

# 鐵 と 鋼

## 第八年 第 壹 號

大正十一年一月二十五日發行

### 高溫度に於ける各種金屬の剛性及び粘性に就て

菊田 多利 男

此研究は私が東北帝國大學附屬鐵鋼研究所に於て本多光太郎先生の指導の下に行ひましたもので、既に本年の八月に東北理科報告に發表したものであります。此實驗の結果が種々の金屬の熱練又は熱處理に關し多少皆様の御參考になりはせぬかと思ひまして淺學を顧みず投稿致しました次第です。

#### 一

一般に固形體の剛性率とはその物質にて造れる棒又は針金の一端を固定し他端に力を加へ、これを捻らんとする時、その捻力に對し反抗する力に比例する數にして、常溫にてはその物質に對し一定なる恒數なり。普通粘性の定義として氣體及び液體の場合にはその相隣れる分子間に相對的速度ありし時に、その相對的速度を減少せしむる方向に働く内部摩擦力を以て名づけたり、今此處に述ぶる處の粘性はこれに似たる考より固體の場合にも適用したる時の性質にして針金の一端にある質量を吊し、それを振動せしめし時例令それが眞空中にて振動せしむるもその振幅が次第に減衰するを見る、これ主としてその金屬の内部摩擦に依るものなる故、此内部摩擦力を以てその固形體の粘性と名づけし所以なり。而して此粘

性はその振動が減衰する時のログリズミック、デクレメント (Logarithmic decrement) に比例するものなる故此論文にては溫度に對する粘性の代はりに溫度に對するログリズミック、デクレメントの變化を以てせり。

種々の金屬の剛性率並びに固體の金屬の粘性に對する溫度の影響に關しては幾多の學者に依つて研究せられたり、其大抵のものは達し得る溫度の範圍が非常に制限せられ、三百度を超ゆるもの稀なり、又その溫度までの測定の結果より剛性率に對する溫度の影響を表はす式を導出せり。最近に至り理學士五百旗頭並びに酒井の兩氏本鐵鋼研究所に於て實驗をなし七百度の高溫度まで達し重要なる結果を導けり即ち、(一) 金屬の剛性率は溫度上昇するに従ひ拋物線形に減少す、(二) 鉛又は亞鉛の如き柔軟なる金屬にてはその減少の割合溫度の上昇と共に益々甚しくなれり、(三) ログリズミック、デクレメントは振動の振幅と共に増し且つ此増加も溫度高き程有效なり、(四) ログリズミック、デクレメントは又吊下せる質量

と共に急に減少す。

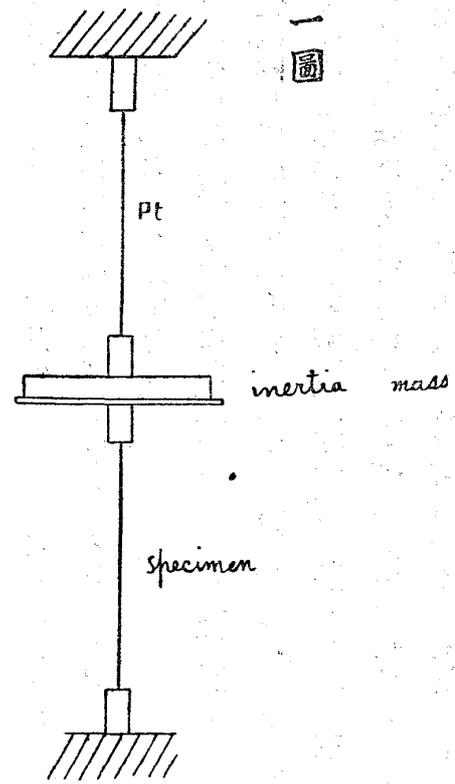
而して是等の人々の測定法は從來の方法即ち針金の下端に質量を乗せ、その慣性能率にて振り振動を起し、その週期並びに振幅の減衰を觀測し計算より剛性率並びにロガリズムック、デクレメントを導出せるものにして、高温度の價を求むるにはその試料たる針金が一様に加熱せらるる様に電氣抵抗爐にてそれを加熱せるものなり、それ故温度昇ると共にその減衰が次第に速かとなり望みの高温度まで達せぬ中に週期又はその振幅を讀みとり得ざるに至る。

これより先き獨逸にてケー、アール、コツホとシー、ダンネツケルとが此測定を真空中にてなせり、即ち主なる装置を一つの容器に封入しその内部は真空にせらる、而して振りの能率は外より電流を送り電磁力的に與へたり、針金の加熱は針金自身に電流を通じ依つて生ずる熱にて温度を高めたり而してその温度は針金の約中央部の一點を測り他は理論的に計算より求めたり、此實驗にては試料たる針金が一様に加熱せられぬ缺點あり、斯くして種々の金屬の融解點近くの高温度まで測定を繼續しその剛性率並びにロガリズムック、デクレメントを求めたり。此測定法にては針金が一様なる温度を得られざる故若し剛性又は粘性に對しある異常變態ある時は精確に其影響を認むること能はず。

以上の種々の缺點を避くる爲めに本多先生には一種の合成装置を案出せり、此装置は試料たる針金、慣性質量並びに従

來に例なき補助針金としての白金線とより成る振動系にして第一圖の如く配置さる。此装置にては振動體は試料の弾性力に依る振力の外に白金線に依る力も加はる故に例へ試料が高温度に加熱せられ弾性力減少して慣性體を振る力なきに至りても、白金線は尙ほ常温に保たるゝ爲めその振力にて試料の融解點に近き高温度に至りても振動を起すことを得、従つて

第一圖



此合成振動装置を用ゐる融解點近くの高温度までそれ等金屬の剛性率並びにロガリズムック、デクレメントを測定することを得。

二

次に試料の剛性率並びにロガリズムック、デクレメントを與ふる式を導きその後ろガリズムック、デクレメントと固體の粘性との間の關係を簡單に説明せん。a 及び a' a' を試

料及び白金線を各單位の角度だけ振るに要する弾性力の係數とし、 $b$ 及び $b'$ を其等金屬の内部摩擦力の係數、 $b''$ を慣性體に働く空氣の摩擦力に對する係數とす、今 $I$ を以て吊下せる物體の慣性能率を表はし、 $\theta$ を振りの角度とし、針金と其周圍の摩擦は極めて小なるものなればそれを考中に入れぬ者とすれば、上の合成振動體の運動の方程式は次式にて表はさる。

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + (b+b'+b'') \frac{d\theta}{dt} + (a+a')\theta = 0$$

此方程式は普通の剛性率測定裝置即ち針金の下端に單に質量を吊したる時の運動方程式と全く同じ形なり、故にその一般の解として

$$\theta = \theta_0 e^{-\frac{(b+b'+b'')t}{2I}} \sin \frac{2\pi t}{T} \dots\dots\dots (1)$$

が得らる、式中 $\theta_0$ は初めの振幅なり、 $T$ を振動の週期とすれば週期 $T$ は次式にて與へらる。

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{a+a'}{I} - \frac{(b+b'+b'')^2}{4I^2}}} \dots\dots\dots (2)$$

