

鐵と

鋼 第六年 第三號

大正九年三月二十五日發行

健淬せる鋼の自歪力

吉 田 太 郎

序 言

高溫度に熱せられたる鋼を急速に冷却する時は鋼の内部に所謂自歪力 (Internal Stress, Eigenspannung) を生ず、通例自歪力は試料の内外に於ける溫度の差より生ずる熱歪力 (Thermal Stress) 及急冷により生ずる組織の膨脹又は收縮に依る歪力に原因す、燒割れに就ては近來東北大學に於ける本多博士の研究に依りて詳しく發表せられたるも、自歪力の強さ、性質及分布に關しては知らるゝ所極めて少し、本研究は 700°C 以上より油中に健淬せる鋼の自歪力の分布を實驗上より計算したるものにして健淬鋼の應用假令は工作用ケージ、ドリル或は摩耗甚しき機動部等) 又は鈍されたる鋼材か完全又は不完全に健淬されたる場合 (假令は潜水艦砲か連續發射後急速に潜水するか如き) に於て多少の參考に供し得へし、本研究に使用せる鋼は一種類にして且つ試料の形狀も一種類なるか故に其結果を以て全班を推論するを得さるも佛國ポルトバン氏の各種合金臨界點以下に於ける自歪力の實績に徴するに他の鋼に於ても本研究に於けるか如き關係あるへしと思はるゝも、そは他日の實驗に譲らん。

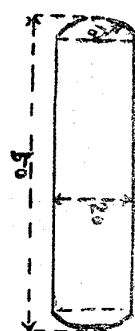
鋼材内の自歪力即ち内部弾性の平衡狀態を分解し其性質を明かにせんかためには工具を以て試料の外層を順次に削り取り殘餘の固體の大さの變化を精密に測定せざる可らず、此方法は冷鍛作業を受けたる桿の自歪力研究のために一九一一年ヘイン及パウエル兩氏の用ゐしものにして本研究も此方法を用ゆ。

(一) 試料

實驗に供せし鋼材は $C=0.44$ $Ni=1.23$ $Cr=0.20$ の成分を有する鋼材と鍛練健淬(鑄造重量十三噸)に最後に $630^{\circ}C$ に於て焼鈍したるもの、内より採れり。
試料の強さ及化學的成分は左の如し。

弾性限度 k/mm^2	緊張力 k/mm^2	延伸度 百分比	斷面收縮 百分比	斷面	屈曲	試驗片の標點間距離 l_0 直徑 0.533 長/徑 $=3.75$
T.M 39.0	60.0	21.4	53.3	F	T	
	60.0	20.0	50.2	F.S ₁	T	
B.B 39.0	60.6	22.2	49.7	F	T	
	60.0	23.0	49.2	F	T	
C	0.44			S		0.032
Si	0.25			Ni		1.23
Mn	0.72			Cr		0.20
P	0.022			Fe		97.106 (示差法)

試料の大きさは直徑二〇耗、長さ五〇耗の圓錐にして
其兩端は半徑一〇耗の球形をなす。



(二) 試料の臨界溫度

健淬に先ち試料の臨界溫度を測定するの要あるを以て東北大學理科報告第六卷第四號二〇三頁
本多博士の方法により試料の膨脹曲線圖第一表を得たり。

(三) 健淬溫度

前記の大きさを有する試料を一個つゝ横型 Heraus 式電氣爐に入れ下記溫度に三十分間持續加熱し
たる後急速に爐を傾け試料を $70.5^{\circ}C$ の白絞油に投し健淬す。

試料番號	健淬溫度(攝氏)	試料番號	健淬溫度(攝氏)
1	1,000°	6	900°
2	750°	7	950°
4	700°	8	1,050°
5	800°		

(四) 常溫に於ける健淬試料の膨脹係數

健淬せる試料の自歪力測定に際し室内溫度を一定すること困難なりしたため室内溫度の變化に對する健淬試料の膨脹係數を豫め測定せり。實驗裝置は前記臨界溫度測定に使用せしものと殆んど同一なりしも高溫度に加熱するの要なきを以て電氣爐を廢し銅管に適當溫度の溫水を通することゝせり。

試料は直徑五耗長一〇〇耗の圓鋸にして左記溫度に於て各三十分間加熱したる後垂直に白絞油に投し健淬せり。

試料記號	溫度(攝氏)
A	700°
B	770°
C	900°

0°より45°に到る間の健淬試料A.B.C.の膨脹曲線は第二表の如くにして最小二乘法により計算せる膨脹率は左式の如し、

$$\frac{Sl}{1} \times 10^5 = at + bt^2$$

但し l は鋼鋸の長さ、 t は溫度(攝氏)、 a は下記の値を有する係數なり。

健淬せる鋼の自歪力

試料記號 健淬溫度

	A	B	C	a		b
	700°	770°	900°			
	0.9235±0.0103	0.8516±0.00437	0.9372±0.00517	0.00318±0.00036	0.002304±0.000257	0.00395±0.00018

