



始



焼鈍による鑄造歪の除去に就て

株式会社大隈鉄工所研究課同上飯田工場編

焼鈍による鑄造歪の除去に就て

昭和十六年十月

株式會社大隈鐵工所研究課
同 上飯田工場

998
40

566.3
0.59



焼鈍による鑄造歪の除去に就て

§ 1. 緒 論

鑄造品には鑄放しの儘では相當の鑄造應力 (Casting stress) が潜在して居るものであるから此の爲め將來機械部分品として使用中歪を生じ或は龜裂を起す原因となるものである故、工作機械のみならず、一般機械に於ても、質の向上、精度の維持の要求される今日、之れが除去の方法は機械製作の重要な一過程でなければならない。

而して又當社にても、上飯田工場に電氣炉の完成を見た。之れの使用上のヒントを與へるのがこの實驗の目的である。

§ 2. 鑄造應力 (Casting stress) と鑄造歪 (Casting strain) :—

鑄物を鑄造するに際して鑄型内に於て、その鑄塊が同じ狀況下に凝固することは不可能にして、部分によりその冷却速度を異にする事は止むを得ない。又凝固收縮をなすのみならず、凝固後も冷却につれて收縮するから弾性状態になれば、當然その冷却速度の不同により應力 (Stress) を生ずる。一熱應力 (Thermal stress) — 之れが即ち鑄造應力 (Casting stress) にして、之れによつて生ずる歪 (Strain) が鑄造歪 (Casting strain) である

註:— 中子等の妨害により鑄造歪 (Casting strain) を生ずることあり。

而して冷却速度の急速なる部分には壓縮應力 (Compressive stress) を緩慢なる部分には引張り應力 (Tensile stress) を生ずる。

今 Fig 1 の如き簡單なる鑄物の鑄造に於ける鑄造歪 (Casting strain) の發生狀況を考察するに Fig 1

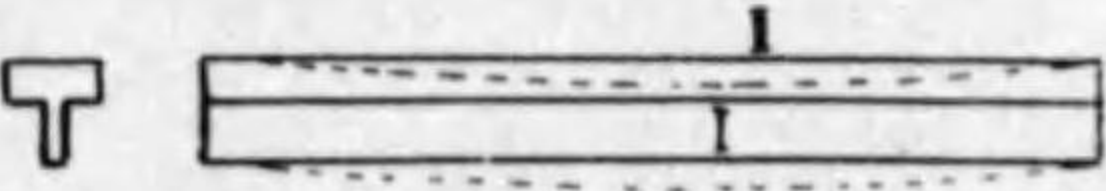


Fig 1 鑄物の反り
I 壓縮
II 引張

に於て二つの部分の成る瞬間に於ける冷却速度は (1) 式で表はされる。

$$\frac{dt}{dz} = -kt^n \dots \dots \dots (1)$$

t は温度、z は時間

今近似値として n = 1 とおけば、 $\frac{dt}{dz} = -kt$ となり従つて

$$t = t_0 \cdot e^{-kz} \dots \dots \dots (2)$$

恒数を夫々 k₁, k₂ とすれば

$$\begin{cases} t_1 = t_0 \cdot e^{-k_1 z} \\ t_{11} = t_0 \cdot e^{-k_2 z} \end{cases} \dots \dots \dots (3)$$

但し k₁ > k₂

にして、冷却曲線は Fig 2 の如くなる。



發行所寄贈本

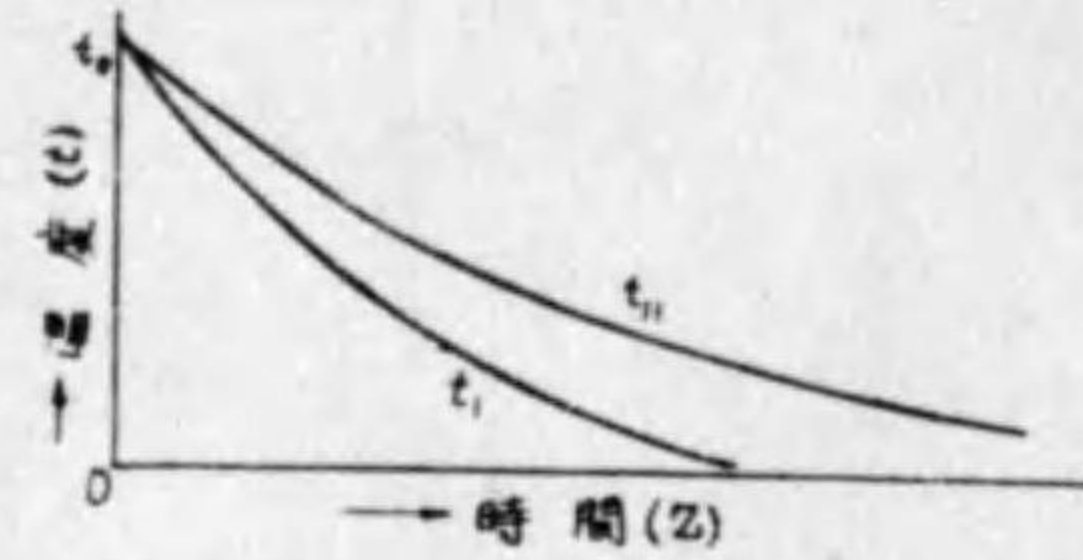


Fig 2

又 I, II が別々に自由に伸縮出来るものとすれば、その変形量 ε は

$$\epsilon = \alpha t$$

α ……熱膨脹係数にして変化しないを仮定する。

とすなり、t₀ に於ける膨脹量は

$$\epsilon_0 = \alpha t_0$$

従つて

$$\begin{cases} \epsilon_I = \epsilon_0 e^{-k_1 z} \\ \epsilon_{II} = \epsilon_0 e^{-k_2 z} \end{cases} \dots \dots \dots (4)$$

となり、その曲線は Fig 3 の如くなる。

而して或る時間迄は粘性的変形を受け、其の後は弾性的変形を受ける場合の (Z-ε) 曲線は Fig 4 の如くなる。

即ち Z₂ までは I は b₂ e₂ だけ粘性的に伸び、II は a₂ e₂ だけ粘性的に縮まり、應力(stress)は発生しない。

而して、その後 Z₀ なる時間に ab だけ長さが違はんとするのであるが I, II は一体なる故夫々弾性的変形 bc, ac を生じ應力(stress)を発生する。

而して、全体が常温に冷却した場合には I, II は夫々 b₂ e₂ 及 a₂ e₂ に相當する壓縮又は引張應力を受け鑄造應力(Casting stress)として残る。

註:- 實際に鑄物を高い温度から冷却する場合同時に弾性領域に入ることはない。

而して之れが除去の方法はシーズニング(Seasoning)と焼鈍(Annealing)とがある。

註:- 應力除去の目的の焼鈍を特に低温焼鈍(Lowneal)と云ひ區別することあり。

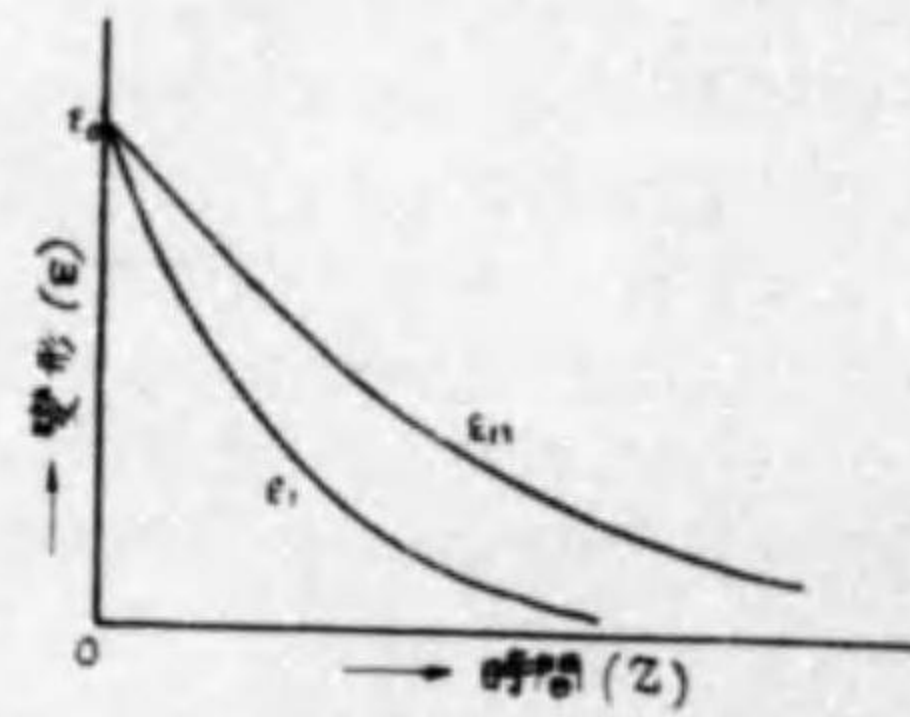


Fig 3

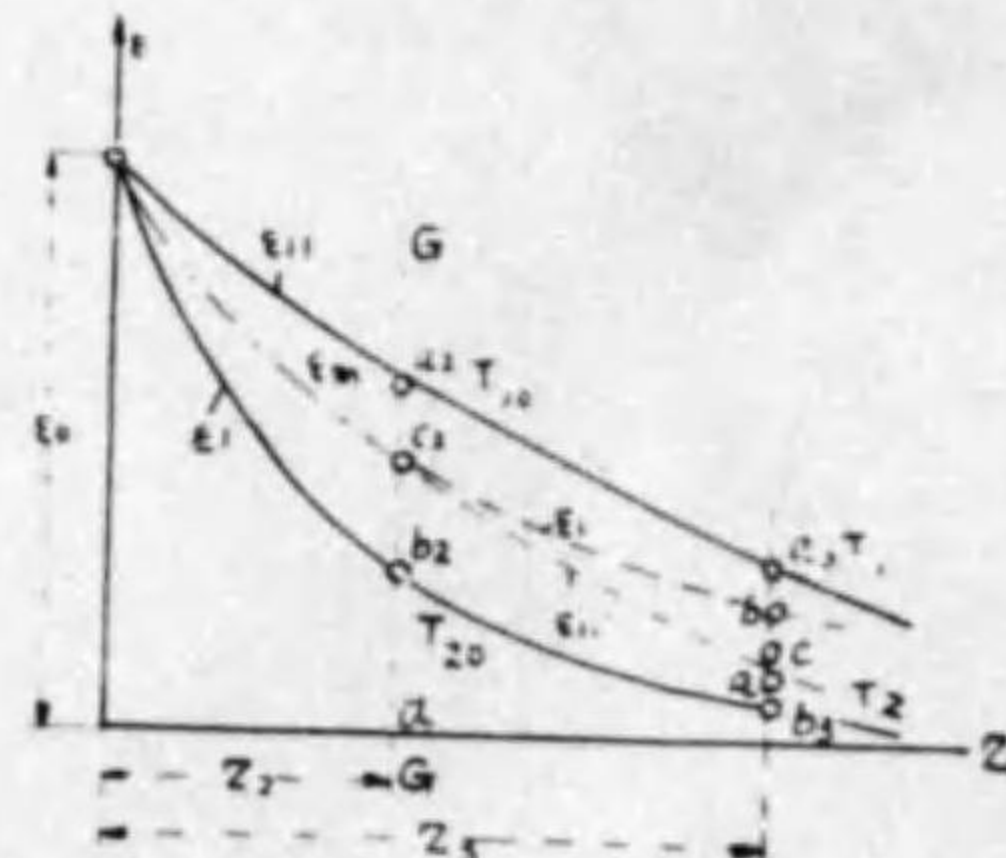


Fig 4

今、この焼鈍により鑄造應力(Casting stress)除去の状態を調査せん。

§ 3. 鑄造歪(Casting strain)の測定:-

この實驗に使用せる試験片(Test piece)は Fig 5 の如き寸法を有する三本の框試験片にして中央の棒は太く兩側の棒は細いため、その冷却速度も前者は緩慢にして引張應力(Tensile stress)を生じ、後者は冷却速度急なるため壓縮應力(Compressive stress)を生ずる。

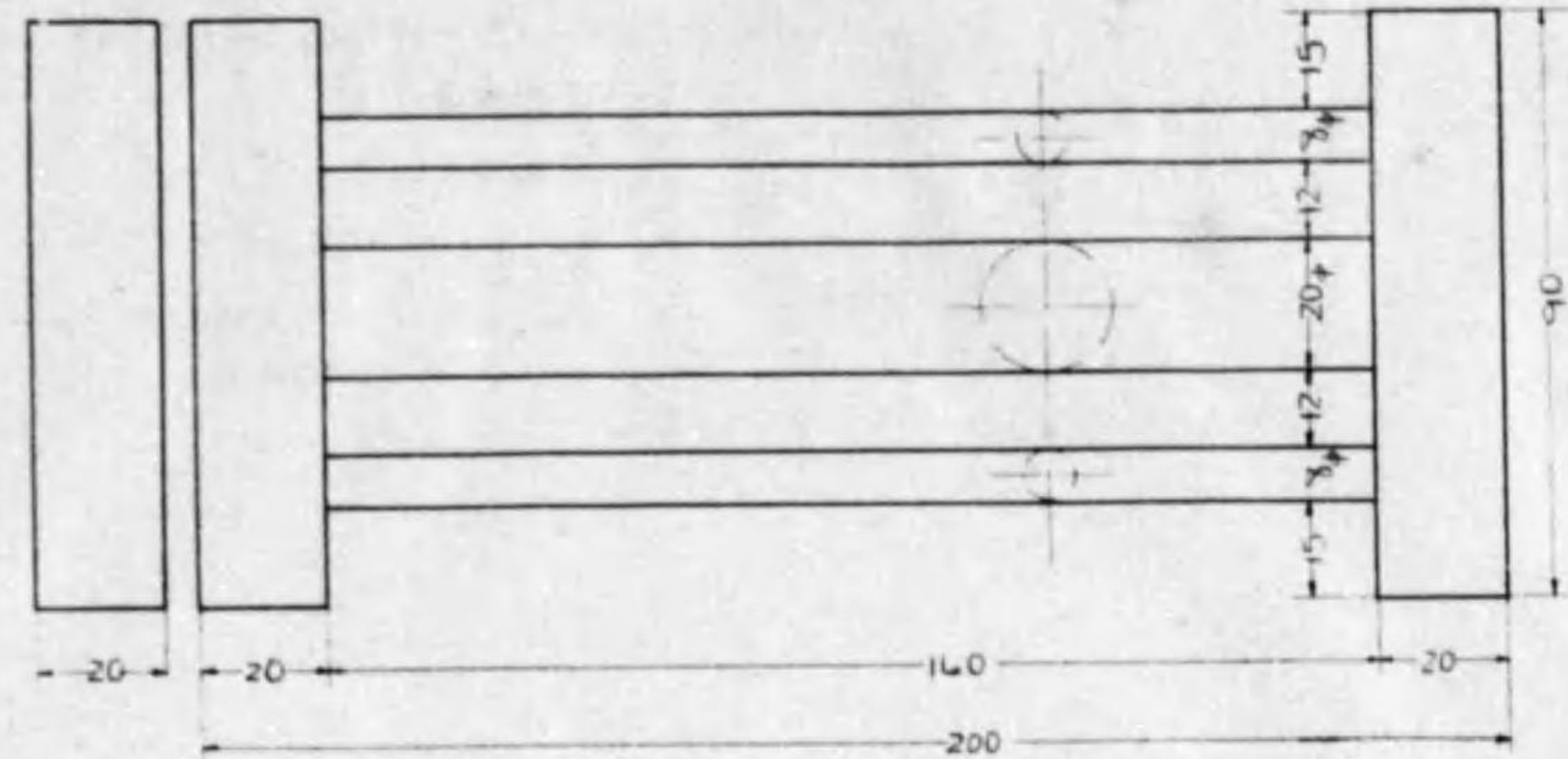
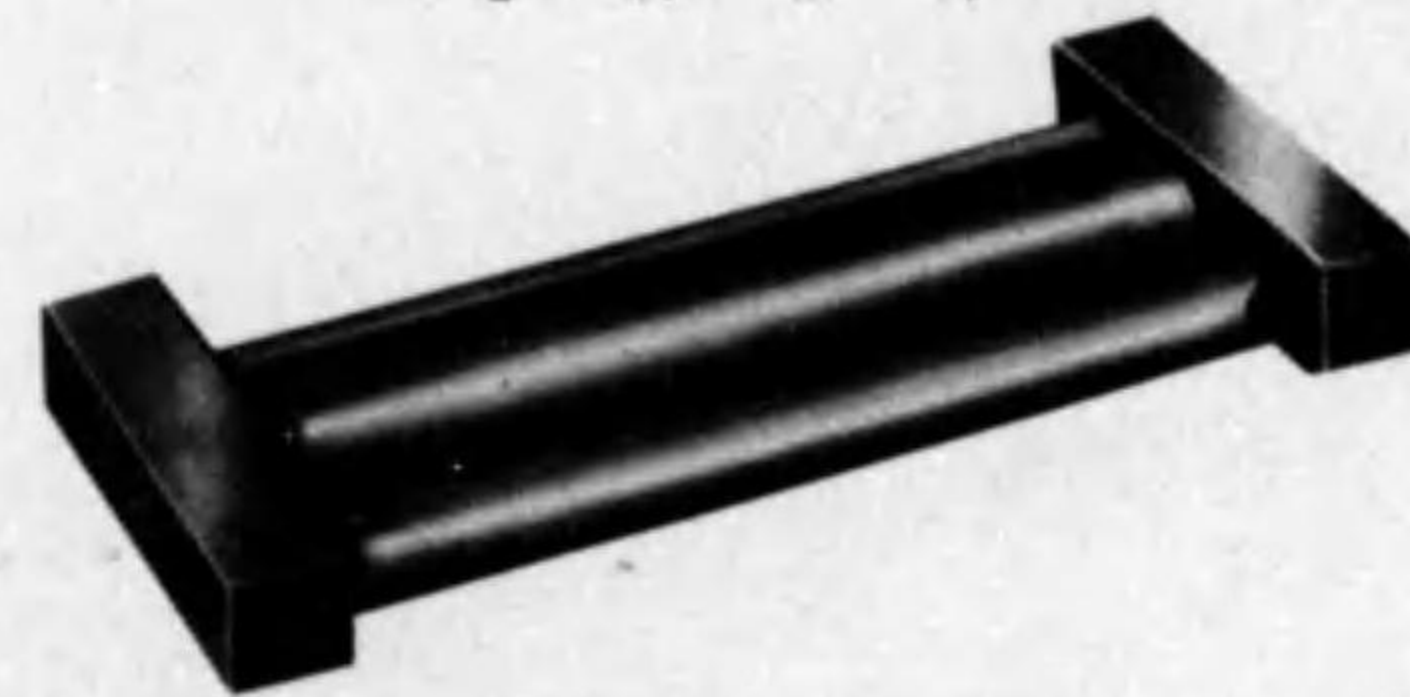