$\lambda$ を二つの針金の内部摩擦並びに空氣と振動體との間の摩擦に依つて生ずるログリズミック、デクレメントとすれば、

$$\lambda = \frac{b+b'+b''}{4I} T \dots\dots\dots (3)$$

にて表はさる、(2)と(3)の二式を組合せて次の關係式が得られる。

3. 高温度に於ける各種金屬の剛性及び粘性に就て

$$a+a' = \frac{4I}{T^2} (\pi^2 + \lambda^2) \dots\dots\dots (4)$$

$$b+b'+b'' = \frac{4I\lambda}{T} \dots\dots\dots (5)$$

及び  
次に此合成振動系より試料線だけを取去り、残りの白金線とその下部にある物體とにて振動を起さしむればその時の運動の方程式は

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + (b'+b'') \frac{d\theta}{dt} + a'\theta = 0$$

となる、これを解きて

$$a' = \frac{4I}{T_1^2} (\pi^2 + \lambda_1^2) \dots\dots\dots (6)$$

$$b'+b'' = \frac{4I\lambda_1}{T_1} \dots\dots\dots (7)$$

式中 $T_1$ 及び $\lambda_1$ は此時の即ち試料線を取去りし時の振動系の週期並びにログリズミック、デクレメントなり。今 $n$ 、 $l$ 及び $R$ を各試料の剛性率、長さ並びに半徑とすれば

$$n = \frac{2Ia}{\pi R^4} \dots\dots\dots (8)$$

なる關係あり、而して(4)より(6)を引けば $a$ が求められる故を(8)に入れば試料の剛性率 $n$ が求められる。

今もし試料たる針金とそれに吊したる錘よりなる裝置を眞空中にて振動せしめしものと考へその時の週期 $T_2$ とログリズミック、デクレメント $\lambda_2$ とが求められしものと假定するなら

ば(實際はそれは實驗するに及ばぬのであるが)

$$a = \frac{4I}{T_2} (\pi^2 + \lambda_2^2) \dots\dots\dots (9)$$

及び  $b = \frac{4I\lambda_2}{T_2} \dots\dots\dots (10)$

なる二つの關係式を得らるべし、又(4)(5)(6)及び(7)の式より

$$a = 4I \left\{ \frac{\pi^2 + \lambda_2^2}{T_2} - \frac{\pi^2 + \lambda_1^2}{T_1} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

$$b = 4I \left\{ \frac{\lambda_2}{T_2} - \frac{\lambda_1}{T_1} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

なる二式が得らる、右の四式(9)(10)(11)及び(12)より  $a$ 、 $b$  及び  $T_2$  を消去し而して極く小なる數値を慮外にすれば

$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{\lambda_1 T_1 - \lambda_1 T_2}{T_1 - T_2}} \dots\dots\dots (13)$$

が得らる、此場合には式中  $\lambda$ 、 $\lambda_1$ 、 $T$  及び  $T_1$  は測定より直ちに求めらるる數にして、それより試料線の内部摩擦のみに依つて生ずるロガリズムック、デクレメント  $\lambda_2$  が計算より導出せらる、如斯試料の剛性率並びにロガリズムック、デクレメントを求むるためには單に上述せる二種の實驗、即ち合成振動系を振らせし時と試料を取去りし白金線と錘とより成る振動系の場合との實驗をなせば宜しきことになるなり。

終りに固體金屬の粘性とそのロガリズムック、デクレメントとの關係に就き述べん、簡便の爲め上端が固定せられたる針金の下端に錘を吊したる場合を考ふ、若し此運動が真空中

にて行はるものとすればその運動の方程式は

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} + a\theta = 0 \dots\dots\dots (14)$$

にて表はさるべし、此式の第二項は明かに針金の内部摩擦即ち粘性によりて生ぜし偶力なるを知る、今針金の切斷面に於て  $r$  及び  $r + dr$  なる半径に依り限られて居る微小なる輪狀面積に働く偶力を考ふれば、その偶力は

$$dc = 2\pi r^2 dr \eta \frac{d\theta}{dz} \dots\dots\dots (15)$$

にて表はさる、式中  $\eta$  は粘性係數にして  $z$  は針金の長さの方向を表はす、而して  $v$  を輪の周圍の切線速度とすれば

$$v = r \frac{d\theta}{dt}$$

となる、又  $v$  の長さに對する變化が  $z$  に對し直線的に變はるものとし、 $l$  を針金の長さとするれば

$$\frac{dv}{dz} = \frac{v}{l} = \frac{r}{l} \frac{d\theta}{dt}$$

$$\therefore dc = \frac{2\pi r^3 \eta}{l} \frac{d\theta}{dt} dz$$

従つて

$$C = \int dc = \frac{2\pi \eta}{l} \frac{d\theta}{dt} \int_0^R r^3 dr = \frac{\pi \eta R^4}{2l} \frac{d\theta}{dt} = b \frac{d\theta}{dt} \dots\dots\dots (16)$$

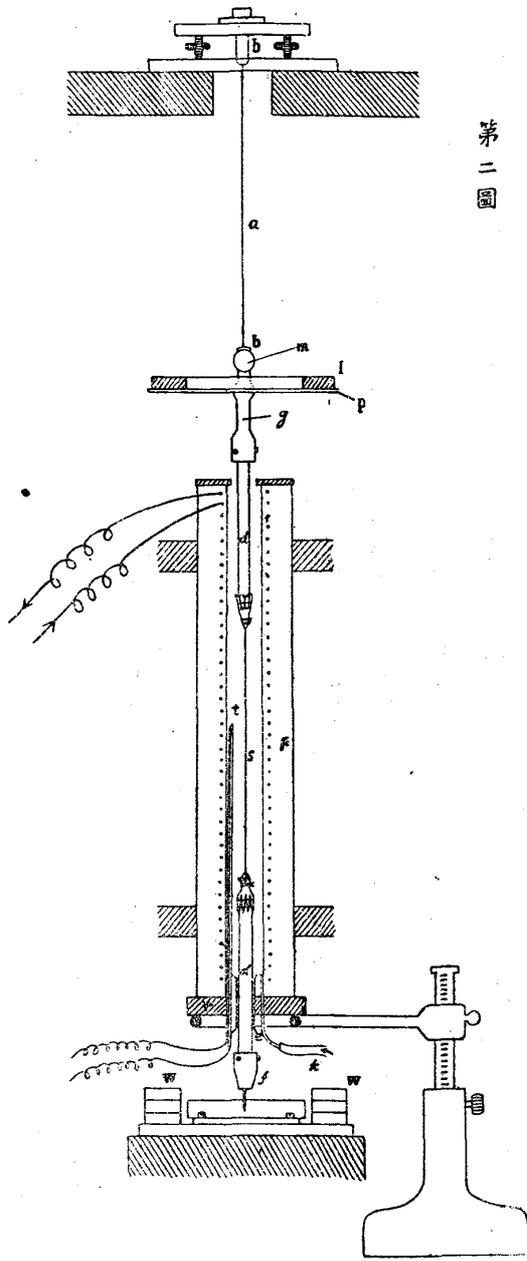
$$\therefore \alpha = \frac{\pi \eta R^4}{2l}$$

$$\eta = \frac{2l}{\pi R^4} = \frac{8l \Delta l}{\pi R^4 T_2} \dots \dots \dots (17)$$