自歪力測定の際の溫度修正量として(二)に記せる記號 4 號は A 號を、2 號 5 號は B 號を、1 號 6 號 7 號 8 號は C 號の膨脹率を用ゐたり。

(五) 健淬試料の彈性率

後に記す如く自歪力の計算には健淬鋼の彈性率を豫知するの要あり常溫に於ける彈性率測定の方法は強制振動及共振法に據れり即ち

$$n = \frac{\pi \times a \times (0.5968)^2}{2 \times \sqrt{21} \times L^2} \sqrt{\frac{E}{S}}$$

但し n は振動數、L は長さ、S は比重、a は厚さ、E は彈性率とす。

により彈性率を計算せる成績下の如し。

試料の大きさ

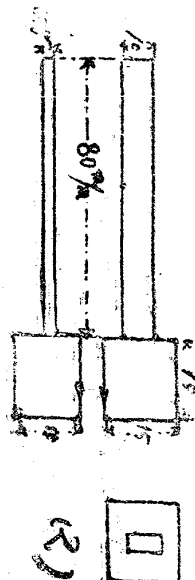
試料を三十分間下記溫度に熱したる後油に投ず

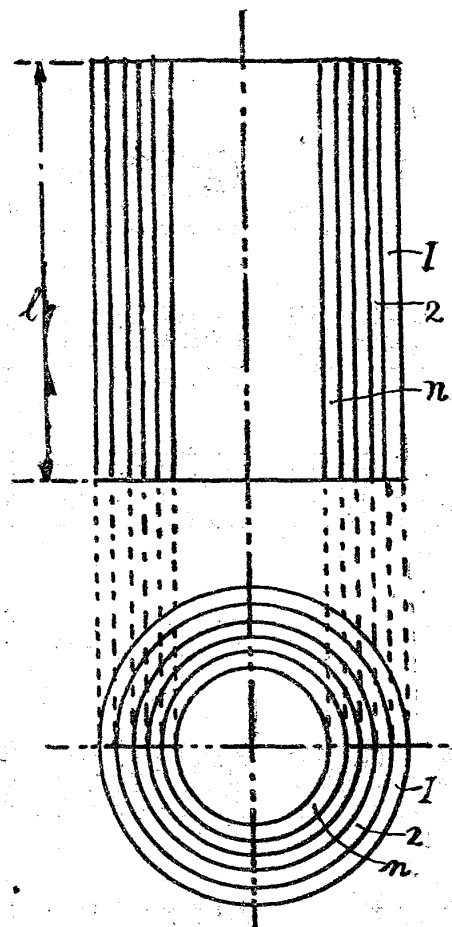
彈性率 kg/mm ²	700°	770°	900°
20100	20100	19975	

上記の結果により彈性率に平均値 20038 kg/mm²を採り自歪力計算に用ゆ。

(六) 自歪力の計算式

今鋼鋅が下圖の如く同心圓の各層 1, 2, …… n より成立つものとするれば、ヘイン氏の範式 (E. Heyn und

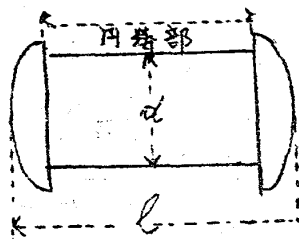




積 $\Sigma \epsilon_n$ は一より n 層まで削り去りたる残りの圓錐の横斷面積 Σ は彈性率なり。

(七) 自歪力の測定

(一)に記せる試料を(三)に示せる如く健淬し表面酸化せる部分を研磨し去り下圖の如く圓鑄部全部を直徑に於て約二耗つゝ研磨機により削去し毎回試料の全長 l を Newall 測長器(一萬分の一耗まで測り得)を以て精確に測定し前記の溫度修正量及彈性率に用ゐるヘイン氏範式により自歪力を計算せり成績下の如し但し自歪力 α の正符は牽引力を、負符は壓縮力を示し、長さの測定は試料健淬後一ヶ月以上二ヶ月半の間に於て實行せり。



(八) 自歪力の分布

前記の計算により求めたる自歪力を縦線とし、健淬試料の半徑を横線として自歪力分布圖を作れば第三表の如し、之れを通覽するに 80% 以上に於て健淬せるものは試料の外

O. Bauer. Internationale Zeitschrift für Metallographie Band 1, (1911) 16-47 又は E. Heyn, Journal of Inst. of Metal Vol. xii (1914) 7 參照]により n 層の自歪力 α_n は下の如し。

$$\alpha_n = \frac{E}{1} \frac{f'n(n-1) - f'n-1(n-1-1)}{f'n'}$$

式中 1 は最初の圓錐の長さ Σ は一層より n 層まで削り取りたる後の圓錐の長さ Σ' は一層より $n-1$ 層まで削り取りたる後の圓錐の長さ Σ'' は n 層の機斷面