Fig 5 試験片



而して歪の測定方法は、先つ Fig 6 の如き試験片の L を測定面 AA' 及 BB' (細い棒より外側のみで可)を正しく仕上げる。

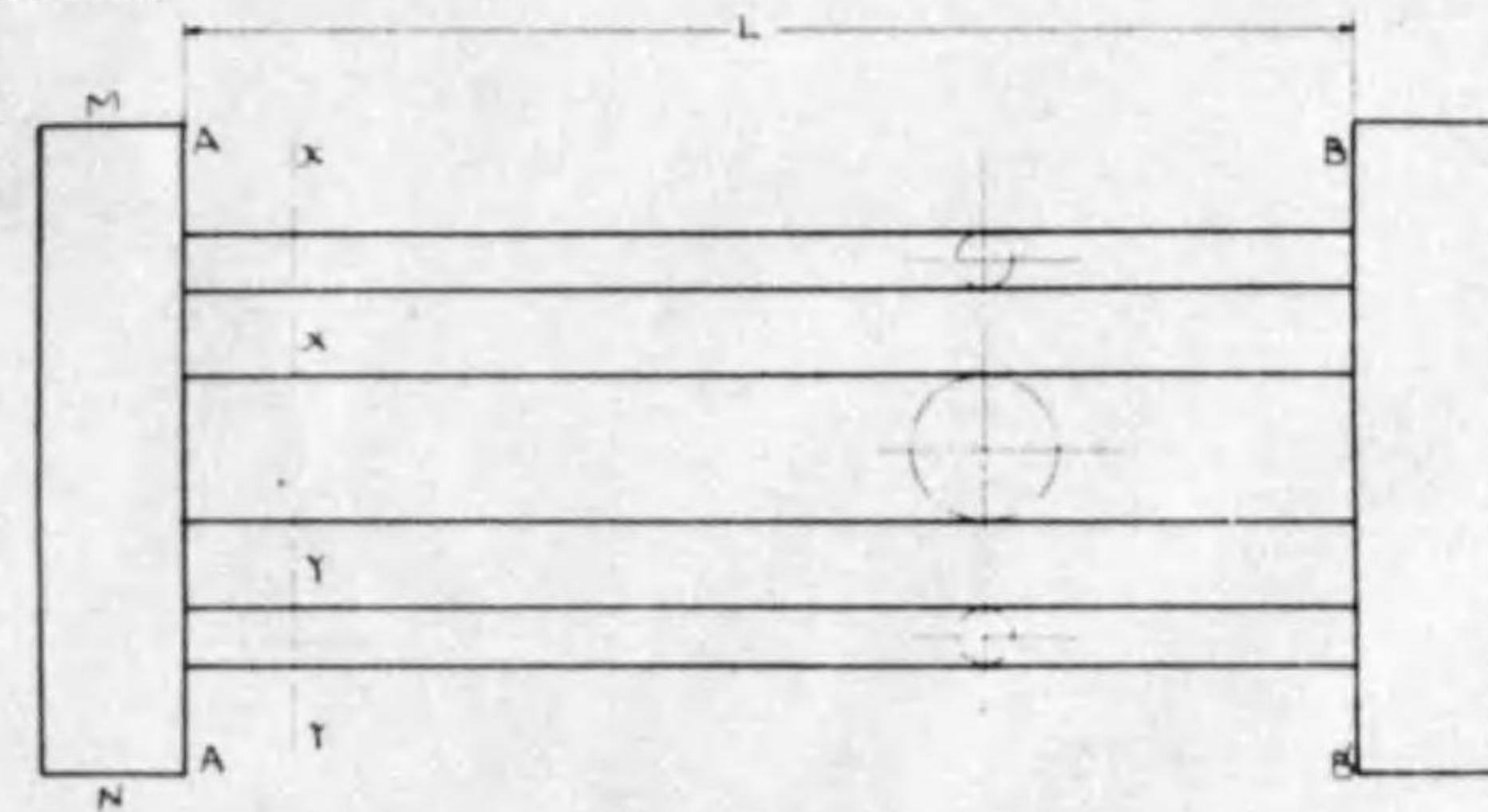


Fig 6 試験片切断箇所及び測定箇所

試験片の M 側及び N 側に於て夫々 L 測定し LM₁ 及 LN₁ を求め

$$L = \frac{1}{2}(LM_1 + LN_1)$$

とする。

次に M 側の細い棒を切断し、そのときの L の長さを LM₂ 及び LN₂ とし、LM₁ 及び LN₁ との差

$$L_{1,2} = LM_2 - LM_1$$

$$\text{或は} = LN_1 - LN_2$$

を求めらる。

更に N 側の細い棒も切断し、そのときの L の長さを夫々 LM_N 及 LN_N とし

$$L_c = \frac{1}{2}(L_{M_N} + L_{N_N})$$

を求めた。

結局両側の細い棒を切断したることにより試験片の長さ L の伸縮 δ は

$$\delta = L - L_c$$

であらはされる。

依つて歪 (Strain) ε は

$$\epsilon = \frac{L - L_c}{L}$$

$$\text{或は } \epsilon = \frac{L - L_c}{L} \times 100\%$$

であらはされる。

註:— 鋳造応力 (Casting stress) $\sigma = E \cdot \frac{L - L_c}{L}$ kg/mm²
E: ヤング係数 (Young's Modulus)

§ 4. 実験に使用せし計器・器具:—

1. 加熱炉……………電気抵抗式加熱炉
「中山理化学研究所」
2. 高温計 (Pyrometer) ……熱電対温度計
第一回測定 「平田電機製作所」
第二回測定 「日本ブラウン計器株式会社」
3. 測長器……………繰足式内測マイクロメーター
(Extensible inside micrometer)
「ツアイス」

§ 5. 「データ」:—

試験片の焼鈍温度 = T°C
" 切断前の長さ = L mm
" 切断後の長さ = L_c mm
L - L_c = δ mm

$$\text{歪 (strain)} = \frac{L - L_c}{L} \times 100 = \epsilon \%$$

とすれば実験の結果は次表の如し。

第一回測定

第一回測定では焼鈍時間は何れも 2 時間とし焼鈍温度を 600°C; 550°C; 500°C; 400°C; 300°C; と変化し夫々の場合の鋳造歪 (Casting strain) を測定した。

Table 1

試験片符號	T°C	Lmm	L _c mm	δ mm	ε %
030-A	焼鈍せず	162.20	161.94	0.26	0.16
1500-A	"	162.19	161.91	0.28	0.17
030-B	600	162.21	162.21	0.00	0.00
1500-B	"	162.27	162.28	-0.01	-0.01 (?)
030-C	550	162.23	162.21	0.02	0.01
1500-C	"	162.26	162.24	0.02	0.01
030-D	500	162.05	161.98	0.07	0.04
1500-D	"	162.03	161.95	0.08	0.05
030-E	400	162.06	161.87	0.19	0.12
1500-E	"	162.06	161.86	0.20	0.12
030-F	300	162.57	162.32	0.25	0.15

