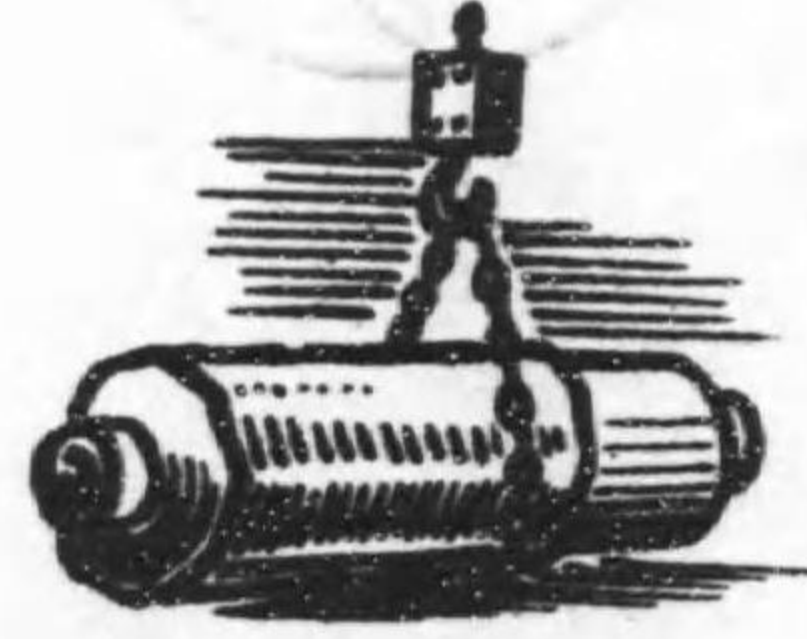


始



金屬材料

1



實業教育振興中央會

503
201

特.217
87

昭和21年8月21日

文 部 省 檢 定 済

實業學校實業科用

Approved by Ministry of Education

(August 7, 1946)



金屬材料

1



實業教育振興中央會

50-20/

目次

序 言	1
第 1. 總 説	2
1. 概 説	2
2. 純金屬の凝固と結晶	7
3. 純金屬の顯微鏡組織	8
4. 結晶粒の大きさと形状	9
5. 純金屬の結晶粒の構造	11
6. 金屬の變態	13
7. 合 金	14
8. 金屬と合金の再結晶	17
第 2. 金屬と合金の性質	18
1. 物理的性質	19
2. 化學的性質	24
3. 機械的性質	25
4. 溫度による機械的性質の變化	30
5. 工作的性質	33
6. 機械的性質に及ぶ作業の影響	33
7. 金屬材料の破壊する狀況	46
第 3. 機械的性質の試験法	47
1. 抗張試験	48
2. 壓縮試験	57
3. 硬さ試験	58

4.	衝撃試験	67
5.	疲れ試験	70
6.	匍匐試験	72
7.	その他の試験	74
8.	異常温度における試験法	77
第4.	銅と銅合金	77
1.	銅	78
2.	黄銅	81
3.	特殊黄銅	85
4.	青銅	88
第5.	ニッケルとニッケル合金	97
1.	ニッケル	97
2.	ニッケル銅合金	98
3.	ニッケル銅亜鉛合金	99
4.	電気用ニッケル合金	100

序言

金属は、石器時代について銅器時代又は青銅時代と呼ばれる有史以前から生産され利用されてきた。しかしそんな太古時代の金属は、天然に金属元素として存在したものか、又は鉱石から容易に抽出することのできた金・銀・銅・鉛・錫・鐵などの数種に過ぎなかつた。その後次第に他の金属が発見されて、遂に鐵が特に大量に生産・利用される近代の鐵器時代になつたのであるが、その間の發展は誠に遅々たるものであつた。それが急激に進展して今日の盛況をみるやうになつたのは、實に最近數十年間のことである。

文化の發達は各種の機械・器具・運輸・交通・建築・土木その他かすべての産業の基礎的資材として、金属材料を最も多く要する。適材適所といふことはどの場合にも必要であるが、金属材料の場合には特にその必要を強く感ずる。適當な材質の金属材料を、適當な用途に當てることが必要なばかりではなく、材料の加工や熱處理を適切・確實にすることが又非常に大切である。加工や熱處理がわるければ材料のもつてゐる性質を十分に生かすことはできない。用途に合つた最も適當な材料を用ひないとか、材料の種類は適當でも加工や熱處理が適切でないとかの場合には、決してよい製品は出來上らない。

この科目では、國民生活や産業に重要な金属材料に関する

基礎的な考察・処理を修練し、實務に當つてその選擇・處理をあやまらず、質の改善・向上と平和産業の發展とをはかるのが目的である。

第 1. 總 說

1. 概 說

金屬材料とは、工業上種々の方面に材料として用ひられる金屬と合金との總稱である。金屬は約 90 種の元素中過半數を占めてゐるが、工業上廣く用ひられてゐるものは 20 數種である。その主なものは鐵・銅・アルミニウム・亜鉛・鉛・錫・ニッケル・クロム・マンガン・タングステン・モリブデン・マグネシウム・コバルト・アンチモン・白金・蒼鉛・カドミウム・水銀・バナジウム・ジルコン・ロジウム・イリジウム・ベリリウム・タンタラム・チタン・金・銀などである。このほか需要は少いが、特殊の用途に缺くことのできない稀有金屬類がある。

鐵はこれらの金屬中で資源が最も豊富である。随つて産出量も多く値段も安くその上丈夫であるから、金屬材料中最も重要で且つ大量に用ひられる。

鐵以外の金屬を總稱して非鐵金屬といひ、非鐵金屬を主成分にする合金を非鐵合金といふ。非鐵金屬中比重の小さいもの、即ち軽いものを輕金屬、輕金屬を主成分とした輕い合金を輕合金といふ。又金・銀・白金などのやうに、産出量が少

第 1・1 表 主な元素の記號と原子量

原子 番號	元素の名稱	記號	原子量	原子 番號	元素の名稱	記號	原子量
47	銀	Ag	197.880	42	モリブデン	Mo	96.0
13	アルミニウム	Al	26.97	7	窒素	N	14.008
33	砒素	As	74.91	11	ナトリウム	Na	22.997
79	金	Au	197.2	41	ニオブ	Nb	93.3
5	硼素	B	10.82	28	ニッケル	Ni	58.69
56	バリウム	Ba	137.36	8	酸素	O	16.000
4	ベリリウム	Be	9.02	76	オスミウム	Os	191.5
83	蒼鉛	Pb	209.00	15	磷	P	31.02
35	臭素	Br	79.916	82	鉛	Pb	207.22
6	炭素	C	12.00	46	パラジウム	Pd	106.7
20	カルシウム	Ca	40.08	78	白金	Pt	193.23
48	カドミウム	Cd	112.41	88	ラジウム	Ra	225.97
58	セリウム	Ce	140.13	45	ロジウム	Rh	102.91
17	塩素	Cl	35.457	16	硫黄	S	32.06
27	コバルト	Co	58.94	51	アンチモン	Sb	121.76
24	クロム	Cr	52.01	14	珪素	Si	28.06
29	銅	Cu	63.57	50	錫	Sn	118.70
9	弗素	F	19.00	38	ストロンチウム	Sr	87.63
36	鐵	Fe	55.84	73	タンタル	Ta	181.4
1	水素	H	1.0078	52	テルル	Te	127.61
2	ヘリウム	He	4.002	90	トリウム	Th	232.12
80	水銀	Hg	200.61	22	チタン	Ti	47.90
77	イリジウム	Ir	193.1	81	タリウム	Tl	204.39
53	沃素	I	126.92	92	ウラン	U	238.14
19	カリウム	K	39.096	23	バナジウム	V	50.95
3	リチウム	Li	6.940	74	タングステン	W	184.0
12	マグネシウム	Mg	24.32	30	亜鉛	Zn	65.38
25	マンガン	Mn	54.93	40	ジルコン	Zr	91.22

く、美しい色澤があり、化学的影響を受けにくい金属を貴金属といひ、その他の金属を卑金属といふ。なほ資源がごく少ない金属を稀有金属と呼ぶ。

ここでは主に機械その他の構造に用ひられる金属材料について学ぶのであるが、これらの構造材料で、前述の諸金属のうち単體即ち純金属のまま用ひられるものは、銅・アルミニウム・亜鉛・錫・鉛ぐらゐで、ほかの金属の多くは合金として用ひられる。合金として多く用ひられるものは、鐵・銅・アルミニウム・鉛・錫などであつて、他の金属は副成分としてその適量を主體金属に配合する。

(ア)鐵を主體とするもの 鑄鐵・炭素鋼・特殊鋼

(イ)銅を主體とするもの 黄銅・青銅その他の銅合金

(ウ)アルミニウムを主體とするもの ジュラルミンその他の輕合金

(エ)鉛と錫とを主體とするもの 軸受合金・鑄用合金(ハンダ)・可熔合金

などにして用ひられ、これらが金属材料の大部分をなしてゐる。又合金にごく微量の或る種の元素を加へることによつて大きな効果をあげるものがある。たとへば、銅におけるバナジウム・ジルコン・ニオブ、青銅における磷、輕合金におけるチタンなどがそれである。

合金とは1種の金属と1種又は2種以上の金属又は非金属とが混合・熔解・化合して強固に集結し、金属としての諸性

質をそなへてゐるものをいふ。2成分から成るものを二元合金、3成分のものを三元合金、それ以上を四元合金・多元合金などといふ。合金には單體の金属では得られないやうな種類の違つた性質のものが得られるので、金属は多くの場合合金にして用ひられる。合金は今後なほ大いに研究される餘地があり、限られた資源をもつて最大の効果をあげ得るやうに製鍊法・加工法・熱処理法などを調べると共に、他方には、大量で用途が多い安價な材料や、優秀な性質をもつ合金などの發明に進んで力を注ぎ、又貧鑛を最も有効に利用するやうに努めなければならない。

次に合金に関する基本用語を調べてみよう。

やや多量の食塩を水の中に入れておくと、食塩はそのときの温度において溶けるだけは水の中に溶け、飽和食塩水と餘分の食塩と水蒸氣との三つの部分に分れる。これを不均一系といひ、この各部分の内部はそれぞれ状態が一様であるが、各部分の間にははつきりとした境目がある。このやうに性質が一様であつて、はつきりした境目のある各部分の内部を相といふ。即ちこの場合には、食塩と食塩水と水蒸氣との三つの相が出来てゐるので、その状態によつてそれぞれ固相・液相・氣相といふ。この場合は食塩と水との系といひ、2成分から成つたものであるから二成分系といふ。食塩と水との相互の量の割合を濃度といふ。濃度は%で示し、これには重量%、モル%、體積%などがあるが、普通は重量%を用ひる。

第1・2表 単體金屬の物理的性質

金 屬	比 重 ($\pm 0^\circ\text{C}$)	融 點 ($^\circ\text{C}$)	膨 脹 係 數 (20°C) $\times 10^{-6}$	比 熱 (cal/g)	熱 傳 導 率 (cal.C.G.S.)	導 電 率 (銅=100)
亜 鉛	7.12	419.45	33	0.0931	0.270	29.3
アルミニウム	2.70	660	23.03	0.24	0.435	61.5
アンチモン	6.69	630.5	11.4	0.0495	0.0444	
カドミウム	8.64	320.9	29.8	0.0543	0.223	
金	19.3	1063.0	14.2	0.0803	0.707	70.2
銀	10.5	960.5	18.9	0.0506	0.996	104.7
タングステン	7.1	1650 ~1920	8.2	0.100		
コバルト	8.8	1490	12.3	0.103	0.163	
ニッケル	7.28	231.9	20	0.0559	0.157	
鉛	9.80	263	13.3	0.0298	0.0200	
タンタム	19.1	3400	4.5	0.0340	0.38	31.5
鉄	7.86	1530	11.7	0.119	0.148	14.8
銅	8.93	1083	16.6	0.0951	0.927	100
鉛	11.34	327.4	29.1	0.0310	0.0942	
ニッケル	8.85	1455	12.8	0.115	0.140	22.7
白金	21.4	1773.5 ± 1	8.9	0.0323	0.166	13.4
マグネシウム	1.74	650	25.6	0.246	0.370	36.6
マンガン	7.3	1247	23	0.122		
モリブデン	10.2	2620 ± 10	5.5	0.0723	0.35	28.0

合金でも、食塩と水の場合と同様である。たとへば銅=ニッケル系の合金では、銅とニッケルとは固體の状態では互いに熔け合った均質な一つの相から成りたつてゐるが、銅鉛系合金では、銅と鉛とは固體状態では殆ど互いに熔け合はないか

ら、單體の銅と單體の鉛との二つの相から成りたつてゐる。

合金を構成する金屬を成分金屬といふ。たとへば黄銅の成分金屬は銅と亜鉛とである。成分金屬とそれらの割合とを表すには、組成といふ言葉を用ひる。

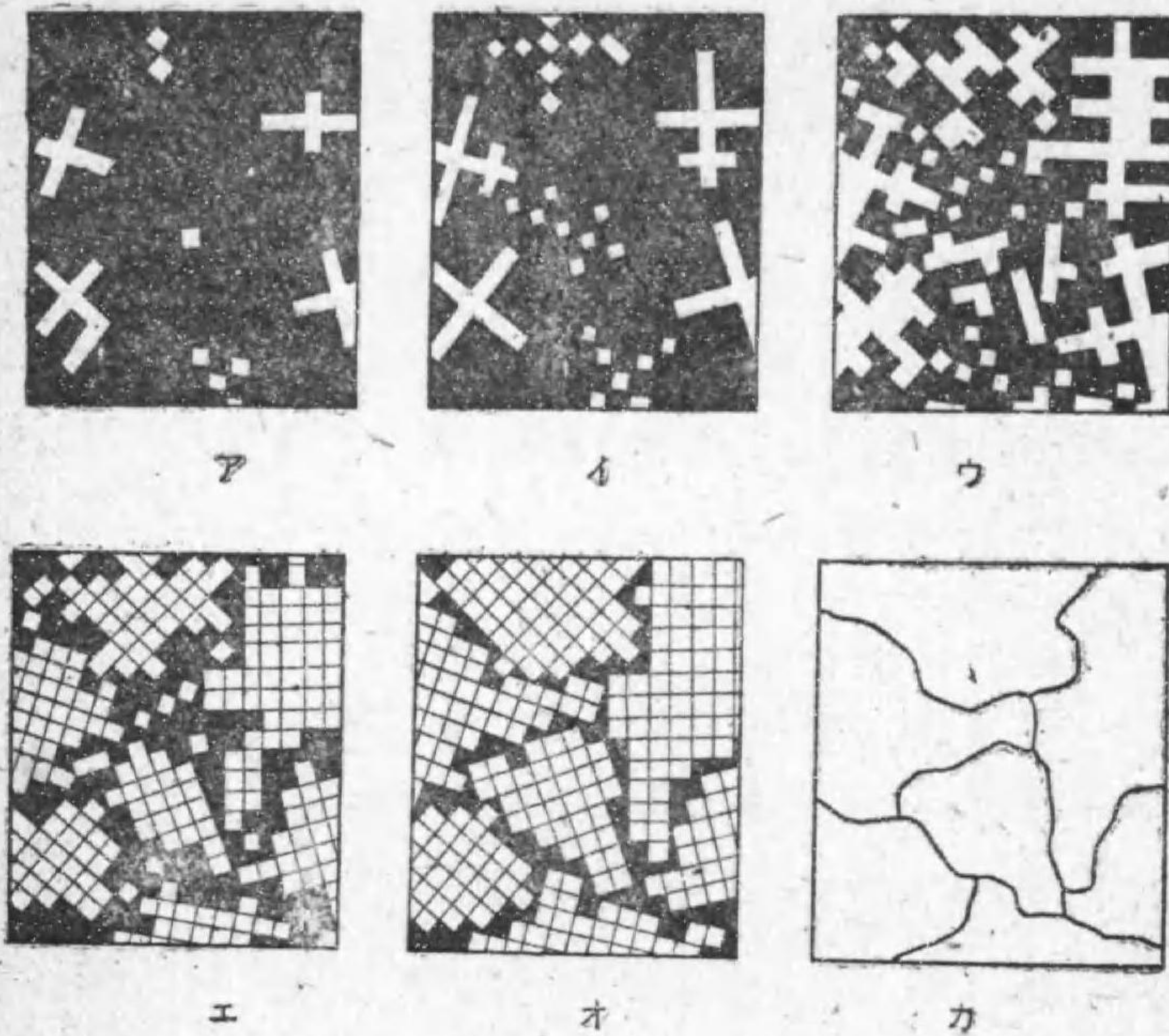
2. 純金屬の凝固と結晶

純金屬、即ち單體金屬は熔融してゐる間は非結晶質である。しかしこれが次第に冷却して或る溫度に達すると、融體内部に、原子がその金屬の結晶系に従つて空間に規則正しく排列してゐる、極めて微小な結晶が所々に發生する。この微小な結晶は、次第に成長して融體全部が凝固してしまふまで進められる。これを結晶核といふ。金屬原子は、核を中心としてその周圍に金屬固有の結晶系にふさはしい規則正しい排列で、一定の方向に次第に發達する。それから枝を出し、その枝から又次々と小枝を出してゆき、遂にその骨格の間隙が充實されて凝固を終る。これを樹枝狀結晶といふ。

諸所に發生した核は、最初のうちは周圍が融體なので自由に成長してゆくが、或る所で近くの核から同じやうに成長してきた結晶と接觸するやうになると、もはや自由な成長はできなくなる。このやうにして融體が全部結晶してしまふと、即ち全部が凝固したことになる。融體が凝固し始めてから、全體が凝固してしまふまでにはかなりの時間がかかるが、この間の溫度は一定してゐる。全體が凝固してしまへば、溫度は次第に下つて遂に常溫に達する。

金属の塊は無数の小さな結晶の集合体で、その各結晶は互いに近くの結晶のために發育を妨げられてゐるから、水晶その他の単一の結晶にみられるやうな整然とした外形を呈することがなく、不規則な多邊形をなしてゐる。

第1・1圖は核の發生から結晶が次第に成長して、遂に大小不同の多邊形の結晶粒を生ずるまでの順序である。



第1・1圖

3. 純金属の顯微鏡組織

金属の鑄塊の切斷面をよく研磨し、適當な腐蝕剤で軽く腐蝕して顯微鏡で見ると、大小不同で不規則な形をした多數の

網目が認められる。

網目によつて區切られた一つ一つは、融體から凝固する際に核を中心として成長した結晶である。これを結晶粒といひ、網目を結晶粒の境界といふ。結晶粒の境界は非結晶質であるが、その他の種々なわけによつて、結晶粒本體よりも多くの場合腐蝕しやすいから、網目が見えるのである。

このやうに各結晶粒の外形は不規則で粒の大きさも不同である。しかしその内部構造は前に學んだやうに、核を中心としてその周圍に原子が規則正しく排列されて成長したものであるから、完全な結晶と全く同じである。

結晶の通性として、結晶軸に對する方向により種々の性質がある。ところが鑄塊を構成する各結晶粒の軸の方向はまちまちであるから、鑄塊全體としては方向も概ね平均されることになり、随つて性質も大體一樣になる。

4. 結晶粒の大きさと形状

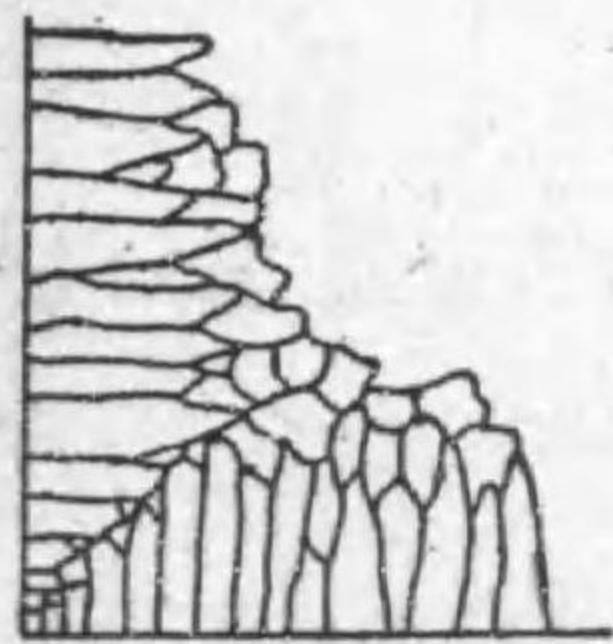
熔融した金属は、凝固するときに發生した核の数が結晶粒の數になるから、凝固のときに核の發生する速さよりも結晶の成長する速さの方が大きければ、鑄塊は大きくて數の少い結晶粒の集合體になつて、その折口、即ち破面は粒の粗いものになる。反對に核の發生する速さの方が大きければ、小さくて數の多い結晶粒の集合體になるから、緻密な破面を呈する。

多くの場合、凝固する際の冷却速度が速ければ結晶粒はこ

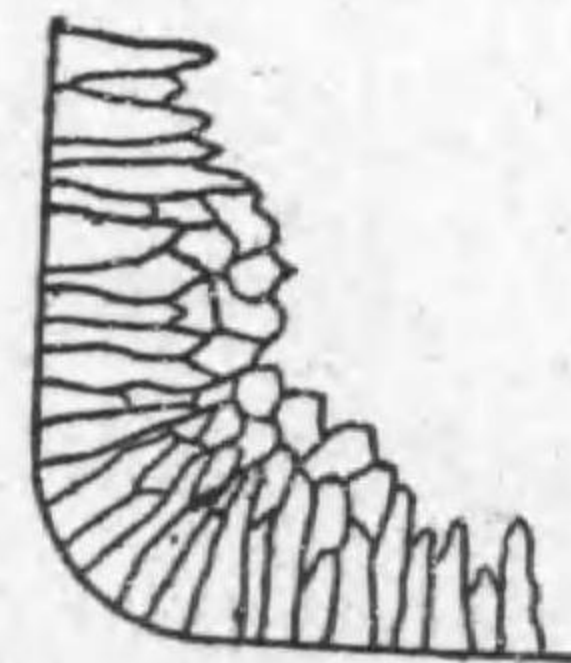
まかになり、遅ければ粗くなる。

熔融してゐる金属を普通に湯といふ。湯の中に発生する結晶粒の数はそれぞれ場所によつて違ひ、随つて各結晶核の間隔も一樣ではなく、且つ結晶軸の方向もまたまちまちであるから、鑄塊の結晶粒はその大きさも形状も種々違つたものになる。

又湯のうちでも場所によつて温度の差のある場合、いはゆる温度勾配のある場合には、結晶粒は温度勾配に沿つて低温から高温へ成長して細長くなる。たとへば熔融金属を金型に鑄込むと、金型に接觸する湯面は速く冷却して温度が下るから多数の核が発生するが、中心部は温度が高いから殆ど発生しない。それ故に湯は先づ金型面から凝固し始めて、各結晶が成長してゆく。この場合金型面に平行な方向には、近くの結晶のために成長を妨げられるが、中心の方向には核がないから、凝固が遅れてまだ熔融してをり、この方向に成長を續けてゆく。



第1.2圖
鑄型の隅角が直角の
場合の柱状結晶粒



第1.3圖
鑄型の隅を丸くした
場合の柱状結晶粒

このやうなわけで、第1.2圖と第1.3圖のやうに、表面に垂直な細長い結晶粒、いはゆる柱状結晶粒が出来る。

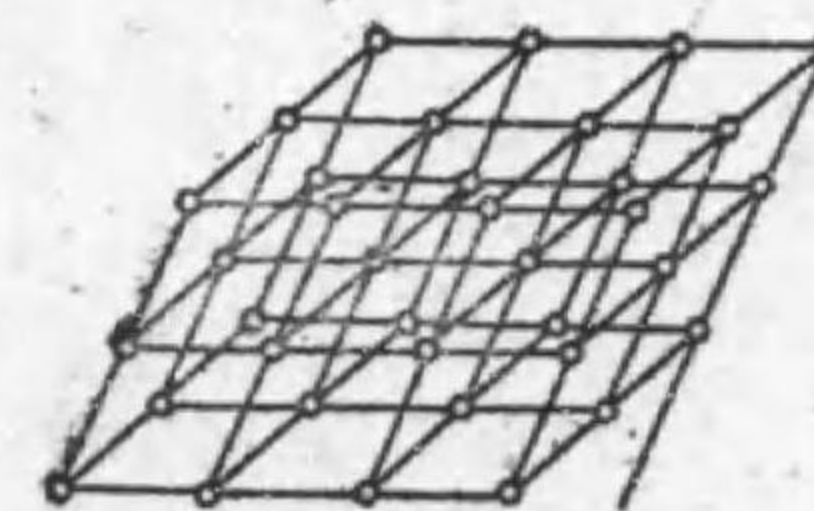
鑄型の内面の隅角が直角であると、柱状結晶粒の相會する隅角の2等分面は、結晶粒の密着がわるくもろい面が出来、且つこの面には不純物が集りやすいので、いはゆる隅ゴーストといふ偏析を生ずることが多く益、もろくなる。この缺陷を防ぐために、鑄型の隅角には第1.3圖のやうな丸みをつけることが必要である。柱状結晶粒の發達は、砂型では冷却が遅いからそれほどでもないが、金型では冷却が速いから著しい。

5. 純金属の結晶粒の構造

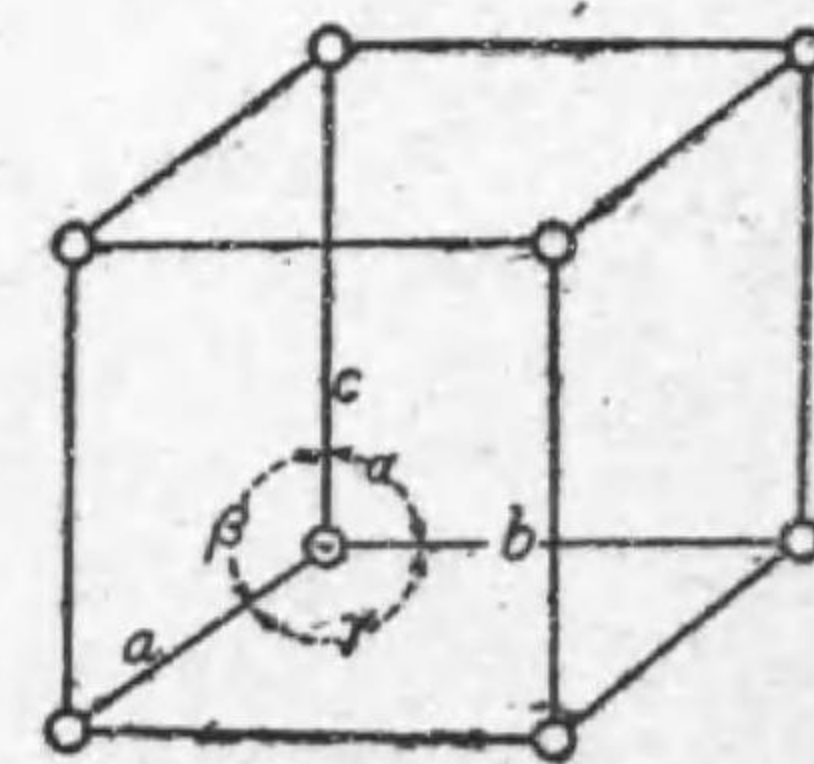
金属の結晶粒は前に學んだやうに外形は不整で、鑛物の結晶のやうに整然としてゐないが、その實質は規則正しい原子の排列から成りたつてゐる。

原子は第1.4圖のやうに、平行な矢倉格子に沿つて整然と排列されてゐる。この格子を結晶の空間格子といひ、その一區切を單位胞といふ。空間格子における原子の排列は、結晶系によつてそれぞれ一定してゐる。

結晶系には、等軸晶系・六方晶系・正方晶系・斜方晶系・單



第1.4圖
原子の排列



第1.5圖
空間格子

斜晶系・三斜晶系など種々なものがあるが、工業用材料としての金属の大部分は等軸晶系・六方晶系のものであつて、正方晶系のもものは僅かである。等軸晶系の空間格子における原子の排列は、第1・5圖のやうな正立方状の各隅の原子のほか、他の原子の位置によつて體心立方格子と面心立方格子との別がある。體心立方格子では一つの原子が立方體の中心にあり、面心立方格子では各面の中心の一つづつの原子が排列してゐる。

