

鑄鐵鑄物の永久鑄造應力と其除去法

(大正十四年十月十七日 日本鐵鋼協會第十週年紀念大會講演)

石川 登喜治

鑄物は鑄造作業中に既に鑄型の中に於て自然的に又は僅かなる外力の爲めに龜裂を生ずることあり或は機械仕上中に變形するものあり又種々精密なる工作を施して漸く規定の寸法に製作したるものも時日を経過するに従ひ漸次變形するものがある此等の現象は凡て其鑄物に鑄造後冷却する際に起りたる種々の内應力が冷却後迄残留して働いておる爲めに起るものである此等の内應力を總稱して永久鑄造應力と名付けておりますが茲には便宜上之を單に鑄造應力と申しますから其積に御承知を願ひます。

然らば此等内應力は何故に起るか又如何なる程度のものか之を防止又は除去するには如何なる方法を要するやに就ては今日諸氏に依て理論的に又實驗的に論議せられたるものも尠くはないが我々實際問題を解決するものに対しては聊か物足りない感がするので鑄鐵の内應力除去の目的を以て熱處理試験をなし鑄物に残留する應力が如何なる熱處理に依り除去せらるるや又有害ならざる程度迄除去し得るやを確かむると同時に其内應力の起因及び之を未然に防止する方法等を攻究したことがありましたので其の大體を茲に御話し致したいと思ひます。

鑄造應力の起因

實驗の成績を御話す前に極く簡単に鑄造應力の起源と熱處理に就て述べたいと思ひます此等の理論に関しては E. Heyn 氏 (E. Heyn. Stahl u. Eisen 1909 S 1309 u 1347 Materialien Kunde II A. Internationale Zeitschrift für Metallographie Bd. 1. 1911.) に依て詳細に論述せられておりますが之を要するに鑄物が鑄造せらるゝ際に粘性状態にある高温より冷却する速度が其形状の複雑、各部分の寸法の大小及び材質の不同等に依り各部分の冷却速度が異なり其収縮量が不同となるも各部分が凡て粘性状態にある間は何等の應力も起さないが粘性變形限界温度以下即ち弾性状態になれば其収縮量の不同の爲めに應力を發生するに至り、急速に冷却せる部分には壓縮應力を緩漫に冷却せる部分には抗張應力を残留することになる猶詳言すれば鑄物は粘性状態より弾性状態を通り冷却するものなれば鑄鐵の外面又は切斷面積小なる部分は内面又は切斷面積大なる部分より冷却急速にして早く弾性状態に這入り収縮率も小なる爲めに他の未だ粘性状態にあり収縮率大なる部分の爲めに壓縮應力を受け次に内面又は面積大なる部分が弾性状態になり尙収縮せんとする際は先きに弾性状態になりたるものが其れだけ収縮せざる爲めに之に妨げられて収縮することを得ず抗張應力を受けることになり此等應力が冷却後迄残留することになる此等の残留應力が即ち鑄造應力で其の大きさは次の諸因に依りて増減する事は明であります。

(1) 膨脹係数の大小に依りて増減す

- (2) 冷却を開始する温度の高低に依りて増減す
- (3) 粘性變形限界温度の位置に依り變化す
- (4) 全體の冷却速度の遲速に依て増減す
- (5) 各部分の冷却速度率の差に比例し増減す
- (6) 切斷面積の差に依て變化す
- (7) 急冷徐冷に依り組織の不同を生ずることの多寡に依て増減す

鑄造應力の防止と除去法

鑄造應力を除去若くは輕減す可き熱處理法を述べる前に鑄造に際し是れが發生を未然に防止し或は發生せんとする應力を輕少ならしむる策なきやを考ふるに前述の鑄造應力の起因を除去する意味に於て左記の事項を注意すれば或る程度迄は其目的を達することが出来ると思はれます然し到底絶對的に之れを防止することは六ヶ數のであります。

- (1) 膨脹率及び收縮率の成可く小なる材質のものを使用すること、
- (2) 粘性限界温度の低き材質を選ぶこと、
- (3) 凝固後組織の相の變化少き材質を選ぶこと、
或は急冷徐冷により組織の變化少なき材質を選ぶこと、
- (4) 設計に際し出來得る限り急激なる切斷面積の變化を有する鑄造物を作らざること換言すれば各部の厚みを可成均一に保たしめ一樣の冷却速度を得せしめること、
- (5) 鑄鋼の際に於けるが如く厚薄兩切斷面の交る所に「リップ」を附して兩部間の熱の傳導を助け其冷却速度を接近せしむること、
- (6) 乾燥せる鑄型又は加熱を使用して冷却速度を緩ならしむること、
- (7) 鑄造後未だ鑄物が高温度にある時に豫め熱せる爐中に入れて極めて徐々に冷却すること、
- (8) 必要に應じ鑄込後直ちに鑄型を解き鑄物を自由に收縮せしむること、

以上は單に鑄造應力を減少せしむる手段を列記したるものなるが鑄鐵鑄物に於ては此等の方法を施したる爲めに却て應力を増加する場合もあり一概に右の方法を施し得ざる事情あり大に考慮を要するものであるから此等に對し聊か批判を加へたいと思ひます。

(1) の收縮率膨脹率小なるものを使用することは單に鑄造應力を減少するのみならず鑄造上にも最も必要なることなれば皆此點に留意し種々實驗をなしつつあり。O. Banse 氏 (O. Banse: Stahl u. Eisen 1919 S. 313.—599) の實驗に依れば「鑄造應力は硅素含有量に反比例して減少すると雖一面硅素量大なる地金は黒鉛の發生旺盛にして其組織粗大なる故に強度を低下する爲めに場合に依りては使用し得ず故に用途に應じて吾人は硅素量を或る程度迄低下せしむるの止むを得ざる事ありと」然し著者の經驗に依れば組織の粗大は左程硅素を低下せずとも防止することを可し故に收縮率の小なるものを得る方法は研究を待ちて或程度迄は可能性を有す即ち塊狀の化合炭素の發生多く硬度高きものを

避け黒鉛炭素の細微彎曲し分布均一にして化合炭素は凡て「パーライチック」の形をなす様にすれば
同し硅素の含有量に對しても強度低下せず收縮率も大ならざることを得ると思ひます。

茲に申す收縮率とは凝固後に於けるものを指し融液より固態に變る時の凝固收縮を含まざるものである。此凝固收縮なるものは鑄造には最も重要なことにして之れが大なるものは鑄物の外部は緻密に
内部は粗大になり「シリンケーデホール」を生じ又高温龜裂の原因ともなるが之れは可鑄性には大なる
關係あれども鑄造應力には直接關係なきことは明であります、(2)は工業用の材料としては益々粘
性變形限界温度の高きを要しつゝあり鑄鐵も内火式機關の如く高温度にて使用するものには殊に其
必要あれば此要求は實用とは相反する問題であります、(3)は配合と熔解の方法を研究すれば或る程
度迄は其要求に應じ得るものと思ふ即ち「チール」の影響の多いものや過分の炭素を有する様な配合
を避くることは最も必要であります、(4)は可成注意するとするも構造上より萬止むを得ざる場合多
ければ絶対に之れを避けるとは困難である(5)は鑄鋼に於ては差支なきも鑄鐵鑄物に於ては之れを附
したる爲めに内部の組織を粗大にし空隙を生ぜしむる場合もあり容易に實行は出来ませぬ(6)の乾燥
鑄型を使用することは常に實行しつゝあります O. Banse 氏の實驗に依れば乾燥型は生型より鑄造應
力を約4割位減少し得ることを示せり然し普通の鑄鐵に余り加熱型を使用することは鑄物の結晶粒子
を粗大ならしめ強度を低下する爲めに總ての場合に採用することは出来ませぬ(7)の方法も金型鑄物
の如き特別の場合には採用せらるゝことあり其場合には豫め熱せられたる爐は勿論粘性變形限界温度
以上なることが必要であります、(8)は既に實行せる方法である其他冷金等の方法にて均等の冷却をな
すものもあるが鑄鐵鑄物に於ては此方法は組織の不同を來し其の爲めに起る鑄造應力の方が却て大に
して有害であるから鑄造應力減少の意味に於ては冷金の方法採用することは餘り賛成出来ませぬ。