註:— 試験片 030- は鋳造後 30 分
1500- は鋳造後 15 時間
にて取出せしものなり。

分 析 表

Table 2

全炭素量	珪	素	マンガン	磷	硫	黄
3.65	2.20		0.76	0.73	0.090	

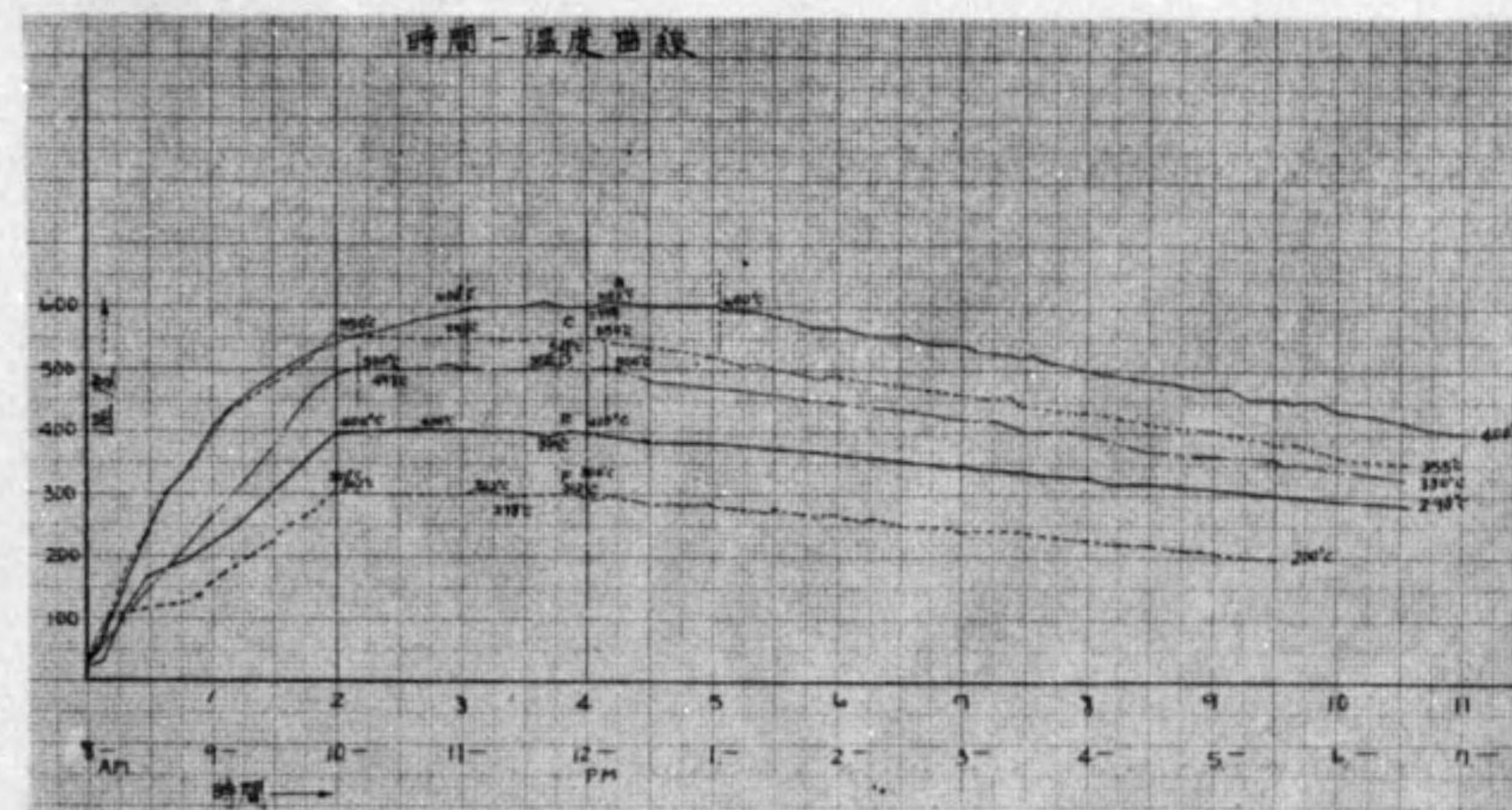


Fig 7 備考—午後 6~7 時にスイッチを切り翌朝 7 時に大体 100~50°C 爐内の温度を得たり
焼鈍時間 2 時間

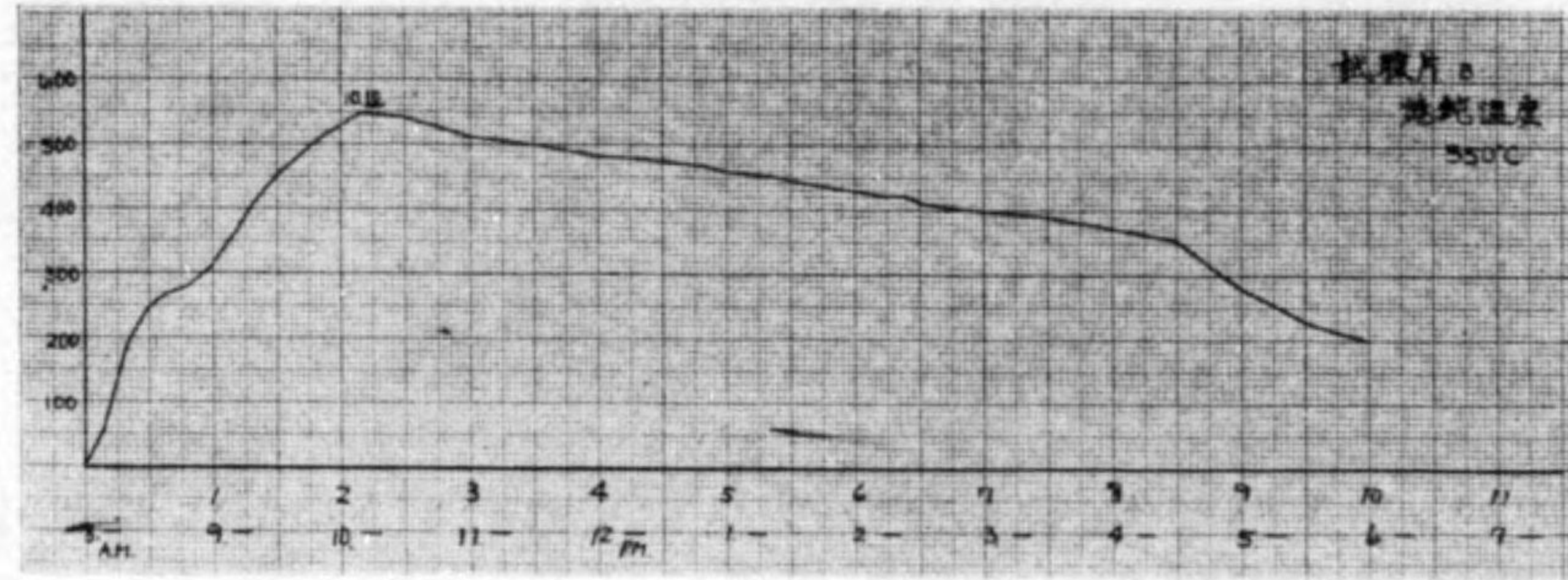


Fig 11 時間-燒鈍溫度曲線

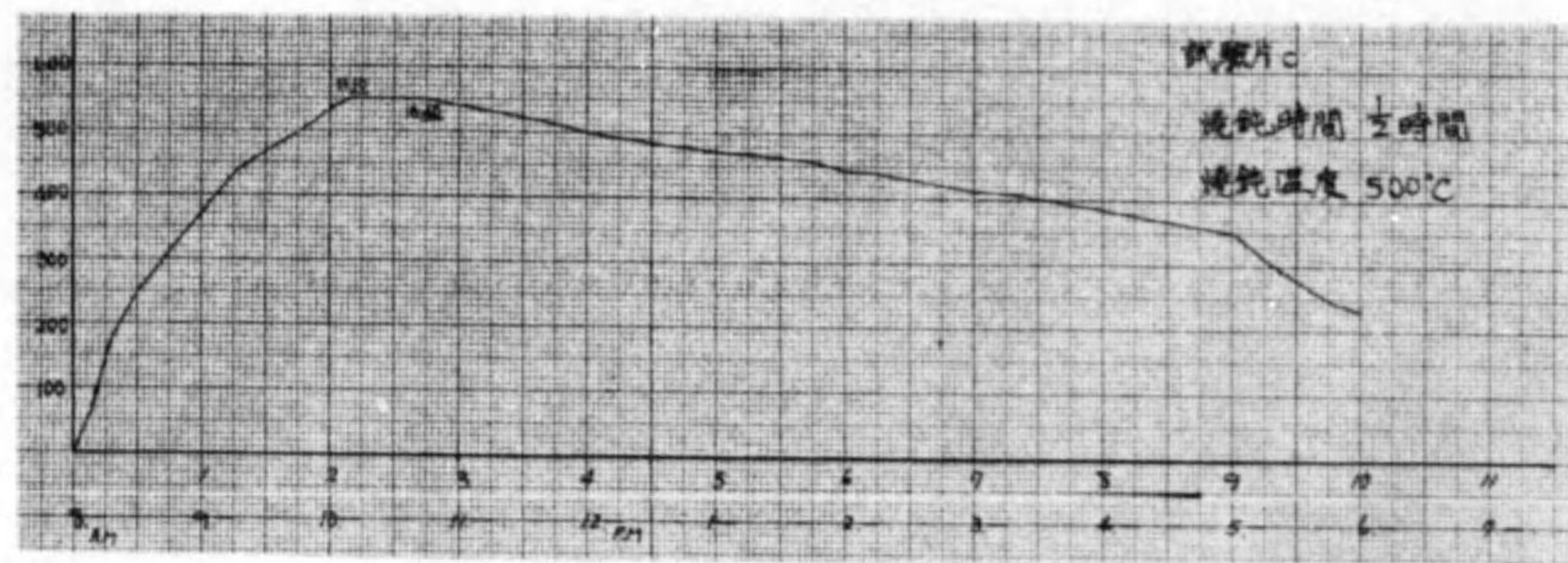


Fig 12 時間-燒鈍溫度曲線

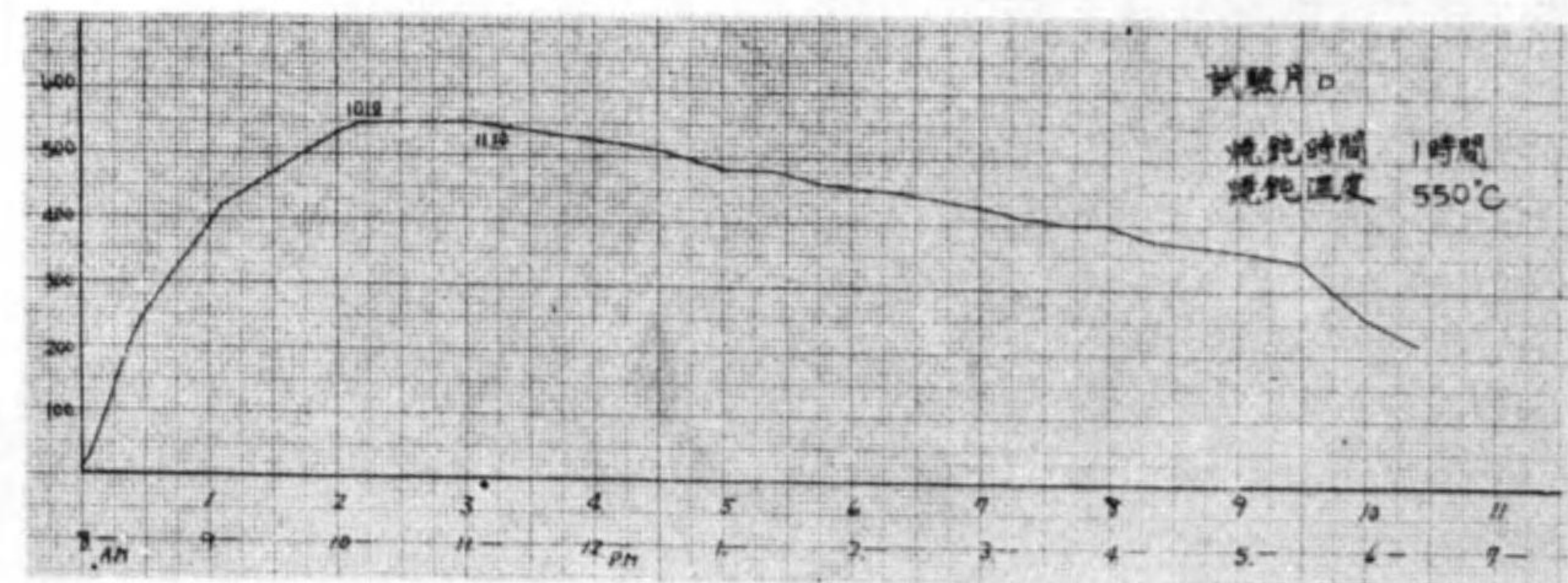


Fig 13 時間-燒鈍溫度曲線

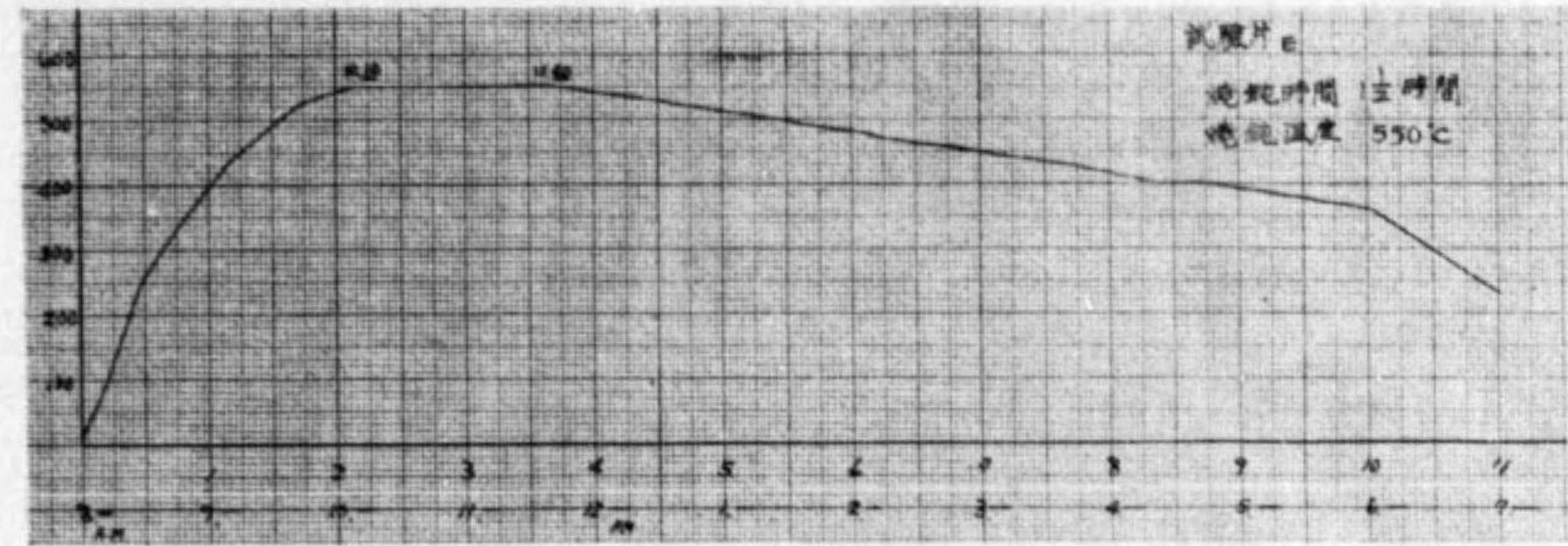


Fig 14 時間-燒鈍溫度曲線

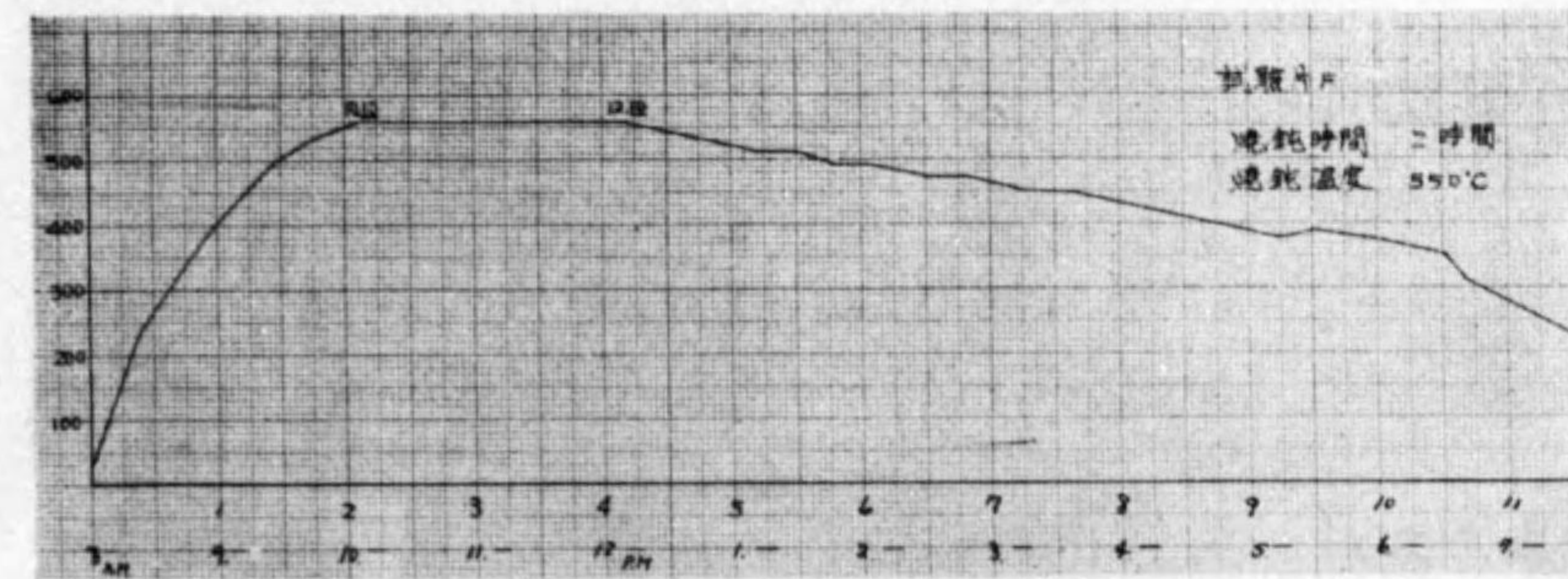


Fig 15 時間-燒鈍溫度曲線

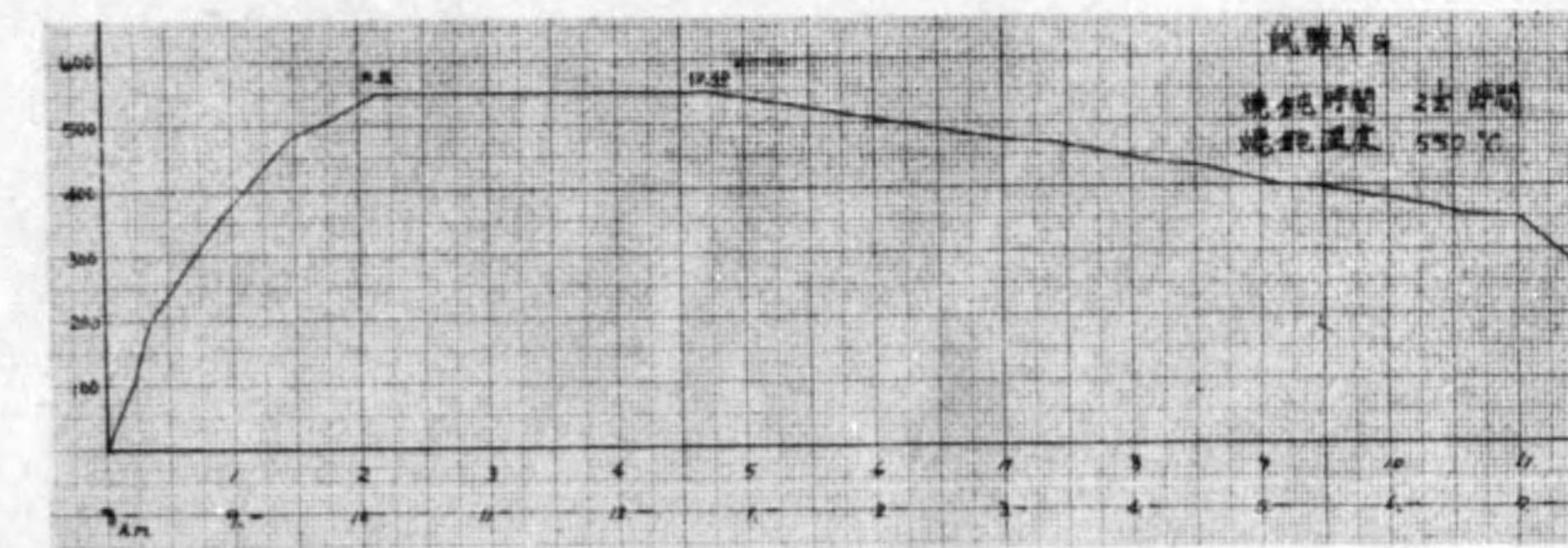


Fig 16 時間-燒鈍溫度曲線

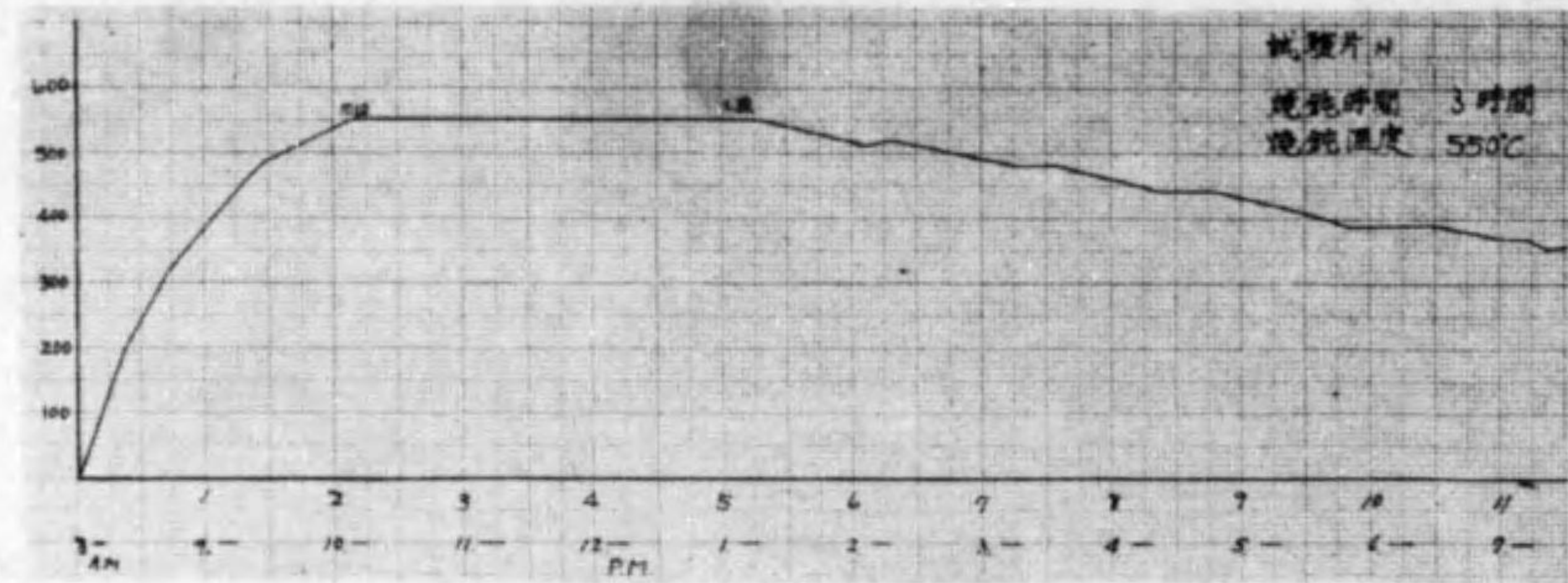


Fig 17 時間-焼鈍温度曲線

Fig 18—Table 3 の結果を「グラフ」に示す。

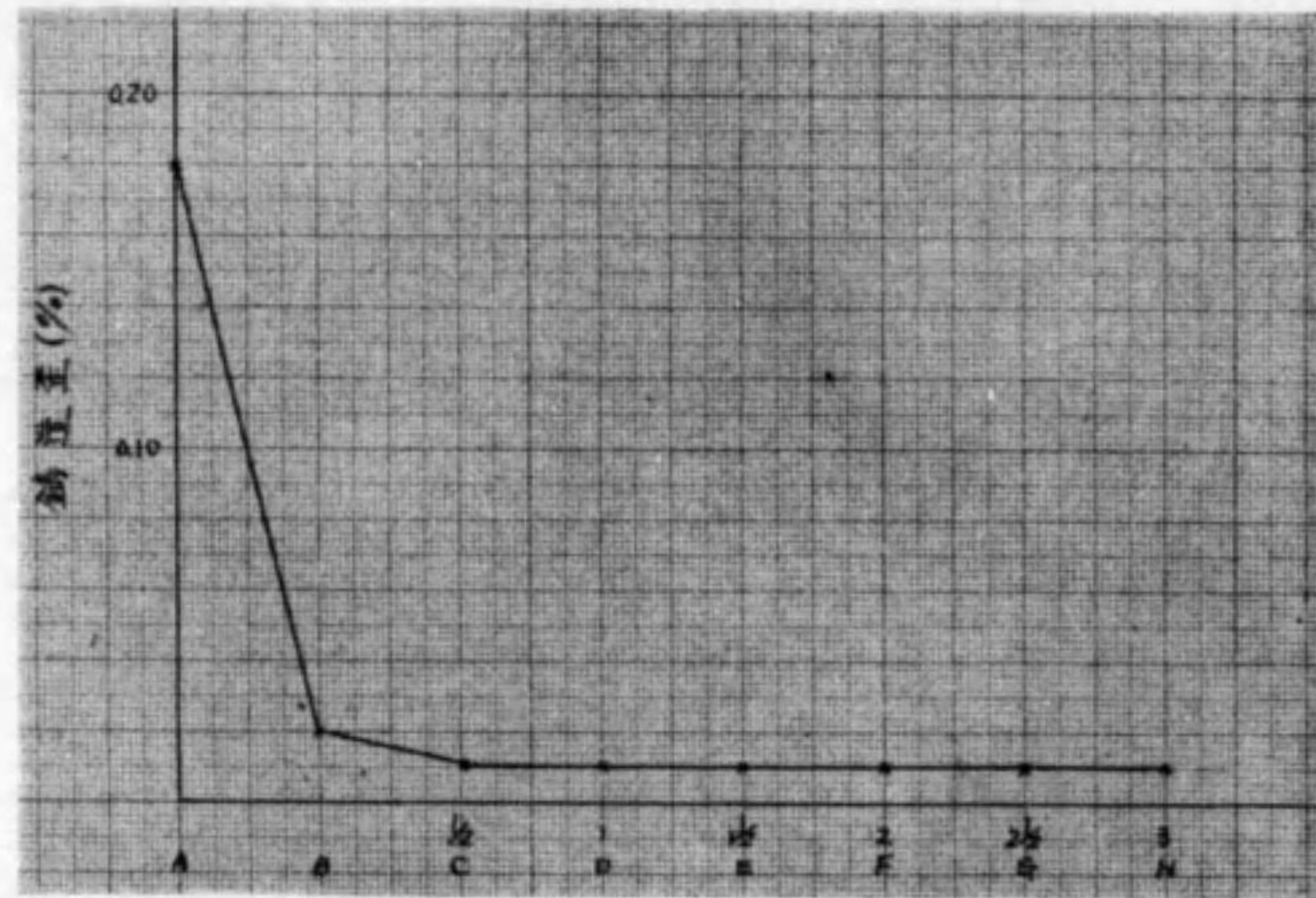


Fig 18 焼鈍時間-鉛遺留の曲線 (1)

Fig 19—Table 3及Fig 18より焼鈍により除去された重さ残留せし重さを求め、之れを「グラフ」に示す。

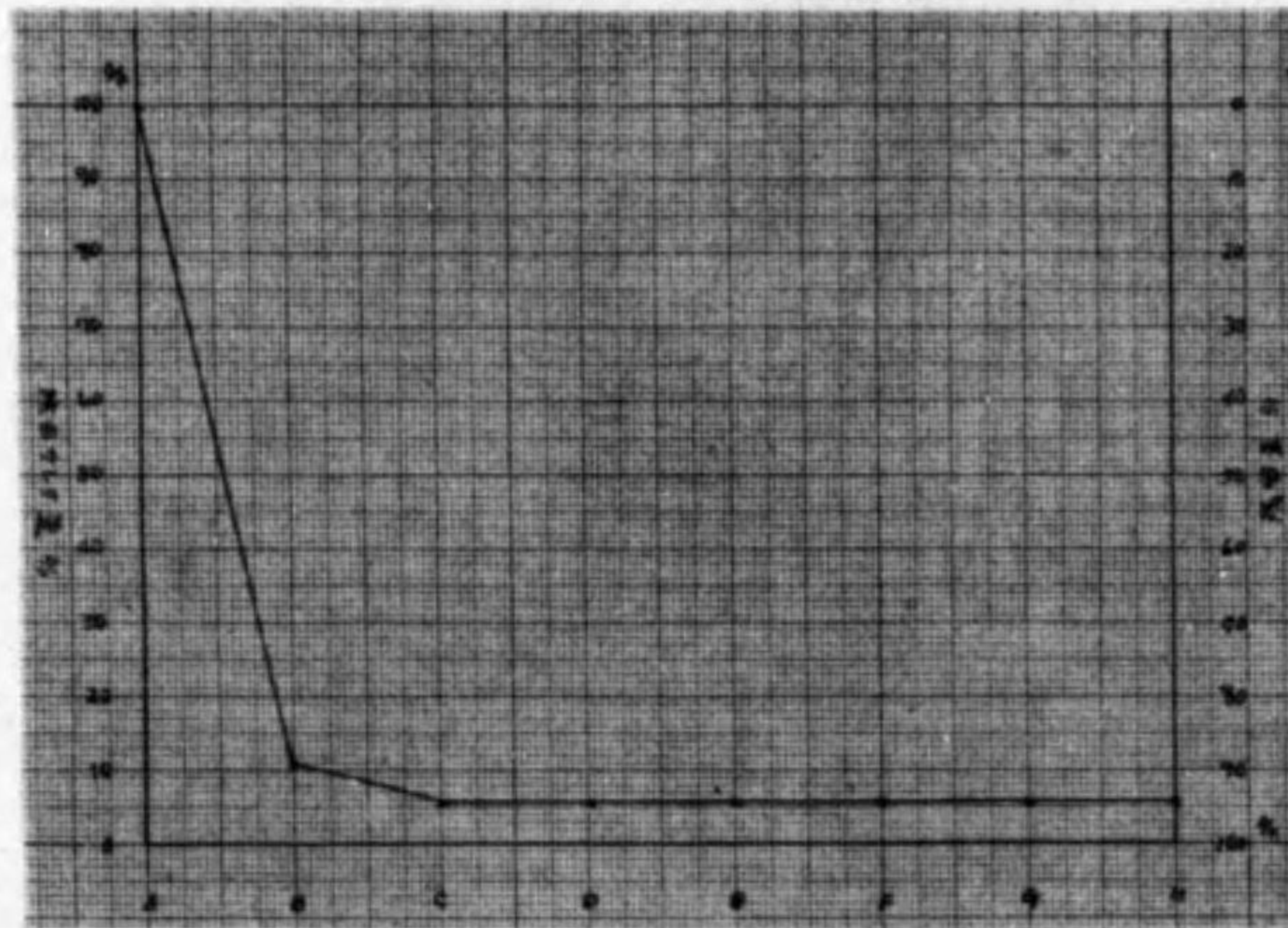


Fig 19 焼鈍温度-鉛遺留曲線 (2)

