3} で保持した後徐々に冷却すると、微細組織で軟質延性

に富む鋼となる。

3) 鋼を A_{c3} で保持した後急冷すると微細組織で甚だしく硬化した鋼となる。

4) 鋼を A_{c3} より高温で保持した後 A_{c3} 点まで冷却し急冷すると充分硬化するが、最初より A_{c3} で保持されたもの(3)に比べると組織が粗である。

5) A_{c3} 以上での保持温度が高ければ高い程粒子は荒くなる。保持温度が一定であれば冷却速度の遅い程粗い組織が得られる。

6) 焼入硬化鋼を A_{c1} 以下で再加熱すると軟化する。然し結晶粒の大きさは変化しない。加熱温度が高い程軟化の程度は大である。

焼 鈍

上述の(2)に屬するもので Soaking 即ち高温に保持すべき時間は 25mm^2 につき1時間を必要とする。

高温保持後の徐冷法は通常爐に熱を與へることを止めて爐と金屬を共に冷却する所謂爐冷によつて行ふ。焼鈍を行ふと結晶粒子は微細となり軟質延性に富み内部歪は除去されるが抗張力は最小となる。

焼鈍による軟化作業は製管、伸線、壓延作業に於て屢々行はれる。常温でダイスを數回通過させて製線をなし、又はロールで壓延を行ふと材質は内部歪を生じ或る限度を超すと遂に裂隙が生じる。これを防止するためには加工の途中で材質を焼鈍することが必要である。

焼鈍の一方法にセメントサイトを球状化する方法がある。高炭素鋼

の切削性を改良するために行ふ特殊の焼鈍方法であつてその名の如く球状のセメンタイトをもつた鋼が得られる。セメンタイトが層状に存在するときは工具に對して大きな抵抗を與へるが、球状セメンタイトは恰も工具によつて押しつけられるやうに切削が進行するから抵抗が少いと稱せられる。球状セメンタイトを得る方法は A_{c1} 直下で長時間保持した後徐冷すると得られる。

焼鈍は長時間高温で保持した後徐冷されるから鋼の表面に酸化物が出来る。之は主として鐵の酸化物である。この酸化物の生成を避けるためには空氣が鋼に直接接しない様適當に工夫せねばならない。殊に高炭素鋼では脱炭の現象が生起するから注意を要する。

焼 準

焼準は焼鈍の一種で鋼を A_{c3} 點に加熱保持後空氣中で冷却する方法である。

爐中冷却に比べると空氣中で冷却されるから冷却速度が大で従つて焼鈍材より硬度、抗張力は大きく伸は小である。内部歪をとり鋼を均一な材質とすることは焼鈍と同様である。

鍛錬は一般に焼準を施して内部歪をとり去る。航空機材は焼準状態で用ひられるのが普通で稀に焼鈍状態で用ひられる。

熔接部分は航空機の構成に缺くことは出来ない。熔接はその隣接部分に歪を生じる。その上熔接部自身は鑄造組織で材料の他の部分は鍛錬組織であるから粒子の形状も異なる。故に内部歪をとり粒子を微細にするため熔接部分は全部焼鈍又は焼準する必要がある。焼準を行へば裂隙が生ずること少なく使用中材料の疲勞による種々の

缺點の現れを防止することが出来る。

某國では發動機部分は必ず焼準することを規定してゐる。然し大きな爐がなかつたり焼準のために寸法に狂が生ずる恐れがある場合は、小さな部分に分割して之を集めて一體となすよう設計することが必要である。さすれば小部分は個々に焼準を施され、ボルト、リベットで一體になすことが出来寸法に狂ひが生ずる恐れがない。

航空機製作工場では管、板、棒を買入れるときは通常焼準状態のものを買入れる。この場合最大抗張力を指定する必要がある。殊に薄板の購入には特にこの注意が必要である。薄物は肉厚のものに比べて空中冷却の場合速かに冷へるから硬度抗張力が大で伸が小となり組織はソルバイト又はパーライトである。又 C-Mn 鋼板は焼準状態で $75\sim 90\text{kg/mm}^2$ に達する、然し高度の加工を施さうとするときは 65kg/mm^2 以下の板を購入せねばならぬ。

中炭素鋼、高炭素鋼は機械仕上をする前に焼準されその後又焼鈍される。この二重操作を重複焼鈍 (double annealing) と稱する。重複焼鈍を行ふと組織は球状セメンタイトをもつに至る。

硬 化

適當な炭素量の鋼を加熱し、 A_{c3} で材料が均一に加熱されるまで一定温度に保ち、然る後水又は油中に投入すると結晶粒の微細な抗張力硬度の大きい伸の極めて小さい材質の鋼が得られる。この鋼は大きな内部歪をもち脆弱であるので軽く錘打しても破壊する。

航空機用鋼は普通油焼入を行ふ。油で急冷するとその熱の吸収が水に比べて緩慢であるから冷却作用は水に比べるとゆるやかでその

ために曲り，裂隙の生じることが少く且つ充分な硬度が得られる。熱処理の理論で述べた如く臨界範囲以上の温度から鋼を急冷するとオーステナイトよりパーライトへの變化を妨げマルテンサイトが生じる。マルテンサイトは鋼の最も硬い従つて最も脆弱な組織である。

焼 戻

硬化した鋼を A_{c1} 以下の温度に加熱し，その温度で適當な時間保持した後水又は油中で急冷する操作を焼戻といふ。この操作は焼入鋼の歪をとり脆性を除き延性を回復する。抗張力，硬度，伸の價は焼戻温度によつて變化し温度が高ければ抗張力硬度は低く伸は大となる。

航空機用の焼戻鋼材は $90\sim 140\text{kg/mm}^2$ の最大抗張力をもつ。硬化鋼を焼戻すとオーステナイトよりパーライトへの變化が引續いて起りマルテンサイトがトルースタイトソルバイトに變化する。焼戻鋼の組織はもし焼戻温度が高くと大部分ソルバイトと少量のパーライトから成つて韌性高く伸が良好である。焼戻温度が低いと組織はソルバイトとトルースタイトより成り，前者より抗張力硬度は大である。

第四章 表面硬化

或る種の設計上の目的に表面が硬くて磨耗に強く，然も強靱な中心部を必要とする場合がある。前章で述べたやうに熱処理のみでは材料の全横断面に對して均一な状態を與へ適當の硬度と力を與へるものであるが，この章で述べる表面硬化の方法を以てすれば熱処理に依つて得られる最高のものより尙硬い表面を得，且つ粘い中心部が得られる。然も僅かに表面を硬くする事も表面から 3mm も深く硬化することも可能で，その設計の要求に従つて深さを變化する事が出来る。この表面硬化の方法は齒車やピン等に重要視される。

表面硬化の方法としては肌焼法，青化加里浴法，窒化法等がある。

1 肌 焼 法

鋼を滲炭してこれを焼入する。その次に中心部の組織を改良するために加熱し焼入する。次に表面を硬化するため再加熱し焼入する。最後に低温度で焼戻し急冷する。この滲炭作業とその後の熱処理を總稱して肌焼法といふ。餘り重要でない品物には熱処理操作の一つ或は二つを除く，その詳細を次に述べる。

滲 炭

滲炭される鋼は炭素鋼であつてもまた合金鋼でも良いが低炭素である事が必要である。滲炭を行ふにはこの鋼を炭素を含む物質と接觸して加熱する。この物質は固體でも液體でも又氣體であつても良い。臨界範囲以上では(オーステナイト領域では)セメンタイトは

鐵中に（オーステナイト）とけ込む。低炭素鋼では恰も稀薄な溶液が溶質を溶解するやうに炭素を吸収する。滲炭の場合には含炭素物質は炭素を含んだガスを放ちそれが鋼の表面に炭素を沈澱する。

炭素の浸入の深さは炭素を含む物質、温度、作業時間等に依つて異なる。表面に於ける炭素の吸収量は非常に高く0.80~1.25% C に達する。それから中心部に至るに従つて次第に減少し遂に元の炭素量に達する。引續いて行はれる熱処理はその表面を硬化し中心部を粘くするためである。

固體を用ふる滲炭法

これは最も普通の滲炭法で固體の炭化物を以て行ふ。

この物質は普通骨炭、獸炭、木炭或ひはコークス等である。これ等の物質はそれ一つだけ單獨に用ひられるか、或は他のものと交せて用ふ。そして何れの場合も増力剤を含むのが普通である。滲炭せられる物質は金屬製の箱、普通ニクロム製の箱の中に入れて行はれる。

この箱は約50mmの長さの脚を持つて爐中のガスが箱の周りを自由に廻轉する事が出来るやうになつてゐる。

滲炭されるべき品物の全表面は少く共厚さ10mm以上滲炭剤で覆はれねばならぬ。箱は氣密に蓋をしなければならない。普通耐火粘土を以て蓋の隙を密閉する。

爐は870°~930°に出来るだけ早く温度を高める。滲炭鋼の滲炭温度はあるものは870°~900°、又890°~910°、又更に900°~930°等があるが、何れも930°を超へてはならない。温度を更に高くす

れば炭素は速かに品物の中に入つて来るが、然し結晶粒の成長が早く起り従つて鋼の性質を悪くする。滲炭温度はこの結晶粒の成長を避けるため出来るだけ臨界範囲に近づけて置く。

然し箱の大きさに従つて品物の温度は約40°だけ爐の温度より遅れる事があるから充分注意を要する。

滲炭温度は品物の表面が必要の滲炭の深さになる迄保つ必要がある。この時間は滲炭鋼の種類による。今0.2%炭素鋼を例に取れば滲炭の深さと時間の関係は次の如くなる。

肌焼の深さ	900°Cに保つべき時間
0.3mm	1 時間
0.6 "	2 "
1.0 "	4 "
1.5 "	6 "
3.0 "	16 "

航空機材料としての滲炭鋼では大體滲炭の深さは0.3~0.8mmが普通である。この理由は耐磨耗性と云ふ事は餘り重要でないし且つ衝撃を受ける場合が比較的多いからで滲炭層が餘りに厚くなると衝撃に對して割が生じ易くなる。

滲炭の後にその滲炭箱は爐から取り去つて空氣中で冷却する。或は品物だけが取り出されて滲炭温度から油中に投入する。若し品物が曲る恐れのある時は冷却は徐々にした方がよい。

増力剤

固體滲炭剤の滲炭力を強大にするため通常炭酸バリウム或は炭酸

ソーダー等を加へる。

炭酸鹽が滲炭力を増進するのは滲炭温度でこれらの炭酸鹽が分解して炭酸ガスを出しこれが炭素と作用して一酸化炭素を作る。即ち $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ となりこの一酸化炭素が鐵に作用すると考へられる。

實例を次表で示す。

第 3 表

滲炭劑 (100 cc)	發生瓦斯量 950°C-4h	瓦 斯 成 分			
		CO ₂	CO	H ₂	CO CO+CO ₂
松 炭	200cc	0.8%	47%	35%	98.3%
松 炭 70% BaCO ₃ 30%	670	1.0	77	20	98.7
馬 目 炭	260	1.0	52	40	98.6
馬 目 炭 70% BaCO ₃ 30%	1060	1.2	78	15	98.6

次いで結晶粒の微細化，硬化，焼戻を行ふ。

液體による滲炭

熔融鹽中にて滲炭を行ふ事は最近甚だ重要視されて來た。この方法は表面の滲炭の深さが0.2mm以下で充分な材料に使はれる。この方法は一樣の深さと炭素量を持つた滲炭層を造る利點がある。これに對して固體滲炭劑を用ひると一樣な結果が得られ難くて滲炭箱の側部と中心部ではその趣が異なる，その上液體滲炭劑は固體に比して操作は簡單で作業時間は短い。これに用ひられる鹽類は滲炭温度よりも 200°~300° 低い温度で熔融する。無定形の炭素を液槽に加へて炭素を供給する。時々この無定形の炭素を加へて何時も滲炭用

の液體を炭素で飽和して置く。

液體滲炭劑は青化加里，青化ソーダ，フェロシアン化加里，フェロシアン化ソーダ中の一つを炭酸ソーダ，鹽化加里，鹽化ソーダの中の一つと畧等量と混じたものである。

氣體による滲炭

これは我が國では餘り用ひられないが天然ガスの多いアメリカでは甚だ重要な方法である。

この方法の一つとして廻轉する爐の中に品物を入れてそこへ滲炭劑としてのガスを導く方法がある。ガスは天然ガスの他にタウン瓦斯，發生爐ガス等も用ひられる。

結晶粒の微細化

滲炭温度は滲炭材料の臨界點より高く，且つ長時間その温度を保持される故甚だしく結晶粒は成長する。微細結晶粒を心部に造るためその鋼を再び臨界點より少し上に加熱してその温度で保持し，その金屬が均一に加熱されたのちこれを油中に投入する。

表面の硬化

滲炭鋼の外肌は炭素量が高い故低炭素の心部を改善するに要する温度は外肌の臨界點より相當高い。この高温度は肌部の結晶粒を成長せしめ，且つ脆くする故高炭素の肌部を臨界點より少し上に再加熱する事が必要である。そしてその後油中に投入する。

この硬化温度は低炭素心部の臨界點よりも低い。それ故肌部硬化のための再加熱は單に心部を焼戻す効果を與へるに過ぎない。

2 窒化法

窒化とは特種の合金鋼の表面硬化をする方法で、空気を遮断した容器中でその鋼を加熱し「アンモニアガス」を接触させて行ふ。これは最近發達した方法で現在尙發達の道程にあり非常に將來性がある。

窒化表面は滲炭表面より硬い。その上に歪を生じたり割が入つたりする事が絶対にない。これは鹽水其の他の腐蝕剤に對して相當抵抗力がある様に思はれる。窒化は特殊の鋼について行はれるこの鋼を窒化鋼或は Nitralloy 或は Aluminum と呼ぶ、其の化學成分は大體次のやうである。

C,	0.30~0.40%	Al,	0.90~1.50%
Cr,	0.90~1.50%	Mo,	0.15~0.25%
Ni,	0.50%	Mn	0.4~0.6%
P,	0.045%	S,	0.04%

アンモニアガスのもとで加熱されると窒素はアルミニウム及鐵と窒化物を作るが、それが甚だしく硬い表面を形成する。硬度の大なる表面を得るためには必ず1~1.5%のアルミニウムが必要である。

窒化鋼の處理以前の物理的状態が重要で、焼鈍状態であれば窒素が比較的大きな結晶粒界に入り込み材料を脆くし不均一な表面を作り出す。故にこの様な鋼の組織を避けるために鋼は先づ硬化され、その後焼戻しソルバイト組織を造りその後窒化を行ふ。

歪が窒化層にあつてはいけないからその鋼は窒化處理以前に焼準をして鍛錬焼入或は機械加工に依つて生じた歪を取去る必要がある。

窒化の方法は先づ材料を約550°に加熱して「アンモニア」ガスを48~72時間通する。「アンモニア」ガスを通する容器は嚴重に外氣と遮断し且つガスの流通が充分である様に羽根車を以てガスを送る。窒化層の厚さは約 0.5mm でその硬度はピッカース又はブリネルの硬度950以上を示す。Moは窒化層及心部の延性を増加する。然しそれでも延性が充分でない時は先の窒化作業に引續いて窒化温度を60°~70°増加して2時間程更に窒化作業を行へば硬度はピッカース100程下るが相當伸は増加する。窒化は焼入作業を伴はない故歪を生じたり割が生ずる事がない。

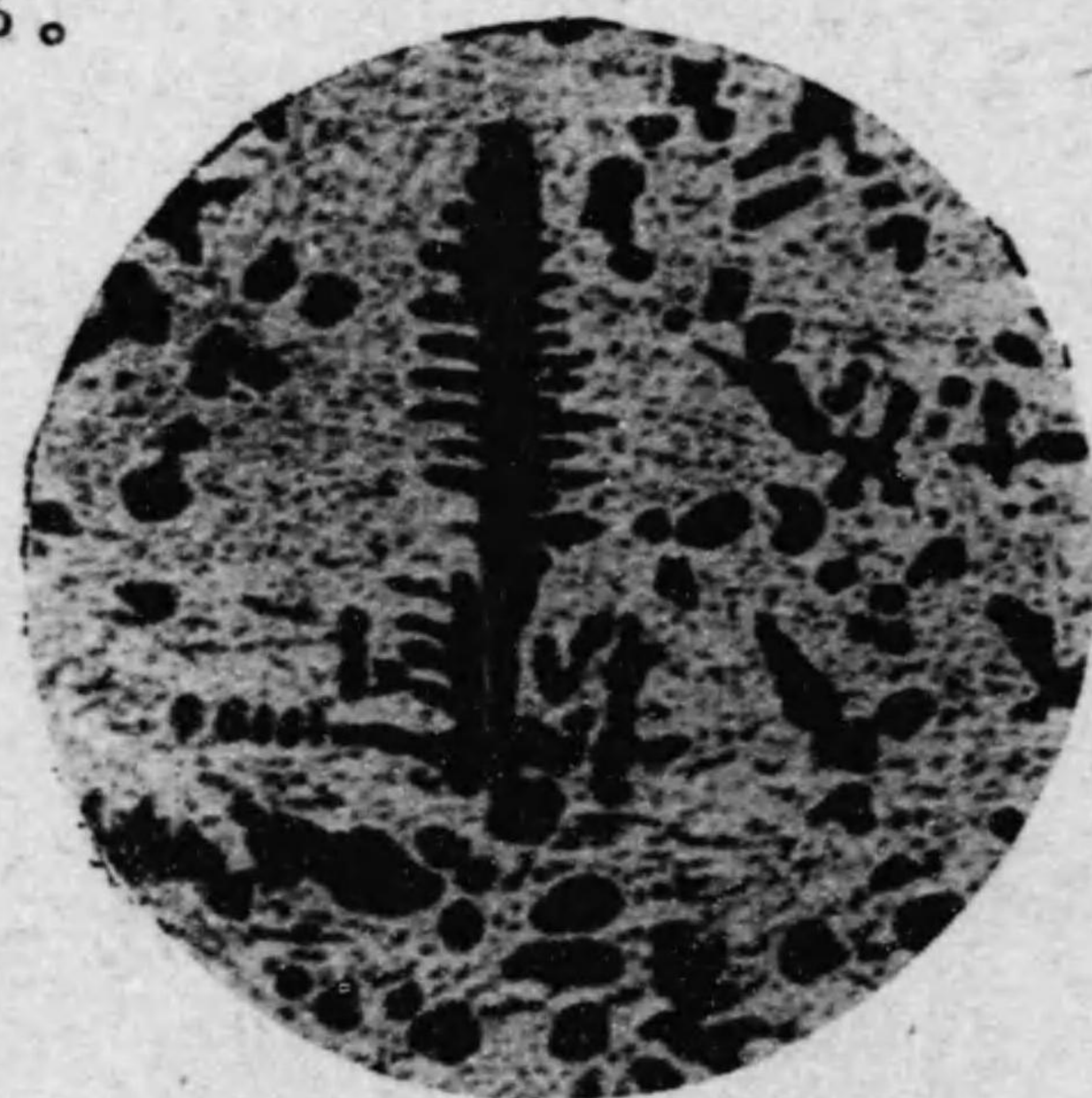
窒化作業の時は酸化物は生じないのが當然であるが、もし何かの原因で酸化膜が出来てもこれは簡単にサンドペーパーを使つてこすり取る事が出来る。若し表面に窒化を欲しない場所があればその場所に錫鍍金を施す。

窒化表面は510°迄加熱してもその硬度は變化せず、然しこれより餘り高く温度を上げると硬度は直ぐ急激に下る。その硬度を回復しようとしても困難で再び窒化しても硬度は高まらない。

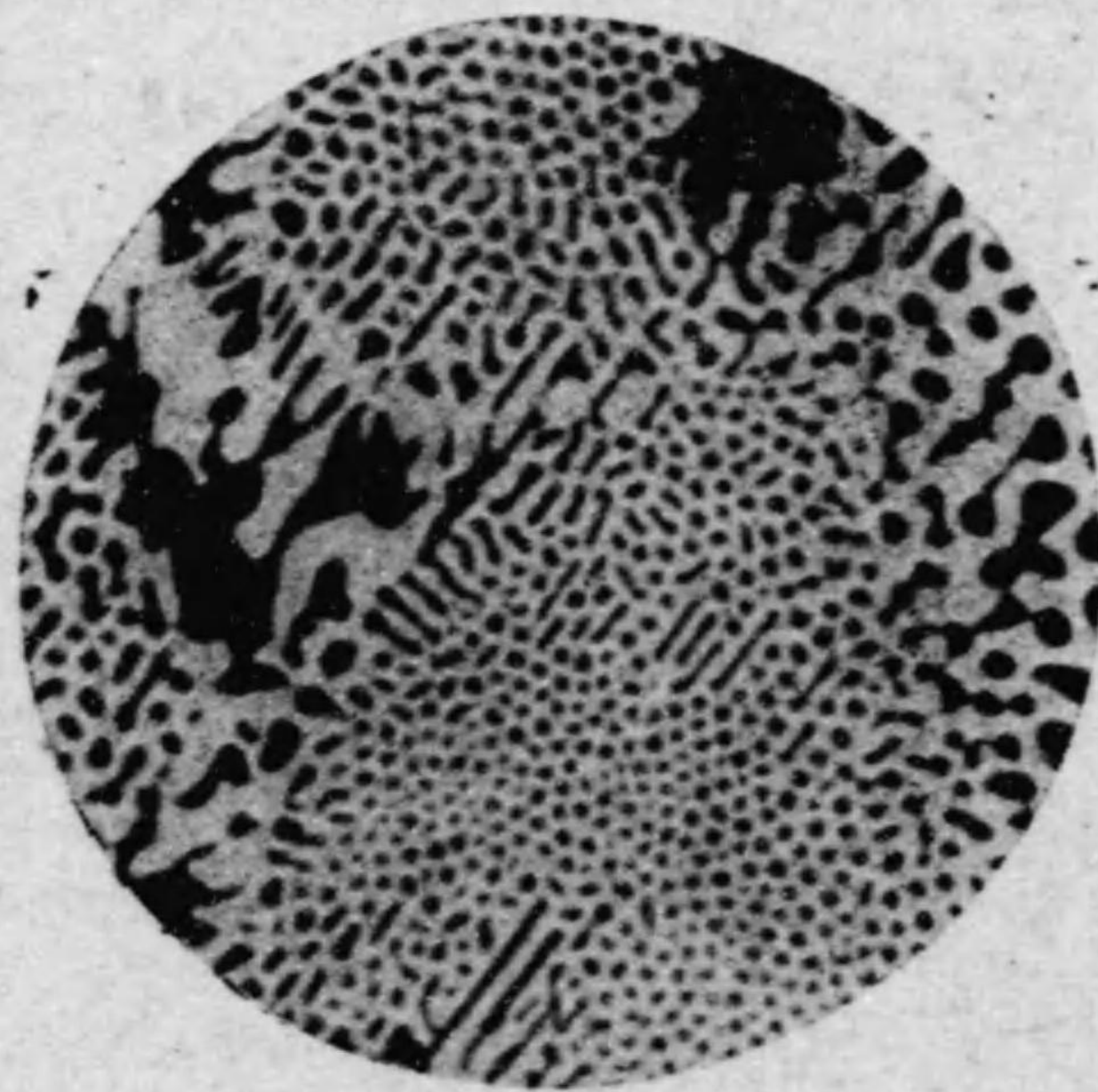
第五章 鑄 鐵

銑鐵 鐵と炭素が合金すると炭素量の多寡によつて鋼 (1.7% 以下) とも銑 (1.7%~6.6%) ともなる。熔鑄爐で鐵礦石 *例へば赤鐵礦 (主成分 Fe_2O_3) 等を燃料及還元劑 (コークス), 熔劑 (石灰石) と適當の割合で混じ燃料を燃燒させて鑛石を還元すれば銑鐵が得られる。これらの銑鐵は操作の性質上少量の珪素, マンガン, 磷及硫黃等を含む。

銑鐵には白銑と鼠銑の二種がある。前者は破面が白く後者は鼠色を呈するからこの名がある。成分的には白銑は鼠銑に比べると珪素が少く硫黃が多い。白銑は又 2.5~4% 炭素のみを含む鐵の合金を金型に鑄造する等によつても得られる。鑄造の際の冷却速度を極めて緩にすると鼠銑となる。これらの顯微鏡組織を示すと次圖の如くなる。

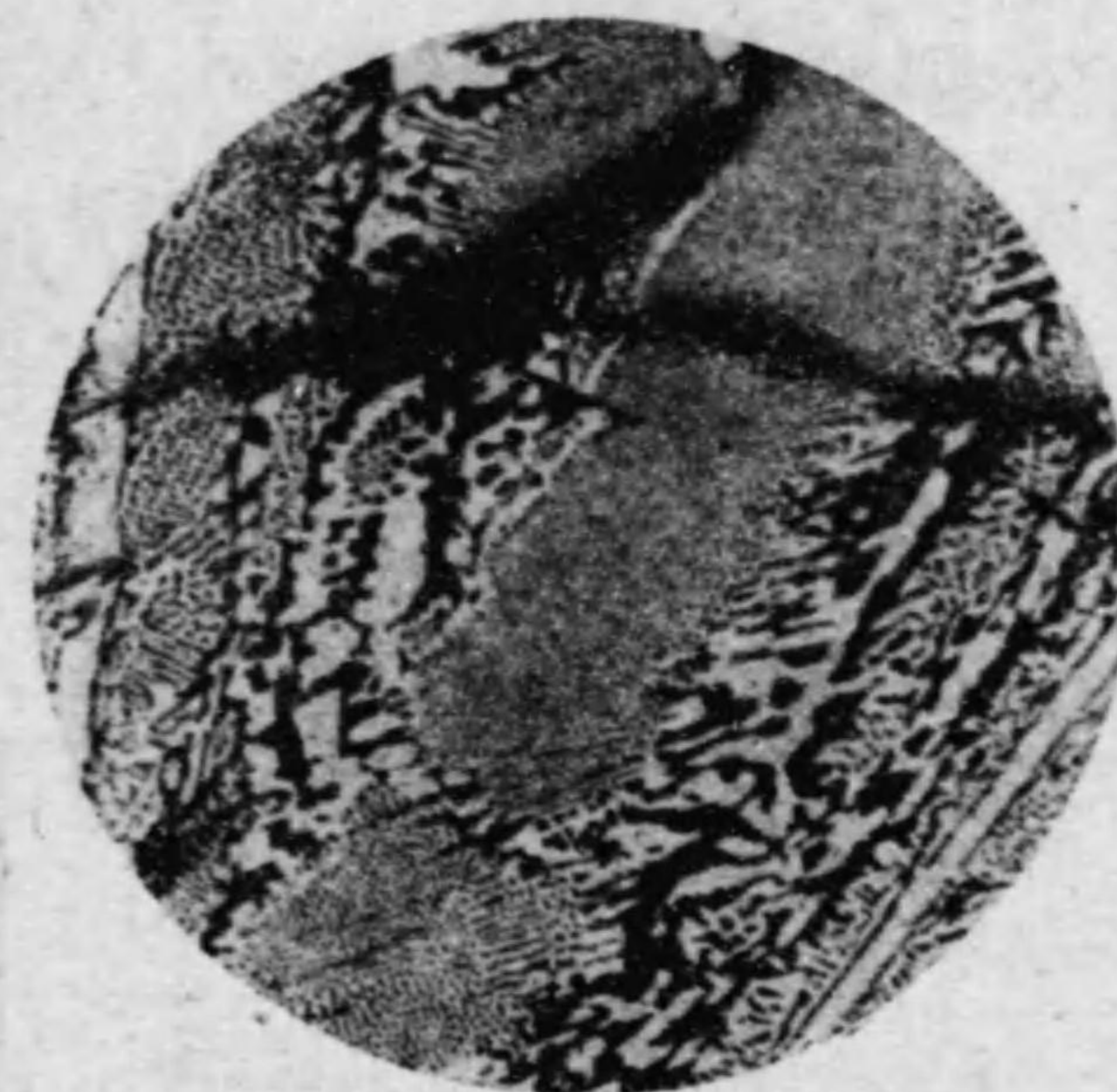


第25圖 亞共晶白銑



第26圖 共晶白銑

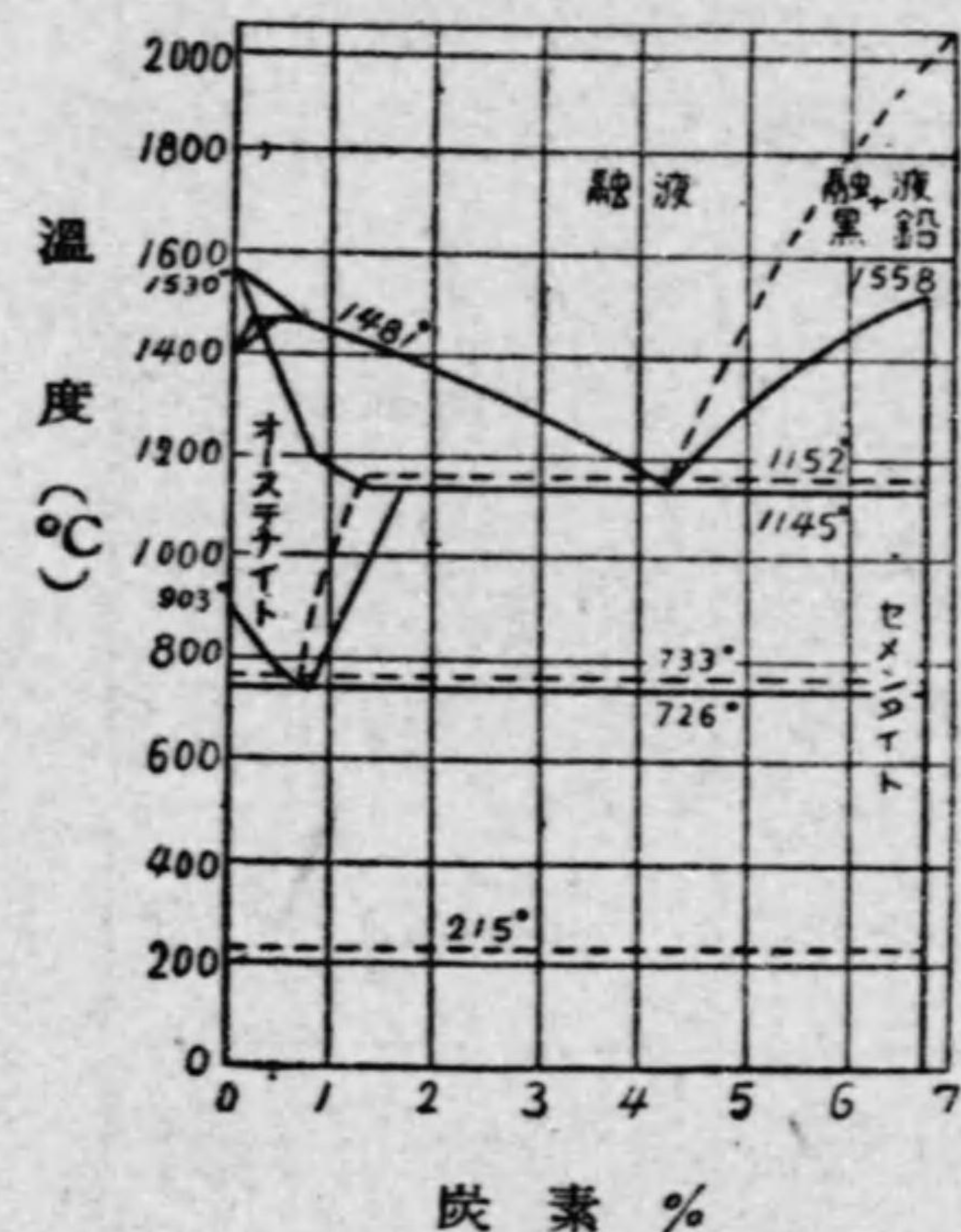
*其他鐵礦(主成分 Fe_3O_4), 褐鐵礦 (主成分 $2Fe_2O_3 + 3H_2O$) 及菱鐵礦 (主成分 $FeCO_3$)がある。



第27圖 過共晶白銑



第28圖 鼠銑



第29圖 鐵-炭素の狀態圖

鐵炭素合金の組成, 溫度と組織の關係即狀態圖を第29圖に示す。

圖中實線は白銑の表れる狀態圖 (準安定系) で, 4.3% 炭素を含むものはレデブライトと呼ぶ組織を示す。レデブライトとは大洲田とセメントタイトの共晶である。炭素 4.3% 以下の銑を亞共晶銑, 以上の銑を過共晶銑と呼ぶ。

- 白 銑 { 亞共晶白銑 (初晶大洲田と共晶レデブライト)
- 共晶白銑 (共晶レデブライト)
- 過共晶白銑 (初晶セメントタイトと共晶レデブライト)

勿論初晶大洲田も共晶中の大洲田も常溫ではパーライトとセメントタイトに分解してゐる。

破線は鼠銑の表れる狀態圖 (安定系) である。亞共晶鼠銑, 共晶鼠銑及過共晶鼠銑は實際問題としては黒鉛の形狀以外はいづれも組

織に大差なく（波來土+黒鉛）か又は波來土中のセメントイトが更に分解して地鐵と黒鉛となる結果（地鐵+黒鉛）の組織を示す。

鑄鐵* 鑄鐵鑄物は鉄鐵のみを又は鉄鐵に鑄物屑鋼屑を添加したものをキュボラ、反射爐或は電氣爐で熔製する。

日本標準規格鑄物用鉄鐵

	全炭素 %	珪 素 %	硫 黄 %	塗 色
一 號	3.0以上	2.5—3.5	0.04	白
二 號	3.0以上	2.0—3.0	0.06	青
三 號	2.8以上	1.5—2.5	0.08	赤
四 號	2.8以上	1.0—2.0	0.10	黒

日本標準規格鑄鐵品

	燐 %	硫黄 %	抗張力kg/mm ²	抗折試験	
				荷重kg	撓mm
第 一 種	—	—	10以上	800以上	—
第 二 種	—	—	14以上	1100以上	2.0以上
第三種	一 號	—	19以上	1350以上	2.5以上
	二 號	0.40			
第四種	一 號	0.30	23以上	1600以上	3.0以上
	二 號	0.20			

鑄鐵は鐵、炭素、珪素、マンガン、燐及硫黄の複雑な合金であるがその組織は大體鐵—炭素二元合金の鼠鉄（鐵—黒鉛系）の状態圖から判断出来る。鑄鐵の炭素量は3~4%であるから常溫では黒鉛とパーライトの組織をもつてゐる。2~6%炭素の鼠鉄の組織は炭素が

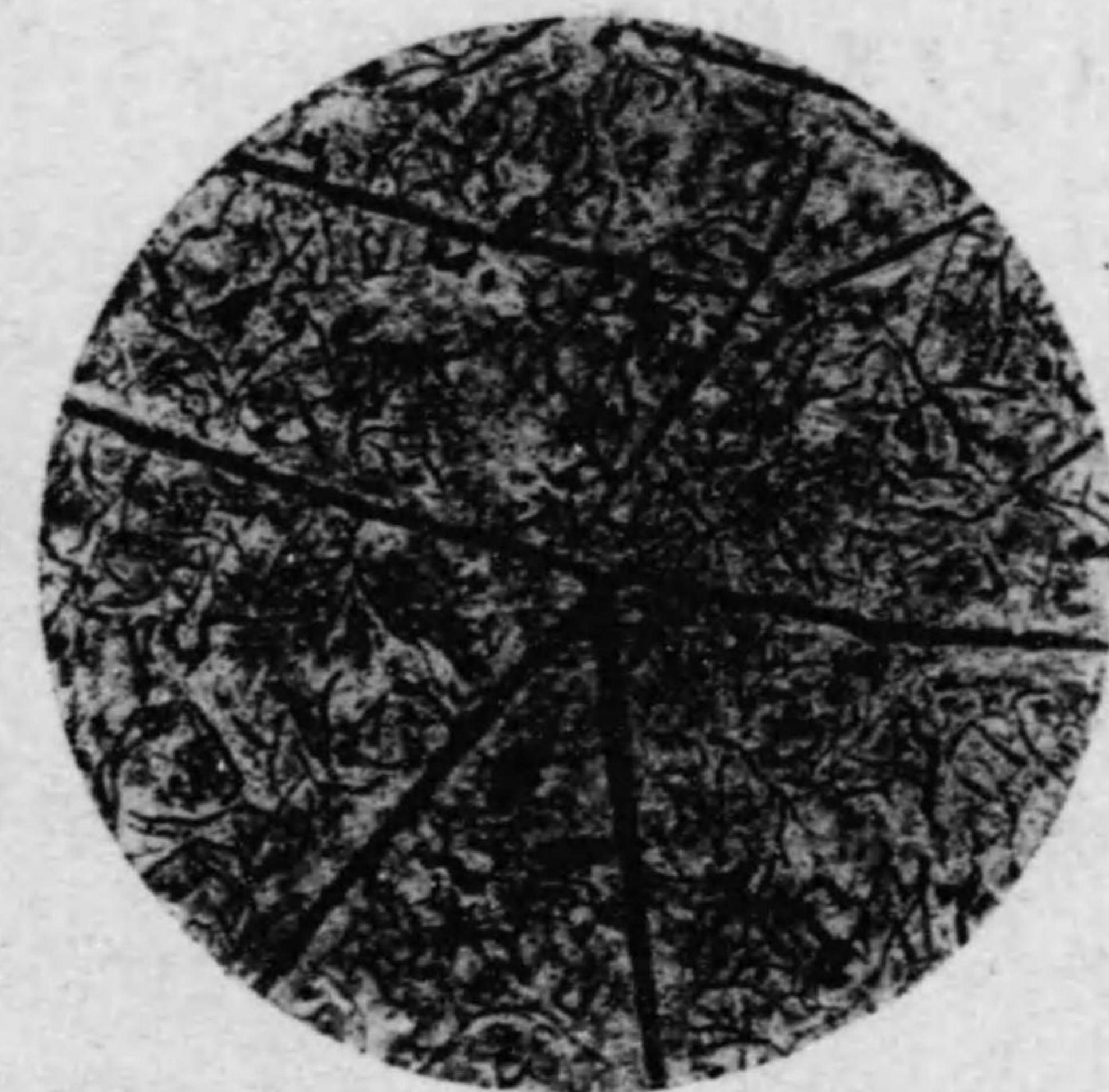
* 鑄鐵とは2.6~4%炭素を含む鐵合金鑄物の材質的名稱で鉄鐵は熔鑄爐から出來た素材的名稱である。