以上述べたる種々の方法を講ずるも到底鑄造應力を全部除去することは不可能であるから其の残留
する應力は後述の熱處理法に依り除去するの外ないのであります。

熱處理法に依る鑄造應力除去法

前述せる通り鑄造應力なるものは粘性變形限界温度以下即ち彈性状態に於て起るものなれば之れを
除去するには必ず粘性變形限界温度以上に熱し全體が其温度にある迄保ち粘性變形を起さしめ然る後
に極く極く徐冷して不同の冷却を防止するの外ないのであります、但し一物體に於て或る部分には壓
縮、他の部分には抗張の内應力を残留するものを熱する時は此等の各部分は其温度の上昇の速度不同
にして伸度も不同なる爲めに其等は加熱開始後漸次彈性的變形を増し或る點に至り最大値を取り其れ
より漸次減少して各部分が共に同一温度に至り最初に等しきものとなる従て之れに相當する内應力も
同様に最大値を取り又最初に等しきものとなる、内應力變化の際其最大値前の或る瞬間に於ける應力
が其材質の彈性限界を越せば其物は永久變形をなし其破斷界に達すれば其物體は破壊します故に急激
に加熱し各部の温度の差を大にして彈性的變形を増加せしむることは避けねばなりませぬ即ち燒鈍せ
んとする物體を直ちに高温度爐中に入るよりも常温にある爐中に入れ徐々に加熱する方が安全なるの

理由は茲に存する次第である然し急激なる加熱に依り生ずる粘性變形を利用して元來の内應力を除去する場合があります例へば精密なる「ゲージ」用焼入鋼の永久内應力を除去するに零以下の温度より焼きの戻らぬ常温以上相當高き温度に適當の速度にて加熱冷却を繰返して粘性變形を起さしめ元來の永久内應力を除去する場合がありますが破斷界と弾性限界との間が非常に接近する鑄鐵の場合には斯る取扱をすれば其應力が破斷界を越へて龜裂を生ずるやも分りませぬ。

然らば此粘性變形限界温度なるものは如何にして確知し得るやが問題であります茲に其れに就て聊か述べたいと思ひます。

今一つの結晶粒子に或る方向より力を加ふれば力の或程度迄は此粒子は弾性變形をなすも一定の力の大きさを越せば粒子は其内部に滑走面を生じて流動す可し而して弾性變形をなす間は力を取り去れば粒子は元形に復するも一度滑走面を生じて變形せるものは力を去るも元形に歸らず即ち滑走面を生ぜし時の力が其方向より力を加へたる場合の此粒子の弾性限界にして弾性限界は粒子に加へたる力の方向に依て異つて表はれ此限界を越したる後は粘性變形をなすものであります而して粘性變形をなす難易換言すれば弾性限界の高低は其物質の粘性度に反比例するものと云ふことは斷定せられます故に多くの物質の粘性度を比較せんとする場合には其等の弾性限界を比較すれば宜敷と思はれます即ち同一物質の各温度に對する粘性度の變化の有様は各温度に對する弾性限界の變化に依て知ることが出來ます従つて一つの結晶粒子が全然粘性變形を初むる温度即ち粘性變形限界温度なるものは弾性を失ひたる温度である物質は一般に温度を上昇するに従つて粘性度を増すと同時に又弾性率をを反對に減少するものであります。

若し一個の結晶粒子が L なる長さだけ弾性的變形されて居る時に加熱に依つて此弾性變形を粘性變形となして此粒子が荷重より免かるゝ場合を考ふるに加熱して低下したる弾性限界に於ける變形量を L' とすれば(a)、 L が L' より小なる間は粘性變形をなさず常温に冷却すれば再び元の應力を受け居る可きも、(b)、 L が L' よりも大なる場合即ち L なる弾性變形を起さしむる應力が加熱温度に於ける弾性限界を越へたる時は $L-L'$ 丈は粘性變形をなし尙未だ L' 丈は弾性變形をなし居る故に常温に冷却したる時は猶其れに相當する應力を残留することになります。故に斯る場合には粘性變形限界温度以下にても内應力を幾分除去し得る理であります、以上は一個の結晶粒子に就き論したる場合なるが偕て多くの結晶粒子より成る金屬塊を考ふるに普通結晶粒子は不規則に配列され居るものと考へざる可からず即ち之れに應力を加へたる場合に或るものは滑走面を生ずるに最も都合よき方向に配列され或るものは然らず故に總ての粒子が同時に流動を起すことなく弾性の下限と上限とを生ずるものであります一般に鑄造せし許りのものは弾性の上限と下限との間に大なる間隔ありて下限は甚だ低し故に鑄造應力は下限に極く接近せるか又は一致することもあると思ひます殊に鑄鐵の場合に於て斯様の場合が多いのであります。

鑄鐵の場合に於て弾性限界の著しく低き事は次の如く明説することが出来る鑄鐵組織内には黒鉛を

藏する空隙を有す今此鑄鐵塊に抗張應力を加へたる際は空隙の面は荷重を負擔せず壓縮應力の際にも負擔すること少ない様に考へらる故に全體は甚だ不均一にして或る部分は大なる負擔を有することとなる斯る部分は早く滑走面を生ずる従つて此ものゝ彈性限界は甚だ低くなる、斯るものゝありては若

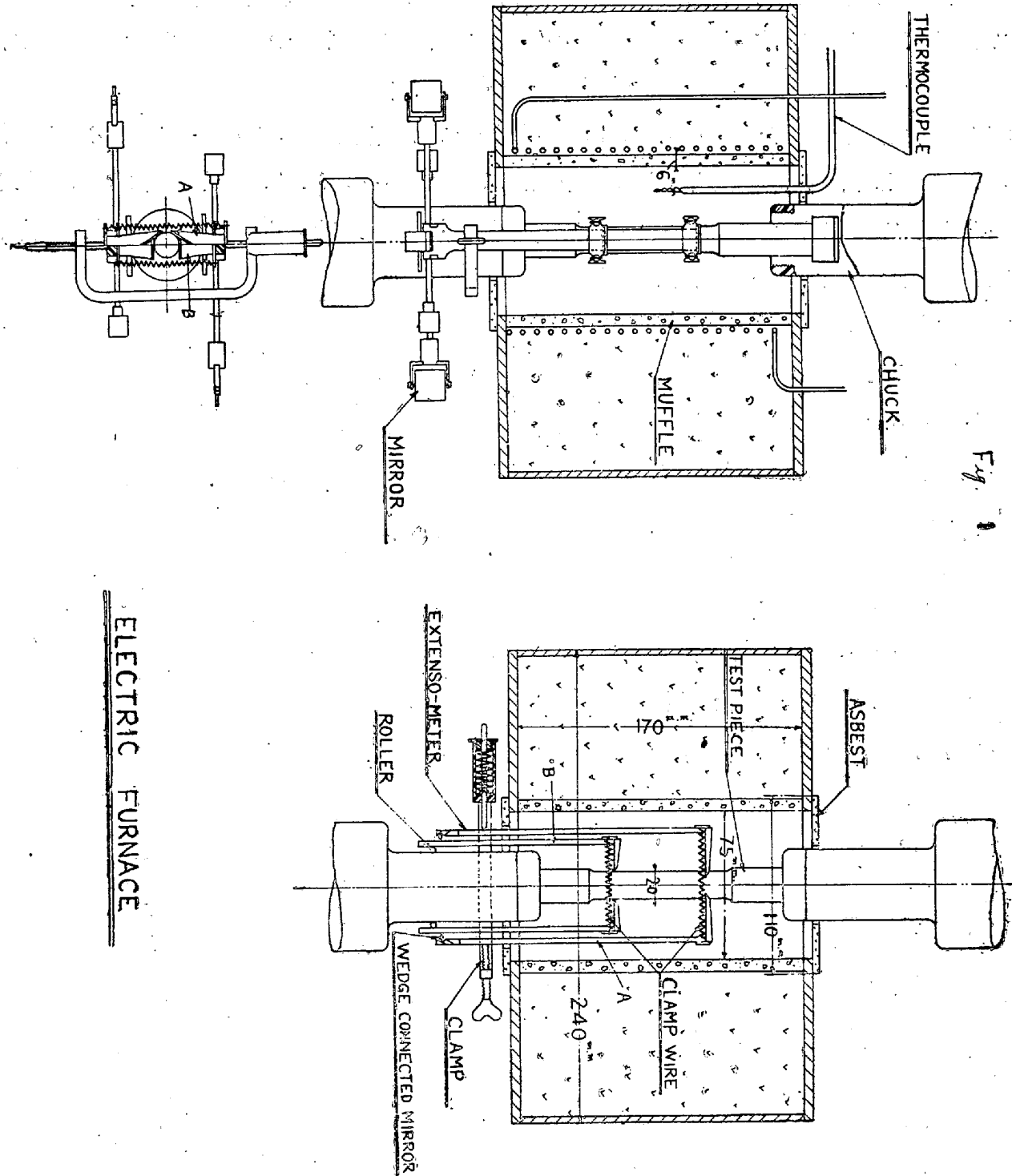


Fig. 1

し温度と彈性率、彈性限界との關係が (b) の場合の如き性質のものなりとせば常温度以上粘性限界温度以下如何なる温度にても常に夫々相當の應力を除去する効果があります換言すれば割合低き温度の燒鈍にても幾分鑄造應力を除去することが出来る其程度は温度の上昇と共に粘性を増す程度即ち彈性