備考-焼鈍せざりしときの重さを100%とす

顕微鏡写真

試料 焼鈍試験用試験片の中央の棒 (直径 20mm) より採取す。

組織 パーライト (白色地)
 黒鉛 (黒色地)

処理 A 焼鈍せず
 B 550°C にて焼鈍す
 C 550°C にて 30分 焼鈍す
 D 550°C にて 1時間 "
 E 550°C にて 1時間30分 "
 F 550°C にて 2時間 "
 G 550°C にて 2時間30分 "
 H 550°C にて 3時間 "

腐蝕 上 腐蝕せず
 中 } 5%ピクリン酸、アルコール溶液にて腐蝕す
 下 }

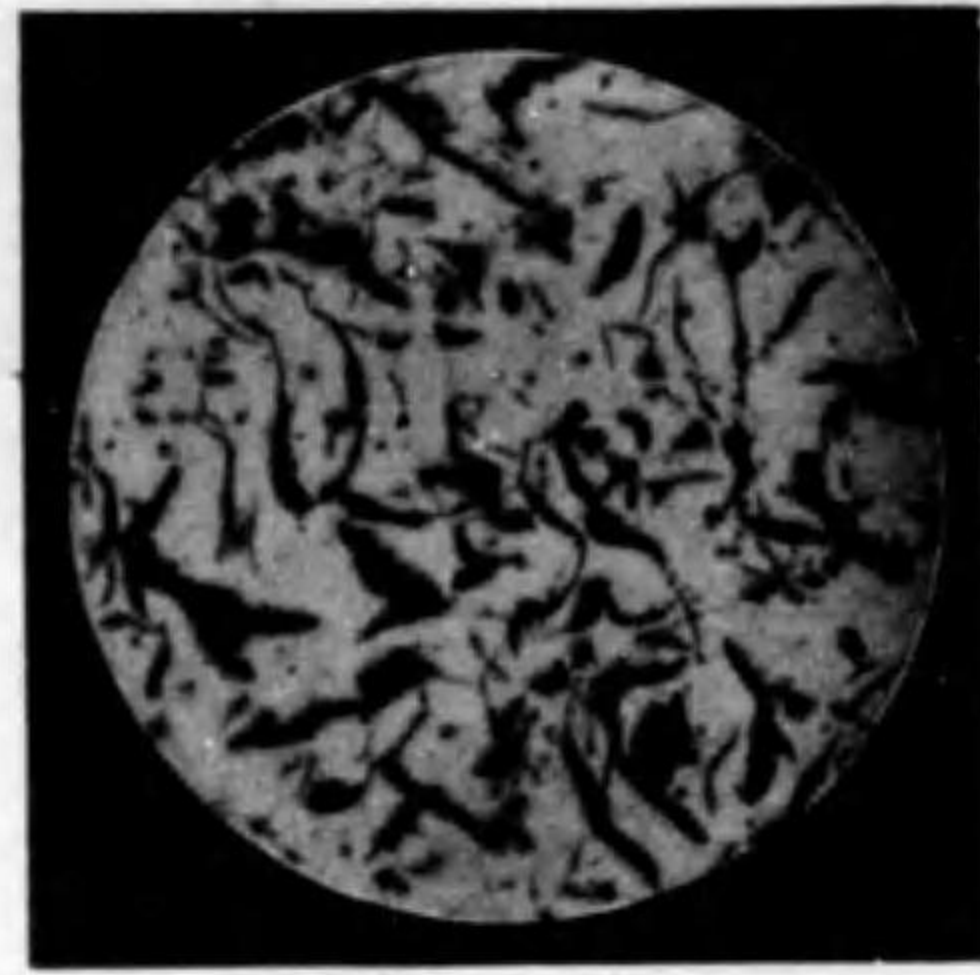
組成 3.90% C
 1.61% Si
 0.51% Mn
 0.75% P
 0.002% S

硬度 ショア-硬度 34~35 (Table 5 参照)

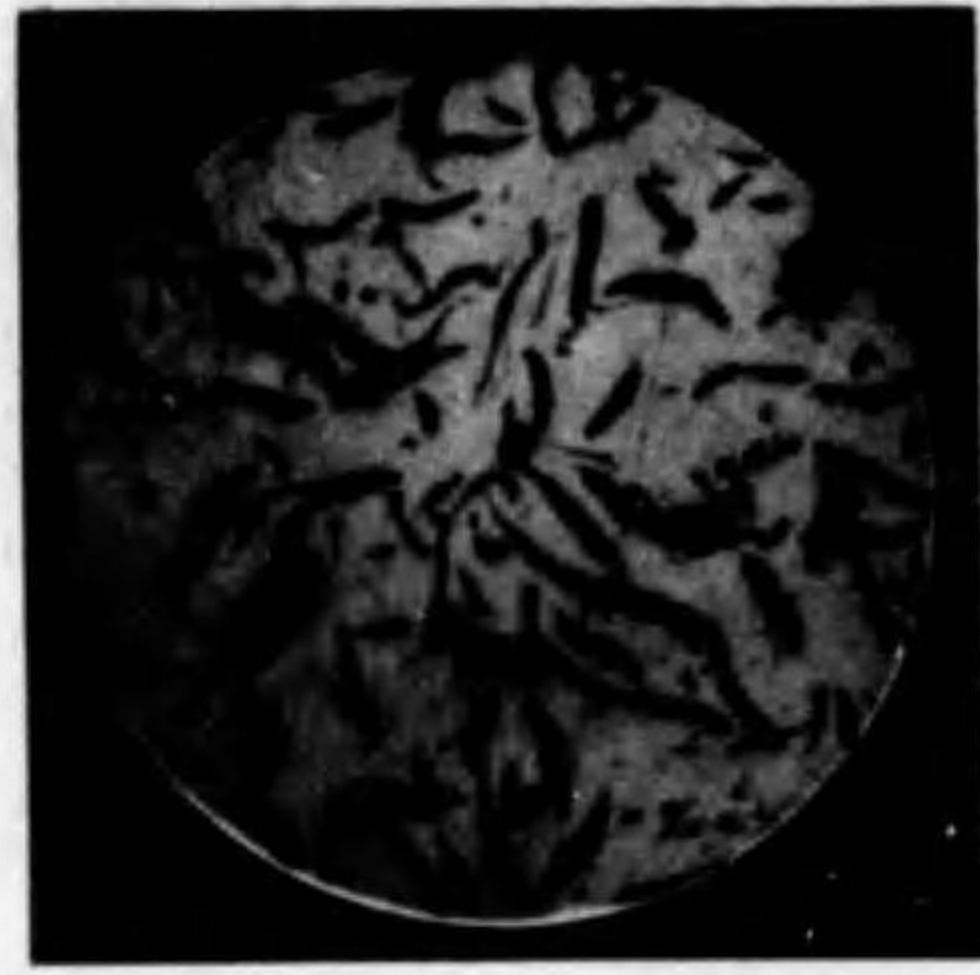
抗張力 21.8~28.9 kg/mm² (")