第1・5圖は單位細胞の空間格子を示すものであるが、單

第1・3表

主要金属の晶系と格子定數

金属	晶系	原子排列	格子定數		
			aÅ	cÅ	c/a
γ 鐵 (1000°C)	等軸晶系	面心立方格子	3.67	—	—
銅	"	"	3.60	—	—
アルミニウム	"	"	4.05	—	—
ニッケル	"	"	3.54	—	—
鉛	"	"	4.91	—	—
白金	"	"	3.98	—	—
α 鐵 (1425°C)	等軸晶系	體心立方格子	2.86	—	—
δ 鐵 (1425°C)	"	"	2.93	—	—
α 錫 (18°C 以下) (灰 錫)	"	金剛石型 立方格子	6.46	—	—
亜鉛	六方晶系	稠密六方格子	2.67	4.94	1.860
マグネシウム	"	"	3.22	5.23	1.624
β 錫 (18°C 以上) (白 錫)	正方晶系	白錫型 立方格子	5.819	3.174	0.546

位胞の三つの稜の長さ a, b, c と、2稜間の角 α, β, γ など
を格子定數といひ、稜の長さは 10^{-8} cm を單位として測られ、
これを Å (オングストローム) で表す。

6. 金属の變態

或る種の金属には、固體のまま或る一定の温度において、一つの相から他の相に變化するものがある。この變化を同質變態といひ、その金属を同質異態といふ。鐵はその著しいものである。

このやうに相の變化することを變態するといひ、その温度を變態點といふ。

金属と合金の相の變化即ち變態は、それを構成する原子の排列の變化であつて、加熱する際と冷却する際と同じ温度において起り、いはゆる可逆的變化をする。加熱の際の變化は、それに要する潛熱を吸収し、冷却の際には潛熱を放散する。

又原子の排列は變化しないが、或る温度で著しく磁氣の變化を生ずるものがある。この變化を磁氣變態といふ。磁氣變態は、原子排列の變化する本然の變態と違ひ、一定温度で起るのではなく相當廣い範囲にわたつて起るものである。

金属の熔融と凝固とは 原子排列の變化であるから一つの變態であるが、普通に變態とは 固體における變化に關してだけいはれる。

第1・4表は數種の金属の變態點である。

第 1・4 表 金属の變態點

金属	變態の種類	變態點 (°C)	變態熱 (cal/モル)
鐵	α (體心立方) \rightarrow γ (面心立方) 同質變態	906	0.313
	γ (面心立方) \rightarrow δ (體心立方) "	1410	0.104
コバルト	α (稠密六方) \rightarrow β (面心立方) "	477	0.062
錫	α (灰 錫) \rightarrow β (白色 錫) "	18	1.13
鐵	磁氣變態	769	0.204
ニッケル	"	300	0.118
コバルト	"	1160	0.118

7. 合金

合金は、成分金属を配合・熔融した後凝固させてつくるのが普通であるが、固体と固体との接着や、固体と気体との接触によつても出来るものがある。

合金の成分金属は、次の三つの状態で合金中に存在する。

1. 単體金属

単體金属は成分金属が互ひに親和力の弱いため、各成分金属が極めて微細な結晶粒となつて、單に機械的に混合して合金を構成してゐる。この場合の合金の相の数は成分金属の數に同じである。

2. 固熔體

成分金属の或るものが、他の成分金属中に固体の状態で熔融してゐるもので、ちやうど溶液と同じやうな状態を呈してゐる。成分金属は互ひにすべての割合で固熔體となるものも

あり、或る範囲以内にとどまるものもある。又一つの合金中に固熔體が一つのこともあり、二つ以上共存することもある。即ち一つの相から出来てゐる合金もあれば、二つ以上の相から出来てゐる合金もある。

固熔體の化学成分は化合物のやうに一定してゐない。同じ種類の固熔體でも、その化学成分は等しくない。たとへば銅亜鉛合金の黄銅における α 固熔體は亜鉛0~39%である。

3. 化合物

成分金属の親和力が極めて大ききときには化学的に結合して化合物をつくる。化合物は分子量の割合で化学的に結合したものであるから、その化学成分は常に一定である。金属元素同志が熔融して出来たものを金属間化合物といふ。この場合も一つの合金に化合物が1種のこともあり、2種以上のこともある。

このやうに合金は単體金属の混合體・固熔體・化合物として、又はこれらの2~3種の集合體として成りたつてゐる。

合金は、純金属のやうに一定の温度で凝固するものもあるが、多くは凝固を始めてから凝固を終るまでの温度に或る範囲がある。即ち一般に合金は、凝固を始めるときの温度と終るときの温度とに違ひがあり、随つて熔融し始めるときの温度と完全に溶解し終るときの温度とに違ひがある。これを凝固範囲といふ。

鑄型内で合金が凝固する場合には、鑄型に接触する部分に

比較的融點の高い組成のものが多く集り、最後に凝固する中心の方には、融點の低い組成のものが集る傾向がある。殊に不純物があると融點が下るから、遅れて凝固する湯の方に不純物が次第に増加し、最後に凝固する部分に最も多くなる。このやうに鑄塊内で成分の違ふ部分が局部的に出来ることを、前にも學んだが偏析といふ。偏析は湯が最後に凝固する所に融點の低いものが集つて出来るのが普通である。しかし場合によつては、融點の低いものが最初に凝固する外周部や、融點の高いものが最後に凝固する中心部に出来ることもある。これを逆偏析といふ。又最初に結晶する固體の比重が熔融體の比重と著しい相違があるときには、鑄塊の上下に一種の偏析を起す。これを熔離ようりといひ、凝固範圍の大きい合金を徐々に冷すときに起りやすい。

熔融してゐる合金が凝固する模様は、純金屬の場合と同様に最初は所々に結晶核を生じ、その核が次第に成長して凝固する。しかし固熔體をつくる合金には、結晶成長の進むにつれてその成分を次第に變化し、最初に結晶するものは、その合金の平均成分よりも凝固點が高く、後から結晶するものほど、凝固點の低い成分のものになる傾きがある。随つて先に結晶した樹枝の軸部と、後から充填した樹枝の間隙部とは成分に違ひができる。これがため一つの結晶粒内でも成分が均質でなく、場所によつて違ふことになり、即ち一種の偏析をしてゐる。それ故に断面を腐蝕してみると樹枝狀結晶が認

められる。しかし純金屬の場合には、最初に凝固するものも最後に凝固するものも全く同じ金屬であるから、樹枝狀結晶は現れない。

樹枝狀結晶は、適當な温度で永く熱すれば擴散作用によつて大體均質な成分の結晶粒になり、樹枝狀骨格は消失する。成分不均質な樹枝性結晶のある材料は機械的性質がわるいから、よく焼き鈍してなるべくこれを消失させる。

又或る種の合金は、凝固する途中一つの固熔體が熔融體と作用して別の固熔體をつくることがある。この場合に出来た結晶粒は、その内部と外周部とでは成分が違ひ、いはゆる有心組織になることがある。これも焼き鈍しによつて大體均質な組織にすることができる。

8. 金屬と合金の再結晶

金屬・合金を低温で加工し、結晶粒に歪ひずみを與へてから或る温度に熱すると、歪んだ結晶の原子は安定な歪まない結晶に復歸しようとする復元力が大きくなる。それ故に今まで歪んでゐた大きな結晶粒が壊れて、新しい多數の小さい結晶粒が発生する。これを再結晶といひ、再結晶の發生を認め得る最低の温度を再結晶温度といふ。

再結晶温度に長時間保つか、又は温度を上らせるかすると、小さい結晶粒は近くのものと同併合・合體して次第に大きな結晶粒になる。これを結晶の成長といふ。

再結晶温度は、金屬・合金の種類によつて違ふばかりでな

く 加熱前の加工度や加熱時間によつても違ひ、必ずしも一定してゐるものではない。加工度が大きく加熱時間の永いほど低い。又再結晶して生じた結晶粒の大きさは、加工度の大きなほど小さく、温度の高いほど大きい。加工度は次の式のやうに普通は断面収縮率で表される。

$$\text{加工度}(\%) = \frac{\text{原断面積} - \text{加工後の断面積}}{\text{原断面積}} \times 100$$

第 1・5 表は、諸種の金属を強く加工した場合の再結晶温度である。

第 1・5 表 再結晶温度

金 属	再結晶温度 (°C)	金 属	再結晶温度 (°C)
鐵	450	タングステン	1200
ニッケル	600	モリブデン	900
金	200	タ ン タ ル	1000
銀	200	亜 鉛	常 温
銅	200	カドミウム	〃
アルミニウム	150	鉛	常温以下
マグネシウム	150	錫	〃
白金	450	七三黄銅	約 300

高温で加工した場合にも、最後の加工をその金属・合金の再結晶温度以上の十分に高い温度でとめれば、同様に再結晶を生ずる。

第 2. 金属と合金の性質

金属の一般的性質は、不透明で特殊の色澤があり、比重は

大きく展延性に富み、熱や電気をよく傳導し、酸化物や水酸化物は塩基性であることである。原子量の大きな金属はX線やγ線が透過しにくく、反対に小さなものは透過しやすい。

1. 物理的性質

1. 色 澤

金属の色は白色系統のものが大部分で、そのうち特異な色をもつものは銅の赤色と金の黄金色とである。

合金の色は、成分金属のどれかに類似するか、又はその中間の色をもつのが普通であるが、組成によつては全くほかの色を出すこともある。

第 2・1 表 合金の色

種 類	組 成 (%)	色
黄 銅	Cu 70, Zn 30	黄
青 銅	Cu 90, Sn 10	帶 赤
アルミニウム青銅	Cu 90, Al 10	黄
十 八 金	Cu ₂ Sb	紫 綠
〃	Au 75, Ag 25	黄
〃	Au 75, Ag 12.5, Cu 12.5	赤
〃	Au 75, Cu 25	青 白
〃	Au 75, Fe 25	〃
ホワイトゴールド	Au 90, Pd 10	〃
〃	Au 75~85, Ni 8~10, Zn 2~9	〃

金属が他の金属の色に及ぶ力の大きさは種類によつて違ふ。その力の大きなものから順に列記すれば次のとおりである。

(大)錫・ニッケル・アルミニウム・マンガン・鐵・銅・
亞鉛・白金・銀・金(小)

たとへば、銅に亞鉛 20% を加へた合金は黄金色であるが、錫又はニッケル 20% を加へた合金は殆ど白色である。

2. 比 重

金屬の比重は、リチウムの 0.53 からイリジウムの 22.5 に至るまで種々ある。比重は純度によつて違ふことはもちろんであるが、加工によつても變化する。一般に鑄造したままのものの比重は、火造り・壓延などの加工をしたものよりも小さく、冷間加工をしたものの比重は、これを焼き鈍したものよりも小さい。又熱處理によつて變化するものもあり、たとへば鋼は焼入すれば比重は小さくなる。

比重の小さいアルミニウム・マグネシウム・ベリリウムなどは輕金屬で、これらを主成分とした比重の小さい輕合金は、輕くて強い性質を必要とする自動車などの材料に最も適當である。

3. 熱傳導率と導電率

金屬の熱と電氣の傳導率は純粹なものほどよく、不純物を含むとわるくなる。随つて合金は一般に傳導率はよくない。電氣抵抗は溫度が上るにつれて増加し、その傳導率は減少する。

電氣の比抵抗の小さいものから順に列記すれば次のとおりである。

(小)銀・銅・金・アルミニウム・クロム・マグネシウム・
モリブデン・マンガン・タングステン・亞鉛・カド
ミウム・ニッケル・鐵・白金・錫・鉛・水銀・アン
チモン・蒼鉛(大)

一般に導電率のよいものは、熱傳導率もよい。

固熔體から成る合金は、成分金屬が機械的混合物から成る合金よりも熱と電氣の傳導率がわるく、熱傳導率は成分金屬の 1/10~1/20 ぐらゐになるものがあり、導電率は一層わるくなる。しかし一方、電氣抵抗が高く溫度による變化が少く溫度係數も小さいから、電氣抵抗線や電熱線などには最も適してゐる。

化合物から成る白金の導電率は固熔體ほどはわるくない。

熱傳導率の小さな材料は、加熱・冷却の際に溫度が不均一になりやすく、急熱・急冷のために亀裂を生じやすいから、徐々に加熱・冷却しなければならない。特殊鋼などはその例である。又熱傳導率の大小は、材料を用ひる場合にも考慮しなければならないことで、たとへば復水器の管や内燃機關のピストン、或は軸受などにはなるべく熱傳導率の大きな材料を用ひるのがよい。

4. 電 溶 壓

金屬を或る溶液中に浸せば、陽イオンとなつて溶液中に溶け込み、金屬と溶液との間に電位差を生ずる。これを電極電位といひ、その溶け込む力を電溶壓といふ。電溶壓の大きな

金属ほどよく溶ける。電溶壓の違ふ二つの金属を溶液中に浸して導線で連結すれば電池が出来、電溶壓の大きい金属は陽極となつて侵蝕される。

電溶壓の大きいものから順に排列した電位列は次のとおりである。

(大)マグネシウム・アルミニウム・マンガン・亜鉛・クロム・鐵・カドミウム・コバルト・ニッケル・錫・鉛・銅・銀・白金・金(小)

亜鉛は鐵よりも電溶壓が大きいから、亜鉛と鐵とを連結して溶液中に入れると、亜鉛は陽極となつて腐蝕されるが、鐵は腐蝕されない。このことを應用して、蒸氣罐中に亜鉛板を吊して罐の腐蝕を防止する。

金属の電溶壓は材料の使用上大いに注意を要する。不注意に違つた金属や合金を接觸して用ひるとか、或は接觸しなくても、電溶壓の差の大きな二つの材料を同じ液體中に用ひると、腐蝕のために思はず失敗をすることがある。

5. 磁 性

強磁性體の主な金属は鐵・ニッケル・コバルトの三つで、これにつぐものはマンガンとクロムである。永久磁石として用ひるものは、これらを主成分とした合金によらなければならない。

合金には、單體金属では得られない特殊な磁性をもつものが少くない。強磁性金属に他元素を加へることによつて非強

磁性になることもある。たとへば、鐵に適量のニッケル・マンガン・クロムなどを配合すると非強磁性鋼が得られる。又非強磁性の金属を合金すると強磁性體になることがあつて、銅にマンガン約20%、アルミニウム10%内外を配合してつくつた合金はよい例である。この合金は實用されてゐないが、興味をひくものといへよう。

6. 熱起電力

二つの違つた金属線の兩端を接合して電路をつくり、その一方の接合點と他方の接合點とを違つた温度におくときは、2接點間に電位差を生ずる。これを熱起電力といひ、このために回路に電氣が流れる。この現象は熱電効果のうちで最も重要なものである。熱電効果とは、金属線を通して電氣を流したときに起る熱効果、又は反對に熱を通したときに起る電氣的效果をいふ。

第2・2表 熱起電力

金 属	熱 起 電 力 (mV)	金 属	熱 起 電 力 (mV)
アルミニウム	0.40	錫	0.41
アンチモン	4.86	鐵	1.63
銀	0.72	マグネシウム	0.40
蒼 鉛	-6.31	ニッケル	-1.50
カドミウム	0.90	金	0.75
コバルト	-1.52	鉛	0.46
銅	0.76	亞 鉛	0.75

負號をつけたものは、白金線中を電氣が熱接點から冷接點の方へ流れることを意味する。

熱電高温計の熱電對は、白金線と白金ロジウム合金線とを接合するか、又は違つた二つの金属か、合金線を互ひに接合したものである。

熱起電力は金属の種類によつて違ふもので、ここに白金を標準としてこれに他の種々な金属を接合し、冷接點を 0°C 、熱接點を 100°C にしたときの熱起電力を示すと第2・2表のやうな値になる。

2. 化學的性質

金属材料の化學的性質として最も問題になるのは腐蝕である。金属・合金の表面が化學的な作用を受けて、非金属性の化合物を生ずることを普通に銹といつてゐる。銹には、銅や青銅のやうに表面に緻密な被膜となつて密着し、これが防銹被膜となつてそれ以上銹の進行を妨げるやうなものと、鐵のやうに粗雑で附着力の弱い化合物となつて、どこまでも進行してゆくものとの2種がある。金属が化學的・電氣的の作用を受けて非金属性の生成物になり、表面から次第に消耗してゆく現象を一般に腐蝕といつてゐる。鐵の銹も一種の腐蝕である。

腐蝕に對して、金属の種類により、又酸・アルカリ・塩類などの種類・濃度・温度その他の状態によつて、耐蝕性の大きなものと小さなものがある。一般に單體金属では純度の高いものほど耐蝕性が大きく、合金には優秀な耐蝕性のものがある。

海水に接觸したり潮風にさらされたりする船舶や、種々の酸・アルカリその他の溶液やガスに接觸する化學工業用機械・鑛山機械などに用ひられる材料は、特に腐蝕に對して考慮しなければならない。これらの用途のために、種々な不銹合金や耐蝕合金が出来てゐるが、更にこの方面の研究がされてゐる。

なほ金属材料に必要な化學的性質は、高温における耐酸化性である。金属は高温でははげしく酸化して酸化被を生じ、次第に消耗する。これは燒鈍箱、その他高温にさらされる場所に金属を用ひる場合などに注意しなければならない性質で、これを防ぐために種々の耐熱合金がある。耐熱合金は高温では酸化することが少く、且つ組織が變化して弱くならないやうな性質をもつてゐる。

3. 機械的性質

金属材料の機械的性質とは、材料が外力の作用に對して示す性質をいふ。強さ・靱性・脆性・硬さ・展性・延性・塑性などが主なもので、疲れ・匍匐・磨耗などに對する耐久力もまた必要な性質である。

材料に外力を作用させると、その材料の内部に外力に抵抗して、外力の大きさに等しい方向反對の力を生ずる。この力を應力又は内力といふ。しかし普通には、單位面積に對する應力の大きさを應力といつてゐる。即ち應力とは、力そのものを指していふ場合もあり、應力の強さをいふ場合もある。

物體に作用する外力を荷重^{かじりかう}といふ。荷重が材料に作用すると材料は變形するが、荷重を取り去ると變形した量の幾らかはもとに戻り、幾らかは變形したままである。前者を弾性變形、後者を永久變形又は塑性變形といひ、これらの變形を總稱して歪^{ひずみ}といふ。

強さとは、材料に外力が働いて、材料内の分子と分子とを互ひに分離しようとするときに呈する抵抗をいひ、作用する力の種類によつて抗張力^{かうちやうりよく}(引張強さ)・抗壓力^{かうあつりよく}(壓縮強さ)・剪斷強さ^{せんだんつよ}・抗折力^{かうせつりよく}などがある。これらの強さを試験するのがそれぞれ抗張試験・壓縮試験・剪斷試験・曲げ試験である。鑄物にした金屬の抗張力の大きさは、ニッケル・鐵・銅・アルミニウム・亜鉛・錫・鉛の順序である。

靱性とは、粘り強くて破壊しにくい性質をいひ、脆性とは、その反對のもろい性質をいふ。この性質は衝撃試験機で材料を折るのに要したエネルギーを測定して靱脆の程度を比べるもので、その値を衝撃値といふ。

硬さとは、材料の面に他の物體が押しつけられたとき、物體の突入に對する材材の抵抗をいふ。即ち硬さは比較的性質であつて絶對的なものではないことは明らかである。随つてその試験法にも種々あるが、どれも硬さ數で硬軟の度を表す。金屬の硬さは大體抗張力に比例するもので、一般に強い材料は硬さが大きい。

展性とは、すべての方向に打ち広げたり、押し広げたりす

ることのできる性質、延性とは、細く長く引き延ばすことのできる性質、塑性とは、破壊しないで永久變形のできる性質をいふ。

展性や延性などは、抗張試験における試験片の伸びの度合、即ち伸びと断面收縮の度合(絞^{しぼ}り)によつて大體の見當はつくが、確實なことは實際に行なふよりほかに適當な試験方法がない。

常溫で打ち広げる場合の展性の順位は次のとおりである。

(大)金・銀・アルミニウム・銅・錫・白金・鉛・亜鉛・
鐵・ニッケル(小)

疲れとは、材料に一度に加つて破壊する力、即ち抗張力や抗壓力などよりも遙かに小さな力でも、多数回連続的に繰り返して加へられると、遂には破壊する現象をいふ。車軸やクランク軸のやうに絶えず繰り返して荷重を受けるものは、疲れのために折れることが多い。繰返荷重に腐蝕作用が伴ふ場合には、一層疲れによる破壊を起しやすい。殆ど無限に繰り返して加へられる種々違つた力のうちで、疲れ破壊を起さない最大の應力を疲れ限度といふ。

匍匐とは、抗張力以下の小さな力でも、これを長時間作用させると材料が次第に延びてゆく現象をいひ、力が或る範囲を超えた場合には材料は切斷する。溫度が高い場合には、この現象が一層著しくなる。一定溫度において材料に加へられる種々違つた力のうちで、破壊を起さない最大の應力を、そ

の温度における匍匐限度といふ。匍匐は、蒸気機関や内燃機関のやうな高温で長時間にわたり荷重を受ける部分の材料には特に考慮すべき性質である。

機械その他の構造物は、破損や腐蝕しなくても使用できなくなる場合が多い。それは主に磨耗のためである。耐磨耗性は金属材料の重要な要素の一つである。

工業上、構造用材料としては特に強さが大きくてもろくないものが要求されるが、又腐蝕や磨耗しにくい材料の必要な所がある。金属は、その種類によつて機械的その他の性質が違ひ、強弱・靱脆・硬軟及び腐蝕の難易など種々なものがあるが、単體金属にはそれぞれの限度があつて、希望する性質のものを得られない場合が多い。ところが、合金にすれば単體金属には得られない性質が得られる。これに加工や熱処理を施すと、希望する性質を或る程度まで満足させる材料になる。金属材料の大部分に合金が用ひられるのはこのためである。

固熔體から成る合金は、一般に成分金属のどれよりも強さ・硬さが大きく、単體金属とほぼ同様に展延性に富み、加工も容易であるから合金として重要なものである。不銹鋼・七三黄銅・青銅・銅ニッケル合金などは、固熔體の1相から成る合金である。

化合物は成分金属や固熔體よりも硬くてもろいから、化合物ばかりの、又は化合物のあまり多い合金は構造用材料とし

ては用ひることができない。しかし化合物が少量混つてゐる合金は加工性は多少わるくはなるが強さと硬さとを増すから、合金の重要な相である。

単體金属の機械的混合から成る合金の機械的性質は、大體成分金属の割合に相當する中間の性質をもつてゐる。

合金の硬さは、共晶や共析の場合には直線的に變化し、固熔體の場合には曲線的に變化する。

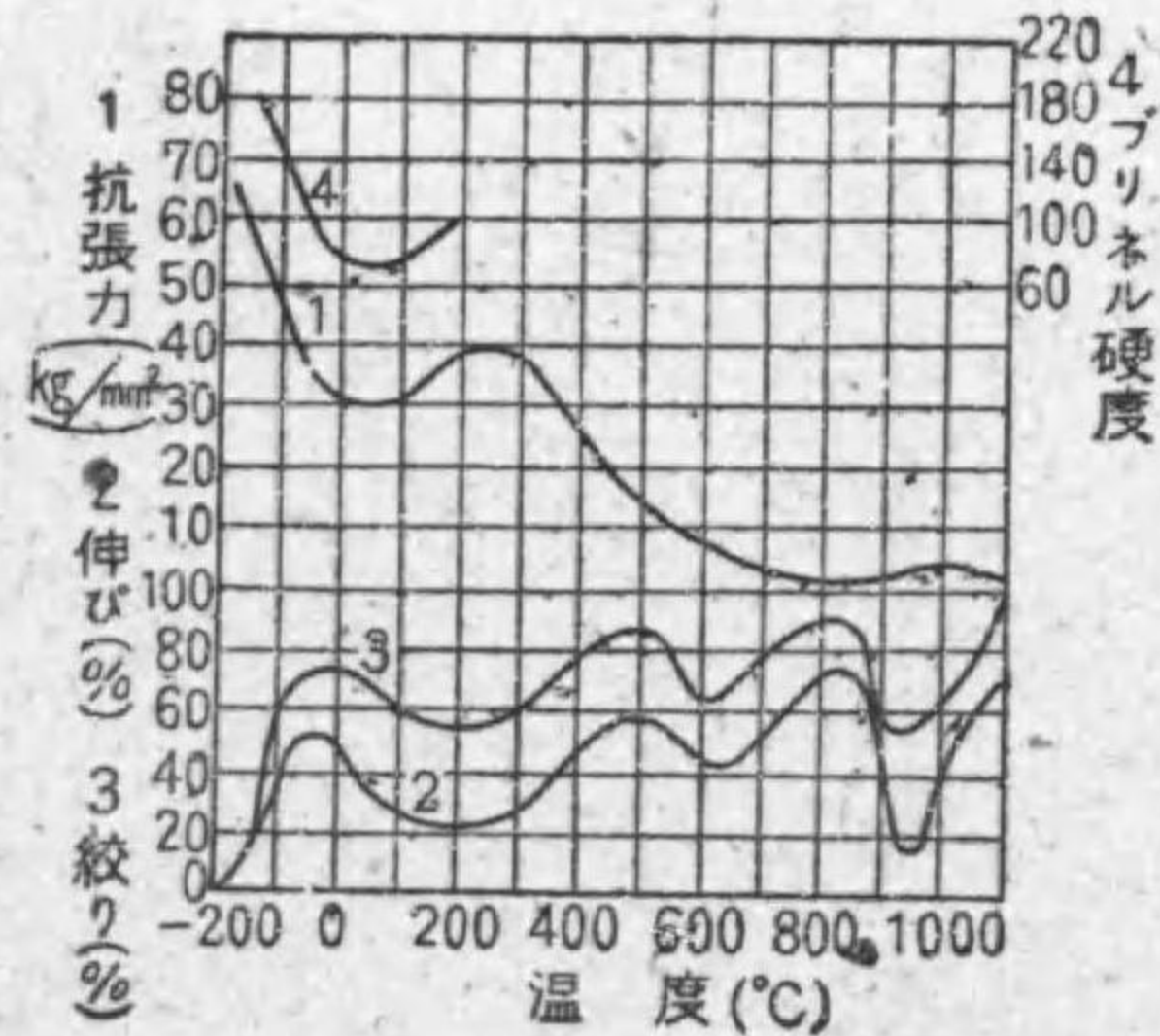
なほ合金の機械的性質は、これを構成する相の種類やそれらの含有割合によつて違ふばかりでなく、存在状態によつて著しい違ひがある。即ち結晶粒の微細なものは強く硬いが、粗大なものはもろくて弱い。又同量の化合物でもこれが微細な粒状をなして他の相、たとへば固熔體の結晶粒の境界や内部に均一に分布して存在すれば強くてもろくないが、もしこれが他の相の結晶粒の境界に連続し、網目状をなして存在すればもろくて弱い材料になる。又粒状で分布してゐても、その分布が全體にわたつて均一でないものや、粗大な球状となつて分布してゐるものは性質が劣る。このやうなことが、金属材料を鑄造・加工・熱処理する場合、又は使用する上最も注意を要するのである。

工業用金属材料の品質、即ち化学成分・機械的性質・理化學的性質、及び熱処理法や試験法などを規定したものに、日本標準規格(JIS)がある。故に特殊な場合のものを除いては、すべてこの規格によらなければならない。

4. 温度による機械的性質の変化

非鉄金属の多くのものは温度の上昇につれて抗張力と硬さが連続的に下り、伸びと絞りとの変化が不規則であるが、或る温度以上では主として増加する。常温以下では抗張力と硬さとは温度の降下につれて増加し、伸びや絞りも少しは増加する傾向があるが大きな変化はない。

鉄は多くの非鉄金属と違ふ点が多く、常温以下では抗張力と硬さとは温度の降下につれて増加するが、伸びと絞りとは -20°C ぐらゐから急に減少して、 -180°C では殆ど 0 になる。又常温以上では、抗張力は温度の上昇につれて次第に増加し、 200°C 附近で最大になり、それからは上昇と共に次第に減少して、 900°C 附近で一時僅かに増加する所がある。伸びと絞りとは温度の上昇につれて減少し、 200°C 附近で最小になり、更に温度の上昇につれて 500°C 附近まで増加し、