限界の下る程度に比例します。

實 驗

以上の鑄造應力の起因及び除去の理論に従ひ鑄鐵が溫度上昇につれて如何なる程度に粘性を増すかを知り如何なる溫度に燒鈍すれば如何なる程度の内應力を除し得るか、粘性變形限界溫度は略ぼ何度なるやを決定し併せて其等の燒鈍に依て材質の組織及び強度に變化なきやを實驗したのであります。

粘 性 變 形 試 験

極く普通の鑄鐵の組織は「パーライト」地に「グラファイト」及び「フリー、セメントイト」を有するものなれば今かゝる鑄鐵を加熱して粘性を増すことは「パーライト」地に於ける粘性變形に依るものと見做すことが出来る故に「パーライト」のみにより成る鋼に就て高溫度に於ける降服點の降下状態を知り鋼の全溫度に於ける粘性

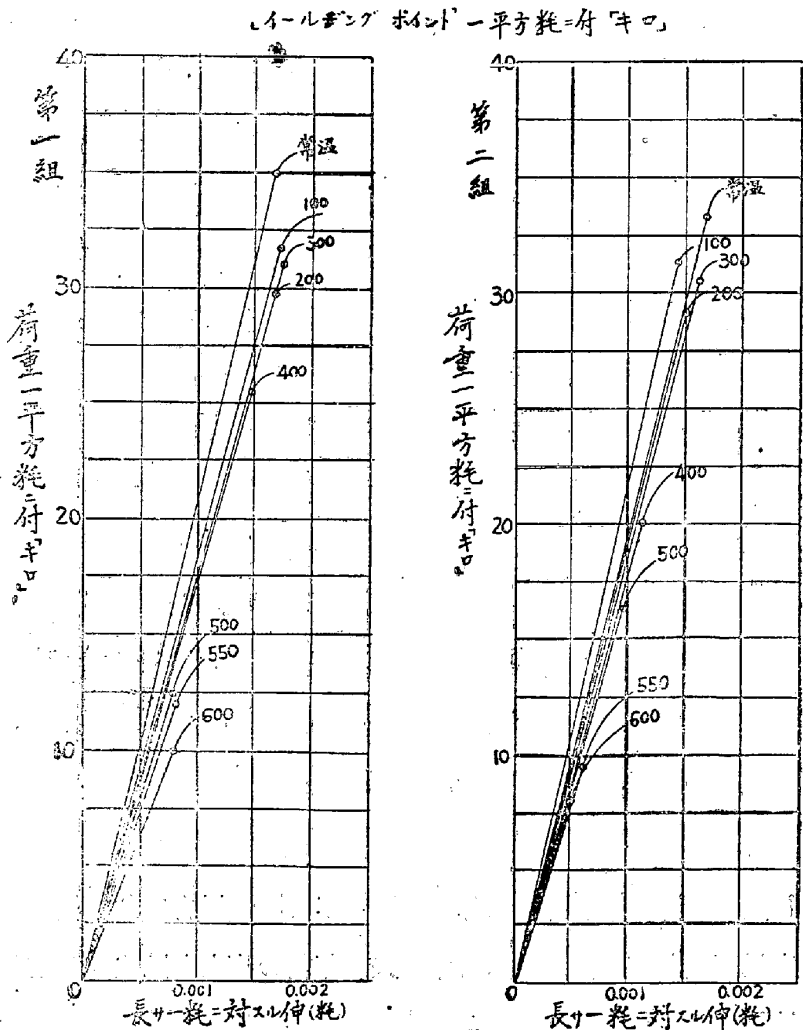
を増す有様を見ることに依て鑄鐵の粘性増加の状況を窺知することが出来はしないかと考へたのであります。

尤も鑄鐵と鋼は其の「パーライト」も多少成分を異にするとは云へ大體に於て同性質のものとして見て差支なき程度と思はるゝ其意味に於て豫備試験として八幡製鐵所製「ユーテクトイド、スチール」(C 0.82 Si 0.36 Mn 0.37 S 0.03 p 0.022) を取り燒鈍に依て組織を常態にしたる後に常溫より 600°C 迄の種々の溫度に於ける降服點及び彈性率を測定せり。

測定装置は Fig. 1. の如き電氣爐に試験材を装置し試験材の伸びに比例して傾斜する鏡を装置し其の振れの度を「アムスラ式エクステンションメーター」にて計測せしに高溫度に於ける測定にも満足なる結果を與へました、抗張力試験には「オルゼン式」50噸「テストングマシン」を使用し何回も繰返し試験をなし其成績

Fig 2
高溫度に於ける鋼材應力變形圖

溫度	常溫	100°	200°	300°	400°	500°	550°	600°
第一組	35.00	31.75	29.75	31.00	25.50	12.50	12.00	10.00
第二組	33.25	31.25	29.25	30.50	20.00	16.25	9.50	8.00



を比較しました處何れも大差なく Fig 2 に示す通りで常溫より 300°C 迄は粘性を増す程度少なく 400°C にては可なり多くの粘性を増し 550°C 乃至 600°C に至り急に著しく増加することが分りました。

彈性率の測定は材料の不同より來る誤差を免かるゝ爲め常溫より 600°C 迄一本の試験材にて測定せり其結果は表 1 及び Fig. 3 の通りにて 500°C 迄は彈性率の變化は殆んど無く、550°C より急に低

表 1

各溫度に對する鋼の彈性力率比較試験表

溫度	常溫	100°	200°	300°	400°	500°	550°	600°		
項目 L	10	10	10	10	6	6	6	6		
第一回	上	l	0.00053	0.00053	0.00053	0.00055	0.00032	0.00032	0.0004	
		E	18,867	18,867	18,867	18,781	18,750	18,750	15,000	13,333
	下	l	0.00051	0.00051	0.00051	0.00053	0.00032	0.00032	0.00035	0.0004
		E	19,607	19,607	19,607	18,867	18,750	18,750	17,142	15,000
第二回	上	l	0.0005	0.00051	0.00055	0.00051	0.00032	0.00035	0.00035	0.0004
		E	20,000	19,607	18,181	19,607	18,750	17,142	17,142	15,000
	下	l	0.00051	0.0005	0.00053	0.00051	0.00032	0.00032	0.0004	0.0004
		E	19,607	20,000	18,867	19,607	18,750	18,750	15,000	15,000

備考 L は荷重一平方耗に付「キロ」

E は彈性力率

l は伸一耗に付き耗

試験棒は常溫に於て約 16 kg/mm² 緊張應力を二回加へたる後本試験に供せり彈性率は各溫度に於て二回宛緊張應力を加へて試験せり

上り下りは應力を加へし際生じたる變形、下りとは應力を去りたる際生じたる變形を測定し其の結果を算出したるものなり

下せるを見る以上の結果を總合すれば彈性率の低下は降服點の低下に比し比較にならぬ程に僅少であります。

Fig 3

鑄造應力測定試験

以上の實驗により粘性は 600°C にて非常に増加することを知り得たれば其溫度迄焼鈍すれば鑄鐵も其内應力を充分に除去し得るならんとの見當を得たれば實物に就て試験を施行しました。