6
部は牽引力を、内部は壓縮力を受け、50°、700°の如き臨界温度以下に於て健淬せるものは之れに反せり。

試料 層数	d mm	l mm	測定 温度 °C	20°Cに修正 せられたる ln/mm	20°Cに修正 せられたる の差	修正せられたる ln-1	f/n mm ²	f _n /n ² mm ³	自重力 6n kg/mm ²
一號 (健 淬 温度 度)	1	16.885	7	49.6093	—	+0.040	49.136	174.483	+5.72
	2	14.905	—	49.6200	+0.0040	+0.0056	44.089	130.394	+0.30
	3	12.885	—	49.6149	+0.0016	+0.0066	37.123	92.971	+1.26
	4	10.880	—	49.6246	+0.0010	+0.0075	31.109	61.862	+1.94
	5	8.875	—	49.6235	+0.0009	+0.0090	21.632	37.270	+2.16
	6	6.885	—	49.6230	+0.0015	+0.0101	18.526	18.704	+3.20
	7	4.880	—	49.6261	+0.0011	—	—	—	+4.08
二號 (健 淬 温度 度)	1	19.480	10	50.1709	—	+0.016	57.919	270.116	+2.64
	2	17.485	10	50.1693	+0.0016	+0.0017	51.911	188.205	+0.42
	3	15.480	8.7	50.1738	+0.0001	+0.0039	45.490	142.715	+2.07
	4	13.480	11	50.1716	+0.0022	+0.0044	39.117	103.598	+1.03
	5	11.485	10	50.1711	+0.0005	+0.0061	32.989	70.659	+0.30
	6	9.485	12	50.1694	+0.0017	+0.0074	26.657	44.002	+1.58
	7	7.485	13.5	50.1681	+0.0013	+0.0074	20.373	23.623	+1.75
三號 (健 淬 温度 度)	8	5.485	15.5	50.1635	+0.0026	+0.0100	—	—	+3.99
	1	19.500	18.5	49.2290	—	+0.011	58.120	240.126	+1.85
	2	17.500	16	49.2287	+0.0011	+0.0047	51.836	188.692	+4.89
	3	15.500	15.5	49.2228	+0.0036	+0.0093	45.553	143.139	+4.35
	4	13.500	18	49.2202	+0.0049	+0.0147	39.270	103.849	+1.59
	5	11.500	21	49.2151	+0.0031	+0.0183	32.987	70.882	+2.40
	6	9.500	21.5	49.2110	+0.0041	+0.0207	26.703	44.179	+6.37
四號 (健 淬 温度 度)	7	7.500	20.5	49.2094	+0.0019	+0.0213	22.421	23.758	+6.72
	8	5.500	22	49.2065	+0.0036	—	—	—	+9.99
	1	19.350	17	47.7879	—	+0.014	53.543	240.578	+0.75
	2	17.500	18	47.7888	+0.0004	+0.0009	51.836	188.692	+2.15
	3	15.500	16.5	47.7835	+0.0013	+0.0038	45.553	143.139	+3.44
	4	13.500	18	47.7921	+0.0029	+0.0038	39.270	103.869	+1.59
	5	11.500	22	47.7939	+0.0000	+0.0051	32.987	70.882	+0.42
五號 (健 淬 温度 度)	6	9.500	21.5	47.7950	+0.0012	+0.0049	26.703	44.176	+2.28
	7	7.500	21.5	47.7948	+0.0002	+0.0064	20.421	23.758	+1.01
	8	5.500	20	47.7956	+0.0015	—	—	—	+2.68
	1	19.500	17	48.3723	—	+0.005	58.120	240.528	+0.66
	2	17.500	18.5	48.3736	+0.0005	+0.0039	51.836	188.692	+4.92
	3	15.500	16	48.3757	+0.0034	+0.0047	45.553	143.139	+0.57
	4	13.500	18.5	48.3778	+0.0008	+0.0046	39.270	103.849	+0.96
六號 (健 淬 温度 度)	5	11.500	20.5	48.3798	+0.0009	+0.0066	32.987	70.882	+1.43
	6	9.500	21	48.3810	+0.0010	+0.0098	26.703	44.179	+1.23
	7	7.500	20	48.3827	+0.0022	+0.0086	20.421	23.758	+1.47
	8	5.500	20	48.3825	+0.0002	—	—	—	+3.57