即ちりは運動の方程式の第三項の係数 $\alpha$ と同様なる形を採る、唯剛性率 $\eta$ の代はりに $\eta$ を以て置換たるの差のみ、 $\eta_2$ は前の(13)にて、 $T_2$ は(4)(6)及び(9)を解きて求むるとを得るなり、而して温度に對しロガリズムック、デクレメントの變化は週期の變化に比し著しく大にして、固體金屬の粘性の變化は大體ロガリズムック、デクレメントに依り左右せらる、故に表並びに曲線にはロガリズムック、デクレメントを與ふることとせり。

如斯して常溫に於て試料線を取去りし振動系にて週期並び

第二圖



高溫度に於ける各種金屬の剛性及び粘性に就て

にロガリズムック、デクレメントを測定して置けば、合成振動系の週期並びにロガリズムック、デクレメントを各溫度に就きて求むればそれより其等の高溫度に於ける試料の剛性率並びにロガリズムック、デクレメント、從つて粘性を求むる事を得る理なり。

三

此實驗の裝置を詳しく示せば第二圖の如し、 $s$ は試料たる針金にして長さ約二〇糎、直徑約〇・五耗ありその兩端は銅のバインダーにて瀬戸の棒 $d$ に固着さる、 $a$ は補助白金線にしてその兩端はりなる眞鍮棒に白鐵附けさる、 $I$ は鉛の輪狀板にして外徑一五糎、内徑一〇糎あり、質量一〇六六・五瓦あり而して眞鍮板 $p$ の上に乗せらる、 $F$ は電氣抵抗爐にして直徑〇・五耗のニコロ

ムの針金を無誘導的に巻き試料が磁氣の影響を受くることを防ぐ、此爐の下端は中心に穴を有する厚さ數枚のアスベストの板にて閉づ、此穴には硝子管 $e$ が電氣爐の中心軸と一直徑になる様に具へらる、而して此硝子管の内徑は瀬戸の棒より僅かに太くなれる故、瀬

6 戸の棒が自由に垂直に動き得るに拘はらず電氣爐の下部より闖入せんとする空氣の流は非常に阻害さる、瀬戸の棒  $d$  の下部に連らなる眞鍮片  $f$  の下端には薄き鐵片が白鐵附けられて居れり、此の鐵片は  $h$  なるクラッチにて確かと挾持せられ又は自由になりて上下に動き得る様にもなし得、 $h$  は白金と白金ロヂウム合金の熱電對にしてジーマン、ハルスケ會社製のミルポルト、メーターに接續せられ、此爐の中心部の溫度を測定し得べからしむ、 $h$  は硝子管にしてこれに依り水素の如き還元瓦斯を爐内に導く様になれり、爐の長さに對する溫度の分布は實際の實驗に於けると同様なる状態にて測定し、五〇〇度に於て長さ二二糎の間、その溫度の均一度は五度を超過せざる程度なり。

週期及び振動の振幅を觀測する爲めに眞鍮棒の上に平面鏡を附着せしめ、それに依り細隙を通過せる光の像を、これより二米突位離れたる硝子の尺度の上に結ばしめ、その像の移動を觀測せり、剛性率の測定の場合には振動の振幅は約一〇度位、ロガリズムック、デクレメントの場合には八度乃至三度一〇分の範圍内にて振動せしめたり、而してロガリズムック、デクレメントは振動の振幅に依るものなる故凡ての實驗は右の角度の範圍内にて行ひその平均を採れり。試料を燒鈍するには別の燒鈍電氣爐にて眞空中にてこれを行ひたり。

## 四

此實驗は次の順序にて行ひたり、先づ上の如く裝置し最下

部にあるクラッチを緩むれば試料たる針金はその下部に吊り下げられたる重さ(六九瓦)に依つて引き延ばされ垂直線となる、依て其尖端部を再び挾持するなり、次ぎに手にて振動を起さしむるものなるがその際には横振れせぬ様に注意し眞に振振動をなす様に勉むべきなり、斯く振動を起さしめて最初週期を測る、此時時間を測るにはクロノメーターを使用し光の像が尺度の中央部を通過する時を合圖に時間を讀みその週期を算出するなり、又ロガリズムック、デクレメントを求むるには此振動の振幅を測り、それより算出す、此振幅を測るには光の像が尺度の左右の或點にて瞬間的に静止せる處の讀みをとる、その二つの讀みの差にて振幅を求めて行き、常溫にての測定が終りし時に電氣爐に電流を通じ爐の溫度が約五十度昇る毎にその溫度にて一定に保ち置き前の觀測を繰返し行くべし此處に注意すべきとは各觀測の初め最下部のクラッチを緩むるとを忘るべからず、これ溫度上昇の爲め針金がその膨脹に依つて生じたる延びを伸し實驗の間針金が始終垂直線にならしめ置くためなり、斯る方法にて種々の高溫度に於ける週期並びに振幅を觀測し置きそれより剛性率及びロガリズムック、デクレメントを求むるものなり、ロガリズムック、デクレメントは第一回目の振幅を  $\theta_1$ 、第  $n$  回目の振幅を  $\theta_n$  とすれば次の式にて求めらる、即ち

$$\lambda = \frac{\log \theta_1 - \log \theta_n}{n-1}$$

酸化する如き金属の場合には水素瓦斯を除々に電気爐に導き  
出来得る限りその酸化を防止せり。

慣性能率を與ふべき錘と白金線とよりなる振動系を振らせ  
し時の週期及びピロガリスミツク、デクレメントを常温にて求  
め置けば合成振動系の試料線の温度が如何に變りてもこれを  
用ゐ得る故これは數十回の實驗をなしその平均を求め置け  
り、その價は

$$T = 13.974 \text{ 秒} \quad \text{及び} \quad \lambda = 0.00208$$

振動部の慣性能率を計算すれば  $52740 \text{ cm}^2 \text{ gr. あり}$ 。

### 五

此實驗にては十二種の金属に就き種々の温度にて試験せ  
り、その結果は次の表及び曲線(第三圖乃至一一圖)の如し。

#### 1. 鉛 融解點=327°C

温度	剛性率 C.G.S. 單位	ロガリズムツク デクレメント	温度	剛性率 C.G.S. 單位	ロガリズムツク デクレメント
12.5°C	7.098 × 10 <sup>10</sup>	0.1247	148°C	5.360 × 10 <sup>10</sup>	0.2052
52	6.320	0.1280	184	4.810	0.2982
90	6.030	0.1254	225	4.495	0.4532
122	5.655	0.1429	258	3.485	0.6580

#### 2. 亜鉛(延伸せるもの) 融解點=419°C

長さ=20.3種、直径=0.455種

温度	剛性率 C.G.S. 單位	ロガリズムツク デクレメント	温度	剛性率 C.G.S. 單位	ロガリズムツク デクレメント
25.5°C	3.585 × 10 <sup>10</sup>	0.0511	158°C	2.173 × 10 <sup>10</sup>	0.3886
65	3.267	0.2046	179	1.713	0.4836
80	3.070	0.2055	205	1.557	0.5280

#### 3. アルミニウム 融解點=657°C

長さ=21.9種、直径=0.490種

温度	剛性率 C.G.S. 單位	ロガリズムツク デクレメント	温度	剛性率 C.G.S. 單位	ロガリズムツク デクレメント
11°C	27.47 × 10 <sup>9</sup>	0.00270	299°C	16.60 × 10 <sup>10</sup>	0.1715
60	26.35	0.00696	327	15.55	0.2086
110	25.27	0.01818	378	12.31	0.2476
159	23.10	0.03823	442	10.08	0.3106
210	20.59	0.10300	487	7.51	0.3658
264	18.19	0.10700	516	7.85	0.4060