試験材は Fig. 4. Fig. 6. の如き形狀寸法を有するものを Fig. 5 の如き方法にて鑄造し材質及び鑄込溫度等は凡て出來得る限り同様

各溫度に對する鋼の彈性力率比較圖

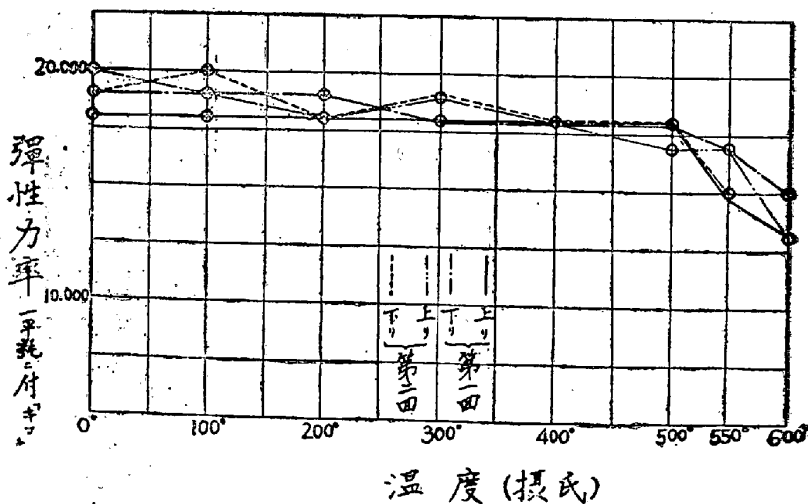
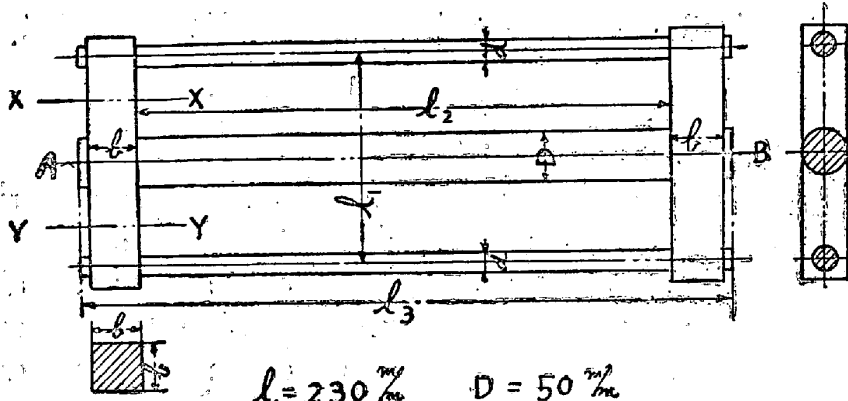


Fig 4

永久鑄造應力測定試驗材



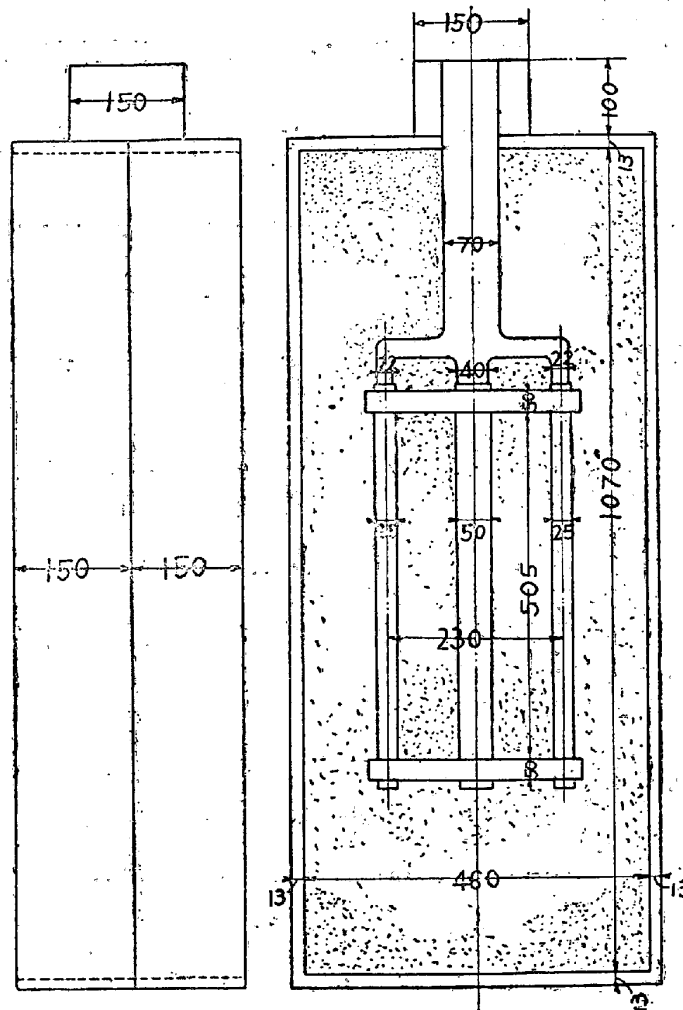
$$l_1 = 230 \text{ mm} \quad D = 50 \text{ mm}$$

$$l_2 = 505 \text{ mm} \quad d = 25 \text{ mm}$$

$$l_3 = 606 \text{ mm} \quad b = 50 \text{ mm}$$

Fig. 5

內應力測定試驗片鑄型



にして各試験材を同一状態にある様に努めました。

前述の理論に依り本試験材の中央の大なる棒には抗張内應力を両端の小なる棒には壓縮内應力を残留することになります試験の結果も全く其の通りでありました。

試験材の焼鈍は「マツフル」式電気爐を用ひ自働高温度調節器を附し所要温度の範圍に調節しました試験材は焼鈍前に先づ A 及び B 面を機械にて正確に平行に仕上げ AB の長さを計り (之れを L_1 とす) 焼鈍後の長さを計り (之れを L_2 とす) 次に Fig. 4 XX YY 部を切斷し AB の長さを計り (之れを L_3 とす) 而して AB 棒の收縮量 $L_1 - L_3$, $L_2 - L_3$ を萬分の一時迄計測し豫め同一材料につき彈性率 E を測定し置き次の式に依り AB 棒内に残留せる内應力を計算しました。

$$\text{燒鈍後 内應力 } P = E \frac{L_2 - L_3}{L_2 - 50 \times 2} \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{燒鈍前 同 } P = E \frac{L_1 - L_3}{L_1 - 50 \times 2} \text{ kg/mm}^2$$

E = 彈性率

此式に於て試験棒の長さは L_1 又は L_2 なるも實驗收縮するは兩端の連絡棒の幅さ $50^m/m$ の 2 倍を減したる部分なる可きと思ひ L_1 又は L_2 より $100^m/m$ を減したるものを使用することに致しました。

XX YY を切り放ちたる後は AB の長さは皆な收縮し兩端の小なる棒は皆な伸長しました、其の收縮量より抗張内應力を計算したるものは C 材は表 2, 表 3 に示す通であります。表 2 の不規則なる成

表 2

鑄鐵内應力測定成績 (C材第一回)

試験片 番 號	燒 鈍 温 度	燒鈍温 度 ま 上 昇 せ し む る に 要 せ し 時 間	燒鈍温 度 に て 加 熱 せ し 時 間	冷却に 要 せ し 時 間	試験棒 を 爐 よ り 出 し た る 時 の 温 度	試験片の長さ(耗)			$L_1 - L_2$ (耗)	$L_1 - L_3$ 又は $L_2 - L_3$ (耗)	燒鈍後 向 殘 留 應 力 P ($\frac{1}{\text{平方耗}}$ に付 註)	P の平 均 値 ($\frac{1}{\text{平方耗}}$ に付 註)
						燒鈍前 L_1	燒鈍後 L_2	切斷後 L_3				
C 1	常温	—	—	—	—	605.790	—	605.563	—	0.227	5.235	4.551
C 2	〃	—	—	—	—	603.910	—	603.735	—	0.175	3.670	
C 3	〃	—	—	—	—	605.028	—	604.801	—	0.227	4.750	