倍率 上 ×100
 中 ×100
 下 ×560

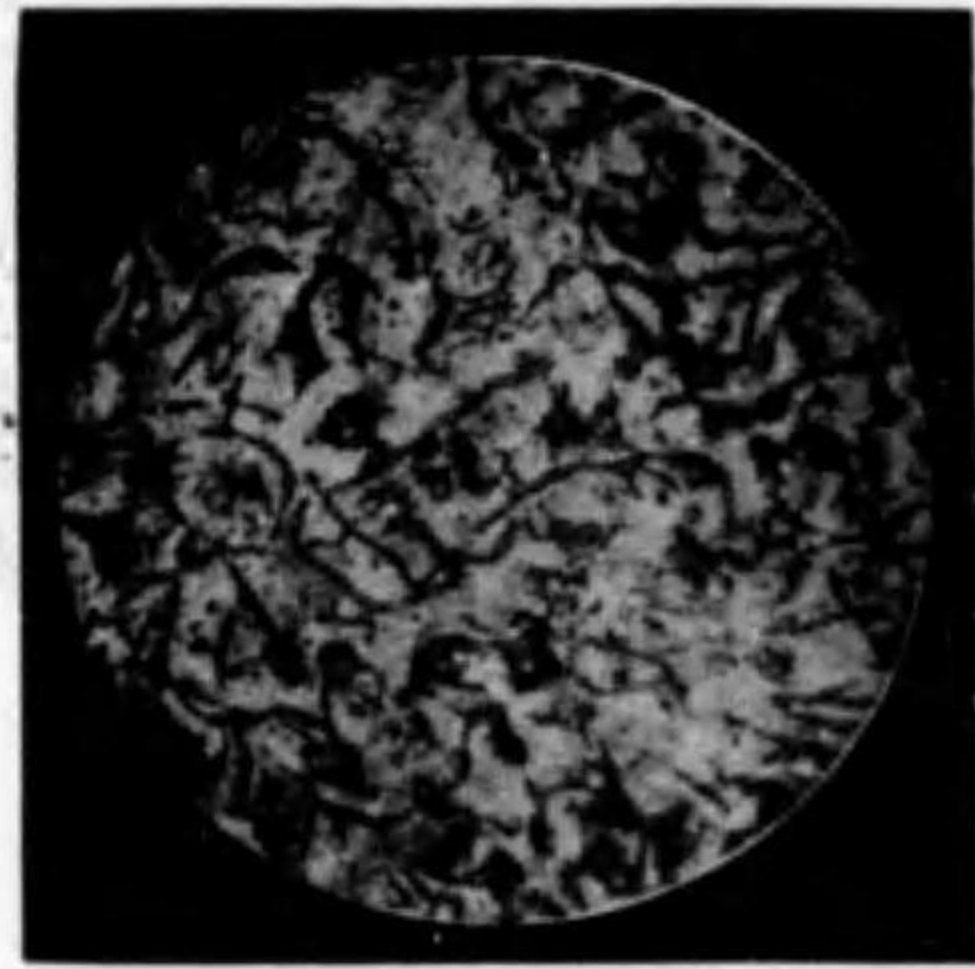
A の 上



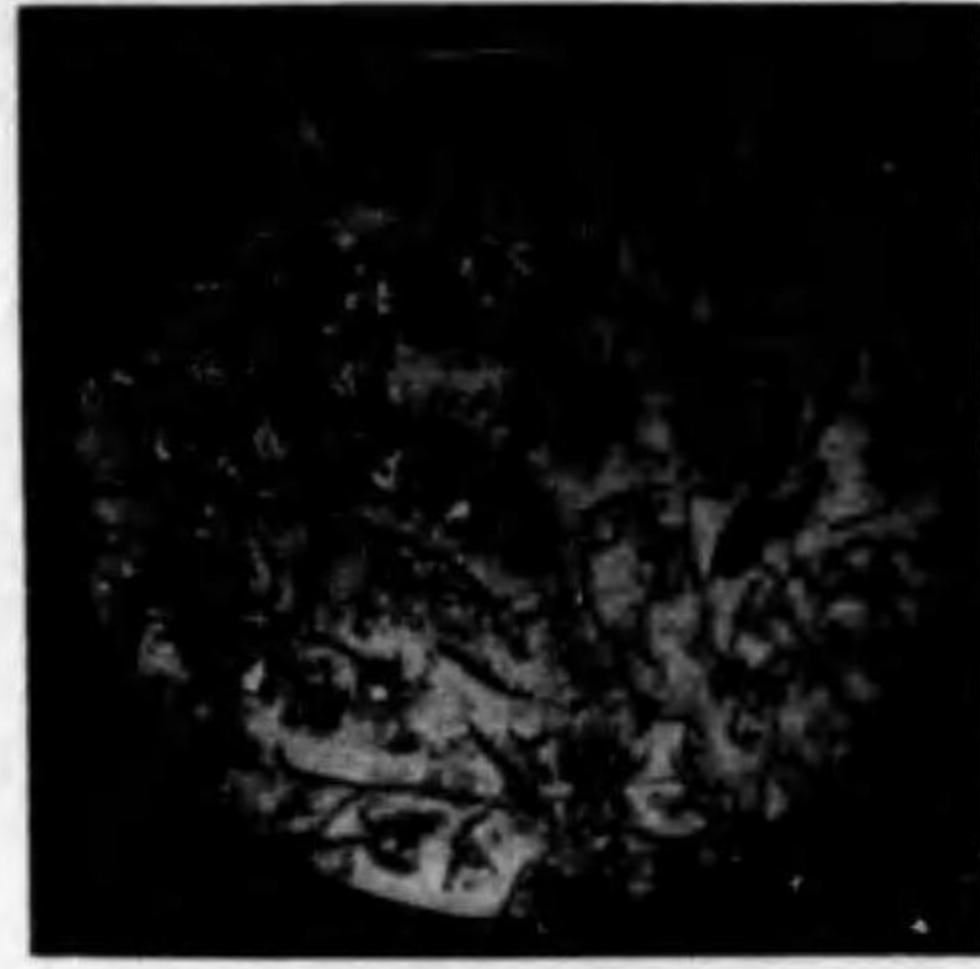
B の 上



A の 中



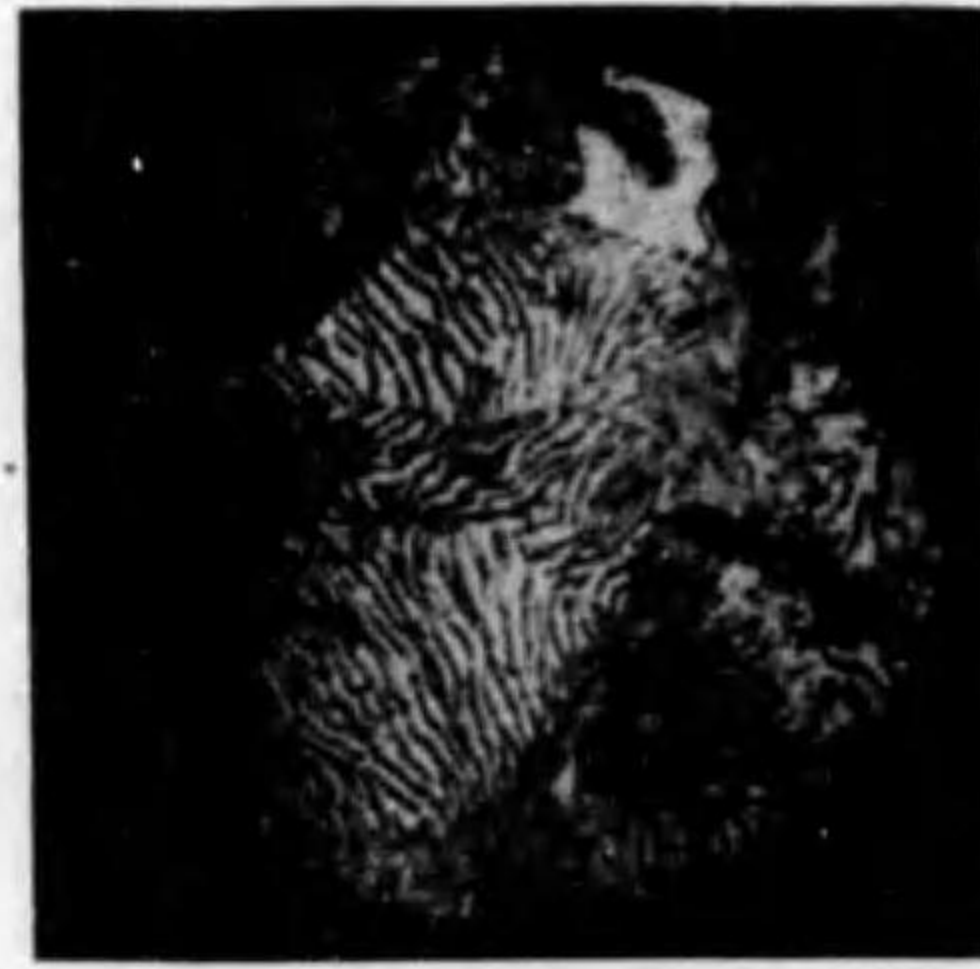
B の 中



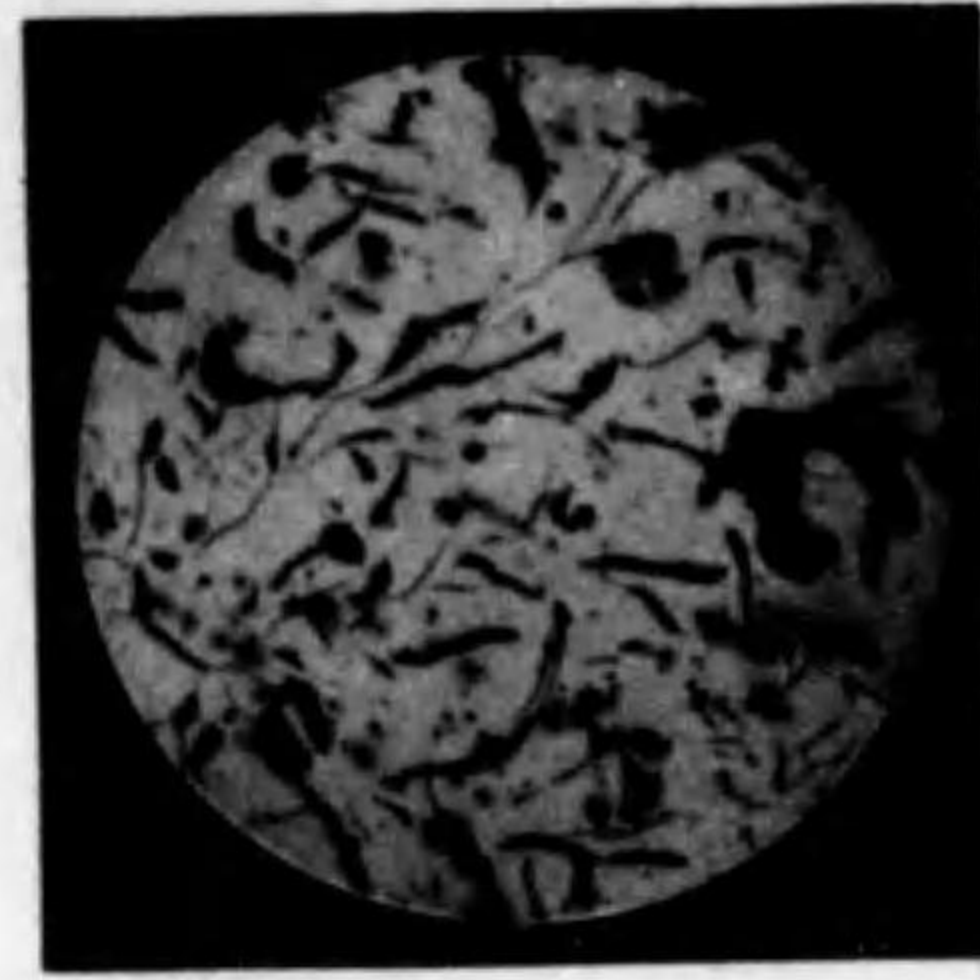
A の 下



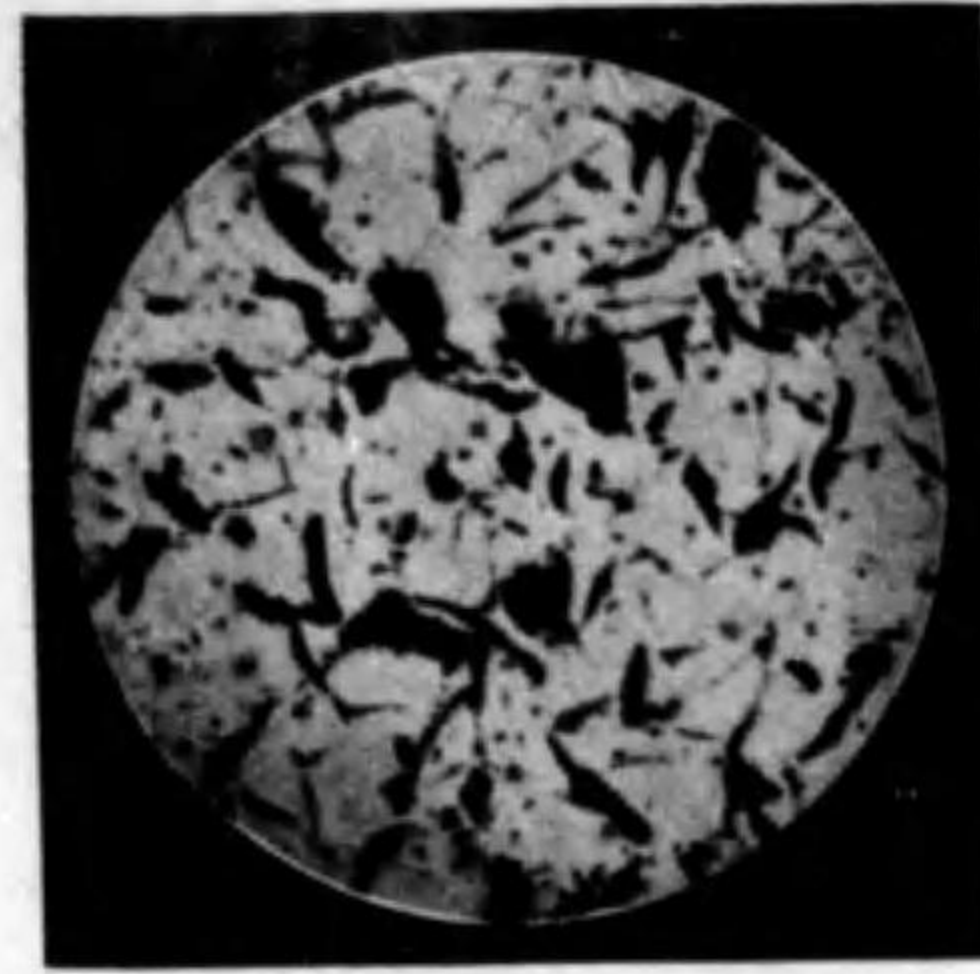
B の 下



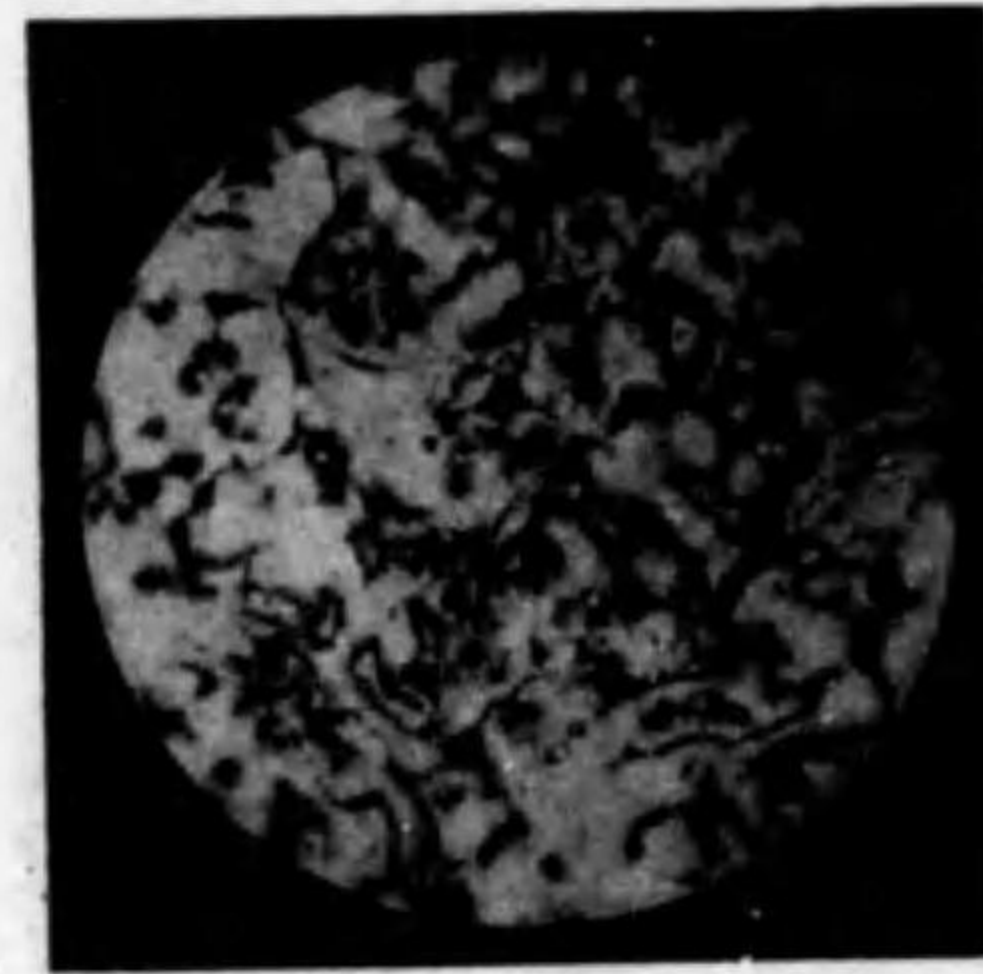
C の 上



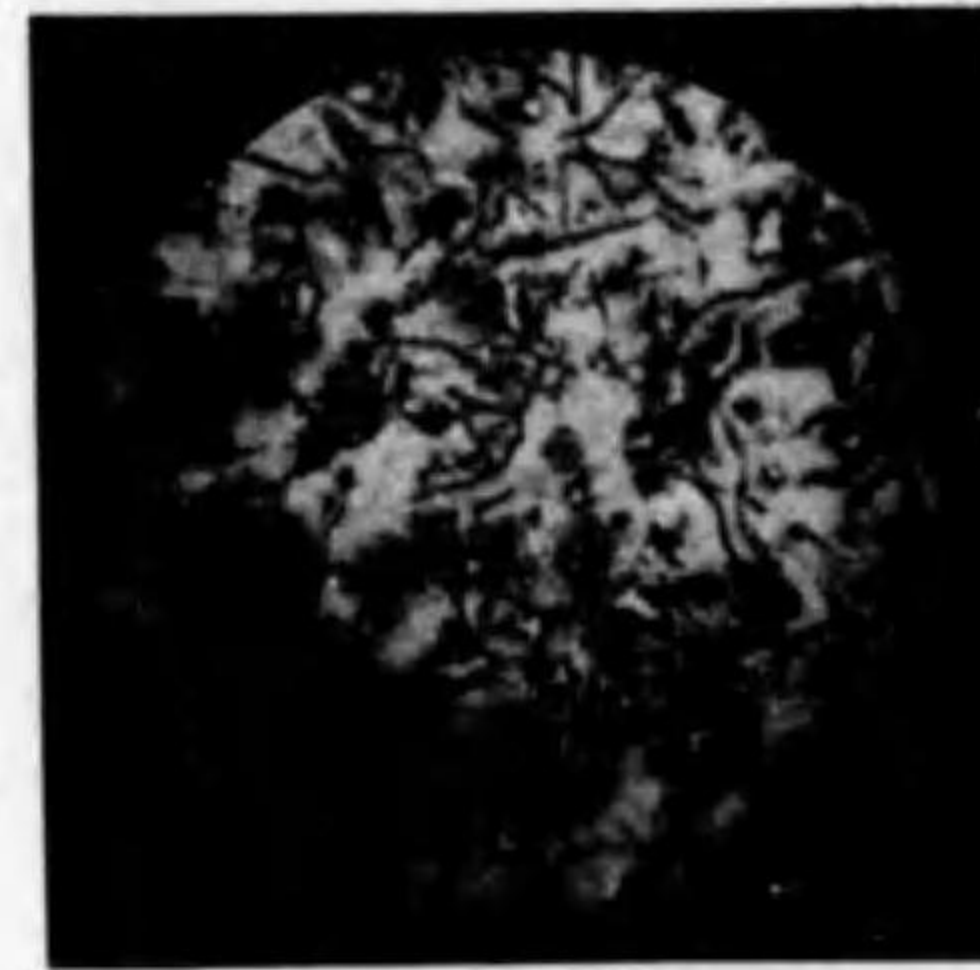
D の 上



C の 中



D の 中



C の 下



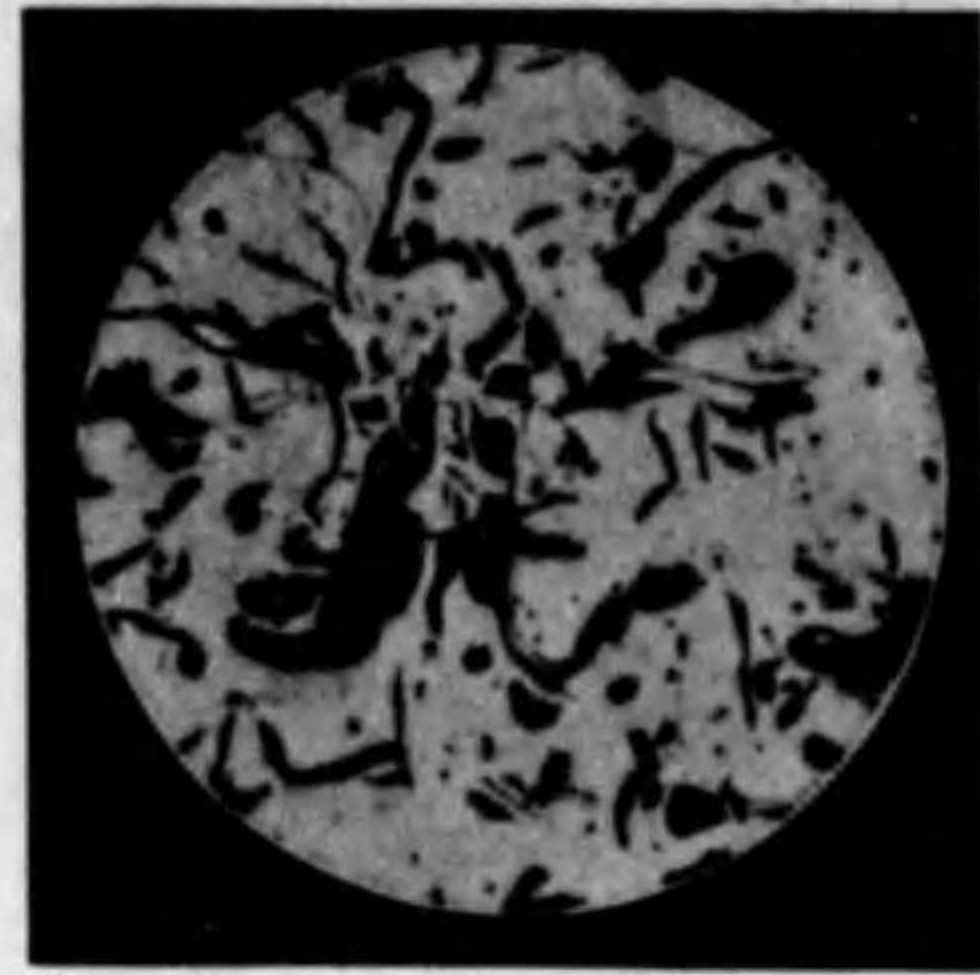
D の 下



E の 上



F の 上



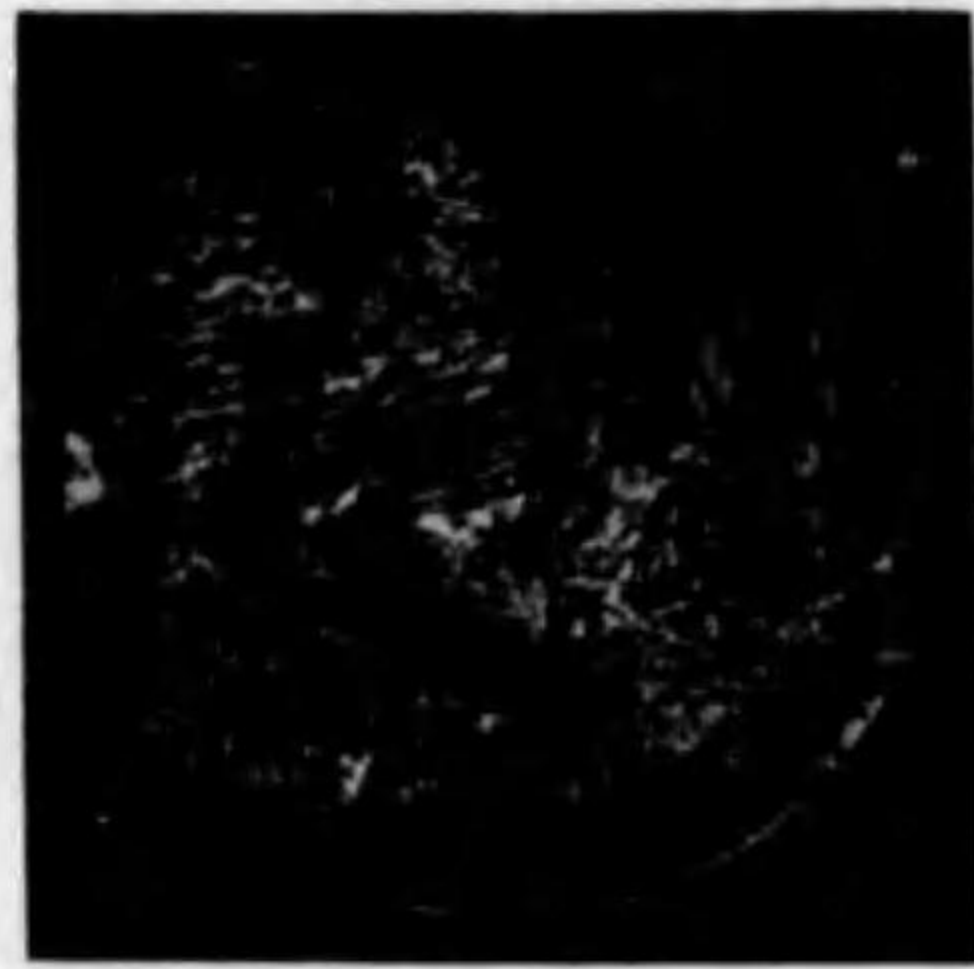
E の 中



F の 中



E の 下



F の 下



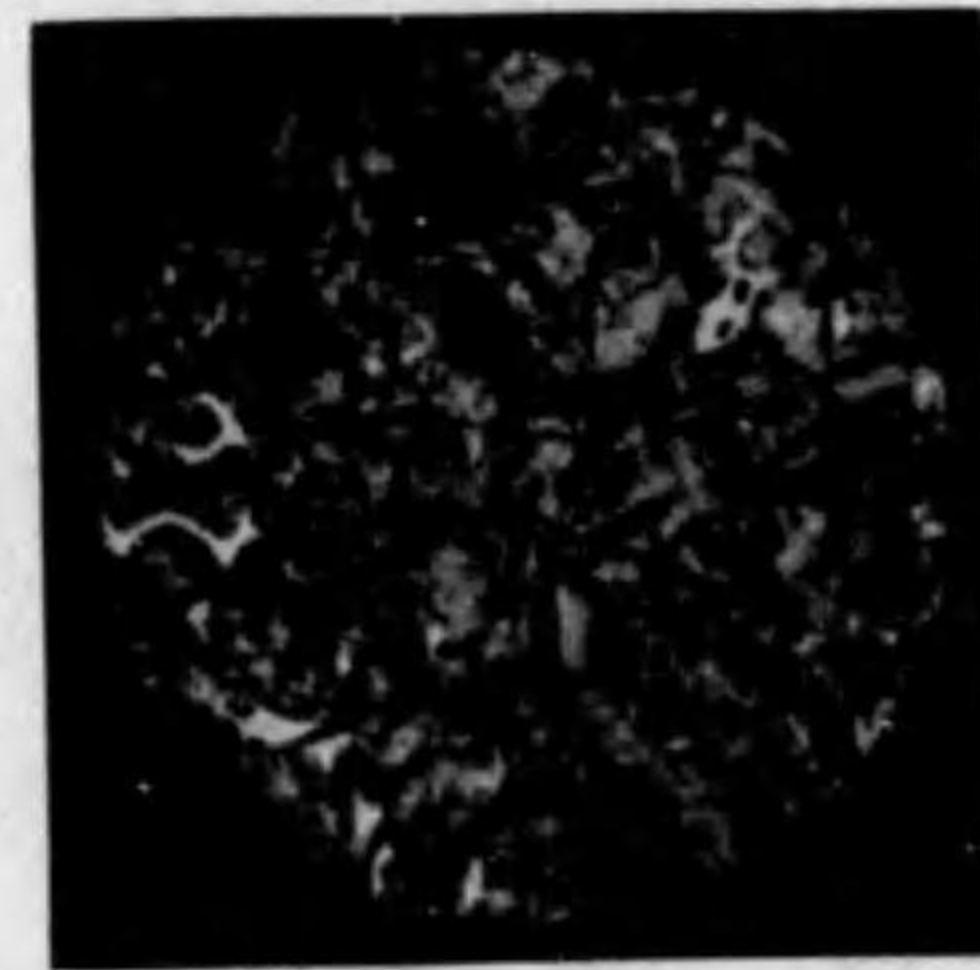
G の 上



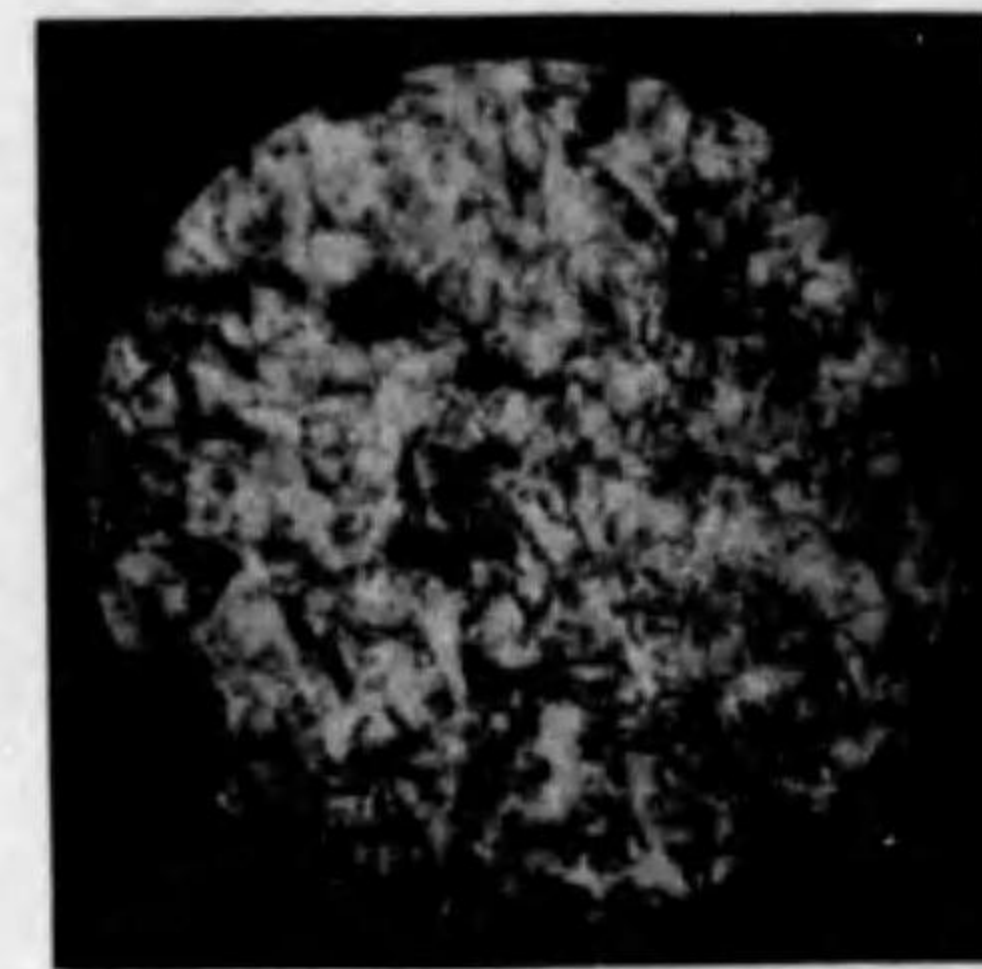
H の 上



G の 中



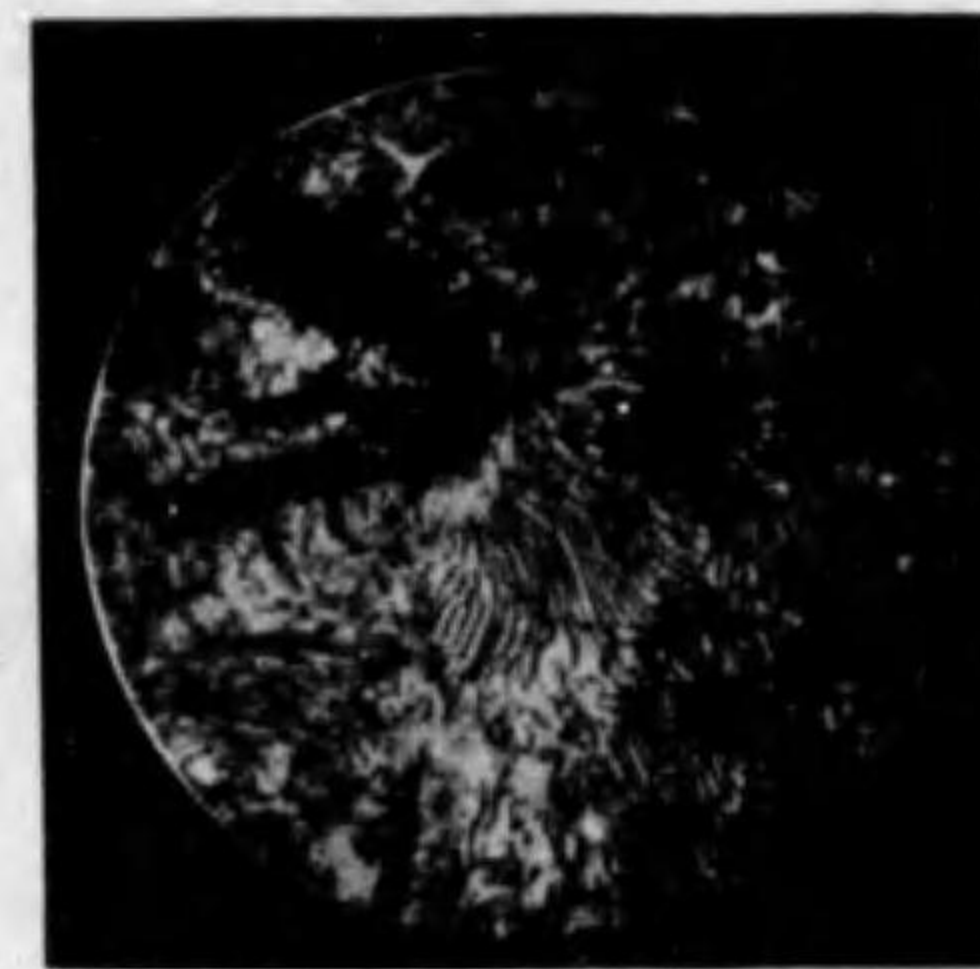
H の 中



G の 下



H の 下



§ 6. 抗張力試験

第二回測定に使用せる試験片にて行ふ。

○試験片

J. E. S. 第四號試験片

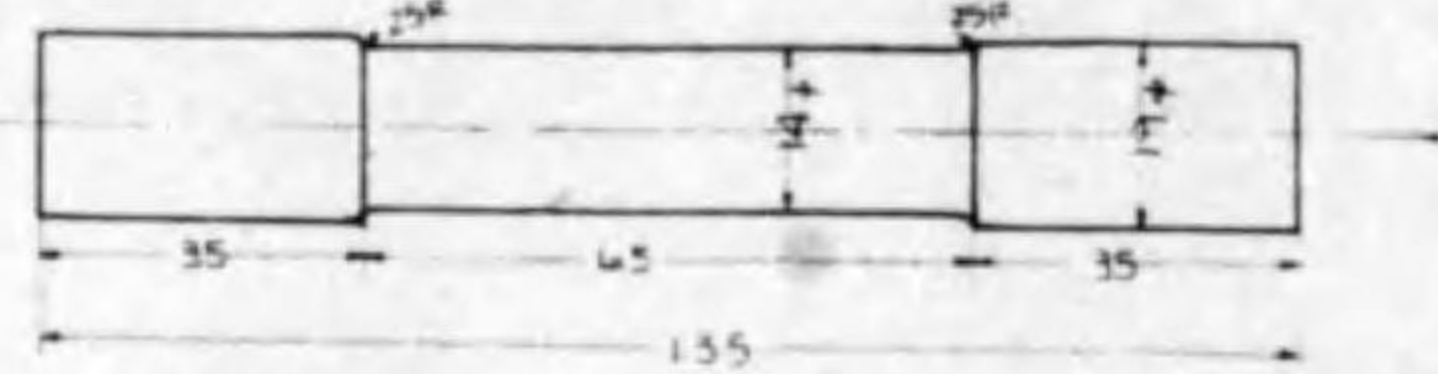


Fig 20 抗張力試験片

試験片採取箇所 (Fig 21)

中央 AB

{長さ 160 mm
{直径 20 mm

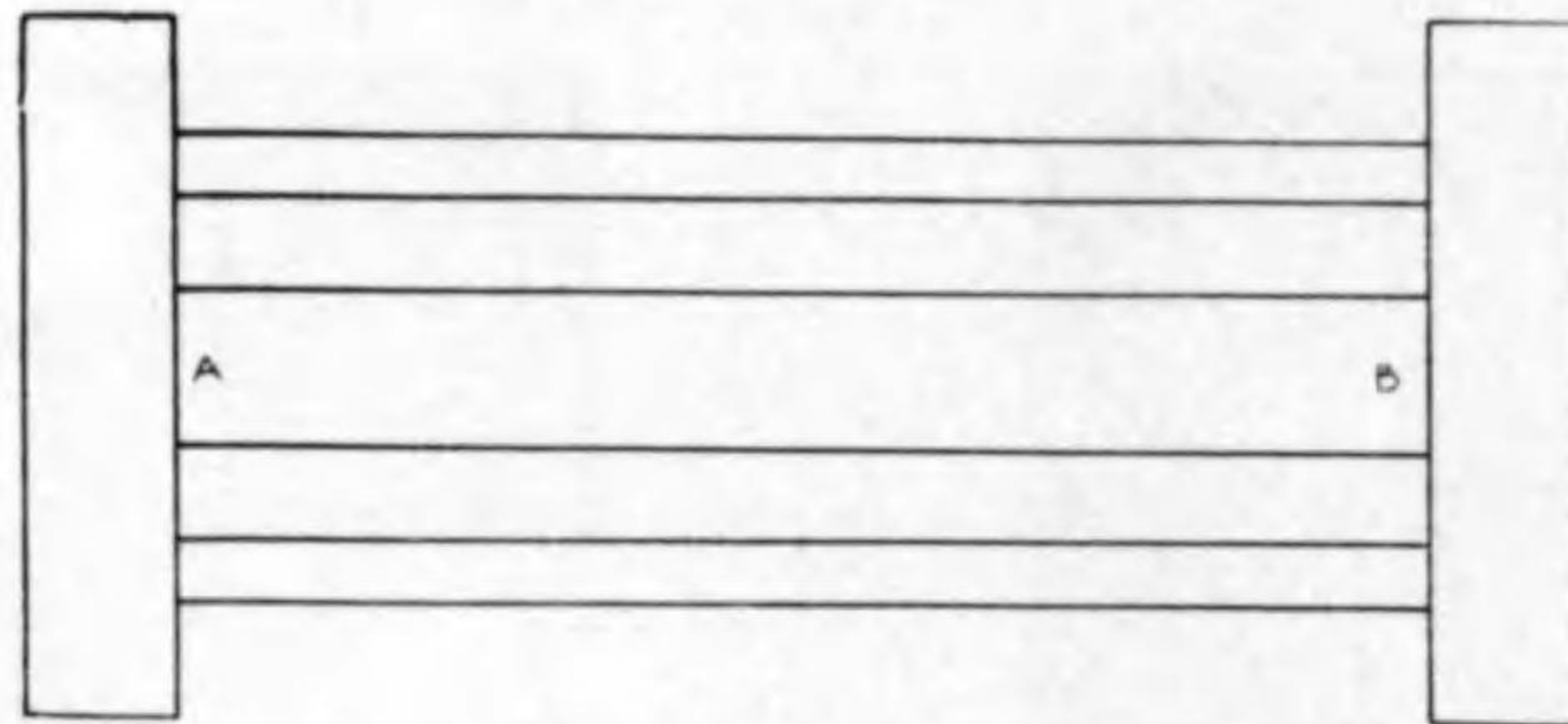


Fig 21 抗張力試験片採取箇所 (AB)

○抗張力

$$\text{抗張力 } \sigma \text{ kg/mm}^2 = \frac{P}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

P : 荷重 (load) kg

D : 試験片の直径 mm

Table 5

試験片符號	P kg	D mm	σ kg/mm ²	ショア-硬度
A	4200	14.00	27.2	35
B	4450	13.99	28.9	35
C	3920	14.00	25.4	34
D	4000	14.01	25.9	35