七號 (健淬五〇度)				八號 (健淬五〇度)			
1	19,500	48,6471	18	48,6485	17	48,6581	58,120
2	17,500	48,6495	17	48,6511	21	48,6592	240,528
3	15,500	48,6531	20	48,631	22	48,635	188,692
4	13,500	48,6541	20	48,6541	20	48,6541	143,139
5	11,500	48,6568	20	48,6568	20	48,6568	103,760
6	9,500	48,6583	21	48,6578	20	48,6578	7,882
7	7,500	48,6591	22	48,6583	20	48,6583	44,179
8	5,500	48,6556	23	48,6567	24	48,6574	23,758
							3,38
							1,90
							6,07
							4,56
							2,26
							2,92
							5,30
							5,70
							8,05

而して自歪力は臨界温度以上にありては最高温度(1050°C)にて健淬せる試料の牽引力6.07k/mm²、壓縮力8.05k/mm²を最大とし、臨界温度以下にありては最低温度(700°C)にて健淬せる試料の牽引力9.99k/mm²、壓縮力4.89k/mm²を最大とす。

(九) 健淬せる試料の顯微鏡的組織

自歪力測定終了後試料の長軸に垂直なる横断面(圓形)を硝酸にて腐蝕し、檢するに別紙の寫眞に示せるか如く1050°Cに於て健淬せるものは外縁に近く少量のマルテンサイトのオーステナイト殘留し、其他は全部マルテンサイト組織なり、950°Cに於けるものはマルテンサイト組織中外縁にマルテンサイトのオーステナイトの微量を認む、900°Cに在りてはマルテンサイト組織中内部に微量のトルースタイトの析出あり、800°Cに於ては其組織中内部に發生せるトルースタイトの量稍増加せる外、900°Cの時と同じ、700°Cに於てはソルバイト組織中フェライト線現はる。

(十) 自歪力の原因

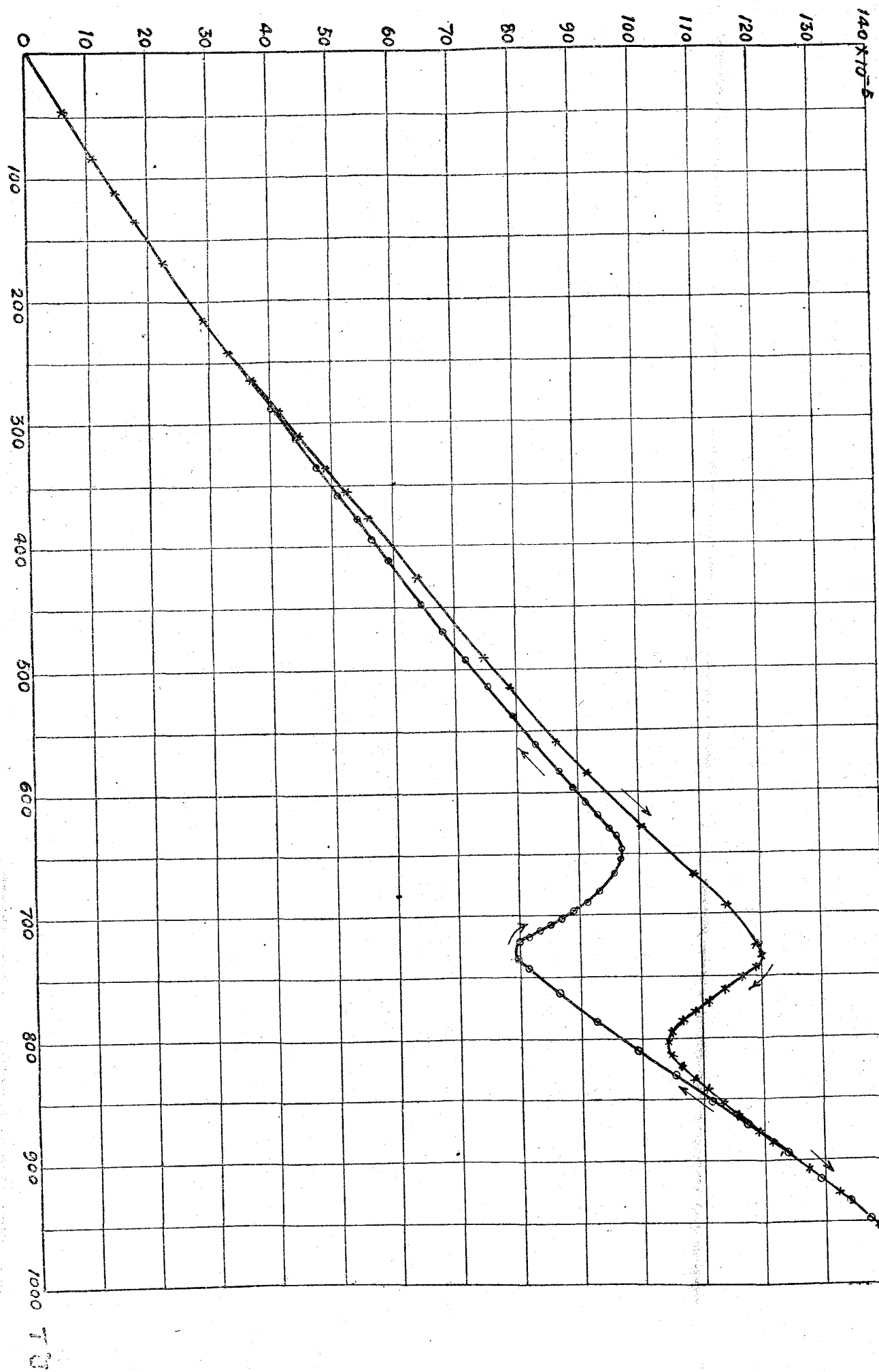
自歪力分布圖に於て見るか如く800°C以上に健淬せるものは外部に牽引力を、内部に壓縮力を有し、750°C以下に急冷せるものは却て反對の自歪力分布す、其原因に就て私見を記せば、950°C以上に健淬す