Fig. 6

Fig. 7

永久鑄造應力測定試験片



C 4	200	3 ^{0.5}	4 ^{4.5}	16 ^{1.5}	75	604.816	604.825	604.670	-0.009	0.155	3.250	} 3.330
C 5	"	"	"	"	"	603.896	603.956	603.794	-0.060	0.162	3.410	
C 7	250	3 ^{0.0}	5 ^{0.5}	16 ^{0.0}	50	603.887	603.862	603.804	0.025	0.058	1.220	} 2.755
C 8	"	"	"	"	"	603.887	603.862	603.709	0.025	0.153	4.290	
C 10	300	3 ^{0.0}	5 ^{3.0}	15 ^{3.0}	100	604.218	604.248	604.037	-0.030	0.211	4.431	} 2.671
C 11	"	"	"	"	"	602.361	602.097	602.054	0.264	0.043	0.911	
C 12	350	2 ^{4.0}	6 ^{2.5}	15 ^{0.0}	75	603.887	603.862	603.709	0.025	0.153	3.740	} 3.475
C 14	"	"	"	"	"	603.913	603.862	603.684	0.051	0.178	3.210	
C 6	400	3 ^{3.0}	5 ^{3.0}	15 ^{0.0}	85	604.888	604.827	604.676	0.061	0.152	3.150	} 2.500
C 9	"	"	"	"	"	603.735	603.834	603.684	-0.099	0.153	1.850	
C 19	450	3 ^{0.0}	6 ^{0.0}	15 ^{0.0}	70	603.303	603.201	603.113	0.102	0.088	3.210	} 3.210
C 21	"	"	"	"	"	603.783	603.709	603.557	0.074	0.152	3.210	
C 16	500	4 ^{1.0}	3 ^{2.0}	20 ^{3.0}	120	603.303	603.252	603.100	0.051	0.152	3.210	} 3.210
C 17	"	"	"	"	"	603.303	603.252	603.100	0.051	0.152	3.210	
C 13	550	3 ^{4.5}	5 ^{5.0}	18 ^{2.5}	80	605.732	605.594	605.536	0.138	0.058	1.210	1.210
C 18	600	4 ^{0.0}	"	18 ^{1.0}	110	602.635	602.675	602.656	-0.038	0.017	0.351	0.355

備考 温度は總て攝氏とす 數字3^{0.5}とは3時間5分を表わすものとす

$$P = E \times \frac{L_1 - L_3}{L_1 - 2 \times 50} \text{ kg/mm}^2 \dots\dots\dots \text{常溫のもの}$$

$$P = E \times \frac{L_2 - L_3}{L_2 - 2 \times 50} \text{ kg/mm}^2 \dots\dots\dots \text{燒鈍のもの}$$

但し E=C 材に對する彈性力率=10,583 2×50m/m は伸縮中間共通部の寸法に付き控除す

表 3

鑄鐵内應力測定成績 (C材第二回)

試験片 番 號	燒 鈍 溫 度	燒鈍溫 度まで 上昇せ しむる に要せ し時間	燒鈍溫 度にて 加熱せ し時間	冷却 に要 せし 時間	試験棒 を爐よ り出し たるの 溫度	試験片の長さ(耗)			L ₁ -L ₁ (耗)	L ₁ -L ₃ 又は L ₂ -L ₃ (耗)	燒鈍後尚 殘留する 應力P (一平方耗 に付長)	Pの平 均値 (一平方耗 に付長)
						燒鈍前 L ₁	燒鈍後 L ₂	切斷後 L ₃				
C 23	常溫	—	—	—	—	603.461	—	603.275	—	0.186	3.916	} 3.790
C 24	"	—	—	—	—	604.190	—	604.015	—	0.175	3.670	
C 25	200	1 ^{3.0}	7 ^{0.0}	15 ^{0.0}	80	603.227	603.176	603.023	0.051	0.153	3.210	} 3.470
C 26	"	"	"	"	"	604.954	604.954	604.776	0.000	0.178	3.730	
C 27	300	1 ^{3.0}	7 ^{0.0}	15 ^{0.0}	80	603.913	603.862	603.712	0.051	0.150	3.200	} 3.210
C 28	"	"	"	"	"	603.887	603.862	603.709	0.025	0.154	3.220	
C 29	400	2 ^{3.0}	5 ^{3.0}	15 ^{0.0}	70	604.576	604.533	604.418	0.043	0.115	2.412	} 2.327
C 30	"	"	"	"	"	602.336	602.221	602.115	0.115	0.106	2.243	
C 31	500	4 ^{4.5}	4 ^{1.5}	14 ^{2.0}	130	604.370	604.350	604.230	0.020	0.120	2.521	} 2.335
C 32	"	"	"	"	"	603.011	602.902	602.800	0.109	0.102	2.150	
C 35	550	3 ^{4.0}	4 ^{5.0}	15 ^{0.0}	100	603.136	603.004	602.933	0.132	0.071	1.583	} 1.507
C 36	"	"	"	"	"	603.768	603.710	603.644	0.058	0.066	1.432	
C 33	600	2 ^{4.5}	6	15 ^{0.0}	100	603.780	603.735	603.715	0.045	0.020	0.423	} 0.423
C 34	"	"	"	"	"	603.326	603.224	603.204	0.122	0.020	0.424	

C 37	200	0.45	24.00	23.30	90	604.698	604.617	604.515	0.081	0.102	2.134	} 2.134
C 38	"	"	"	"	"	603.659	603.664	603.562	0.005	0.102	2.134	
C 39	300	1.15	24.00	5.15	150	604.451	604.431	604.258	0.010	0.173	3.624	} 3.225
C 40	"	"	"	"	"	602.338	602.930	602.800	0.592	0.130	2.726	
C 41	400	2.00	22.40	15.00	150	603.745	603.677	603.590	0.068	0.086	1.814	} 2.017
C 42	"	"	"	"	"	605.224	605.200	605.104	0.024	0.097	2.220	

備考 温度は總て攝氏とす數字1³⁰とは 1 時間30分を表はすものとす

C23, C24, 試験片番號の L₂-L₃は L₁-L₃ を用ひ従つてPは焼鈍前C材の有する内應力を示す

E=弾性力率=10,583

續は幾分試験材に不同ありしにも依るならんも 300°C 附近にて内應力除去の悪しきと表3の 300°C にて 24 時間焼鈍せしもの、内應力除去少なきより考ふれば Fig. 2. に示す「イルディングポイント」が 300°C の場合か 200°C の時より却て高く粘性の増加が少なきことを相聯關せるものにあらずやと思はるゝ點があります鑄鐵の弾性率は鋼材の時と同様にて計測し其結果は表 4. の通りであります。

表 4

鑄鐵(C材)弾性力率測定結果

試験 數回	荷 重		エキステンソメーター目盛			エキステンション		モデュラス・ オブ・エラス テイシチー (胚/耗)
	實 際 (胚)	一平方胚 に付(胚)	左 右 平均			實 際 (耗)	長さ一胚に 付	
			左	右	平均			
1	0	0	0	0	0	0	0	—
2	250	795	7	10	8.5	.014365	.000071825	11,069
3	500	1590	15	18	16.5	.027885	.000139425	11,403
4	750	2385	24	28	26.0	.04393	.0002197	10,860
5	1000	3180	33	38	35.5	.059995	.000299975	10,600
6	1250	3975	42	49	45.5	.076895	.000384475	10,338
7	1000	3180	33	40	36.5	.061685	.000308425	10,310
8	750	2385	24	30	27.0	.04563	.00022815	10,453
9	500	1590	15	20	17.5	.029575	.000147875	10,752
10	250	0.795	7	11	9.0	.01521	.00007605	10,454
11	0	0	1	1	1	—	—	—
12	250	0.795	9	10	8.5	.016055	.000080275	9,903
13	500	1.590	18	19	18.5	.031265	.000156325	10,170
14	750	2.385	25	27	26.0	.04394	.0002197	10,855
15	1000	3.180	34	38	36.0	.06084	.0003042	10,456
16	1250	3.975	43	47	45.0	.07605	.00038025	10,390
17	1000	3.180	35	38	36.5	.061685	.000308425	10,310
18	750	2.385	26	28	27.0	.04563	.00022815	10,456
19	500	1.590	16	18	17.0	.02823	.00014115	11,264
20	250	0.795	8	10	9.0	.01521	.00007605	10,453