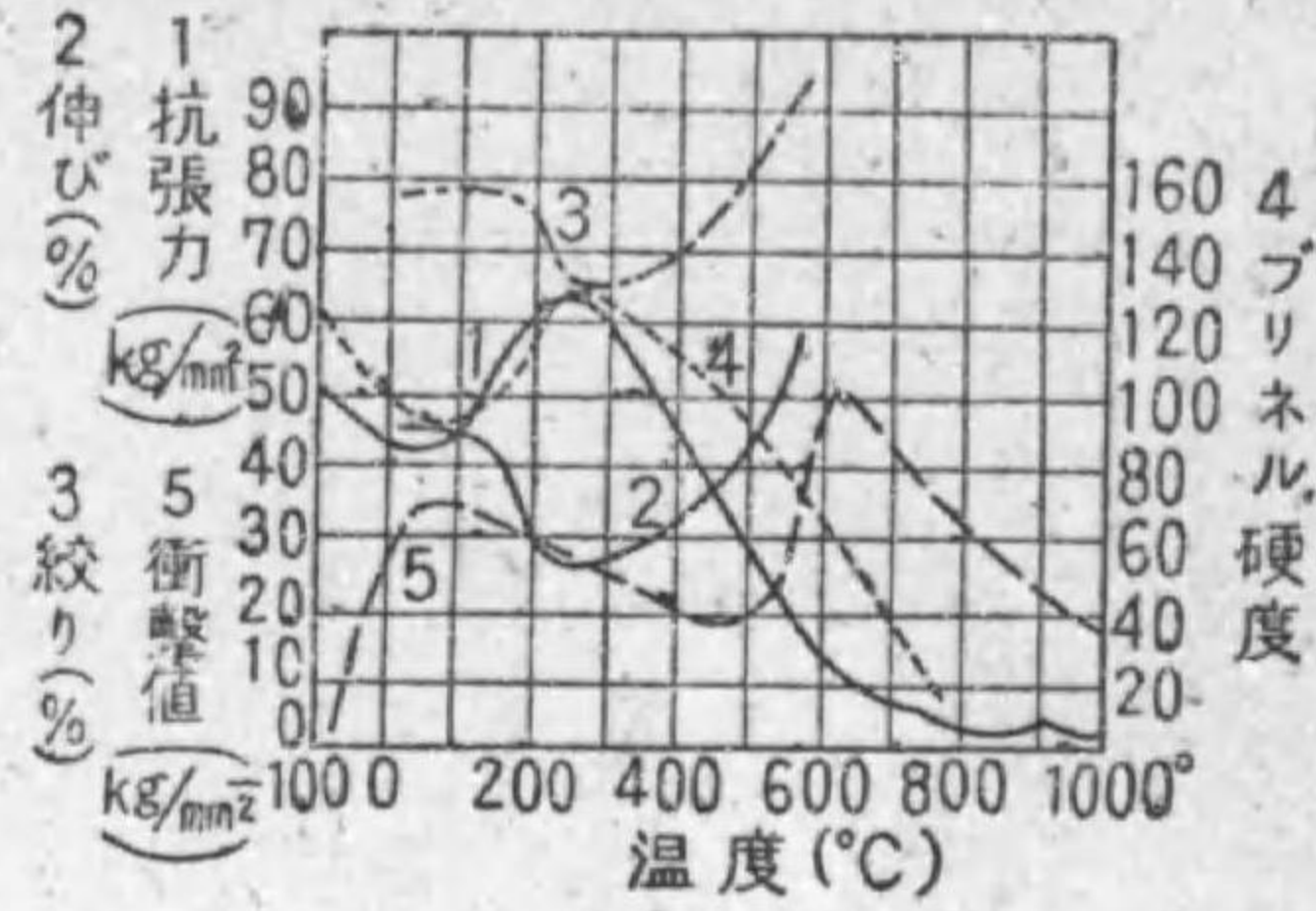


第 2・1 圖
鉄の温度と機械的性質

それから僅かに減つて少しく増加し、 900°C 附近では急に減少して著しくもろくなり、その後又増加する。鉄に炭素がはいつて鋼になると、これらの温度は少し變化する。

鉄や鋼は $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ ぐらゐで抗張力と硬さとは大

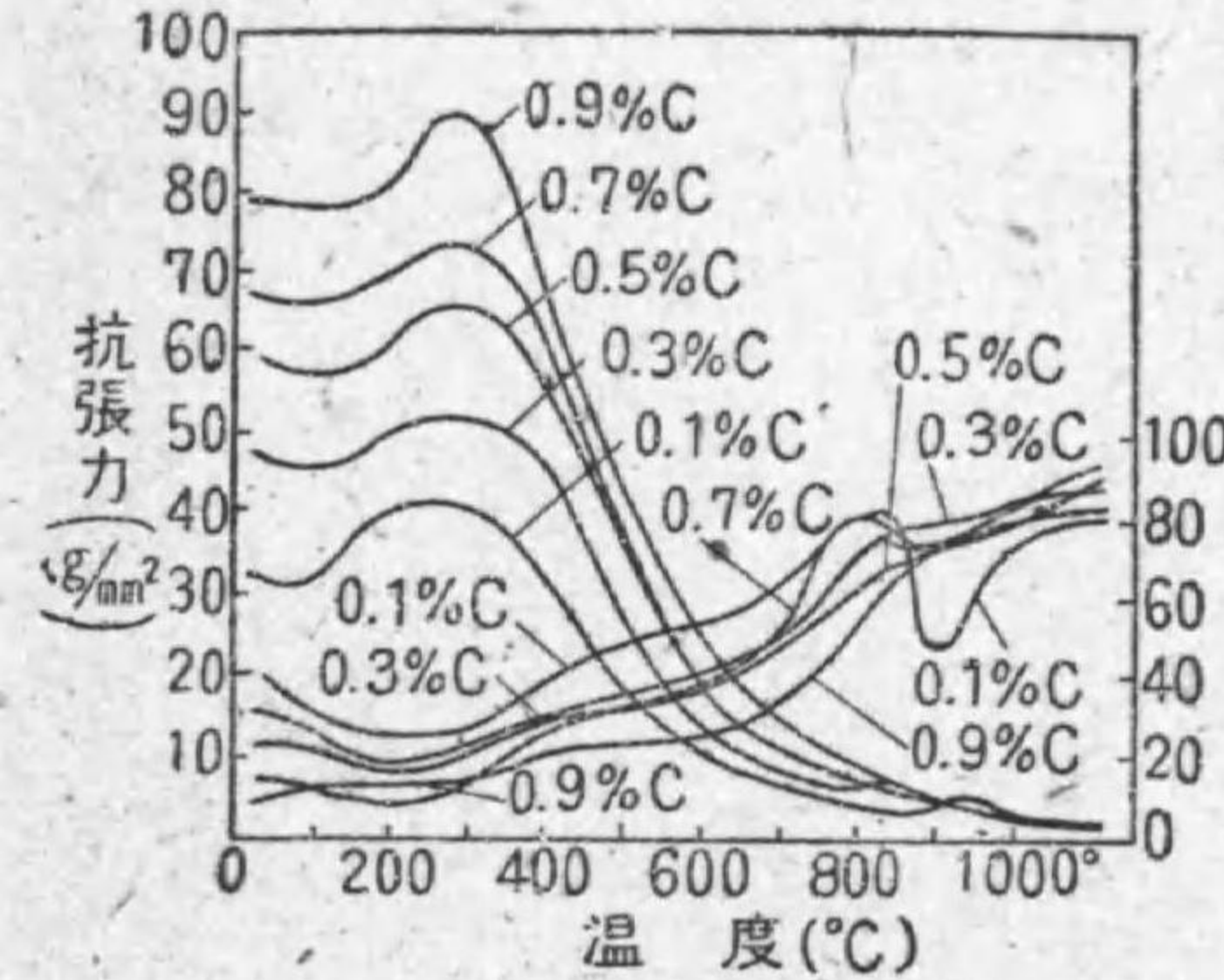
きくなり、變形量即ち伸びと絞りとは減少する。これは硬くもろくなることを意味するもので、この温度で火造りや壓延すると亀裂が生じやすい。



第 2・2 圖
軟鋼の温度と機械的性質

磨いた鉄鋼をこの温度に熱するか 又はこの温度に熱した鉄鋼を

折るかすると、その表面や破面が青く着色するから、これを

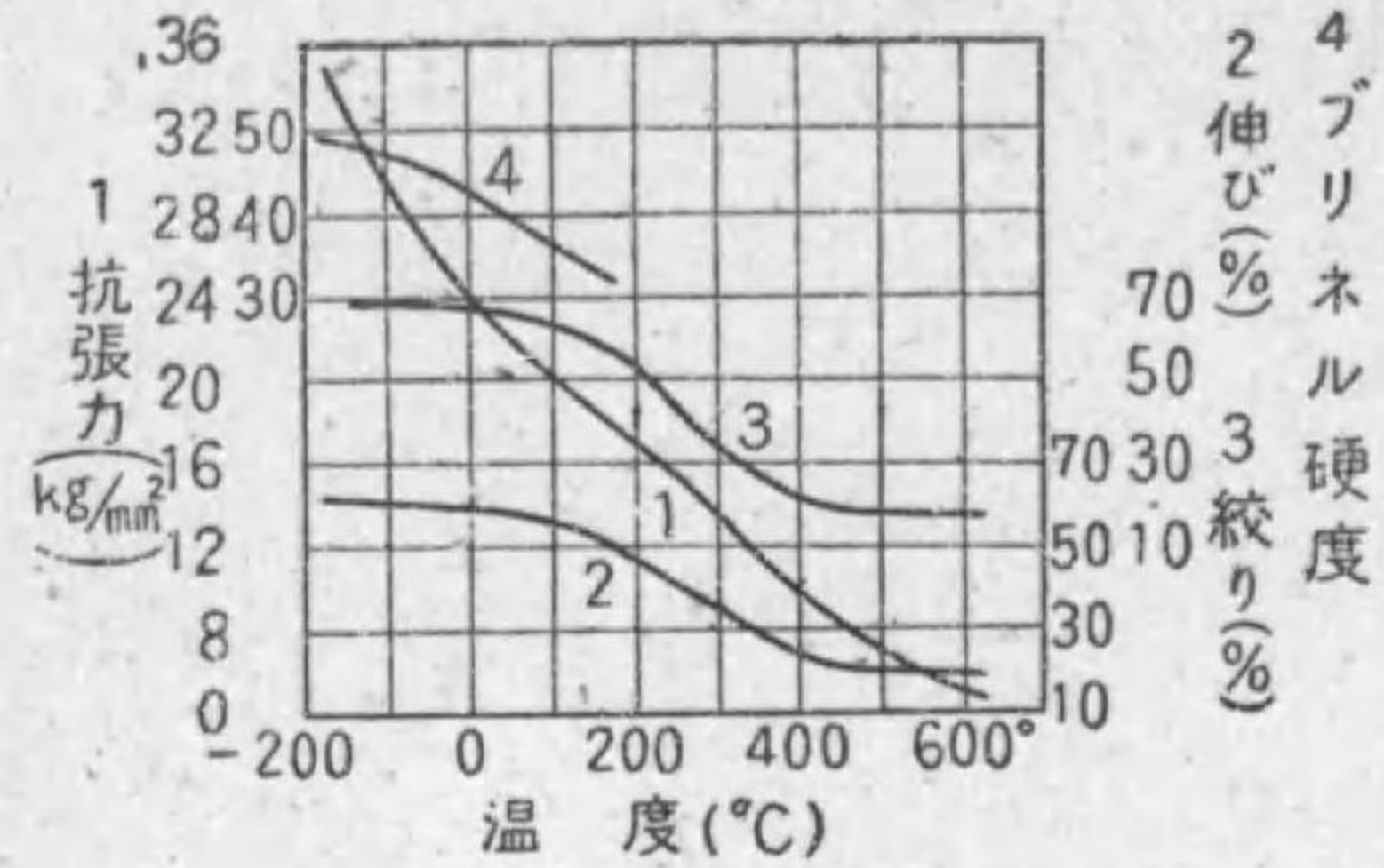


第 2・3 圖
種々な炭素鋼の温度と機械的性質

鉄鋼の青熱脆性といふ。非鉄金属や合金にも、或る温度範囲で脆性を呈するものがあるから、加工の際は注意しなければならない。

第 2・1~6 圖は、銅その他の金属合金の温度による機械的性質の變化を示したものである。

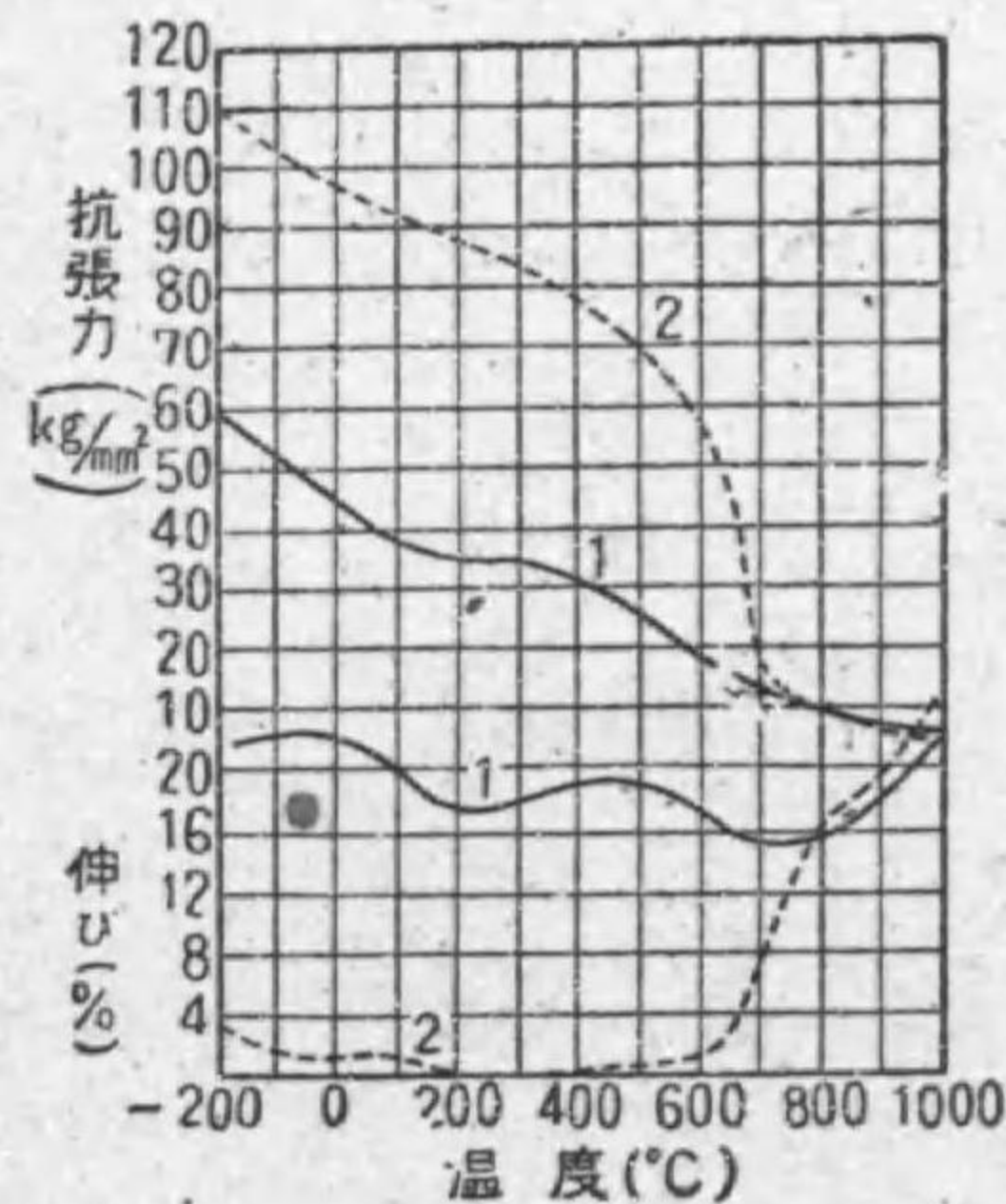
又金属材料は、その種類により、或は不純物のために赤熱したときもろくなり、熱間加工の際に亀裂を生じやすくなるものがある。これを赤熱脆性といふ。又常温でもろくなるものもある。これを冷脆性といふ。たとへば、鋼は硫黄が多い



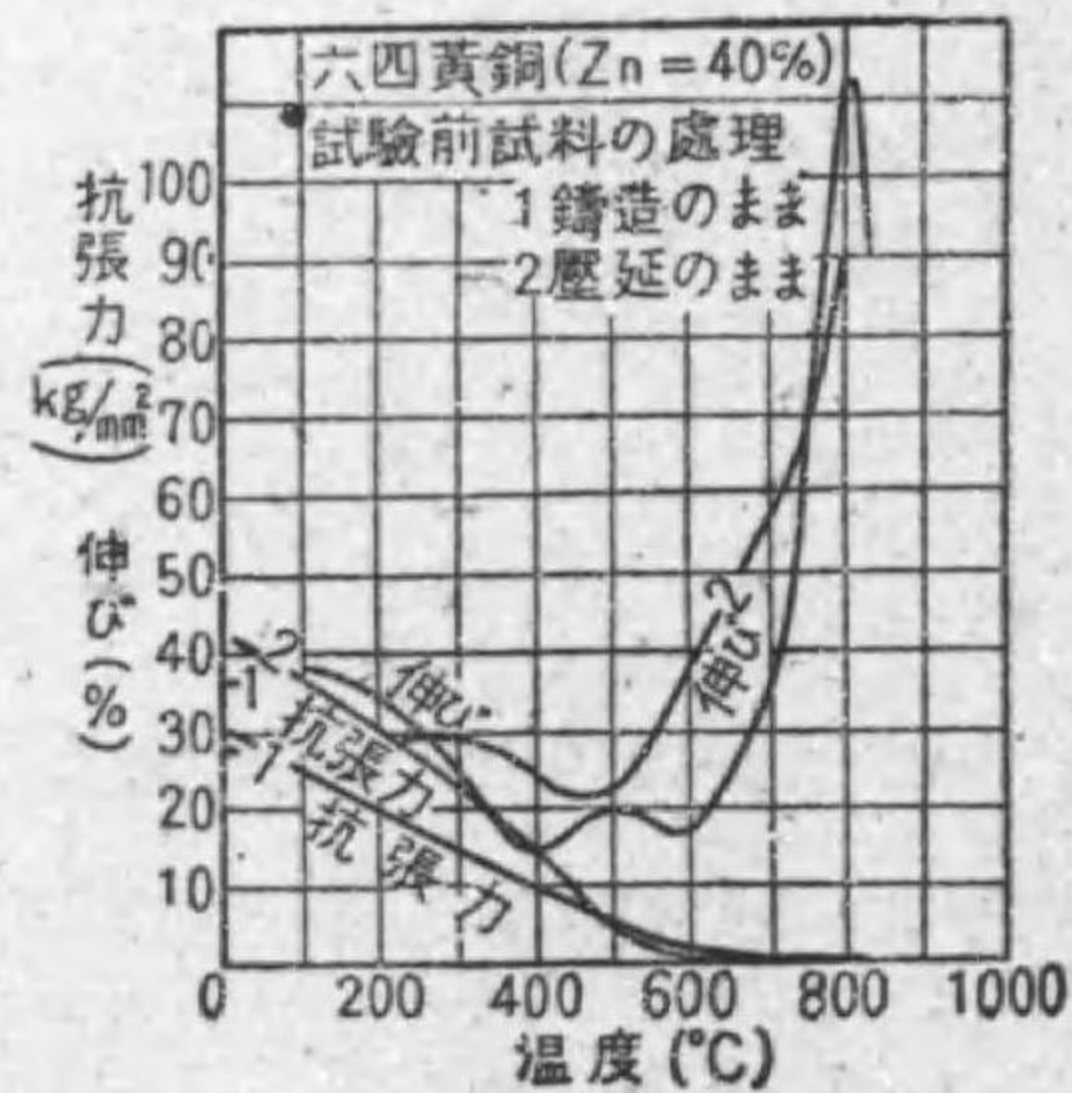
第2・4圖 銅の温度と機械的性質

と赤熱脆性を呈するが、燐が多いと冷脆性を起し、冷間加工の際に亀裂を生じやすくなり、使用中折れたり、刃物の刃がこぼれやすくなることある。六四黄銅は400°C ぐらゐでもろくなり七三黄銅は、鉛その他の不純物があると熱間加工が行なひにくくなる。

衝撃値に対する温度の影響は材料の種類によつて一様では



第2・5圖 ニッケル針金の温度と機械的性質



第2・6圖 六四黄銅の温度と機械的性質

ないが、かなりの変化を及す。一般に常温以下の温度で衝撃値を減じない金属は、面心立方格子のもので 衝撃値を減す

るものはその他の結晶格子のものである。

随つて 面心立方格子で銅合金・アルミニウム合金・オーステナイト鋼などは、低温では殆ど靱性を損じない。

5. 工作的性質

工作的性質とは、材料の打ち広げ・鍛接・熔接・屈曲・ねぢ廻し・引抜・貫孔・切削、及び管材の擴大・扁平・銲出などの工作に対する性質をいひ、これらは実際に工作してみてもその適否を判定する。

6. 機械的性質に及す作業の影響

金属材料の脆弱・良否は、これを構成する成分金属の種類とその割合、及び不純物の有無・多少などのほか、結晶粒の大小、及び非金属介在物の多少・大小とその分布、或は偏析の有無、2相以上から成るものは各相の分布状態と繊維の流れ具合など、内部構造の状態によることが極めて大きい。このほか気孔・収縮孔・亀裂の有無・多少・大小などは、材料の良否を決定するものである。これらに直接関係のあるのは、材料の製造・処理などの操作であつて、その主なものは熔融・鑄造・塑性變形作業・熱処理などである。

1. 熔融と鑄造作業

金属の熔融・鑄造は、金属材料をつくる最初の工程で、材料の良否がきまる第1段階である。

熔融作業の場合には、有害な水素・酸素・窒素、その他の氣體が熔融金属中に溶解・包藏するのを避けなければならな

い。又温度の過高・過低は共によくない。

鑄造は鑄物をつくる場合と鑄塊をつくる場合とあるが、いづれの場合でも起りやすい缺陷は、氣孔・收縮孔・亀裂・非金屬介在物・成分金屬、殊に不純物の偏析や結晶粒の粗大その他であつて、熔融温度・鑄込温度・冷却速度、又は操業の適否などが主に關係する。砂型では、鑄物砂の調製・突固め・湯口・押湯などが關係し、金型では肉厚・温度・形状などが影響する。

2. 塑性變形作業

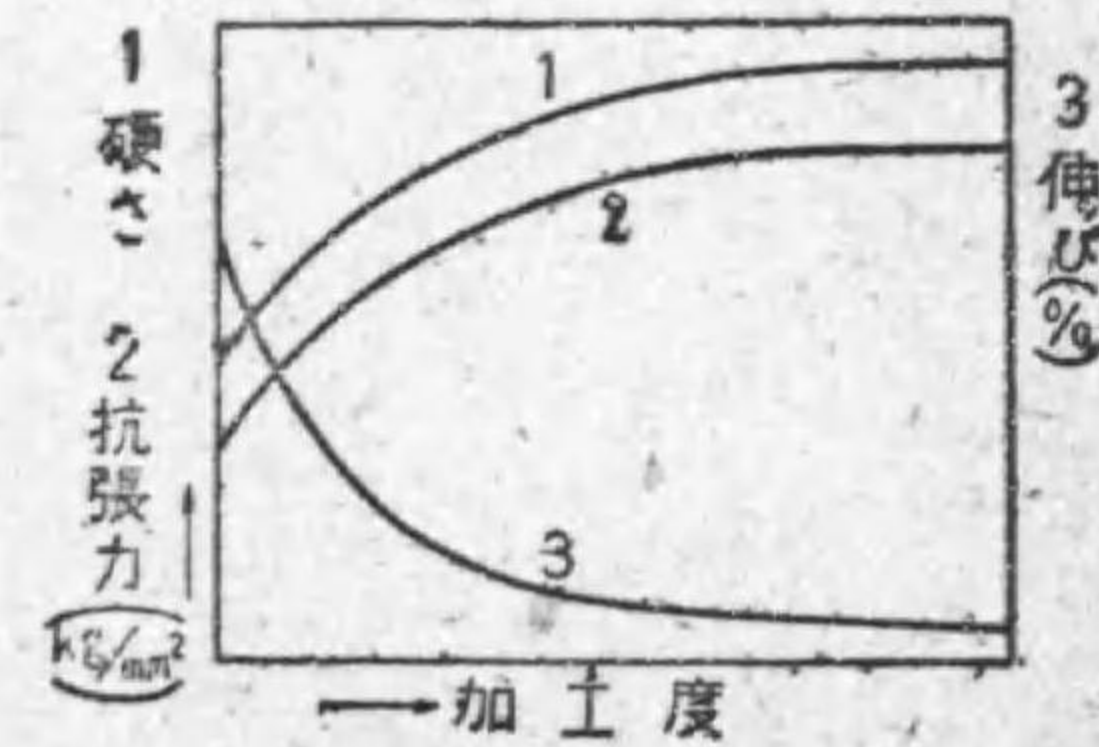
塑性變形作業とは、展延性に富む金屬・合金に張力・壓縮力・剪斷力、又はそれらの合成の外力を加へて永久變形をさせ、必要な形状と寸法とを與へる作業をいふ。これは火造り・壓延・引拔・壓出・壓縮などが主なもので、これらの作業を普通に單に加工といひ、これに對して工作機械で切削・穿孔などをする作業を機械加工といふ。

塑性變形作業には、加熱することなく常温のままで行なふ場合と、常温以上に加熱してその温度で行なふ場合とがある。前者を冷間加工、後者を熱間加工といふ。加工を施すと材料内部の空隙が密着又は鍛接され、粗大な結晶粒や樹枝狀結晶が破壊されてこまかな結晶粒になり、偏析が擴散するなどの効果があるので、材料一體が均質な組織になり、鑄物のままのものよりは機械的性質が一般に著しく向上する。

(1)冷間加工 常温で、展延性に富む材料や薄板・針金・薄

肉管などのやうに断面が薄くて小さなもの、形状・寸法の正確を要するもの、又表面の平滑を要するものなどには冷間加工を行なふ。冷間加工を行なふと、多くの金屬・合金は結晶粒が歪んで硬くなる。これを歪硬化又は加工硬化といふ。材料が歪硬化をすると強さや硬さは増すが、靱性は減つてもろくなる。即ち抗張試験における抗張力を増加し、伸び・絞りを減少し、衝撃試験における衝撃値を減らす。故に冷間加工を續けて行なふには、作業の途中で屢焼鈍しをして歪硬化をなくし、展延性を回復しなければならない。

第2・7圖は歪硬化のため機械的性質の變化する狀況で、抗張力・硬さは加工が進むにつれて最初は速く、ついで緩く増加し、遂には殆ど一定になり、加工前の數倍にもなることがある。反對に伸びは加工度の進むにつれて速く減少し、遂には殆ど0に近くなる。



第2・7圖
加工度と機械的性質

金屬が歪硬化を受けると物理的性質も多少變化する。たとへば比重は、0~0.25% 減少し、電氣抵抗は0.2~0.3% 増加し、或る種の合金には10% 以上も増す。又保磁力は大きくなり、最大透磁率は小さくなる。電溶壓もまた大きくなるから腐蝕しやすくなる。

或る種の金屬・合金は、冷間加工を施した直後から時間の

経過するにつれて機械的その他の性質を次第に変化し、遂には殆ど一定値に達する。この現象を時効といふ。時効によつて硬さ・抗張力・降伏点を増加する現象を時硬(時効硬化)といふ。このやうな現象は焼入した場合に特に著しく起る。



第2.8圖
二一黄銅の鑄塊の組織

時硬は、常温では進行が緩く、その完了に數箇月から數箇年を要するものがあるが、温度を100~200°Cぐらゐに高めれば速かに完了する。

このやうに温度を高めて時硬を促進させることを人工時硬といふ。

金属材料が冷間加工によつて機械的性質を変化すると同様に、組織もまた當然それに應じた変化をするから、鑄塊や加工後焼き鈍した材料は、冷間加工のためにその結晶粒は加工の方向に延ばされ、はげしい加工を受ければ、その組織は纖維状になつて甚だしく硬く且つもろくなる。このやうに歪を受けた結晶粒は、加熱されれば再結晶を生じ、その結晶の成長するにつれて機械的性質もまた次第に変化し 遂に加工