8
る時はA變態點より下降するに従ひ試料の内部は最初外部より著しく膨脹せる状態にあるか故に外部は内部より強大なる牽引力を受く此牽引力は試料が常溫に近づくに従ひ其力を減すへきも全く消滅するに至らず健淬後尙其彈性的變位は依然として殘留すと説明し得而して 350° 以上に健淬せるものは顯微鏡寫眞に於て見るか如く試料の外側は多小のマルテンサイトのオーステナイトを有するか故に夫より膨脹の大なるマルテンサイトのみを有する内部より牽引力を受くること明らかにして其力量は試料の内外共全部マルテンサイト組織なる時よりも大なるへし、比較的多くのオーステナイトを外側に有する試料(350° の場合)より高き自歪力を有するは前記の理由に依るものと思はる、 300° 及 200° に於て健淬せるものは或る溫度以下に於て内部にマルテンサイトの外多少のトルースタイトを析出し其體積はマルテンサイトよりも小なるか故に内部は却て外部より牽引力を受くるも、試料内外の膨脹の差は溫度の下るに従ひ漸次減少し遂に零となり後其符號を變し外側は却て内部に壓縮力を及ぼし常溫に至りても尙此狀態を保持するものと解し得、かくの如き符號の變化は炭素鋼を柔かに健淬する際生ずる現象にして内外冷却速度の大小に基因し内部の體積が外部より小なりとするも内部の溫度十分高き時は内部の膨脹は外部の膨脹よりも却て大なることあるへきは推知し得らる、 250° 及 200° 即ち臨界溫度以下に於て急冷せる試料は健淬の初期に於ては内部は外部より少しく膨脹し溫度の下降に伴ひ膨脹の差は減して遂に零となり後其符號を變し外部は却て内部より壓縮力を受け常溫に到るも尙此狀態を保持す。

健淬後常溫に復したる後自歪力の存在することは一九一八年ポートバン氏の研究に依るも明かにして(Comptes Rendus, 一九一八年十月七日 Portevin氏報告)同氏は鋼の臨界溫度以下に於て急冷せる場合の内力に就き實驗せるか炭素〇・三ニッケル二五、クローム〇・七の鋼に就て下の如き成績を得たり。