多くなるに従つて黒鉛量が増す他は餘り差異はない。只共晶成分以下で黒鉛がこまかく、過共晶では大きな黒鉛が現れる。

然し大多數の鑄鐵はパーライト中のセメントイト (Fe₃C) が黒鉛とフェライトに分解する結果組織はフェライトと黒鉛か、又はパーライトの一部が分解する結果パーライト、スエライト及黒鉛となる。



第30圖 共晶成分以下の黒鉛



第31圖 共晶成分以上の黒鉛

機械的性質はパーライト組織で黒鉛がこまかい程良好である。

鑄鐵中の炭素以外の他元素の影響として先づ珪素はセメントイトの分解を速かならしめる結果黒鉛の析出を容易にする。従つて珪素は鑄鐵の硬度を下げる。マンガンはセメントイトの分解を妨げ鑄鐵の硬度を高める以外有害元素硫黄と結合して無害な硫化マンガン（融點1620°）を作る。燐は鑄物を脆弱にするが湯流れをよくするから、薄肉の鑄物はことさらに燐を高くする。硫黄は珪素と反對の作用をなし黒鉛化を妨げ鑄物を脆弱にする。

鑄鐵の物理的性質

比重	熱膨脹係數×10 ⁻⁶	熱傳導度	比熱(0°~100°C)	比抵抗×10 ⁻⁶ ohmcm
7.1~7.3	9.2~11.8	0.093~0.153CGS	0.128~0.135	70~120
縮み代	10:1,000			

鑄鐵の收縮(Saeger, Ash) (直徑37mmの丸棒)

全炭素%	黒鉛として存在する炭素	珪素%	凝固の際の容積の收縮%
2.90	2.69	2.9	0.00
2.18	0.56	1.2	5.82

上記の如く縮み代は黒鉛量によつて異なるものである。これは比容の小さいセメントイトが大洲田と比容の大きい黒鉛に分解するためとも考へられる。

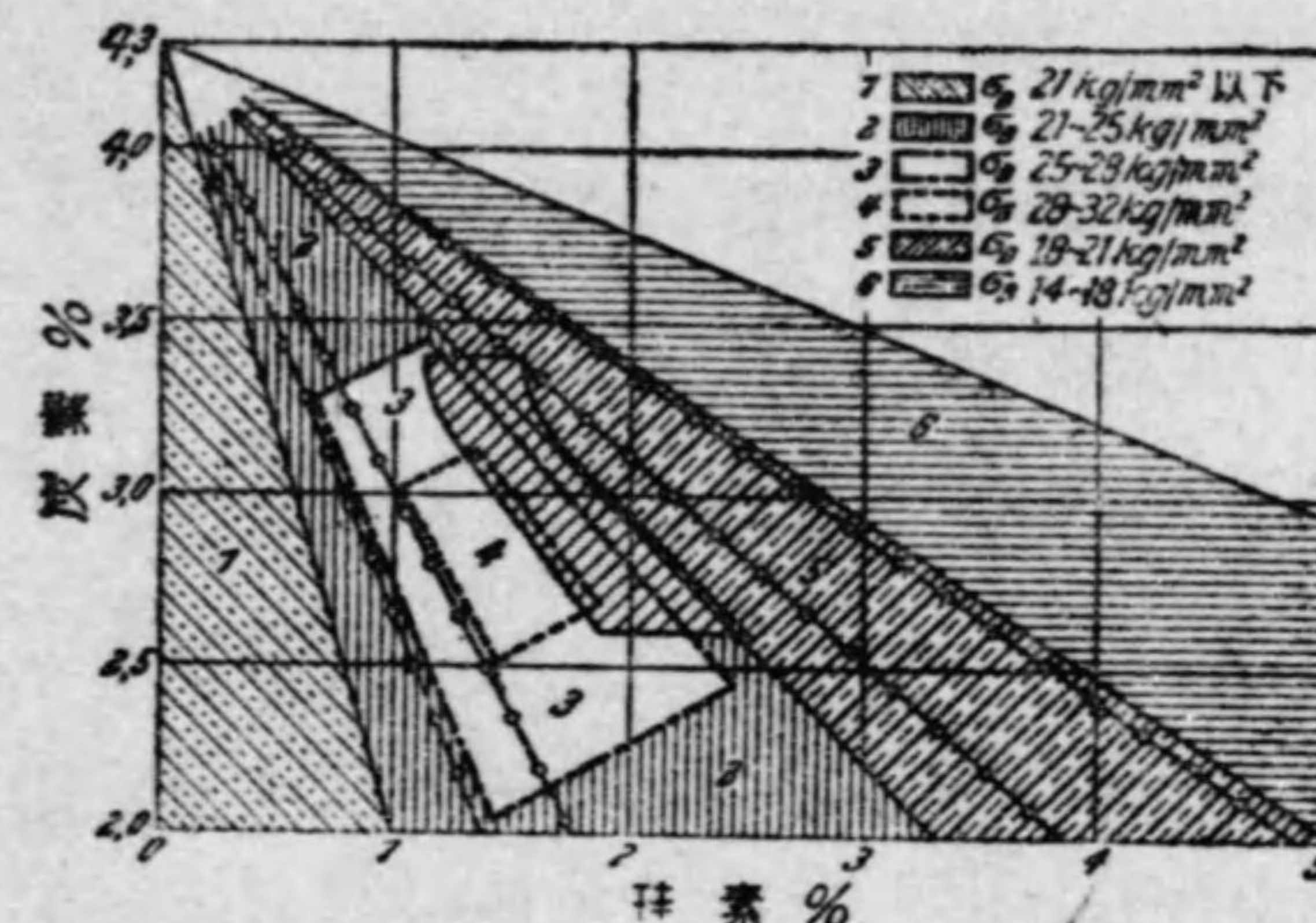
鑄鐵は400°~500°に加熱しても強さは殆んど不變であるからピストン、シリンダー歯車及ブレーキ等に使用される。しかし600°以上に加熱冷却を繰返すとその體積が次第に膨脹する。これを鑄鐵の成長と呼ぶ。これはセメントイトの黒鉛化及地鐵の酸化のためと考へられる。

高級鑄鐵

鑄鐵は鑄造工作が容易で安價な特徴をもつ反面抗張力が低い。この抗張力を大にすべく工夫されたものが高級鑄鐵である。

強さを大にするには鑄鐵中の脆弱部分である黒鉛が鑄物内に連續する様な組織としないで、微細に分散させること、黒鉛量そのものを減ずること、普通鑄鐵の素地である弱いフェライトを強いパーライトにすること等である。

上述の組織は亞共晶組織でなければならぬ。既述の様に過共晶組織となると一次の大きな板状黒鉛が析出し組織を貫いて走るため弱くなる。



第32圖 75mm丸棒を乾燥砂型に鑄込む

- 1 白鉄組織
- 2,3,4 波來土を含む鼠鉄組織
- 6 黒鉛と地鐵組織

織となると一次の大きな板状黒鉛が析出し組織を貫いて走るため弱くなる。珪素は黒鉛の發生に至大な關係がある。Coyleによれば炭素量珪素量と抗張力の關係は32圖の如くなる。

大體 炭素量+珪素量=4.5% となれば波來土高級

鑄鐵となる。

黒鉛量を少くするにはキュボラ裝入原料に炭素の少い鋼片を多く入れる。

用途はシリンダー、シリンダーライナー、ピストン、ピストンリング等である。

特殊鑄鐵

1. 機械用鑄鐵

上述の高級鑄鐵は炭素が低いからやゝもすれば硬化し易い。勿論珪素を多くすれば黒鉛化を助長して硬化を妨げるが内厚の不揃の鑄物では肉厚の部分の硬度が下りすぎる。これを防ぐためには2%以下のニッケルを用ひるがよい。複雑な形の鑄物でも全體を均一な波來土組織にする。クロムは炭化物を作り黒鉛化を防げるからニッケルと共に適量(Ni:Cr=5:2)加へるときは兩々相俟つて適度の硬度

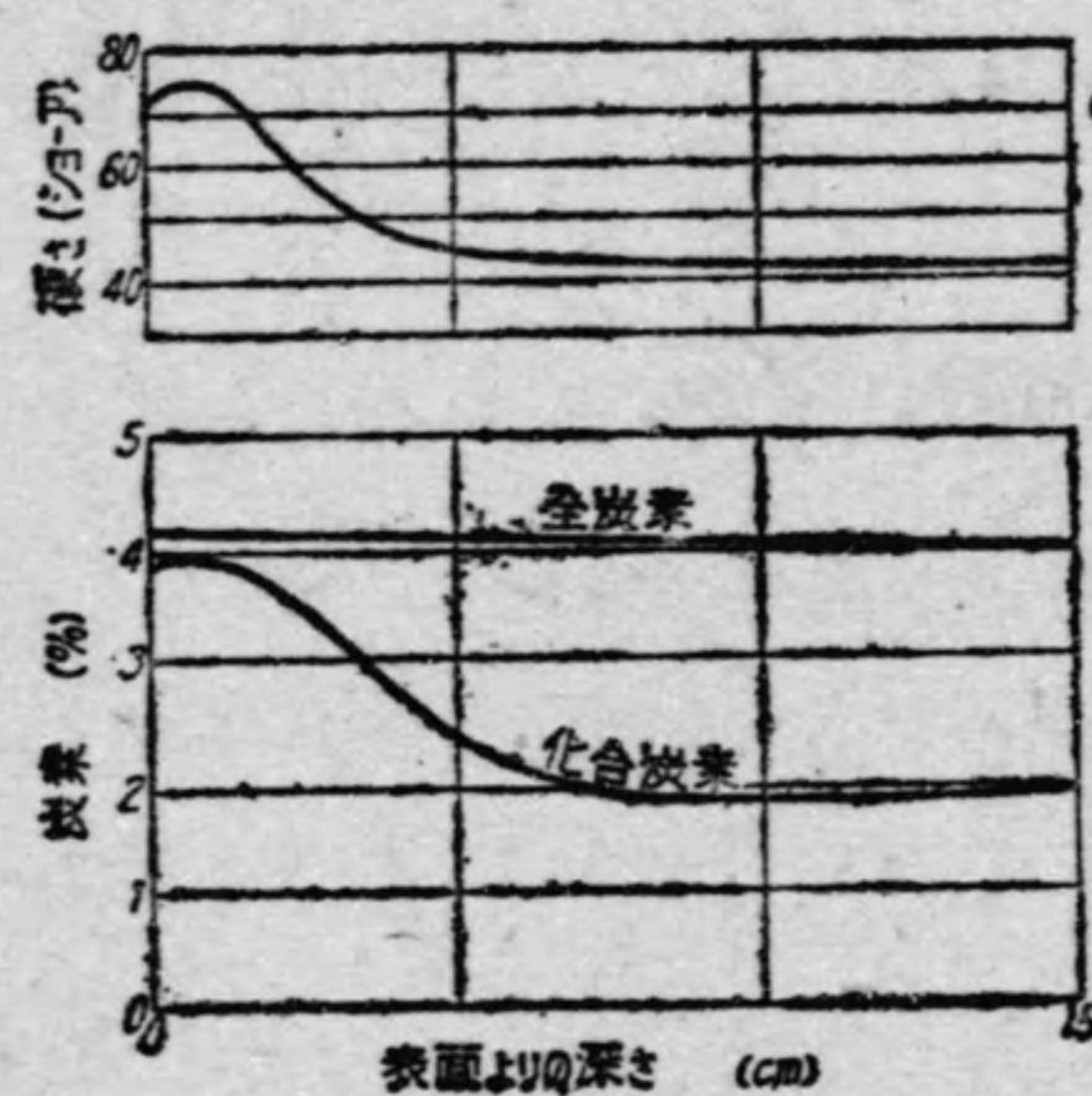
ブリネル200~300程度の鑄鐵が得られる。

2. 耐熱鑄鐵

クロムを15~30%炭素2%程度の鑄物は表面が緻密な酸化クロムの皮膜で包まれる爲に内部まで酸化が進行しないで耐酸化の目的を達する。ニッケルは耐酸化性には無関係で高温に於ける強度を良好ならしめるに役立つ。

用途 鋼管引抜用マンドレル (25%クロム 2%タングステン) 爐用耐熱金物, 燒鈍箱, 焙燒爐攪拌器 (15~26%クロム)

3. チルド鑄物



第33圖 チルド鑄物の硬さ
(C3.1% Si0.6% Mn0.5% P0.5% S0.04%)

4. 可鍛鑄鐵

鑄鐵製品は靱性のないのが缺點であつたがこれを改良すべく工夫されたのが可鍛鑄鐵である。

薄物であれば酸化鐵で周圍を包んで、900°~1000°で長時間加熱して脱炭させ、炭素を0.5~0.7%に減少して鋼化したもの(白心可

適当な成分の熔融鑄鐵は金型で急冷すると金型に接した表面だけが白銑化し内部は鼠銑組織となる。こんな鑄物をチルド鑄物と呼ぶ。チルドの深さは配合にもよるが、大體2~3cm位である。深さと硬度及炭素量の關係を第33圖に示す。

用途はロール, 車輪等である。

鍛鑄鐵) 又は赤鐵鑄, 金肌等で包みAcm以上即ち約900°で數十時間以上加熱し共晶セメント中炭素を球狀に黒鉛化させ更にAr₁以下即ち約710°まで徐冷し數十時間燒鈍し波來土中のセメントを球狀に黒鉛化させる。この黒鉛をテンパー炭素といふ。この方法で得られるものは白心の如く脱炭して鋼化するものでなく單にセメントを黒鉛化するに止まるから破面は灰色である。(黒心可鍛鑄鐵)

成分 C2.4~2.7% Si 0.8~1.1% Mn<0.4% S<0.05% P<0.2%

日本標準規格可鍛鑄鐵品

種 別	抗張力kg/mm ²	伸 %	屈曲角度	内側半徑mm
第一種	32	8	120	40
第二種	28	5	90	40

屈曲は厚さ10mm幅16mmの断面のもので行ふ。

用途 管具類, 鋸, 小齒車, 鐵道附屬品, 農具等。

第六章 合金鋼

炭素鋼に少量の他元素を添加して特殊な性質をもたしたものを合金鋼又は特殊鋼といふ。

合金鋼に於ける諸元素の影響

1. マンガン

炭素に次いでマンガンは重要な元素である。その第一の目的は熔鋼を脱酸脱硫して純度の高い強靱な金属を得るにある。先づ有害元素である酸化鉄を還元する。又硫黄と結合して硫化マンガンを作る。硫化マンガンは少量の時は有害でない。通常鋼中にマンガンが1%以上残らぬように加へる。

マンガンは穿入硬度を大にする性質をもつてゐる。之れがため熱処理をしたとき大きな切口を有する鋼材でも硬度は表面だけに止まらず中心迄も同様に大になる。その他鍛錬圧延時に於ける脆性を減ずる事に依り鋼の鍛錬性を改良する。

13%のマンガンを含むものは甚だ硬くて延性はあるが切削出来ないから鍛錬又は圧延によるか又は鑄造製品を作る。仕上はグラインダーの研磨で行ふ。13%マンガン鋼は航空機の尾ソリに一時よく用ひられた。これは碎岩機又は軌道の交叉部等に用ひられる。磁性を有しない。(Hadfield鋼)

2. 珪素

鋼の珪素含有量は0.3%以下である。優れた脱酸剤でその少量は

延性を良くする。珪素、マンガンを合金元素として多量を用ひたものにシリコマンガン鋼がある。これは衝撃に對して強い性質をもつてゐる。

3. ニッケル

銀色をした金属であつて展性延性及熔接性は皆良好である。通常のニッケル鋼は3~5%のニッケルを含む。ニッケルは抗張力降伏點硬度等を増して然も展性を損はない。又ニッケル鋼の組織は微細で焼入の臨界速度は小である。一層細い組織をなす。ニッケルは耐蝕性を増加し所謂ステンレス鋼及び耐酸鋼を造るに有力な一つの元素である。

4. クロム

硬い白銀色の金属にして熔融點は高く1615°である。

硬度、抗張力、耐磨耗性、耐蝕性を高める、又多少磁氣的性質を改良す。故にクロム鋼はマグネットとしても用ひられる。クロムは優れた穿入硬度を與へて且つ合金の熱処理を容易にする。又クロムはニッケル、モリブデン、バナヂウム等と共に合金鋼を作る。

之等の合金鋼に於て1%のクロムは良く抗張力、硬度、延性を改良す。同時にまた衝撃等に對しても甚だ良く耐へる。ニッケルクロム鋼を熱処理すると抗張力は170kg/mm²に達し然も尙相當の延性をもつ。耐蝕鋼は多量のクロムを含有してゐる。所謂18-8鋼といふのは約18%のクロムと8%のニッケルを含有するものである。

また鐵、クロム、ニッケルの各元素は磁性を有するが18-8鋼は非磁性である。これは合金が必ずしも成分原素の性質を保有しない

好例である。

又クロムは耐摩耗性の合金として用ひられる。クロムバナヂウム鋼は球軸受、タングステンクロム鋼は高速度鋼に用ひられる。

5. モリブデン

モリブデンは甚だ効力のある元素にして少量で他の合金元素の多量に匹敵する。

合金の均一性を改善して結晶粒を小さくする。又弾性限、衝撃抵抗、磨耗抵抗、疲勞限界等の値を大にする。

就中重要な性質はモリブデンを含む鋼は自硬性を改善する事である。これは熔接の時甚だ便利であつて航空機構造用材料としてクロムモリブデン鋼が賞用せられるのもそのためである。

一般的にはモリブデンは近來非常に良く用ひられて將來性に富む合金元素であつて多數の新しい應用が近き將來に表れるであらう。

モリブデン鋼は熱處理、鍛鍊、機械仕上が容易である。

6. バナヂウム

高價な合金元素で0.2%以上は用ひられない。

抗張力を増し結晶組織及疲勞限界値を良好にする。

構造用特殊鋼

炭素0.2~0.4%炭素を含み品物に造つた後、焼入焼戻即ち調質して使用する調質鋼と0.2%以下の炭素を含み表皮に滲炭して用ひる肌焼鋼の2種がある。

構造用ニッケル鋼

日本標準規格ニッケル鋼

種 別	ニッケル%	炭 素%	珪 素%	マンガン%	磷 %	硫 黄%	
第一種	甲	1.0~2.5	0.30~0.40	0.30以下	0.30=0.80	0.05	0.05
	乙	1.0~2.5	同上	同上	同上	0.035	0.035
第二種	甲	2.5~3.5	"	"	"	0.05	0.05
	乙	2.5~3.5	"	"	"	0.035	0.035
第三種	甲	3.0~4.0	"	"	"	0.05	0.05
	乙	3.0~4.0	"	"	"	0.035	0.035
第四種	甲	3.5~4.5	"	"	"	0.05	0.05
	乙	3.5~4.5	"	"	"	0.035	0.035

日本標準規格ニッケル鋼(機械的性質)

種 別	降 伏 點 kg/mm ²	抗 張 力 kg/mm ²	伸 %	断面收縮 %	アイソット 衝 撃 値 kgm	ブリネル 硬 度
第一種	38以上	65以上	22以上	50以上	4	—
第二種	42以上	68以上	16以上	30以上	5	—
第三種	47以上	70以上	16以上	30以上	5	200以上
第四種	50以上	70以上	20以上	40以上	5	200以上

本表ノ數値ハ調質シタルモノニ適用ス

ニッケルクロム鋼が比較的性質良好であるためニッケル鋼は段々用ひられなくなりつつある。

ニッケルクロム鋼

日本標準規格ニッケルクロム鋼

種 別	ニッケル%	クロム%	炭 素%	珪 素%	マンガン%	磷 %	硫 黄%
第一種	甲	1.0~2.5	0.3~0.9	0.25~0.40	0.35以下	0.35~0.65	0.05以下
	乙	1.0~2.5	0.3~0.9	同上	同上	同上	0.035

第二種	甲	2.5-3.5	0.3-0.9	"	"	"	0.05	0.05
	乙	2.5-3.5	0.3-0.9	"	"	"	0.035	0.035
第三種	甲	3.0-4.0	0.5-1.0	"	"	"	0.05	0.05
	乙	3.0-4.0	0.5-1.0	"	"	"	0.035	0.035
第四種	甲	4.0-5.0	1.0-2.0	"	"	"	0.05	0.05
	乙	4.0-5.0	1.0-2.0	"	"	"	0.035	0.035

日本標準規格ニッケルクロム鋼(機械的性質)

種 別		降伏点 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	断面収縮%	アイソット 衝撃値kgm	ブリネル 硬 度
第一種	一號	40以上	60以上	20以上	45以上	3.5以上
	二號	50以上	70以上	22以上	50以上	7.5以上	200以上
第二種	一號	50以上	70以上	20以上	40以上	3.5以上
	二號	65以上	80以上	18以上	45以上	7.5以上	230以上
第三種	一號	60以上	75以上	18以上	45以上	3.5以上
	二號	75以上	90以上	15以上	40以上	6.0以上	260以上
第四種	一號	75以上	90以上	12以上	30以上	7.5以上	260以上
	二號	150以上	7以上	25以上	2.5以上	420以上

一號ハ大型製品 二號ハ小型製品ニ適ス

膨脹係數(20°-400°×10⁻⁶)

13.3

熱傳導率 CGS

0.081-0.106

この種の鋼を450°~600°で焼戻後徐冷すると衝撃抗力が焼戻前より低下する。この現象をニッケルクロム鋼の焼戻脆性といふ。これを避けるためには焼戻の際にこの温度範囲を避けるか、その温度から急冷すればよい。

用途: クランク軸, 傳導軸, プロペラ軸, 蒸氣タービンの羽, クラッチ, 齒車, 軸, チェーンホイール, 砲身, 砲彈, 甲板, 防彈鋼

ニッケルクロム鋼の肌焼用も日本標準規格に定められてゐる。大體炭素0.18%程度で第一次第二次焼入温度も定められてゐる。

クロムモリブデン鋼

この鋼は國産にないニッケルを含まないのでニッケルクロム鋼の代用鋼として使用される。又自硬性が小であるから熔接部分に使はれる。

クロムモリブデン鋼

熱處理 °C		降伏点 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸(%)	絞(%)	シャルピー 衝撃値 kg/mm ²	ブルネ ル硬度	用途
焼入	焼戻							
820-870 油	600-650 急冷	>60	>75	>20	>50	>12	212-269	氣筒筒 發動機架 脚組
830-880 油(水)	550-630	>75	>90	>15	>50	>9	262-321	プロペラ ボス

航空機材料規格

種 別	炭素%	クロム%	モリブデン%
75kg クロムモリブデン鋼	0.25~0.35	0.8~1.2	0.15~0.35
90kg "	0.27~0.37	1.0~1.5	0.3~0.6

マンガン鋼 マンガン1~2%のものは艦船用の高張力鋼。板鋼として用ひられる。

Ducol鋼 (抗張力60~90kg/mm²)

炭素%	珪素%	マンガン%	燐 %	硫黄%	用 途
0.15~0.3	<0.1	1~1.5	<0.04	<0.04	構 造 用
"	"	1.2~2.5	"	"	"
0.3~0.6	0.1~0.3	0.8~1.5	"	"	工具 發條 車輪

0.8~1.0%炭素, 13%マンガンを含むものは Hadfield の発明したもので1000°~1100°から水焼入して用ひる。焼入したものは完全なオーステナイト組織で靱性に富む。かゝる焼入操作を水靱法といふ。

機械的性質 (水靱したるもの)

抗張力kg/mm ²	降伏点kg/mm ²	伸 %	ブリネル硬度
100~110	40~45	70~80	200~214

用途 碎鑛機の歯, 戦車の無限軌道, 交叉點レール, 蒸気シヨペル。

耐 熱 鋼

耐熱鋼の要件としては酸化し難いこと, 使用温度で結晶粒の粗大化をしないことである。このためには鋼にCrを合金することが最適である。Cr:10%で900° 20%で1000°の酸化に耐へる。一方Cr量の増加は結晶粒を粗大化せしめるからこれを防ぐためにNiを添加したのものもある。

使用温度で変態が起るのを防止するため珪素を加へて変態点を上昇せしめたものもある。

名 稱	成 分 %										
	炭 素	珪 素	錳 僊	クロム	ニッケル	アルミニウム	タングステン	モリブデン	バナヂウム	銅	
一 般 耐 熱 鋼	HR I	<0.35	1.0-3.0	<0.60	12-14	<1.0	—	—	—	—	—
	HR II	<0.35	1.0-3.0	<0.60	16-20	7-10	—	—	—	—	<1.0
	HR III	<0.35	2.0-3.0	<0.60	20-25	13-15	—	—	—	—	—
	R 17	<0.25	3.0-4.0	<0.60	15-20	12-15	1.0-1.5	—	<1.0	—	—

鋼 用	S C	0.3-1.0	1.5-3.0	—	3.0-13.0	—	—	—	—	—	—
	SCM	0.35-0.45	2.0-3.0	—	9.0-13.0	—	—	—	0.7-1.3	—	—
	FWV	0.35-0.45	1.5-2.5	—	14-16	13-15	—	2.0-3.0	—	—	—
	WKZ	0.25-0.35	<0.35	—	3.0-4.0	—	—	9.0-11.0	—	<0.35	—
	KE965	0.45-0.55	1.5-2.0	—	11-13	10-12	—	2.0-3.0	—	—	—

工 具 鋼

普通に用ひられてゐるのは高炭素鋼及びこれに少量のクロム及びタングステンを合金した鋼である。

高炭素鋼は炭素 0.7~1.6%, マンガン 0.4%, 珪素 0.2~0.5%程度で760°~820° から油焼入し 100°~250° に焼戻し, 鋸, 刃物, タップダイス及びバイト等に用ふ。クロムタングステンを含むものを第 4 表に例示する。

臨時日本標準規格高速度鋼

種 別	炭 素 %	タングステン %	クロム %	バナヂウム %	コバルト %	被 切 削 材 料
第 一 種	0.6-1.0	12-14	4.0-5.0	—	—	一般用金属材及軟質鋼材
第 二 種	同 上	15-20	同 上	0.5-1.0	—	硬質鋼材 (硬度シヨア-40以上)
第 三 種	同 上	15-18	同 上	0.5-1.0	3-4	硬質特殊鋼材 (硬度シヨア-50以上)
第 四 種	甲	同 上	17-22	同 上	1.0-1.5	8-12
	乙	同 上	17-22	同 上	1.0-1.5	12-16

使用方法はこの合金の薄片を銅又は真鍮でシャンクに銲接して使用する。

バイトは主として鑄物、砲金、真鍮等の高速切削に用ひられる。その他タンタラムカーバイト、チタン及モリブデンのカーバイドの焼結合金も外國で用ひられるやうである。

第七章 銅及びその合金

銅

物理的性質

熔融點	比重	比 熱	熱傳導度	比電氣抵抗	同溫度係數	熱膨脹係數
1083°C	8.87	0.092 cal/g°C	0.9カリ C.G.S.	1.72×10^{-6} ohm cm	0.00428	17×10^{-6}

性質及び用途

上表の如く銅は電氣傳導度は非常に高く、銀に次ぎ金屬中第二位を占めてゐるから電線としては重要である。

電氣銅線の導電率を表はすには次の標準に従ふ。

	比 抵 抗	導 電 率(%)
萬國標準軟銅	1.7241	100%
軟 銅 線	1.7070~1.7774	101~107
硬 銅 線	1.7593~1.7958	98~96

又展延性に富むから棒、線、板及び継目無銅管として使用される。高温加工は750°~870°で容易に行はれ、仕上げには常温加工で適度の強度を與へる。機械的性質は第5表の通りである。

第 5 表

形 状	熱 處 理 狀 態	成 分	抗張力	伸	備 考
軟質棒	焼鈍(300°C以上)	Cu>99.5	22以上	35以上	徑25mm 以下
硬質棒	冷間引抜の儘	Cu>99.3 As 0.15~0.45	32以上	10以上	徑132mm 以下
軟質板	焼 鈍	Cu>99.3 As "	22以上	35以上	
硬質板	冷間壓延の儘	Cu>99.3 As "	28以上	15以上	
継目無管	冷間引抜後焼鈍		22以上	30以上	

銅管；航空機用發動機として重要なものは継目無管で燃料油の輸送に用ひられる。材質は極めて良好なもの即ち 99.90% 以上のものを必要とする。

この管は冷間に引抜いた後、なるべく低温で焼鈍し通常半硬質の状態を使用する。

焼鈍温度は約500°で爐から取り出すと直ちに水中に投入して急冷する。最大の伸を得んには5分間以上その温度で保つてはならない。

燃料輸送管は間断なく振動されるから疲労を起して銅管が接手鑢接部その他から折損した爲、重大なる事故を惹起した例が内外に少くない。そのため、疲労耐久性の大きい管を作らうと種々の研究がされてゐる。(6表)

第 6 表

材 質	比重	抗張力 (kg/mm ²)	伸%	疲労限kg/mm ² 小野式N107	熔接	鑢接
銅	8.9	22.2	46	6.3	良	良
磷 青 銅	"	42.8	71	20.5	良	良
珪素青銅 (AR合金)	8.6	40.7	66	16.5	不	不
不 銹 鋼 (調 質)	7.75	60以上	20以上	—	可	良
輕 合 金 4S	2.7	18.5	20	—	可	良

化學的性質；純銅は乾燥した空气中又は清水中では變化しない。しかし、炭酸ガス (CO₂) を含んだ湿つた空气中又は水中に曝せば緑色の鹽基性炭酸銅即ち緑青を生ずる。銅は又海水に速かに腐蝕される。

不純物；銅は不純物としては砒素、アンチモニー、鐵、硫黄、酸

素等を含む事は電線としては少量でも問題となり、又加工困難ならしめるが、その他の用途には問題とならぬ。

J. E. S. の銅板、銅棒の性質及び銅の成分を次表に示す。

銅板及棒

質 別	抗張力kg/mm ²	伸%	純分%	銅 棒
軟 質	>22	>35	} > 99.5	棒にありては軟、硬二種に分ち更に之を五種に分く。
半軟質	>25	>20		
硬 質	>28	>15		

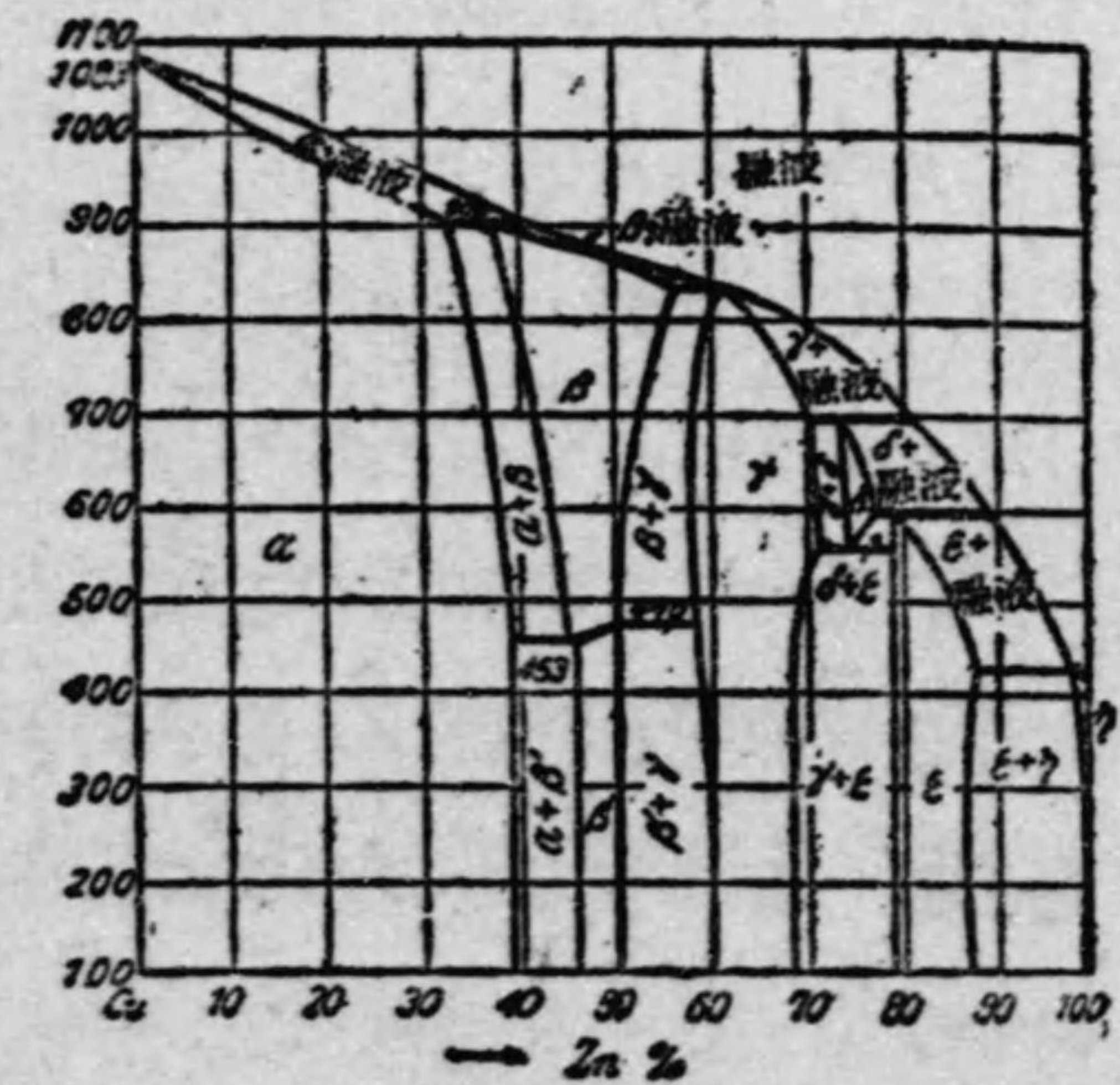
銅地金(J. E. S)

種 別	Cu%	As%	Sb%	Bi%	Pb%	S%	Fe%
電 氣 分 銅	>99.94	<0.003	<0.01	<0.005	<0.005	<0.015	<0.01
電 氣 型 銅	>99.85	<0.003	<0.01	<0.005	<0.005	<0.015	<0.01
上 型 銅	>99.60	<0.03	<0.03	<0.01	<0.02	<0.015	<0.02
並 型 銅	>99.30						