第2.9圖
鑄塊を壓延した板の組織

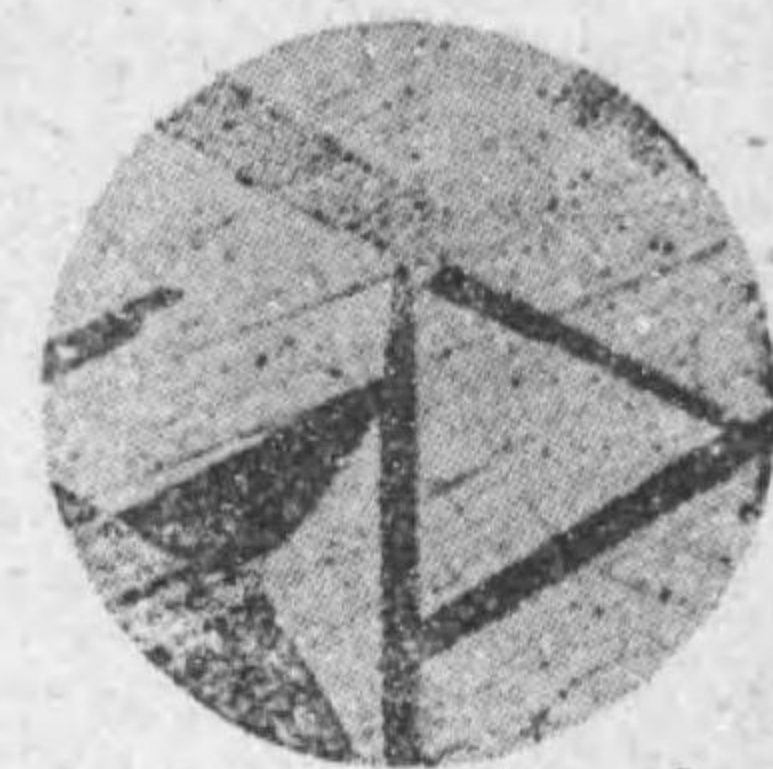


第2.10圖
壓延板を600°Cに焼き鈍した組織

工のためにその結晶粒は加工の方向に延ばされ、はげしい加工を受ければ、その組織は纖維状になつて甚だしく硬く且つもろくなる。このやうに歪を受けた結晶粒は、加熱されれば再結晶を生じ、その結晶の成長するにつれて機械的性質もまた次第に変化し 遂に加工

工前の状態に復歸する。このために冷間加工の途中で屢、焼鈍しする。

第2.8~11圖は二一黄銅の組織の顯微鏡寫真で、そのうち第2.8圖は鑄塊、第2.9圖は厚さ18mmの鑄塊を厚さ3mmに壓延したもの、第2.10圖と第2.11圖とは、第2.9圖の壓延板をそれぞれ600°C45分間、700°C35分間焼き鈍したものである。これらの機械的性質は第2.3表のとほりである。



第2.11圖
壓延板を700°Cに焼き鈍した組織

第2.3表

	抗張力 (kg/mm ²)	伸び (%)	硬 さ		
			ブリネル硬度	シ 硬	ロ 度
第2.9圖	67.1	4.3	147		40
第2.10圖	33.3	67.2	48		18
第2.11圖	33.0	71.6	37		12

第2.11圖のやうに一つの結晶粒内に明暗のあるものがある。これは^{まうしよう}双晶と呼ばれるもので、亜鉛・錫・鉛・アンチモン・α鐵などは冷間加工を施しただけで生じ、銅・銀・ニッケル・白金・アルミニウム・七三黄銅などは冷間加工をした後に焼鈍しすると出来る。軟鋼を衝撃で破壊した破面の附近や、低温火造りした場合の結晶粒内に、數箇の眞直ぐか曲つた平行線が現れることが屢、ある。これはノイマン線と呼ばれる双晶の一種である。

(2)熱間加工 金属材料の加工は、適当な温度に加熱して熱間で行なふのが普通である。これは、熱間では材料は軟かくなつて塑性を増すので、仕事がやさしく、且つ速かにでき、その上動力が少なくてすむからである。故に冷間加工で仕上げる材料でも、最初の荒加工では普通熱間で行なふ。

加工する温度は一様でなく、金属・合金の種類によつてそれぞれ適当な温度がある。たとへば銅は変態点以上、鋼合金は 700°C 前後、軽合金は 500°C 前後で、材質を害しない程度の高温に熱して加工を始め、適当な温度になるまで加工を続ける。熱間加工が機械的性質に及ぶ影響は、主に加工を終る際の温度、即ち仕上加工の温度による。一般に高過ぎる温度で仕上加工をした材料は、結晶粒が粗大で強さが小さく、これに反し、低過ぎる温度で仕上加工したものは靱性に乏しい。熱間加工は再結晶温度よりもずっと高い温度で始めるのが普通であるから、加工のために歪んだ結晶粒は、材料自身の熱によつて直ちに再結晶する。即ち熱間加工の間、結晶粒は絶えず歪められたり、再結晶したりすることを繰り返す。それ故に最終の加工、即ち仕上加工が或る温度以上の場合には再結晶するが、その温度を過ぎるまで加工を続けたり、最初から割合に低い温度で加工したりすれば、再結晶がよく行なはれないか、全く行なはれないかして、結晶粒は歪んだままで存在する。

一般に熱間加工は、加工を終つた材料が自身の保有する熱

により、歪んだ結晶が壊れて新しい結晶の生成、即ち再結晶が行なはれるやうな再晶温加工を行なふのがよく、結晶粒が歪んだままで存在するやうな非再晶温加工は行なはない。非再晶温加工をしたものは、硬さ・強さが大きくて靱性に乏しい材料になる。又再晶温加工をしたものも、仕上温度が高過ぎると冷却するのに時間が永くかかるから、その間に結晶が成長して粒が粗大になり、機械的性質のわるい材料になる。適当な温度で加工を終つたものは結晶粒が小さく、又歪も受けてゐないから、機械的性質の良好な材料が得られる。

仕上加工の温度は、後で更に熱間加工を施して用ひる半製品や、熱処理をして用ひる材料にあまり関係はないが、そのまま用ひる材料、たとへば普通鋼材、殊に軌條のやうなものには極めて重要である。又製品の表面を平滑にするとか、寸法を正確にするとか、硬さ・強さを或る程度大きくするとかなどの目的のために、やや低い温度で仕上を行なひ、多少の歪を與へる加工、即ち軽度の非再晶温加工を行なふ場合も少くない。

加工を終つた材料が再結晶をする最低の温度は、材料の種類によつて違ふが、同種の材料でも加工度によつて違ふ。一般に加工度が大きなほど低い温度で再結晶が行なはれる。たとへば軟鋼は、加工度を 50% 以上にすれば約 500°C で再結晶するが、加工度が 5% であれば 800°C でも再結晶しない。又小さい断面の材料は早く冷却するから、大きな断面のもの

より高い温度でなければ再結晶しない。随つて最後に加工した際の温度と、その際の加工度とにより、再晶温加工ともなり非再晶温加工ともなる。又金属の種類によつて違ふ例をあげれば、ニッケルは500°C ぐらゐの高温でも非再晶温加工であるが、鉛や錫は常温附近の加工でも再晶温加工になる。非再晶温加工によつて歪を受けた結晶粒は、更に加熱すれば再結晶を起すことは前に學んだとほりである。

加工上の用語としての冷間加工と熱間加工とは、常温のまま加工するか、熱して常温以上の温度で加工するかの區別であり、再晶温加工と非再晶温加工とは、加工を終つた材料の組織が再結晶してゐるかしてゐないかの區別であつて、その再結晶成否の境目がはつきりしないのはやむを得ない。常温以下で再結晶する金属・合金は稀であるから、普通冷間加工といへば非再晶温加工のことをいふ。

3. 熱處理

熱處理とは、金属材料を適當に加熱・保持・冷却して、必要な性質を附與する操作をいふ。金属材料は、加熱温度やその温度保持の時間及び冷却速度などによつて著しくその組織を變化し、随つて機械的、その他の諸性質を相當廣い範圍に變化する。

熱處理は、金属材料の性能を十分に發揮するかどうかにかかはる極めて重要な操作で、その主なものは、^{やまなら}焼準し・焼鈍し・焼入・焼戻しなどである。

(1)焼準し 主に鋼に對して行なはれる。即ち鋼を變態點以上の適當な温度で適當な時間熱した後、静かな大氣中で冷却する操作で、鋼の組織をいはゆる標準化するために行なふ。

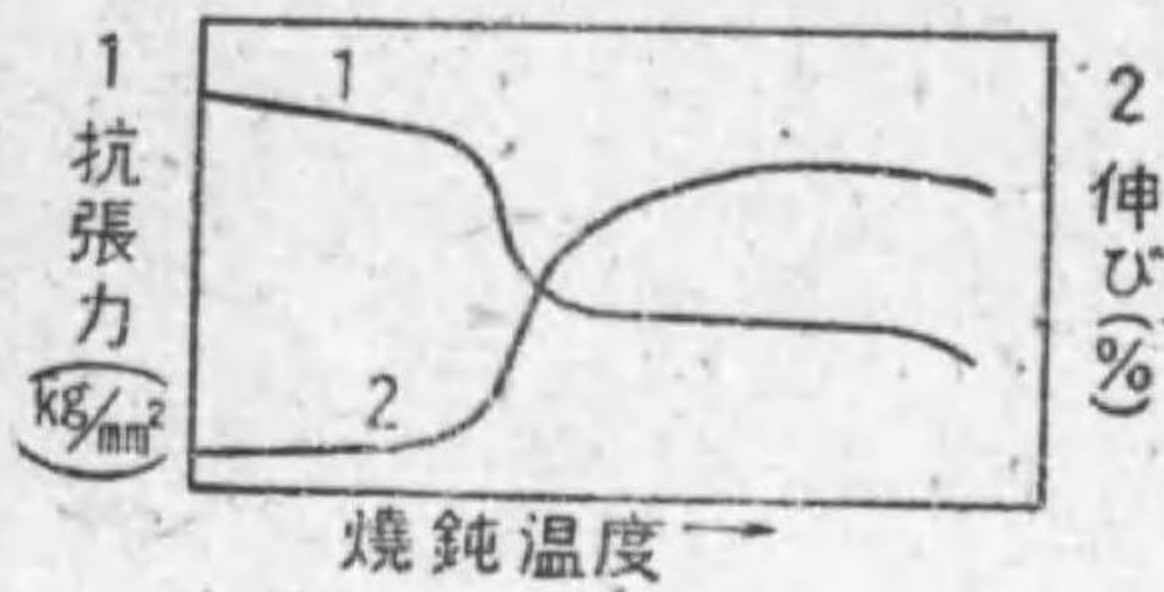
(2)焼鈍し 金属材料を適當な温度で適當な時間加熱した後、徐々に冷却する操作をいひ、軟化と靱性の附與、及び内部應力の除去、或は結晶組織の調整や成分の均等化などのために行なふ。焼鈍温度は變態點や再結晶温度以上が普通であるが、單に冷間加工の内部應力を除くためには、これより遙かに低い温度で行なふことがある。焼鈍温度に保つべき時間は、材料の種類と大きさなどによつて違ひ、又冷却速度は材料の種類によつてその程度が違ふが、徐々に冷却するのが普通である。しかし變態點のないもの、たとへば銅などは水中に入れて急冷することもある。

焼鈍しが機械的性質に及ぶ影響は、焼鈍し前の材料處理状態によつて違ふ。鐵鋼類の鑄物では粗大・不均質な鑄造組織を微細化し、内部應力を除去し、偏析をいくらか擴散させるなどの理由により、強さや靱性を増加して著しく性質を改善する。變態點のない金属・合金の鑄物は、そのままでは組織を微細化することができず、一旦加工して結晶粒に歪を與へたものでなければ大して焼鈍しの影響はない。しかし内部應力を除いて、樹枝狀結晶や偏析を消滅したり或は緩和したりして均質な組織にする効果がある。

冷間加工を施した材料は、焼鈍しによつて著しくその性質

を變化し、一般に硬さ・強さを減少して、展延性・靱性、即ち伸び・絞りや衝撃値を増加する、その程度は保熱時間、殊に温度に著しく影響される。

第 2・12 圖は焼鈍温度と機械的性質との關係を示すもので、



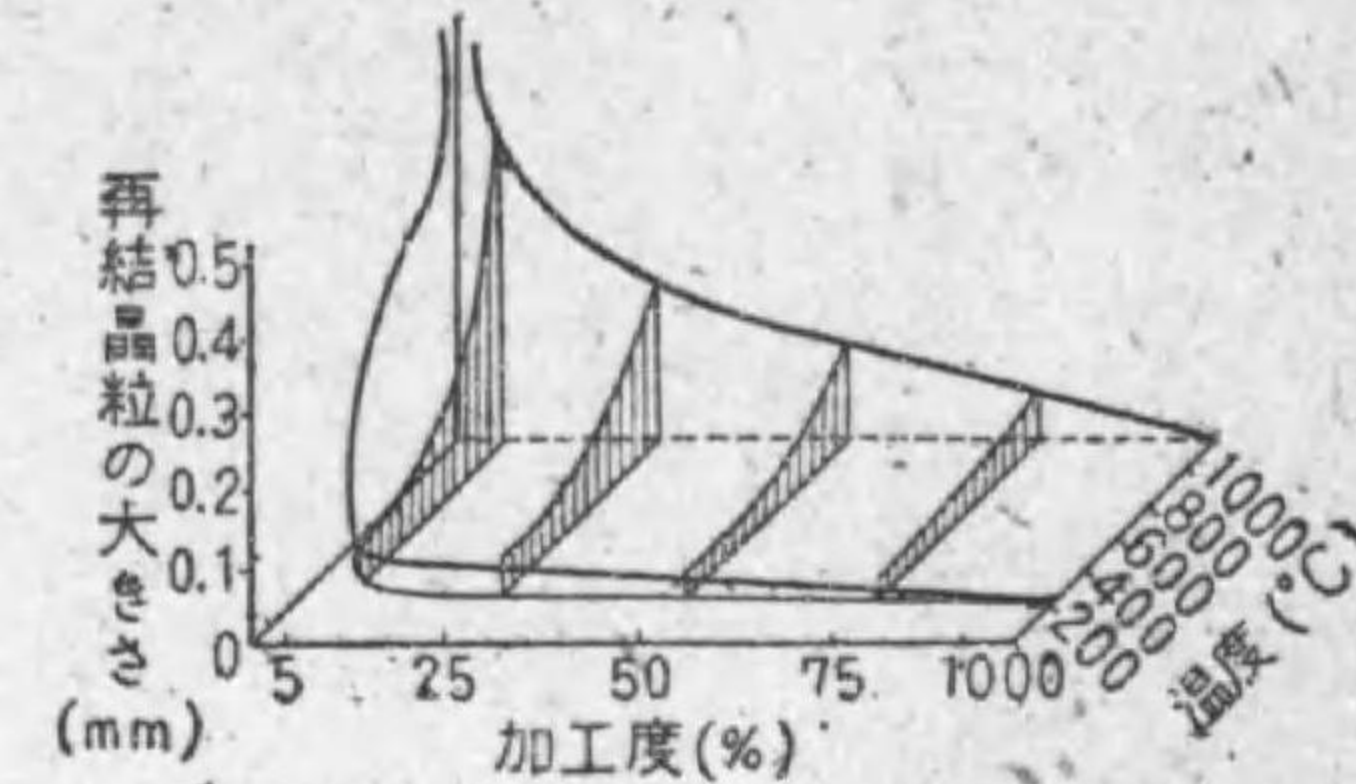
第 2・12 圖
冷間加工をした材料の焼鈍温度と機械的性質

2 焼鈍温度の上昇と共に抗張力は減少し伸びは増加する。再結晶温度に達すれば、抗張力と伸びは急激に變化し、再結晶完了後は、結晶粒の成長につれて徐々に變化する。

焼鈍温度が高過ぎる場合は、結晶粒は甚だしく成長して粗大になり、ために抗張力と伸びとは減少し、衝撃値もまた著しく小さくなる。このやうになつた材料を^{や過ぎ}焼過したといふ。焼過した鐵鋼は、一旦冷却して更に變態點より僅か上の温度で焼鈍しをすれば大體回復できるが、他の金屬・合金では、更に加工した後焼鈍しをしなければ回復できない。一層温度が高く、殊に空氣に接觸すると、結晶粒の境界から酸素が内部に侵入し、又内部に局部的熔融を起して甚だしく脆弱な材料になる。このやうになつたものを^{もえ}燃えたといひ、燃を起した材料はもはや回復しない。

焼鈍温度は材料の種類によつて違ふのはもちろんであるが、焼鈍しによつて生じた再結晶粒の大きさは加工度によつて違ふから 適當な温度を選ばなければならない。

第 2・13 圖は銅の再結晶粒の大きさと加工度・焼鈍温度との關係である。このやうに冷間加工を施した材料の焼鈍温度はその種類や加工度のほか



第 2・13 圖 銅の再結晶粒の大きさと加工度・焼鈍温度との關係

焼鈍時間・純粋度及び目的とする性質などによつてそれぞれ違ふが、30 分間から 1 時間ぐらゐの加熱によつて軟化する金屬合金の種類と温度範圍とを示せば、大體第 2・4 表のとほりである。

第 2・4 表
加熱により軟化する金屬・合金の種類と温度範圍

種類	加熱温度 (°C)	種類	加熱温度 (°C)
金	130~200	亜鉛	60~150
銀	400~500	アルミニウム	200~400
銅	360~400	黄銅	500~600
軟鋼	600~800	貨幣用青銅	410~600
ニッケル	600~800	洋銀	350~650

焼鈍しの際、空氣に觸れると表面が酸化して鋼は^{だつたん}脱炭することがある。大きな材料や厚い板などではそれほどでもないが、薄板や細線、或は大切な品物などには差し支へる。これを防ぐために箱に入れて密閉したり、更に進んでは外氣と絶縁された容器に入れ、これに中性又は還元性のガスを通しな

がら加熱したりする方法を行なふことがある。酸化を完全に防げば焼き鈍した材料の表面が金属光澤を失はないから、このやうに焼き鈍しをする方法を光輝焼き鈍しといふ。

焼き鈍しすれば軟かくなつて靱性を高めるのが普通であるが、稀には却つてもろくなることもある。これを焼き鈍脆性といひ、ニッケル・ニッケル銅合金に現れることがある。

(3)焼入 金属・合金を變態點か溶解度以上の適当な温度に加熱し、適当な媒劑で急冷する操作をいふ。焼入は、高温から急冷することによつて、變態又は固溶體の溶解度の變化するのを阻止するものであるから、變態點のないものや温度によつて溶解度に變化のないものは焼入しても効果はない。焼入は、鋼を硬化して強さを増加するために行なふものであるから、焼入すれば硬く・強くなるのが普通であるが、必ずしもさうとは限らない。たとへば高マンガン鋼や20~30%の錫を含有する青銅は、それぞれ約 1000°C 及び約 550°C 以上に熱して油中か水中に急冷すると、急冷したときよりも軟かになる。このやうな操作を油靱法又は水靱法といふ。近頃合金の研究が進んで、高温から急冷すると機械的性質が改善されることがわかつたので、或る種の銅合金や軽合金などにも焼入を行なふやうになつた。

普通に構造に用ひられる硬鋼や特殊鋼は、焼入によつて硬さと抗張力は増加し、伸び・絞り・衝撃値は減少して著しくもろくなる。故に特別焼入をしたもののほかは焼戻しを行な

ひ、焼入のままで用ひることはない。

或る種の合金は、その變態點や溶解度以上の温度に加熱して水中に急冷することによつて、徐冷したものとは違つた性質が得られ、又急冷後時効硬化により、時間の経過するのにつれて次第に硬さ・強さが増加する。その顯著な例はジュラルミンである。最近では種々な時効硬化性合金が研究・製造されてゐる。

(4)焼戻し 焼入した鋼を變態點以下の温度、即ち焼入温度よりも低い温度に加熱して冷却する操作をいふ。冷却の速さはあまり影響しない。

焼戻しは焼入によつてもろくなつた鋼の靱性を回復するのが主な目的で、焼戻しを行なへば、焼入の場合と反對に硬さ・抗張力は減少するが、伸び・絞り・衝撃値は増加するから脆性が緩和される。その程度は、加熱の時間殊に温度が著しく影響する。故に適當に温度を加減することによつて必要な強さ・硬さをもつ、しかも相當靱性のある鋼が得られる。

- 靱性を必要とする機械構造用鋼の焼戻温度は 500~650°C である。高い硬さを要する刃物や工具は、焼戻温度を低くして硬さの減り過ぎないやうにする。その温度は高速度鋼のやうに、焼戻しによつて二次的硬さを現すものは別とし、普通は 300°C 以下である。又バネのやうに高い弾性を必要とするものは、2 者の中間の温度で行なふ。焼戻温度が高過ぎると焼入の効果はなくなる。

焼戻しの冷却速度が緩いともろくなり、衝撃値が甚だしく小さくなるものがある。この現象を焼戻脆性といひ、構造用ニッケルクロム鋼に最も著しく現れる。

材料に必要な性質や組織をもたせるために焼入・焼戻しなどの操作を行なふことを調質といふ。

焼入によつて固溶体の溶解度を阻止した非鉄合金に焼戻しを行なふと、焼戻温度の上昇につれて、次第に硬さと抗張力とを増して極大に達し、それから次第に減少し、遂には焼入前のものと同じやうになる。伸びは増減一定しないので、焼戻しの一種とみるべき人工時効硬化を行なふ場合には、硬さ・抗張力が極大になるやうな温度と時間とを選ばなければならない。このやうに性質が変化するのは、焼入のための溶媒である固溶体中に、過飽和に溶解してゐる溶質が飽和状態になるまで次第に析出しようとするためであるから、これを析出硬化といふ。

7. 金属材料の破壊する状況

金属が弾性限界以内の外力で歪を受けると、結晶の空間格子内の原子は接近したり隔離したりするが、外力を取り去れば、原子はもとの位置に復帰するから金属は歪を受けない場合と同様な原形に戻る。このやうな変形を弾性変形といふ。外力が弾性限界を超えて大きくなれば、弾性変形をした後結晶内の弱い面に沿つて滑る。この面を滑り面といふ。滑り面は一つの結晶に一つか二つ以上であつて、どの滑り面も平行

した層の平面である。一つの結晶で最初に滑る面は最も強く外力の作用を受ける滑り面である。滑り面が次第に進むにつれて抵抗も大きくなり、それ以上滑れなくなると他の滑り面で滑りが始り、次第に変形してゆく。滑りを生じて変形したものは、外力を取り去れば変形量中の弾性変形だけはもとに戻るが、その他の量は永久変形をしてゐる。外力が更に大きくなれば、結晶はこれに耐へられなくなり、遂に滑り面に沿つて破壊する。

このやうに金属の破壊面は、結晶粒の境界を通らないでそれを横切り、普通にいはゆる結晶横断破壊をするが、合金でも同様である。

しかし結晶粒の境界に沿つて破壊することもあり、たとへば、黄銅は高温で緩く荷重を加へた場合に結晶境界破壊をする。又粒界に不純物が集積して、それが常温で結晶粒よりも弱い場合や高温で弱い場合には、冷間加工や熱間加工の際粒界から亀裂を生じやすくなり、冷脆性や赤熱脆性を現す。

第3. 機械的性質の試験法

金属材料の使用に當つては、その組成・加工度・内部組織の状態などを熟知することが必要であるが、これだけでは十分でなく、更に機械的性質の試験をして、実際にその性質を確かめなければならない。なほ機械的性質は加工上からも知つておく必要がある。

機械的試験法の種類は、引張・壓縮・曲げ・剪断・振れ・硬さ・衝撃・疲れ・匍匐・磨耗試験などである。しかし実際における材料の使用状態は極めて複雑したもので、これらの試験を全部行なつたとしても、実際に全然合致するとはいへない。又一つの材料にこれらの試験を全部行なふことは実際問題として不可能であるから、材料の使用箇所に應じ、適當と思はれる 2~3 の試験をすればよい。使用箇所として考慮することは、材料の受ける外力の方向と大きさ、及びその速さと温度などである。

この各種試験法を總稱して材料試験法といひ、これらの試験に用ひられる機械を材料試験機といふ。これらの試験法で、最も重要で一般に行なはれてゐるものは引張試験である。その他は特に必要あるもののほかは、多くは補助的・參考的に行なふ試験である。

どの試験でも、その試験に供する試料即ち試験片は、試験する材料の性質をよく代表するものでなければならないから、試験片の採取や製作には周到な注意を拂ふことが必要である(日本標準規格にはこれに関する規定がある)。

1. 抗張試験

抗張試験(引張試験)とは、試験片に次第に荷重を加へて引張つてゆきこれを切斷し、その間に荷重の増加がなく急激に伸びを生ずる場合の荷重や、最大荷重と切斷後の永久伸や永久断面收縮を觀測して、その材料の強さ・粘性などを決定す

る試験である。この場合急激に伸びの生ずる際の應力を降伏點、最大應力を抗張力(引張強さ)といひ、永久伸の原長に對する百分率を伸び、永久断面收縮の原断面積に對する百分率を絞りといふ。工業的の試験には抗張力と伸びとは必ず測定し、場合によつては降伏點や絞りも測定する。學術研究のためには、このほか弾性限界や比例限度なども測定する。

ここに軟鋼製の丸棒の試験片を引張ると、荷重が増大するにつれて伸びも増す。荷重が或る大きさに達するまでは、荷重と伸びとは直線的に變化し、荷重を取り去れば試験片は殆ど完全に原形に戻る。このやうな伸びを弾性伸といひ、荷重が或る大きさ以上になると、荷重を取り去つても試験片は完全に原形には戻らないで、いくらか伸びたままである。このやうな永久的の伸びを残留伸といふ。残留伸を起さない最大の荷重に相當する應力を弾性限界といふ。

金屬は完全な弾性體ではないから、相當小さな荷重でもいくらかの残留伸を生ずるものであるが、極めて微量の伸びは正確に測定することができない。そこで或る一定の%の残留伸を生じた場合の應力を、弾性限界とするといふやうにしてゐる。

このやうに荷重が小さい間は、荷重と伸びとは直線的に變化するが、荷重が次第に増して或る大きさになれば、この關係は破れて、荷重の増加に比べて伸びる割合の方が大きくなる。この場合の荷重に相當する應力を比例限度といふ。又變

形した量を原形の量で割つた値を歪といふ。これらを式に表せば次のやうになる。

$$\text{弾性限界} = \frac{\text{所定の残留伸を生じた場合の荷重}}{\text{原断面積}}$$

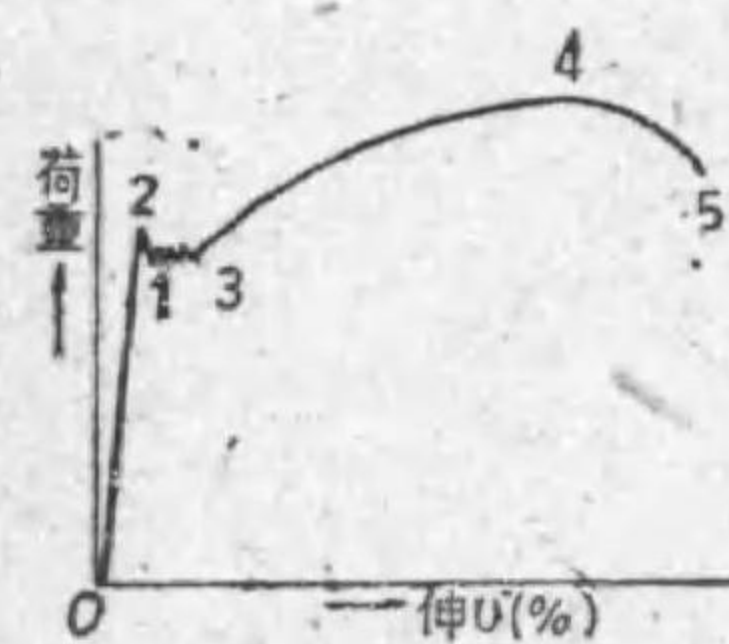
$$\text{比例限度} = \frac{\text{荷重と伸びとの直線的關係が破れた場合の荷重}}{\text{原断面積}}$$

$$\text{歪} = \frac{\text{伸び(又は収縮)の量}}{\text{もとの量}}$$

荷重が作用すれば試験片の断面積は變化するから、眞の應力はその場合の断面積でその場合の荷重を割つた値であるが、普通には原断面積で割つた値をとる。應力は普通 kg/mm^2 の單位で表し、歪はこれに 100 を掛けて % で表す。