E	2450	14.04	15.9	34
F	4180	14.05	27.0	35
G	4450	14.02	28.8	35
H	3300	13.87	21.8	34

註:—

E は巢 (Blow hole) のため σ が小なり。

使用試験片は J. E. S. にて鑄造に對し規格せるものにあらず、従つて規格せられたる抗張力とは比較するべきものにあらず。

参考:— J. E. S. 抗張力試験片「抗張力試験は径 30mm に鑄造したる丸棒を並行部の径 20mm、長さ 25mm に仕上げたる試験片を用ひて試験を行ひ……………」

ショア-硬度 34 ⇔ ブリネル硬度 200

" 35 ⇔ " 210

Table 5 より焼鈍時間と機械的性質との關係を示す。(Fig 22)

E は巢のため抗張力が弱く出てゐる。

寫眞は抗張力試験片の破面を示す。

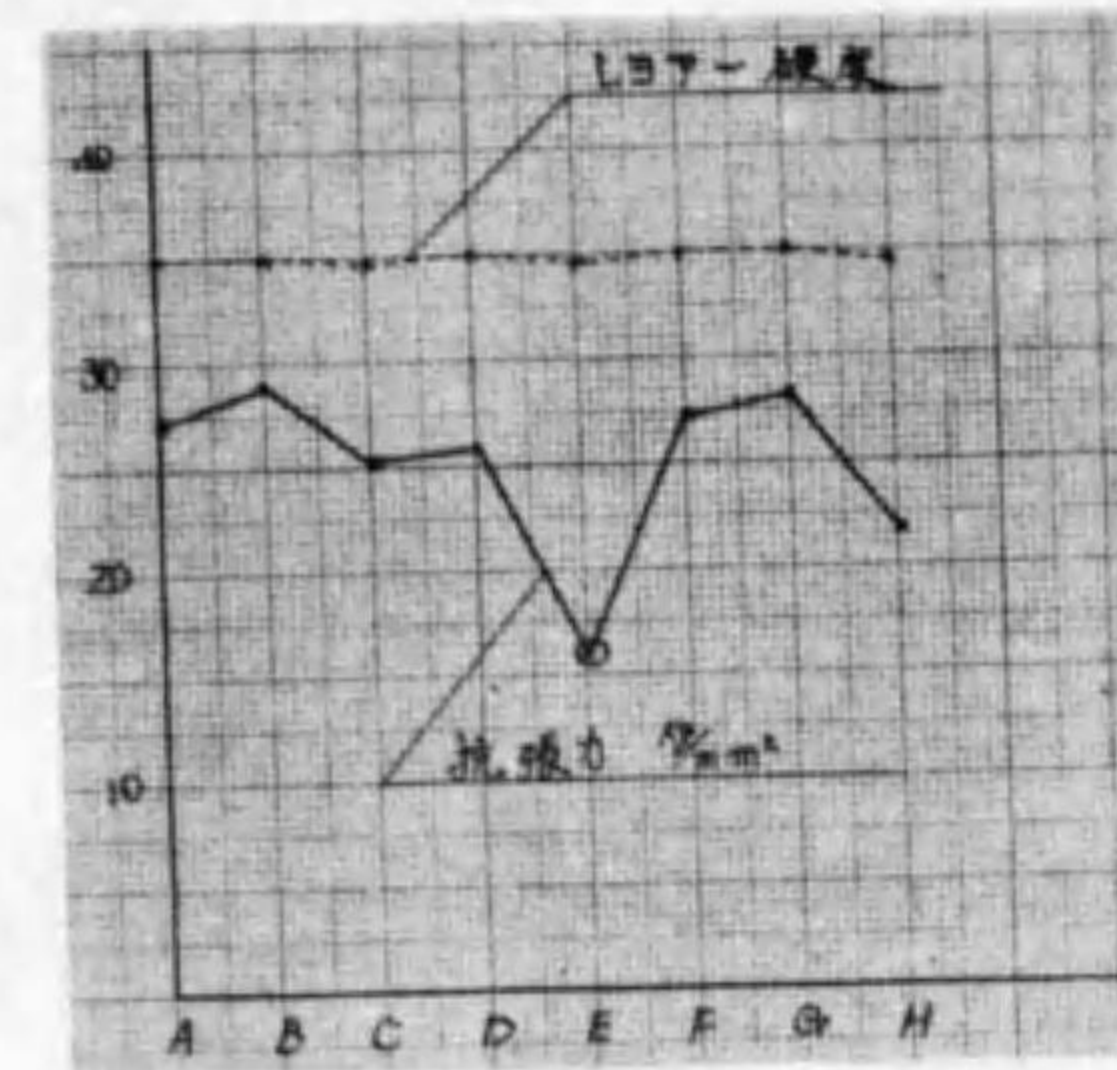
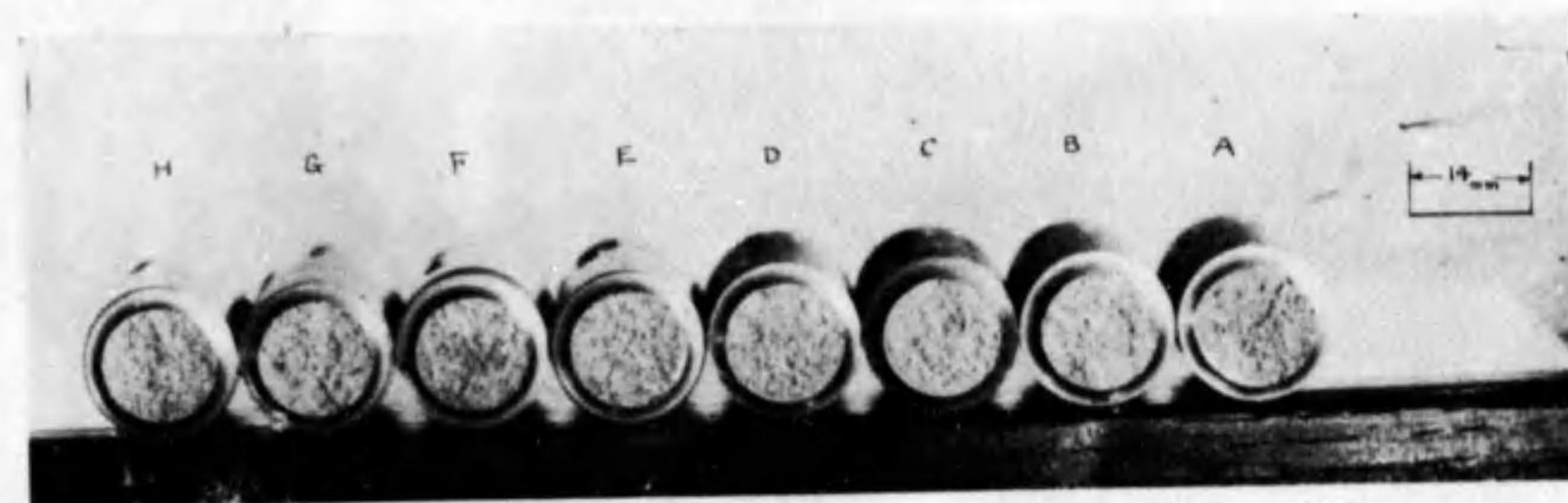


Fig 22 抗張力試験片の破面を示す



§ 7. 結 語:—

現在鑄造應力 (Casting stress) 除去の方法として行はれてゐるのは「シーズニング」(Seassning) と焼鈍 (Annealing) とである。

而して焼鈍の方法 (加熱方法; 加熱温度及時間; 冷却方法) には種々あるが現在 350~550°C で適當に焼鈍すれば、内部應力の大部分が除去され、之れを軟化するこゝなしに「シーズニング」の目的を達することが出来る。

そして此の焼鈍を施す時の加熱時間は鑄物の大きさによつて異なるも普通数時間以内で充分である。

この焼鈍温度は即ち普通の鑄鐵は 500°C 位より少しく粘性を持ち 600°C では極めて粘性的になるを考へられる (Fig 23) からて要するに鑄物を焼鈍するには常温の炉に入れて加熱し全体を粘性的 (或は塑性) 變形をなさしめ内部應力を完全に消失せしめ、冷却に當つては出来るだけ徐冷し途中温度差が起らない様にすればよい。

今焼鈍方法の二、三を述べん。

I. 厚味 1~2" (25~50mm) の鑄物に於ては 6 時間か、つて 550°C に加熱し、その温度に 6 時間保持し後 150°C 迄冷却するに 72 時間を要する焼鈍の方法が最適だ云はれてゐる。

又

II. 断面 25mm (約 1 吋) に對し 1 時間加熱と云ふ普通の法則は 427~538°C (350~650°C と云はれてゐる…… No. 1228 Foundry Trade Journal) で加熱される鑄物に對し殆んど適用される。

註:— 合金元素を多量に含有するものは 621°C までの温度を用ひ、それだけ急速に内力除去が出来る。

III.