黄銅又は真鍮

銅合金中最多量に使用されるのは黄銅で、その中でも最多量に用ひられるものは7—3黄銅板、4—6黄銅板である。黄銅は銅と亜鉛の合金でその状態圖を第34圖に示す。

7—3黄銅とは 30% 亜鉛を、4—6黄銅とは40%の亜鉛を含むものである。



第34圖 Cu—Zn状態圖

7-3の黄銅が最も粘く、4-6黄銅は最強力である状態図に示すやうに7-3黄銅は α 相のみであるが、4-6黄銅は α 、 β' 二相を含む。

黄銅は砲金が主に鑄造用であるに對して多く板、棒、線等に加工して廣く用ひられる。

色； α 相はZn 10%位では赤味を帯び、15%位で18金の如き黄金色、30~35%で黄色、 β 相が現はれ出すと再び少々赤味を帯びる。

置割(Season craking)；

強く常温加工したまゝ放置すると加工の際に生ずる歪と大氣中のアンモニアの腐蝕と相俟つて自然に割れることがある。

之を置割(自然割)といひ、之を防ぐ爲には200°—300°で低温焼鈍を行ひ、之が検査には水銀鹽の溶液を用ひる。

不純物；Sb, Asは結晶粒を粗大にし、Biは結晶粒界に出て脆くなる。Pbは切削性を良好にす。

脱亜鉛；黄銅は高温に熱せられるとZnが蒸發し、又海水に腐蝕されてもZnが脱離する、之を脱亜鉛といふ。もし $\alpha + \beta$ 組織ならば β が先づ浸蝕される。

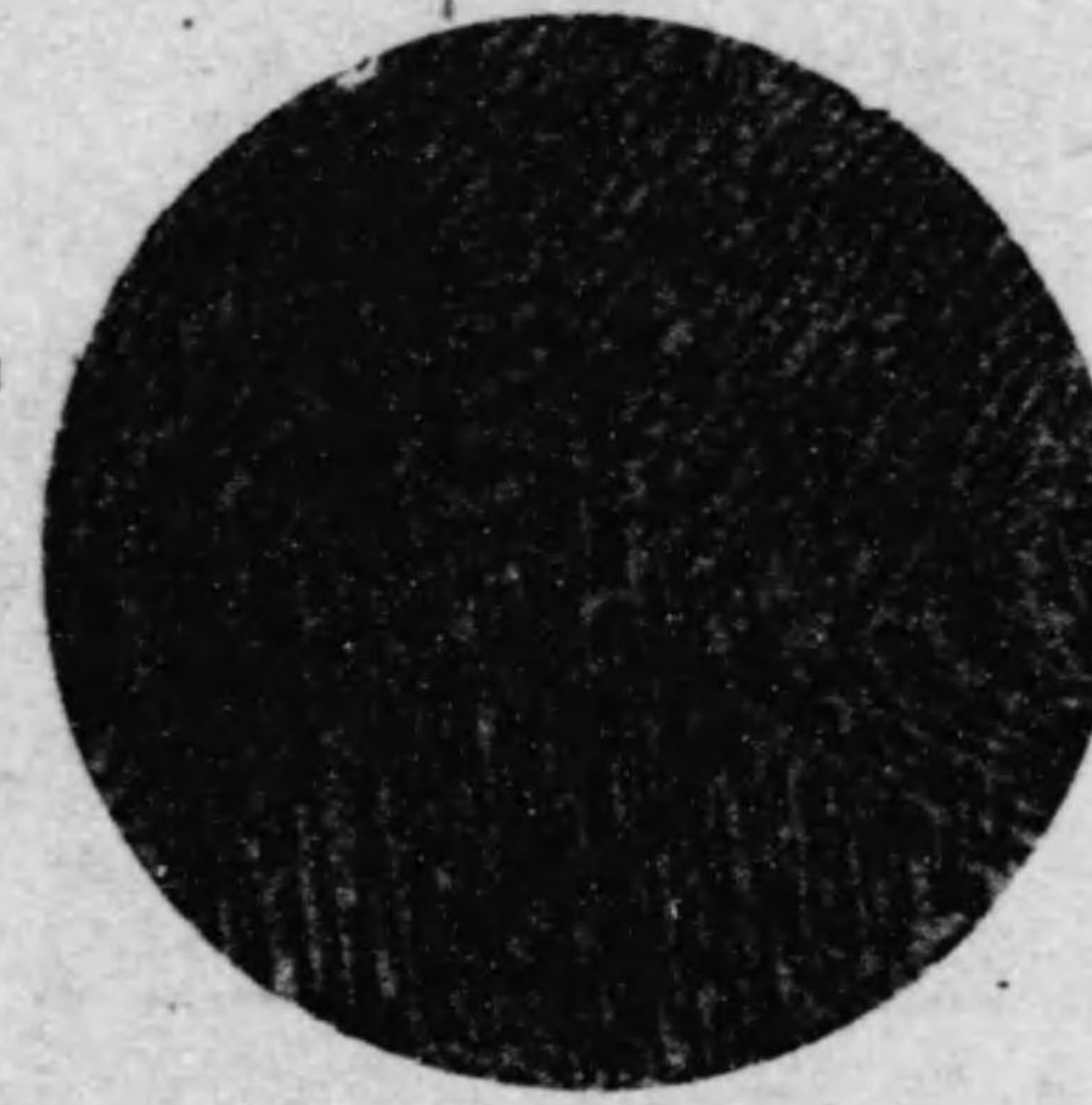
1) 4-6黄銅

Muntz Metalとも稱する。鹽水に對してすぐれた耐蝕性を示す。この合金は熱處理によつて抗張力硬度を増加することが出来る。この合金は810°に加熱すると β 固溶體は α 固溶體を吸収し、遂に均一固溶體となる。之を急冷すると常温で均一 β 相を保つが緩冷すると β 相より再び α 相を放出し、453°で $\beta \rightarrow \beta'$ に變態し、常温では焼鈍状態の $\alpha \beta$ 相よりなる組織が得られる。

これらの機械的性質を示すと。

	抗張力	降伏點	伸	断面收縮率	ブリネル硬度
急冷せるもの	50	—	10	—	約160
焼鈍せるもの	35~42	10~12	50	約40	約70

β は高温では延伸率頗る大きく且柔軟であるから、この合金は700°~750°で容易に高温加工が行はれる。



第35圖 $\alpha + \beta$ 黄銅

Znの多いだけに地金の値も廉い、従つて黄銅の板、棒の市販品は大部分これである。

工作を容易にするためにPbを0.5~3%加へたものが一般に廣く用ひられてゐる。

J. E. Sの黄銅の板、棒、管は次の如し。

	徑	Cu	Zn	抗張力	伸
火延黄銅棒	<13	58—62	殘	>35kg/mm ²	>25%
	>13	"	"	>32 "	
挽物用黄銅棒		Cu	Pb	不純物	Zn
第一種		58—62	1.5—2.5	<0.5	殘
第二種		58—62	1.5—3.0	<1.0	殘
繼目無黄銅管		Cu	不純物	Zn	抗張力 伸
第一種		68—72	2.5	殘	>28 >35
第二種		62—66	2.5	殘	>30 >25

黄銅板	Cu	Zn	抗 張 力			伸 %		
			軟質	半硬	硬	軟	半硬	硬
第一種(7-3)	69-72	殘	>28	>38	>41	>50	>30	>25
第二種(2-1)	65-68	殘	"	"	"	"	"	"
第三種(6-4)	58-61	殘	>35	>41	>48	>30	>25	>15

ネーバル黄銅

ネーバル黄銅は4-6黄銅に約 1%錫を加へて耐蝕性を良好にしたものである。之はSnにより防蝕性の膜が出来、脱亜鉛を妨げるため海水等に對する抵抗が大となるのである。

航空發動機の部分品、艦船用材料、復水管等が用ひられる。之は主として棒材として使用される。その機械的性質の一例及びJ. E. S を表に示す。

形 状	抗張力kg/mm ²		伸 %		ブリネル硬度	
	板 厚 ≤ 40mm	棒 徑 ≤ 200mm	管			
	37~46	35~47	40~55	25~50	30~50	55~15
	ε0~95	"	"			

種 類	Cu%	Sn%	不純物%	Zn%	抗張力kg/mm ²		伸 %
					棒	管	
日本標準規格	61~64	0.75~1.5	<0.75	殘部	>41(徑<20)	>35(徑>20)	>20

2) 7-3黄銅

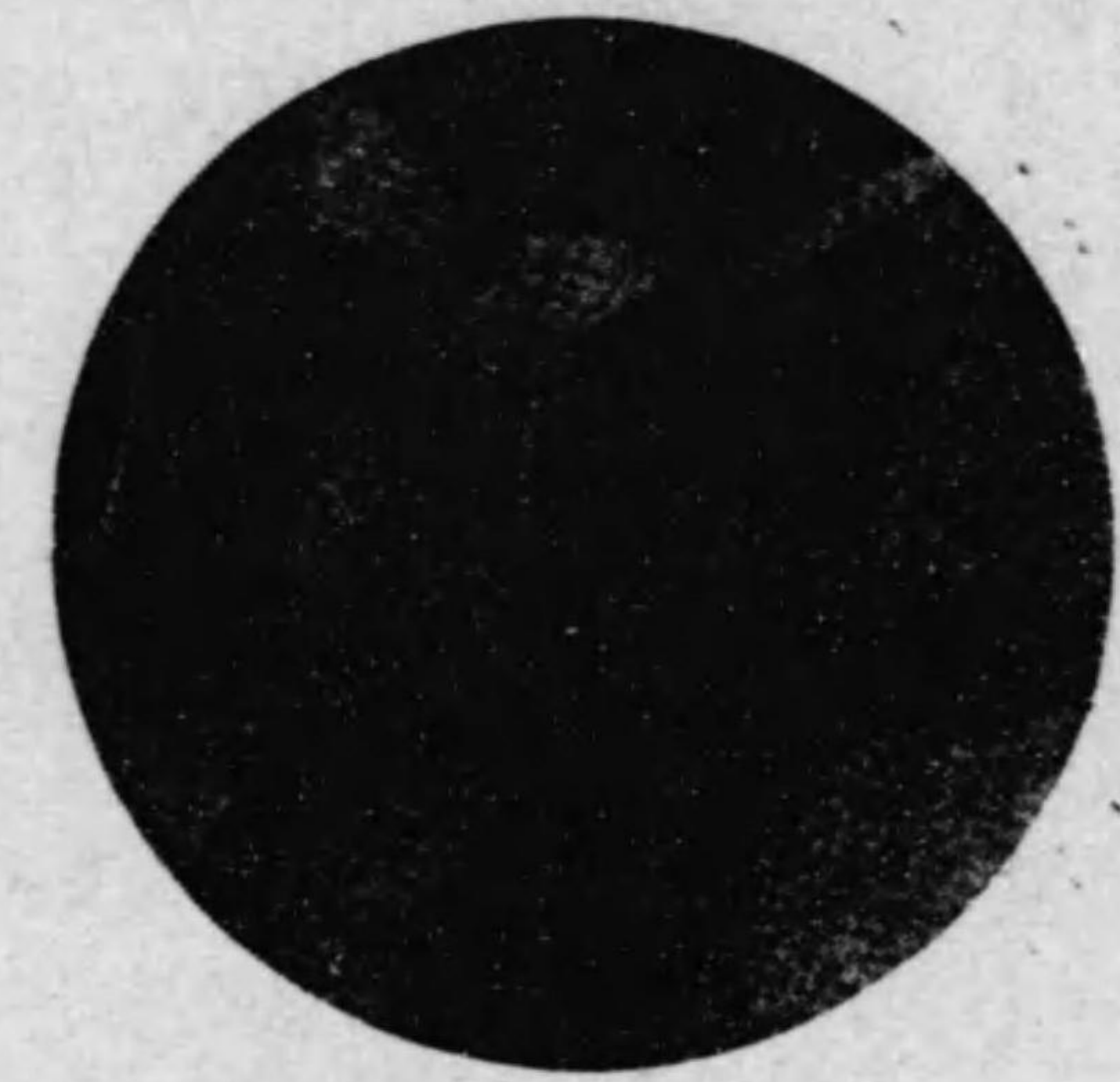
この種の合金は4-6黄銅に比して強さは劣るが粘い。即ちα固溶體は Zn30% で常溫の展延性が最大を示すから常溫加工の大きい器物、例へば小銃、大砲の藥莢を作るのに用ひられる。又この合金は線、管、板その他、複雑な加工品として一般に廣く用ひられてゐる。

加工：常溫の展延性は甚だ良好であるが、高溫度に於いて展延性に乏しく、高溫壓延は出来ない。

組織：鑄造のままでは樹枝狀組織の粗大なる結晶粒であるが加工焼鈍すれば均質で等長な細かい結晶粒となる。而して圖に示すが如く、結晶粒を横切つた平行な部分が現

れる。之を双晶といひ、純金屬 (Cu, Ag, Ni, Al, Pb,) 固溶體合金 (アルミ青銅, 黄銅) の加工後の焼鈍に現れる特異の組織である。

不純物；不純物の含有量はJ. E. S により制限されてゐる。



第36圖 α 黄銅

陸軍の藥莢に關する規格では前表の黄銅板第一種及び第二種が用ひられてゐる。

7-3黄銅の機械的性質を次表に示す。

状 態	降伏點kg/mm ²	抗張力kg/mm ²	伸 %	ブリネル硬度
金 型 鑄 物	9.4	25.2	60~70	60
硬 壓 延 板	>31.5	47.2~63	10~15	150~200
燒 鈍 板	9.4	31.5~36.2	65~75	60

7-3黄銅に1%のSnを添加したものをアドミルテメタルと稱する。

3) 高力黄銅

俗にマンガン青銅とも呼ばれるが、この名は適當ではない。高力黄銅はαβ二相型黄銅で、アルミニウム、マンガン、ニッケル、鐵

を少量含む。その特徴は硬鋼に匹敵する機械的性質を有し、抗張力大で伸も大きく、海水に対する耐蝕性が強い。

所謂マンガン青銅は次の如き成分と機械的性質をもつてゐる。

Cu	Mn	Sn	Al	Ni	Zn	抗張力 kg/mm ²	伸 %
56~59	<1.5	<1.5	<1.5	<2.0	残部	50~60	>18
55~58	<4.5	—	<2.0	<2.0	残部	60~65	>18

英 國 の 例

Cu	Mn	Zn	Al	Ni	Sn	抗張力 kg/mm ²	伸 %
56.4	0.25	41.1	1	0.25	1	53.94	28
58.3	"	39.2	"	"	"	48.7	42
60.5	"	37	"	"	"	42.79	50

この種の黄銅は小部分品として比較的多く使用され、主として棒鍛造品として用ひられる。鑄物としては、船舶のプロペラ、水雷發射管等に用ひられ、その他一般造船、鑛山關係の機械部分品として重要視されてゐる。

4) 鐵入黄銅

Feを1~2%を加へると組織を細くし、抗張力及靱性のある鑄物をつくり、高温壓延鍛冶が可能で、又常溫壓延も出来る。耐蝕性大なる故、高價な青銅の代用となる。

例へばデルタメタルは次の如し。

Cu	Zn	Fe	Mn	抗張力
55	41	1~1.5	1	>40kg/mm ²

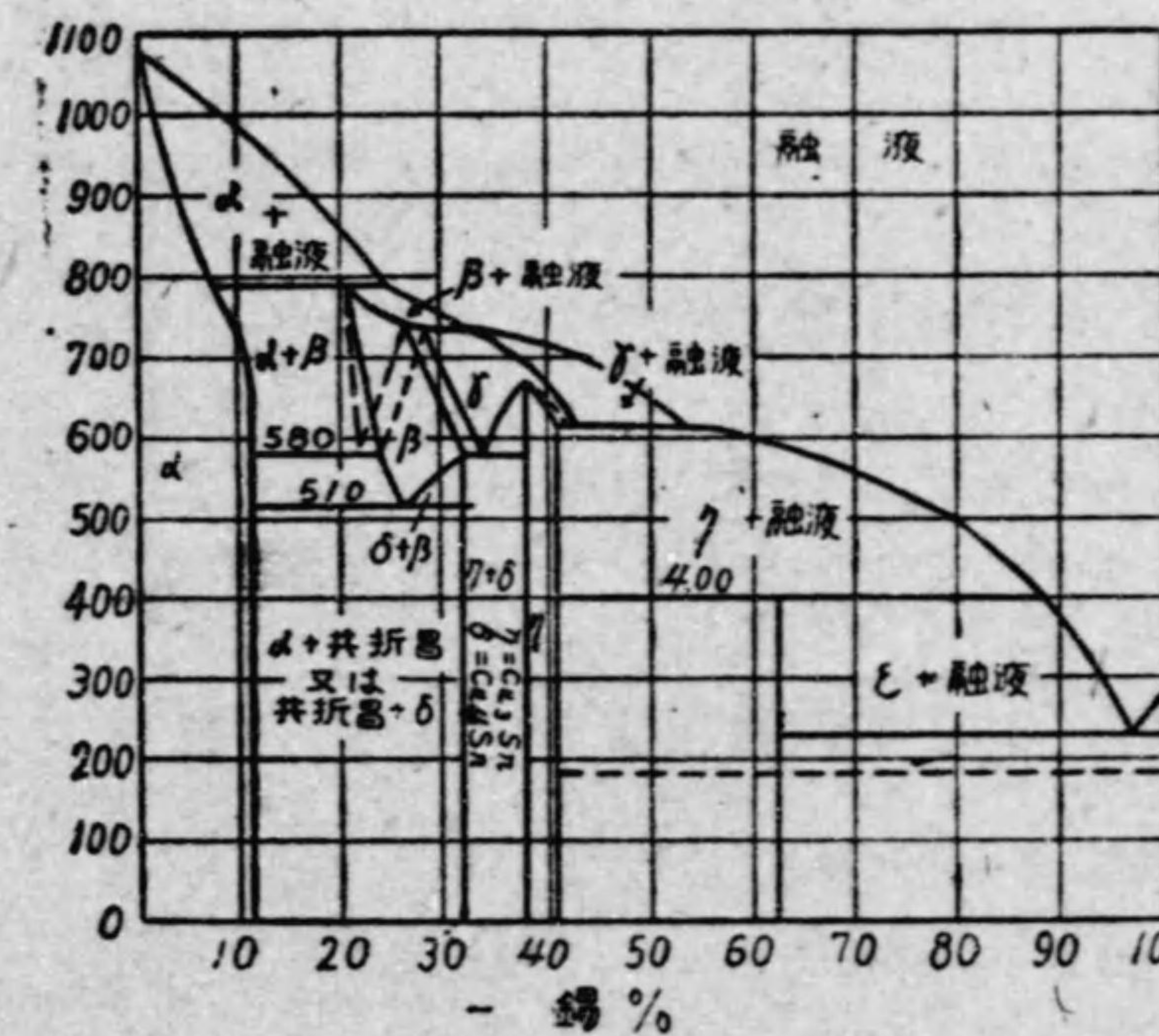
その他、アルミ黄銅、珪素黄銅、Albac (Cu Zn Si Al As) 等の合金が用ひられてゐる。

青 銅

青銅は兵器、機械等の工業品の外、貨幣、美術品、銅像、日用品にも使用され、真鍮に次いで世人に關係の深い銅合金である。

工業用青銅はSn4~12%の普通青銅と錫の全部又は一部をアルミニウム・マンガン・亜鉛・鐵・珪素・鉛・ニッケルで置換へた特殊青銅に分れる。

銅亜鉛系合金即ち黄銅でも他元素の添加量が多くなると青銅と呼ばれる。銅-錫二元状態圖を第37圖に示す。



第 37 圖 Cu-Sn状態圖

1) 普通青銅

錫4~12%の工業用普通青銅の物理的性質を示せば
比重 8.78~8.80 弾性係數
10.000kg/mm² (壓延燒鈍材)

膨脹係數 17~17.5 × 10⁻⁶

電氣及熱傳導度は錫12%で純銅の1/10以下。

青銅は鑄物として使用せられる場合が多い。

組織; 工業用青銅はその状態圖より明かな様にα又はα+δ相から成る第38圖は10%Snの青銅の鑄造組織で本來なれば單一α相でなければならぬが、この種合金は甚だ偏析し易くα、δとの共析組織

が表はれてゐる。

組織と性質; この偏析した青銅鑄物は δ の爲に脆いが、之を700°で焼鈍すると δ が減少又は消失して展延性又は強靱性を増す。 α 相は赤銅色乃至黄色で比較的軟く加工性に富み、 δ 相は青白色のCu₃Snなる化合物で硬いが(ショーア100)脆い。故に餘りSnを加へると



第38圖
青銅内の共析($\alpha+\delta$)
(白, その内にある粒は共析中の
 δ 地は有心状の一次の α)

脆くなるから20%以上加へない。

特長: 青銅鑄物の特長は先づ外觀の美麗なこと、次いで相當の強さ硬さを有し、磨耗、水壓腐蝕に耐へる等である。

添加物: 亜鉛を加へるのは湯の流れをよくするためである。又切削等の工作を容易にするために鉛を少量加へる事が多い。

青銅鑄物に関する日本標準規格

種 別	Cu	Sn	Zn	Pb	不純物	抗張力	伸	用 途
第一種	90±2	4±2	6±3	—	<3.0	>17	>10.0	管接手, プツシユ
第二種	89±2	7±10	4±2	—	<2.5	>18	>10.0	錠前金具, 家庭金具
第三種	1號 88±1.5	10±1.0	2±1	—	<2.0	>22	>10.0	止弁, コック 注水器體, 安全弁體(耐熱用)
	2號 88±1.5	10±0.5	2±1	—	<0.75			
第四種	86±1.5	12±1.0	2±1	—	<0.75	>22	>3.5	
第五種	1號 85±2.0	10±1.0	—	5±1	<1.5			棒類, プツシユ 主として軸承用
	2號 80±2.0	10±1.0	—	10±1	<1.5			
	3號 77±2.0	8±1.0	—	15±1	<1.5			

砲 金

砲金は錫10%銅90%の組成のものを磷で脱酸して作った青銅で大砲の砲身に用ひられたからこの名がある。然しNi-Cr鋼が之に代つて使はれて以來砲金は大砲地金としては歴史的なものとなつたが、現今では機械用青銅の總稱となつてゐる。

上表中第3種第1號はZn2%を含み、英國ではアドミラルター砲金といひ、本邦では一般に砲金として廣く使用されてゐる。水壓に良く耐へ、焼鈍により、單相となり、著しく良質で壓延、鍛造可能となる。

錫、10%の砲金は冷却速度により、第7表に示す如き差がある。

第7表

鑄 型 區 分	抗張力. kg/mm ²	伸 %	ブリネル硬度 (1000kg)
生 型 鑄 物	19~24		85~95
乾 燥 型 鑄 物	22~27	3.5~10	90~110
金 型 鑄 物	23~32	5.0~10	90~125

2) 特殊青銅

特殊青銅の中で最も多く使用されるものは磷青銅、アルミ青銅、アルミニウム青銅、珪素青銅、シルジウム青銅等である。

磷 青 銅

磷は脱酸性強くSnO₂を除き得るから鑄造し易く、材質を強靱にし、耐蝕性を増し、且つCu₃Pなる化合物のため磨耗によく耐へる。磷は多すぎると脆く、鑄造困難なる故1%以下がよい。

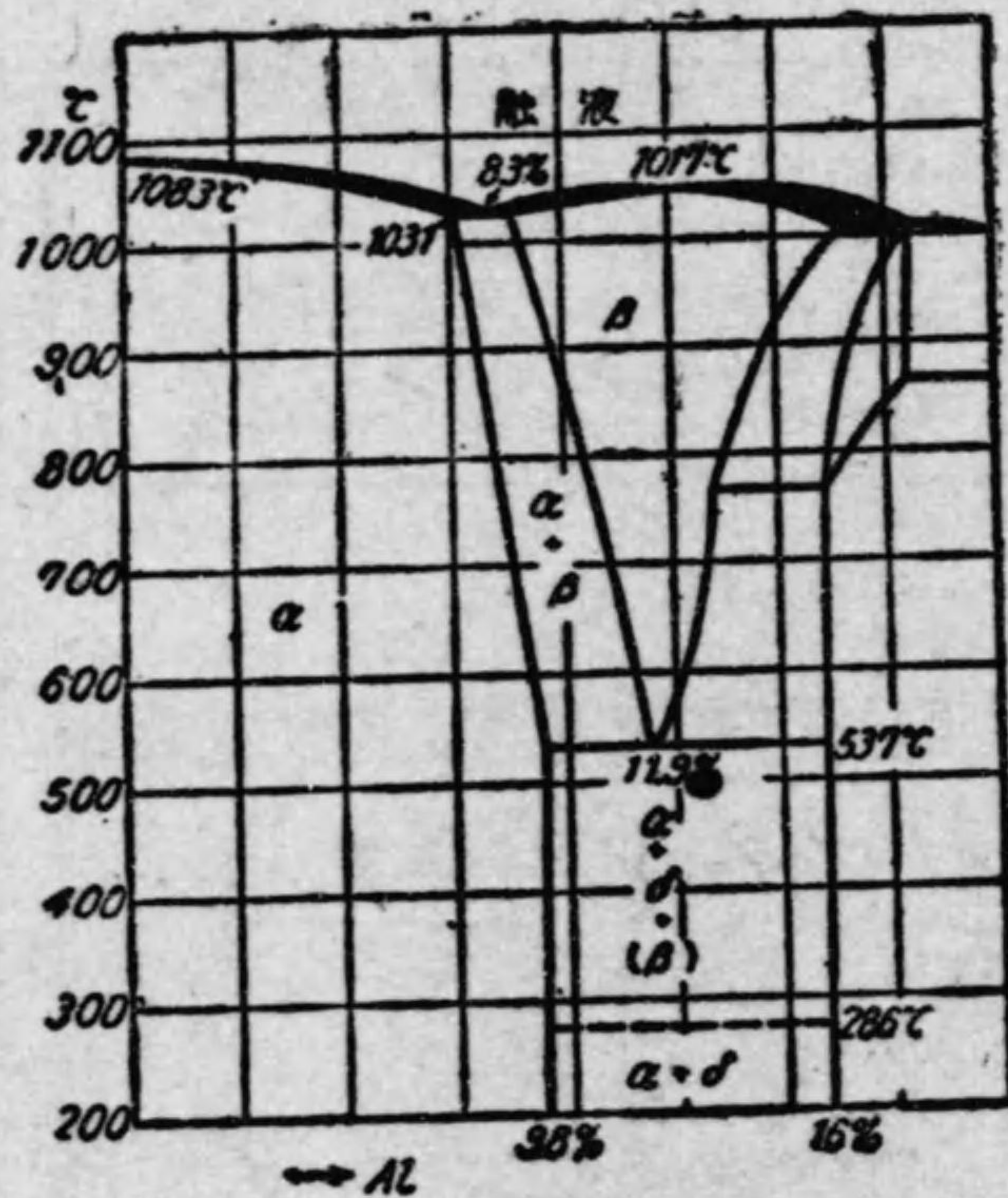
現今に至るまで尙發條用として又軸受用として使用されてゐる。發條材の機械的性質を次表に示す。

	Sn	P	Cu	抗張力	伸
陸航規 170板	5~8	<0.6	殘部	>65	>7
同 171線	"	"		85	
235棒	第一種	<0.3		>47	>15
	第二種	"		>48	>15

今用途別に一例を示せば

	Cu	Sn	P	抗張力	伸	ブリネル 硬 度	性 質
鑄物用	85	15	0.3	37.7	1.8	166	} 硬サ及耐摩耗 良好
鍛錬用	94	5	1.0	24.32	6.0	70	} 可鍛性及強サ 良好

鑄青銅は焼鈍状態に於ける伸、極めて大で常温加工による硬化率大なる特徴を有する。



第 39 圖 Cu-Al状態圖

アルミニウム青銅

耐熱青銅の一種でCu90%, Al 10%の合金である。鑄造性を改良するために、Mn Ni Fe等を少量加へる。

従つて大體の組織はCu-Al状態圖で解る。

物理的性質; 比重(Al 10%)

7.6 電氣比抵抗 Al 5% 10.21

7.5% 13.62, 10% 12.6($\mu \Omega \text{ cm}$) 熱膨脹係數 17.0×10^{-6}

組織及熱處理; Al 9.8~16.0% の $\alpha + \delta$ 系に屬するものは、焼入焼戻によつて、その性質を改善することが出来る。第39圖より明ら

かな如くアルミニウムが α の溶解度以上に存すれば、約550°以上では β 固溶體以下では δ (化合物 $\text{Cu}_2 \text{Al}$ を主とする物)が現はれる。 α 固溶體は黄金色で「アルミ金」として金のまがひ物に用ひられる。 β も黄色で α よりやゝ強いが幾分脆い。 δ は白くて脆弱である。

純アルミニウム青銅はその性能の良好な割合にあまり廣く工業化してゐないが米獨は一般に我國は航空界を主として既に實用化してゐる。將來、薄板の製作が黄銅程度に安價になれば更に需要を増すものと察せられる。

我國で普及の遅々たる原因は溶解の時、アルミニウムの脱酸作用のためアルミナを生じ、流れが悪く、鑄造が困難なこと、鑄物の冷却の遅い際、上述の共析變態を起して、粗い脆弱な δ を生じ合金を弱くするためである。之を自己焼鈍による脆化といひ、之を防ぐにはFe Niを加へ變態點を下げるか、又は急冷する。

Al 10%の合金は熱處理如何によつてその性質が甚しく變化する。今その變化を第8表に示す。

第 8 表

状 態	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 (%)	收縮率 (%)	ブリネル 硬 度
鑄造の儘	52.0	13.9	19.5	23.0	100
焼入 850°C	68.5	27.6	10.0	0.9	240
焼戻 500°C	67.0	40.0	5.5	9.1	160
" 600°C	66.2	30.6	10.5	12.6	145
" 650°C	64.0	27.4	14.5	18.5	140
" 700°C	56.5	16.6	20.0	21.7	105

舟座に使用するときには650°~700°より急冷して使用するがよい。

アルミニウム10%の合金の銅の一部を鉄1~3%, ニッケル3~4%で替へると変態点が降り、共析変態が起り難くなる。即ち自己焼鈍を防ぐ、尚鐵、ニッケルは組織を細かくするに役立つ。

Al 10.05% Ni 1.28% Fe 0.3%残り銅の材料に就き熱処理の影響を試験した結果は第9, 10表の通りである。

第9表 焼入温度の影響

焼入温度	降伏点 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	收縮率 %	シャルピー kgm
550	29.3	60.3	7.22	8.7	0.85
650	19.18	57.6	22.2	33.2	9.00
850	48.5	68.0	10.1	16.5	2.78
930	57.5	77.8	1.4	2.4	2.88

第10表 焼戻温度による機械的性質の変化

焼入温度 C°	焼戻温度 C°	降伏点 (kg/mm ²)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	收縮率 (%)
930	300	57.4	87.5	0.56	1.07
	350	52.3	83.1	1.4	2.4
	450	48.45	74.6	1.4	4.0
	550	33.55	67.15	8.2	11.4
	650	31.60	65.3	25.3	33.95
850	200	31.5	57.1	7.64	13.7
	300	32.1	63.7	4.17	11.2
	350	32.25	67.2	5.00	8.7
	400	32.9	72.9	2.64	2.65
	500	31.5	66.95	3.34	5.3
	600	25.75	62.0	10.42	16.5
	650	18.86	60.8	21.0	32.4
700	16.52	57.75	24.45	46.0	

用途: アルミニウムは錫と同様に銅合金の表面に保護膜をつくり、對蝕性頗る強く、黄金色を失はないから、アルミニウムとして裝飾

に用ひられる事あり、又化學工業、船舶及び一般機械に用ひられる。

次に陸海軍の規格を示す。

	Cu	Al	Mn	Fe	其他	抗張力	伸	ブリネル 硬度
陸軍第一種	89~93	9~11				>16		
海軍 鑄物	残	9.0±1.0	2.0±1.0	—	<2.0	>40	>25	>90
		9.0±1.0	—	0.5±1.0	<2.5	>50	>20	>110
海航 棒	残	9~10	<0.6			57	25	

アルミニウムニッケル青銅

一般に Al 6~12% Ni 4~7% 及 Mn, Fe, Si, を少量含有したものでこの種の合金には次の如きものあり。

- 飯高メタル Cu 87.5%, Al 7%, Ni 5.5%, 伸30%, 抗張力65%
鍛錬に適し、常温高温の機械的性質良好、耐蝕性大
- 古河CA合金 Cu 残 Al 4.76, Ni 3.47, Si 4.76%焼入焼戻をせば、伸3.4%, 抗張力 80~85kg/mm² 發條として用ひられる。

發條線の性質の比較

	徑mm	抗張力	弾性 限界	降伏点	伸	屈曲	反撥量
磷青銅 (5.92%Sn)	2.65	93.7	54.8	82.8	2.6	頁	75
CA合金(焼戻材)	2.65	111.0	85.3	106.0	3.4	頁	93
ピアノ鋼線 (0.65%C)	2.65	179.0	71.3	127.0	3.0	頁	67

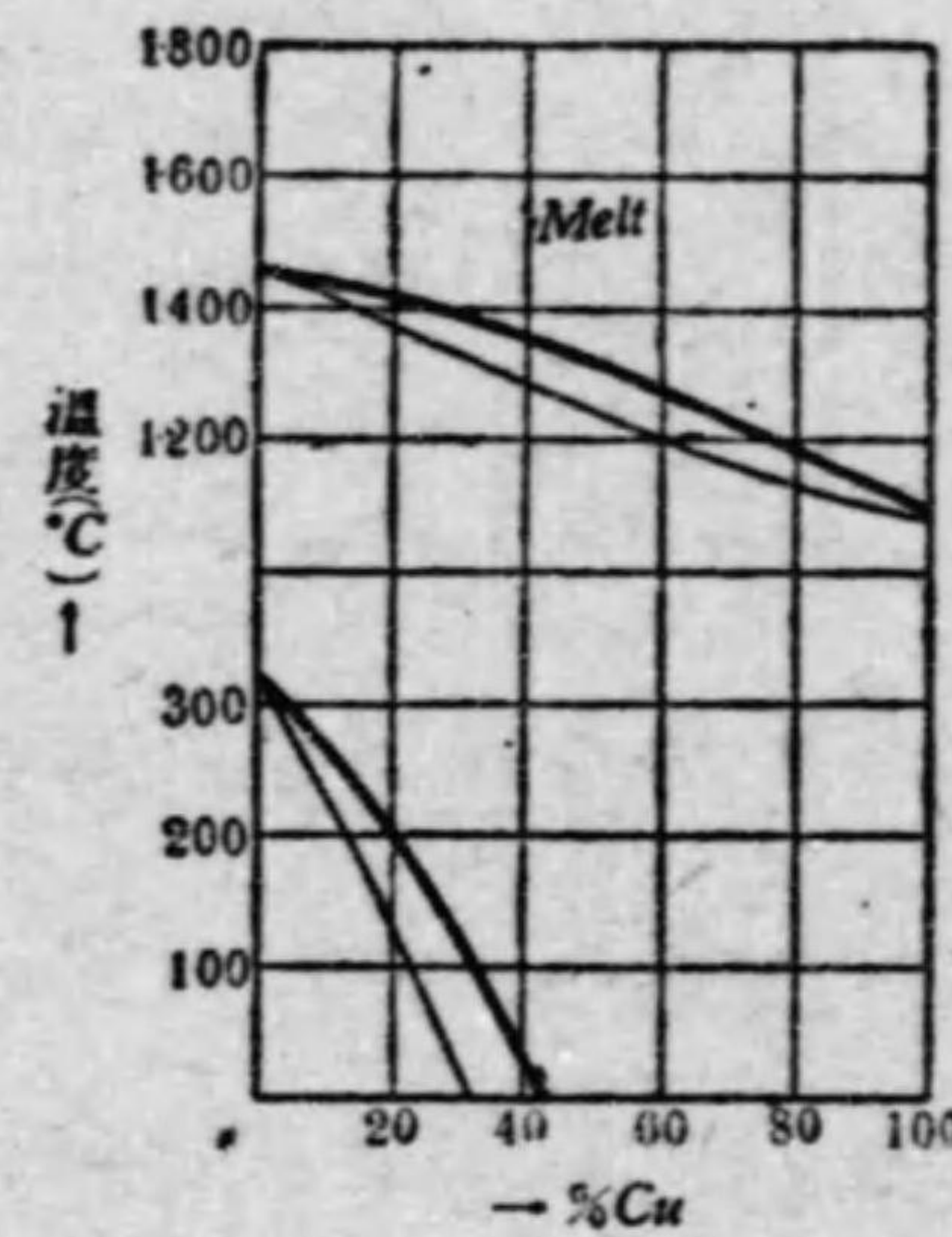
- アームスブロンズ Al 8~12, Fe 2~5, Ni 0.5~2, Mn 0.5~2,
Cu 残
Feにより組織を微細化したもので航空機に使用す。

4. ダイナモブロンズ Al 10, Ni 5, Fe 4, Mn 1, 抗張力75kg/mm²
伸10% この合金系は機械的性質, 耐蝕性共に良好であるから
發動機部品として多量に使用せられる。

ニッケル青銅

Ni-Cuは圖の如くすべての割合で固溶し,
優秀な合金である。

海軍ニッケル青銅: 石川博士の發明にかゝり, 9~12% Ni, 1~3 Al, 0.5~2% Znのもの
で性質良好にして焼入焼戻により, 組織安定
となり, 強度, 衝撃値を良好にし, 又腐蝕,
耐久力, 大にして優秀なる合金なり。