弾性限界や比例限度を測定するには精密な伸び測定装置を用ひ、荷重を少しづつ段階的に増加し、その度にこれをもとに戻して伸びの測定を何度も繰り返し行なはなければならぬから、非常に手數がかかる。

第 3・1 圖は、断面一樣な軟鋼の丸棒を引張る場合の荷重と伸びとの關係を示す線圖であつて、これを荷重・伸び線圖



第 3・1 圖
軟鋼の荷重・伸び線圖
(應力歪圖)

といふ。荷重の代りに抗張力(應力)と伸び(歪)との關係をとつても同様の線圖が得られる。これを應力歪圖といふ。

圖で 0—① は直線、①—⑤ は曲線である。即ち 0 から ① までは、伸びは荷重に正比例して増加する。こ

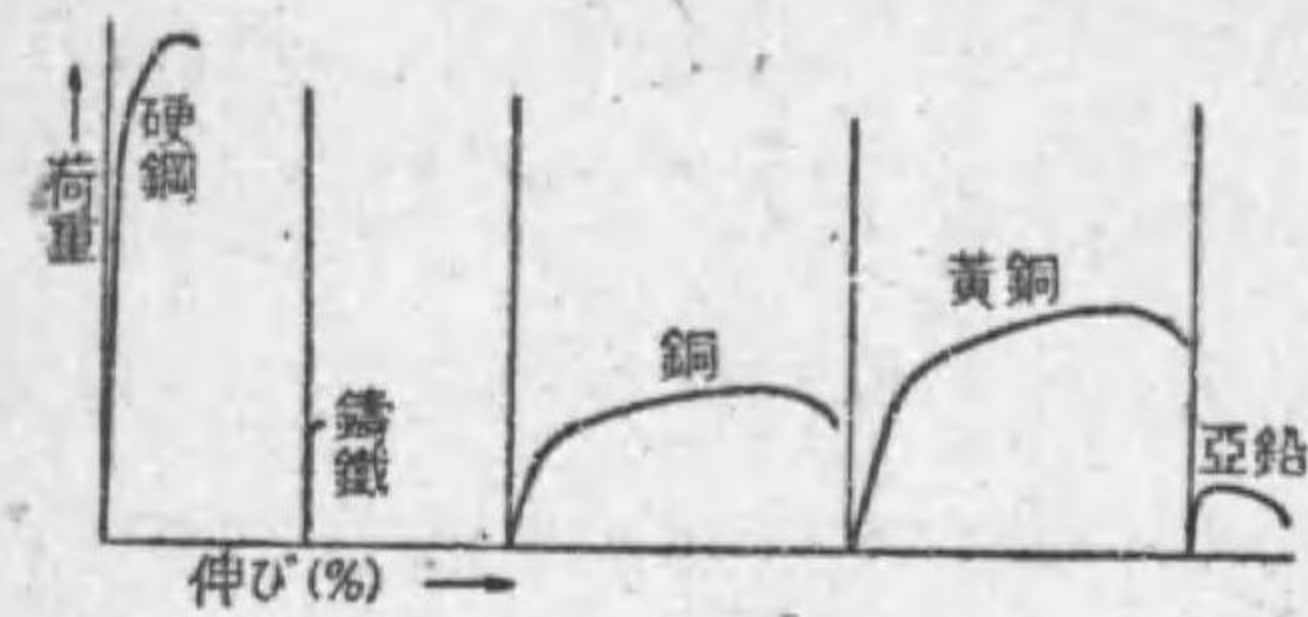
の①點は應力と歪との比例する最後の點で、この場合の應力は即ち比例限度である。①點を過ぎて荷重を増せば、荷重の増加に比べて伸びの増加の割合が次第に大きくなる。なほ荷重が増して②に達すれば、伸びの増加は急激に増大して荷重の増加は一時とまるだけでなく、却つて少しく減少し、暫くの間は上下不定の變動を續けて③に達する。

この状態を材料が降伏するといひ、降伏が始つてから終るまでの間、即ち②—③間における應力のうち、最大のものを上降伏點、最小のものを下降伏點といふ。上下を區別せずに、降伏の始る所を單に降伏點といふこともある。③を過ぎれば荷重は再び上昇を續け、伸びの増加の割合は荷重の増加に比べて次第に大きくなり、④點で荷重は最大になる。この點における應力が抗張力である。④までは軟鋼棒の全長にわたつて均一に伸びるが、それ以後では、棒の最も弱い部分が急速に伸びて断面積が小さくなる。故に荷重もそれにつれて減少し、遂に⑤點に至つて切斷する。

材料試験機の自記装置によつて荷重・伸び線圖を寫がいた場合には、0 から②までは殆ど一直線をなし①ははつきり認められないのが普通である。随つて弾性限界はもちろん、比例限度も求めることはできない。

硬鋼では、降伏點における伸びが僅かになり、上下降伏點の差も小さい。特殊鋼では、降伏點のはつきりしないものが多い。銅・アルミニウム、その他の非鐵金屬では、一般に比

例限度も低く、軟鋼のやうに降伏点を明らかに現さない。第



第 3・2 圖
銅その他の荷重・伸び線圖

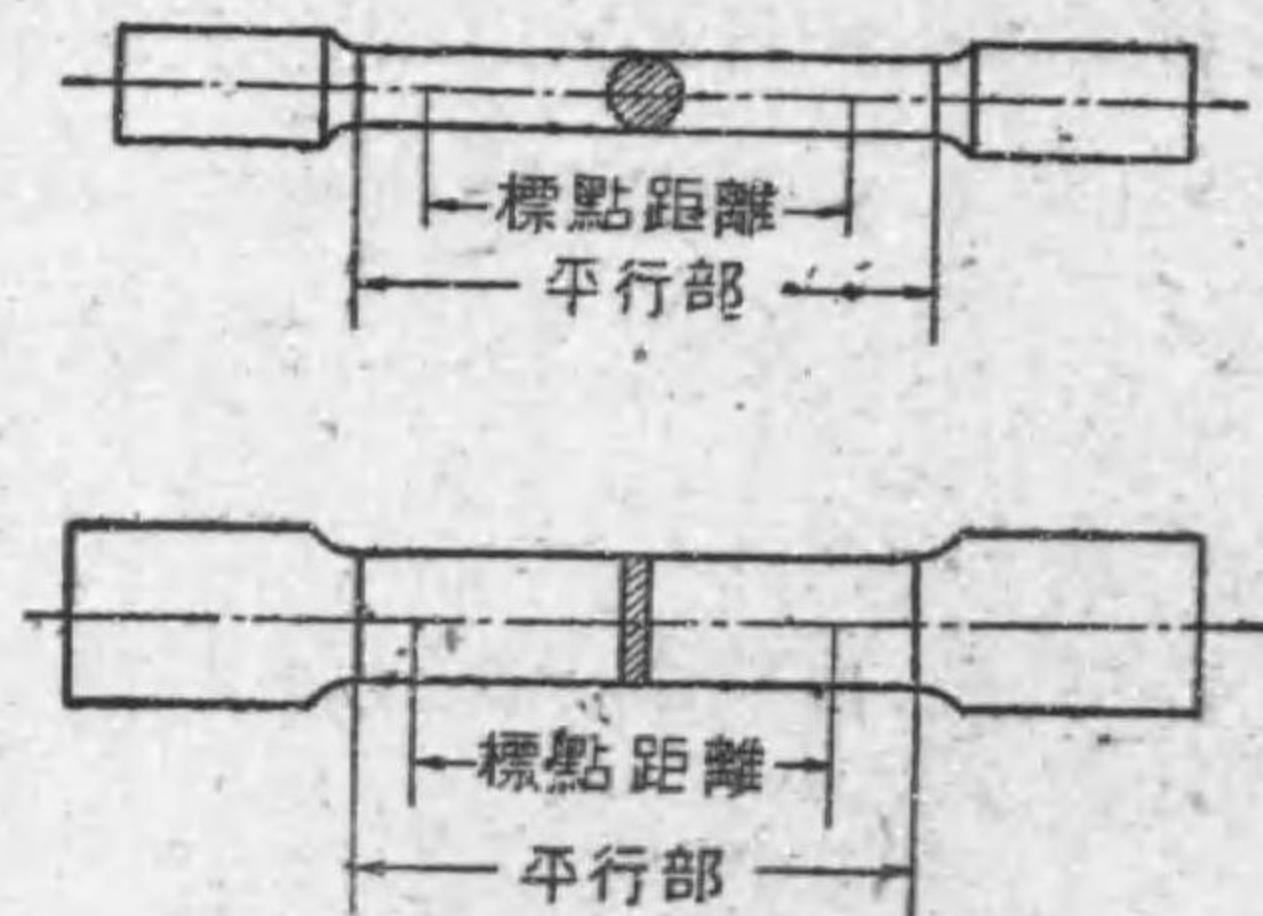
3・2 圖は數種の金屬の荷重・伸び線圖である。

抗張試験を行なふには、先づ試験片をつくる。試験片は、鑄物の場合は別にこれを鑄造することも

あるが、一般の材料に對しては適當な場所からとる。前にも學んだやうに、その場所は、材料全體の性質を代表できるやうに考慮するのはもちろん、採取や仕上の際には、その性質に變化を及さないやうに注意する。随つて試験片の數も材料に應じて適當にきめなければならない。

試験片の形狀と寸法は試験の結果に影響するものである。材料には棒・板・管・線など多くの種類があり、又その大きさ・厚さなども違つてゐるから、1 種類の試験片だけを用ひるわけにはゆかない。故に日本標準規格にはそれぞれ使用すべき試験片が規定されてゐる。

第 3・3 圖は試験片の形狀の一例である。平行部は均一な斷面をもち、その兩端に近く適當な距離をへだてて細い線、又



第 3・3 圖 抗張(引張)試験片

は小さい點を刻する。その間隔の長さを標點距離といひ、伸び測定の基準にする。兩端の太い部分は試験機に取り付ける把握部で、試験機の掴みの種類により、これに適合するやうな形狀・寸法に仕上げる。

抗張試験には、單に引張だけでなく、壓縮・屈曲などでもできるやうにしたいはゆる萬能材料試験機が一般に用ひられる。これには負荷の方法によつて油壓式・テコ式・振子錘式などがあり、機械の容量はその最大能力で示し、小は 1t 以下から大は 100t 以上のものがある。30~50t ぐらゐが多く用ひられる。わが國の試験機はアムスラー式・松村式・オルゼン式・ワレー式・バクソン式などである。

次に試験方法を調べてみよう。試験片の兩端の把握部を試験機の固定部と動作部とに裝置された掴みにつけ、運轉を開始すれば動作部が移動して、試験片に次第に増加する引張荷重が加る。各瞬間の荷重の大きさは目盛板で讀み取れるから、絶えずこれを注視して、増加が一時停滯する際の荷重、即ち降伏點と、試験片が切斷するまでの最大荷重とを記録して置き、後で降伏點と抗張力とを算定する。切斷された試験片は試験機から取り外づして切斷部を十分よく接着し、ノギスで兩標點間の長さを測つて伸びを計算し、又試験片の最小直徑部を測微計で 2~3 回測つて平均値をとり、斷面積を求めて絞りを計算する。又試験機の荷重・伸び自記裝置を用ひると、第 3・1 圖と第 3・2 圖のやうな荷重・伸び線圖が得られる。

試験の結果から、次のやうに機械的性質を算出する。

$$\text{降伏点 (kg/mm}^2\text{)} = \frac{\text{降伏点における荷重 (kg)}}{\text{試験片の原断面積 (mm}^2\text{)}}$$

$$\text{抗張力 (kg/mm}^2\text{)} = \frac{\text{最大荷重 (kg)}}{\text{試験片の原断面積 (mm}^2\text{)}}$$

$$\text{伸び (\%)} = \frac{\text{切断後の標点間の長さ} - \text{原標点距離}}{\text{原標点距離}} \times 100$$

$$\text{絞り (\%)} = \frac{\text{試験片の原断面積} - \text{切断後の最小断面積}}{\text{試験片の原断面積}} \times 100$$

降伏点としては、上下どの荷重をとるかは種々論議があるが、普通は試験片の平行部が荷重の増加なくして延伸を始める以前の最大荷重をとる。又降伏点があつきり測定できない材料では、標点距離の 0.2% の残留伸を生ずる応力を降伏点にすることもある。これを耐力といふ。試験の場合には、規定の耐力に相当する応力を試験片に加へた後、残留伸が 0.2% 以内ならばその材料は合格とする。

試験片が標点距離外で切断した場合は伸びの値はとらない。又標点距離内で切断しても、これが標点距離の端の 1/4 内で起つた場合には、伸びの値は小さくなるから試験をしなほす。

試験片を試験機に取り付けるには、試験片の軸の方向が抗張力の方向と完全に一致するやうにする。鑄鐵のやうなもろい材料を試験する場合は特にこの注意が必要である。軸の方向が一致しないと試験片に屈曲作用を生じ、不規則な破壊をして正しい試験数値が出ないことがある。これを避けるため試験機の試験片取附装置には移動の自由な球形座が用ひられ

る。球形座には潤滑剤を塗布して移動作用を容易にする。

どの場合でも試験機や測定器類は、使用に先だつてよく点検し常に正確を期さなければならない。材料試験機を据ゑ付ける場合や移動する場合には、主務官廳の検定を受ける必要がある。

弾性限界内では、應力とその應力によつて生ずる歪とが正比例する。この関係を弾性の比例法則(フックの法則)といふ。随つて、

$$\frac{\text{應力}}{\text{歪}} = \text{定数}$$

又は

$$\text{應力} = \text{定数} \times \text{歪}$$

になる。

この定数を弾性係数といひ、抗張力と伸びとの関係を示すものは、伸び弾性率(ヤング率)又は縦弾性係数といはれ、材料の種類によつてその値が違ふ。又横弾性係数といふのもある。

抗張試験の試験片の断面積と標点距離とは伸びの数値に係るもので、同じ断面積の試験片では、標点距離が小さなほど伸びは大きくなる。故に試験の結果を比べるには一定の試験片を用ひなければならない。しかし材料によつては、規定の寸法の試験片をとることができない場合がある。この場合には、同じ材料から成る幾何學的相似の試験片に、等しい

状態のもとに荷重を加へるときは、相似の變形を生ずるといふ都合のよい法則がある。これを相似の法則といふ。

$$\frac{\text{標點距離}}{\sqrt{\text{斷面積}}} = \text{定數}$$

この式で、定數は規定の試験片により既知數であるから、任意の斷面積に對する標點距離が算出できる。

相似の法則を應用することのできる試験片は都合がよいが、衝撃試験その他の試験片には應用できない。

諸種の金屬材料の機械的性質は後で學ぶが、大體のことは知つておく必要があるから、大體を第3・1表に示しておかう。

第3・1表
金屬材料の機械的性質と重量

材 質	性 質	抗 張 力 (kg/mm ²)	伸 び (%)	1cm ³ の重量 (g)
鑄 鐵	鐵	8~28	0	7.1
軟 鋼	鋼	38~45	35~30	7.8
硬 鋼	鋼	60~70	21~14	7.8
鋼 鑄 物	鑄 物	40~60	22~12	7.8
六 四 黃 銅	銅	38~44	55~45	8.4
ジ ニ ュ ラ ル ミ ン		30~50	25~10	2.8
ア ル ミ ニ ウ ム		7~26	40~3	2.7
亜 鉛	鉛	13~20	36~10	7.1
	銅	20~28	60~40	8.9
	錫	1.7~3.5	40~30	7.3
	鉛	1.3~2.3	45~18	11.3

一般に同じ材料では抗張力の大きなものは伸びは小さい。

2. 壓縮試験

壓縮試験は、材料に壓力を加へて破壊に耐へる力、即ち抗壓力や破壊しにくい材料に對しては、降伏點又は壓縮率を測定する試験である。金屬材料では鑄鐵や軸受合金などに行なはれるが、主に土木建築材料のコンクリートや石材などに對して行なはれる。試験方法は、萬能材料試験機で荷重を壓縮方向に働かせるほかは、大體抗張試験と同じである。

試験片は角柱のこともあるが、主に圓柱體とし、長さは長短どちらに過ぎてもよくなく、次の式ぐらゐのものが適當である。

$$\text{試験片の長さ} = \sqrt{\text{試験片の斷面積}}$$

$$\text{又は } \sqrt{1.5 \times \text{試験片の斷面積}}$$

試験片をつくる際特に注意することは、その兩端面を正確に平行に且つ軸方向に直角に仕上げることである。

試験の結果、次の數値が得られる。

$$\text{抗壓力(壓縮強さ)} (\text{kg/mm}^2)$$

$$= \frac{\text{試験片が破砕するまでの最大荷重(kg)}}{\text{試験片の原斷面積} (\text{mm}^2)}$$

軟鋼や銅などのやうに、破壊しないでどこまでも壓縮されてゆく材料では抗壓力は求められないから、この場合には降伏點や壓縮率を求めて比較する。

$$\text{降伏點} (\text{kg/mm}^2) = \frac{\text{降伏點における荷重(kg)}}{\text{試験片の原斷面積} (\text{mm}^2)}$$

壓縮率(%)

$$= \frac{\text{試験片の原長} - \text{一定荷重を加へた後の試験片の長さ}}{\text{試験片の原長}} \times 100$$

3. 硬さ試験

金属材料の硬さは機械的性質中重要なものの一つで、他の機械的性質と密接な関係がある。硬いものは大體において強いのが普通であるから、抗張力・抗壓力・曲げ強さなどがわかれば、そのものの硬さはほぼ推定することができる。

しかしこれは一般的なものではなく、ときとしては全然相反する場合もあるため、特に硬さの測定を必要とする。

硬さの定義は一定してゐないから、測定法も今日まで十數種以上も提案されてをり、その數値も必ずしも一致してゐない。しかし總括的にこれらの測定機械をみると、硬さとは材料の一部分の變形又は搔削に對する抵抗であるといふ考へに基づいて出來てゐる。

今日最も廣く用ひられてゐるものはブリネル硬度計とショア硬度計で、これにつぐものはロックウエル硬度計とビッカース硬度計である。國産品の主なものには、松村カタサメータ・本多佐藤式硬度計などがある。

1. ブリネル硬度計

この試験機は、一定の直徑をもつ硬い鋼球を一定の荷重で試験片の表面に押しつけ、荷重を取り去つた後に出來た永久凹痕の表面積で荷重を割り、その値を硬さとする。實際の場

合には凹痕の直徑を測定し、表によつて硬さを見出すやうにしてある。

鋼などの硬い材料に對しては、鋼球の直徑 10mm、荷重 3000kg、銅その他の軟質材料に對しては、鋼球の直徑 10mm、荷重 500kg が用ひられる。又薄い材料を試験する場合には、直徑 5mm、2.5mm などの小さい鋼球を用ひることもある。同じ鋼球を用ひ、違つた荷重によつて測つた硬さの間には何の關聯もないから、硬さを示すには、用ひた鋼球の大きさと荷重とを併記しておくことが必要である。

試験片は、いづれの硬さ試験でも表面はなるべく平滑に研磨し、且つその兩面はなるべく平行であることが必要である。ブリネル硬度計では、あまり小さいものや薄いものでは正しい硬さを得られないから、これに用ひる試験片の大きさは、凹痕の周圍は少くともその直徑に等しい幅を、又下部は少くとも直徑の 3 倍に等しい厚さのあるものでなければならない。

大體において邊の長さや直徑は、鋼球の直徑の 2 倍以上、厚さは 1 倍以上を標準とすればよい。しかし同じ試験片に數箇所の試験を行なふ場合には、その間隔を凹痕の直徑の 2 倍以上にすることが必要であるから、試験片を大きくしなければならない。材料によつては、實物を直接試験することもできる。

適當に準備した試験片を試験機に取り付け、撃突や打撃のないやうに靜かにだんだん強く壓力を加へ、規定の壓力に達

したならば、この壓力のもとに適當な時間そのまゝにして置いて凹痕を生じさせるのである。鋼球を壓すには普通油壓を利用する。一定壓力に保つ時間は、硬い材料に對しては 3000 kg の荷重で約 15 秒間、軟かい材料に對しては 500 kg の荷重で約 30 秒間である。

凹痕の直徑は、普通 1/10mm に目盛した目盛顯微鏡を用ひ、1/40mm の精度で互ひに直角の 2 方向に測定し、その中數をとり、硬度換算表によつて硬さを求める。この試験機は薄い材料や肌焼鋼・窒化鋼などの表面の硬さを測定するには適しない。

第 3・2 表は工業材料のブリネル硬度である。ブリネル硬度と抗張力との比は、これまで研究によると、同種の材料で

第 3・2 表 ブリネル硬度

炭素鋼炭素(%)	ブリネル硬度	材料の種類	ブリネル硬度		
圧延	0.1	普通鑄鐵	150		
	0.5				
	0.9				
焼鈍し	1.2	鉛	5		
	0.1			錫	5
	0.5				
0.9					
水中入	1.2	アルミニウム (焼鈍し)	25		
	0.1			亜鉛	45
	0.5				
0.9					
水中入	1.2	銅 (焼鈍し)	35		
	0.1			ヒ三黃銅 (焼鈍し)	50
	0.5				
0.9					
1.2					

はほぼ一定である。即ち、

$$\text{抗張力 (kg/mm}^2\text{)} = \text{定數} \times \text{ブリネル硬度}$$

である。故に定數がわかつてゐれば、ブリネル硬度から抗張力を大體推算することができて便利である。定數は材料の種類によつて違ひ、且つ精細に多數の實驗を行なはなければ確定できないが、大體第 3・3 表のやうである。

第 3・3 表

材料の種類	定數
鋼	0.33~0.36, ニッケルクロム鋼 0.34
アルミニウム	0.33
ジュラルミン	0.37
銅合金	0.55
鑄鐵	抗張力 = 1/6 (ブリネル硬度 - 40)

2. ショア硬度計

この試験機は、内徑約 6mm、長さ約 250mm の目盛を施したガラス筒内に、金剛石を尖端に取り附けた直徑約 5mm、重量約 3g の錘ををさめたもので、極めて簡便な機械である。試験を行なふには、ガラス筒を鉛直に保ち、その下に試験片を當ててよく接着し、錘を筒の上端から落して試験片の表面を打ち、その際の錘のはね上りの高さをガラス筒の目盛で読みこれを硬さとする。ガラス筒に目盛をする代りに、目盛板を取り附けた機械もある。この機械では、指針が硬さを指示したままその位置にとまるから、読みが容易にわかる。

試験に際して注意することは、ガラス筒を鉛直に保つこと

である。もし少しでも傾斜してゐると錘と筒の内面との摩擦が多くなり、錘のはね上りを妨げて小さい硬さを表す。なほ試験を繰り返す場合には位置を變へる。同じ場所を打つと硬さは大きく現れる。

試験片は、あまり薄いものやあまり小さいもののほかはどんなものでもよく、又材料や製品を直接試験することもできる。場合によつては、試験機の主體部を取り外づして用ひることもできる。試験機が簡単であるから、使用上十分に注意しないと正確な硬さを示さない。

試験機には硬軟 2~6 箇の硬さ基準片が附屬されてゐるから、使用前や使用中ときどき點檢して機械の正確さを確かめるのがよい。

軟かい材料で錘のはね上りが小さく、目盛が読み取りにくい場合には、鋼の尖端をもつ錘に取り換へることもできる。

3. ロックウェル硬度計

この試験機は金剛石の圓錐體や鋼球を押込體とし、それぞれ一定の荷重を作用させて試験片の表面に押し込み、その凹みの深さの逆數を硬さとする。

硬鋼や焼入した鋼のやうな硬い材料に對しては頂角 120° 、その尖端半徑 0.2mm の金剛石圓錐體を 150kg の荷重で、又軟鋼その他の軟かい材料に對しては、直徑 1.588mm (1/16in) の鋼球を 100kg の荷重で押壓する。測定に當つては、いづれの場合でも最初に 10kg の荷重を加へ、その際の凹みの深

さを基準とし、次に規定の荷重 150kg 又は 100kg を加へた後、再び荷重を 10kg に戻し、その際の凹みの深さを測るのであるが、實際には目盛板上に直ちに硬さが示されるやうになつてゐる。金剛石圓錐體を用ひた荷重 150kg の場合の硬さを C 硬度、鋼球を用ひた荷重 100kg の場合を B 硬度といふ。

目盛板は黒字と赤字とに區別してあり、黒字は C 硬度、赤字は B 硬度である。使用に當つて機械の正否を點檢するために、C, B 各硬度に對する硬さ基準片が附屬してゐる。

ロックウェル式では C 硬度と B 硬度とが標準であるが、これだけでは都合のわるいことがある。たとへばホワイトメタルや銅のやうな軟かい材料では凹みが深過ぎたりするし、又薄い板や表面の硬さを測る場合には、凹みになるべく小さいことが必要なので、大きな鋼球を用ひたり荷重を小さくしたりして試験することがある。その各種硬さは第 3・4 表のとほりである。

第 3・4 表

ロックウェル硬度

	C 硬 度	B 硬 度	A 硬 度	D 硬 度	E 硬 度	F 硬 度
押 込 體	金剛石	$\frac{1}{16}$ in 鋼球	金剛石	金剛石	$\frac{1}{8}$ in 鋼球	$\frac{1}{16}$ in 鋼球
荷 重 (kg)	150	100	60	100	100	60
目 盛 の 色	黒	赤	黒	黒	赤	赤

この試験機はブリネル式に比べて凹みが小さいから、試験

片は遙かに小さいものでよく、厚さも3mmぐらゐまでのもので差支へなく且つ迅速・簡単に試験ができる。

4. ビツカース硬度計

この試験機は大體ロックウェル硬度計に似てゐる。押込體として頂角 136° の金剛石製正四角錐體を用ひ、任意の荷重を作用させて試験片の表面に押しつけ、出來た正方錐形の凹痕の面積で荷重を割つた値を硬さとする。

荷重は、1~120kgまで材料の硬さや厚さに應じて適當に選び、10~30秒間一定の壓力に保持し、凹痕の對角線の長さを計測顯微鏡で測定して硬さを求める。

この試験機による硬さは、荷重の大きさには實際上無關係であるから、荷重を廣い範圍に變へることができる。随つて極めて硬い材料も軟かい材料も測定できるだけでなく、荷重を極めて小さくできるから、肌焼鋼・窒化鋼やメッキしたものなどの表面の硬さ、又はごく薄い材料の硬さも測られる。その上凹痕の周邊は球を用ひるものに比べて著しく鮮明であるから、正確な測定が得られ、試験片はごく小さいものでよいなどの便利がある。

5. その他の硬度計

(1)松村カタサメータ 凹みの體積の受ける平均壓力を硬さとするもので、金剛石製の押込體を、試験片の表面に押しつけて一定の凹みを生じさせ、目盛板によつて硬さを測る。

(2)本多佐藤式硬度計 主に高溫度における材料の硬さを試

験するために用ひるものであつて、左右に動搖する槌の尖端に鋼球をつけ、これで電氣爐中で加熱した試験片を衝撃し、そのはね上りによつて硬さを測るものである。

(3)マルテンス引搔硬度計 頂角 90° の金剛石製の引搔具に荷重を加へて試験片の表面を引搔き、出來た疵を比較するものである。この場合一定の幅の引搔疵を生ずるに要する荷重や、荷重を一定して生じた疵の幅で硬さを比べる。

(4)このほか多くの硬度計があるが、大體試験片に硬い物體を押しつけた場合の試験片の變形に對する抵抗力に基礎を置いて成つたものが多い。

6. 磁氣的硬さ

保磁力は、材料の成分・組織・加工などによつて變化するが、ブリネル硬度などの變化の狀況と同じやうであるから、これを間接的に硬さの測定に應用したものが磁氣的硬さである。磁氣的方法によれば、他の多くの硬度計のやうに材料に歪を與へないから、歪硬化の影響がなく、材料の眞の硬さを知ることができて、鋼の熱處理による硬さの變化を測定するにはよい方法である。しかし鐵鋼などのやうな強磁性體以外の材料には適用できない。