記事 (1)自2至10「モデュラス、オブ、エラステイシチー」の平均値 10,693

(2)自12至20「モデュラス、オブ、エラステイシチー」の平均値 10,473

(1) (2)との平均値 10,583

試験棒内の内應力は相當大きく殊に兩端の棒にありては單位面積に作用せる壓縮應力は中央棒に於ける應力の二倍なれば可なり大なるものにて誠に看過出来ないものであります。

以上の實驗の結果に依れば 200°C の焼鈍に於て既に幾分の内應力を除去されたることは明にして其以上 500°C 迄は著しく内應力を除去さるゝを見ざるも 550°C に至り急に多量の内應力を減じ 600°C に至り殆んど其大部分を除去せられたるを見る表 3 の成績に依れば焼鈍温度 5、6 時間保ちたるものは 200°C に於て 20% 400°C に於て 40% 550°C に於て 60% 600°C に於て 90% を除去され居ることを確めらる、又た焼鈍温度 24 時間加熱せしものはより多くの内應力が除去されしを見る只 300°C に於けるものが割合に除去されざるは其試験材は元來内應力が大なりしか又は特に 300°C 附近は内應力除去し難き點なるやは疑問なり兎角長時間加熱するは其温度に於て空間格子に於ける原子間の引力と全内應力が平衡を持するに至るには長時間を要するものなれば長時間焼鈍する程平衡に近くなり内應力を失ふことになる此理に依り或る程度まで長く焼鈍して平衡に近からしめたるものも更に高温度に加熱すれば平衡は破れ内應力は更に除去さるゝことゝなる此故に常温にて「シーゾニング」せしものも高温度(200°C—300°C)に熱すれば變形することになります。

以上の内應力測定實驗に於て各温度に於て内應力の除去さるゝ有様は鋼を以て試験せし Fig. 2. に示す粘性現象と全く一致するを見る即ち鑄鐵鑄物にありては粘性變形限界温度以下如何なる温度に焼鈍するも常に幾分の内應力を除去され、500°C—600°C に於て著しく粘性を増し内應力も大部分除去さるゝを以て實際上には此等温度を鑄鐵の粘性變形限界温度と考へて差支ないと思ひます此温度は「フリ、セメントイト」を非常に多く有する特種のものを除き普通「パーライト」地を有する鑄鐵鑄物にありては餘り變らざるものである此事は後述の實驗に依て證明されます。

以上の結果を総合すれば鑄鐵鑄物の鑄造應力は 200°C 位の蒸氣焼鈍に依ても幾分の効果ある可く更に大部分の内應力を除去せんには 550°C 乃至 600°C に 6 時間乃至 10 時間焼鈍し極く徐冷せねばならないことを確かめました。

鑄造應力と材質との關係

化學成分を異にする四種の鑄鐵に就き其成分と鑄造應力との關係を測定せる結果は表 5 に示す通り

表 5

試料 番號	化 學 成 分							收縮率 ※ %	彈性力率 kg/mm ²	永久内應力 kg/mm ²
	T.O.	G.O.	C.C.	Si.	Mn.	P	S			
A	3.03	2.22	0.77	1.93	1.00	0.15	0.075	1.10	6,301	2,051
B	2.90	2.24	0.66	1.88	0.85	0.17	0.077	1.25	7,206	2,838
C	2.95	2.15	0.85	1.72	0.58	0.22	0.080	1.56	10,583	3,790
D	2.90	2.00	0.90	1.30	0.61	0.20	0.090	2.04	9,443	4,635

※ 收縮率は一般に餘り大なる様なるも計測のまゝ茲に記す。

但し收縮率は Keep 氏の方法に依り $\frac{1}{2}$ " 角 12" 長さの試験材にて測定し内應力は前述の内應力試験材の中央の棒にて測定しました此成績に依れば鑄造内應力は其收縮率に比例してをります。

焼鈍と内應力との關係

異なる化學成分を有する鑄鐵が焼鈍に依り内應力を失ふ程度に相違あるや否やを見る爲め表 5 に示す A B C D の四種のものに就き 500°C 550°C 600°C に 5、6 時間宛焼鈍して内應力を測定せし結果は表 6 に示す通りにして内應力を失ふ程度は大體同じ故に普通の鑄鐵の化學成分變化の範圍に於ては粘性變形限界溫度は同一である表 7 は其の成績の總括にして之れを圖示すれば Fig. 8 の通りになります。

表 6

鑄鐵内應力測定成績 (A. B. C. D.材)

試験片 番 號	焼 鈍 温 度	焼鈍温 度まで 上昇せ しむる に要せ し時間	焼鈍温 度にて 加熱せ し時間	冷却 に要 せし 時間	試験棒を 爐より 取出し たる 時 の 温 度	試験片の長さ(耗)			L ₁ -L ₂ (耗)	L ₁ -L ₃ 又は L ₂ -L ₃ (耗)	焼鈍後尚 残留する 内應力 P (一平方 寸に付 磅)	P の平 均 値 (一平方 寸に付 磅)	弾 性 力 率 E
						焼鈍前 L ₁	焼鈍後 L ₂	切断後 L ₃					
A 1	常温	—	—	—	—	605.053	—	604.858	—	0.175	2.187	2.051	6,301
A 2	"	—	—	—	—	605.109	—	604.957	—	0.152	1.916		
A 3	500	2 ^{±5}	6 ^{±5}	15 ⁰⁰	120	605.053	605.079	604.934	0.026	0.145	1.721	1.182	
A 4	"	"	"	"	"	605.130	605.104	605.053	0.025	0.051	0.643		
A 5	550	2 ^{±0}	6 ^{±0}	15 ⁰⁰	—	603.507	603.456	603.428	0.051	0.028	0.349	0.506	
A 6	"	"	"	"	"	603.431	603.415	603.354	0.016	0.061	0.763		
A 7	600	3 ^{±5}	6 ⁰⁰	14 ^{±0}	40	603.466	603.339	603.291	0.127	0.048	0.604	0.476	
A 8	"	"	"	"	"	603.460	603.405	603.377	0.056	0.028	0.343		
B 1	常温	—	—	—	—	603.321	—	603.102	—	0.218	3.127	2.838	7,206
B 2	"	—	—	—	—	603.381	—	602.203	—	0.178	2.550		
B 3	500	2 ^{±5}	6 ^{±0}	14 ^{±5}	230	602.483	602.340	602.282	0.143	0.058	0.836	0.799	
B 4	"	"	"	"	"	603.776	603.641	603.587	0.135	0.053	0.762		
B 5	550	1 ^{±0}	7 ⁰⁰	15 ^{±5}	310	604.322	604.192	604.126	0.130	0.066	0.943	0.981	
B 6	"	"	"	"	"	603.352	603.181	603.110	0.171	0.071	1.018		
B 7	600	5 ^{±0}	3 ⁰⁰	15 ^{±0}	330	602.615	602.539	602.462	0.076	0.076	1.092	0.881	
B 8	"	"	"	"	"	603.479	603.321	603.260	0.158	0.061	0.870		
C23	常温	—	—	—	—	603.461	—	603.275	—	0.186	3.916	3.790	10,583
C24	"	—	—	—	—	604.190	—	604.015	—	0.175	3.670		
C31	500	4 ^{±5}	4 ^{±5}	14 ^{±0}	130	604.370	604.350	604.230	0.020	0.120	2.521	2.335	
C32	"	"	"	"	"	603.011	602.902	602.800	0.109	0.102	2.150		
C35	550	3 ^{±0}	4 ^{±0}	15 ⁰⁰	100	603.136	603.004	602.933	0.132	0.071	1.583	1.507	
C36	"	"	"	"	"	903.768	603.710	603.644	0.058	0.066	1.432		
C33	600	2 ^{±5}	6 ^{±5}	15 ⁰⁰	100	603.780	603.735	603.715	0.045	0.020	0.423	0.423	
C34	"	"	"	"	"	603.326	603.224	603.204	0.122	0.020	0.424		