第40圖 Cu-Ni状態圖

艦船造機方面に盛に用ひられてゐる。海軍
のニッケル青銅鑄物の規格を示す。

Cu	Ni	Al	Zn	Mn	ソノ他 夾雜物	抗張力	伸	ブリネル 硬度
殘	10.0±1	2.0±0.5	1.0±0.5	1.0±0.5	0.5以下	>57	>12	>145

Cu 95, Ni 4, Si 1%のものをC合金又はコルソン合金と稱し, 發
條, バインド線, 高張力通信線, 電車線として用ひられる。

シルジン青銅

石川博士の創製にかゝり, 強靱で耐海水性優秀その他, 一般耐蝕
性も良好ですべての點で砲金に優ること數等である。殊に廉價なる
ため, 砲金に代り, 廣く海軍方面に使用されてゐる。又鍛鍊材とし
ても有用な性能を具備してゐる。第11表は各種燒鈍材の機械的性質
を示す。

第 11 表

	化學的成分 %					抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	ブリネル 硬度 10mm 500kg	アイソツ ト衝撃値 kgm/cm ²	比重	備考
	Cu	Zn	Si	Al	Ni						
1	86	10	4			48	55	92	15.4	8.47	日
2	85	10	5			58	34	123	9.8	8.28	"
3	80.5	15	4.5			65	41	132	8.7	8.28	"
4	85	10	4	1		55	56	107	13.7	8.27	"
5	84	10	4	2		65	35	132	8.4	8.14	"
6	80.5	15	3.5	1		58	55	107	8.4	8.24	"
7	81	15	4			60	27	145 (10mm 1000kg)	—	—	獨
8	82	14	1	1	1	40	73	—	—	8.41	英

AR 合金; Si 2~3%, Sn 約10%, Cd 0.1% 殘Cuなる成分を有し,
錫青銅中の錫の大部分を安價で國産品である珪素で置き換へ, 耐蝕
性を良くするためCdを加へたもので, AR合金鑄物の機械的性質は
下表の如く砲金鑄物に遙かに優り, 又加工性に富み, 棒, 板, 線,
管となり, 加工品の性質は燐青銅に優るとも劣らず, 而も安價で比
重小であり, 又耐酸性は頗る良好なり。

	抗張力	降伏點	伸	ブリネル 硬度	比 重
砲金鑄物 (88~10~2)	21~26	7~12	10~15	90~80	
AR 合金 鑄 物	30~40	12~20	25~35	95~105	
AR 合 金 板	42.0		63.0		8.610
燐 青 銅 板	4% Sn	33.8	55.0		8.950
	9% Sn	41.7	69.0		8.954

AR合金の陸海軍航空材料規格

Si	Sn	Cd	Cu	抗張力	伸
2.5~3.5	0.5~1.5	<0.15	殘	>37	>50

第 八 章 アルミニウム及びその合金

アルミニウムが単體としてその鑛石から分離されたのは1827年に Woehler 及び Oersted がアルミニウム鹽を金屬カリで還元したのが初まりである。然し工業的に製造されるようになったのは1886年に佛に於ては Heroult, 米に於ては Hall が氷晶石を熔劑としてアルミナを熔融電解する方法を發見してからである。近年アルミニウムの需要は逐年大になり、太古を銅器時代鐵期時代で表現するのに對し近代をアルミ時代と稱するはこの間の消息を物語るものである。地殻中に埋藏量が鐵よりも多く原料が豊富であること、比重が頗る軽く銅の $\frac{1}{3.3}$ 鐵の $\frac{1}{2.9}$ に過ぎないこと、大氣中で耐蝕力が強く永く銀白色を保つこと、機械的加工が極めて容易で且つ鑄造性が良いこと、電氣熱の良導體であること等の好條件を具備するから使用量は年と共に増加してゐる。1937年~1938年の世界の生産高及び消費高を次表に示す。

世界生産高(單位噸)			世界消費高		
國名	1937年 メタルゲセルシャツト	1938年 メタルブレタン	國名	1937年 メタルゲセルシャツト	1938年 メタルブレタン
フランス	34,500	43,000	ドイツ(オーストリアを含む)	132,000	175,000
スイス	25,000	28,000	スイス	13,000	14,000
ドイツ(オーストリアを含む)	131,000	180,000	フランス	28,000	33,000
英國	19,400	24,000	英國	49,000	65,000
ノルウェー	23,000	26,000	イタリア	26,000	28,000
スウェーデン	1,800	1,800	ロシア	47,000	56,000

イタリア	22,900	28,000	他の歐洲諸國	31,800	40,000
スペイン	—	—	日本	22,000	35,000
ハンガリー	1,200	1,500	他のアジア諸國	1,500	1,750
ロシア	45,000	50,000	北米合衆國	154,000	110,000
北米合衆國	132,000	110,000	カナダ	7,500	1,400
カナダ	42,600	55,000	他のアメリカ諸國	1,200	1,400
日本	10,500	20,000	オーストラリア	700	800
計	490,600	567,000	計	501,700	559,000

我國に於てはアルミニウムは最近迄全供給を歐米に仰いでゐたが最近、日本電氣工業、日滿アルミニウム、住友アルミニウム、日本アルミニウム、滿洲輕金屬、日本輕金屬等の諸會社が設立され、國內に於ける需要の過半を充し得るに至つた。

飛行機の機體のやうな構造物を作るときに重い材料を使用することは單に重量を増すのみならず、自身の重さを支持する爲にその強さの一部を必要とするため構造物の強度なる觀點からすると能率のよい材料ではない。今アルミニウム合金、マグネシウム合金、銅合金及び鋼の強さを比重で除した値(之を強度重量比 Specific tenacity と稱する)を次表に示して見ると。

同じ重さに對する強さ

材 料	比 重	抗張力	抗張力	降伏點	降伏點
		kg/mm ²	比 重	kg/mm ²	比 重
軟 鋼	7.8	40	8.1	28	3.6
ニツケルクロム鋼(硬)	7.8	142	18.1	102	13.1
デュラルミン	2.8	41	14.6	26	9.3
エレクトロン VI	1.8	35	19.2	23	12.8
モネルメタル(硬)	8.8	88	100	70	8.0
アルミニウム(硬)	2.7	17	6.3	15	5.6

一般輕合金の缺點とする所は鋼材に比べると弾性係数が低い。従つて弾性歪が大きいことと、強さでは軟鋼特殊鋼と比べて優つて居ても鋼材の如く明瞭な弾性限界がなく又あつても極めて低く繰返し荷重に對する抵抗が低いことである。又鍛接熔接も困難である 腐蝕作用就中海水による腐蝕に對しては不銹鋼より遙に弱い。従つて輕合金が鐵合金類を駆逐するとは考へられない。輕合金と特殊鋼とは將來も併用されるべきものであらう。

1. アルミニウム

純度; アルミニウムの純度は最高99.983% (Hookes法) に達せしめることが出来るが工業用アルミニウムで最高級が99.5%以上である。アルミニウム地金の日本標準規格を表すと、

	Al %	Si %	Fe %	Cu %
一 號	69.5 以上	0.3 以下	0.30 以下	0.05 以下
二 號	99.0 以上	0.5 以下	0.50 以下	0.10 以下
三 號	98.5 以上			

性質: アルミニウムの物理的機械的性質を第12, 13表に掲げる。

第12表 アルミニウムの物理的並に化學的性質

化 學 符 號	Al
原 子 量	26.97
原 子 番 號	13
色	銀 白 色
比 重	2.703
熔 融 點	658.7°C
沸 騰 點	1800—2200
熔 融 潛 熱 (cal/gr)	80—94

氣 化 潛 熱 (")	2100
比 熱	0.2240(20—100°C)
熱 膨 脹 係 數	2.353×10 ⁻⁵ (0—100°C)
熱 傳 導 度 (c. g. s.)	0.480—0.504(常溫)
電 氣 比 抵 抗	2.82×10 ⁻⁶ (") Ohm cm
そ の 溫 度 係 數	4.34×10 ⁻³ (0—100°C)
空 間 格 子	面心立方格子a=4.043Å
變 態 點	無し

第13表 アルミニウムの機械的性質

抗 張 力 (kg/mm ²)	{ 砂型鑄物 7.8—9.1 板(半硬) 12.5—15.5 板(完全燒鈍) 8.5—10.6
弾 性 限 界 (")	{ 鑄 物 4 板完全燒鈍 4.5
降 伏 點 (")	{ 砂型鑄物 5.6—6.3 板(半硬) 7.0—8.4 板(完全燒鈍) 5.6—6.3
延 伸 率 (%)	{ 砂型鑄物 15—25 板(半硬) 10—25 板(完全燒鈍) 15—30
硬 度 { (ブリネル) (Mohs)	{ 鑄 物 23—28 板(半硬) 30—40 板(完全燒鈍) 23—26 2.0—2.9
縱 弾 性 係 數 (kg/mm ²)	{ 鑄 物 6.3—8.2×10 ³ 壓 延 物 7.4×10 ³
横 弾 性 係 數 (")	{ 鑄 物 2.58×10 ³ 板(熱鈍) 3.35×10 ³
斷 面 收 縮 率 %	{ 砂型鑄物 30—40 板(半硬) 20—30 板(完全燒鈍) 30—40
衝 撃 抵 抗 (kg-m/cm ²)	{ 板(半硬) 5—6 板(完全燒鈍) 8—9
展 延 性	完 全
加 工 性	完全(切截は不完全)
鑄 造 性	良

用途; 既に述べた如き特性のため鐵, 鋼, 銅, 合金の優秀なる代用品として送電線, 日用品, 航空機, 自動車機械, 建築用, 貨幣用

その他軽合金の主元素としてその用途は益々廣くなりつゝある。又アルミニウム板は航空發動機の燃料タンクとし甚だ重要なものである。アルミニウムは純度の異なる程耐蝕性が良好でタンク用として純度の高いことが最も重視される。タンク内の腐蝕は水分やタンク内の水蒸気が内壁で凝結してタンクの底に集まり、腐蝕を促進するものである。この際アルミニウム中に鐵分の多い程腐蝕が著しい。アルミニウム板は單獨で用ひられる外他の強力である耐蝕性の良好でない合金(例へばデュラルミン)の表面に被覆して所謂合せ板(Alclad)として使用されることがある。

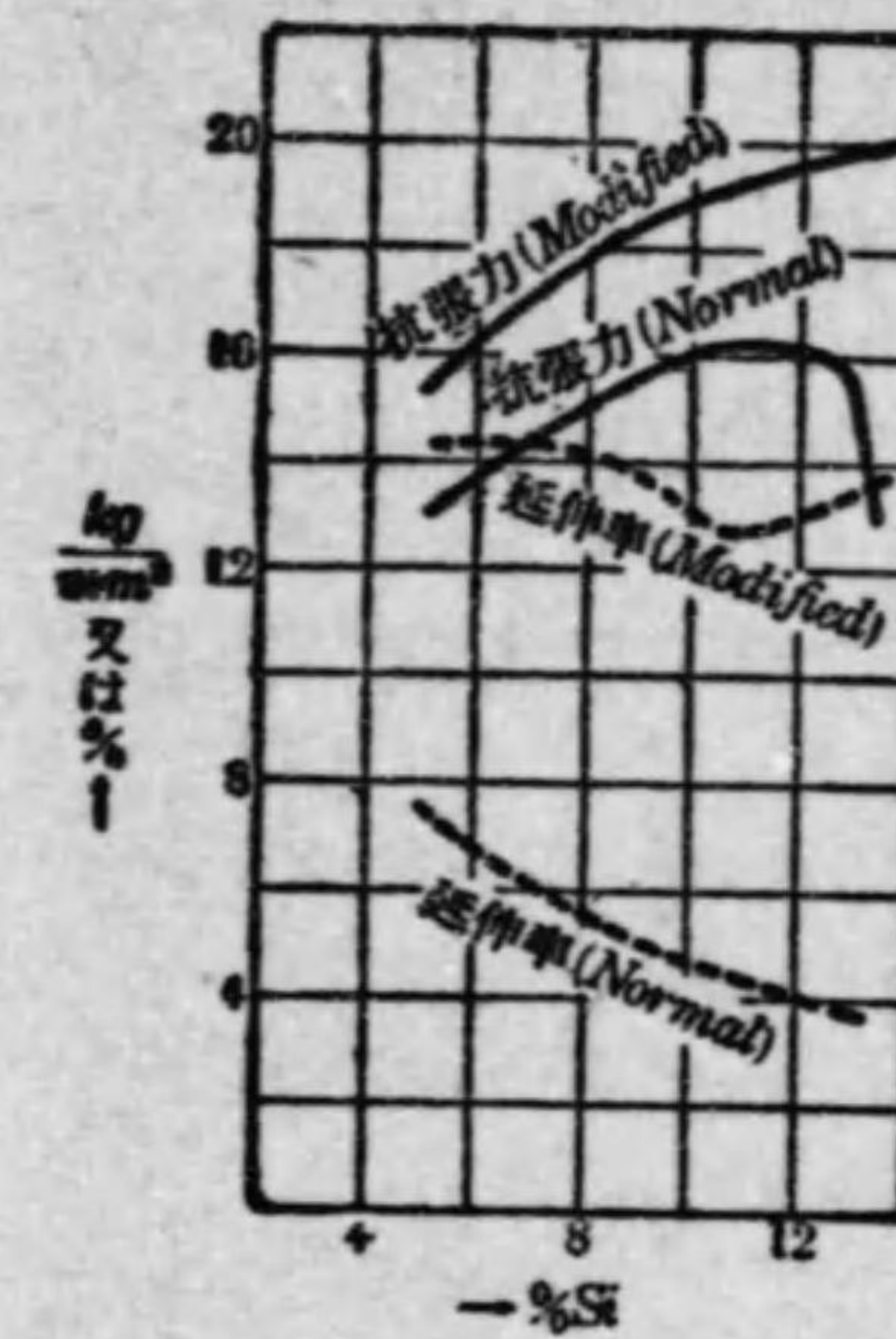
2. 鑄造用アルミニウム合金

鑄造用アルミニウム合金は之を次の如く分類することが出来る。

I, 高珪素合金 II, 高銅合金 III, Y合金 IV, RR系合金, V, 高マグネシウム合金 (Hydronalium系) VI, 高亜鉛合金 VII, その他の耐蝕耐熱軽合金 VIII, ダイキャスティング用軽合金 IX, ピストン用合金 I, 高珪素合金

11~14%珪素合金は1920年A. Paczの發明したもので Alpax(英) Aladar(佛) Silumin(獨)等の名稱がある。鑄込みに當つて1%以下のソーダ等を添加して攪拌すると組織が細くなり、従つて機械的性質が優秀になる特色を持つ。この操作を改善(Modification)と呼ぶ。第41圖は砂型鑄物に就いて珪素含有量と機械的性質に及ぼす改善効果との關係を示す。

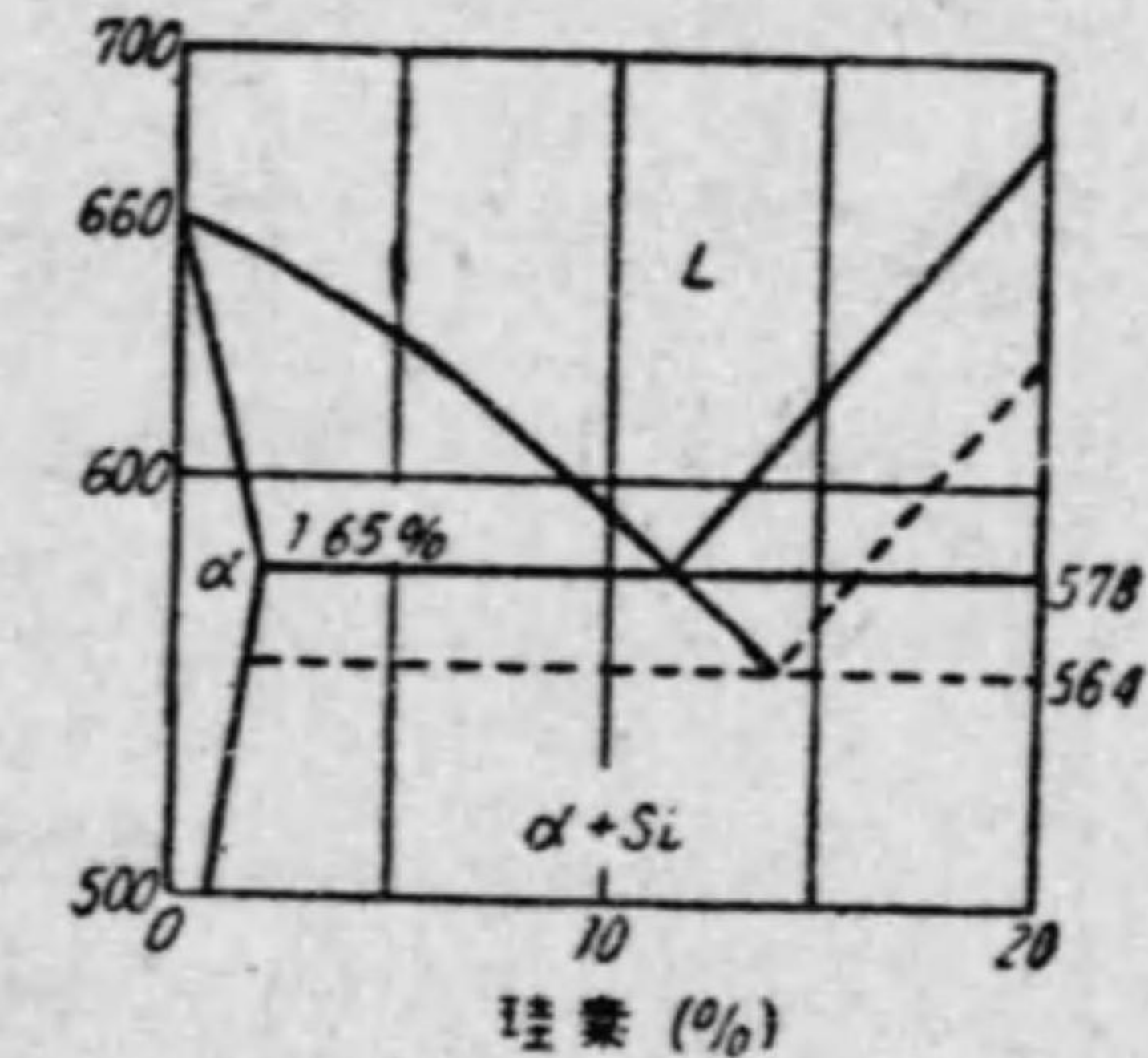
組織; 通常は13%珪素のものが用ひられる。アルミニウム-珪素の平衡圖を見ると分るやうに(第42圖)アルミニウムと珪素は約



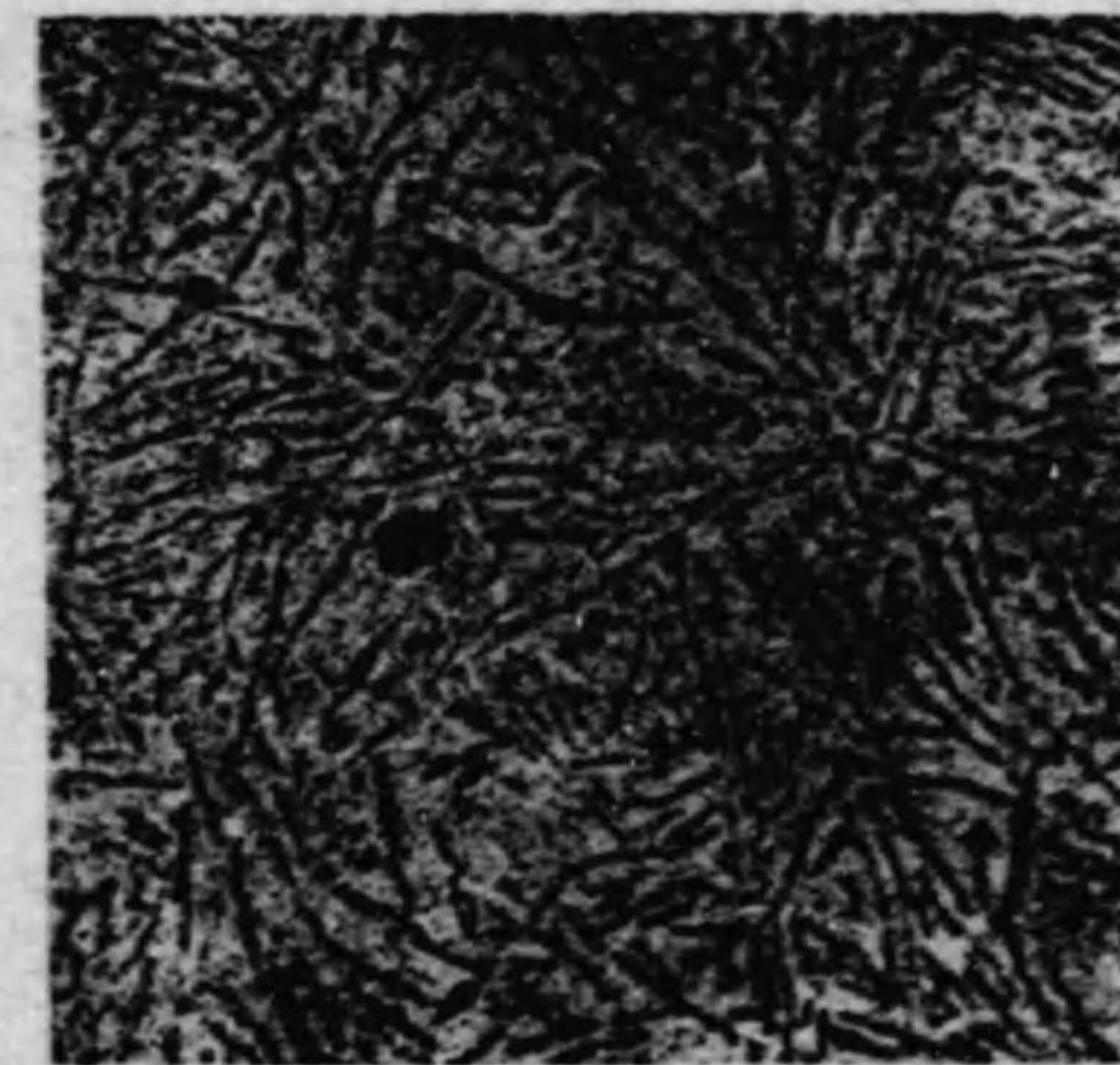
第41圖 Al-Si系のSi%と機械的性質(砂型鑄物)

11.4%で共晶を作る。

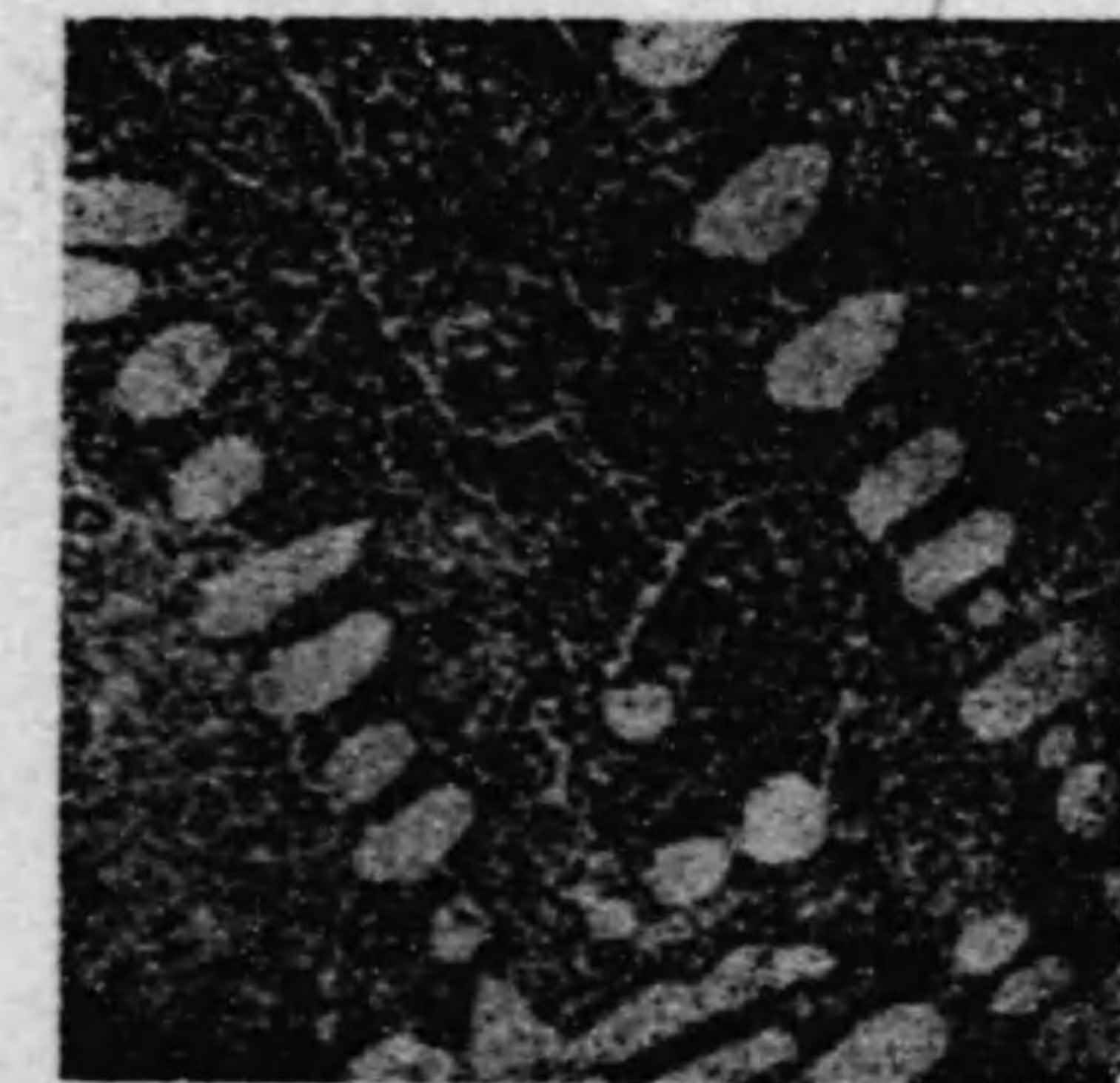
第43圖は13.2% Siを普通に砂型に鑄込んだ組織で白い部分はアルミニウム固溶體、黒い針狀の結晶が珪素である。然るに金屬ナトリウムを加へると第42圖の如く共晶成分が14%に移り、その組織も第44圖の如く共晶は非常に細くなり、白いデンドライト及脈狀のアルミニウム固溶體が表はれてゐる。



第42圖 Al-Si平衡圖



第43圖 ×100 13.2%Si シルミン普通砂型鑄物



第44圖 ×100 左圖を modify したもの

添加物; その後シルミン中の珪素の一部分を亜鉛でおきかへた亜鉛シルミン及び珪素を減じて銅を加へた Lautal 等の合金が生れた。

その他含銅シルミン、マンガ、マグネシウムを含んだシルミン

β , シルミンTがある。 β は鑄物のまゝのものと呼稱でTは焼入時効したものである。これらの機械的性質を第14表に掲げる。

第 14 表

區 分	成分 %	鑄造状態	抗張力 kg/mm ²	伸 %	ブリネル硬 度
シルミン	Si 11~13	砂 型	17~22	8~2	50~60
		金 型	18~26	5~2	50~80
		ダイキャスト	20~28	3~1	70~90
含銅シルミン	Si 11~13.5 Cu 0.8 Mn 0.3	砂 型	17~22	8~2	50~60
		金 型	18~26	5~2	50~80
		ダイキャスト	20~28	3~1	70~90
シルミンガンマ	Si 11~13.5 Mg 0.1~0.5 Mn 0.5	砂 型	25~29	4~1	80~100
		金 型	20~31	1	90~110
		ダイキャスト	26~37	1~1.5	110~130

性質; 本合金は鑄造性が極めて優秀で湯足良好, 鑄引け率小(1.00-1.44%) 熱脆性なし等の利点があるため複雑な鑄物を造ることが甚だ容易であるから広く使用される。只缺點は切削作業に於いて平滑な仕上げが困難なことである。

用途; 1. 船舶, 自動車の部分品の如く壓力に耐へる物に用ひられる。

2. 腐蝕に耐へるため 建築材裝飾用とする。

3. 膨脹係數少なるため そのまゝ又はCu, Mg, Ni等を加へてピストンとする。

その他, 航空發動機用として広く用ひられてゐる。

ドイツ D. I. N の標準規格を示す。

名 稱	大畧の成分	状 態	抗張力 kg/mm ²	伸 %	ブリネル硬 度	用途の指針
G Al-Si	11~13.5 Si 残 Al	砂 型	17~22	8~4	50~60	複雑な衝
		金 型	18~26	5~3	60~80	撃に強き
		ダイ鑄物	20~28	3~1	70~90	鑄物

特徴——甚だ優秀なる鑄造性を有する共晶合金

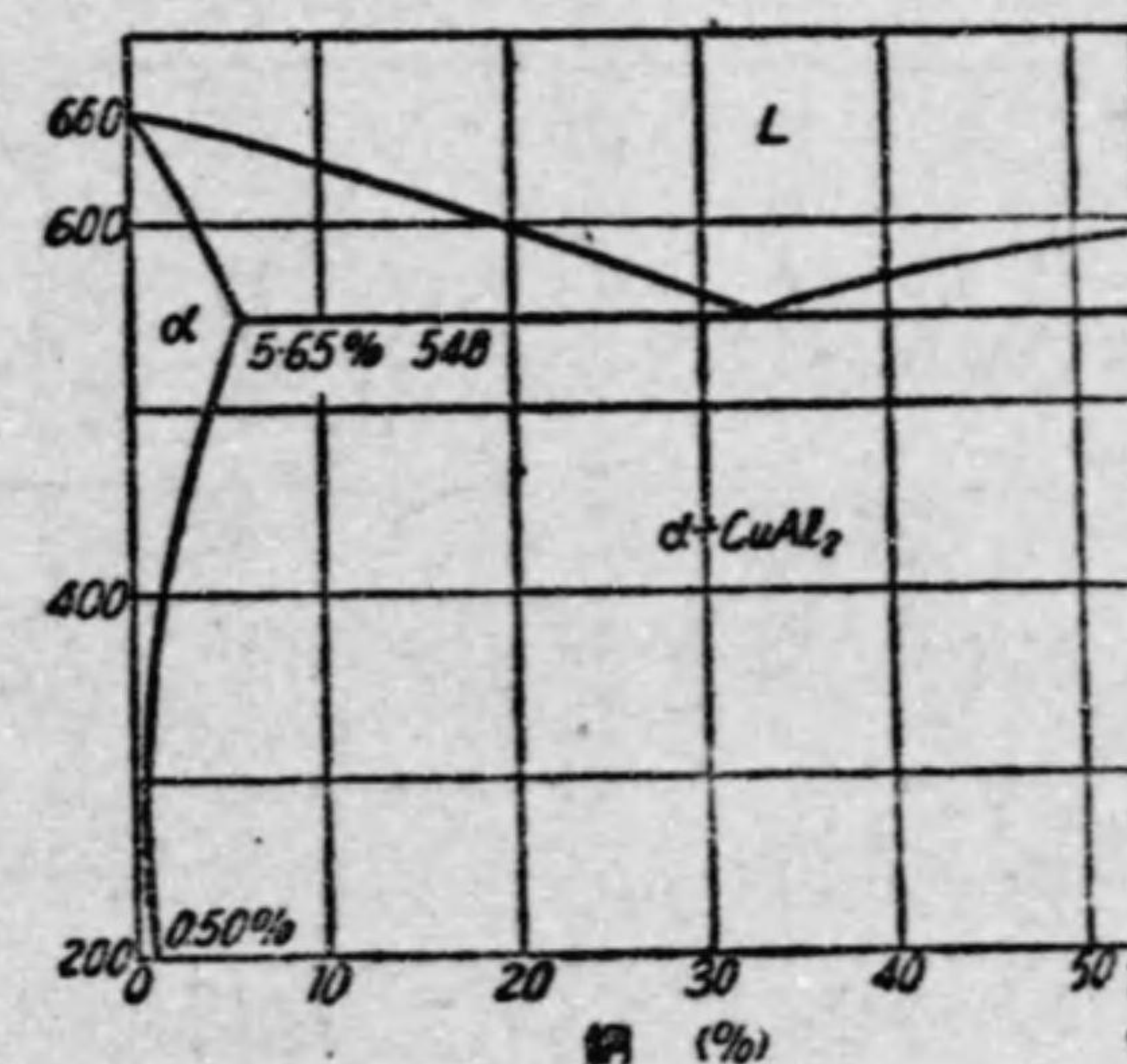
次表に示すものは更に珪素の多い合金で主として鑄造ピストンに使用されてゐる。

名 稱	成 分 %	比重	抗張力 kg/mm ²	伸%	ブリネル硬 度	熱膨脹係數 (10-200°C) × 10 ⁻⁶	熱傳導度 カロリC.G.S
ピストン No. 245	Cu4.5 Ni15 Fe0.5~1 Hg0.7 Si12.0 Mn1.0	2.8	15~20	0.5~1	100~130	19.5	0.35(200°C) ~ 0.40(200°C)
LOW-Ex	Cu 1.0 Ni 2.0 Hg 1.0 Si 14	2.7	21	0.5~1	90~120	19.5	
Alusil	Cu 1 Fe0.5~1 Si 20	2.6	14	1~3	80~90	19	
25%	Si 25	2.6	14	1~3	100~110	18	

II. 高銅合金

アルミニウムと銅の二元合金のアルミニウム側状態圖を第45圖に示す。

實用的價值のあるのは約15%迄の亞共晶合金である。固態に於ける銅の熔解度は溫度下降と共に減少するから, この種の合金は焼入焼戻によ



第45圖 Al-Cu 平衡圖(一部)

つて硬化する。鑄造したまゝでは砲金と同様に一次の結晶粒の有心樹枝状組織を呈し化合物 CuAl₂ はその粒間に共晶として凝固する。

銅 8% を含んだものが最も広く用ひられ、鑄造も容易であるが、アルミニウム—亜鉛系に次いで腐蝕され易いから風雨に曝される屋外には適當でない。

No. 12 合金とは銅 8% を含む合金のことで、アメリカ合金の名がある。この物理的機械的性質を第15表に示す。

第 15 表

比 重	鑄引け 收 縮 率 (%)	凝固温度	比 抵 抗 $\times 10^{-6}$ ohmcm	熱傳導度 (25°C) カロリ-C.G.S.	膨脹係數	彈性係數
2.83~2.84	(砂) (金) 1.25 1.4	540~635	48.5	0.34	22×24 $\times 10^{-6}$	約 700
	抗張力 (kg/mm ²)	降伏點 (kg/mm ²)	伸 (%)	ブリネル 硬 度	抗 壓 力 (kg/mm ²)	剪斷抗力 (kg/mm ²)
砂 型 金 型	12~16 15~20	7~10 8~13	1.5~4 2~5	50~65 60~70	約 27	約 14

この合金は自動車機關のクランク室、油承、傳導室、航空機の燃料滑油濾過室その他に用ひられる。

ドイツ D. I. N の規格

名 稱	成 分	状 態	抗張力	伸	ブリネル 硬 度	用途の指針
G Al-Cu	7~9 Cu	砂 型	12~16	4~2	約 63	高温で良く強さを保つべき鑄物
	残 Al	金 型	16~18	5~3	" 68	

特徴—純アルミニウムより大なる強さ、良き鑄造性、耐熱性、比重 2.85~2.6

L8合金(12%Cu) 之は8%Cu合金に比し高き硬度、僅に大なる強さを有すれども韌性劣る。鑄造容易なるためポンプ、氣化器、氣笛、内燃機、唧子、ダイキャスト用として用ひられる。