7. 諸種の硬さ間の關係

各種の硬度計は、各、異なつた定義に基づいて出來たものであるから、それらの硬さの間には何の理論的關聯もなく、随つてこれを互ひに換算することはできないのであるが、多

第3・5表 硬さの對照

ロック ウェル C	シヨア ビ カース	ツ ネ 硬度 10mm 鋼球 3000kg	ブリ ネ 硬度 10mm 鋼球 3000kg	ロック ウェル C	シヨア ビ カース	ツ ネ 硬度 10mm 鋼球 3000kg	ブリ ネ 硬度 10mm 鋼球 3000kg
70	98	1010	745	34	43	335	277
69	96	975	725	33	42	326	269
68	94	933	712	32	41	318	262
67	92	905	682	31	40	310	258
66	90	875	668	30	39	303	255
65	88	844	654	29	38	295	248
64	87	814	627	28	37	288	241
63	85	787	614	27	36	281	235
62	83	760	602	26	35	274	229
61	82	733	590	25	34	268	223
60	80	708	578	24	33	261	217
59	78	686	555	23	32	255	212
58	77	665	545	22	31	249	207
57	75	645	534	21	30	243	201
56	74	625	514	20	30	237	197
55	72	605	504	19	29	232	192
54	71	585	495	18	28	227	187
53	69	568	478	17	27	223	185
52	67	550	461	16	27	219	183
51	66	535	452	15	26	214	179
50	65	519	444	14	25	210	174
49	64	504	429	13	24	206	170
48	63	490	415	12	23	202	167
47	61	477	401	11	23	198	165
46	59	463	388	10	22	194	163
45	57	456	375	9	—	—	159
44	56	447	363	8	—	—	156
43	54	425	352	7	—	—	154
42	53	415	345	6	—	—	152
41	52	404	341	5	—	—	149
40	50	393	331	4	—	—	147
39	49	382	321	3	—	—	145
38	48	372	311	2	—	—	143
37	47	362	302	1	—	—	141
36	45	353	293	0	—	—	140
35	44	344	285				

くの實驗の結果によつて大體の比較はできる。これまで發表された實驗の結果も相當多いが、必ずしも一致してはゐない。しかし硬さは對照してみたいことが屢々あるから、第3・5表にその對照表を掲げておく。

4. 衝擊試驗

機械や構造物の衝擊、又は交番の動的荷重を受ける部分に用ひる材料は、抗張試験のやうな靜的荷重による試験の結果だけでは安心して用ひられないことが屢々ある。このやうな場合には、衝擊試験や疲れ試験のやうな動的荷重の試験をする必要がある。

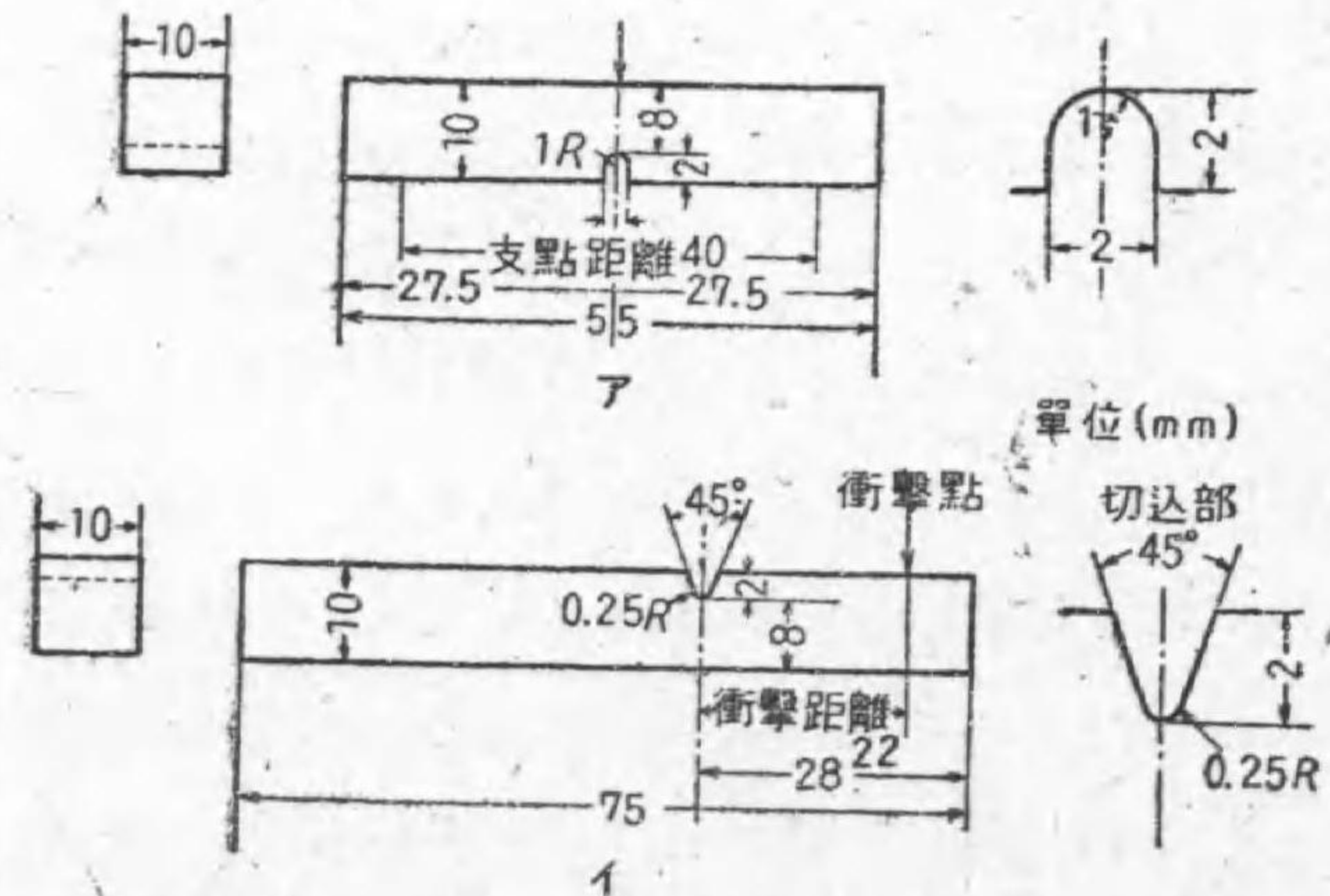
衝擊試験は、ただ1回の衝擊で試験片を折り、試験片の吸収したエネルギーの量によつてその材料の靱性・脆性を判断する試験である。この際の吸収エネルギーを衝擊値といひ、衝擊値の大きいほど靱性に富むものである。材料の靱性・脆性は靜的荷重試験、たとへば抗張試験における伸びと絞りから大體判断できるが、これは動的荷重試験とは必ずしも一致しない。伸びや絞りは相當大きくても、衝擊試験の結果は非常にもろいものがある。その著しい例は、ニッケルクロム鋼の焼戻脆性である。焼入した構造用ニッケルクロム鋼を600°Cぐらゐで焼き戻す際、これを急冷したものは衝擊値が大きい、緩冷したものではそれが非常に小さい。即ち著しくもろい。ところが抗張試験における伸びや絞りは、兩者に殆ど、違ひを認めないから、重要な材料などには衝擊試験を合はせ

て行なふ必要がある。

一般に用ひられてゐる衝撃試験機に、シャルピー式とアイゾット式とがある。共に一定重量の振り槌を一定の高さから振り落とし、その鉛直の位置に置かれた試験片を衝撃するやうになつてゐる。試験片の長さの方向に引張荷重を加へる場合と、横の方向に屈曲荷重を加へる場合と二つの方法があるがここでは主に行なはれてゐる屈曲衝撃試験について學ぶことにする。

試験機の容量には種々あるが、シャルピー式では 30 kg·m か 25 kg·m, アイゾット式では 16.6 kg·m (120 フートポンド) が標準になつてゐる。

第 3・4 圖は、標準容量の試験機に用ひる日本標準規格で規定されてゐる試験片の形状・寸法で、⑦はシャルピー式用、④圖はアイゾット式用である。どれも 1 回の衝撃によつて折



第 3・4 圖 ⑦シャルピー用 ④アイゾット用

れるやうに切込をつけてある。

シャルピー式用試験片は 10mm 角で、長さ 55mm, 切込の幅 2mm, 深さ 2mm, 底の丸み半径 1mm である。

アイゾット式用試験片は 10mm 角で、一端から 28mm の距離に切込を入れる。切込の形は V 形で、深さ 2mm, 底の丸み半径 0.25mm である。

衝撃試験では、一般に試験片の形状・寸法が試験の結果に影響することが多く、殊に切込部の寸法・形状は著しい影響を及すから、ゲージを用ひ、又はこれを擴大して見て、できるだけ精密に仕上げることが要求されてゐる。

試験時の温度もまた衝撃値に影響する。特に鐵鋼は常溫附近の温度の僅かの違ひでもかなりの影響があるから、試験片の温度を一定の範圍 (普通 15~20°C) に保つ必要がある。故に試験温度も記録しておくのがよい。

試験に當つては、シャルピー式では試験片を水平に保ち、その兩端を固定せず自由に支へ、切込部を正しく支點の中央に置く。又振り槌の刃も正しく試験片支持臺の中央、随つて試験片の切込部の反對側にくるやうにしなければならない。このためには、試験機に附屬してゐるゲージを用ひて検査する。このやうにして試験片を取り附けたならば、振り槌を振り落して試験片を折り、その餘勢でとび上つた角度を目盛板で讀み取ると、吸収エネルギー即ち衝撃値が得られる。衝撃値は試験片の形状・寸法が一定であるから、單に吸収エネル

ギー (kg/m) で表してよいのであるが、日本標準規格には、シャルピー衝撃値は吸収エネルギーを試験片の切込部の有効断面積で割つて、その値を kg/m/cm^2 で表すことに規定されてゐる。

アイゾット式では、試験片の一端を固定した片持梁^{カタマサバロ}として鉛直に保ち、その自由端^{じゆうたん}に近い位置に衝撃を加へる。これがシャルピー式と違ふ点である。衝撃値は単に吸収エネルギー kg/m で表す。

衝撃試験片は抗張試験片の場合と違つて、相似の試験片でもその衝撃値は違ふから、全く同形・同大の試験片を用ひないと正確な比較をすることができない。故に衝撃試験にはいつも一定の試験片を用ひる必要がある。

5. 疲れ試験

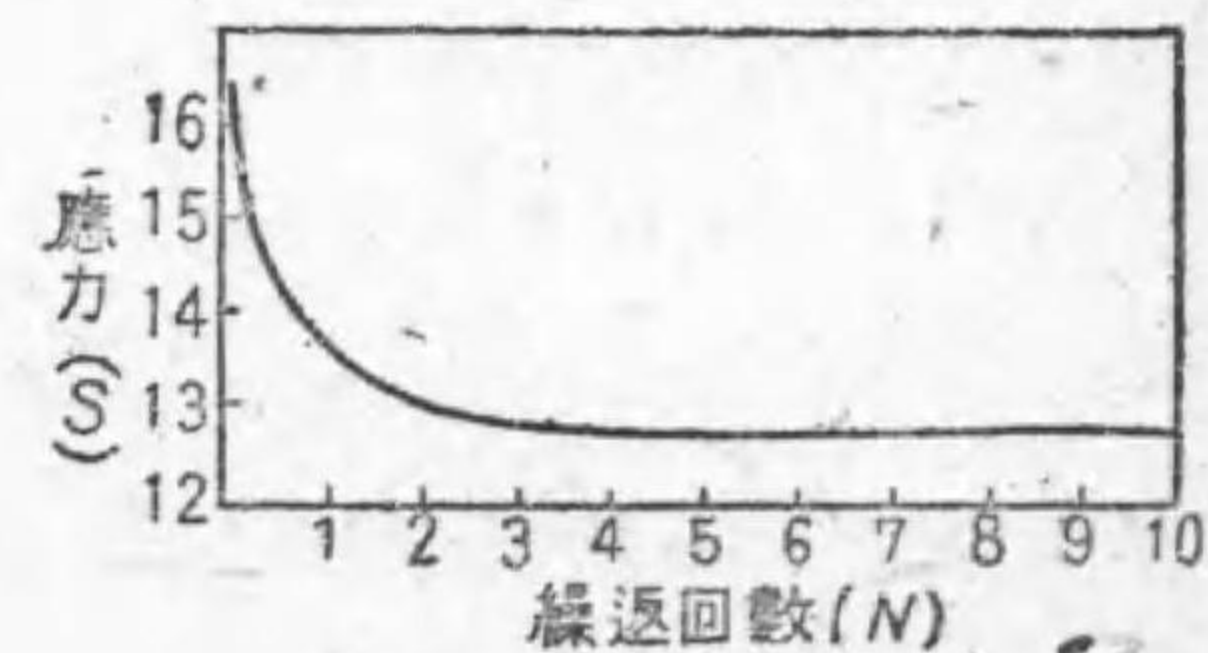
永い時間にわたつて繰返荷重を作用させると、その荷重が材料の抗張力より遙かに小さくても、遂に材料は破壊する。引張と壓縮、交互反対方向に働く曲げ・振れ・打撃を繰り返せば、一層小さい荷重で破壊する。このやうな破壊を疲れ破壊といふ。しかし荷重が或る大きさより小さいと、いくら永く繰り返して作用させても材料は破壊しない。この永久に材料が破壊を起さない荷重に相當する應力のうちで、その最大のもを疲れ限度といふ。

材料に繰返荷重を作用させると、一般に荷重が小さい間は材料の内部に何の變化も起らないが、荷重が或る大きさ以上

になると結晶粒の内部に滑りを生じ、繰返數の増加につれて滑りの數も増し、遂には滑り面の或る箇所^{箇所}に微細な亀裂を發生し、次第にこれが擴大して破壊するやうになる。疲れによる破壊は何千萬回といふ繰返荷重の間に少しづつ割れてゆくのであるから、貝殻状の滑かな特異な破面を呈し、破壊面に近接する部分は、他の靜的荷重の試験によつて破壊したものと違ひ、少しも永久變形を受けてゐないのが特徴である。

疲れ試験は、同じ材料から多くの試験片をつくり、その各、に大きさの違つた荷重を加へて破壊するまでの繰返數を測るのであるから、非常に永い時間がかかり實際には困難である。故に或る一定の繰返數に耐へれば、その應力は疲れ限度内にあることがわかる。その繰返數は鋼に對しては大體 1000 萬回内外を限度とし、非鐵金屬に對しては 10 億回以上も要することがある。繰返衝撃を加へる試験機では、これより遙かに少い繰返數で破壊する。

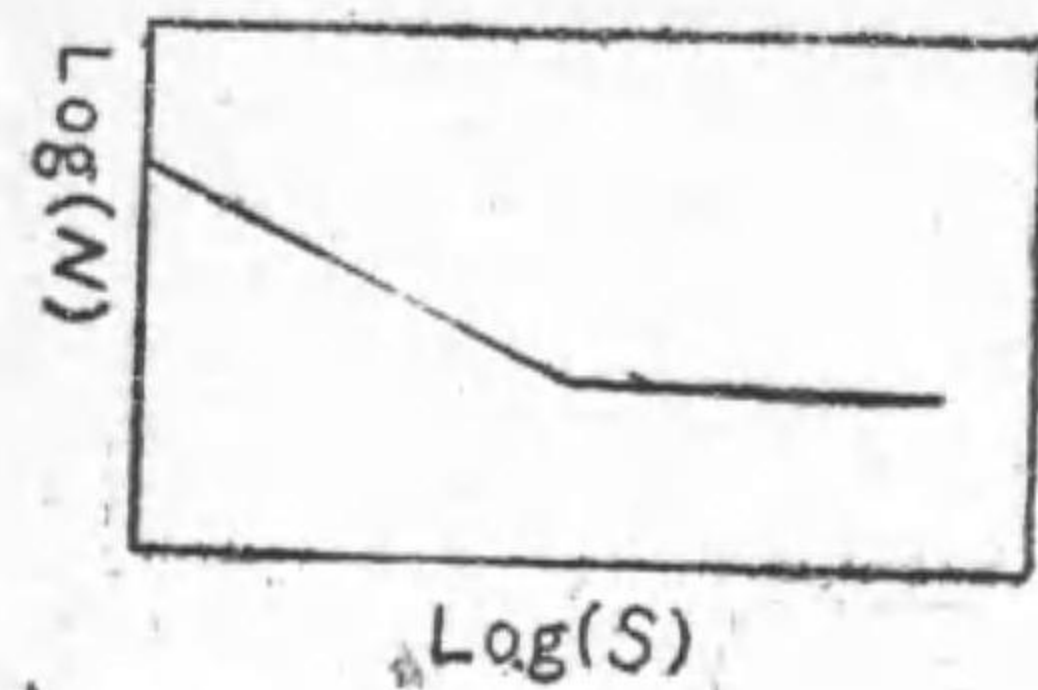
靜的荷重による疲れ試験機で疲れ限度を求めるには、繰返應力の大きさと、試験片が破壊するまでの繰返數との關係を求める。このためには第 3・5 圖のやうな應力の大きさと繰返數との關係の線圖を引く。この線圖を SN 線圖といふ。圖でわかるやうに、加へられる應力が大きければ繰返數は少くて破壊する



第 3・5 圖 SN 線圖

が、應力が小さくなるにつれて繰返数は多くなり、曲線は遂に横軸に殆ど平行な直線に近いものになる。これに漸近線をひけば、その高さに相當する應力は、無限に繰返し加へても材料が破壊しない最大の應力を意味する。これを疲れ限度とする。

應力と繰返数との關係をそれぞれの對數で表すと、第3・6圖のやうな直線になり、一層明らかに疲れ限度を求めることができる。



第3・6圖

對數で示した應力と繰返数

試験片の表面の仕上程度は試験の結果に影響するから、なるべくよく且つ同じ程度に仕上げる。

疲れ試験機には種々な型があるが、どの試験機でも、多くの試験片と非常に永い時間とを要するので、一般には少しの試験片とする迅速決定法が試みられてゐる。

疲れ試験は、クランク軸やピストン棒のやうな複雑に變化する力の作用を受ける材料の性質を判断するには最も理想的なものであるが、他の試験法に比べて非常に面倒なので、まだ一般化してゐない。

6. 匍匐試験

金属材料にその抗張力以下の或る一定の荷重を吊しておくと、時間のたつにつれて次第に伸びる。常温以上の温度では

殊に著しい。その荷重が一定温度のもとで或る一定量以下の場合には、或る程度まで伸びるとそれ以上は進まないが、荷重がその一定量を超えるか温度が上昇するかした場合には、どこまでもとまることなく伸び、材料は遂に破壊するやうになる。

このやうに材料が抗張力以下の小さい一定の荷重を永い時間受ける場合、徐々に變形を起す現象を匍匐といふ。

材料に加へた荷重が降伏點以上であつても、温度が低い場合には、歪硬化のため伸びは次第にその速さを減じ遂にはとまるが、温度が上つて軟化の影響を受けるか、又は荷重が大きくなつて或る限度を超えた場合にはどこまでも續いて伸び、材料はその温度における抗張力よりも遙かに小さい應力で破壊する。たとへば 300°C 、 400°C 、 500°C における軟鋼の抗張力は、匍匐のためには 55 、 39 、 30kg/mm^2 に對してそれぞれ 17 、 12 、 4kg/mm^2 の應力で破壊する。鉛のやうな再結晶温度の低い金属では、常温でも軟化の影響を受けて匍匐破壊が起るが、鋼は 300°C 以上でなければ匍匐破壊は起さない。このやうに匍匐によつて破壊する應力の大きさは、材料の種類や温度によつて違ふ。

匍匐試験は、永い時間にわたり一定荷重・一定温度のもとで、材料が破壊しない應力の中の最大應力を決定又は推定するのが目的である。その場合における最大應力を匍匐限度といふ。

匍匐試験には、荷重の加へ方によつて壓縮・曲げ・振れなどの試験もあるわけであるが、現在主に行なはれる方法は引張の場合である。

匍匐限度を測定するには多くの試験片を準備し、試験片を加熱する電気爐と負荷時間や伸びの関係線圖を自動的に記録する装置とをつけた材料試験機によつて、一定温度のもとに種々の大きさの荷重を作用させ、非常に永い日數にわたつて試験し、その結果から匍匐限度を決定又は推定する。

匍匐試験は疲れ試験と同様に、材料の實際使用状況に對して重要な意義をもつ。蒸氣罐の水管・蒸氣タービンの羽根・熱機關のシリンダのやうに、永く高温のもとに荷重を受ける材料には極めて必要である。機械の設計に當つては、材料に働く應力は匍匐限度以下にすべきである。しかしこの試験は多くの試験片と疲れ試験よりも一層永い時日とを要し、一般的には殆ど行なふことができないから、迅速決定方法が種々研究・考案されてゐる。

7. その他の試験

1. 曲試験と屈曲試験

鑄鐵・可鍛鑄鐵・鑄鋼・鍛鋼材などには、抗張試験のほかに、鑄放しのまま、又は機械仕上をした丸形・方形・矩形の断面をもつ細長い試験片を押し曲げてみる試験を行なふことがある。鑄鐵のやうなもろい材料に對しては、試験片を一定の間隔をもつ二つの支點で支へ、その中央に荷重を加

へて折斷し、その耐へた最大荷重と撓みとを測定する曲試験(抗折試験)を行なふ。

可鍛鑄鐵その他の材料に對しては、試験片の中央を規定の内側半徑で、規定の角度まで徐々に押し曲げて亀裂發生の有無を調べ、又屈曲を反對方向に繰り返して、折斷するまでの屈曲回數を測定する屈曲試験を行なふ。

2. 凹め試験と卷附試験

常溫で壓縮・折曲などの加工に用ひる薄板に對しては、球形の尖端をもつ押込體で試験片を押し凹め、亀裂の生じ始める凹みの深さを測つて材料の展延性をみる。エリクセン試験機はこの目的のものであつて、その試験數値をエリクセン値といふ。

針金は、針金自體又は細い棒に固く巻きつけたり解いたりして切斷・亀裂の有無を調べる。

3. 工作試験

これら種々の試験のほかに、實際の加工や使用の状態に近い状態で試験しなければならない場合がある。

(1)捻廻試験 素材片、又は矩形・圓形の断面をもつ棒を試験片とし、これをねぢ廻して生ずる裂疵の有無を調べるか、又はねぢ切れるまでの捻轉回數を測定する。

(2)槌打試験 直柱體の試験片を金敷の上に立て、その上端を槌打して裂疵の有無を調べる。

(3)鍛接試験と熔接試験 2 箇の試験片を鍛接又は熔接し、

鍛接性又は熔接性の良否を判定する。

(4)打展試験 試験片を赤熱し、素材の壓延方向に直角に打ち展げ、試験片の原幅を規定の幅として縁や表面に裂疵の有無を調べる。

(5)貫孔試験 試験片を赤熱し、規定の直径をもつ打貫工具で孔をあけ、孔の周縁の裂疵の有無を調べる。

(6)擴大試験 管の一端に規定の圓錐楔を挿入し、管口を規定の直径に擴大して裂疵の有無を調べる。

(7)扁平試験 管の試験片を扁平に打ちつぶして裂疵の有無を調べる。

(8)鑿出試験 管の軸と直角の平面に管端から鑿をつくり出して規定の直径とし、裂疵の有無を調べる。

(9)衝撃試験 工作品や試験片を規定間隔の支點で支へ、その中央に錘を落下させて變形や裂疵の有無を調べる。

(10)衝撃屈曲試験 試験片の一端を固定して自由端に錘を落下させ、その回数や屈曲角度を測定する。

(11)落下試験 工作品を規定の高さから地上又は床上に落下させて歪や裂疵の有無を調べる。

(12)磨耗試験 材料の磨耗は極めて重要な問題である。その機構は非常に複雑してゐるので試験方法にも種々ある。磨耗試験機の種類に本多式磨耗試験機がある。

以上學んだ諸種の試験のほか、剪斷試験・捩れ試験などがあるが、工業上には實用されてゐない。

8. 異常温度における試験法

金属材料は常温以外の温度で用ひる場合が非常に多く、常温時の性質を知るだけでは十分に安心はできないから、實際の使用温度における機械的性質を試験する必要がある。

異常温度における試験をするには、試験片を必要温度に保つて行なふ。常温以下における試験には、 -10°C ぐらゐまでは氷と食塩との混合物、 -80°C ぐらゐまではドライアイス、 -110°C ぐらゐまではアルコール中に液體空気を注入したもの、 -190°C ぐらゐまでは液體空気をを用ひて、試験片を直接冷却するか、又はこれらのもので冷却した空気中或はアルコール中で冷却して試験する。もし冷却して試験することのできない場合には、試験片を冷却装置から取り出し極めて敏速に試験を行なふ。諸種の低温試験は冷凍室内で行なふのがよい。

常温以上における試験は、主に電氣抵抗爐で試験片を熱して行なふ。

異常温度における試験では、温度の測定に多くは熱電對高温計が用ひられるが、これを用ひる際、熱電對の熱接點をよく試験片に密着し、試験片の實際の温度と高温計の指示する温度と違はないやうに特に注意する。

第 4. 銅と銅合金

銅と銅合金は青銅時代の昔から現代に至るまで、非鐵金屬

中最も大量に生産され広く使用されてきたものである。現在では種々の軽金属や軽合金を生産するやうになつたが、銅と銅合金とは依然として、工業・通信その他の方面に必要欠くことのできない金属材料の一つである。銅は単體で、その大部分は電気用材、又は合金として機械の部分品その他に用ひられる。銅合金の種類は非常に多いが、主なものは黄銅と青銅である。

1. 銅

銅その他の金属の物理的性質は第 1・2 表のとほりであるが、銅は銀について熱・電気の良い導体であることが特徴である。銅は酸類・塩類・アンモニアその他のアルカリ溶液や海水におかされやすく、空気中では塩基性炭酸化合物・酸化物などから成るいはゆる^{ろくしやう}緑青を生ずる。緑青は鐵の銹と違つて緻密な皮膜であるから、それ自體が防銹被覆となつてその後の銹を防止する。

銅の中に不純物として普通に含まれてゐるものは、酸素・蒼鉛砒素・アンチモン・鉛・硫黄・鐵・亞鉛・珪素などである。不純物はなるべく少い方がよいことはもちろんであるが、特に蒼鉛・鉛は著しく銅を脆弱にする。砒素・アンチモンもやや多量に含むと銅を脆弱にするけれども、砒素は 0.1~0.4% ぐらゐの微量ならば却つて高温で酸化・還元ガスに対する性質がよくなる。故に機關車の火室などに用ひられる。酸素は全然無いよりはごく微量の酸化第二銅が存在する方が機械

的性質がよい。

電気用材料としては不純物が極めて少いのがよいから、主に電気銅を用ひる。導電率を著しく害するものは、燐・砒素・アルミニウムであるから、溶解の際脱酸剤の種類に注意を要する。又常温で加工したままのものは導電率がわるいが、焼鈍しすればよくなる。しかし焼鈍しの温度が高過ぎるとか時間が永過ぎると又わるくなるから、焼鈍しの温度と時間とは適當でなければならない。電線などは導電率だけでなく強いことも必要であるから、合金線も用ひられる。

銅の地金には、電気分銅・電気形銅・上形銅・並形銅・丁銅・棹銅などがある。電気分銅は電気分解した陰極板であり、電気形銅は陰極板を灼融して鑄塊にしたもので、これらを電気銅といふ。