#### 4. 銀(延伸せるもの) 融解點=961°C

長さ=20.5種、直径=0.465種

温度	剛性率 C.G.S. 單位	ロガリズムツク デクレメント	温度	剛性率 C.G.S. 單位	ロガリズムツク デクレメント
22°C	26.58 × 10 <sup>10</sup>	0.0049	417°C	19.43 × 10 <sup>10</sup>	0.1332
97	25.70	0.0152	495	16.97	0.1885
151	25.28	0.0231	564	14.75	0.2664
210	23.90	0.0430	615	13.05	0.3134
245	23.51	0.0595	679	11.11	0.3756
288	23.19	0.0628	726	10.32	0.4131
344	21.29	0.0876	803	7.79	0.4844

#### 5. 銀(800°Cにて焼鈍せるもの)

長さ=20.4種、直径=0.503種

温度	剛性率 C.G.S. 單位	ロガリズムツク デクレメント	温度	剛性率 C.G.S. 單位	ロガリズムツク デクレメント
27°C	26.90 × 10 <sup>10</sup>	0.0041	457°C	19.32 × 10 <sup>10</sup>	0.0823
130	25.96	0.0175	526	18.04	0.1028

高温度に於ける各種金属の剛性及び粘性に就て

189	24.81	0.0285	590	15.64	0.1278
255	24.00	0.0323	655	14.20	0.1513
283	23.13	0.0324	705	12.60	0.1803
327	22.53	0.0358	755	11.14	0.2071
399	21.38	0.0557	811	10.39	0.2290

5. 金(延伸せるもの) 融解點=1064°C

長さ=20.2種, 直徑=0.420種

溫度	剛性率 C.G.S.單位	ロガリズムツク デクレメント	溫度	剛性率 C.G.S.單位	ロガリズムツク デクレメント
25°C	27.28 × 10 <sup>10</sup>	0.0045	457°C	18.86 × 10 <sup>10</sup>	.....
89	27.22	0.0100	595	17.47	.....
171	25.88	0.0430	599	16.15	.....
236	23.36	0.1014	684	15.19	.....
296	20.69	0.1355	770	14.53	0.1503
351	21.18	0.0902	836	12.37	0.2054
397	20.40	0.0873	925	9.40	0.3075

金(前に925°Cまで加熱せるもの)

長さ=20.2種, 直徑=0.420種

溫度	剛性率 C.G.S.單位	ロガリズムツク デクレメント	溫度	剛性率 C.G.S.單位	ロガリズムツク デクレメント
26°C	28.22 × 10 <sup>10</sup>	0.0172	475°C	19.25 × 10 <sup>10</sup>	0.0599
121	27.00	0.0216	626	17.01	0.0765
202	25.21	0.0533	700	15.69	0.1110
264	23.75	0.0741	771	14.23	0.1492
320	22.37	0.0736	836	11.84	0.2080
386	21.71	0.0588	912	9.60	0.2842

6. 銅 (延伸せるもの) 融解點=1084°C

長さ=20.3種, 直徑=0.475種

溫度	剛性率 C.G.S.單位	ロガリズムツク デクレメント	溫度	剛性率 C.G.S.單位	ロガリズムツク デクレメント
25°C	39.04 × 10 <sup>10</sup>	0.1037	431°C	31.24 × 10 <sup>10</sup>	0.1870

64	38.64	0.0098	465	31.04	0.0978
134	36.72	0.0553	513	29.92	0.1171
194	35.71	0.1046	550	29.28	0.1249
235	30.60	0.1288	610	27.27	0.1473
291	28.79	0.1658	687	24.89	0.1802
334	25.53	0.2110	754	27.62	0.2552
371	22.48	0.2459	853	19.56	0.4910

銅(約600°Cにて焼鈍せるもの)

長さ=20.3種, 直徑=0.475種

溫度	剛性率 C.G.S.單位	ロガリズムツク デクレメント	溫度	剛性率 C.G.S.單位	ロガリズムツク デクレメント
25°C	43.03 × 10 <sup>10</sup>	0.0025	531°C	27.87 × 10 <sup>10</sup>	0.1190
109	41.97	0.0089	605	25.19	0.1440
175	40.71	0.0329	666	22.88	0.1889
238	38.40	0.0559	730	21.14	0.2188
307	35.16	0.0671	794	16.93	0.2742
374	33.25	0.9892	846	14.34	0.3317
416	31.55	0.0860	904	10.33	0.5348
458	30.33	0.0895			

7. ニッケル(焼鈍せるもの) 融解點=1470°C

長さ=20.3種, 直徑=0.491種

溫度	剛性率 C.G.S.單位	ロガリズムツク デクレメント	溫度	剛性率 C.G.S.單位	ロガリズムツク デクレメント
11°C	78.20 × 10 <sup>10</sup>	0.0066	395°C	70.00 × 10 <sup>10</sup>	0.0395
64	75.40	0.0051	497	66.50	0.0760
125	75.57	0.0043	544	62.50	0.0947
168	75.30	0.0052	656	51.50	0.1489
192	73.50	0.0049	786	45.00	0.2260
237	73.70	0.0044	805	44.80	0.2278
291	73.00	0.0051	855	44.70	0.2756
353	72.50	0.0165			

8. 鋼 炭素0.35% (900°Cにて焼鈍せるもの)

長さ=20.7mm, 直径=0.505mm

温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント	温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント
20°C	80.70 × 10 <sup>10</sup>	0.0010	631°C	52.30 × 10 <sup>10</sup>	0.2039
108	79.10	0.0015	698	44.57	0.3623
199	76.85	0.0020	753	32.77	0.4583
284	74.20	0.0026	795	31.78	0.4682
350	72.27	0.0062	842	29.28	0.5787
443	69.96	0.0279	924	20.69	0.8060
550	60.95	0.0837			

8. 鋼 炭素0.9% (900°Cにて焼鈍せるもの)

長さ=20mm, 直径=0.467mm

温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント	温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント
20°C	78.90 × 10 <sup>10</sup>	0.0001	619°C	51.98 × 10 <sup>10</sup>	0.2663
108	77.20	0.0003	680	37.57	0.4337
172	75.97	0.0011	735	33.42	0.4188
221	74.95	0.0018	780	31.50	0.4394
289	73.17	0.0017	833	31.20	0.5228
353	71.55	0.0021	889	29.01	0.6275
446	68.15	0.0234	937	25.70	0.7665
554	59.75	0.1310			

6. 白金 融解點=1744°C

長さ=211mm, 直径=0.350mm

温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント	温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント
14°C	65.30 × 10 <sup>10</sup>	0.0011	485°C	60.60 × 10 <sup>10</sup>	0.0245
116	65.00	0.0005	573	58.60	0.0611
200	63.75	0.0016	652	53.27	0.1239
281	63.45	0.0031	731	49.76	0.1775

10. プラリミン(延伸せるもの)融解點=645°C

長さ=20.1mm, 直径=0.514mm

温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント	温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント
19°C	22.10 × 10 <sup>10</sup>	0.0022	296°C	12.17 × 10 <sup>10</sup>	0.2900
88	21.73	0.0117	350	11.22	0.2671
136	20.73	0.0271	401	11.07	0.2637
204	18.47	0.0771	458	10.14	0.5885
243	15.76	0.1625			