D 1	常溫	—	—	—	—	604.780	—	604.528	—	0.251	4.705	} 9,445
D 2	"	—	—	—	—	604.543	—	604.299	—	0.243	4.565	
D 3	500	3 ⁰⁰	5 ³⁰	15 ⁰⁰	230	603.656	603.565	603.489	0.091	0.076	14.428	
D 4	"	"	"	"	"	605.122	605.038	604.931	0.084	0.107	1.994	
D 5	550	2 ⁴⁰	6 ³⁰	15 ⁰⁰	180	605.018	604.896	604.837	0.122	0.058	1.093	
D 6	"	"	"	"	"	603.436	603.321	603.250	0.114	0.071	1.334	
D 7	600	3 ⁴⁵	4 ¹⁵	14 ³⁰	30	604.751	604.596	604.568	0.155	0.081	0.523	
D 8	—	"	"	"	"	604.624	604.467	604.431	0.157	0.035	0.665	

表 7

鑄鐵永久内應力と焼鈍温度との關係總括表

試料番號	化 學 成 分							彈性力率 kg/mm ²	永 久 内 應 力 Fig/mm ²						
	T.C	G.C	C.C	Si	Mn	P	S		燒鈍後						
									燒鈍前	200°C	300°C	400°C	500°C	550°C	600°C
A	3.09	2.22	0.77	1.93	1.00	0.15	0.075	6,301	2,051	—	—	—	*6 ^h 45'	6 ^h 30'	6 ^h 0'
B	2.90	2.24	0.66	1.88	0.85	0.17	0.077	7,206	2,838	—	—	—	6 ^h 30'	7 ^h 0	6 ^h 0'
C	2.95	2.15	0.85	1.72	0.58	0.22	0.080	10,583	3,790	7 ^h 0'	7 ^h 0'	5 ^h 30'	4 ^h 15'	4 ^h 50	6 ^h 15'
D	2.90	2.00	0.90	1.30	0.61	0.20	0.090	9,443	4,635	—	—	—	5 ^h 30'	6 ^h 30'	4 ^h 15'
													1.182	0.506	0.476
													0.799	0.981	0.881
										3.470	3.210	2.327	2.335	1.507	0.423
													1.711	1.213	0.598

備考 *6^h45'の如く記せるは六時間四十五分燒鈍温度に保持せしことを示す

永久内應力は試料二個の平均を示す

所見 600°Cに6^h0'以上燒鈍すれば永久内應力著しく減退せるを認む

表 8

鑄鐵(C材料) 燒鈍後に於ける緊張力試験成績

燒鈍温度	常溫	200°C	300°C	400°C	500°C	550°C	600°C
最高緊張力 (一平方耗に付)	23.27	23.45	28.04	25.58	26.15	25.05	25.03
	24.69	23.27	24.82	25.11	26.86	25.85	24.98
	23.51	23.46	27.55	22.83	26.68	26.78	—
	25.56	20.63	20.73	24.51	20.69	25.44	—
	21.19	24.29	19.53	23.99	19.26	27.92	—
	28.17	23.25	24.94	24.04	21.09	29.01	—
	24.30	23.73	23.58	—	—	—	—
	21.16	—	22.65	—	—	—	—
	26.06	—	—	—	—	—	—
	26.49	—	—	—	—	—	—
平均值	24.44	23.15	23.96	24.26	23.46	25.05	25.00

燒鈍と強度變化との關係

燒鈍に依り材質に變化を及ぼすや否かを見る爲め Fig. 4 に示す試験材(C材試験番號C₁乃至C₃₄)を各温度に燒鈍したる後其兩端の小なる棒より抗張力試験片を採り試験を行ひたる結果は表8に示す通りにして 550°Cに於て4乃至5時間 600°Cに於て6時間燒鈍したるものも別に強力減退したる形跡なきのみならず却て幾分増加せる傾向あり顯微鏡検査に於ても組織に殆んど變化がない即ち「パーライ

ト」又は「セメントイト」の分解等を起したる形跡を認めない。

鑄鐵の焼鈍と材質の變化に就ては E. Schütz 氏 (E. Schütz Stahl u. Eisen Sep. 1922) の實驗に依れば T.C. 3.56 G.C. 3.06 C.C. 0.5 Si 2.26 Mn. 0.56 P. 0.38 S. 0.112 の成分を有する鑄鐵を 24 時間焼鈍すれば 500°C より 6 時間焼鈍すれば 550°C より 3 時間焼鈍すれば 575°C より夫々硬度を減じ組織も變化する即ち「パーライト」の形狀破壊され、全炭素量は焼鈍温度の高くなるに従ひ減少し化合炭素が 500°C より著しく減少し黒鉛炭素が増加す其の増減の割合は硬度の減少に比例す」尤も此實驗の試験材は常温に於て内應力を有せしや否やは疑問なり多分普通の鑄造方法にて單に試験材を製造せられたるものとすれば特に内應力を有するものとは

認められない然るに著者の實驗したるものは特に壓縮應力を有せしめたるものを其儘焼鈍に依て其應力を除去したるものなるが爲めに幾分強力に善影響を與へたるにあらずや又著者の實驗に於て 550°C 乃至 600°C に於て 6 時間焼鈍せるも、組織に變化を認めざりしは兩者間に化學成分殊に炭素量に於て非常に異りたる結果に歸するのでないかと考へらる。然し此焼鈍に依て材質を變化し強度を減ずることあれば最も注意すべき事項であるから大事を取り 550°C にて 6 時間を保持し充分徐冷をなす焼鈍法を採用し今日迄澤山の試験をなしたる成績を綜合するに強度の減退したるものと認むる點はありませぬ。

500°C 600°C に於ける長的時間焼鈍試験

鑄鐵を 500°C 及び 600°C に於て長時間焼鈍試験をなしたることがありますが之れは右の問題に直接關係があるので御參考迄に茲に御覽に入れます。

Fig. 8

鑄鐵永久應力と焼鈍温度の關係

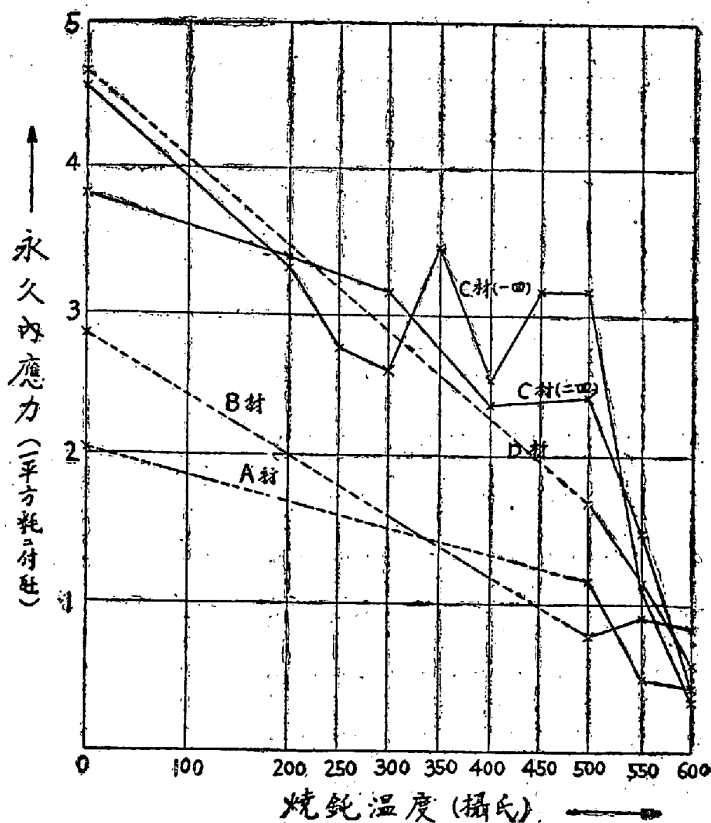
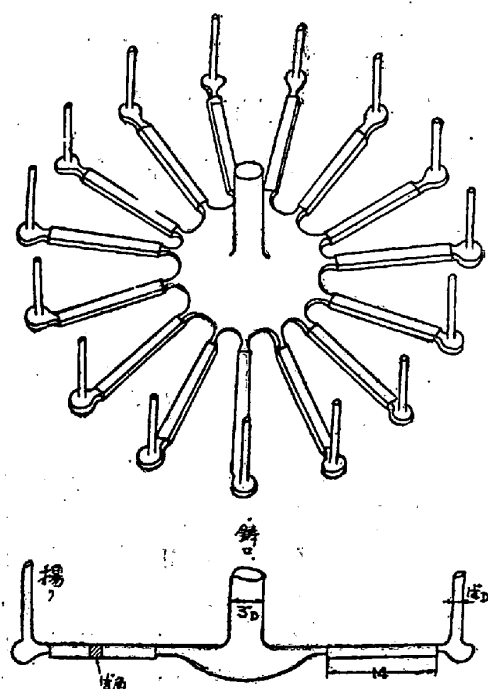