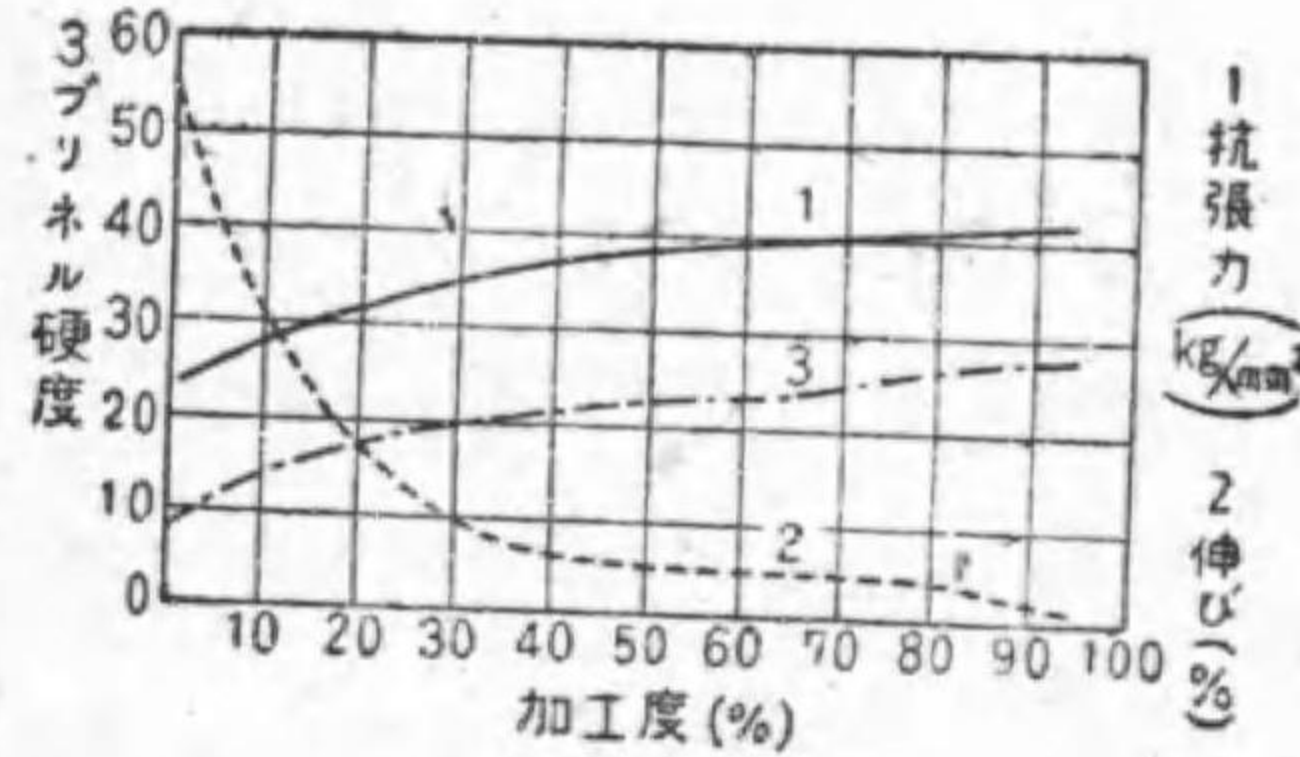
上形銅と並形銅とは粗銅を鑄塊にしたもの。丁銅は打物又は板用の材料、棹銅は線材用の材料である。純度は、電気銅 99.85% 以上、上形銅 99.6% 以上、並形銅 99.3% 以上である。

銅は氣孔が出来やすいので鑄物にすることは困難であるが、展延性に富んでゐるから容易に板・針金・管などにすることができる。機械的性質は第 4・1 表のとほりであるが、冷間加工と焼鈍しとを加減することによつて、抗張力と伸びとの関係を相當廣い範圍に變化させることができる。このことは、多くの金属・合金でも同様である。

第4・1表 銅の機械的性質

状態	抗張力 (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	硬さ	
					ブリネル 硬度	シヨア 硬度
鑄物	14~20	4.5~6	25~50	40~60	30~50	—
常温圧延材 (加工度 40%)	34~36	—	4~5	7~8	65~75	—
圧延後焼鈍し したもの	22~25	6	50~60	40~60	35~40	6~7

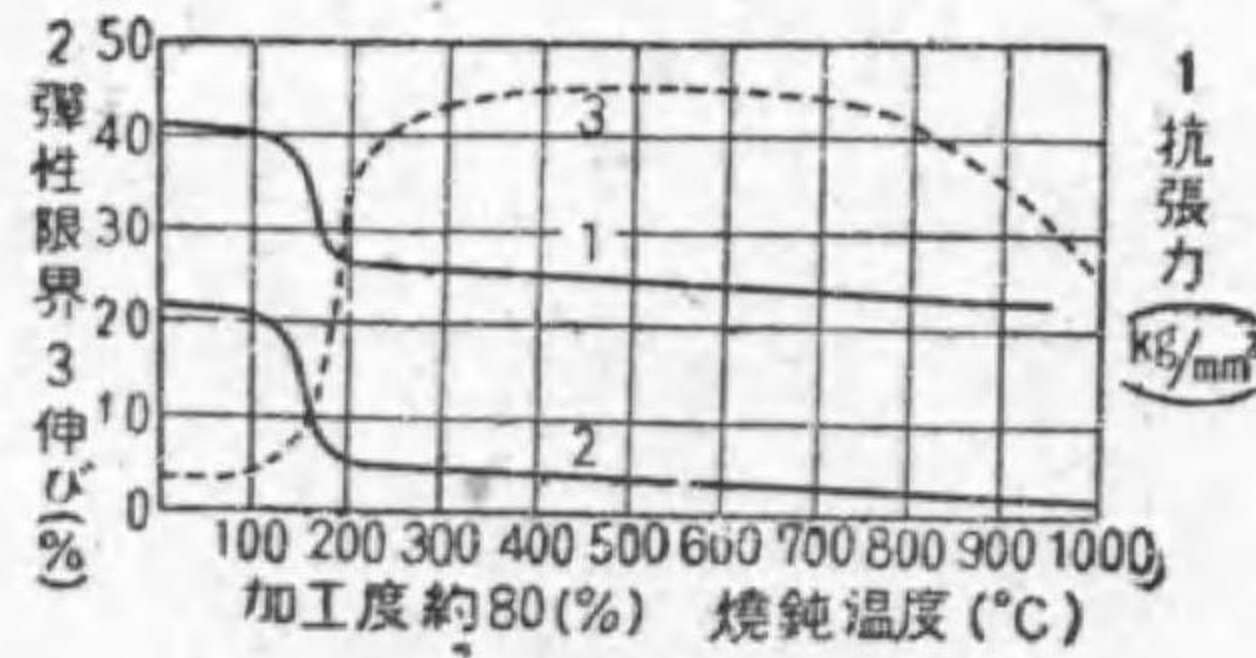
第4・1圖は電氣銅板の加工度によつて機械的性質の變化する状態、第4・2圖は加工度約80%の銅板を種々な温度で焼き鈍したものの機械的性質の變化する状態を示したものである。



第4・1圖

電氣銅板の加工度と機械的性質

銅の板・棒は、軟質・硬質・半硬質などの區別をつけることがある。軟質材は圧延又は引抜後焼鈍しをしたもの、硬質材は常温で圧延又は引抜したままのもの、



第4・2圖

銅板の焼鈍温度と機械的性質

150°C 附近で急に抗張力や弾性限界を減少して伸びを増すのは、この温度で歪を受けた結晶粒が壊れて再結晶を生じたためである。

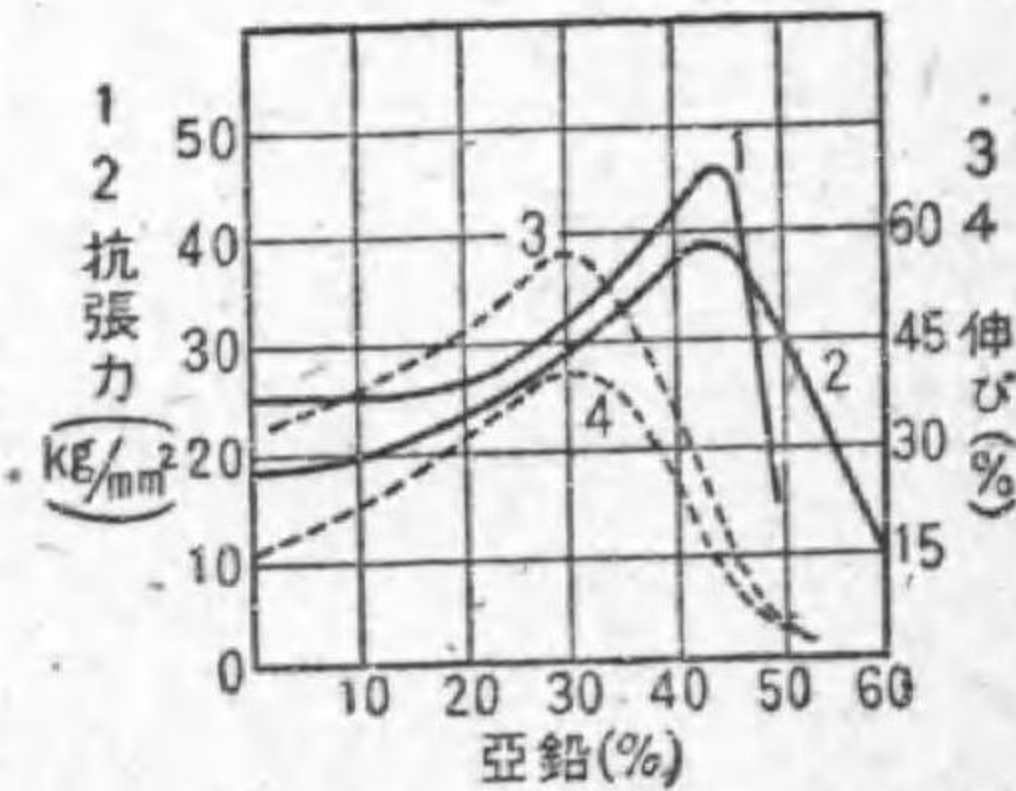
半硬質材は焼鈍した後、常温で軽度に圧延又は引抜したものである。銅の焼鈍温度は 650°C 前後である。

純銅は軟弱であるから構造用としての用途は狭く、熱の傳導を目的とする所、たとへば蒸發器や冷却器の蛇管などに用ひられるが、主に電氣の傳導を目的とするもの、即ち送電線・電信電話線・發電機・電動機、その他の電氣器具・機械などに用ひられる。

2. 黄銅

黄銅(真鍮)は銅と亜鉛との合金で、實用されてゐるものは亜鉛 8~45% である。黄銅と青銅とは銅合金の主要なもので、普通に青銅は鑄物にして用ひ、黄銅は圧延・引抜などの加工を施して板・棒・管・針金などにして用ひるが、青銅の代用として鑄物にすることもある。

黄銅は亜鉛が多くなるにつれて融點が下り、熱と電氣の傳導率があつてくる。亜鉛 35% 以下のものは常温で非常に展延性に富み、圧延・引抜によつて板・棒・管・針金などにすることが容易で、熱間加工には不純物を含むものは亀裂を生じやすい。亜鉛 36~45% のものは、多少の不純物があつても熱間加工に適し、又常温でも加工することができる。



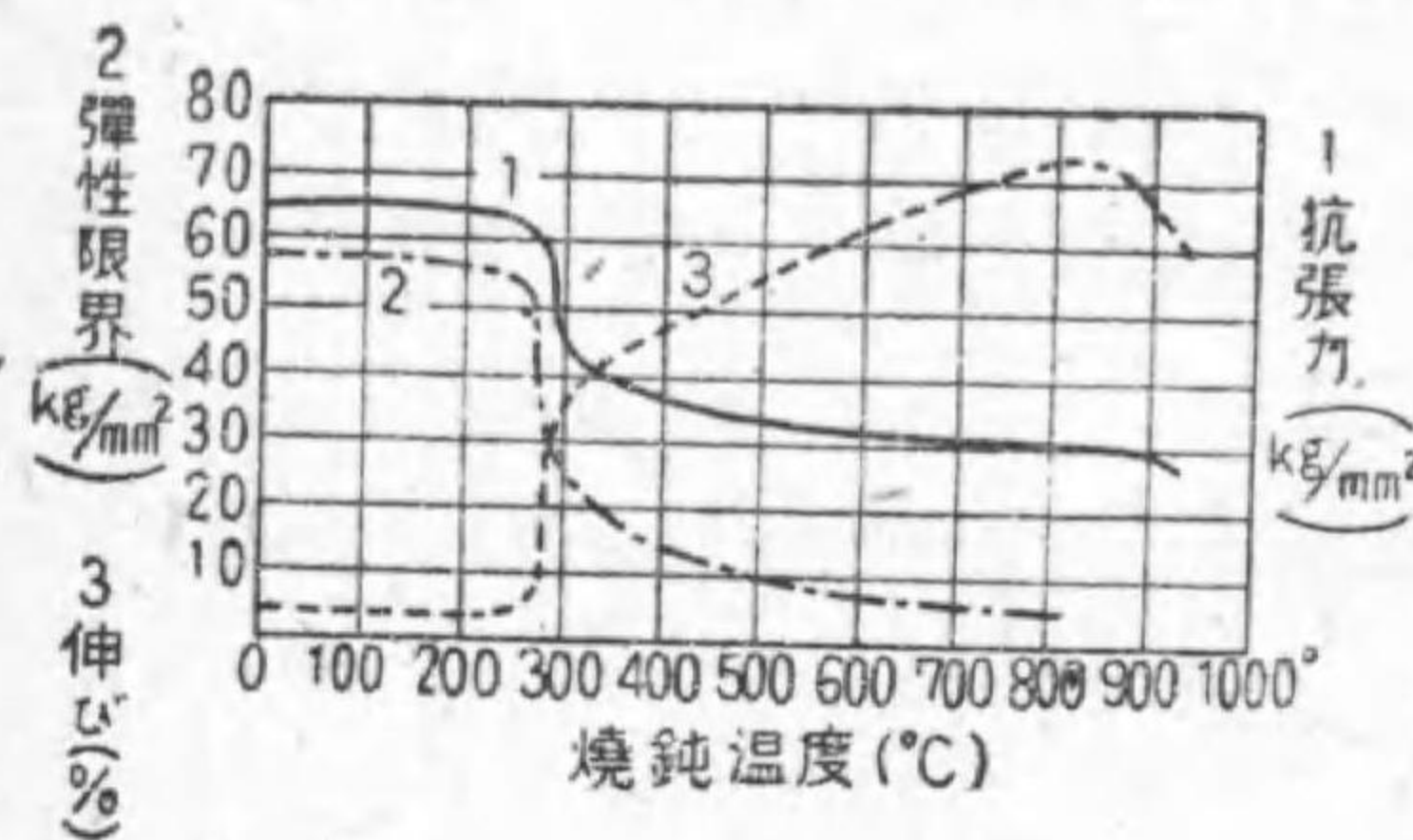
第4・3圖

黄銅の亜鉛含有量と機械的性質

機械的性質は、亜鉛が増すにつ

れて抗張力を増し、亜鉛 45% 附近で最大に達し、その後速かに減少する。伸びは、亜鉛 3% ぐらゐまでは亜鉛の増加と共に増し、それから速かに減る。多くの合金は抗張力の増加につれて伸びが減るものであるが、黄銅は亜鉛約 30% までは抗張力も伸びも共に増加するのが一つの特徴である。

黄銅も銅と同じやうに、常温で加工すれば、加工度の増すにつれて抗張力・硬さを増し、伸びは減少する。これを焼鈍すれば第 4・4 圖のやうに、280°C ぐらゐで急に抗張力



第 4・4 圖

・ 延黄銅材の焼鈍温度と機械的性質

と硬さとを減少して伸びを増加する。黄銅はこの温度で再結晶するからである。再結晶が終れば、その後は焼鈍温度が上るにつれて結晶粒

は次第に成長するから、機械的性質もまたこれにつれて次第に變化してゆく。
常温ではげしく一方に偏した加工をしてつくった管・棒・板を壓縮して製造した品物は自然に亀裂を生ずることがある。これを自然割といふ。自然割はアルミニウム青銅などにも起る。原因は、加工によつて結晶粒が歪を受けたため、内部應力が存在するからで、空気中のアンモニアやその他の塩類などのために腐蝕して弱い部分が出来ると、内部應力に負けて

割れる。この割れは結晶粒の境界に沿つて起る。自然割は再結晶を生ずる温度で焼鈍すれば起らないが、200~280°C の低温で焼鈍しをしても防止することができる。自然割のおそれのある品物は、第一硝酸水銀液・昇汞水・アンモニア水の中に短時間漬けて裂疵の有無を調べれば、自然割に対する焼鈍しの適否を判断することができる。

黄銅中の不純物の主なものは、鉛・アンチモン・砒素・蒼鉛・カドミウムなどで、どれも黄銅の機械的性質をわるくする。殊に鍛錬用黄銅には、蒼鉛・アンチモン・鉛は有害である。しかし高速度で切削して、ネジや歯車などをつくる材料の挽物用黄銅棒には、切削性をよくするために 1.5~3% 程度の鉛を加へる。

(1) 黄銅の種類と用途 黄銅を大別すると、鍛錬用と鑄物用となるが、鍛錬用は用途によつて亜鉛の含有量が違つてゐる。

普通に用ひられる鍛錬用黄銅は次の數種である。

(ア) 九一黄銅 亜鉛含有量 10~20%、黄金色を呈し常温で板・針金・箔などに用ひる。又鑄物として蒸氣管具・電氣用具などにも用ひられる。しかし質は軟弱で純銅と大きな違ひはないから、機械材料としての用途は少い。

(イ) 七三黄銅 亜鉛含有量約 28~31%、黄色を呈し延性が最も大きく、強さも相當に高い。主に常温で壓延・引拔・壓縮などによつて、板・管・針金や電燈のソケットなどの複雑な

形のものをつくる。

加工後焼鈍しをしたものの機械的性質は第 4・2 表のやうである。

第 4・2 表 七三黄銅の機械的性質

抗張力 (kg/mm ²)	降伏點 (kg/mm ²)	伸 び (%)	ブリネル 硬 度	シ ョ ア 硬 度
30~34	9	60~70	45~50	8~10

(ウ)二一黄銅 亞鉛約 32~35% を含み、色は七三黄銅に似て僅かに黄みがまさり、機械的性質も大體七三黄銅に等しく、展延性もよいから、常溫で加工度の大きい品物をつくるのに廣く用ひられる。亞鉛の量が七三黄銅よりも多いから經濟的である。加工後焼鈍しをしたものは、抗張力 28~35 kg/mm²、伸び 50~70% である。

(エ)六四黄銅 亞鉛の含有量約 39~42% で、帶赤黄色を呈し、熱間加工によつて板・棒などをつくる。薄いものや美しい表面の必要なものには、常溫で仕上加工をする。この黄銅は延性は少し低い、強さも硬さも大きい。市販の板・棒などは主に六四黄銅である。強さを主な目的にするものや、その他一般的な用途に供せられる。

第 4・3 表 六四黄銅の機械的性質

抗張力 (kg/mm ²)	降伏點 (kg/mm ²)	伸 び (%)	ブリネル 硬 度	シ ョ ア 硬 度
40~44	10~13	45~55	70	10~20

鍛錬用黄銅で、常溫において加工するものでも、最初の鑄塊の粗加工は熱間で行なふ方が經濟的である。常溫で加工すれば硬くもろくなるから、加工の間に屢、焼鈍しをする。焼鈍溫度は約 650°C である。最後の焼鈍溫度は必要な機械的性質が得られるやう適當に加減する。不純物の多い黄銅は溫度が高過ぎると脆弱になりやすいから、なるべく 650°C を超えないやうにしなければならない。

鑄物用黄銅は、亞鉛の含有量 30~40% が普通で、35% が標準である。又用途によつては 10~15% のものも用ひられることは九一黄銅で學んだとほりである。鑄物用黄銅には古地金からの鉛・鐵・錫などの不純物を相當含んでゐるものが多い。

3. 特殊黄銅

特殊黄銅とは、特殊な用途のために機械的性質を改善したり、耐蝕性・耐磨耗性などを増加したりするために他の元素を加へた黄銅をいふ。多くの特殊黄銅は、鐵・マンガン・錫・ニッケル・アルミニウムなどの 1 種又は 1 種以上の少量で、多くは六四黄銅の銅又は亞鉛と置き換へたものである。

1. 鐵入黄銅

六四黄銅に 1~2% の鐵を加へれば結晶粒を微細にし、抗張力・降伏點・硬さを増し、伸びを減少しない特徴があるので、高力黄銅の一種として知られてゐる。鐵のほかに少量の錫・アルミニウムを加へたものもある。

この黄銅は鍛錬材にも鑄物にも適し、又熱間加工も冷間加工もできる。機械的性質は、鑄物で抗張力 35kg/mm^2 前後、伸び約 10%、鍛錬材で抗張力 48kg/mm^2 前後、伸び 30% 前後である。200°C ぐらゐまでは抗張力の低下することが少く且つ耐蝕性がよいから、船舶・鑛山・水力・化学機械などの部分品及び歯車・バネ、その他腐蝕されやすい部分や高温にさらされる部分などに用ひられる。

2. 錫入黄銅

七三黄銅と六四黄銅に錫 1% 内外を加へれば、熔金の流動性を増し充實した鑄物が得られ、展延性は少しわるくなるが抗張力・硬さを増し、且つ海水・食塩水などに對する耐蝕性を増大するから、船舶用の諸材料や復水器管・過熱器管・蒸發器管・冷凍器管などに用ひられる。

ネーバル黄銅は、六四黄銅に錫 1% 内外を加へたもので、抗張力 $35\sim 47\text{kg/mm}^2$ 、伸び 30~50% である。

七三黄銅に 1% 内外の錫を加へた黄銅は、抗張力 $33\sim 50\text{kg/mm}^2$ 、伸び 30~70% である。

錫のほかにアルミニウム・珪素などの少量を加へて一層耐蝕性の改善をはかつたものがある。わが國で創製された SNB・アルブラックはこれである。

3. マンガン黄銅

七三黄銅と六四黄銅に 5~6% 以下のマンガンを加へると、機械的性質や海水・鑛水に對する耐蝕性の良好なものが得ら

れる。

普通にマンガン青銅といはれてゐる合金は、實は黄銅にマンガンその他の元素を加へた複雑な組成のものである。第 4.4 表はその例である。

第 4.4 表 マンガン青銅の組成

銅 (%)	亜鉛 (%)	マンガン (%)	錫 (%)	鐵 (%)	アルミニウム (%)	ニッケル (%)
55~60	37~40	0.3~5	0~1.5	0~2	0.4~1.5	0~1

鑄物にはマンガンを 6% まで加へたものがある。

この合金は、強靱で海水・鑛水に對する耐蝕性が非常に良好な特徴があるから、鑄物として船舶の推進器羽根・船用・鑛山用機關・機械・器具、及びポンプの弁などに用ひられ、鍛錬材は、板・棒・管にしてボルト・ネジ・ポンプロッド・タービン羽根その他に用ひられる。

第 4.5 表 マンガン青銅の機械的性質

抗張力 (kg/mm^2)		伸 び (%)
鑄物	49~68	15~30
鍛錬材	49~65	20~40

4. シルジン青銅

この合金はわが國で發明され廣く使用されてゐるもので、九一黄銅に珪素を加へたものである。鑄物として青銅にまさり、鍛錬材としても良好で價も安く耐蝕性のよいのが特徴である。船舶の推進器羽根や鐵道その他に用ひられる。第 4.

6 表はシルジン青銅の規格である。

第 4・6 表 シルジン青銅の組成と機械的性質

種別	成分			状態	抗張力 (kg/mm ²)	伸び (%)	ブリ ネル 硬度	衝撃値 シャルピー (kg/m/cm ²)
	銅	亜鉛	珪素					
第1種	85~87	9~11	3.8~ 4.2	砂型 鑄物	40以上	25 以上	80以上	—
				鍛錬 棒	45 "	35 "	90 "	6.5以上
第2種	79.5~ 81.5	14~16	4.2~ 4.8	砂型 鑄物	45以上	15 以上	110以上	—
				鍛錬 棒	60 "	25 "	120 "	3.5以上

4. 青 銅

普通の青銅は銅と錫とを主成分とする合金で、合金中最も古くから用ひられたものである。これに少量の亜鉛・鐵・鉛などを混ぜたものもある。このやうに青銅は銅と錫との合金であつたのであるが、その後種々な目的のため、又は特殊な性質を附與するために、種々な元素を加へたり全く錫を含まない合金をつくつたりし、それらをすべて青銅といはれてゐるのでその種類は非常に多い。近頃では錫を主成分として配合した青銅を錫青銅といひ、ほかのものと區別するやうになつた。錫青銅に特殊元素を加へたものや、錫の代りに他の金屬を配合したものを特殊青銅といふ。

1. 錫 青 銅

實際に用ひられる錫青銅は、錫の含有量が 35% 以下のものので多くの種類があるが、機械用としては錫 4~12% の範圍である。これらは主として鑄物にするが、鍛錬して用ひるこ

ともある。

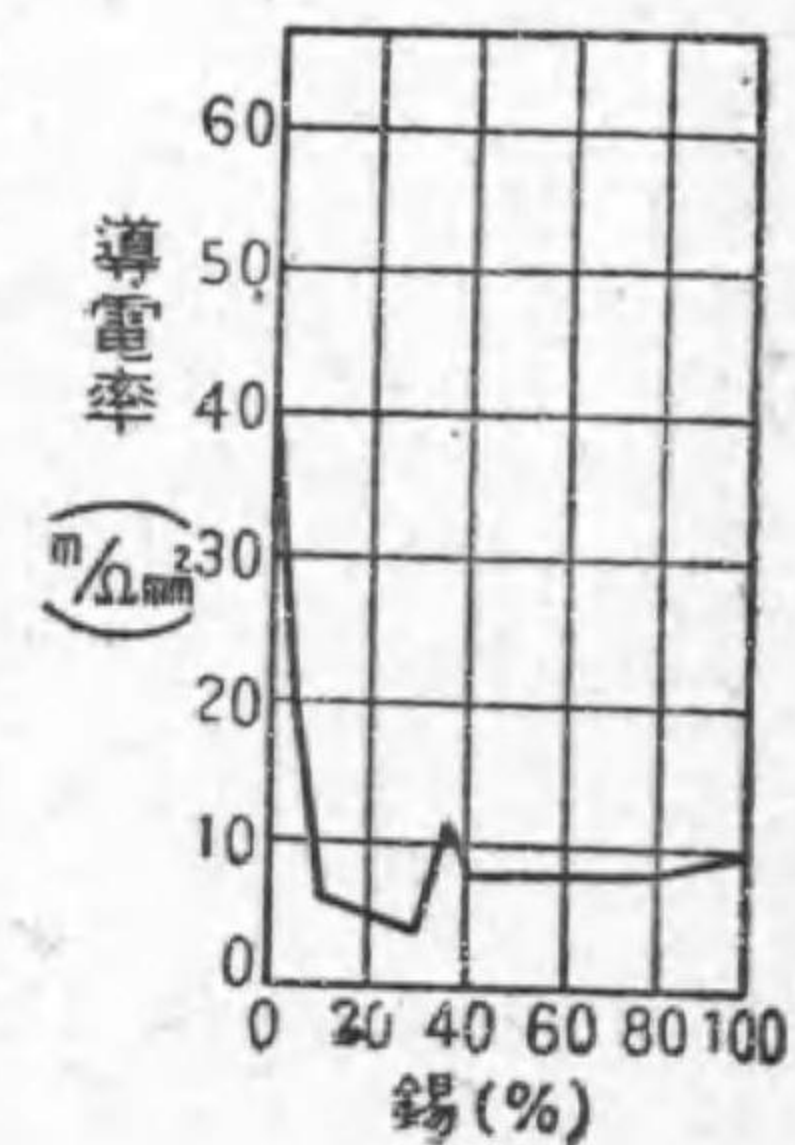
(1) 物理的性質

(ア) 色調 青銅の色は錫の含有量が増加するにつれて次第に銅の赤色を減じ、11% で帯赤黄色、15% で橙黄色、26% で帯蒼白黄色、50% で帯黄蒼白色に變る。銅の色を消す力の強い金屬は銅とニッケルである。

(イ) 比重 實用範圍内の成分の青銅の比重は純銅と殆ど變らない。

(ウ) 電氣と熱の傳導率 青銅の電氣と熱の傳導率は、錫の量が増せば急激に減る。錫 10% を含む青銅の熱傳導率は純銅の約 10% である。第 4・5 圖は青銅の導電率である。