材質	焼鈍方法	加熱方法	加熱温度及時間	冷却方法
鑄鐵	鑄	徐々に且均一に加熱し 4 時間以上にて 530°C に上昇	530°C にて 3 時間 (小物) 乃至 6 時間 (大物厚物) の間保持	徐々に冷却 36 時間以上にて 200°C に達せしめ炉より取出す。

機械學會發行—機械工學便覽 P. 1746

以上の如き焼鈍方法が廣く行はれてゐるが、一般に 550°C 程度の焼鈍温度では内部應力を完全に除去することは實驗結果より見て困難なることにして、又焼鈍温度が 600°C を超えるに Fe₃C (セメントイト) が分解を開始するために鑄鐵の硬度が減少しはじめ遂に 800°C に到れば抗張力及硬度は著しく低下することは實驗の結果が如實に示してゐる。

従つて内部應力及機械的性質の兩方より考へて 530°C~550°C と云ふ焼鈍温度が廣く採用されるのであつて又幾分内部應力が残留するも、製品を變形させないやうな小なる應力ならば良いわけである。

鑄物は何も應力だけが問題ではない。

外の機械的性能も亦重大である。

應力を除去せんがために鑄物としての大切な性質を悪くする様なことがあつてはならない。

参考:—

1. 鑄物焼鈍試験綜合データ

「鑄物第 13 卷第四號」

Fig 23

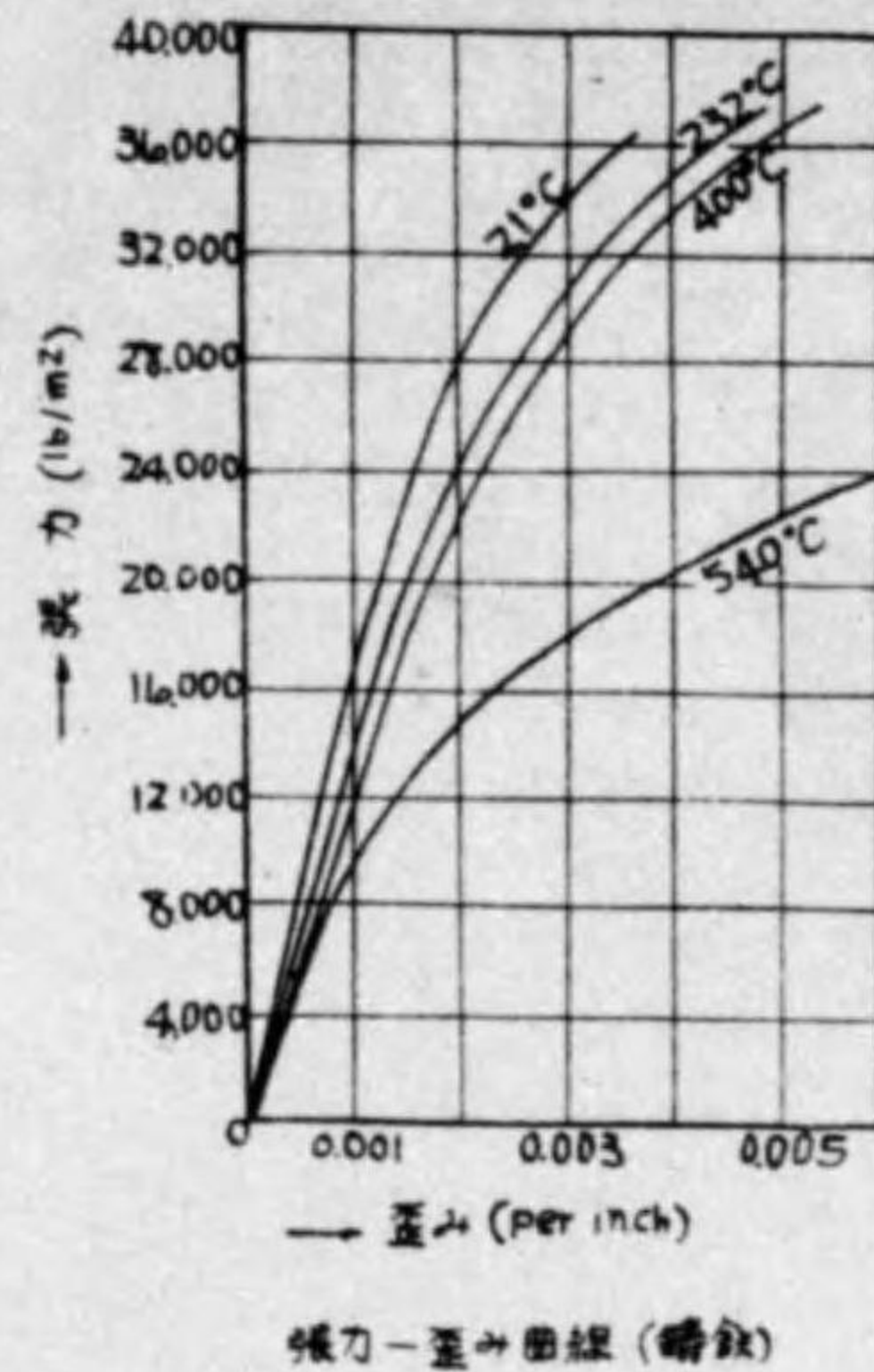
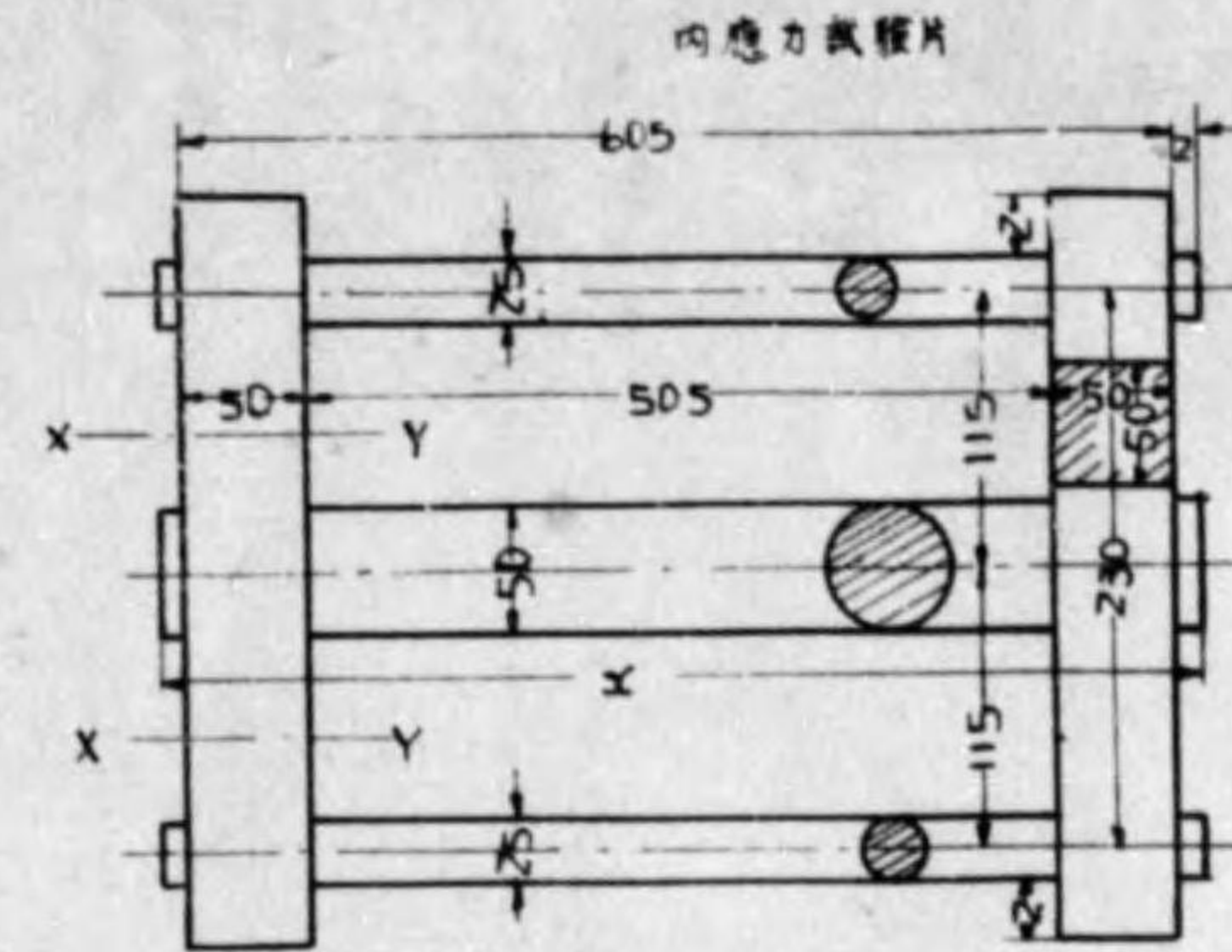
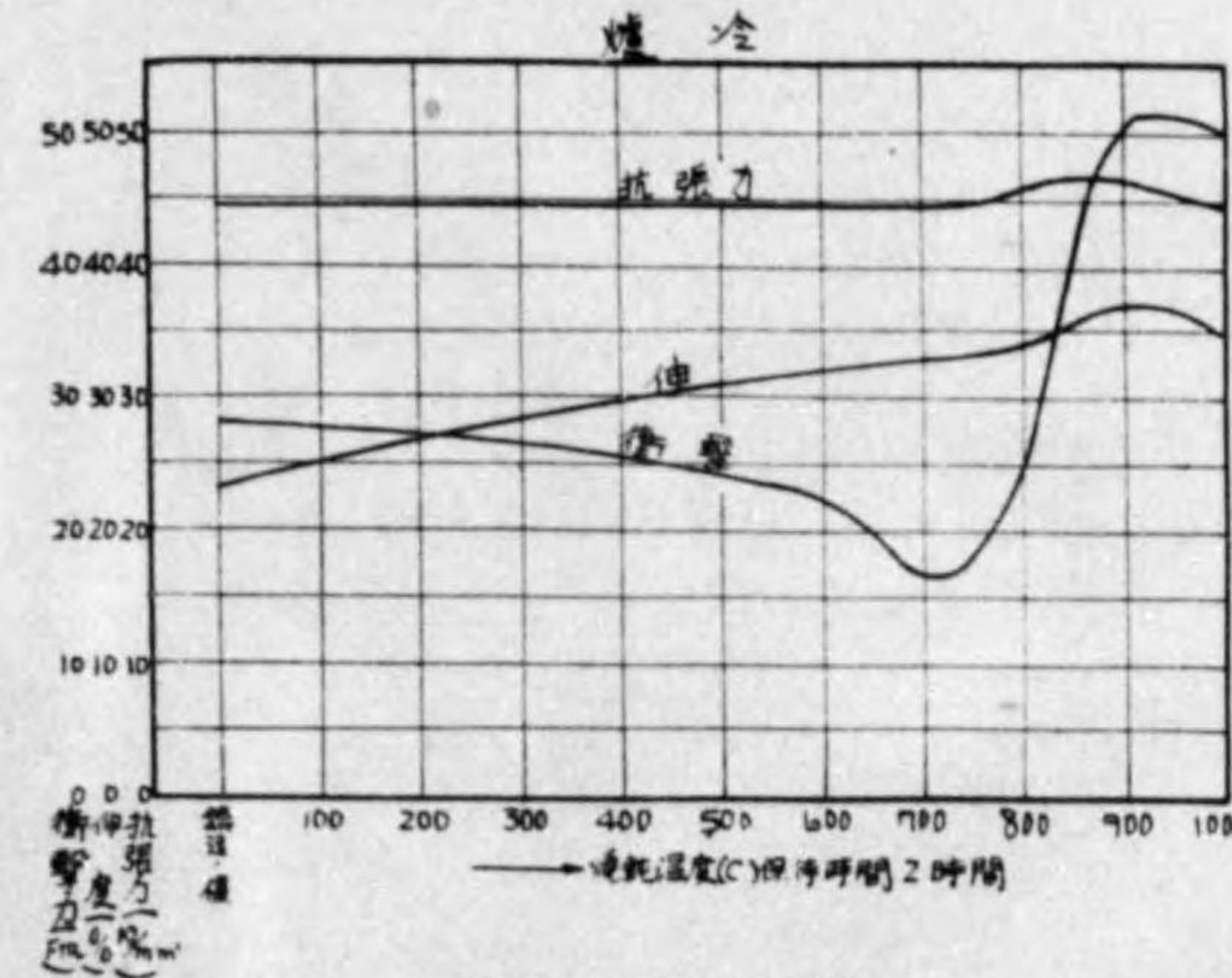


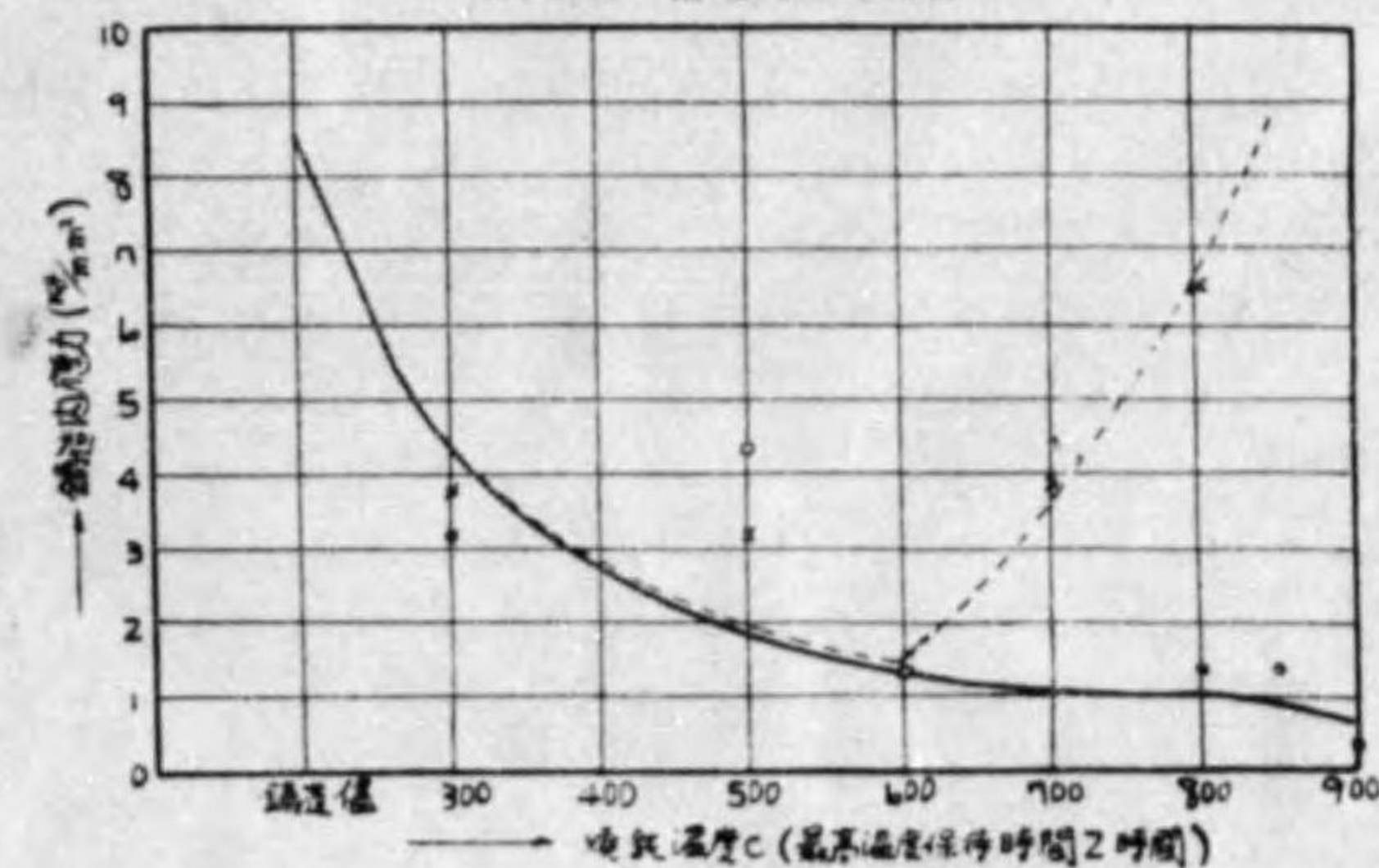
Fig 24 試 験 片



焼鈍温度と機械的性質



焼鈍温度—鑄造内應力曲線



2. 焼鈍温度と機械的性質

「ジャツチ著工業用材料」

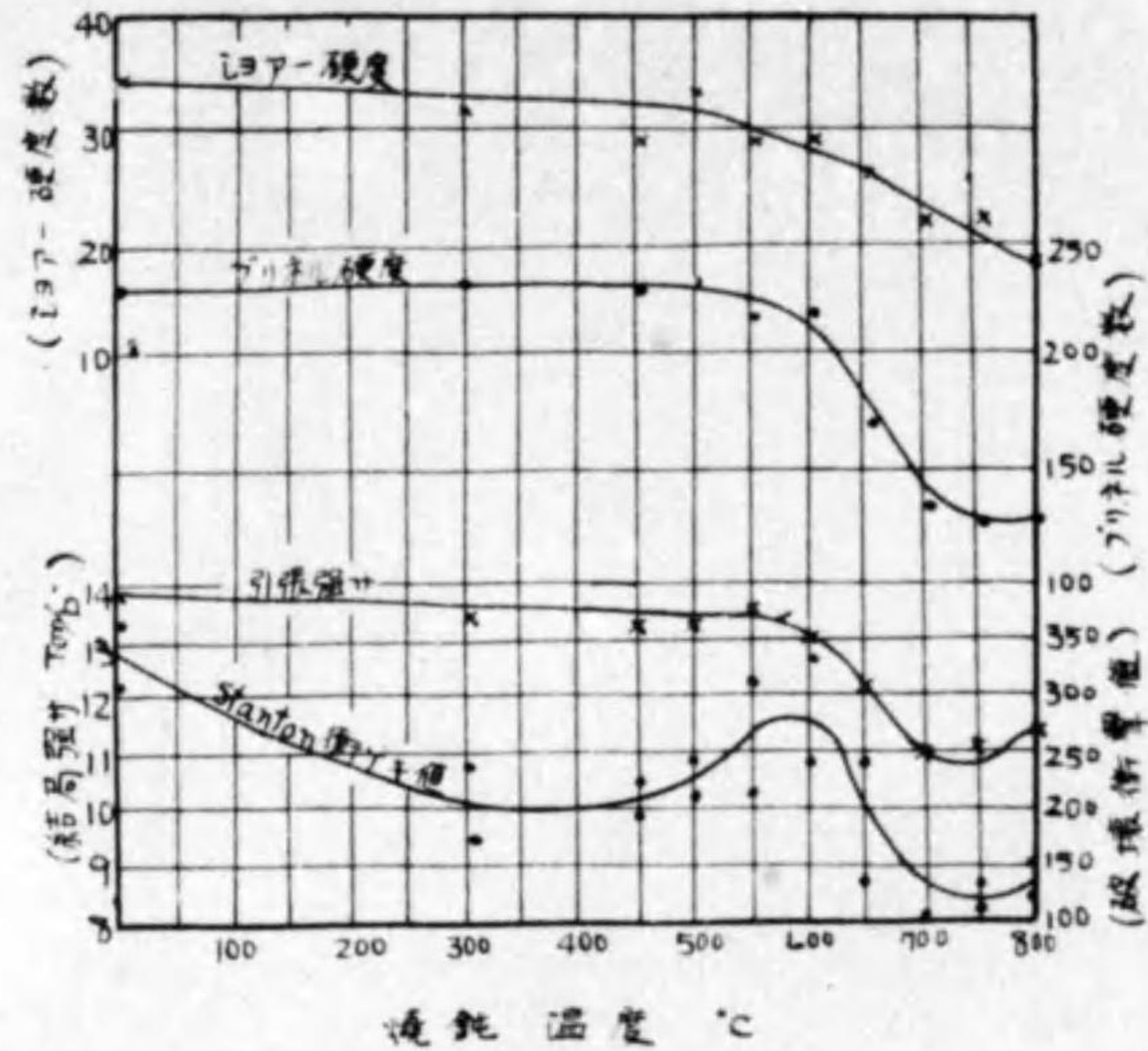


Fig 25 焼鈍温度と機械的性質

§ 8. テーブルに対する実験：—

(a) 本実験には G. H. U 300×1000 研磨盤上下テーブルに Fig 26 に示す如き径 15mm、長さ 140mm の試験棒を一体に鑄込み、之れを用いた。