11. 真鍮 銅70% 亜鉛30%(延伸せるもの)

融解點=943°C, 長さ=20mm, 直径=0.425mm

温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント	温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント
25.2	40.10 × 10 <sup>10</sup>	0.0004	571	15.69 × 10 <sup>10</sup>	0.3300
102	40.11	0.0088	640	13.78	0.3525
196	37.54	0.0365	696	11.28	0.4402
295	33.04	0.1717	777	8.14	0.5468
421	18.28	0.4200	845	5.31	0.6250
496	16.02	0.3820			

真鍮 (同上)(焼鈍せるもの)

長さ=20.5mm, 直径=0.424mm

温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント	温度	剛性率 C.G.S.単位	ロガリズムツク デクレメント
27°C	41.34 × 10 <sup>10</sup>	0.0004	556°C	18.87 × 10 <sup>10</sup>	0.2457
91	40.50	0.0004	611	16.90	0.3051
190	38.70	0.0043	651	14.00	0.3553
240	37.07	0.0249	700	11.96	0.4240
308	34.77	0.0844	753	10.32	0.4740

高温度に於ける各種金属の剛性及び粘性に就て

371	29.46	0.1390	782	8.68	0.5174
440	24.98	0.1585	832	7.17	0.5780
506	22.15	0.2086	893	5.85	0.6380

右の表並びに曲線に就て説明すれば、

一、鉛(第二圖)

鉛の剛性率は温度の上昇と共に減少しその減少の割合は常に増加するのみにて融解點に至り遂に消滅す、そのロガリズムック、デクレメント即ち粘性は一〇〇度まで約一定なれども、それより温度昇れば急に増加す、これ一〇〇度を超れば結晶の生長をなすに起因するものと思はる、その事に就ては後段に詳に説明する所あらん。

二、亞鉛(第四圖)

亞鉛の剛性率は温度上昇と共に急激に減少し融解點に至りて零となる、一〇〇度と一六〇度との間に於て曲線に多少の曲りあり、これ此金屬の結晶粒の生長の初まる所なり、ロガリズムック、デクレメントも此温度上昇と共に急に増加し剛性率の場合に於ける如く一五〇度附近にて異常變化あるを認め。

三、アルミニウム(第五圖)

アルミニウムの剛性率は初めの二〇〇度位までは小屈曲が認められるれ共其後は殆んど一定の割合にて減少しその融解點に至りて零となる、ロガリズムック、デクレメントは最初は緩かに一五〇度以上よりは急激に増加す、これ又結晶の生長に依る結果なるべし。

四、銀(第六圖)

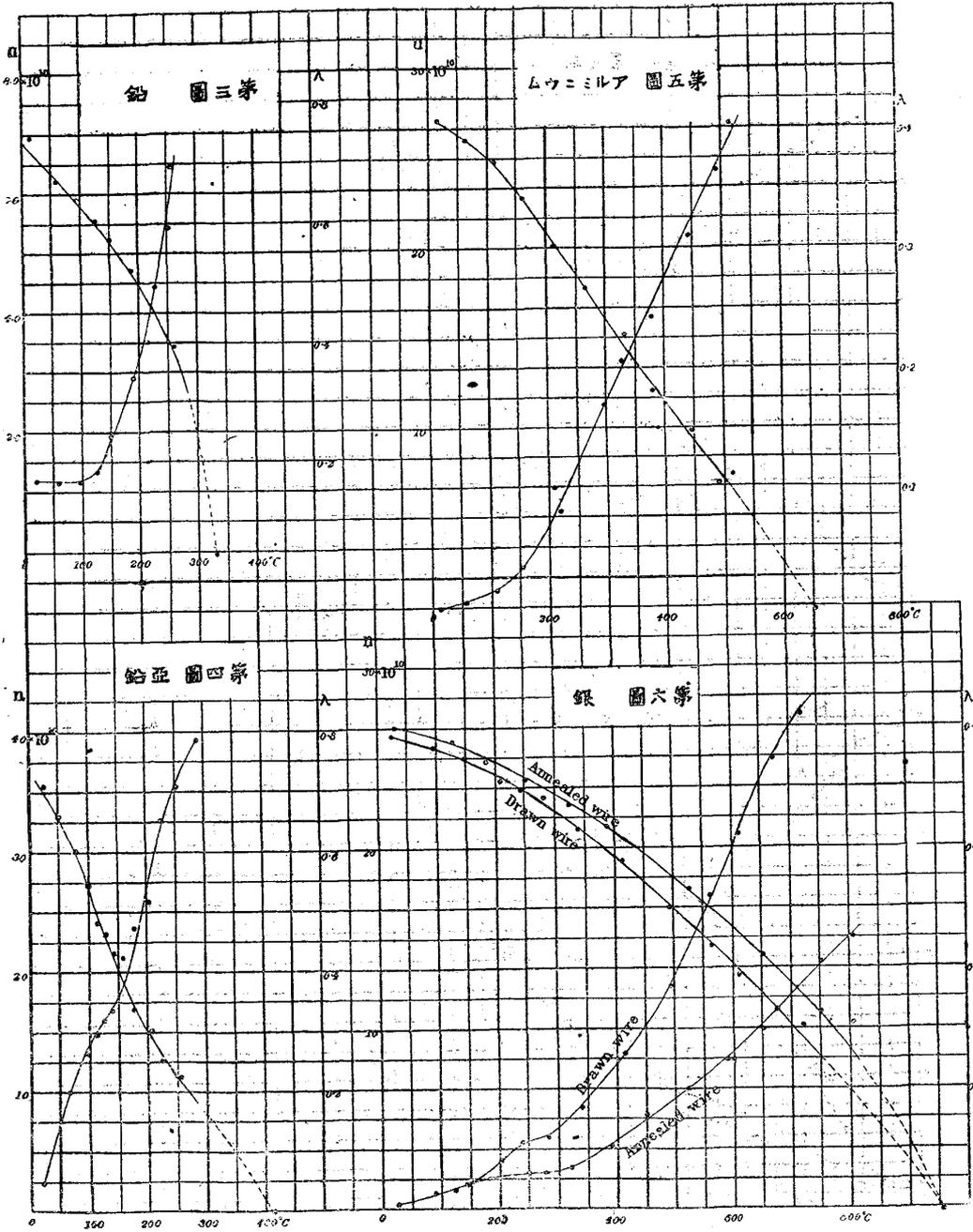
八〇〇度にて焼鈍したる銀の剛性率は温度の上昇と共に減少するものにして而かもその減少の割合はその融解點まで次第に増加す、伸延せる銀線の剛性率も又焼鈍せるものと殆んど同様なる経路をとりて變化す、但し伸延せる銀線の場合には二三〇度附近にて多少の變化あり、この温度に於ける變化はロガリズムック、デクレメントに於て著しく認めらるゝものにして前述の如く此温度より結晶粒の生長が初まるものなり、焼鈍せる銀のロガリズムック、デクレメントは温度の上昇と共に常に増加するものにして二四〇乃至三〇〇度の間に多少の異常變化あり、伸延せる線の時は此ロガリズムック、デクレメントの増加は焼鈍せる線の場合に比し著しく大にして又二〇〇乃至三〇〇度の温度の範圍に於て前と同様なる異常變化あり。