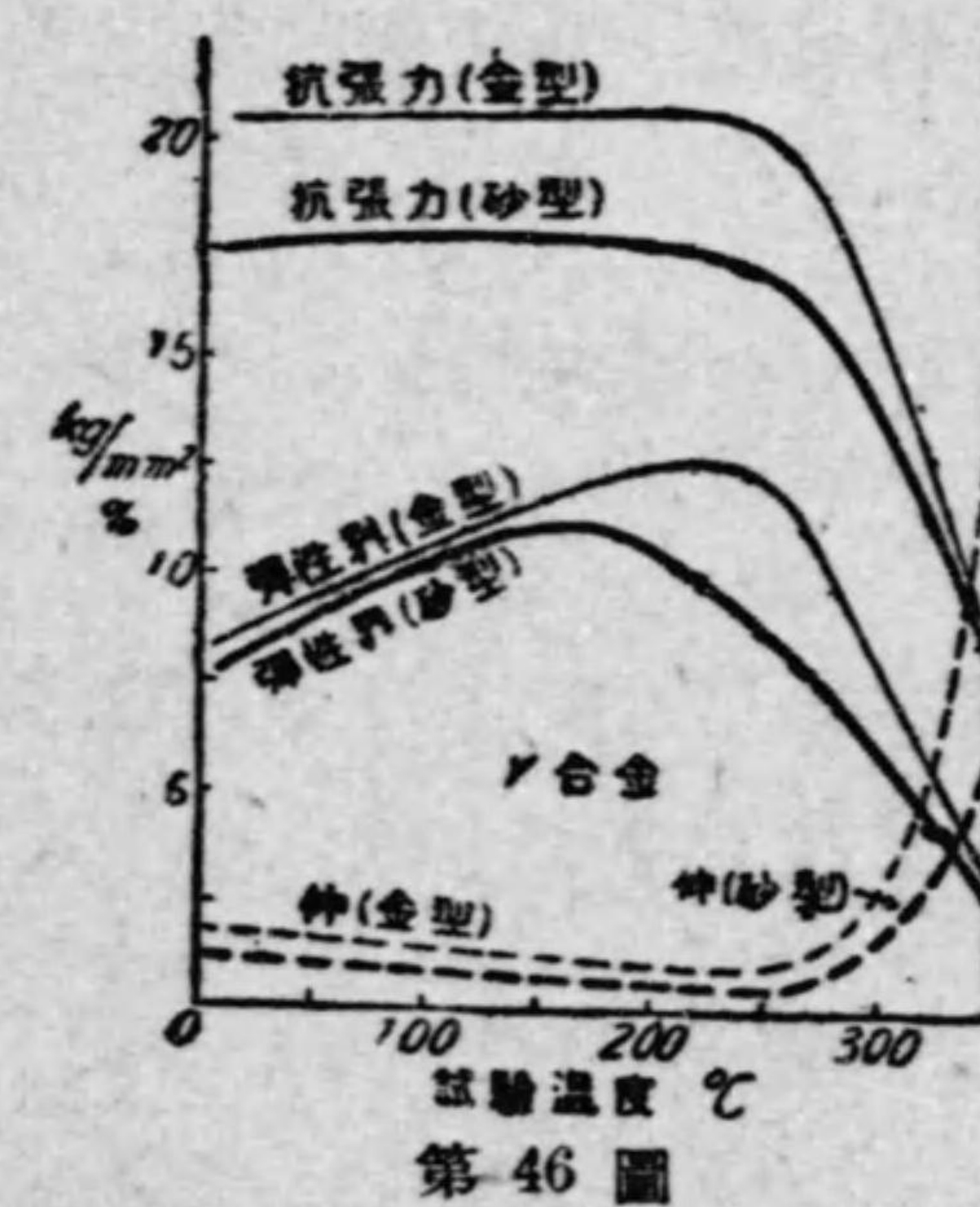
III. Y 合金

英國で發明された合金で、その組成は複雑でCu3.5~4.5%, Ni1.8~2.3%, Mg1.2~1.9%で、鑄造用合金中高級なものの一つである。

性質; 耐蝕性も相當良好で鍛造用としても相當使用されてゐる。然し結晶の成長が速かで且つ鑄引け率大なるため引け割れを生じ易

第 16 表 Y 合 金

	焼入れ、焼戻した物	金 型 鑄 物
熱 處 理 温 度	焼入れ 525°, 時効	—
抗 張 力 (kg/mm ²)	28~32	23~26
伸 (%)	0~0.5	0~0.3
ブ リ ネ ル 硬 度	100~130	90~120
比 重	2.77	2.77
縮 み 代	13/1000	13/1000
電 導 度 (銅を100%として)	36	36
熱 電 導 度 (カロリ-C.G.S.)	0.34	0.34
膨 脹 係 數	0.000025	0.000025



い。その物理的機械的性質を第16表に示す。この合金は比重がAl-Cu 合金より小にして250°位までは機械的性質が餘り變化しないから、内燃機關用ピストンとして用ひられる。(第46圖参照) 又疲勞限界の高い點は鑄造用輕合金中第一で比較的鑄造し難いのが缺點である。

用途は氣筒頭、クランクケース、ピストン等として使用され、その他航空機の部品にも用ひられる。

ドイツ D. I. N規格を次表に示す。

名 稱	成分%	状 態	抗張力 kg/mm ²	伸 %	ブリネル 硬 度	用途の指針
G Al-Cu-Ni	4Cu	砂 型	18~20	1~0.5	80~95	特に高温で強 さを要求する 鋳物部分品
	2 Ni	砂型, 調質	24~27	0.8~0.3	100~115	
	1.5Mg	金 型	19~21	1~0.5	85~100	
		金型, 調質	26~34	1~0.5	100~120	

特徴—調質可能, 高温にて強さ大, 比重 2.75

IV RR合金

Y合金をRolls Royce會社で多少改良したもので, 一名Hiduminiumとも云ふ。鍛造用にも用ひられる。

成分範囲

Cu %	Si %	Mg %	Ni %	Ti %
0.2~5.0	0.2~5.0	0.05~5.0	0.2~2.5	0.05~0.5

物理的性質

比 重	熔融點	鑄引ケ	收縮率	熱傳導度	熱膨脹係數
2.7~2.7	563°	1.25%		0.4C.G.S.	22×10 ⁻⁶

熱處理; 510°~530° 2~4 時間保持後油冷却又は水冷 100~170°
長時間加熱後水冷

特徴; この合金は熱處理により機械的性質を著しく向上する, 硬度, 降伏點高く, 常温高温における疲労抵抗大である。

鑄物用としてはR.R.50及 R.R.53 が特に廣く用ひられてゐる。RR 50 (Si2.2, Cu1.3, Mg0.9, Fe1.0, Ni1.3, Ti0.2%) はシルミンと同様の鑄造性を有し, 冷金を用ひず良結果を得られる。Tiは組織の微細化に役立つやうである。

用途としては自動車のギアボックス, 後部車輪用鑄物等に用ひ

られる。その機械的性質を第17表に示した。

第 17 表

状 態	耐 力 (0.1%)	降 伏 點 (kg/mm ²)	抗 張 力 (kg/mm ²)	伸 (%)	收 縮 率 (%)	ブリネル 硬 度
砂 型 鑄 造 の 儘	11	10~12	16~17	1~4	約 8	60~65
" 低 温 (150~170°C 10時間冷水)	16.5		17.3	3	約 5	約 72
" 熱 處 理 後		18~20	23~27	0~2.5		70~75
金 型 鑄 造 の 儘	11	11~12	18~22	2~4	約 12	70~75
" 低 温 熱 處 理	19~22	約 22	20~22	4~8	約 10	約 80
" 熱 處 理 後		20~22	16~17	1~4		75~80

RR53; 成分 (Si1.3 Cu2.3 Mg1.6 Fe1.4 Ni1.3 Ti0.1%) 金型鑄物
用であつて活塞として盛に使用される。

砂型を用ひることは出来ない。鑄造の際, 押湯, 湯道を他の合金より多量にしなければならぬ。瓦斯の吸収性は No.12, Y合金と同程度である。その機械的性質を次表に示す。

	降 伏 點 kg/mm ²	抗 張 力 kg/mm ²	伸 %	ブリネル 硬 度
鑄 造 の 儘	18~19	18~23	0~3	80
熱 處 理	30~32	32~40	0~1	130~150

高温に於いて優秀なる性質を有し専らピストン用鑄物に供せられる。

V 高マグネシウム合金 (Hydronalium系)

第 18 表

合 金	Mg %	Si %	Mn %	其 他 %	種 別	抗 張 力 kg/mm ²	伸 び %	ブリネル 硬 度
Hydronalium (獨)	12	<1	< 1	Ti< 1	砂 型	15~20	5~2	60~70
Anticorodal (瑞西)	0.65	2	0.5~1	Ti0.15	"	13~18	3~1	"
					" 熱處理	17~28	4~1	70~100
					金 型	15~20	5~1	60~80

KS. ssewasser (獨)	2	—	.2~1.5	Sb(Ti) <0.2	熱處理	20~30	4~1	80~100
					砂型	14~18	8~3	40~60
					金型	15~19	8~3	50~60

アルミニウム合金中にマグネシウム4~10%存在すると、海水その他に對する耐蝕性が他の合金より著しく良好となる。缺點は鑄造がやゝ困難なことである。

第18表にHydronalium及びその他の耐海水性の良好な合金の2,3の例を示す。

VI 高亜鉛合金

亜鉛を含む合金は古くより存在したが腐蝕に最も弱く温度上昇と共に急激に強さが低下すること、比重が大きいことが缺點である。然し廉價にして鑄造性良好である。歐洲でZn8~15, Cu 2.5~5%のアルミニウム合金はNo12合金の如くクランクケース等に鑄造される。その組織はアルミニウムを主體とする固溶體が有心狀に存在し、化合物CuAl₂及びアルミニウム—亜鉛系の中間化合物が散在してゐる。ピストン等には不適當である。

ドイツ D. I. N規格によると

名 稱	成 分	状態	抗張力	伸	ブリネル 硬 度	用途の方針
GAl-Zn-Cu	8~12Zn 2~5Cu 殘 Al	砂型	12~18	3~1	約50~60	凡ての種類の構築用 鑄物又は繰返し負荷 に對して良く自動車 部分品
		金型	12~20	5~2	約 65	

特徴；純アルミニウムより大なる強さ、良き鑄造性、比重 2.9~2.95%

VII その他の耐熱、耐蝕輕合金

クルミン

飯高氏の發明した強度、耐蝕性の大なる合金で0.5~7.0Mg, 0.2~2.0%Cu, 0.3~2.5%Feを含む。

最大の特色は海水に對する耐蝕性は從來の輕合金中第一位と云はれ、次表に示す如き機械的性質はシルミンに遙かに勝り、合金には抗張力に於いて稍々劣るが伸長率衝撃値に於いては雲泥の差別がある。この合金は鑄造壓延共に可能、その機械的性質デュラルミンに劣るといへども、耐蝕性大なるを以て種々の方面に其應用を見るであらう。

	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 %	ブリネル 硬 度	衝撃値 kg/mm ²	比重
ク ル ミ ン	17.5~22.0	10.5~11.0	15~5	60	0.9	2.71
シ ル ミ ン	17~22	8.0~9.5	15~5	60	0.8~1.0	2.63
Y 合 金	20~22	13~15.8	4~2	90	0.14	2.80

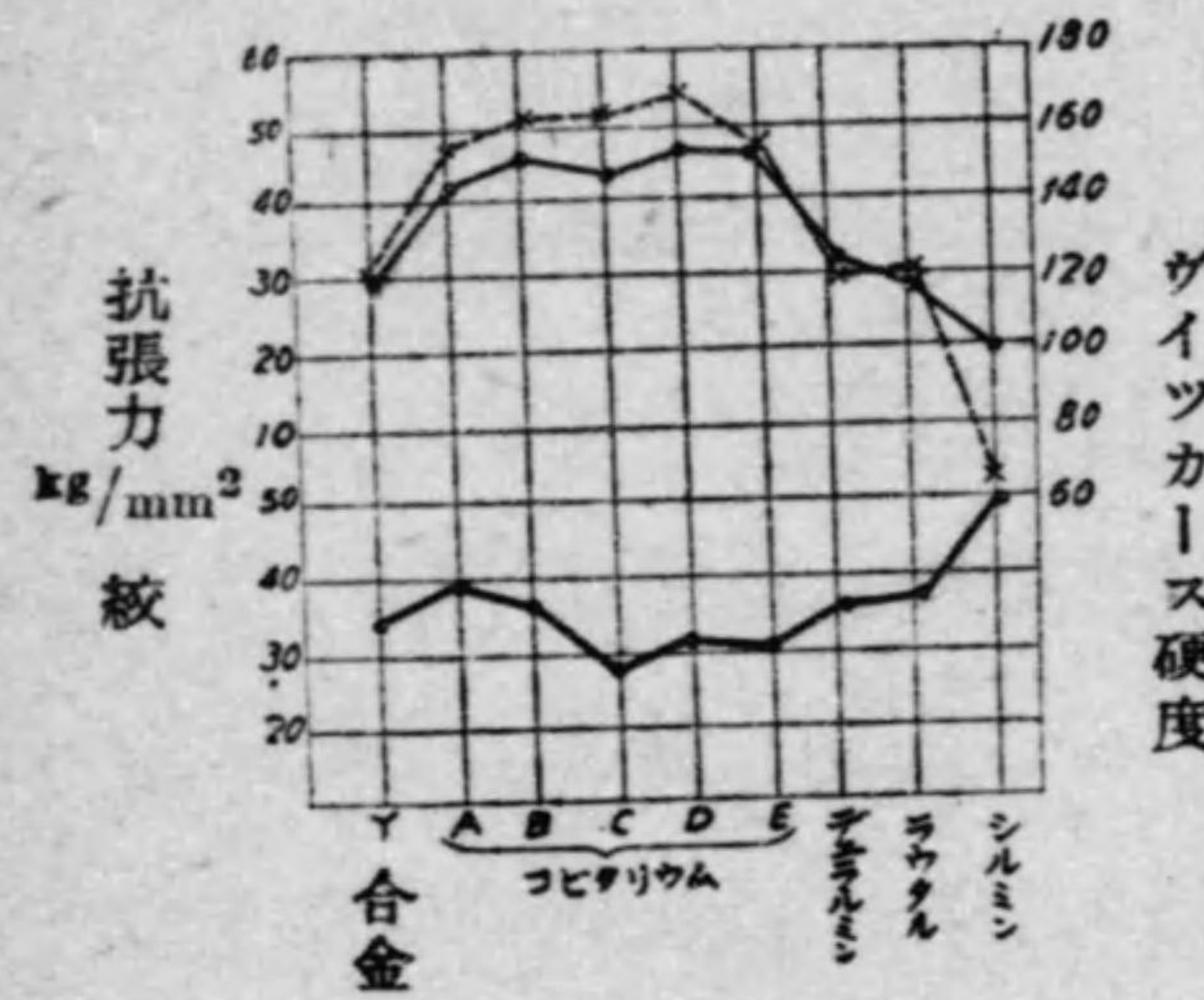
コビタリウム

Y合金は從來耐熱輕合金として最優秀なるものとされ、ピストンに用ひられてゐたが本邦に於て之より更に優秀なる合金を發明した。この合金はCu, Si, Mgの外にNi Crの少量が入り、之をTiCl₄で脱酸したものでその一例を示めせば→Cu 4%, Ni 1%, Mg 1%, Si 1%, Fe 1.5%, Cr 0.25%, Mn 0.5%

コビタリウムと即知輕合金との特質比較を47圖に示す。その抗張力頗る高く又高温に於いて優秀なる強度をもつ。

VII ダイカスティング用合金(die casting alloy)

左圖の各種合金成分表



第 47 圖

名 稱	Cu	Mg	Ni	Si	Cr	Ti	Al
Y 合 金	4.0	1.0	2.0	—	—	—	残り
デュラルミン	4.0	0.5	—	—	—	—	"
ラウタル	4.0	—	—	2.0	—	—	"
シルミン	—	—	—	13.0	—	—	"
コピタリウム A	4.0	1.0	—	1.0	—	—	"
" B	4.0	1.0	—	1.0	—	0.1	"
" C	4.0	1.0	—	1.0	0.25	0.1	"
" D	4.0	1.0	—	1.0	0.25	0.1	"
" E	4.0	1.0	0.3	1.0	0.25	0.1	"

ダイカスティングとは耐熱性の鋼の金型を用ひ、湯を極短時間 ($\frac{1}{100} \sim \frac{1}{10}$ 秒) に大なる圧力の下に鑄込み、形状の正しい鑄物をつくる方法で形状の正しく仕上の必要無く鑄造速度の速いこと、急冷され材質の良好なること等で、多量生産に用ひられる。

この合金はSn, Pb, Zn, Alをそれぞれ主成分とする物及銅合金に分たれ、Zn合金は最も多く用ひられる。

アルミニウム合金は熔融點が500°以上である爲鑄型の壽命短かいこの目的に使用する合金は良好なる流動性と熱脆性無きことが必要である。

次の如き成分のものが用ひられる。

- No.12合金 Cu 8%
- L 8 合金 Cu12%
- Lautal系 Cu6% Si2%
- シルミン Si 13%
- Y合金系 Cu8% Ni3.7%

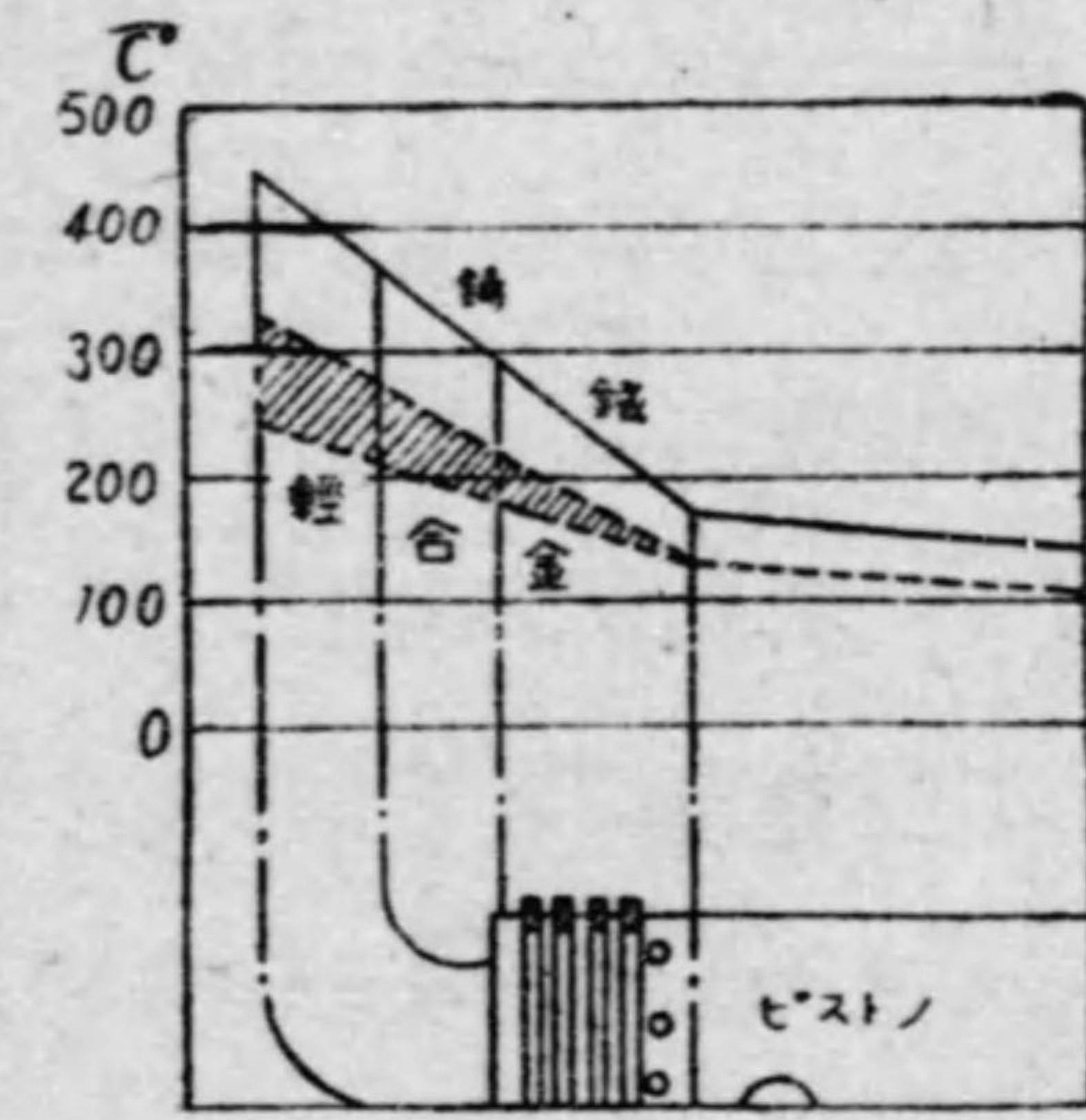
熔融點 比重 抗張力 伸
630°~540° 2.9~3.1 kg/mm² 24内外 約2%

用途; 自動車, 飛行機の小部分品, ポンプ 等

IX ピストン用合金

近時ピストン用合金として従來の鑄鐵に替つて輕合金が用ひられるやうになつた。之は機關の効率, 振動の小なること, 壓縮率高き事等の諸點に於いて優るためで唯缺點としては熱膨脹係數の大なることである。

ピストン材として最も大切な性質は高温における強度及硬度の大なることで、輕合金で最高350°平均250°に加熱されると見なければならぬ。(第48圖)



第 48 圖

鑄鐵及輕合金製ピストン各部ノ溫度

著名なるピストン用輕合金を次表に示す。

合 金 名	Cu	Ni	Mg	Si	Fe	其 の 他
Y 合 金	4	2	1.5	—	—	—
R. R 53	2.4	1.3	1.6	1.2	1.4	Ti<0.1
Ceralumin "C"	2.5	1.5	0.8	1.2	1.2	Ce0.15
コピタリウム(日)	4	1	1	1	1.5	Cr0.25 Mn0.5
Low-Ex(米)	9.0	2.5	1	14	1	—
KS280 (獨)	1.5	1.5	0.5	21	<0.7	Cr1.2 Mn0.7
KS245	4.5	1.5	0.7	14	—	Mn0.8
Alusil	1~2	<0.7	—	20~21	7	—

上表の合金は鑄造ピストン用材であるが、近來航空機用ピストンは鍛造物に變りつゝある。之に對してはY合金, RR.56, R.R.59 が用ひられる。

鑄鐵, マグネシウム合金に較べると

種 類	熔 融 點	熱傳導度 (Cal C.G.S.)	膨脹係數	抗張力	伸	比 重
鑄 鐵	1350~1150°C	0.14	11~12×10 ⁻⁶	20	0	7.3
アルミニウム合金	700~530°C	0.33~0.36	17~24×10 ⁻⁶	14~20	0.5~2	3.0~2.6
マグネシウム合金	620~500°C	0.32~0.38	24~25×10 ⁻⁶	15	1.5	1.8

3 加工して用ひるアルミニウム合金

熱処理によつて強くする物と単に合金成分と加工とによつて強くする物とに大別出来る。

1. 熱処理によらないもの

アルミニウム—マグネシウム系 (ハイドロナリウム, デュラナリウム)

アルミニウム—マンガン系(3S)

2. 熱処理によるもの

CuAl₂によるもの (ラウタル)

Mg₂Siによるもの (アルドライ)

CuAl₂ Mg₂ Siによるもの (デュラルミン)

1. アルミニウム—マンガン系合金

Mnの最も著しい効果は純 Alに加へても他の元素の如く耐蝕性を害するといふことがない事で、又高温で永くその加工硬度を保つ。

米國アルミニウム會社 (Aluminium Co of America) で作る3Sはこれの代表的合金である。マンガン1~2% (銅<0.2%)を含む。之に類似したものに4S (マンガン1.3% マグネシウム1.0%)であるが耐蝕性は3Sに劣り熔接が稍困難である。次表は3S及び4Sの機械的性質である。

			抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 %	ブリネル 硬 度
3	S	軟 質	11	3.5	55	28
		硬 質	20	17.5	4	55
4	S	軟 質	18.5	—	20	40

用途は燃料油管である。

ドイツ D. I. N 規格

名 稱	成 分 %	状 態	抗張力	伸	ブリネル 硬 度	用途の指針
Al-Mn	1~2 Mn 残 Al	軟	10~15	35~20	20~40	大なる變形加工性が要求される場合純アルミニウムの代りに
		半軟	12~18	15~5	40~50	
		硬	18~25	5~2	50~60	

特徴—純アルミニウムより大なる強さ、良き耐蝕性、比重 2.75

II, アルミニウム—マグネシウム系合金

多量のマグネシウムを含み強度大なること耐海水性なること、甚だ大なる耐海水及び耐磨耗性に富むことが特徴であるが、製造困難である。比重は (2.6~2.65) である。

合 金	組 成		抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 %
	Mg%	Mn%			
ハイドロナリウム(軟)	7	0.5	32~36	15~20	20~15
" (硬)	7	—	50	—	7~8

ライタル, SA2(マグネシウム6%, クロム0.5%) デュラナリウム等は之に類するものである。

KS 海水合金; 尙少量のマグネシウム及少量のマンガンを含み3S やアルミニウムより強い合金がある。例へば K. S. Seewasser (Mg2~2.5, Mn1~2) の如きである。デュラルミンの様な高級材料

との中間に位するもので、アルミニウムと同様の耐蝕性を有し、バスの車臺等に適してゐる。抗張力は軟硬夫々18~30kg/mm² 伸20~30%、硬さ45~80の程度である。

III, CuAl₂ の析出硬化を利用する合金

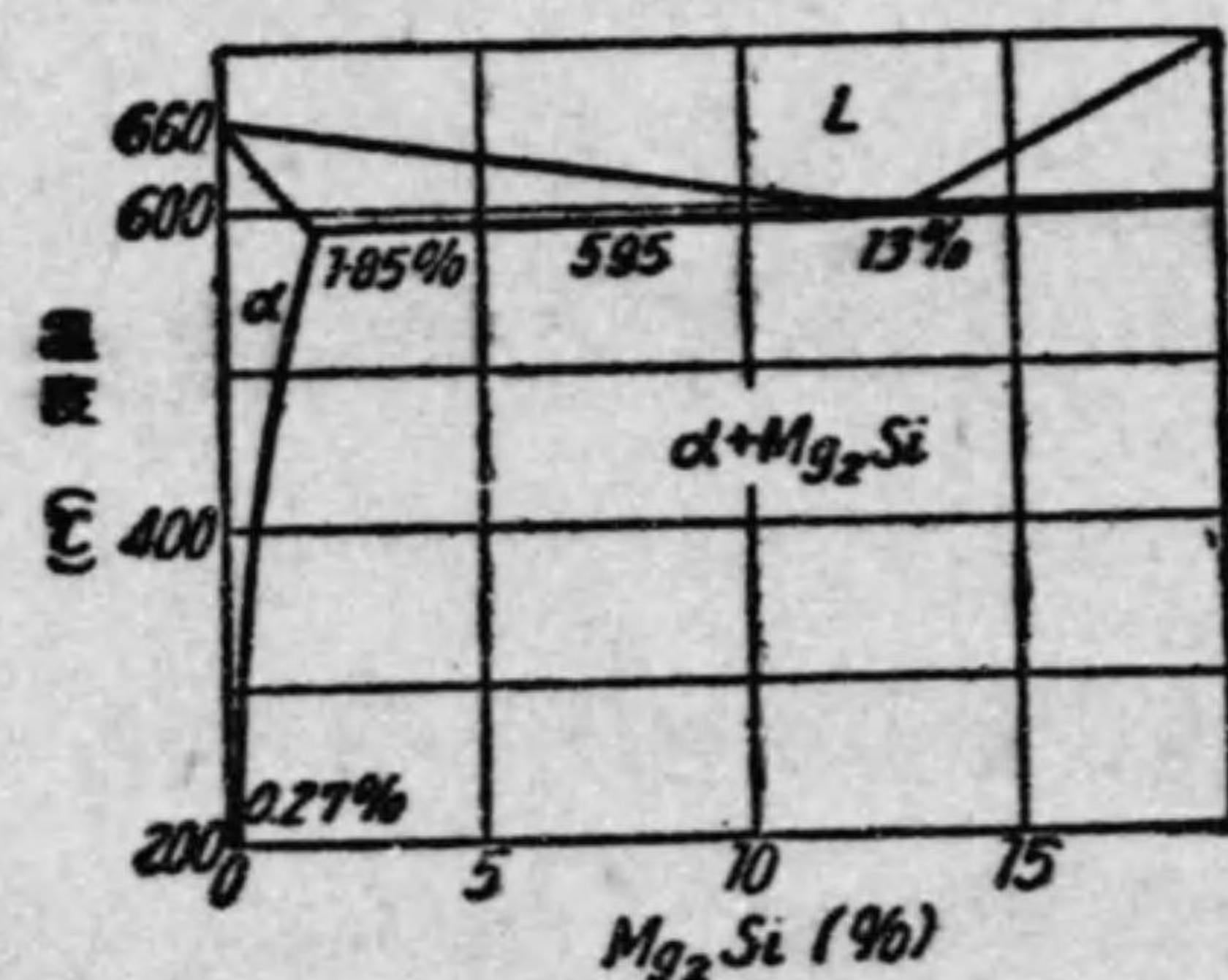
アルミニウム—銅の状態圖(第45圖)を見ると明なように銅5~6%の合金は加工後熱処理するに最好都合である。単純な二元合金は加熱すると結晶粒が成長して粗大になり易い爲か餘り用ひられぬ。珪素が入ると高温に於ける脆さを減じ、鑄造性を良好にす。ラウタル(銅4% 珪素2%)はCuAl₂の析出を利用する合金である。

ラウタル

種別	熱 處 理	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸び%	ブリネル 硬 度	電氣抵抗(オ ー ム cm.20°)
軟質	350°~400°にて焼鈍徐冷	23	10~13	18~28	50~55	3.7~3.6×10 ⁻⁶
焼入	500°より急冷	30~35	19~18	18~25	70~80	4.5~4.3×10 ⁻⁶
焼戻	同上を120°~130°で2日保持	38~42	22~28	18~25	90~120	"
硬質	常 温 加 工	45~60	40~59	15~3	100~135	—

この合金は焼入焼戻して自動車、航空機、船舶の部分品となる。

IV, Mg₂Si 析出硬化を利用する合金



第 49 圖 Al-Mg₂Si状態圖

アルミニウムにマグネシウムを添加するとアルミニウム中の不純分として珪素と化合してMg₂Siなる化合物を作る。次圖はアルミニウムとの状態圖である。

状態圖に示されるようにこの合金は熱処理によつて硬化する可能性が

ある。珪素0.4~0.7% マグネシウム0.2~0.5% の合金はアルドレイ(Aldrey)と呼ばれ 500°Cより焼入れ 120°~200°で焼戻せば比重2.70 抗張力35kg/mm² 降伏點29kg/mm² 伸び15% 縦弾性係數6500 kg/mm² 線膨脹係數0.000023 電氣比抵抗3.1×10⁻⁶ オームcm 同温度係數 0.0036の程度である。

この合金は導電率、腐蝕抵抗共に高く而も調質せるもの、抗張力は純アルミニウムより遙かに強力なる爲、遠距離送電線として適してゐる。

次表にAl-Mg-Si系合金のドイツ D. I. N 規格を示す。

	成 分 %	状 態	抗張力 kg/mm ²	伸%	ブリネル 硬 度	用途の指針
Al-Mg-Si	0.5~2Mg	軟	11~13	27~15	30~40	良好なる機械的及化學的抵抗を要求する部分
	0.3~1.5Si	急 冷	20~28	25~12	60~70	
	0~1.5Mn	調 質	28~35	20~10	70~100	
	殘アルミニウム	調質後常温加工	35~42	10~2	100~120	

V, CuAl₂ と Mg₂Si の析出硬化を利用する合金

この代表的なものはデュラルミンである。

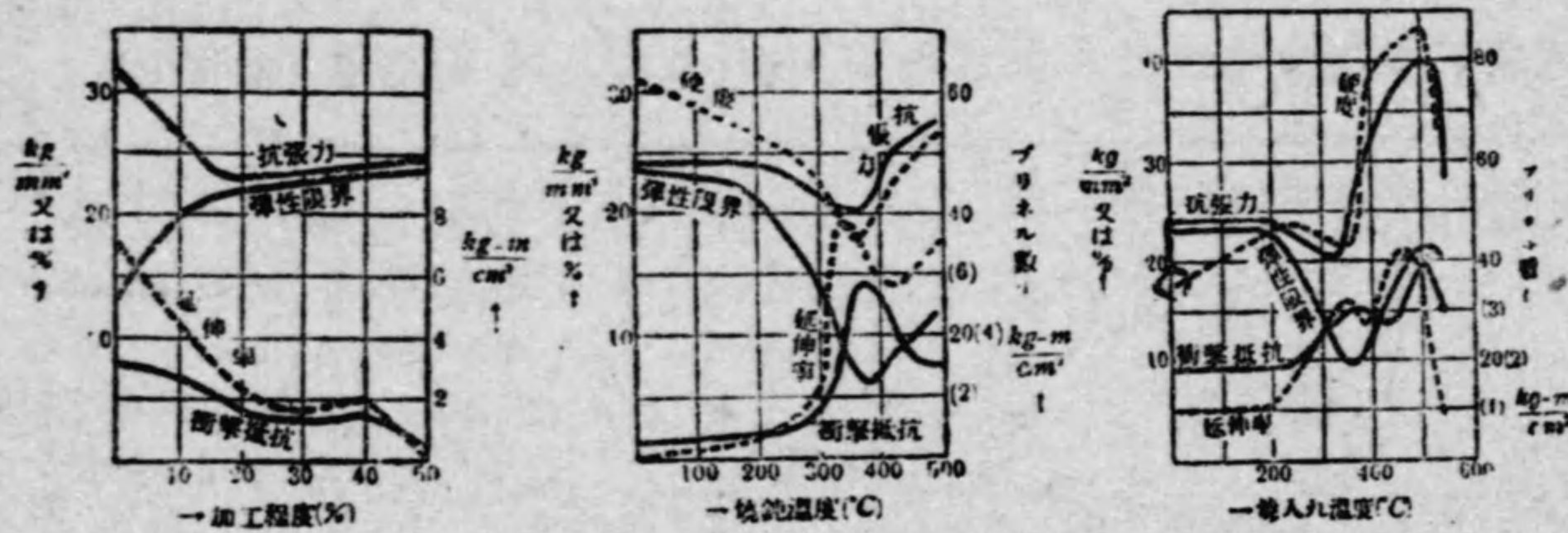
組成; Cu3~4% Mg0.5% Si0.5% Mn0.25~1%

性質; デュラルミンは強きこと軟鋼の如く、輕きこと鋼の1/3に過ぎず、低温に於いて優秀なる性質を有し、航空機の製作に重要視される所以である。缺點として海水に腐蝕され易い。

加工及熱処理; デュラルミンの鑄塊を430°~470°で初期壓延率約5%で高温壓延を行ひ、漸次壓延率を大にして薄板類は4~5mm 丸棒類は徑8mm迄行ふ。それ以下の加工は常温壓延で行ひ、約20~30%の壓延毎に350°附近で中間焼鈍をする。第50~51圖は常温加工と

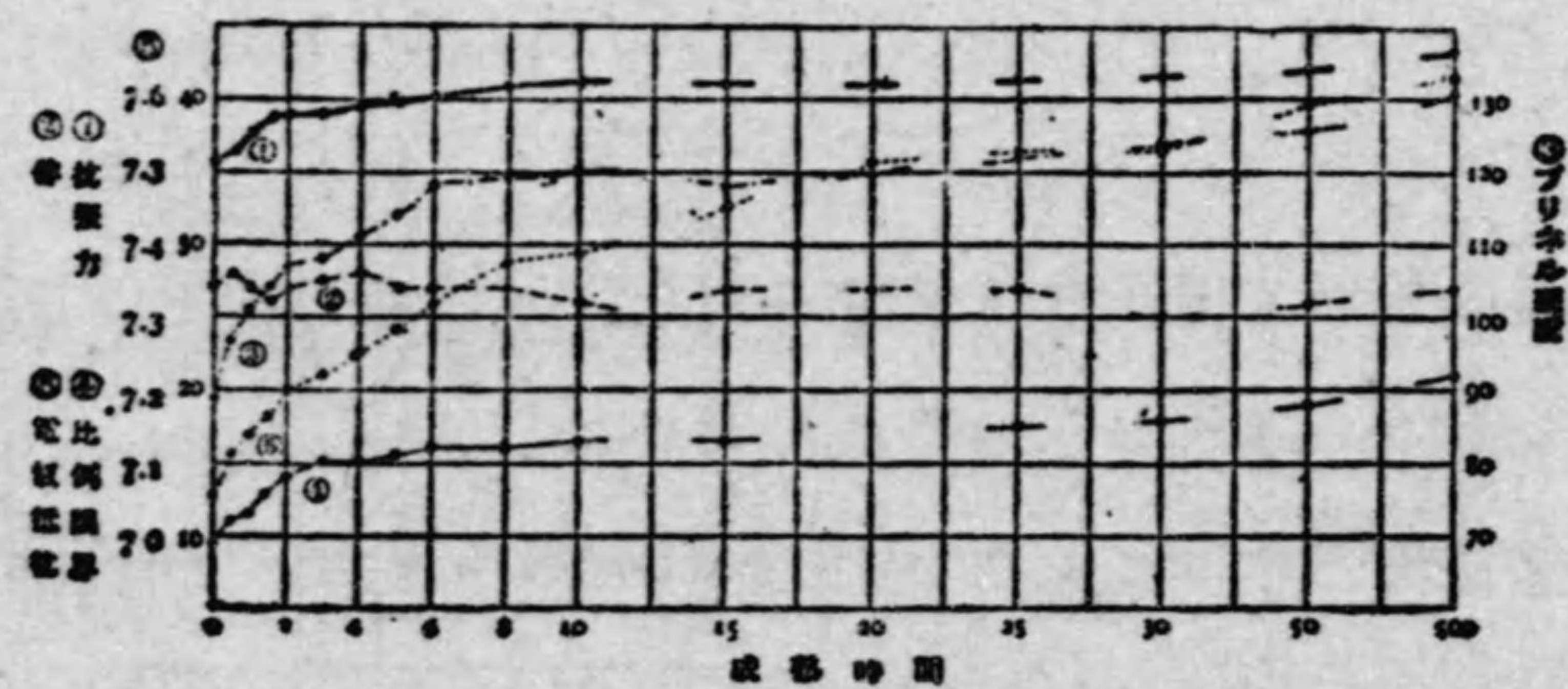
機械的性質、常温加工したデュラルミンの焼鈍と機械的性質の関係である。

上記の如く、常温加工と焼鈍を繰返して所要の寸法の材料が得られると、適当に熱処理を施すと機械的性質は著しく改善せられる。通常は480°~520°より焼入れ常温で放置しておく。第52圖は4%常温加工を施したデュラルミンを色々の温度より焼入れした場合の機械的性質第53圖は520°に2時間加熱し水中焼入をなした壓延材の機械的性質