$\frac{dl}{l}$

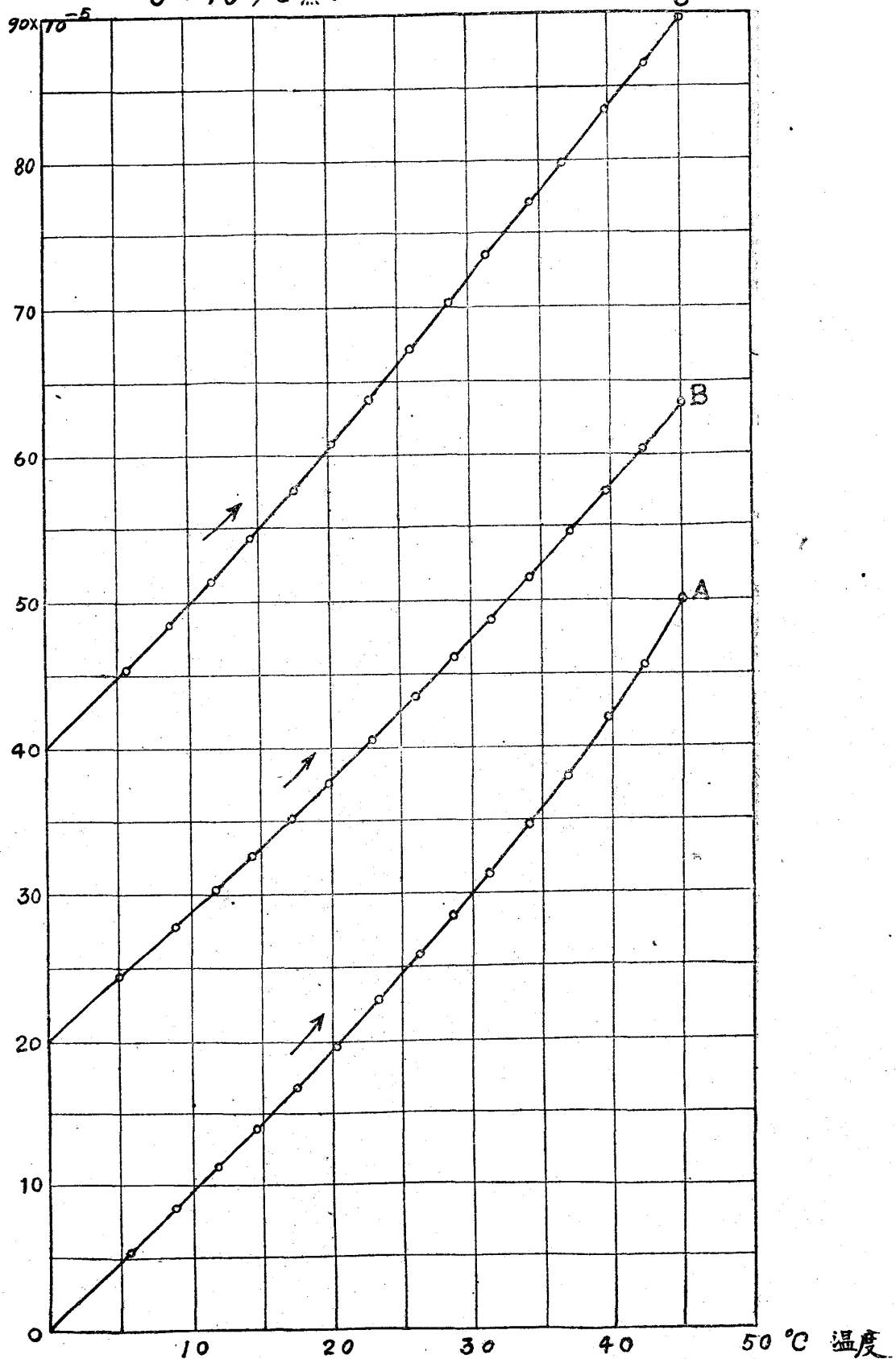
熱膨張曲線



第一表

健 淬 鋼 熱 膨 脹 曲 線

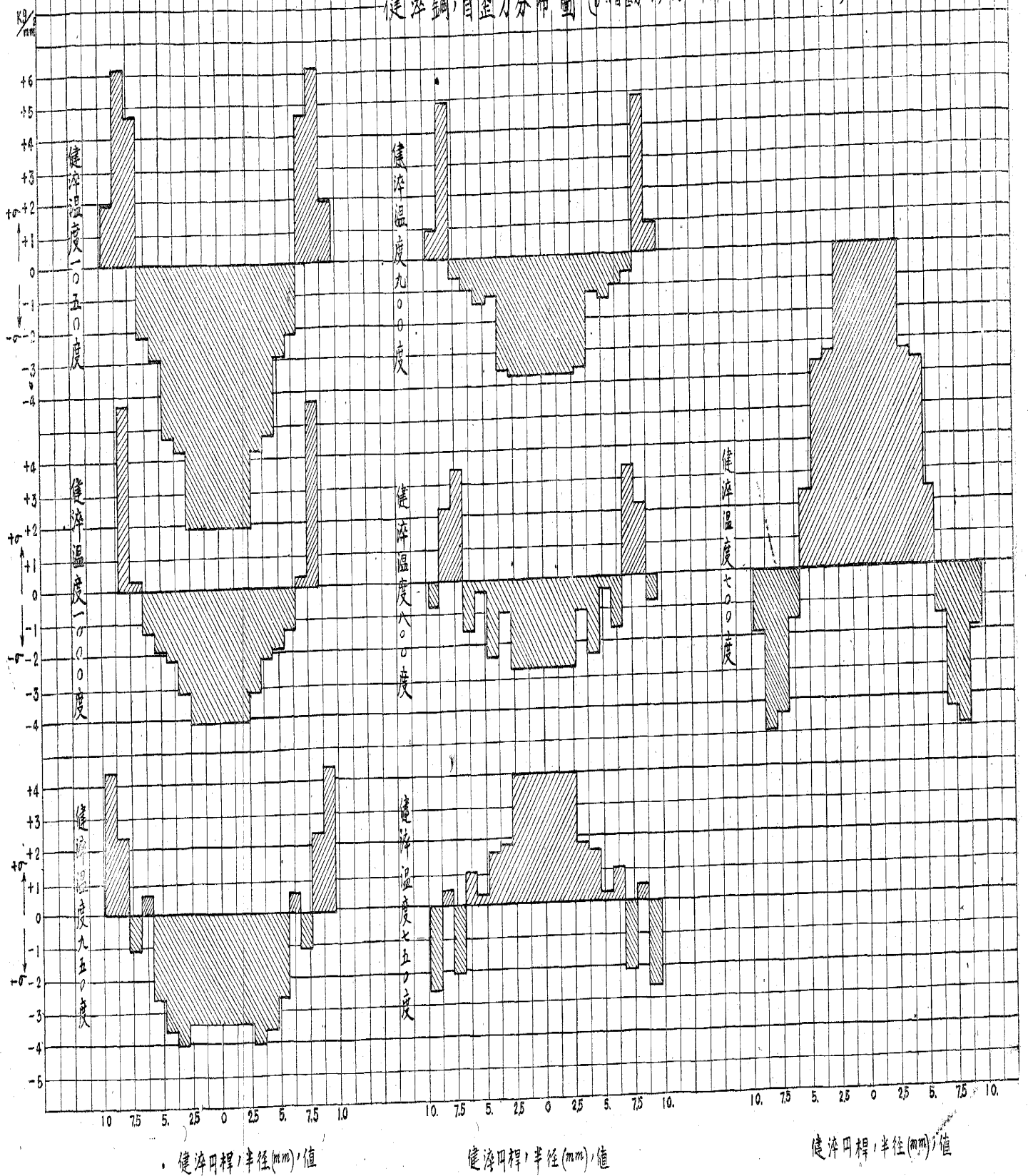
$\frac{\delta l}{l}$ B " $\frac{\delta l}{l} = 20 \times 10^{-5}$ 点トシ
 C " 40×10^{-5} 点トス