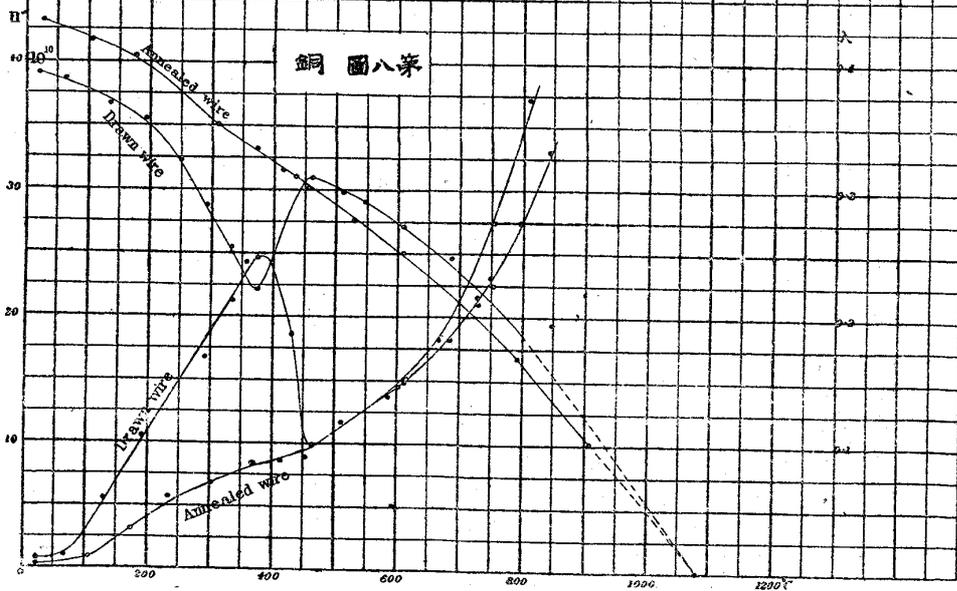
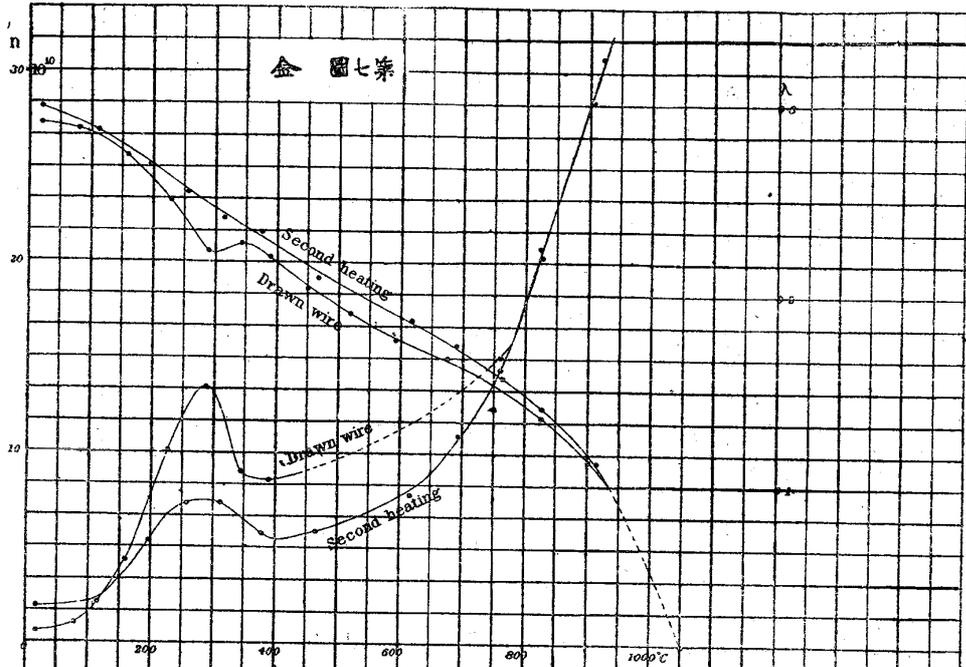
五、金(第七圖)

伸延せる金の針金の剛性率は温度上昇と共に減少し三〇〇度に於て最小の價に達し、それより多少増加しその後は温度の増加と共に次第に減少す、一度九二五度まで加熱せる針金は此三〇〇度に於ける最小値をとることなく剛性率と温度の曲線は伸延せる針金の曲線の多少上部を走る、一般に金に限らず金屬にては焼鈍せるものの剛性率は焼入又は低温鍛錬せるものに比し大なるものなり。