第 50 圖 和 51 圖 第 52 圖

材料：450°空冷デュラルミン材



第 53 圖

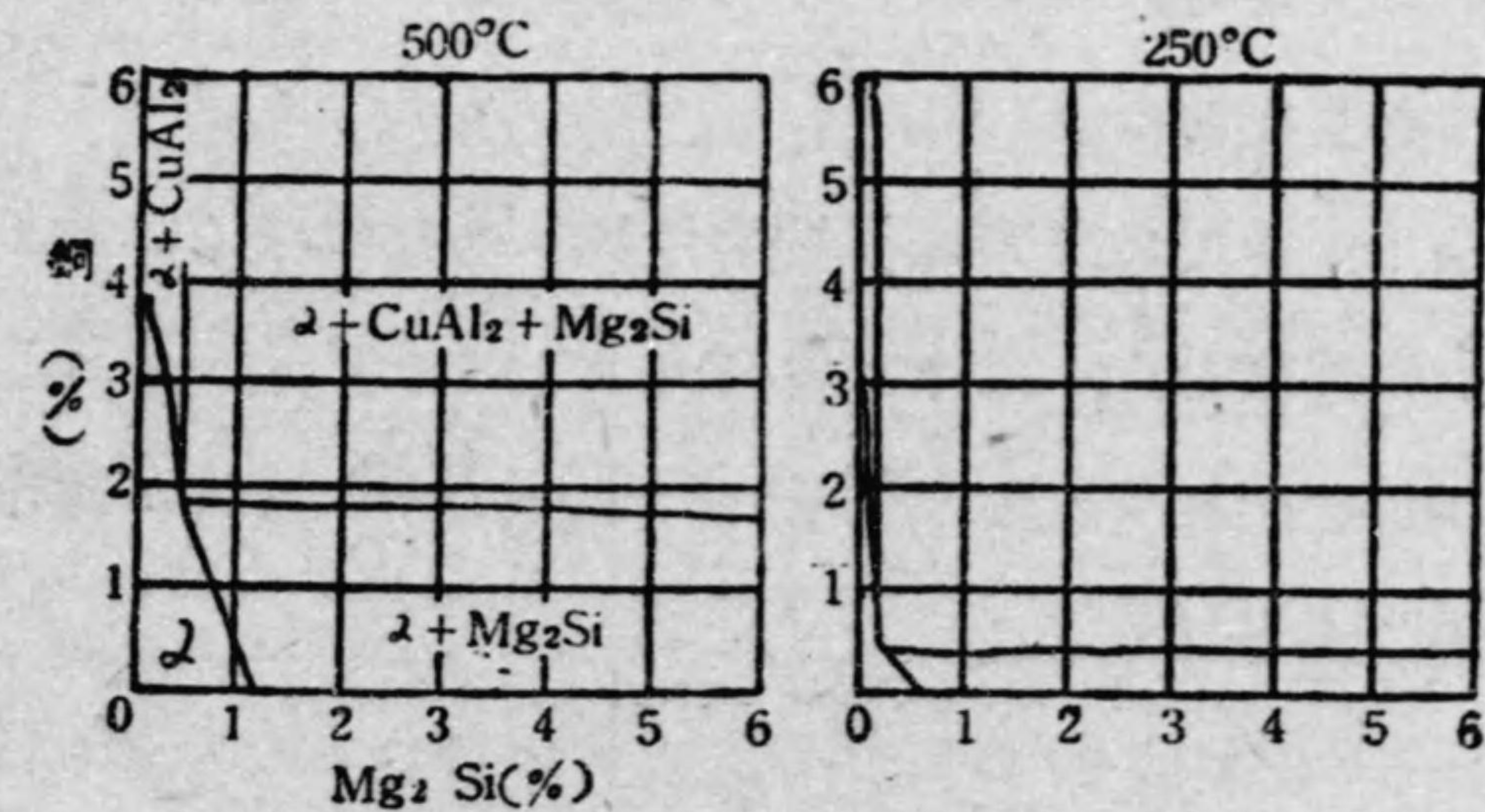
機械的性質の時間的變化を示すかくの如くデュラルミンは適当な温度

から焼入れ、之を常温で放置しておくとも硬度が増加する特徴がある。この現象を時効硬化と稱する。これはデュラルミンに於て初めて発見された現象である。が、その後この現象を有する合金が多数存在することが明らかになつた。

次表の如くデュラルミンの時効硬化したものは原材の約2倍の強さ硬さを有するに至るがその理由は果して如何。

	抗張力 kg/mm ²	伸 %	ブリネル硬度
焼 鈍	21	17	50
焼 入	32	21	65
焼 戻	42.2	20	100

デュラルミンの時効現象の説明として最も普通の考へ方 Al—Cu—Mg₂Si の三元素の温度の變化に對する Cu Al₂ 及び Mg₂Si の溶解度變化に基くとする説明であらう。即ち固體アルミニウム中に Cu Al₂ 及び Mg₂Si の溶ける溶解度が温度上昇と共に増加し大體第54圖



Al—Cu—Mg₂Si の溶解度の温度による變化
第 54 圖 Al—Cu—Mg₂Si の溶解度の温度による變化

の如くなる。従つてデュラルミンを高温から焼入れた後、焼戻せばCu Al₂及びMg₂Siの二者の析出硬化のため硬くなる筈である。デュラルミンは焼戻温度が低く常温でも焼戻現象が起つて時効硬化する。

デュラルミンの成分の變化は機械的性質に如何なる影響を及すであらうか。

銅；銅の増加は硬度の増加を招來するが或程度以上になると硬度の増加の割合は少いが壓延が困難となり壓延方向と直角の方向に對して靱性が小になる。銅は5%以下が望ましい。

マグネシウム；Mg₂Siの多いものは時効硬化が早く壓延困難である。然し珪素を少しくマグネシウムを1%内外にすると優秀な所謂超デュラルミンが得られる。

マンガン；合金の耐蝕性を改善する。0.5以下のマンガンは伸を減することなく抗張力を増加する。

鐵；鑄造性を良好にするが合金の強さを減するから0.5%以下であることが必要である。

珪素；約1%までの珪素は機械的性質を良好にする。初期の超デュラルミンは珪素を1%以上を含有する。

亜鉛；亜鉛を添加すると(0.1~5%)抗張力増大するが時季割れ等を起す缺點がある。

チタン；RR合金は0.5%内外のチタンを含有するチタンは結晶粒を微細化する。

ドイツD. I. N規格を示すと

名 稱	成 分	状 態	抗 張 力 kg/mm ²	伸 %	ブリネル 硬 度	用途の指針
Al-Cu-Mg	3.5~5.5Cu 0.2~2Mg	軟	16~22	25~15	40~60	機械的性質 が甚だ高く 要求される 部分
	0.2~1.5Si 0.1~1.5Mn	調 質	38~48	22~12	100~180	
	残 Al	調質後常温加工	42~50	15~5	120~150	

比重—2.8

超デュラルミン

最近デュラルミンより一層強き輕合金があらはれた。その成分はデュラルミンに比し、珪素の多い差があるのみである。

Cu 4.0 Si 1.25 Mn 0.5 Mg 0.5%

時効せしめたものの抗張力は45kg/mm²伸10%で航空機の重要部品に賞用される。我國に於いても早くから住友等で同種の合金がつくられ50kg/mm²の高抗張力を誇る超デュラルミンも表はれてゐる。

我が海軍では超デュラルミンに耐海水性の次表SA3を被せた合板(SDC)が賞用せられてゐる。

	Cu	Mn	Mg	Fe	Si	Al	状 態	抗張力	伸
S. D.	.8~4.8	0.4~1.0	1.2~1.8	<0.6	<0.6	残	{板時効 "加工	{46~51.5	15~21
S A. 3	<0.25	1.0~2.0	0.4~1.0	<0.6	<0.3	残		{48~56	10~19
S. D. C	SDをSA3で被覆せるもの						{ "時効 "加工	{45~49 46~51	16~22 12~18

アルミニウム合金の腐蝕

アルミニウム輕合金の腐蝕

合 金	食鹽水(過酸化素を含む) による減量(g dm ² , 日)	純アルミニウムに對 する電位差(ボルト)	
アルミニウム	99.8%	0.01~0.03	—
"	99.5%	0.04~0.08	0
"	99.0%	0.10~0.20	—

"	98.5	0.20~0.30	—
Mn 1.5%	Al 98.0%	0.03~0.08	—
アル フ ラ イ		0.15~0.30	-(0.01~0.02)
Mg 3.5%	Mn 0.5%	0.05~0.20	—
ハ イ ド ロ ナ リ ウ ム	"	"	—
K S 海 水 合 金		0.10~0.20	-(0.03~0.20)
Mg 2.2%	Mn 1.4%	0.20~0.05	—
デ ュ ラ ル ミ ン (時 効)		0.35~0.5	+ 0.15
"	(焼 鈍)	0.7~0.9	—
超 デ ュ ラ ル ミ ン (時 効)		0.4~0.8	+ 0.10
シ ル ミ ン		0.2~0.35	+0.02~0.05
ラ ウ タ ル		0.6~0.8	—
Y 合 金		0.6~0.8	+ 0.1
亜 鉛		—	- 0.3
カ フ ミ ウ ル		—	- 0.02~0
	銅	—	+ 0.5~0.7
不 銹 鋼		—	+ 0.85

空気で飽和した2%食鹽水に兩者を漬けた者の電位差、
正はアルミニウムが陰極負は陽極となるのを示す。

航空機體材料として用ひるときは、海水に對する耐蝕性が問題である。耐海水腐蝕試験は長時間を要するから通常は3%食鹽水に過酸化水素0.1%加へた液中で加速腐蝕試験を行ふ。

アルミニウムに添加する元素の中、Cu及びZnは腐蝕を促進する。Mgはそれ自身腐蝕し易いがAlと合金となると耐蝕性を増す。Mn、Sb等も少量ならば耐蝕性を與へる。Hydronaliumは7%のMgと0.5%内外のMnにより耐蝕性が與へられ、又クルミンは輕合金中最も耐海水性を有するが、これはCr、Mgによる。又KS海水合金はMn及びSbによる。

デユラルミンの腐蝕

鍛造用輕合金中最も優秀なるデユラルミンは銅を含むを以て大氣及海水に犯され易い缺點がある。之を補ふために次の三方法が考へられる。

1. アルクラッド(Alclad) (米)デユラルミンの表面に純アルミニウムを被せたもの。
2. デユラルプラット(Duralplat) (獨)デユラルミンの表面を耐蝕性大なるCuを含まずMg、Mnを含むAl合金の板で覆へるもの。
3. 表面に酸化膜を作り油脂を塗る。

アルマイト; Al及其の合金の最大の缺點たる酸、鹽類及弱アルカリによる腐蝕を防ぐために萘酸の水溶液中で電解し、 Al_2O_3 の皮膜を作つたもので、近時アルミニウム製品が家庭用、航空機、機械部分品、その他廣く應用されんとするとき、我理研によつてその防蝕性が大成せられたことは喜ばしいことである。

第九章 マグネシウム

航空機工業の發達に於いて不斷の要求はより強くより軽い合金を得ることによって航空機が益々大型となるに従つて、この要求が著しくなつて來た。従來これに應じて、Al合金が廣く用ひられてゐた。所が最近Mg合金があらはれ、アルミニウムより軽く、鑄造状態ではAl合金の如く強力であるのでその應用は漸次増加しつゝある。Mgの原料は苦汁であつて我國はこの資源には非常に恵まれてゐるから、Al、Cu、鐵鋼の代用品として出来る限り、マグネシウム合金を使用するやうに研究せねばならぬ。現在日本ではマグネシウム合金の鑄物は相當使用されてゐるが、鍛造品、板等の普及は未だしの感がある。

性質； Mg 基合金は最も軽い合金で比重はAlの $\frac{2}{3}$ 、鐵の $\frac{1}{4}$ で、この合金の多くは熱處理により、性質改善し得られる。鑄造も鍛造も出來、機械工作性、靱性が優秀である。次表は Mg 及び航空機用金

比重の比較 屬合金の比重及び性質比較を示したものである

Mg	1.8
Al	2.7
Zn	7.1
鑄 鐵	7.2
鋼	7.9
不 銹 鋼	7.92
眞 鍍	8.5
青 銅	8.8
モ ネ ル	8.9
Cu	8.9

同重量の Dowmetal と各種合金との性質比較

	抗張力 lb/in ²	屈曲に於ける疲勞 耐久限(lb/in ²)
軟 鋼	60,000	30,000
合 金 鋼	100,000	50,000
Al 合 金	91,000	—
デュラルミン	172,000	70,000
ダウメタル(鑄造)	145,000	80,000
ダウメタル(鍛造)	185,000	125,000

同容積の Dowmetal と各種合金の性質比較

	重量 比較	抗張力 (lb/in ²)	伸 (%)	屈曲に於ける疲勞 耐久 (lb/in ²)
軟 鋼	4.4	60,000	30	30,000
合 金 鋼	4.4	100,000	20	50,000
Al 合金(鑄造熱處理)	1.6	30,000	8	—
デュラルミン	1.6	60,000	20	15,000
ダウメタル(鑄造熱處理)	1.0	33,000	10	9,000
" (鍛造 ")	1.0	42,000	12	14,000

る。この表によれば、他の合金に比べると最小の重量で最大の強さ耐久性を示してゐる。

かく Mg 合金は航空機用に最適である。この合金の最大の缺點として腐蝕に弱いことで、海水に遭ふと溶けるといふまでいはれてゐる。

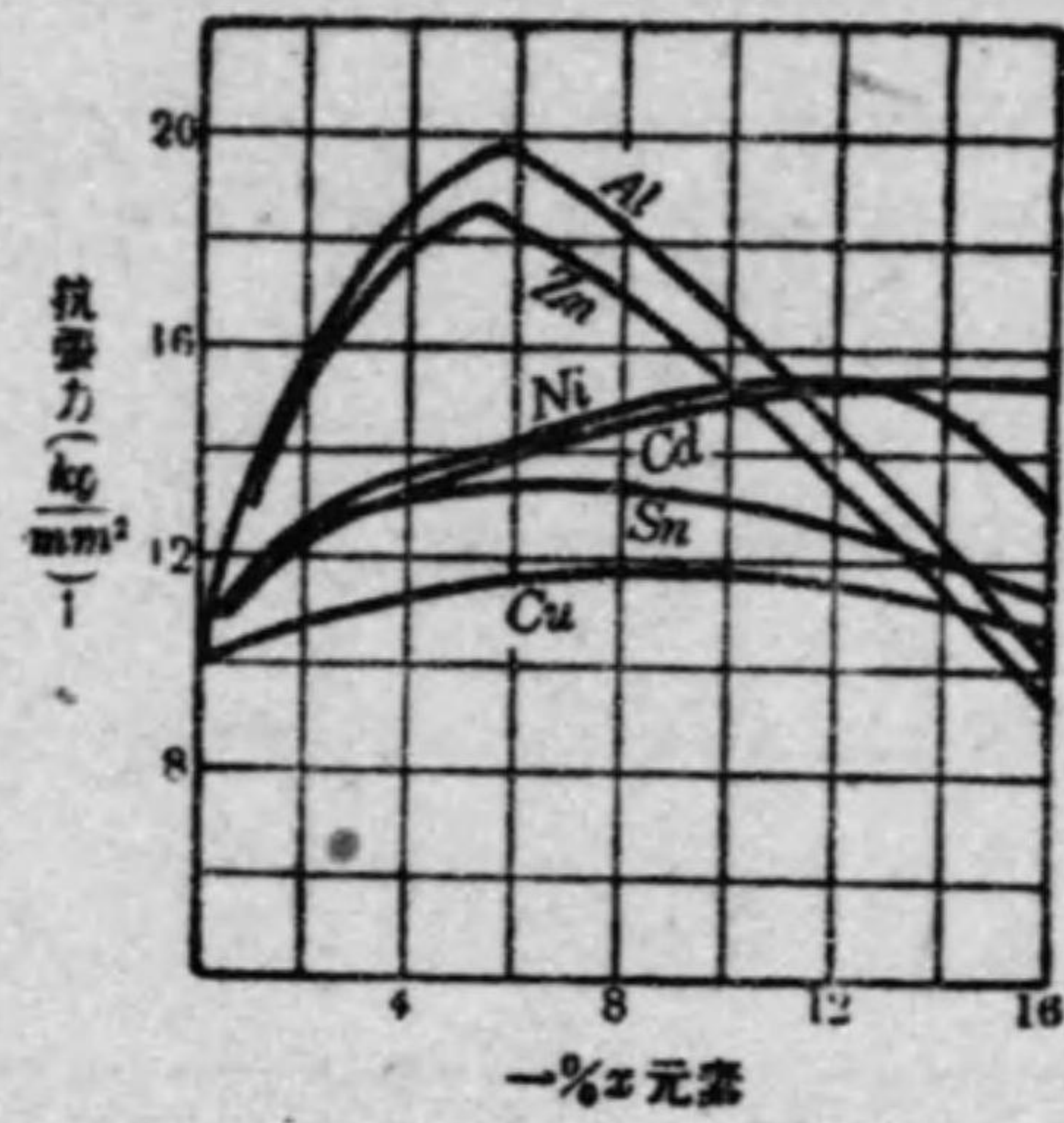
然しドイツでは耐蝕性が非常に研究されて今や最早腐蝕の點は全く心配の要なしといつてゐる。

本邦では、航空機の車輪發動機部分品、機體部品に用ひられてゐる。

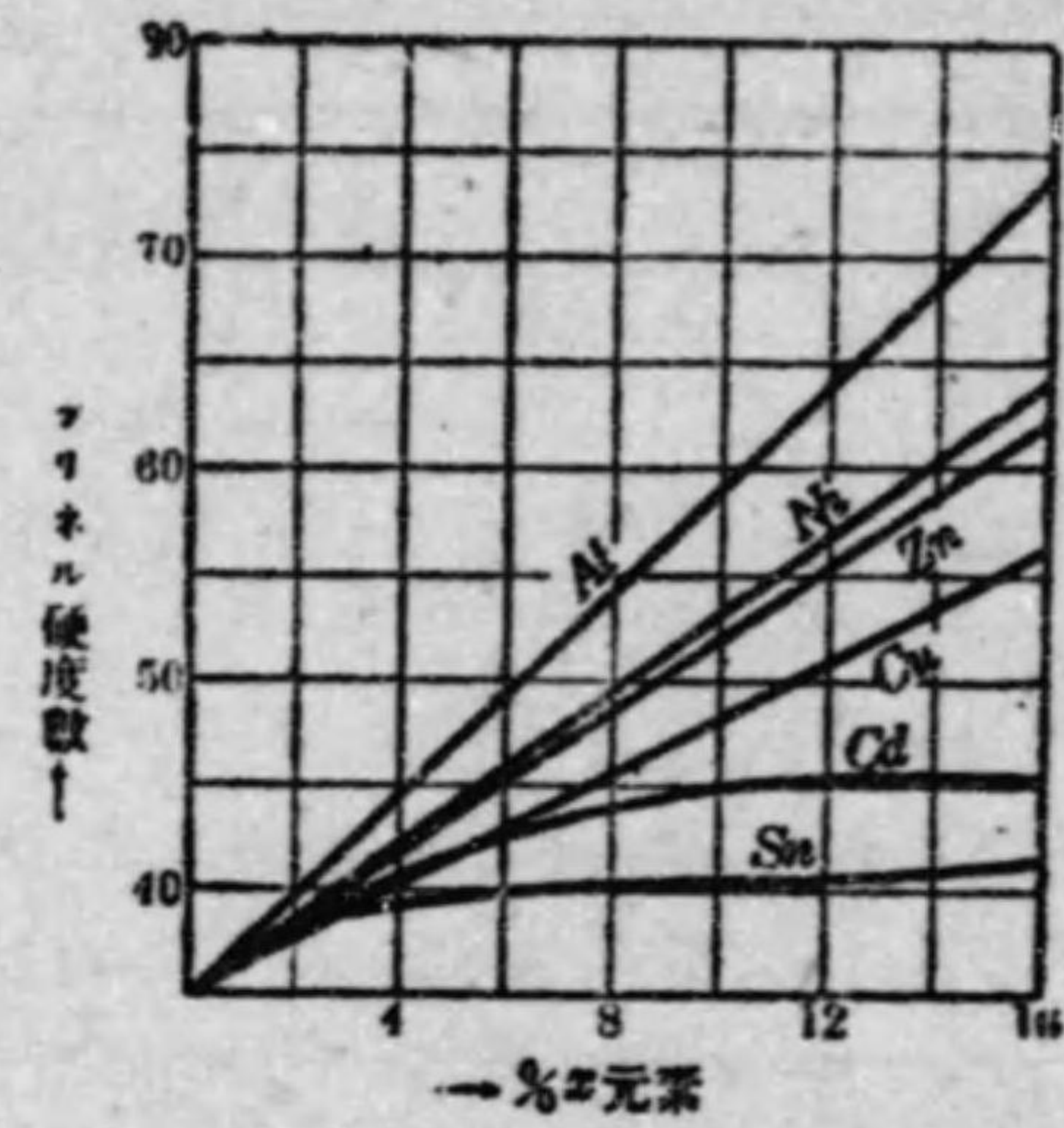
二元合金系

マグネシウムに種々の元素を合金した場合の 抗張力、硬度、衝撃、抵抗、熱傳導度等の變化を55—58圖に示す。

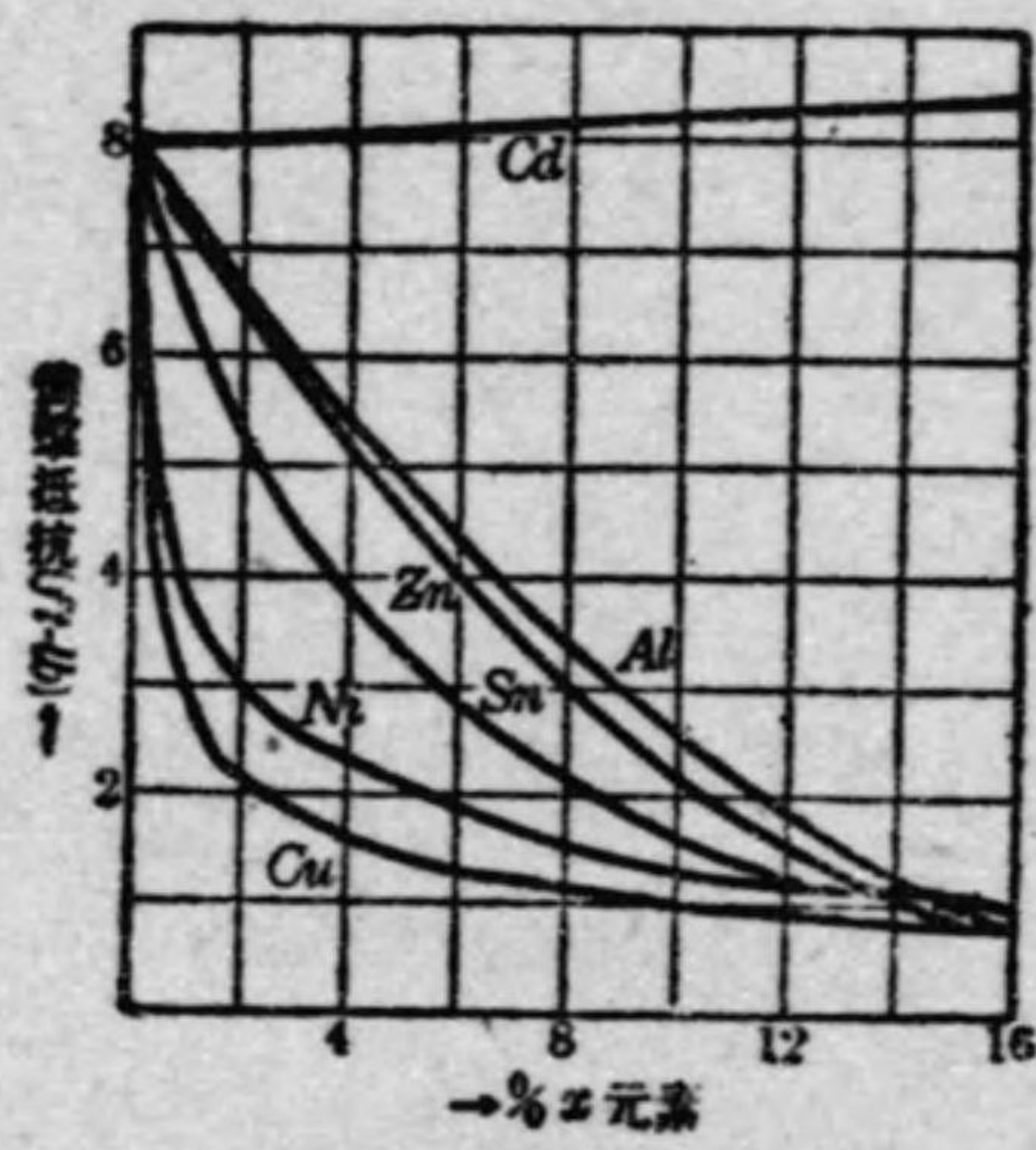
第59—64圖はマグネシウム X合金のマグネシウム側状態圖で熱處理の効果を期待出来るのはMg-Al及びMg-Zn系に就てのみである。アルミニウム及亜鉛はその機械的性質に最良の結果をあたへ、又マグネシウムに亜鉛及びマンガンを加へると耐蝕性を與へる。



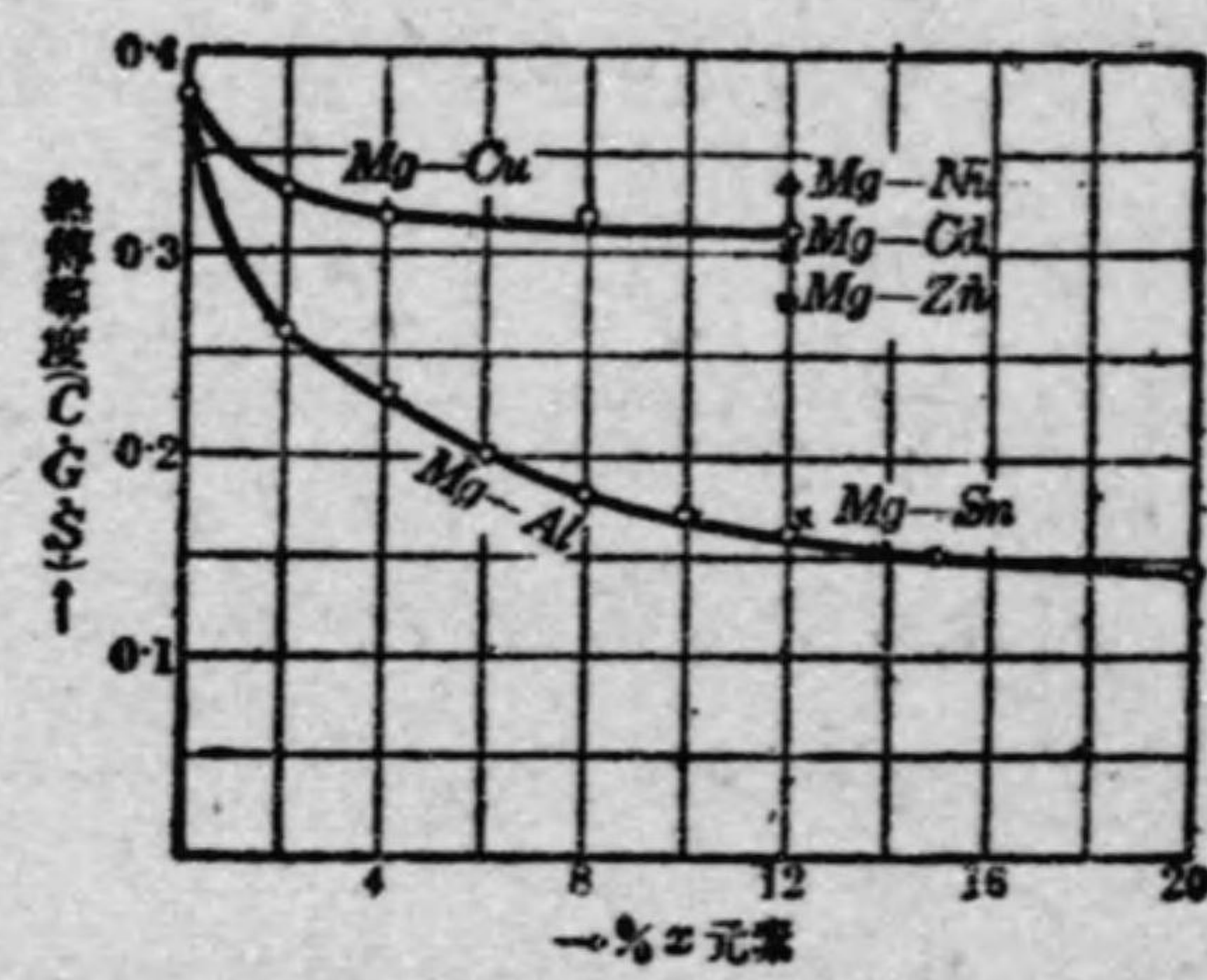
第 55 圖 Mg-X系2成分合金の抗張力(砂型鑄物)



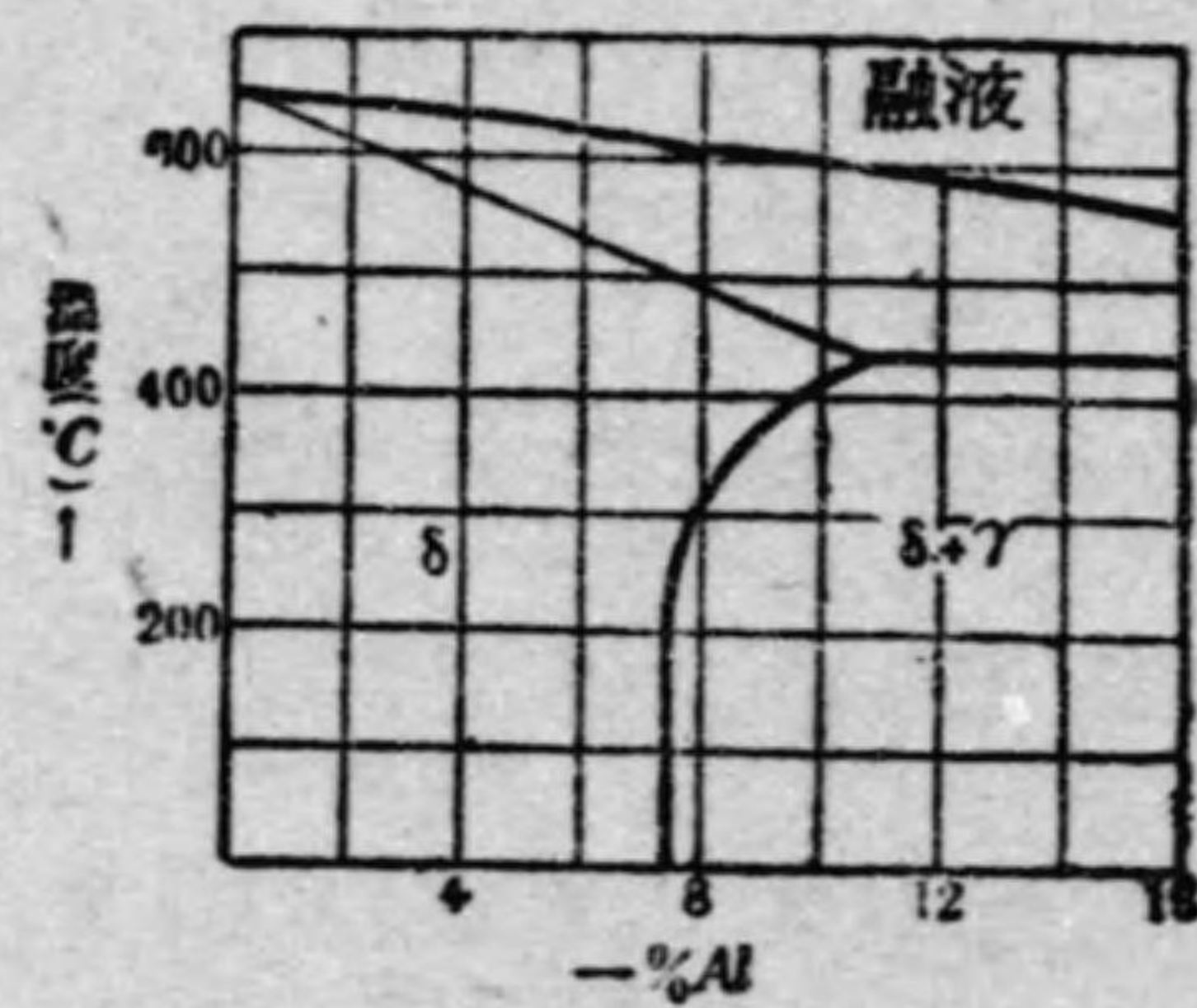
第 56 圖 Mg-X系2成分合金の硬度(砂型鑄物)