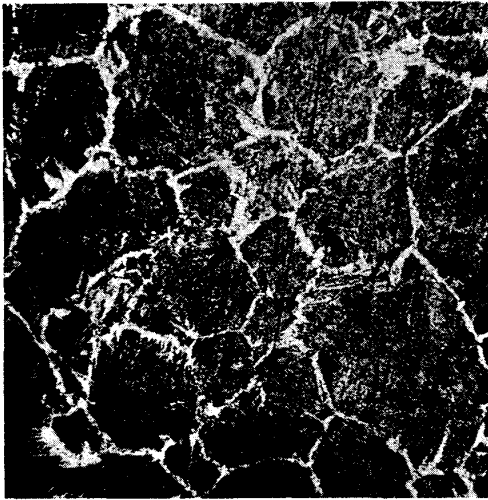
第二表

第三表

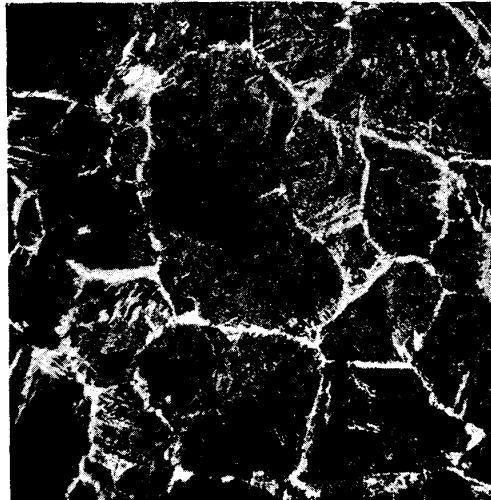
健洋鋼自歪力分布圖 (σ: 自歪力, τ: 牽引カ - σ: 圧縮カヲ示ス)