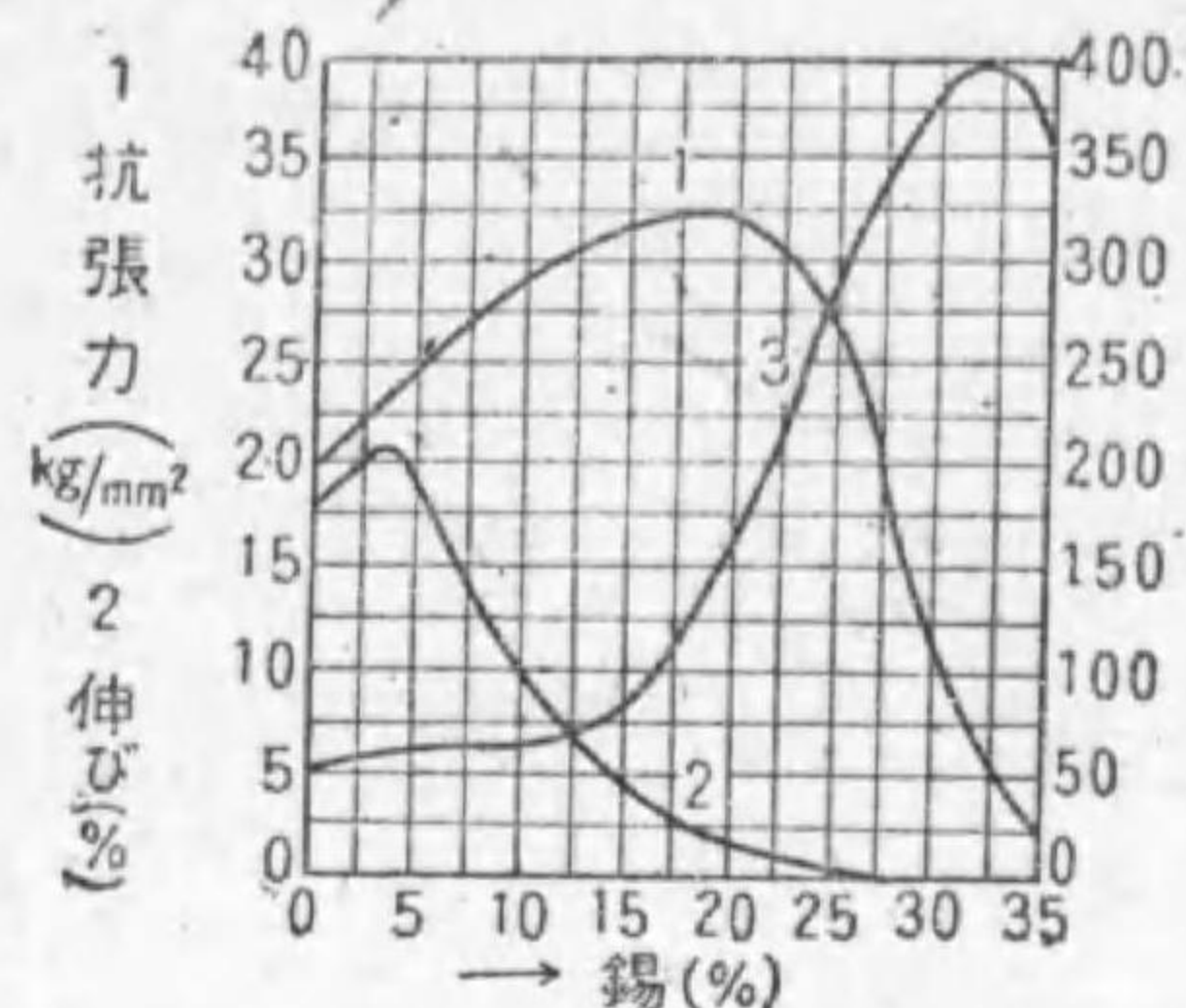
(2) 機械的性質 青銅の抗張力は、錫の含有量が増すにつれて次第に増加し、15~20% ぐらゐで最大となり、それを超えると急速に低下し、伸びは錫の増加と共に減るが、特に 4~5% 附近から急に減少し、又硬さは錫の増加と共に急激に増して 30% ぐらゐで極めて大きくなり、それ以上になると再び急激に減少する。



第 4・5 圖
青銅の導電率

第 4・6 圖は、青銅の錫含有量と機械的性質との關係である。

錫 10% ぐらゐまでの青銅は、常溫で壓延・引拔などの加



第4・6圖

青銅の錫含有量と機械的性質

的性質である。

第4・7表 工業用青銅の機械的性質

材 質	抗 張 力 (kg/mm ²)	降 伏 点 (kg/mm ²)	伸 び (%)	ブ リ ネ ル 硬 度
極軟焼鈍材	25~35	12~16	40~50	60~70
半硬材	40~50	28~36	15~20	70~90
硬材	70~90	70~90	1~5	170~190

2. 錫青銅の種類と用途

(1)貨幣用青銅 これは錫の含有量が3~8%のもので、貨幣・賞牌・徽章などをつくるからこの名がある。耐摩耗性や耐蝕性がよいから、船の張板などに用ひられる。鑄造性をよくするために亜鉛0.5~1.5%、又賞牌・徽章用には刻印を容易にするために鉛1~3%を加へることがある。

(2)砲金 約10%を含む青銅である。鑄物にも鍛錬材にもなる。強くて靱性も相當にあり、耐摩耗性・耐蝕性に富んでゐるので 今日では機械の部分品材料として廣く用ひられ

3 工をすることができるが硬くなるのが早い、加工硬化した青銅は、650°C内外の温度で焼鈍しをすれば軟かくなる。第4・7表は錫の含有量6~10%の加工した工業用青銅の機械

てゐる。主な用途は弁・コック・齒車・ピストン・ブッシュなどである。

鑄造性をよくする目的で普通1%内外の亜鉛を加へ、又切削性をよくするために1%内外の鉛を加へることがある。

砲金鑄物の機械的性質は、大體抗張力24~30kg/mm²、伸び10~20%であるが、これを700°Cぐらゐで焼鈍しすると著しくよくなつて、抗張力は約30kg/mm²、伸びは35%ぐらゐになる。

(3)軸受青銅 錫13~19%で、普通これに亜鉛を2~4%加へる。なほ少量の鉛を加へると更に良好である。

(4)鐘用青銅 錫15~25%を含む青銅で、硬くてよい音を出す。不純物を含むと音色が鈍くなる。鐘のほか汽笛などにも用ひられる。

(5)鏡用青銅と銅像用青銅 錫30~35%の青銅は非常にもろいが、色が白くて硬く、よく磨いたものは空氣中で曇らないから、ガラスの鏡が出来る前には鏡に用ひられた。銅像や建築の裝飾に用ひる青銅は、品物と目的によつて組成はさまざまであるが、空氣中にさらされて美しい緑皮を生ずることと、鑄造性がよいことなどが必要で、大體錫2~8%、亜鉛15%以下、鉛3%以下の範圍である。いづれも工業用としては殆ど用途のないものである。

3. 特殊青銅

(1)磷青銅 錫青銅に磷を加へたもので、鑄物用磷青銅と鍛

錬用磷青銅とがある。磷は青銅中の酸化物を還元して酸素を除去し、熔金の流動性をよくして鑄造を容易にし、且つ海水・鑛水・硫酸などに對する耐蝕性を大きくする効果がある。故に常に脱酸のため少量の磷を加へる場合もあり、又特殊な組織や性質を得るためにやや多量を加へる場合もある。脱酸のため磷を加へた場合には、製品に殆ど磷を含有してゐなくても磷青銅といつてゐる。

鍛錬用磷青銅は、錫の含有量 10% 以下で磷の量も僅かであるが、鑄物用磷青銅は錫・磷共に多く、錫は 15%、磷は 1.5% ぐらゐのものがある。脱酸して残つた磷は銅と化合し、非常に硬い化合物 Cu_3P となつて合金中に存在する。

磷青銅は逆偏析を生じやすく、これがために鍛錬を困難にし、機械的性質を害することが多い。これは溶解の際適當な脱水剤で水素を除去することによつて防ぐことができるといはれる。

鍛錬用磷青銅は錫 2~8%、磷 0.3% ぐらゐまでを含むもので、強靱で耐蝕性がよい。板・棒・ストリップ・針金などにして火室用板・ポンプロッド・船底張板・電話機・電気開閉器・弁などのバネに用ひられる。鑄物用磷青銅は、錫 8~15%、磷 0.2~1.5 の範圍のもので、耐磨耗性・耐蝕性共によいから、軸受・滑弁・推進器羽根・ピストンリング・ウォーム歯車などに用ひられる。

(2)アルミニウム青銅 銅とアルミニウムとの合金で、普通

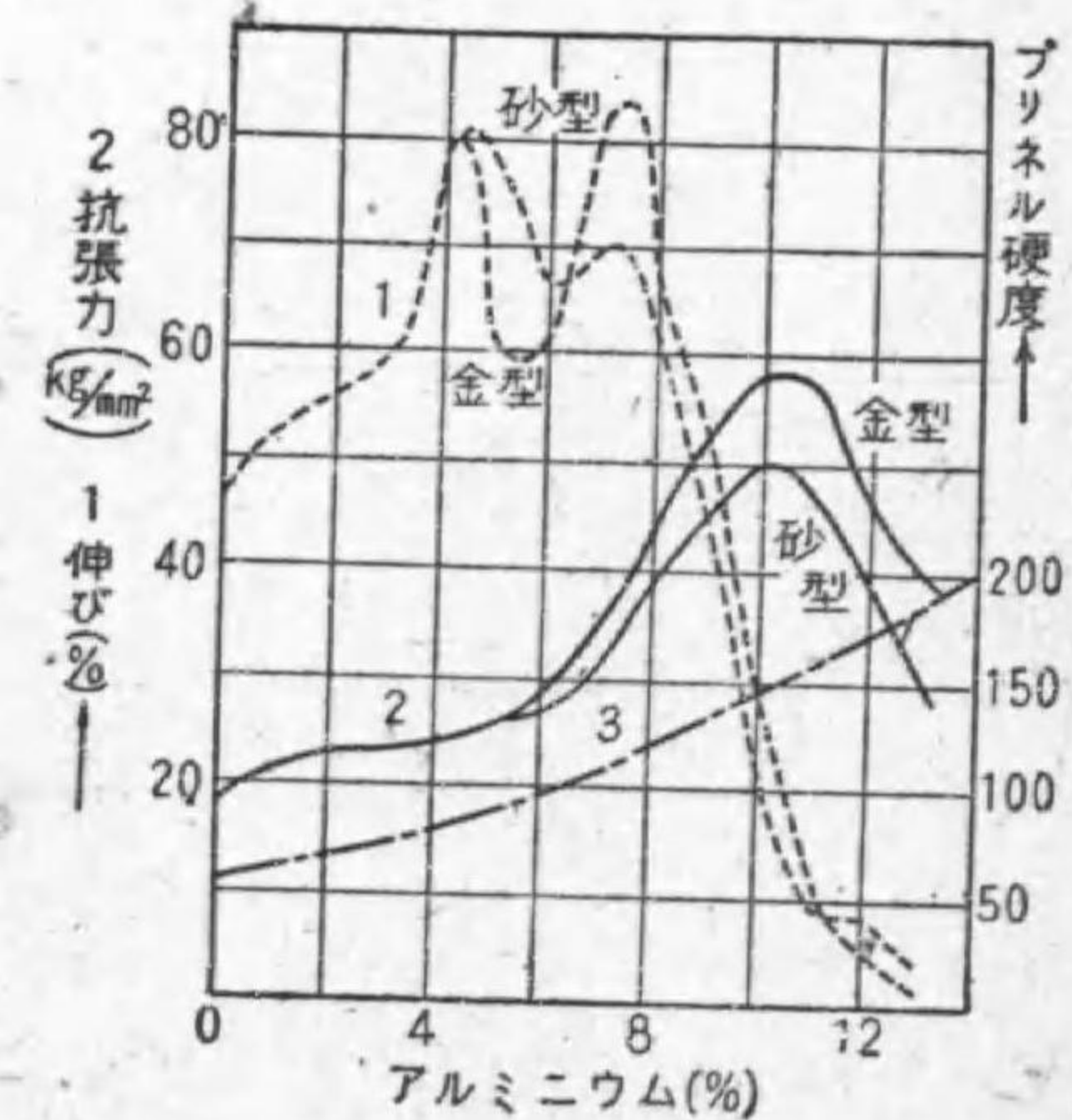
アルミニウム 12% 以下のものが多く用ひられる。主に鍛錬材にするが鑄物にもする。アルミニウムの量が少いものは展延性に富み、常温でも高温でも加工が容易であるが、アルミニウムの量が多くなれば常温での加工は困難になる。但し適當な熱処理をすれば常温でも加工できる。鑄造には、凝固の收縮率が約 1.8% で、他の合金に比べて著しく大きいのと、熔解の際滓を多く生ずるのがこの合金の缺點である。

アルミニウム 5~12% を含む合金は黄金色を呈し、比重はアルミニウムの量が増加するにつれて次第に小さくなり、アルミニウム 12% の合金の比重は約 7.4 である。機械的性質に比べて比重の小さいことはこの合金の一つの特徴である。導電率は、アルミニウムの増加に伴つて急激に減少し、アルミニウム 8% で最小とな

り、それから又徐々に増加する。

空気中ではなかなか變色せず、耐熱性に富み、又他の銅合金に比べて淡水・海水・鑛水などに對する耐蝕性が遙かに大きく、耐磨耗性もまたよい。

第 4・7 圖はアルミニウム青銅鑄物のアルミニウム量と機械的性質



第 4・7 圖
アルミニウム青銅鑄物のアルミニウム量と機械的性質

の量と、機械的性質との関係であり、圖中のブリネル硬度は、
 壓延後焼鈍しをした丸棒について測定したものである。

アルミニウム 9~11%約の鑄物は、砂型内で結晶粒が粗大
 になり、且つ組織が分解して硬くてもろい相を析出し、鑄物
 が脆弱になる傾向がある。この現象を自己焼鈍といふ。加工
 した材料も高温から緩冷すると同じわけによつて弱くなるが、
 急冷するとろい相の析出を阻止するから強くなる。第 4・8
 表によつてアルミニウム 9.9%の青銅は、徐冷と急冷とによ
 つて機械的性質が著しく變ることを示す。砂型と金型との場
 合も同様である。

第 4・8 表 アルミニウム青銅の機械的性質

アルミニウ ム含有量 (%)	機 械 的 性 質	砂 型 鑄 物	金 型 鑄 物	壓 延 材 800°C か ら 徐 冷	壓 延 材 800°C で 焼 入
7.4	抗 張 力 (kg/mm ²)	33.0	34.0	39.5	40.0
	降 伏 點 (kg/mm ²)	10.4	—	11.6	12.5
	伸 び (%)	71.0	84.0	80.5	82
9.9	抗 張 力 (kg/mm ²)	49.5	58.0	44.5	71.5
	降 伏 點 (kg/mm ²)	17.5	19.0	24.6	41.0
	伸 び (%)	21.7	30.5	6.5	11.0

アルミニウム青銅に、少量の鐵・マンガン・亜鉛・ニッケ
 ル・珪素などを加へて、鑄物の結晶粒の粗大になることや、
 析出によつて脆弱になることを防いで、機械的性質を改善し
 た種々の高力青銅がある。これらの青銅は主に熱処理をして
 用ひられる。この高力青銅には、アームスブロンズ・エアロ

ブロンズ・ハイアルブロンズ・CA 合金・飯高メタルなどが
 ある。

アルミニウム青銅のアルミニウム含有量 2~5% のものは
 主に管・針金とし、8% のものは常温又は熱間で壓延して板・
 棒とし、10%のものは熱間壓延で板・棒とし、又壓出法によ
 つて棒にする。これらの材料はボルト・ピストン棒・弁棒・
 バネなどにして用ひる。アルミニウム青銅はダイカストにす
 ることもできる。

高力青銅は高温で強さを減らすことが少く、耐摩耗性・
 耐蝕性が高いから、齒車や高温・高圧用の弁、及びピストン・
 復水器管・發動機部分品などに適してゐる。

(3)マンガン青銅 普通にマンガン青銅といはれてゐるもの
 は、前に學んだやうに六四黄銅にマンガンその他の元素を加
 へた複雑な合金であるが、銅に 15%以下のマンガンを加へ
 た合金もマンガン青銅といはれてゐる。なほマンガンのほかに
 少量の他の元素を加へることもある。

この合金の用途はあまり廣くないが、均質な固熔體で、常
 温でも高温でも加工することができ、高温でも抗張力が減少
 することが比較的少いので、約 5%のマンガンを含む合金は
 機關庫の火室材料やタービン羽根などに用ひられ、15%のも
 のは ポンプロッド・船舶用弁・高温用機械部分品・過熱蒸
 氣管・電氣抵抗用針金などに用ひられる。又マンガン青銅に
 少量のニッケルを加へた合金はマンガニンといはれ、電氣抵

抗線として用ひられる。

(4)ニッケル青銅 ニッケルが5~10%程度の銅ニッケル合金に、アルミニウム・亜鉛・マンガン・鐵などを少量加へた合金である。住友ニッケル青銅はその例である。又砲金の銅が、ニッケル10%以下で置き換へられたものもある。この合金は高温でも優秀な機械的性質をもち、耐蝕性も良好である。鑄物又は鍛鍊材として、過熱蒸氣機關の弁・弁座・齒車などに適してゐる。

(5)珪素青銅 純銅の熔解の際、脱酸の目的を兼ねて少量の珪素を加へた合金であつて、普通に用ひられてゐる珪素青銅は、珪素約0.03~3%を含むものである。珪素は銅中に4.5%まで熔解して固溶體となり、著しく銅の抗張力を増し、且つ耐蝕性・耐熱性を高める効果がある。又抗張力の増加する割合に導電率を害することが少い。

珪素0.1%以下を含むものは、電線、殊に抗張力の大きなことを必要とするトロリ線に用ひられ、やや多量の珪素を含むものは蒸氣罐の火室用板に用ひられる。

銅線の抵抗力を増すために、少量の錫と亜鉛とを加へて珪素銅で脱酸してつくつた合金の針金は、珪銅線といつて電信電話線とし、錫・亜鉛のやや多量を含むものはトロリホキールにする。

(6)送電線用青銅 送電用硬引銅線よりも一層大きな強さを必要とする場合には青銅線が用ひられる。この合金は銅を97

%以上とし、残りの3%に錫・カドミウム・亜鉛・マグネシウム・アルミニウム・珪素・燐などを適當に配合・添加したものである。

第5. ニッケルとニッケル合金

1. ニッケル

ニッケルは、現在のところあまり資源に恵まれてゐない金屬の一つで、主産地はカナダとニューカレドニアである。

ニッケルは鐵に類する金屬で、美しい銀白色を呈し、化學的に非常に安定で、耐酸性・耐アルカリ性が強く、空氣中はもちろん海水にも殆ど腐蝕されない。又高温における酸化も少く、500°C以下では殆ど酸化せず、1000°Cにおいて僅かに酸化するだけである。常温では強磁性であるが、約360°Cで強磁性を失ふ。

1000°C以上で酸化性、殊に硫化性のガスに觸れると、結晶粒の境界に沿つて酸化又は硫化作用が進行し、著しく脆弱になる。故にニッケルを加熱する場合には、硫黄分の少い中性の熔で行なふ。

ニッケルは常温でも高温でも加工でき、焼鈍温度は800°C内外である。機械的性質は強靱で、加工したものは抗張力70~80kg/mm²、伸び2~3%、加工後焼き鈍したものは抗張力40~50kg/mm²、伸び40~50%である。

ニッケルに普通含有する不純物は、銅・鐵・コバルト・珪

素・炭素・硫黄・砒素などであるが、硫黄と砒素とは最も有害である。又溶解の際に炭素を吸収しやすいから注意する。

純ニッケルは、板・棒・針金などにして化学器具機械に用ひ、又メッキの原料にするが、その量は僅少で、大部分は鐵鋼や非鐵合金の重要な添加原料として用ひられる。

2. ニッケル銅合金

ニッケルと銅とは、どんな割合でも単一の固熔體の合金になる。鑄造したままのものは樹枝狀結晶の組織であるが、適當に焼鈍しすれば單體金屬と同じやうな均質な組織になる。

銅にニッケルを加へると、錫の場合と同じやうに次第に銅の色を消し、10%で淡桃色になり、20%で白色に變り、40~50%になれば最も白くなる。

2~5%ニッケル銅合金は、機關車の火室用板や管などに用ひられ、15%ニッケル銅合金は、復水器管のほか給水過熱管の類に用ひられる。

15~20%ニッケル銅合金は最も展延性に富み、板や管などをつくるのが容易である。管は復水器管に、板は鐵器の覆ひなどに用ひられる。25%ニッケル銅合金は貨幣にするほかは工業上にはあまり用ひられない。

ニッケル 15~25% の銅合金は普通に白銅といはれ、これに幾らかの亞鉛を加へたものもある。

30%ニッケル銅合金は、海水その他に對する耐蝕性がよいから復水器管に用ひられ、又その色が美しいため建築に用ひ

られる。

40~45%ニッケル銅合金は、抗張力・伸び・耐蝕性が大きいので機械材料としても優秀であるが、専ら電氣抵抗線・熱電對として用ひられ、コンスタンタンといつて一般に知られてゐる。

60~75%ニッケル銅合金はモネルメタルともいはれ、ニッケルの鑛石を製鍊すると自然的に出来る合金である。組成は大體ニッケル 67%、銅 28%、これに鐵・マンガン・珪素その他合計 5% 以下を含んでゐる。銀白色で比重 8.8~8.87、強磁性で耐蝕性は非常に大きく、又 500°C ぐらゐまでは抗張力や硬さの減ることが甚だしく、且つ流水・蒸氣に對しての磨耗が少く、色や光澤を失はないなどの特徴がある。

今日では、金屬地金を配合・溶解してモネルメタルをつくることも行なはれてゐる。主成分のほかに少量のアルミニウム・クロム・コバルト・モリブデンなどを加へて耐蝕性・耐熱性を一層改善した合金も種々ある。

この合金は、鑄物・板・棒・管・針金などにして蒸氣タービン羽根・高壓高過熱蒸氣弁・船用機關・鑛山機械・染色機械などの部分品、及び坑内水・海水・化學工業用のポンプ、その他耐蝕・耐熱を要する所に有効に用ひられるが、ニッケル資源の少いのと高價なのが缺點である。

3. ニッケル銅亞鉛合金

洋銀として知られ、古くから裝飾用・家庭用器具に多く用

ひられてきた。美しい銀白色を呈し、耐蝕性に富む。

洋銀は大體銅 60~65%、ニッケル 10~21%、亜鉛18~23%の範囲の、組成の単一な固熔體から成る合金である。これに少量のマンガン・鉛・錫・鐵・アンチモンなどを加へたものもある。比重は約 8.5である。

鑄物や壓延材として、精密機械類・船舶・鐵道・自動車・建築用器具・電氣抵抗線・裝飾用・家庭用器具類などに用ひられる。

4. 電氣用ニッケル合金

ニッケルを主成分とする合金は耐熱性がよく、電氣抵抗が大きく温度係数が小さく、鐵や銅に對する電熱効果が大きいから、熱電對・電氣抵抗線・電熱線などに用ひられる。

1. 熱電對用ニッケル合金

ニッケルを主成分とするニッケルクロム系合金に、少量の鐵・マンガン・アルミニウムなどを加へたものや、ニッケル銅合金が、針金として高温測定熱電對に用ひられてゐる。

第 5・1 表はこれらの合金の主なものとその性質とを示す。

熱電對はこれらの針金を違つた金屬・合金の針金に熔接し、對にして用ひる。クロメルとアルメルとの對は1000°Cまで、鐵とコンスタンタン及び銅とコンスタンタンとの對は 300°Cまでの温度を測るのに用ひ、1000°C以上の高温測定には、白金線と白金ロジウム合金線との對が用ひられる。

2. 電氣抵抗線用ニッケル合金

第 5・1 表 熱電對線用合金とその性質

名 稱	ニッケル (%)	クロム (%)	鐵 (%)	銅 (%)	マンガン (%)	アルミニウム (%)	比抵抗 ($\Omega\text{-cm}$) $\times 10^{-6}$	温度係數
クロメル A	80	20	—	—	—	—	104	0.00011
クロメル C	61	11	25	—	—	—	109	0.00018
ニクロム	60	12	25	—	1.5	—	109	0.00018
クロメル P	90	10	—	—	—	—	70	0.0054
アルメル	94	—	0.5	—	2.5	3.5	33	0.0012
コンスタンタン	40~45	—	—	55~60	—	—	50	0.0000

電氣抵抗線には電氣抵抗の大きいことを主な目的として温度係數を無視するものと、電氣抵抗は中程度で殆ど 0 に近い温度係數を必要とするものがある。第 5・2 表は普通に用

第 5・2 表 電氣抵抗の大きいことを目的とする電氣抵抗線

名 稱	ニッケル (%)	亜鉛 (%)	銅 (%)	鐵 (%)	クロム (%)	マンガン (%)	比抵抗 ($\Omega\text{-cm}$) $\times 10^{-6}$	温度係數
洋 銀	10~60	5~25	残り	—	—	—	20~40	0.0003~ 0.0002
フェロニッケル	69	—	—	30	—	1	90	—
ニクロム	30	—	—	67	1.5	1.5	83	—
ニクロム	60	—	—	26	10	2	110	0.0002
クライマックス	25	—	—	74	—	1	83	0.00098

ひられる電氣抵抗の大きいことを目的とする合金であり、第 5・3 表は温度係數が小さいことを目的とする合金である。

標準抵抗又は精密機械などに用ひる電氣抵抗線は、温度係數が 0 に近く、且つ銅に對する熱電効果になるべく小さいことが必要である。

第5・3表 温度係数の小さいことを目的とする電気抵抗線

名 稱	ニッケル (%)	銅 (%)	鐵 (%)	マンガン (%)	比抵抗 ($\Omega\text{-cm}$) $\times 10^{-6}$	温度係数
マンガン	2~5	70~85	0.5	12~25	45	± 0.00001
コンスタンタン	40~45	55~60	—	—	56	0.000005
ラ ラ	40	60	—	—	47	〃
アドバンス	44	54	0.5	1	49	± 0.00001

3. 電熱線用ニッケル合金

電熱用合金は針金や紐にして用ひられる。必要條件は、電気抵抗が大きく温度係数が小さく、高温における耐酸化性がよく、永い時間用ひても脆弱にならないことであり、製線加工もまた容易なことである。

今まで最も普通に用ひられてゐた合金はニクロムで、これには大體ニッケルとクロムとの合金と、この合金のニッケルの一部を鐵で置き換へた合金とがある。前者の組成は、ニッケル 80%、クロム 20% ぐらゐで、最高使用温度 1100°C、後者はニッケル 65%、クロム 15%、鐵 20% ぐらゐで、最高使用温度 900°C である。兩者共に少量のマンガン・珪素などが加へられてゐる。鐵を加へれば値段が安くなり加工も容易になるが、鐵の量が増すほど耐熱性がわるくなる。1200°C 以上の高温を得るには白金を用ひなければならない。

ニッケル合金は高價で資源も少いために、近頃ニクロムの代りとしてニッケルを含まない卑金屬合金が盛んにつくられるやうになつた。その組成には種々あるが、殆ど鐵・クロム・

アルミニウム系の合金である。たとへばクロム 20%、アルミニウム 5%、コバルト 3%、残りが鐵から出来てゐる。コバルトは、高熱のため結晶粒が成長して脆弱になるのを防ぐ効果がある。コバルトの代りにタングステンを入れたものもある。この合金はニクロムより加工がむづかしいが、優良なものは 1002°C まで用ひることができ、壽命もまた永い特色がある。



昭和21年8月7日印刷

昭和21年8月21日發行

金屬材料 1

不許複製

著作權者 財團法人 實業教育振興中央會

發行者 實業教科書株式會社
代表者 水谷三郎
東京都麴町區五番町五番地

印刷者 大日本印刷株式會社(東京一)
代表者 佐久間長吉郎
東京都牛込區市谷加賀町一丁目十二番地

發行所 實業教科書株式會社
東京都麴町區五番町五番地
(假事務所) 東京都日本橋區通三丁目八番地
振替東京183260番

¥ 3.30

特217

87

終