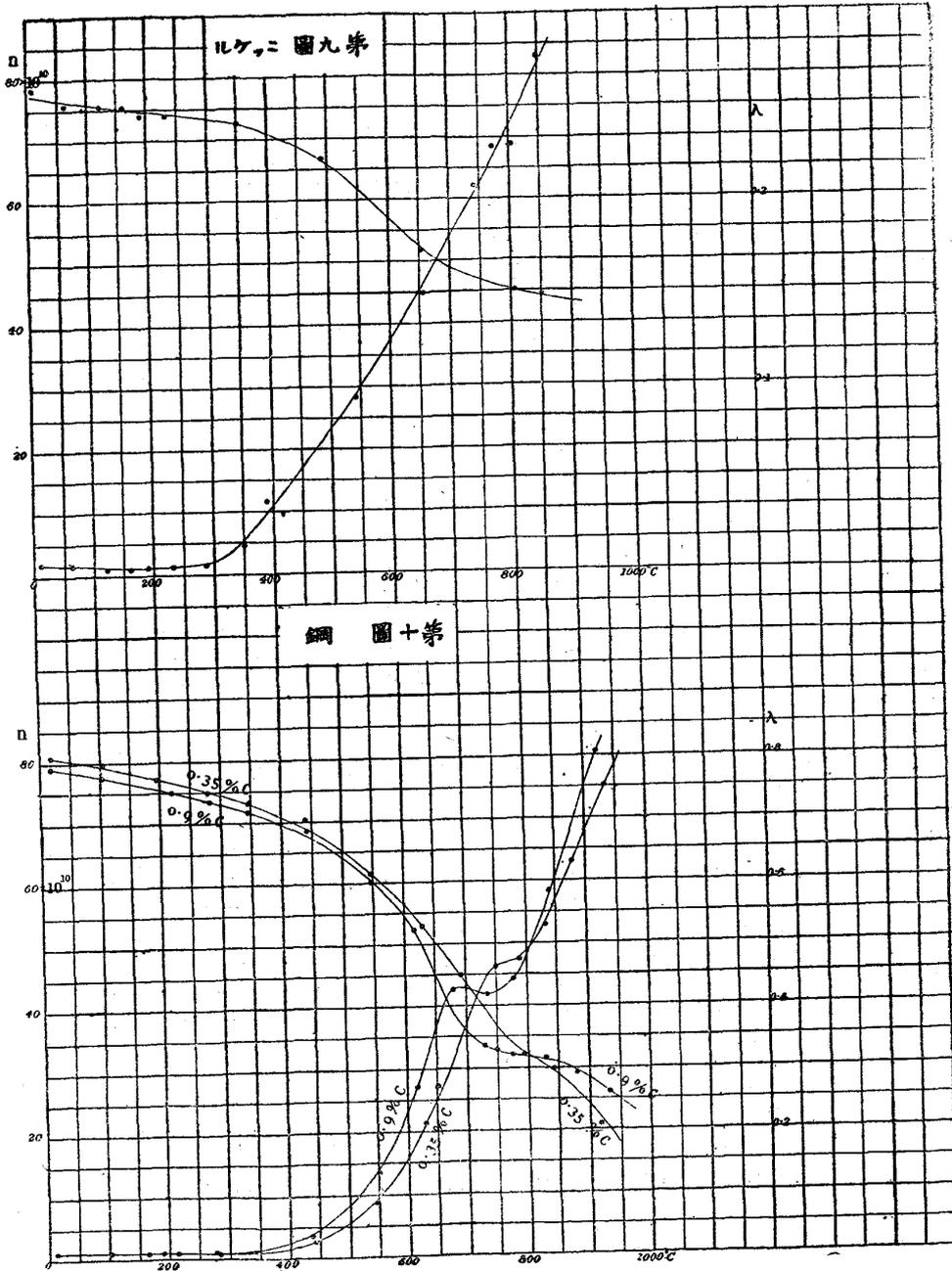
伸延せる金の針金のロガリズムック、デクレメントは最初

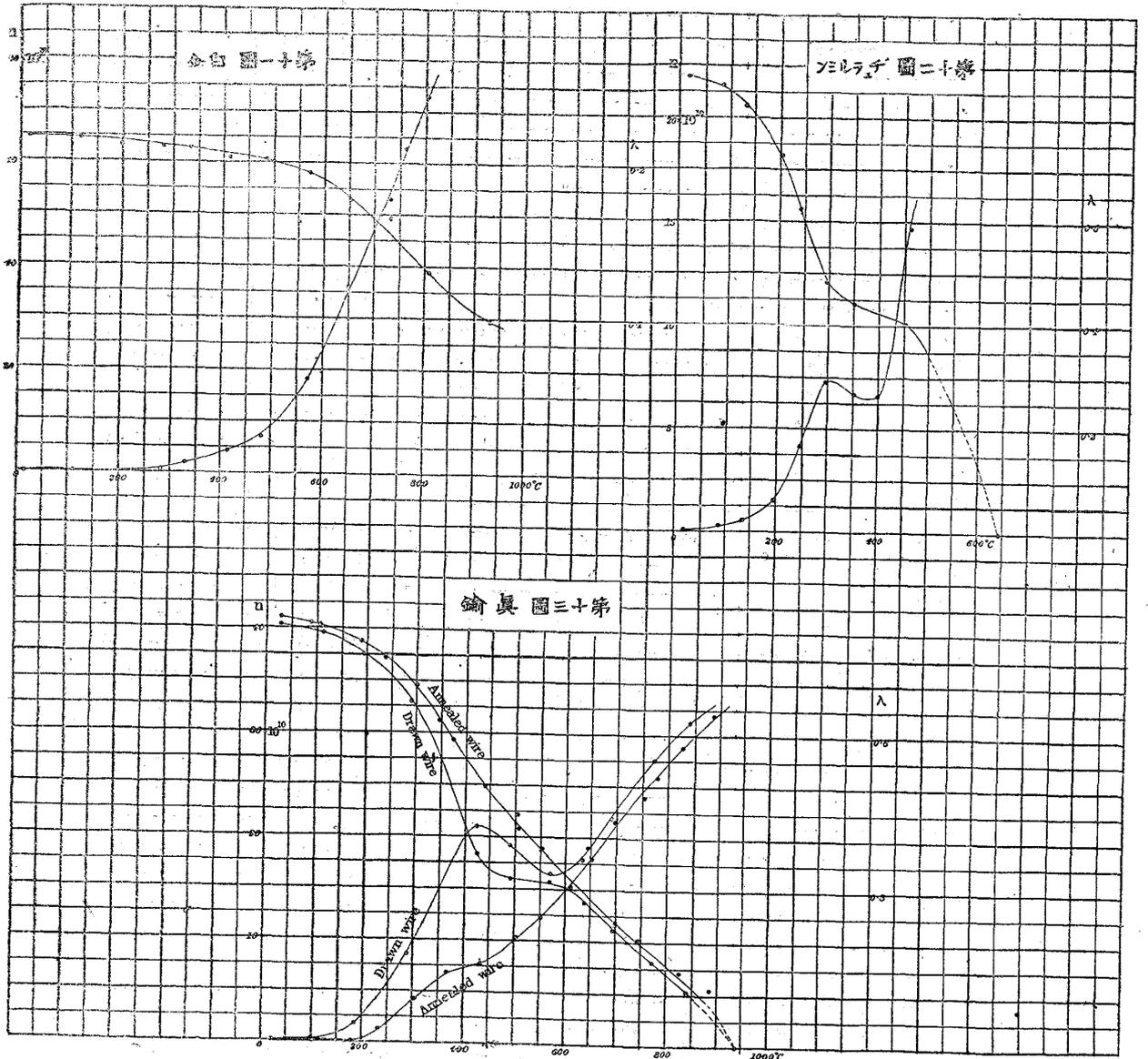
高温度に於ける各種金属の剛性及び粘性に就て





高温度に於ける各種金属の剛性及び粘性に就て





は温度上昇と共に急に増加し三〇〇度に至り最大値となりそれより四〇〇度まで減少しその後は増加す、而してその増加率は温度上昇と共に増加し行き、第二回の加熱の場合には剛性率の曲線は三〇〇度に於ける最小値が殆んど消失すれどもロガリズムック、デクレメントの曲線にては其温度の最大値が尙ほ残留せり、これ第一回の加熱にて九二五度まで達し冷却は爐内にて六五瓦の錘を加へつゝ冷却せし故それに依る歪が幾分残留せし爲め三〇〇度に於ける異常變化が全部消失せざりしなるべし。

剛性率の増加及びロガリズムック、デクレメントの減少が三〇〇度に始まると云ふことは何に起因するかと云ふに多分これは結晶粒の生長する爲めなることを了知せらる、此結晶粒の生長は約三〇〇度にて始まりそれが非常の高温に至るまで繼續す、偕て三〇〇度以上にては此結晶の生長のために温度高まると共に剛性率は引き続き増加しロガリズムック、デクレメントは減少す、然るに剛性率に對する温度の影響はそれを減少せしめロガリズムック、デクレメントに對しては増加せしむる方向に働く、それ故に實際に現はるる價は此等二つの影響が相重り合ひし結果剛性率の曲線にては最大値を、ロガリズムック、デクレメントの曲線にては最小値を示すものにして此金の場合には四〇〇度に於てそれを認むるを得、金屬の剛性率はその結晶粒の生長に依つて増加しロガリズムック、デクレメントが同じ原因にて減少すると云ふことは理

論的見地より考ふれば非常に興味ある事柄なり。

内部摩擦は唯一個の結晶に於ては殆んど起らぬものとすれば此摩擦は結晶粒の境界面に起るものと考へざるべからず、即ち境界面附近にある分子は不規則に分布せられ居るため、之れが非可逆現象の主なる原因となるものなり、それ故結晶粒が生長するに従ひ結晶の境界面に於て不規則に分布せられたる分子が減少し、従つて内部摩擦力が減少するものなり、又剛性率の方も結晶粒が大なれば弾性の極限内にて受くる歪力に對し抵抗する力大となるとは想像するに難からず。