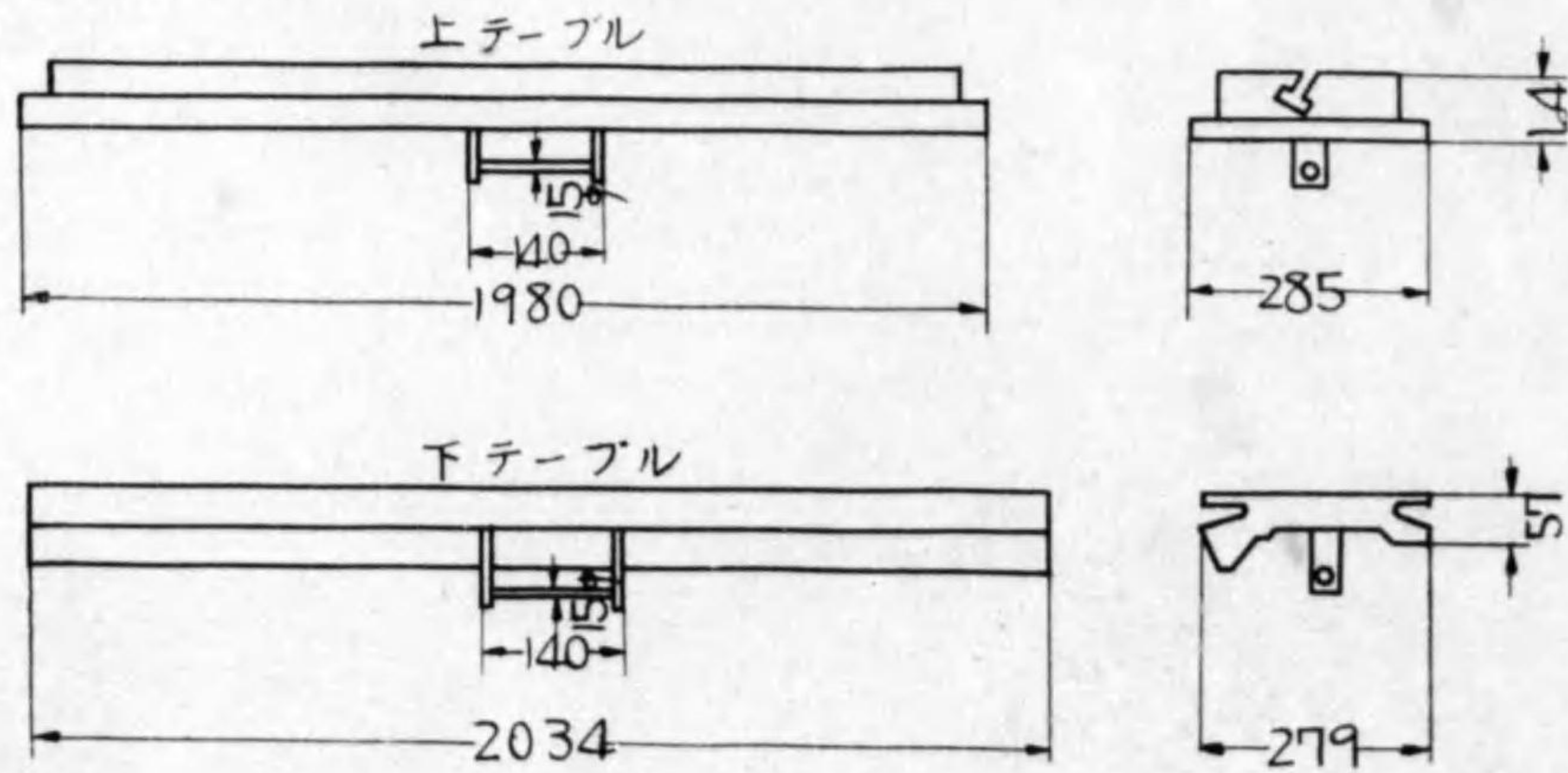


Fig 26 試験テーブル及試験棒

歪測定の方法は前実験と同様の方法によつた。

使用電気炉 90 K.W. 及 300 K.W. (上飯田工場) を使用する。

(b) データ：—

(i) 試材：下テーブル

Table 6

焼鈍温度	焼鈍時間	歪 %	ショア硬度		備 考
			焼鈍前	焼鈍後	
焼鈍せず	—	0.04	34	—	200°Cまで炉中冷却(31~35時間を要す)
550	3	0.02	測定せず	31	
550~600	4	0.01	33	31	
530	5	0.02	35	32	
550	6	0.02	34	32	
550	8	0.02	35	33	

備考：— 歪は 15 の 140 の試験棒の切断前、切断後の長さより % を求めた。

加熱開始後の時間経過と温度上昇の関係を示す。(Fig 27~31)

炉内温度と試材の温度とは加熱の時には相當の開きがある故参考のため實線、點線で兩者を區別した。

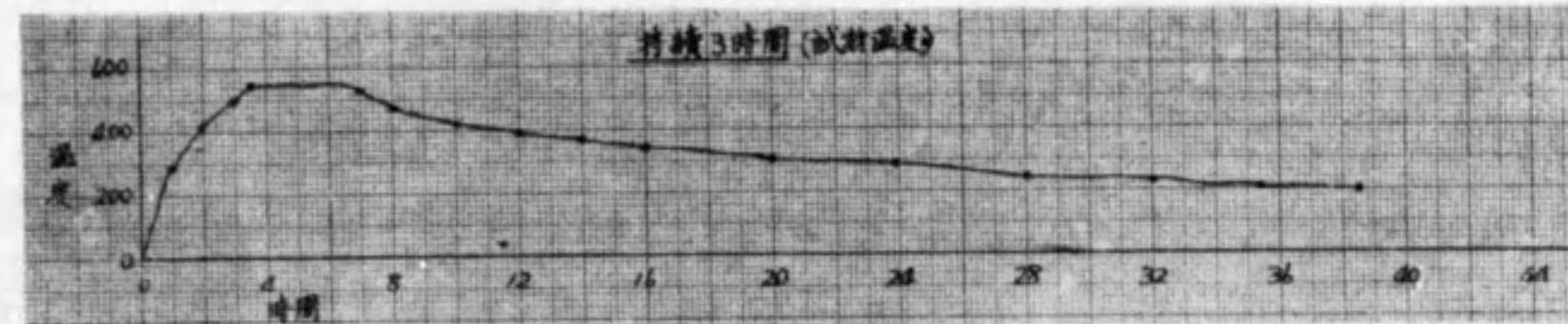


Fig 27 時間—焼鈍温度曲線

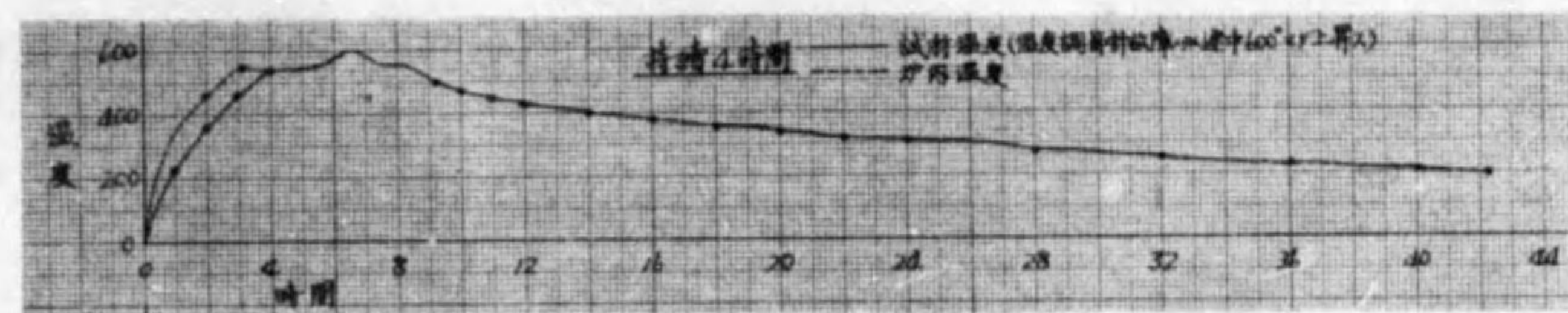


Fig 28 時間—焼鈍温度曲線

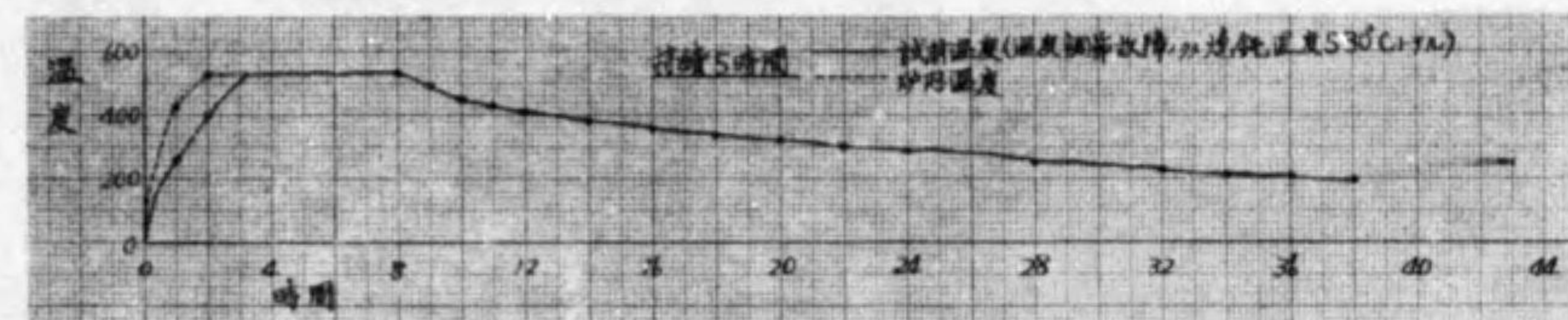


Fig 29 時間—焼鈍温度曲線

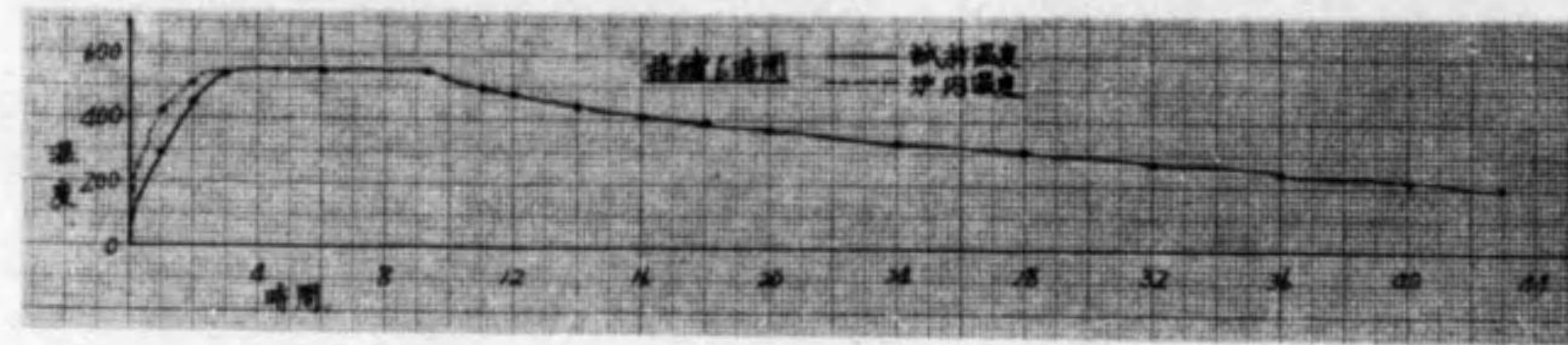


Fig 30 時間-焼鈍温度曲線

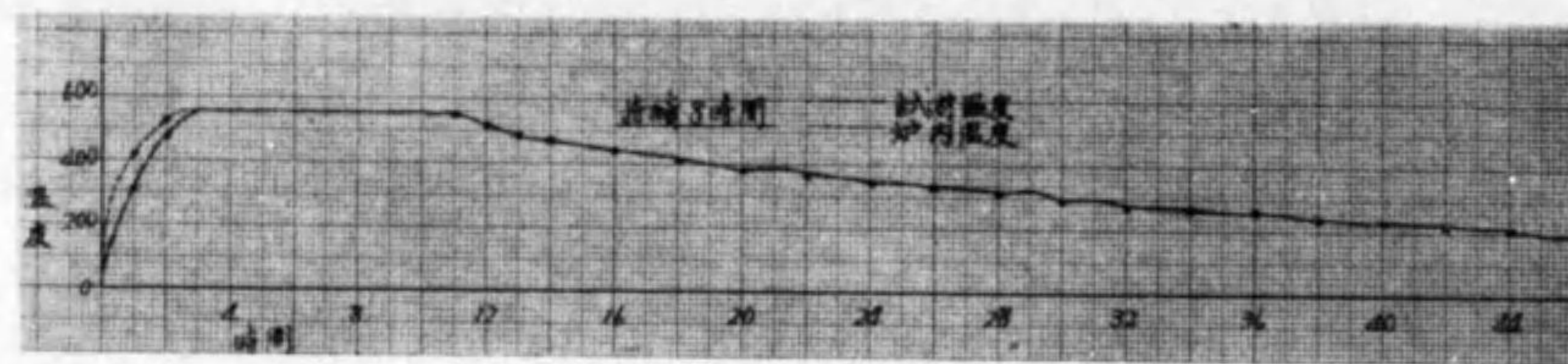


Fig 31 時間-焼鈍温度曲線

焼鈍時間と試験箇處の収縮量 (除去された重) との関係を示す。(Fig 32)
 収縮量は 140mm に對するものを示す。

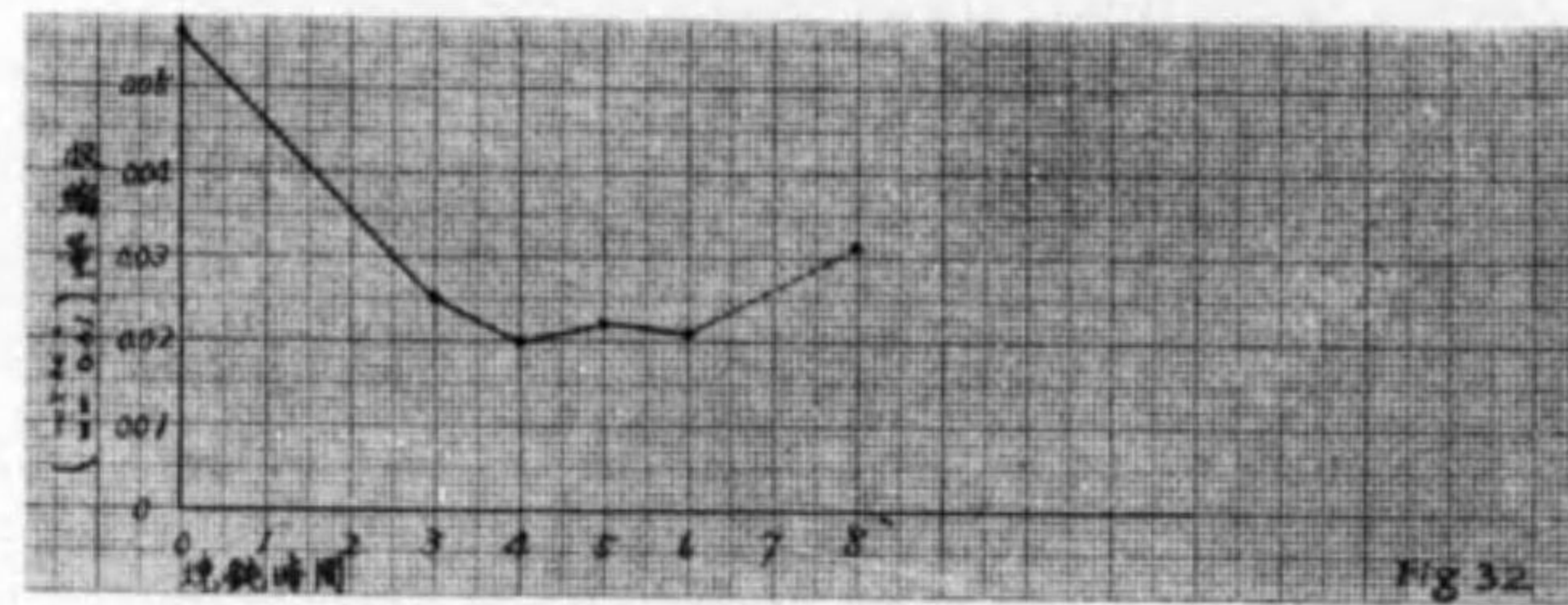


Fig 32 焼鈍温度と収縮量

(ii) 試材: 上テーブル

Table 7

焼鈍温度	焼鈍時間	歪 %	ショアー硬度		摘 要
			焼鈍前	焼鈍後	
焼鈍せず	—	0.03	35	—	200°Cまで炉中冷却(31~35時間を要す)
600	5	0.01	33	31	
550	6	0.02	32	31	
500	8	0.01	34	31	
550	12	0.01	32	31	

(データ整理 飯田録三)

99
44

大隈技術研究會

以印刷代謄寫

566.3-0547

1200500746874

566.3
54

終