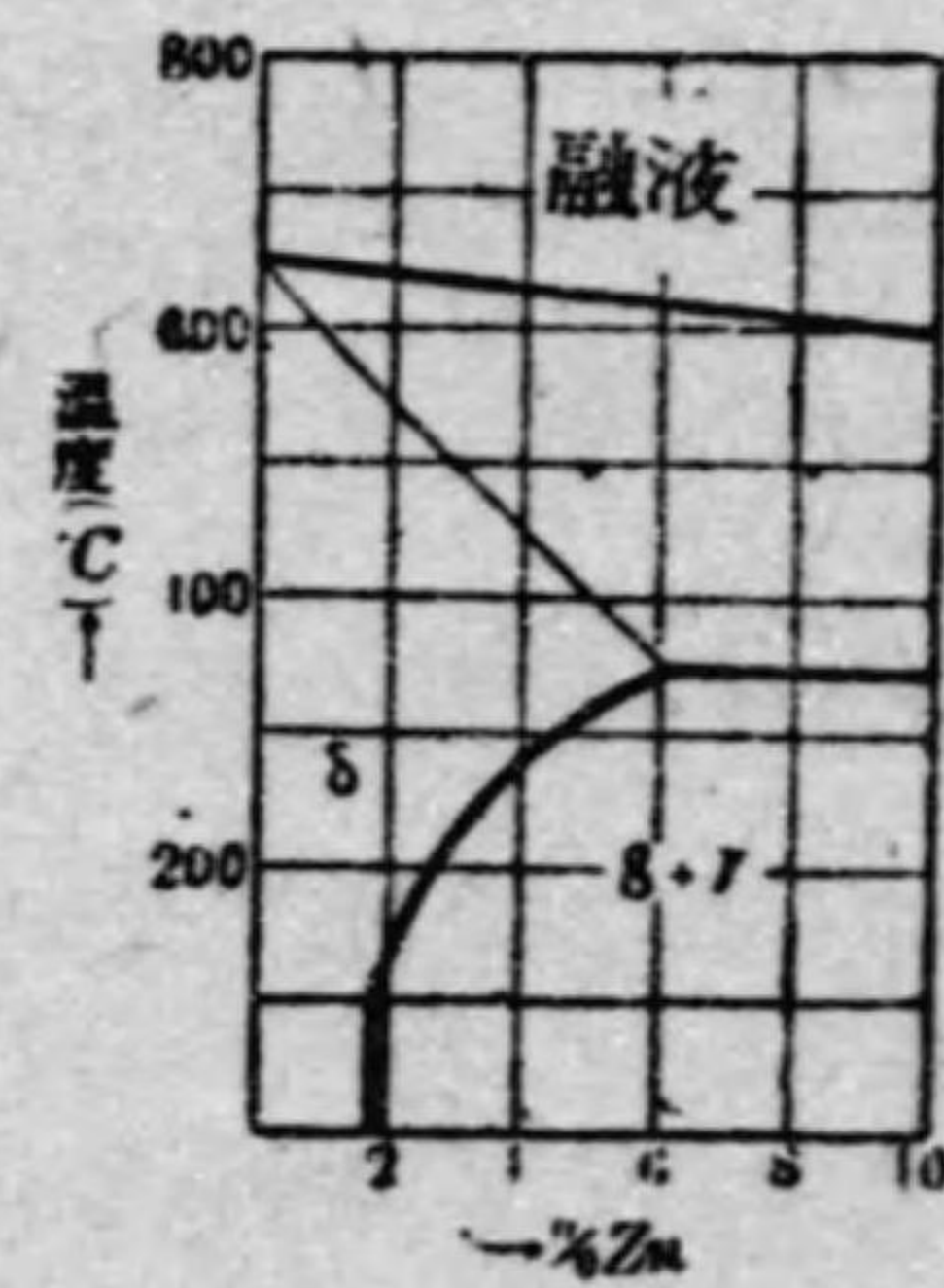
第 57 圖 Mg-X系2成分合金の衝撃抵抗(砂型鑄物)



第 58 圖 Mg-X系2成分合金の熱伝導率

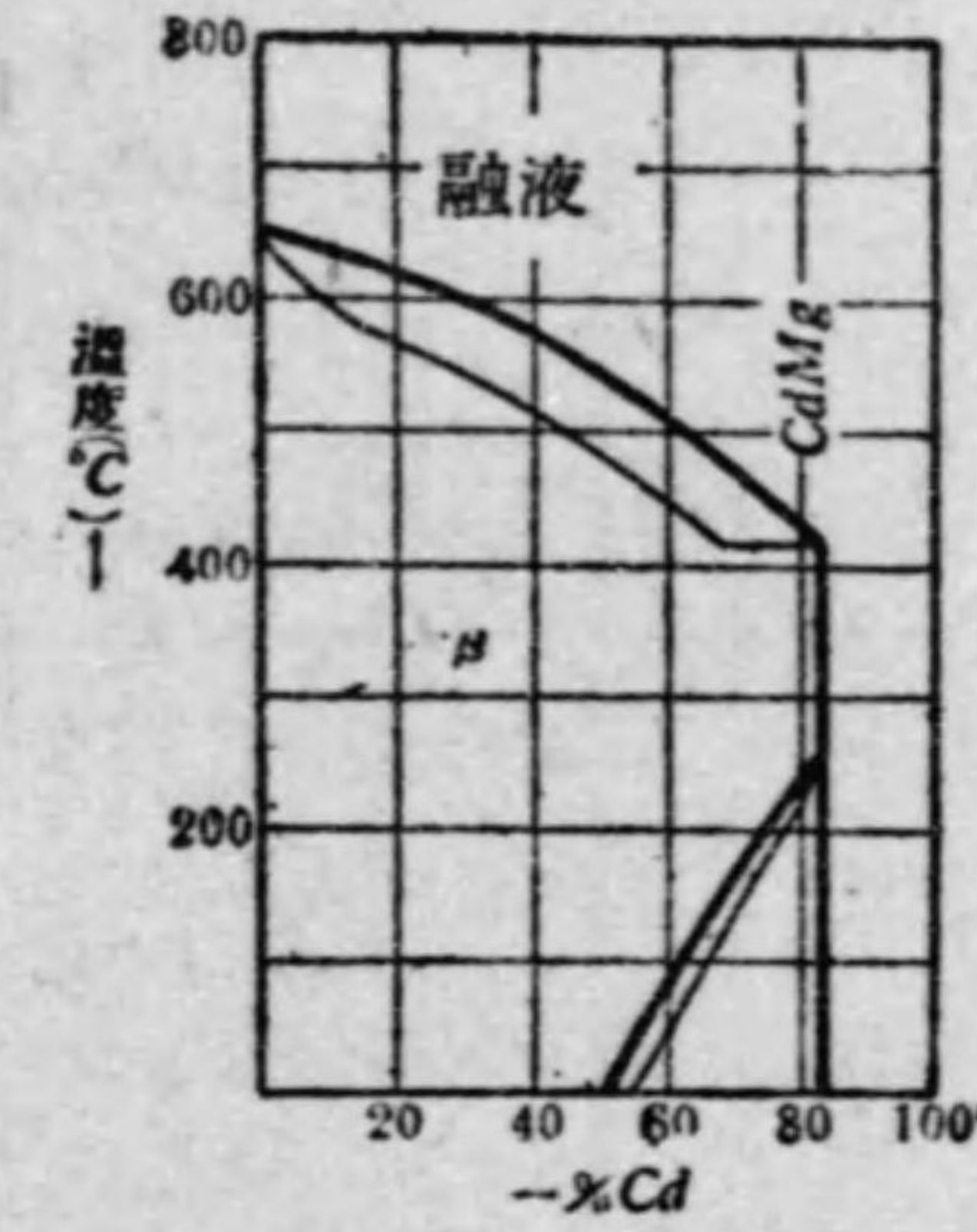


第 59 圖 Mg-Al系平衡圖

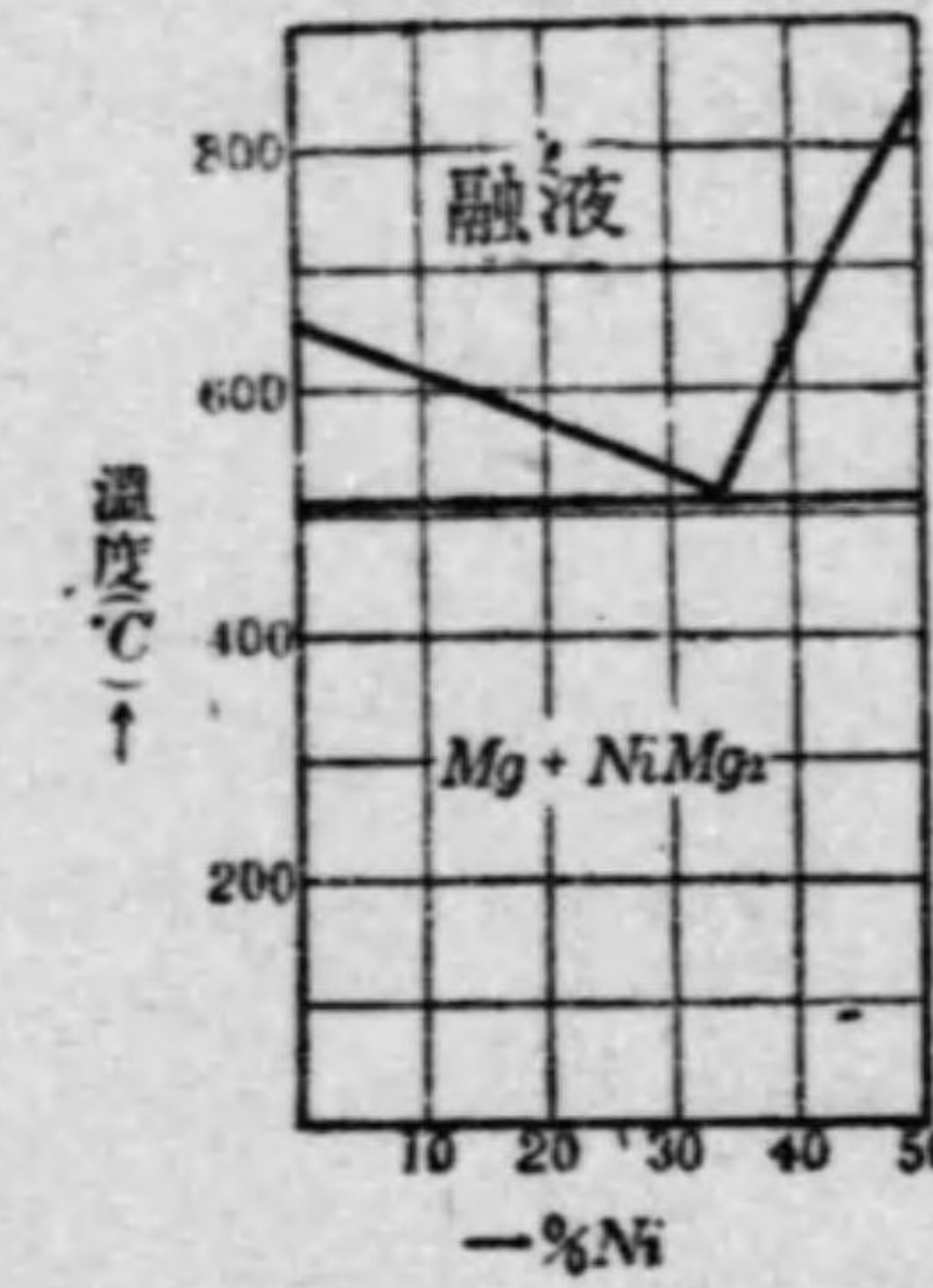


第 60 圖 Mg-Zn系平衡圖

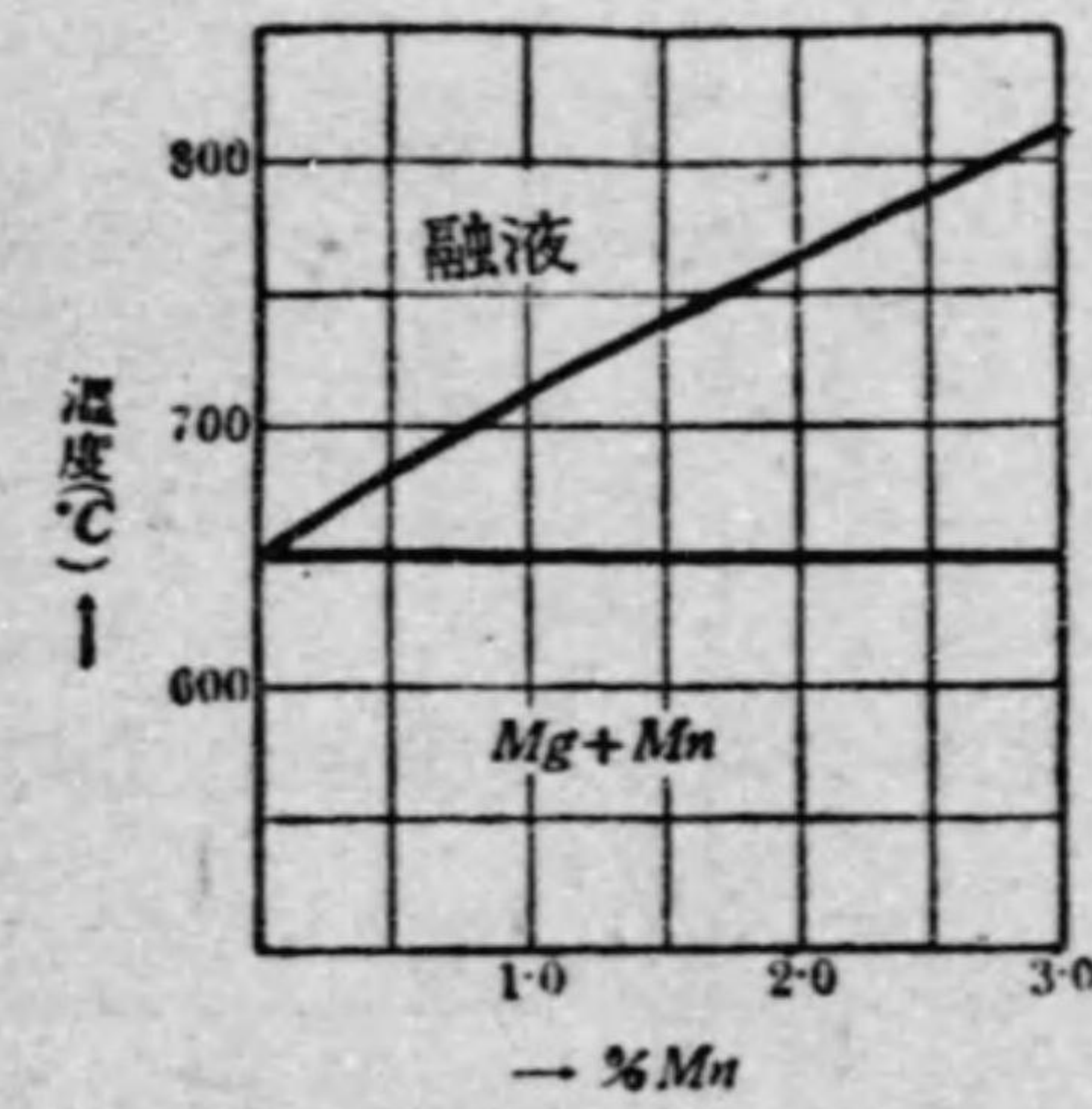
實用合金としてはMg—Al, Mg—Al—Zn, Mg—Mn系が用ひられてゐる。



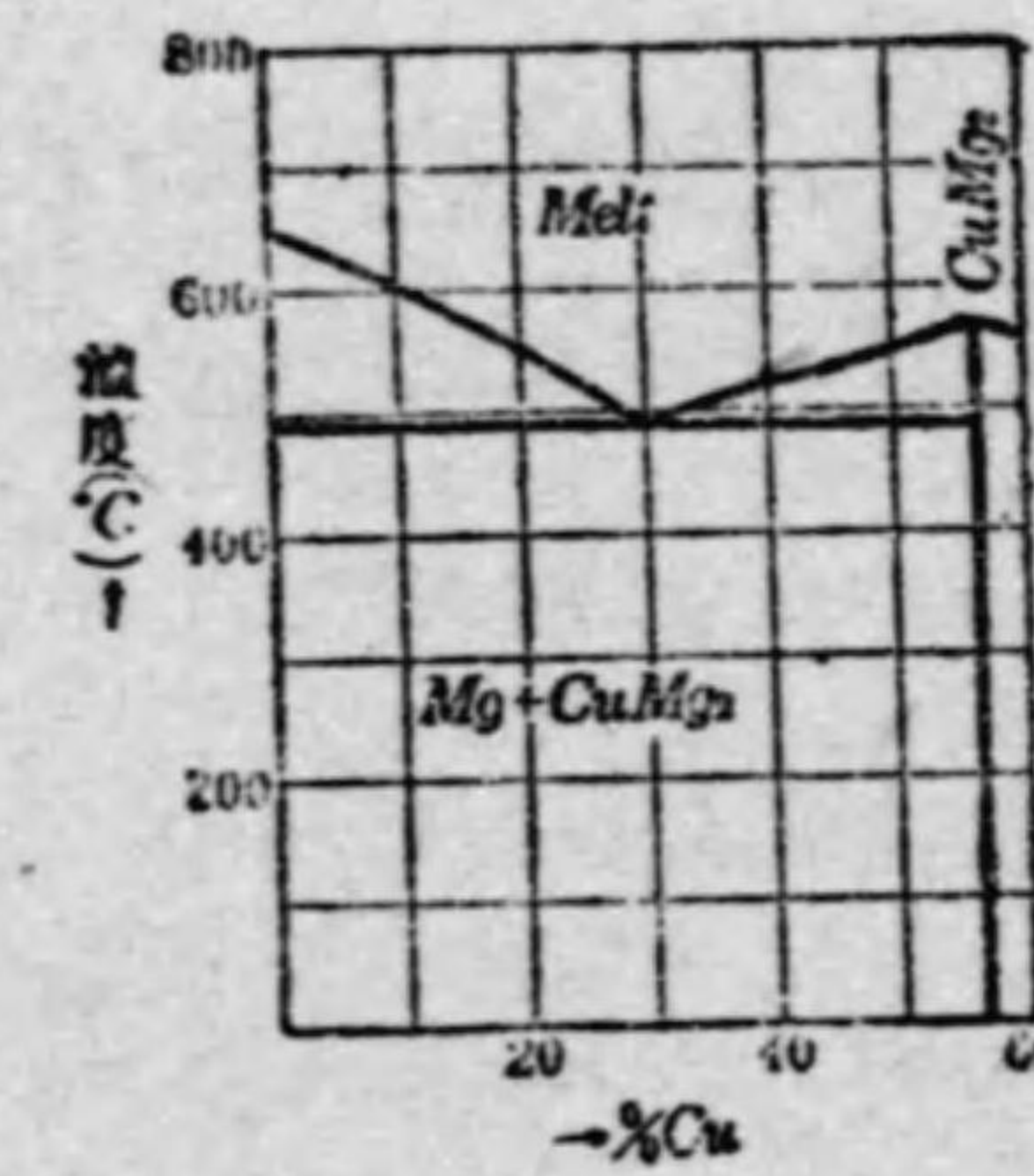
第 61 圖 Mg-Cd系平衡圖



第 62 圖 Mg-Ni系平衡圖



第 63 圖 Mg-Mn系平衡圖



第 64 圖 Mg-Cu系平衡圖

三元以上の合金系

マグネシウム軽合金中で最も早くから發明されて廣く用ひられてゐるものはエレクトロン合金である。1909年獨で發明されたものである。マグネシウム亜鉛系を基礎としこれに種々の元素を添加した合金の總稱で商品名である。

エレクトロン

種 類	組成(%) (残り1Mg)				抗張力 (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	伸 %	ブリネル 硬 度
	Al	Zn	Mn	その他				
AZF (砂型)	4	3	0.2~0.5	—	17~20	9~10	4~6	43~47
" (金型)	"	"	"	—	20~23	10	6~10	50~55
AZG (砂型)	6	"	"	—	17~20	10~11	3~5	53~57
エレクトロン VI (ダイカス チング)	10	—	—	Si0~3	13~18	12	2~4	70

比 重 1.8~1.83 電気抵抗 8.3~5.5×10⁻⁶オーム・cm
 融 融 点 625° 縮 み 代 12~16/1000
 線膨張係数 0.000023~27 縦弾性係数 4000~4500kg/mm²
 熱 傳 導 度 0.32カロリー-C.G.S.

エレクトロンは400°より焼入焼戻すれば機械的性質は相當良好であるが、耐蝕性が小さい缺點がある。

航空機、自動車等の部分品例へばクランクケース・ギアボックス、航空機脚部輪のボックス、双眼鏡、タイプライター等の部品等各種の方面に用ひられる。

アメリカのDow Chemical CO. はマグネシウム及びその合金の世界の權威で、その製造に係る合金を Dowmetal "G" "E" "D" "T" 等と呼ぶ。この合金は主に Mg-Al 系の合金で、耐蝕性を與へるためマンガンを加へた物で、エレクトロンに劣るが、焼入せば抗張力20kg/mm²以上に昇すことが出来る。焼入により伸びの増すことは注意すべきである。

エレクトロン及 Dow metal の一例を示せば

合金名	成分%	状 態	抗張力 (kg/mm ²)	伸ビ (%)	硬 度 (ブリネル)	衝撃値
エレクトロン	Al Mn Zn 6.0 0.2 3.0	鑄造のまま	17.6~21.1	4~8	47~51	2~5
		焼入	23.2~26.7	9~13	50~53	4~6
		焼戻	26.0~29.5	3~7	65~72	1~3
ドウメタル	Al Mn 8 0.2	鑄造のまま	16.9~19.7	2~7	53~60	2~4
		焼入	22.5◇25.3	8~12	53~59	5~7

次表に各國のマグネシウム合金一覧表を掲げる。

加工用マグネシウム合金

種 類	組 成 (%)				加工, 熱處理	抗張力 (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	伸び (%)	ブリネル 硬 度
	Al	Zn	Mn	その他					
エレクトロン VI	10	—	0.2~0.5	—	高温加工(棒)	34~37	25~26	7~9	70
"	"	—	"	—	同, 軟質 "	"	24~26	10~12	60
"	"	—	"	—	同, 硬質 "	38~42	26~30	2~5	85~90
AZM	6~6.5	1	"	—	高温加工 "	28~32	20~22	12~16	55
AZ31	3	"	"	—	" "	25~28	18~20	14~17	48~50
Z1b	—	4.5	—	—	" "	25~27	16~18	15~18	45
SZ	—	1.7	"	1.4Si	" "	23~24	15~16	10~15	44
AZN 503	0.2~0.5	0.5~1	0.1~0.3	—	硬 板	28~32	~	2~3	55
"	—	—	—	—	軟 "	22~25	14~17	14~18	40
AZD	5	3	0.2~0.3	3Cd	硬 "	26~12	~	1~3	70
"	—	—	—	—	軟 "	30~34	21~24	10~12	60
Z3	—	3	—	—	硬 "	28~32	—	2~3	60
"	—	"	—	—	軟 "	23~24	13~15	15~18	42
AN	—	—	1.3	0.04Si	" "	18~20	3~7	—	~

Dow metal の組成, 用途並に物理的, 機械的性質

	Al %	Mn %	Cu %	Cd %	Zn %	用 途
Dow metal "F"	4.0	0.3	—	—	—	展延質と耐蝕性とを要する鑄物鍛造物
Dow metal "E"	6.0	0.25	—	—	—	強力を要する鑄物, 鍛造物
Dow metal "D"	8.5	0.15	2.0	1.0	0.5	複雑の鑄物
Dow metal "T"	2.0	0.20	4.0	2.0	—	熱傳導良き鑄物, 鍛造物

名	規格名稱	國名	成分 %			機械的性質			熱處理狀態	用途	摘要
			Al	Mn	Zn	其他	抗張力 kg/mm ²	伸 %			
エレクトロン V ₁ AZM AZ31 Z1 6	獨	獨	Al	0.2~0.5 0.5 0.2~0.5 0.2~0.5	0.3 (0.6)	Cu (Si)	34~37 38~24	10~12 2~5	60 85~90	軟質	V ₁ V _{1w} Vh All.8914510.3 抗張力 34 34 38 37 37 42
			Mn	0.2~0.5 0.5 0.2~0.5 0.2~0.5	0.3 1	(Si)	28~32	11~16	55	20~22	
			Zn	0.2~0.5 0.5 0.2~0.5 0.2~0.5	0.3 1	(Si)	25~28	10~12	48~50	18~20	
			其他	0.2~0.5 0.5 0.2~0.5 0.2~0.5	0.3 1	(Si)	25~27	15~18	45	1~18	
ダウメタル D E F T	米	米	Al	8.5 6.0 4.0 2.0	0.5	Cu Cd	33.1 30.2 27.4 26.7	7	62 55 53 56		
			Mn	0.15 0.25 0.25 0.3	0.5	—	—	—	—	—	—
			Zn	0.15 0.25 0.25 0.3	0.5	—	—	—	—	—	—
			其他	0.15 0.25 0.25 0.3	0.5	—	—	—	—	—	—
DTD 127 129 142	英	英	Al	<9 <11 <0.2	2 <1.5 <0.2	<1.5 <1.5 Si <0.5 Cu <0.2	<26(19) <11 (5)	<11 (5)	>16(12) >19(14) >13	括弧内の数字は50mm以上の径を有する場合	
			Mn	0.2~1.5	—	—	—	—	—	—	—
AM 4.4 AM 61 S	米	米	Al	4	0.2~1.5	—	29.4~21.5 26 23	11~16 8 16	降伏點 154~182	引き抜き品 3mm 板 鈍 同 機 鈍 壓延(0.5mm) 同 機 鈍 引抜き品	
			Mn	0.2~1.5	—	—	—	—	—	—	—

「マグネシウム」合金一覧表 (「プロペラ」用鍛造品の部)

規格名稱	國名	成分 %			機械的性質			熱處理狀態	用途	摘要
		Al	Mn	Zn	其他	抗張力 kg/mm ²	伸 %			
マグネシウム合金鍛造品 (プロペラ用)	日	5.0~7.0	0.2~0.5	<1.5 省くことを得	不純物 <1.0	>25	>10 軸に直角 >7	>50	指定により行ふことあり	プロペラ翅
ハミルトン HT AZ	米	8.0~8.5	0.2~0.5	0.1~0.5	—	28	7	65	19	疲労限界 10 kg/mm ²

(板の部)

規格名稱	國名	成分 %			機械的性質			熱處理狀態	用途	摘要
		Al	Mn	Zn	其他	抗張力 kg/mm ²	伸 %			
マグネシウム合金板	日	第一種	5.5~7.5	0.2~0.7	<1.5	<1.0	>23 >25 >27 >27	8 10 12 10	(板厚>0.4mm) (0.4~1.0) (1.0~3.2) (3.2~6.0)	AZW に同じ
		第二種	—	<3.0	<1.5	<1.0	>20	3 4 5 4	(板厚<0.4mm) (0.1~1.0) (1.0~3.2) (3.2~6.0)	AM503に同じ
AZM	獨	6~0.5	0.2~0.5	1	Si 0.2	28~32 34~40 19~23	12~14 1~3 7~10	20~22 — 14~17	軟質質質質質	壓延温度 270~330°C
AM 503		—	<3	<1.5	—	28~32 20~24	2~3 10~12	— 13~15	軟質質質質質	
Z 3	獨	<0.7	<0.1	1.5~2.2	Si >0.3	28~32	2~3	—	軟質質質質質	

規格名稱	國名	成分				%	機械的性質			熱處理狀態	用途	摘要
		Al	Mn	Zn	其他		抗張力 kg/mm ²	伸 %	ブリネル 硬度			
DTD118	英	<0.2	<2.5	<0.2	Cu Si Cu Si Cu Si	>17	>7	—	—			
120		<9.0	<1.5	<0.4	0.2, 0.4, 0.3, 0.4, 0.3, 0.4	>25	>10	11	—			
125		<9.0	<1.5	<0.3	0.2, 0.4, 0.3, 0.4	>33	>2	17	—			

(管及材料の部)

規格名稱	國名	成分				%	機械的性質			熱處理狀態	用途	摘要
		Al	Mn	Zn	其他		抗張力 kg/mm ²	伸 %	ブリネル 硬度			
マグネシウム管合金	日	5.5 ~ 7.5	0.2 ~ 0.7	>1.5 (省略し得)	<1.0	>25 27 27	>10 12 10	(管の厚1.0 mm) (1.0~3.2) (3.2~6.0)	引抜のまま 但し250°C 以下にて焼 鈍するも可			
A.Z.M.	獨	6.26	0.27	0.87		35.7 34.1	11.8 13.8	(管の厚1mm) (# 1.5mm)				
マグネシウム形合金	日	5.5 ~ 7.5	0.2 ~ 0.7	<1.5 (省略し得)	<1.0	>23 25 27 27 27	>9 10 12 12 11	(厚>0.4mm) (0.4~1.0) (1.0~3.2) (3.2~6.0) >6.0	特に指定なき 限り行はす但 し250°C以下 にて焼鈍する ことを得			
AM 3S	米		1.3 ~ 2.0			25 19.6 24.5 23	6 14 6 7~10	降伏點 18 9.6 17.5 11~14	壓延板1.6mm # (調質状態) # (調質状態) 鍛造			

		比重	抗張力 (kg/mm ²)	弾性限界 (kg/mm ²)	延伸率 (%)	ブリネル 硬度	衝撃抵抗 (kg-m)	熔融點 (°C)	熱膨張係數 (100-300°C)	熱傳導度 (100-300°C)
砂型鑄物	"E"	1.76	18.2	6.3	8	44	0.84	625	2.9×10 ⁻⁵	0.23
	"F"	1.78	19.6	7.7	7	50	0.57	610	"	0.20
	"D"	1.84	15.4	9.8	2	58	0.32	590	"	0.18
	"T"	1.82	14.8	9.1	3	45	0.44	640	"	0.30
引抜き物	"F"	—	27.3	15.4	16	53	—	—	—	—
	"E"	—	30.0	17.6	11	55	—	—	—	—
	"D"	—	33.0	—	7	62	—	—	—	—
	"T"	—	26.5	16.8	10	56	—	—	—	—

マグネシウム合金の防蝕

マグネシウム合金のあるものは鑄造状態において20kg/mm²内外鍛造状態に於て30kg/mm²以上の抗張力を有し、而かも比重甚だ小なる利點を有するに拘らず海水中では勿論のこと、濕潤せる大氣中にあつても表面に水酸化マグネシウム (Mg(OH)₂) を造つて腐蝕さるゝの缺點がある。之れが此合金を航空機等に用ふるに當つて大なる惱である。故に外氣に接觸する部分は必ず防蝕法を講じて置く必要がある。以上その2~3について述べる。

何れの方法でも豫め表面を清淨にしておかねばならぬ。それが爲には約10%の硝酸液に約10秒位浸漬し、弱アルカリ性で中和後水洗する。清淨完了した物品は直ちに防錆處理に移らねばならぬ。

(イ)重クロム酸法

處理液 (硝酸20 重クロム酸20 水60) 10~40秒間浸漬

仕上液 (重クロム酸カリ2~0 水約100) 水洗後本液に浸漬すれば黄金色の美麗なる皮膜を生ず。

(ロ)セレンウム被膜法

處理液 (酸化セレン4 苛性ソーダ1 水95) 70°~90° で5~30分間浸漬する。

(ハ) 弗化物による電解法

マグネシウム合金を弗化水素 (HF) に浸漬すれば受働態となつて防蝕の目的を達するが弗化水素は取扱が厄介であるから本法が考案された。弗化ソーダを電解液として品物表面に不溶性弗化マグネシウム膜を形成させる。

その他明礬重クロム酸、磷酸鹽法等があるが、何れも單獨に用ひるより適當な順序でそれらの方法を組合せるとよい結果が得られる而して表面被膜には更にラノリン等の如き油脂を塗込んで水をはちかせる様にする。

第十章 錫・鉛・亞鉛及其合金

錫、鉛、亞鉛は何れも白色軟金屬で、之等を主成分とする合金も軟かく、熔融點の低いもので、白色を呈するためホワイトメタルとよばれる。この種の合金は主として軸受用、接合用、活字用、ダイキャスト、硬鉛、可熔合金等として用ひられてゐる。

1. 錫

單體としてはブリキ板、錫メッキ、錫箔、錫器となし、合金としては半田、軸受合金、砲金等となつて用ひられる。

その性質は頗る軟かで展性に富み、箔・板となる。水及大氣中には錆びない。その物理的及機械的性質を次に示す。

物 理 的 性 質		機 械 的 性 質	
色	銀白色	抗張力kg/mm ² { 鑄物 2.8 壓延 2.5~3.5 壓延後焼鈍 1.7~2.7	延 伸 率 % 壓延後焼鈍 40
比 重	7.28		
熔・融 點	231.84°C		
熱膨脹係數	2.234×10 ⁻⁵ (40°C)	硬 度 (ブリネル) 壓延後焼鈍 5	縦弾性係數(kg/mm ²) 4.0~5.5×10 ³
熱傳導度	0.153 (常溫)	斷面收縮率(%) 壓延後焼鈍 75	
電氣比抵抗	1.13×10 ⁻⁵ (常溫)	展 延 性 完 全	加 工 性 相 當
變 態 點	$\alpha \rightleftharpoons \beta \rightleftharpoons \gamma$ 18°C 151°C	鑄 造 性 良 好	
比 熱	0.0551(19~90°C)		

2. 鉛

展性に富むから壓延して板となるが、抗張力小なるため引拔は出來ず、トコロテン式に押し出して線、管とする。

用途としては蓄電池、水道管、ケーブル被覆、建築用等に用ひら

れる外、半田軸受合金、活字合金、弾丸用合金材料として使用される。鉛の物理的及機械的性質を示すと次の如し。

純鉛の物理的性質		純鉛の機械的性質	
色	青色を帯びた灰色	抗張力 kg/mm ²	{ 鑄物 1.3~1.8 壓延物 2.1~2.3 壓延後焼鈍 1.35~1.8
比重	11.32~11.35		
熔融點	327.43°C		
比熱	0.0309(18~100°C)	延伸率(%)	{ 鑄物 18~45 壓延後焼鈍 30~45
熱膨脹係數	2.89×10 ⁻⁵ (0~100°C)		
熱傳導度	0.0830(常溫) C.G.S	断面收縮率(%)	壓延後焼鈍 100
電氣比抵抗	2.0×10 ⁻⁵ (常溫)ohm-cm	展延性	完全
		加工性	切裁は困難
		鑄造性	良好

3. 亞鉛

亞鉛は常溫では、非常に脆いが 100°~150° では薄板に加工出来る。亞鉛は空氣中では表面の酸化膜の爲、腐蝕は進行しない。亞鉛はイオン化傾向大で他の金属と共存するとき自身がイオン化して他金属の溶けるのを防ぐ。之を利用して鐵板、鐵線に鍍金し、又ボイラー中に亞鉛をつるしてその腐蝕を防ぐ。

用途としては亞鉛鍍金をし、眞鍮、ホワイトメタル、輕合金、ダイカスト合金等として用ひられる。

物理的性質		機械的性質	
色	青味を帯びた銀白色	抗張力 kg/mm ²	{ 鑄物 4.7 壓延物 8~24 壓延後焼鈍 15~20
比重	7.04~7.16		
熔融點	419.4°C		
沸點	906°C	延伸率(%)	{ 鑄物 5以下 壓延物 18.5 壓延後焼鈍 30
熱膨脹係數	2.918×10 ⁻⁵ c. g. s.		
熱傳導度	0.265(常溫)ohm-cm	硬度(ブリネル)	壓延後焼鈍 35~50
電氣比抵抗	6.00×10 ⁻⁶ (〃)	展延性	相當
		加工性	〃
		鑄造性	〃

4. 軸受合金

一般に用ひられる軸受合金を分類すると次の如くなる。

(I) ホワイトメタル

(イ) 錫基 ホワイトメタル

(ロ) 鉛基 〃

(ハ) 亞鉛基 〃

(ニ) 鉛—アルカリ並にアルカリ土金属合金

(ホ) 鉛銅アンチモン合金

(II) 赤色合金

(III) 軸受用青銅

(IV) 軸受用輕合金

軸受合金として必要な性質は

1. 荷重に耐へるため常溫に於いては勿論100°C 位の溫度にても相當の硬度と抗壓力を有すること。
2. 軸に馴染み易き様適當の粘性があり、衝撃振動に耐へる爲に充分な靱性をもつこと。
3. 比熱熱傳導率の大なること。
4. 鑄造容易なこと。
5. 摩擦係數小、磨耗抵抗大なること。
6. 潤滑劑その他により侵されないため耐蝕性を有すること。
- 7 安價なこと。