#### 六、銅(第八圖)

焼鈍されたる銅の剛性率は温度上昇と共に次第に減少し融解點に至り零となる、然るに低温伸延の銅線の剛性率は初め多少急に減少し三八〇度に於て最小値に達す、此温度より剛性率は四四〇度まで増加し其後は焼鈍せるものと同様に次第に減少し遂に零となる、此場合三八〇度よりの剛性率の増加は又結晶粒の生長に起因せざるべからず、此範圍にて銅は著しく柔軟となるなり。

焼鈍せる針金のロガリズムック、デクレメントは温度上昇と共に急に増加し一八〇度乃至四〇〇度の間に多少の異常變化現はる、これ焼鈍が完全に行はれざる爲めに生ぜしものにして、それに相當する變化が又剛性率の曲線にも認めらるる低温伸延せる針金のロガリズムック、デクレメントは三八〇度まで急激に増加し、それより四六〇度まで突然に減少しそ

の後は再び増加す、此ロガリズミツク、デクレメントの著しき落下は明かに結晶粒の生長に基くものにして顕微鏡組織を見てそれを確かむることを得たり、又顕微鏡組織より三八〇度までの途中のロガリズミツク、デクレメントの増加は元の歪を受けし結晶形が壊れ再結晶をなす爲めに起るものなることを知らる、これ第五項金の處にて説明せる如く結晶が細くなりし結果、結晶の境界面に不規則なる分布を有する分子の數増し、爲めに内部摩擦が増加せしに依るものなり、斯る現象は上述の銀、金及び下に述べんとするデュラルミン、眞鍮等にも現はるる者にしてそれ等も同様に説明することを得。

#### 七、ニッケル(第九圖)

ニッケル線の剛性率は最初は緩かに減少すれ共その減少の割合は七〇〇度まで多少増加し行き、その後は減少す、ロガリズミツク、デクレメントは最初は多少減少の傾向あれどもニッケルの磁氣變態の起る温度の範圍よりはその増加は急激に進行す、如斯して假令剛性率の場合には此ニッケルの磁氣的即ち $A_2$ 變態は殆んど認むること能はざれども此ロガリズミツク、デクレメントの變化に依り認むることを得るものなり。

八、鋼、炭素含有量〇・三五パーセント及び〇・九〇パーセントの二種、(燒鈍せるもの)(第十圖)

鋼の剛性率は七〇〇度までは減少度多少増加し七〇〇度乃至八五〇度の範圍にて此減少度は非常に減少さる、これ鋼の

$A_1$ 變態に依つて生ぜしものにして八五〇度以上は再び増加す、而して炭素量〇・九パーセントの鋼に於ては此異常變化はその量に於て炭素量〇・三五パーセントの鋼より遙かに大なり、此事實より此異常變化は主として鋼の $A_1$ 變態に依るものなることを了知せらる、但し二一五度に於ける鋼の $A_1$ 變態は凡ての場合殆んど認められず。

ロガリズミツク、デクレメントは温度上昇と共に急に増加すれ共此場合にもその増加度は剛性率の時の如く異常變態に依り一變遷をなす、如斯して $A_1$ 變態の爲めに剛性率が増加しロガリズミツク、デクレメントは減少す。

#### 九、白金(燒鈍を施せるもの)(第十一圖)

白金線の剛性率は最初は極めて緩かに減少し六〇〇度以上よりその減少度次第に大となる、同様にロガリズミツク、デクレメントは最初は非常に緩かに増加し六〇〇度よりその増加度大となる。

十、デュラルミン(アルミニウム、九五パーセント、銅、四パーセント、マンガ、〇・五パーセント、マグネシウム〇・五パーセントの合金なり)(第十二圖)

デュラルミン(伸延せるまゝのもの)の剛性率は温度上昇と共に急に減少し三〇〇度乃至四〇〇度の間に於てその減少の割合少くなり、その後は再び増加し融解點に至りて消失す、これに相當せる變化が又ロガリズミツク、デクレメントの場合にも觀測さる、此温度にては如斯き變化の外に電氣抵抗の如

き性質もある變化をなすものにして最近當鐵鋼研究所の研究に依ればこれはデュラルミンに特有の變態點に相當するものなることを知られたり、而して此温度の範圍内にて熱練すれば最も良好なる結果を得らるゝものなり。

十一、眞鍮(銅、七〇パーセント、亞鉛、三〇パーセント)(第十三圖)

眞鍮の剛性率並びにロガリズムック、デクレメントの温度に對する變化はそれが焼鈍されしものにも又伸延されし状態のものにも銅の場合と全く相似たり、唯四六〇度と六〇〇度との間に於て剛性率並びにロガリズムック、デクレメントが異常變態をなす事を知らる、眞鍮の場合に試料と同じ化學成分を有する伸延せる角棒を種々の温度まで加熱しそれをその温度より水中に入れて急冷して後その顯微鏡組織を寫眞にとり、之によれば四〇〇度まで加熱する途中に於て前に歪を受けし結晶形は壞れ此温度以上にて其結晶粒は次第に生長し行く事を知らる。(第十四圖)

## 六

以上の研究結果を綜合すれば、

一、十二種の金屬に就き高温度に於けるその剛性率並びにロガリズムック、デクレメントを測定せり。

二、特別の装置にてそれ等の剛性率並びにロガリズムック、デクレメントをその融解點近くの高温度まで測定するを得たり。

三、剛性率は一般に温度の上昇と共に減少す、然れども此金屬が若しある變態又は組織上に於てある變化をなせばその剛性率——温度の曲線にある異常變化を生ず。

四、ロガリズムック、デクレメントは温度上昇と共に急に増加す、而して此金屬に變態又は組織的の變化ある場合にはそのロガリズムック、デクレメント——温度の曲線はある異常變化に依つて特色づけらる。

五、結晶粒の生長は一般に剛性率の増加並びにロガリズムック、デクレメントの減少に依りて伴はる。(丁)

眞寫鏡微顯圖四十第

鐵  
と  
鋼  
第  
八  
年  
第  
壹  
號



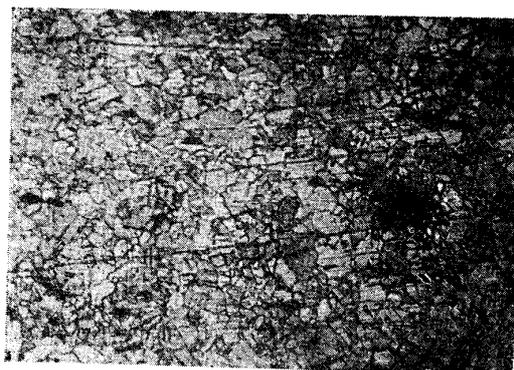
眞 鏡  
の もる せ 鈍 焼 間 分 十 七 十 二 百 四 度  
倍 百



眞 鏡  
の も の ま る せ 延 伸  
倍 百



眞 鏡  
の もる せ 鈍 焼 間 分 十 七 十 四 百 七 度  
倍 百



眞 鏡  
の もる せ 鈍 焼 間 分 十 七 十 六 百 三 度  
倍 百