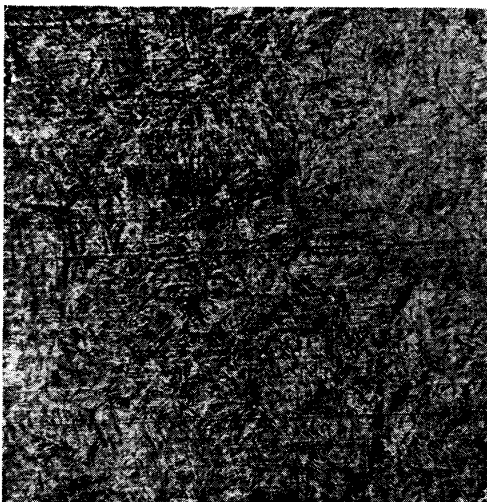
擴大倍數 200倍



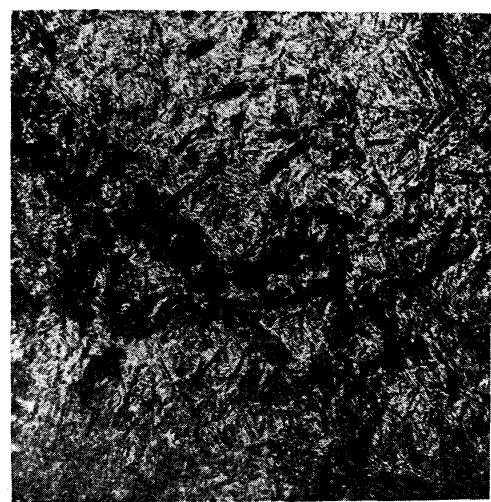
4ノ外部 700° C



4ノ中央部 700° C



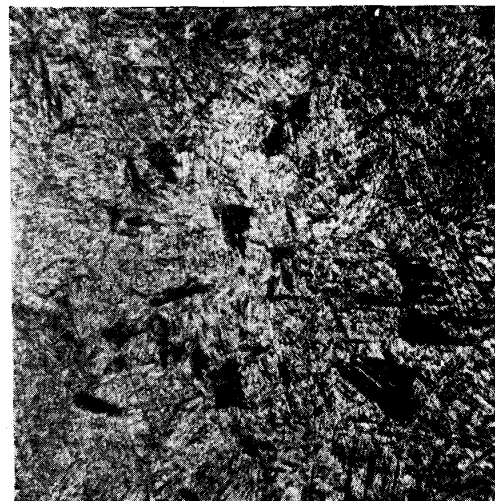
5ノ外部 800° C



5ノ中央部 800° C

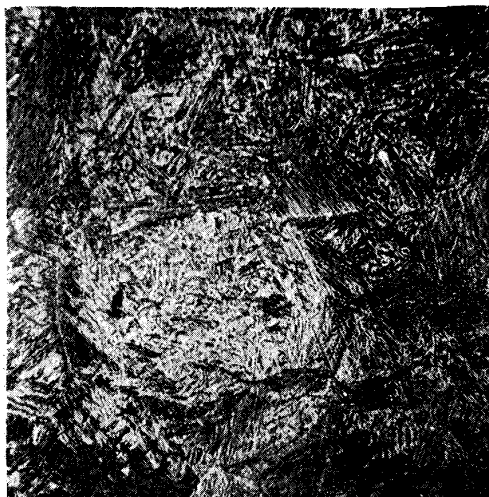


6ノ外部 900° C



6ノ中央部 900° C

擴大倍數 200倍



7ノ外部

950° C



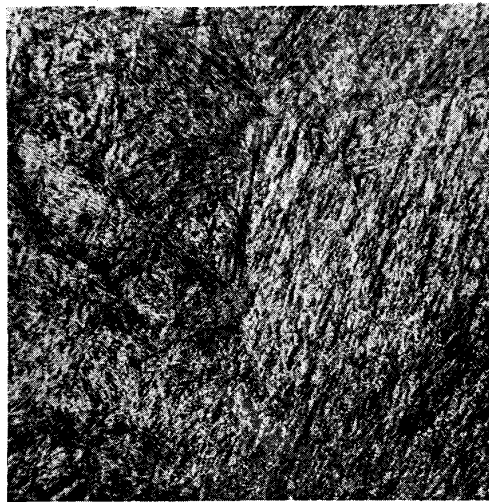
7ノ中央部

950° C



8ノ外部

1050° C



8ノ中央部

1050° C

擴大倍數 300倍



7ノ外部



8ノ外部

厚さ10mmにして縦方向平均表面壓縮力 k/mm^2

直径15mmにして縦方向平均中心牽引力 k/mm^2

500°にて反淬せる時	空気にて冷却……—3	+15
	湯水にて浸漬……—11	+31
650°にて反淬せる時	空気にて冷却……—4	+10.5
	湯水にて浸漬……—34.5	+49.5

即ち臨界温度以下に冷却したるものは外側は壓縮力を内部は牽引力を示し予か實驗と一致す。

(十一) 結論

ニッケル一二三%炭素〇、四四%クロム〇、二を含む鋼鋳を油にて健淬せるものは其自歪力に關し實驗上、左の結論を得。

一、自歪力分布は試料の健淬温度か臨界温度以上なる時は外側は牽引力を、内部は壓縮力を受け、臨界温度以下なる時は外側は却て壓縮力を、内部は牽引力を受く即ち臨界温度を境とし歪力の分布は正反對なり。

二、930°以上に健淬せる試料の自歪力はマルテンサイトの膨脹の影響に依ること大にして800°以下に健淬せるものは其自歪力は試料内外温度の冷却速度の遅速より生ずる内外膨脹の差に依り左右せらる。

三、所謂熱歪は健淬の終期に於て其力を減するも消滅するに至らず試料が常温に復したる後數十日を経るも殘留し最高牽引約10 k/mm^2 、最高壓縮力約8 k/mm^2 の如き輕視し得へからざる力量あり。

(大正八年十二月)