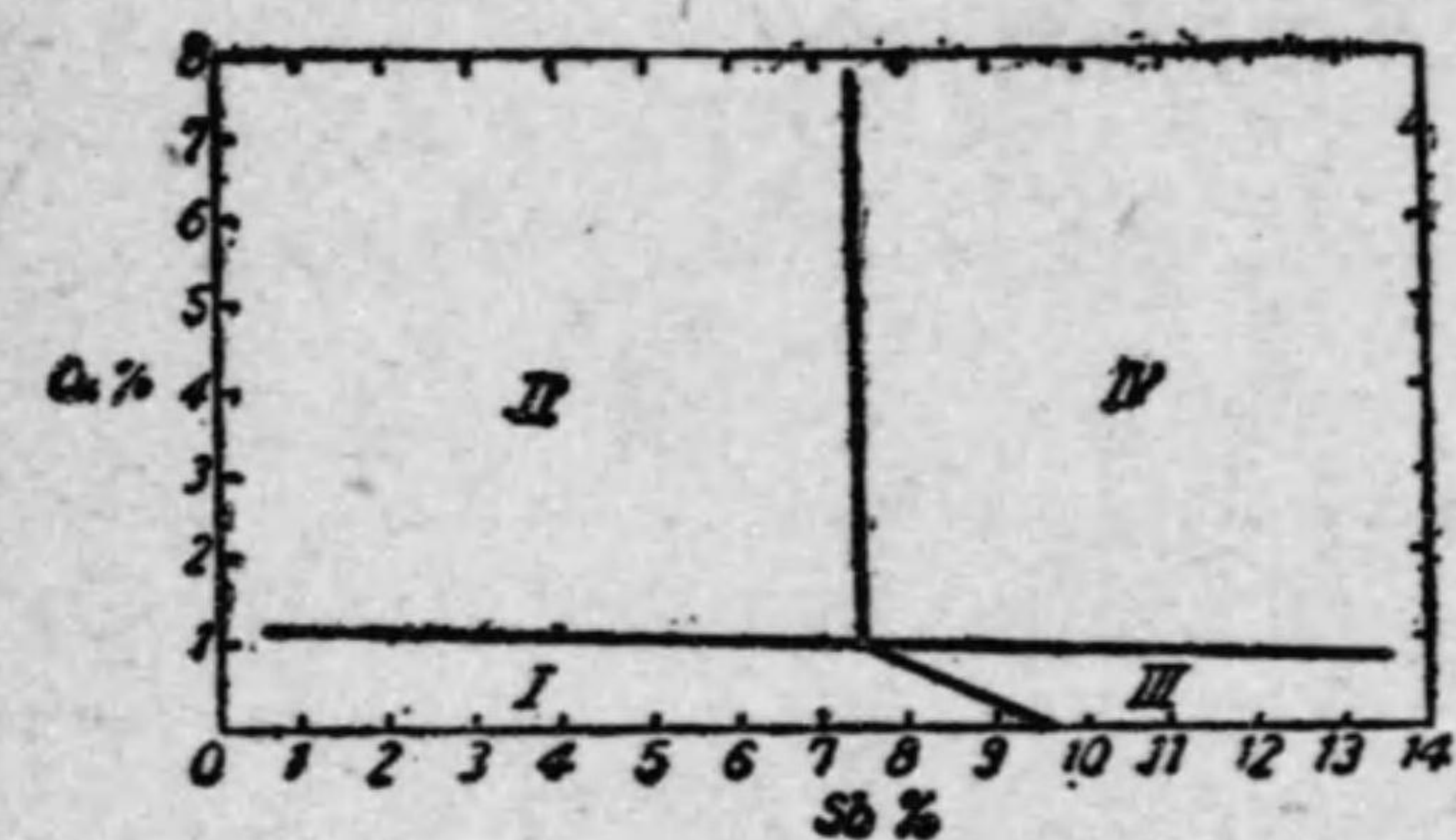
錫基ホワイトメタル

1839年米のBabbitの發明に係り、實に軸受用ホワイトメタルの濫

鑄で一名 Babbit Metal とも云ふ。

銅3~8, アンチモン 3~15%, 残り錫より成る合金で航空發動機に使用するものは銅, アンチモンの出来るだけ少い軟質ホワイトメタルである。

この合金を軸受として使用するときには青銅, 鋼等の内面に裏張をして用ひる。内燃機関のクランク軸受等常に爆発による瞬間的壓縮

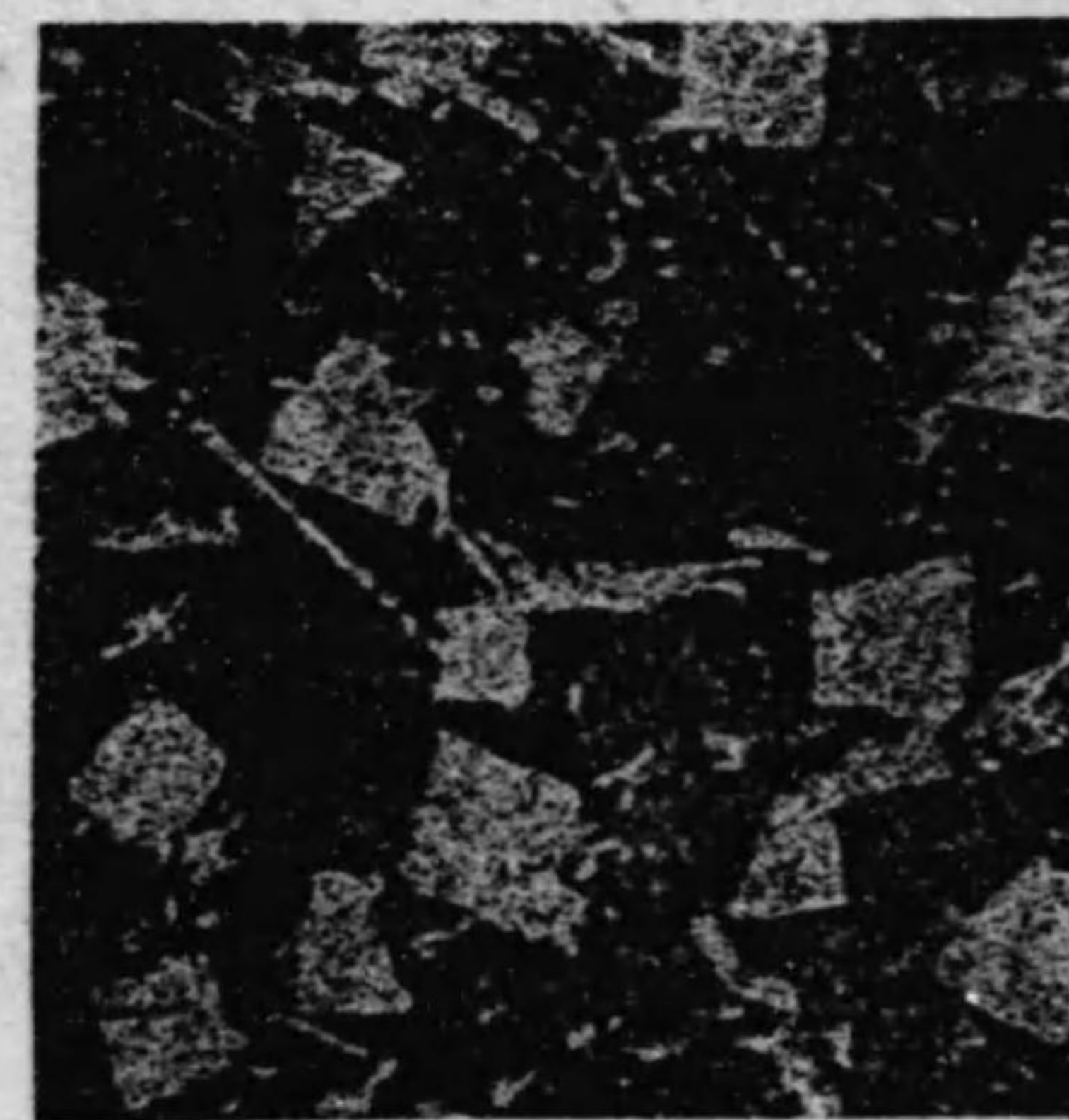


第 65 圖

荷重を受けるものであるから相當な耐衝撃, 耐抗壓性を有せねばならぬ。

錫にアンチモン, 銅を合金したとき組成と組織の関係を第65圖に示した。

- I 亞共晶組織 (共晶組成により) 主成分を多く含む合金の組織で共晶と錫—アンチモン—銅三元固溶體よりなる。
- II 過共晶組織 (共晶組成より主成分を少く含む合金の組織) で共晶と針狀の ϵ 相 (Sn Cu) と三元固溶體とよりなる。耐壓抗力最大なり。
- III I + 方形の β 相 (Sb_3Sn_4) より成る。
- IV II + 方形の β 相よりなる。第66圖はこの範圍内に組成の合金の



第 66 圖

15%Sb, 5%Cu, 殘 Sn
四角の白い結晶は化合物 SnSb, 細い白い結晶は Cu を含む化合物, 黒い地は共晶及三元固溶體

組織である。

ホワイトメタルの耐壓抗力はその組織によつて影響せられる, 又組織は冷却速度に依つて著しく變化する故 (1)鑄込温度 (2)金型豫熱温度 (3)軸受合金の豫熱温度等に注意せねばならぬ。

次表にこの合金の各種の規格を示さう。

品名	Sn	Sb	Cu	ソノ他	ブリネル硬度	用途
陸軍規格	86~96	4~7	4~6	Pb<0.35	34.4	軸受合金
同上	87~95	4~7	3~5	Fe<0.08	—	減磨用合金
海軍白色合金	84~90	8~9	2~7	Bi<0.08	—	蒸氣タービン電動機
鐵道省規格	88±1	11±1	6~0.6	As>0.1	31	發動機 關車用

鉛基軸受

鉛を主成分としSb10~20%, Sn5~15%を含むものが用ひられ, 錫基のものに較べると, 強度及硬度に於て遙に劣るが安價であるから代用品として廣く用ひられてゐる。

組織は錫基のもの如く化合物が目立たない。

次表は内外のこの種の合金である。

品名	Pb	Sn	Sb	Cu	As	ブリネル硬度	用途
海軍白金合金	殘	4~12	9~15	—	—	—	汽車車軸用
A. S. T. 標準	85	5	10	<0.5	0.2	—	中位の速度荷重に耐ふ
同上	63.5	20	15	<1.5	—	31.3	汽車車軸
同上	75	10	15	0.5	0.2	—	高速度傳導軸
インダメタル	76.5	8	15	0.5	—	—	船舶用
同上	70	15	15	—	—	—	汽車車軸用
同上	70	10	20	—	—	31	

錫基と鉛基の中間合金も亦重要で鉛基合金より稍大なる荷重用として相當使用せられて居る。

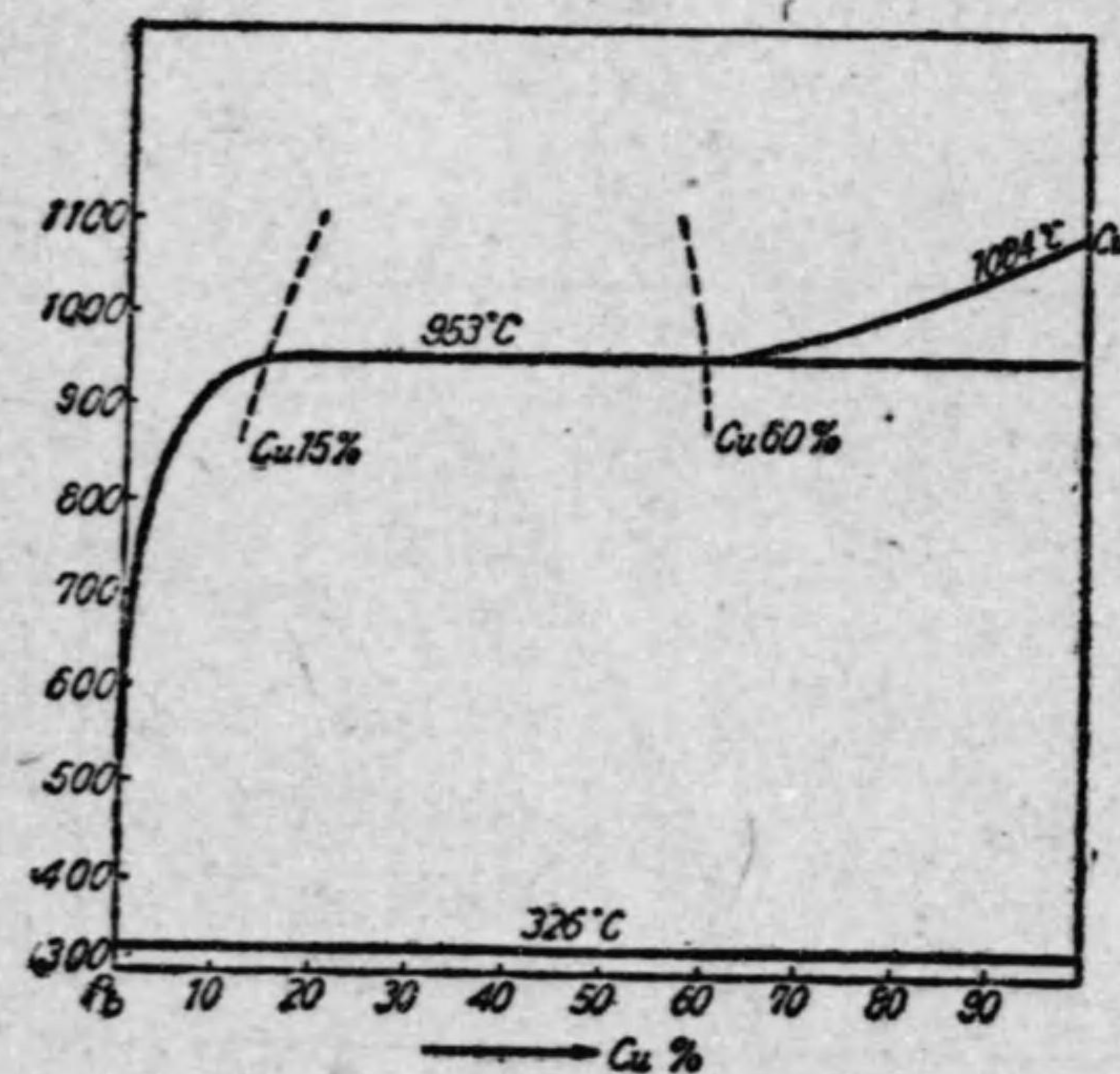
亞鉛基軸受

亞鉛に銅、錫、鉛、アンチモン等を加へたものが用ひられるが、脆くて龜裂を生じ易く、硬すぎて軸を傷つけるが、安價で、抗壓力の要する所に用ひられる。

赤色合金

内燃機關の出力を増大せん爲には軸回轉數、壓縮比を増大せねばならぬ、従つて軸荷重は必然的に増大する。然るときは軸受合金として従來のホワイトメタルでのまゝでは不充分で、種々の故障が生じ易く壽命の短くなるのは當然である。

この要求に應へて使用され初めたのが赤色合金である。この合金もホワイトメタルと同様合金の内面に裏張りして用ひる。その成分は銅—鉛系統で製法及び性質に関する研究は相當古く己に1900年に

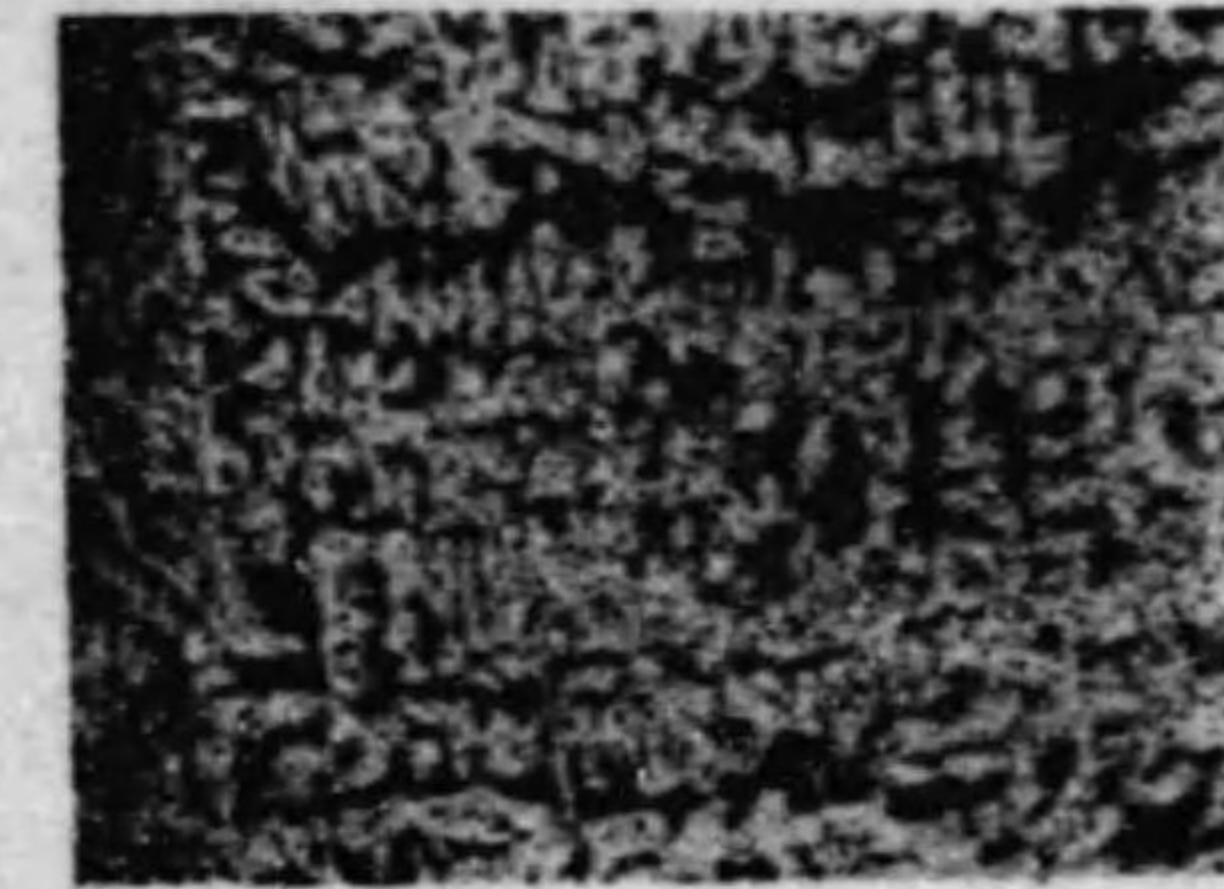


第 67 圖 Cu-Pb系状態圖

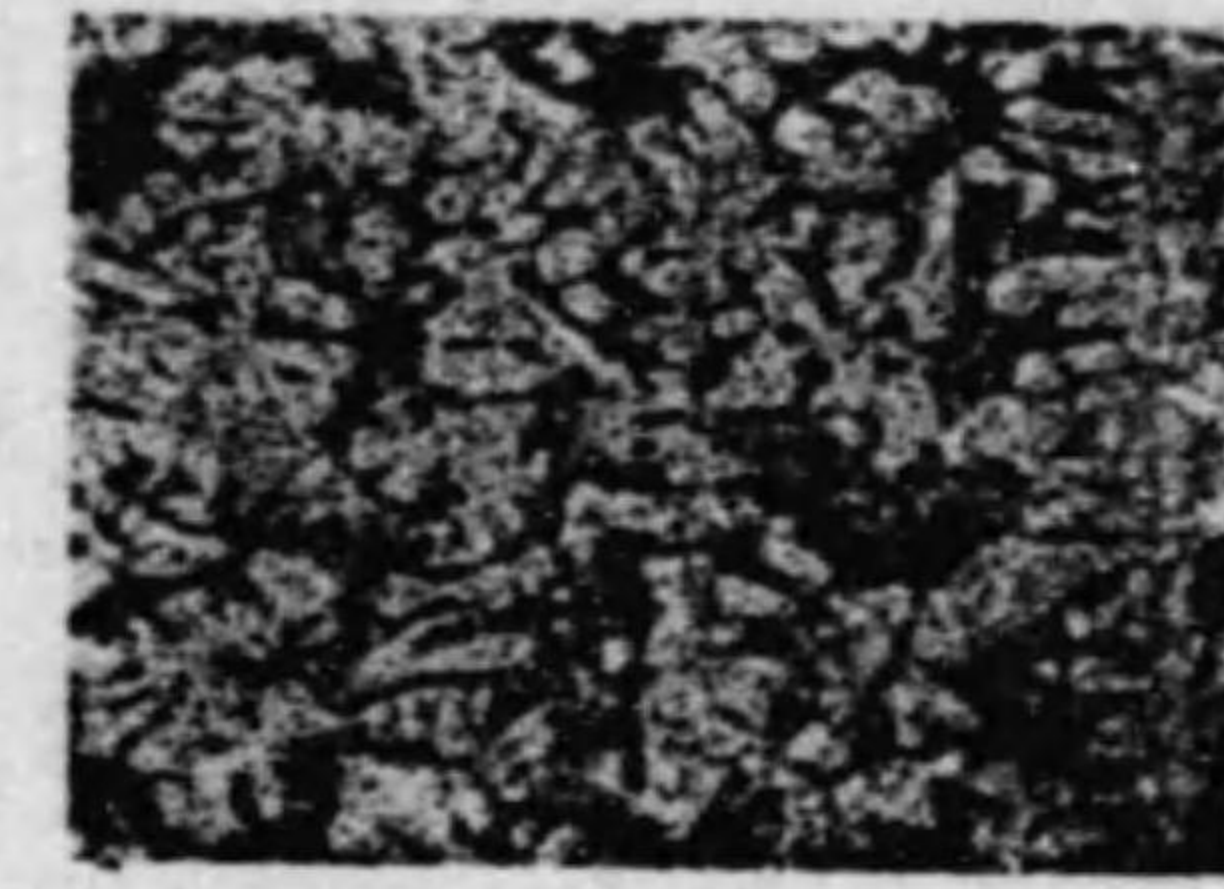
Allan Redmetal として市場に出てゐた。

銅と鉛とは左圖に示すやうに全然溶解度はなく單に機械的に混合するだけで眞の意味の合金ではない。故にこの合金を熔融状態より徐々に冷却すると比重の重い鉛は沈み比重の軽い銅は上部に浮き二層

に分れて凝固する。軸受合金として役立つためには銅と鉛が各々微粒状態で一樣に混在した組織であることが望ましい。この種の合金の代表的なものはケルメット（鉛30%殘餘銅）でその顯微鏡組織を第68~69圖に示す。



第 68 圖 普通鑄造したもの



第 69 圖 遠心鑄造したもの

圖は黑色部が鉛で、白色部が銅である。寫真で見ると銅基地中に、鉛が散在して銅基地の續きを害しないことが肝要である。もし連絡を絶つときは熱の銅を傳つて逸散することを妨げ、溫度上昇によつて粒子別離の原因となる。

以上述べた所から想像出来るやうに本合金はその製作が甚だ困難で多數の特許がある。B. M. W式遠心鑄造法、熔劑との置換鑄造法等々である。現今用ひられてゐる方法は大體次の方法に二大別出来る。

1. 軟鋼製軸受外殼内面に此の合金を鑄造する法。
2. 軟鋼條の表面にこの合金を鑄造してバイメタルを作り之を軸受の形に作り嵌めこむ法。

ケルメットは以上の如く鑄造法困難なるも能く高荷重、高速度に耐へ従つて軸承面積及び重量の減少を可能ならしめ、又表面にある鉛が滑磨劑の作用をなし、油膜消滅するも直ちに燒付を生じない。

故に近來噸に航空機，自動車，ディーゼル機関等の軸受に賞用されるに至つた。

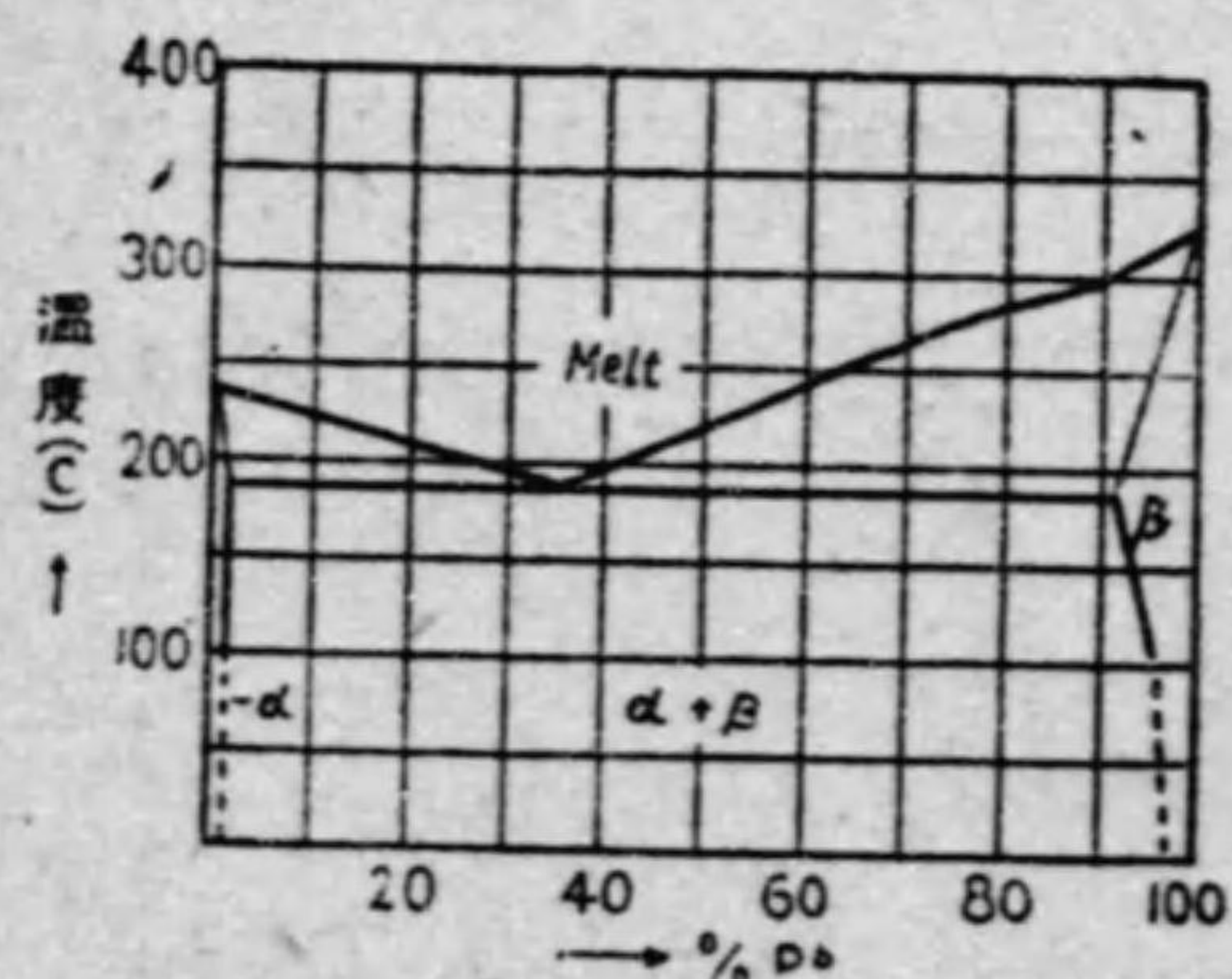
軸受用青銅

バビットメタルが發明される以前は軸受メタルは總て銅を主成分としたものであつた。現在でも廣く用ひられてゐる青銅，鉛青銅，磷青銅，黄銅等はこれである。硬度が高く馴染み難く摩擦抵抗も大きいから軸受としての壽命は長いが半面軸を傷つけ易く軸に焼入焼戻操作を施さなくては使用し得ないものもある。

軸受合金として鑄物の状態で用ひるから組織には硬軟兩質がある一般に銅台軸受合金には硬質部分の方が軟質部分より多い。この際硬脆な相が多くなると不可いから（第37圖参照）錫の含有量は15%以下なることが必要である。

5. 接合用合金

鑄付には硬鑄を用ひるものと軟鑄を用ひるものとの二種がある。



第 70 圖 Sn-Pb

I 軟鑄；之は低温合金でトタン，ブリキ，真鍮板等の製品の接合に用ひる。普通Sn-Pb合金の半田を用ひる。この合金は圖の如くSn62%で共晶を作る。普通はSn40~50%のものを用ひるがその用途及び熔融點より種々の組成のものを作る。

軟鑄に関するドイツDIN規格を次表に示す。

名 稱	Sn%	Pb%	熔融點 °C	ブリネル 硬 度	用 途
Sn L 25	25	75	—	—	熔 鑄 接
Sn L 30	30	70	—	14.5	建築及粗大なる鑄接
Sn L 33	33	67	—	—	亜鉛板及トタン板用
Sn L 40	40	60	242	15.8	真鍮及ブリキ用
Sn L 50	50	50	216	15.0	" (各種メーター用)
Sn L 60	60	40	192	14.6	熔け易き金屬接合用電氣精密鑄付
Sn L 90	90	10	217	13.3	衛生上の考慮を拂ふべき食器用

II 硬鑄；軟鑄に比し強さ，硬さの大なるもので，高温で熔融する。次の四種に分類出来る。

- (イ) 真鍮鑄；Zn67~34%の真鍮で熔劑には硼砂を用ひ，真鍮，銅，鐵の鑄接に用ふ。
- (ロ) 洋銀鑄；強力で熔融點が高いから洋銀，鐵鋼の細い細工の鑄接に用ふ。成分一例 Cu 35% Zn57% Ni 8%
- (ハ) 銀鑄；金銀細工及真鍮，銅，鐵，鋼等にも用ひられる。成分は大體 Ag—Cu，Ag—Cu—Zn 系合金で，次の如きものが用ひられてゐる。

	Cu %	Ag %	Zn %
普通の銀硬鑄	20	80	
銅 用	25	75	
不 銹 鋼 用	30	45	25

(ニ) アルミニウム鑄；近時アルミニウムの鑄付が盛になつて來た。Al—Si合金が最もよく用ひられてゐる。熔劑にはハロゲン化合物が用ひられる。アルミニウム鑄は大體次の如し。

Al %	Si %	其 他 %	m.P.°C	摘 要
95	5		630°	アルミニウム板に適當
93	7		610°	
—	5	デユラルミン95	580°	デユラルミン専用
65	3.5	Cu 31.5	540°	

アルミニウム鐵は未だ研究時代で、改良すべき點は次の如し。

1. 耐蝕性 2. 流動性 3. 熔劑

6. 活字用合金

この目的に使用される合金は次の如き條件が要求される。

1. 流動性よく鑄造し易い事。
2. 凝固に當つて收縮率小さく、寧ろ稍膨脹する位で、精密な鑄物の出来ること。
3. 硬度が相當高く磨滅し難いこと。

その成分はPb60~90%, Sb10~30%, Sn0~20%で、本邦に於いては、その組成を秘密にしてゐる所が多いが、青木氏の研究結果によれば次表の如し。

合金の用途	成 分 %			融 點 °C	ブリネル 硬 度
	Pb	Sn	Sb		
一 般 活 字 用	74	21	5	311	26.5
"	80	17	3	284	23.5
邦文モノタイプ用	80	15	5	260	22.5
歐文セノタイプ用	80	15	5	260	22.5
鉛 板 (紙型版) 用	71	17	12	276	30.0
"	88	14	8	260	26.0
込 物 用	73	16	1	277	21.0
裏 付 用	89	8	3	272	18.5

7. 硬 鉛

鉛に硬度を増す目的でアンチモンを加へた合金で、著しく硬くなつて居り、耐蝕性に富む。成分、用途を次表に示す。

成 分		用 途
Sb %	Pb %	
1	殘	電 纜 被 覆 用 管
5	"	小銃ピストルの彈身
5~8	"	電 池 の 鉛 棒
14	"	榴 散 彈 々 子
10~15	"	硫 酸 用 管 及 瓣

8. ダイカスチング用合金

前章アルミニウム合金鑄物の項でこの合金の特質を述べた。この目的に使用されるものに亞鉛、錫、鉛、アルミニウム、銅を主成分

とするものがある。製品種目は自動車、航空機、艦船、車輛の部品、光學機械、家具等非常に廣範圍に及んでゐる。

その中亚鉛系のものが最も多く用ひられてゐる。

1. 鉛を主成分とするもの

組成: Pb(80)—Sb(20) Pb(75)—Sn(10)—Sb(15)

用途: 荷重の少い軸受 ポンプの羽根車

2. 錫を主成分とするもの

Sn 87.5 Sb 6.75 Cu 5.75

軸受合金 食 器

3. 亞鉛を主成分とするもの

錫、銅、アンチモン、アルミニウム、鉛等を加へ強さ、鑄造性を増す。熱及濕氣に基く腐蝕を防ぐために、之に0.1% Mg又はLiを加へ、純度の高い亞鉛を用ひるやうにすればよい。

この合金は硬く且脆くして其の抗張力も12kg/mm² にすぎない

が、鑄造容易で廉價であるので、廣く使用される。使用前 120° ~ 150° で焼鈍して内部應力を除く必要がある。普通鍍金を施す。その組成の一例を示さん。

名 稱	成 分			
	Zn	Cu	Al	Mg
Fenax	93	4	3	0.00
Zamak 2	93.1	2.4	4.1	0.03
Zamak 3	95.8	—	4.1	0.04

4. アルミニウムを主成分とするもの、前章参照。

4. 銅基のもの

管の接手等に用ひられる。次表にその成分を示す。

名 稱	Cu	Zn	Si	Pb	Al	Ni	Sn
真 鍍	58~56	40	—	1~2	0.1	—	—
珪 素 銅	80~81	15~16	4~5	—	—	—	—
アルミ青銅	90	—	—	—	10	—	—
錫 青銅	78	8	—	8	0.05	1	5
マンガン "	57~59	40~42	—	0.75	0.1	0.25	0.5~1.5
ニッケル "	55~64	22.4~17.4	—	Fe0.35	—	18	—

9. 可熔合金

鉛、錫、ビスマス、カドニウム等の共晶組成をとれば熔融點の極めて低い合金が得られた。

之は電気ヒューズ、防火栓、汽罐の融け線、模型製作等に用ひられる。次に數例を挙げよう。

1. newton's alloy Pb 32% Sn 16% Bi 25% 熔融點 94°C
2. Rose's alloy Bi 2~8部 Sn 1~3部 Pb 1~8部 " $94\sim 97^{\circ}\text{C}$
3. Wood's alloy Cd 1~2部 Sn 2部 Pb 4部 Bi 5~8部 " $60\sim 72^{\circ}\text{C}$

昭和十七年三月十日 印刷

昭和十七年三月十五日 發行

金 屬 材 料

定價 金壹圓貳拾錢



著 者 茨 木 正 雄

大阪市大正區泉尾竹之町三ノ一三

發行者 中 西 儀 藏

大阪市東區博愛町一丁目六五

印刷所 八 ッ 橋 印 刷 所

發行所 大 石 堂 出 版 部

會員番號 116040

大阪市大正區泉尾竹之町三ノ一三

配給元 日本出版配給株式會社

東京市神田區淡路町二丁目九番地

機 工 學 會 編

著 者	品 目	形状頁數	定價	送料
機工學會編	力學及材料強弱學	A列 ₅ 136	1.10	.06
同	機 構 學	" 120	0.90	"
同	材料及工,作法 前編	" 140	1.10	"
同	同 後編	" 150	1.15	"
同	水力及水力機械	" 190	1.45	"
同	汽 力 原 動 機	" 150	1.15	"
同	內 燃 機 關	" 150	1.20	"
同	實 用 器 畫 法	A列 ₄ 62	.75	"
同	基本機械製圖	" 132	1.50	.12
同	機 械 工 學	A列 ₅ 226	1.50	.09
同	工 業 數 學	" 192	1.00	.06
其他機械工學ニ關スル教科書				
小谷寛之亮氏著	航 空 力 學	A列 ₅ 150	1.20	0.6
茨木正雄氏著	金 屬 材 料	" 150	1.20	"
山本次男氏著	工 業 力 學	" 420	3.00	.21
菅 是 敬 氏 著	最新機械工學教本	" 220	1.60	.09
同	最新機械製圖教本	A列 ₄ 104	1.25	.12
同	同 增 補 版	" 130	1.40	.12
茨木正雄氏著	航空機材料 前編	A列 ₅ 125	1.00	.06
陶山誠太郎氏著	新 工 業 簿 記	" 250	1.70	.09
二川道次氏著	最新解析微分積分學	" 360	3.00	.15
小泉庄司氏著	初 等 力 學	" 112	.75	.06

電 教 社 編

著 者	品 目	形状頁數	定價	送料
電教社編	交 流 理 論	A列 ₅ 98	.60	.06
同	電 氣 磁 氣	同 125	.90	"
同	電氣磁氣測定法並器具	同 115	.85	"
同	送 電 配 電	同 95	.75	"
同	電 氣 工 學	同 160	1.20	"
同	電燈照明並電熱工學	同 140	.98	"
同	電 氣 材 料	同 90	.70	"
同	電 氣 鐵 道	同 72	.70	"
同	發 電 所 及 原 動 機	同 182	1.35	"
同	直 流 機 械	同 100	.75	"
同	交 流 機 械 前編	同 125	.90	"
同	交 流 機 械 後編	同 105	.80	"
同	有線無線電信電話	同 129	.90	"
同	電 氣 機 械	同 320	2.00	.12
同	電氣應用一般	同 320	2.00	"
同	電氣理論及測定法	同 320	2.00	"
其他機械工學ニ關スル教科書				
山中新造氏著	中 等 電 氣 工 學	A列 ₅ 90	.40	.09
澤淵定矣氏共著 山中新造氏著	中 等 電 氣 磁 氣	同 240	1.35	.06
同	中等電氣磁器(增補版)	同 290	1.70	"
一色要氏著	中 等 無 線 工 學	同 190	1.20	"
藤本永三氏著	電氣磁氣學綱要	同 214	1.50	.12
松井弘氏著	最新刊 _{基本中學} 電氣製圖增補版	A列 ₄ 126	1.40	"
同	最新電氣測定	A列 ₅ 232	1.50	"
青木武氏著	最新刊電燈照明	同 210	1.60	"
同	最新電熱及蓄電池	同 120	.90	.06