Fig. 9

試験材鑄込圖



試験材はFig. 9の如き形にて多數同時に同じ状態にて鑄込材質の不同を避け同一鑄込材にて同一温度の焼鈍をなし(焼鈍時間は晝間10時間精確に規定温度を保持せし夜間は加熱を止め其儘になしおきたる状態にて焼鈍を繼續せり)、各期間に於て其強度を試験をなしたる結果は 500°C にては表9 Fig. 10 に示す通りにて4週間焼鈍するも抗張力は餘り變化なきも横折試験及び硬度は幾分減退す。600°C にては表 10 Fig. 11 に示す通り 2 週間位にて強度硬度共に著しく減退す。組織も檢鏡に依れば 600°C 焼鈍のものは1週間位にて「パーライト」分解を始め「ラミネーション」の「パーライト」は極く稀になり3週間焼鈍せるものは「セメンタイト」と「フェライト」に分れ「セメンタイト」は更に「フリ、カーボン」となり幾分は焼失し残りは「グラファイト」とな

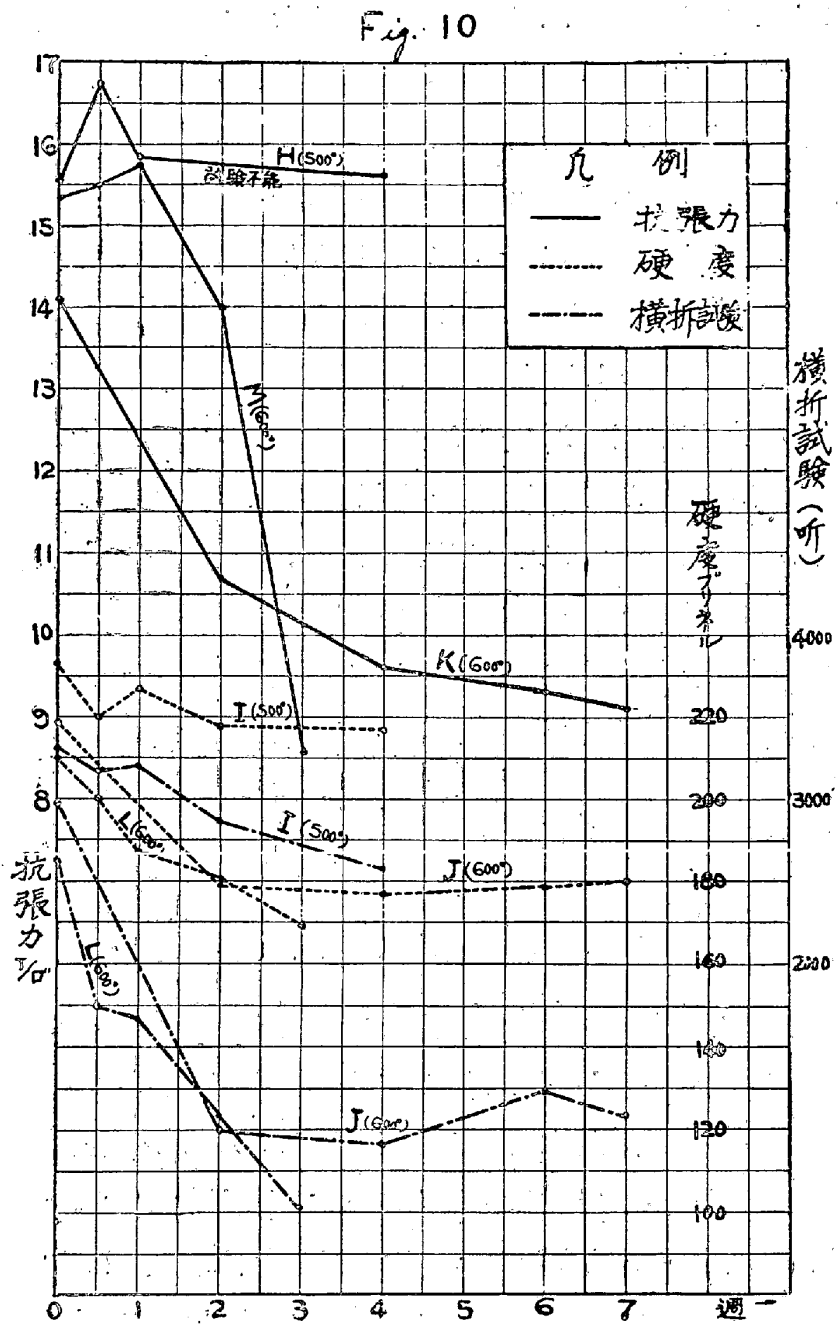


表 9

500°C 焼鈍試験成績

抗張力試験				横折試験					
試験 番號	試験材 大 小	焼鈍時間	抗張力 T/σ"	試験 番號	試験材 大 小	焼鈍時間	破断力 听	撓量 (1/64 單位) 長さ 1 呎に對し	硬 度 ブリネル
H 1	徑 0.564"	常 温	14.328	I 1	1" 角 × 1'-0"	常 温	3858	12.2	207
H 2	"	常 温	16.728	I 2	"	常 温	3836	12.4	217
H 3	"	3 日	鑄巢あり	I 3	"	3 日	3395	10	208
H 4	"	3 日	16.800	I 4	"	3 日	3616	10	207
H 5	"	1 週間	鑄巢あり	I 5	"	1 週間	3682	11	210
H 6	"	1 週間	15.800	I 6	"	1 週間	3682	11	209

H 7	"	2週間	鑄巢あり	I 7	"	2週間	3483	9	188
H 8	"	2週間	鑄巢あり	I 8	"	2週間	3439	1.1	202
H 9	"	4週間	14.500	I 9	"	4週間	3307	1.2	200
H10	"	4週間	16.800	I10	"	4週間	3461	1.2	171

表 10

600°C 焼鈍試験成績

抗張力試験				横折試験				撓量($\frac{1''}{64}$ 単位) 長さ1呎に對し	硬 度 ブリネル
試験 番號	試験材の 大 小	焼鈍時間	抗張力 T/ロ"	試験 番號	試験材の大小	焼鈍時間	破斷力磅		
K. 1.	徑0.564"	常 温	13.760	J. 1.	1''角×1'-0''	常 温	3375	7.3	197
K. 2.	"	常 温	14.600	J. 2.	"	常 温	3580	6.8	200
K. 3.	"	2週間	10.200	J. 3.	"	2週間	2340	11.3	118
K. 4.	"	2週間	11.200	J. 4.	"	2週間	2610	13.6	121
K. 5.	"	4週間	9.600	J. 5.	"	4週間	2360	13.6	113
K. 6.	"	4週間	9.620	J. 6.	"	4週間	2470	12.6	120
K. 7.	"	6週間	9.180	J. 7.	"	6週間	2477	12.6	126
K. 8.	"	6週間	9.520	J. 8.	"	6週間	2430	11.3	132
K. 9.	"	7週間	9.212	J. 9.	"	7週間	2425	12	116
K.10.	"	7週間	8.932	J.10.	"	7週間	2514	13	130
M. 1.	"	常 温	15.400	L. 1.	"	常 温	3241	11	185
M. 2.	"	常 温	15.200	L. 2.	"	常 温	3329	11	187
M. 3.	"	3 日	15.360	L. 3.	"	3 日	3164	11	172
M. 4.	"	3 日	15.640	L. 4.	"	3 日	2822	14	129
M. 5.	"	1週間	16.280	L. 5.	"	1週間	2734	12	143
M. 6.	"	1週間	15.280	L. 6.	"	1週間	2623	11	151
M. 7.	"	2週間	12.400	L. 7.	"	2週間	2502	12	124
M. 8.	"	2週間	15.600	L. 8.	"	2週間	2524	13	126
M. 9.	"	3週間	8.680	L. 9.	"	3週間	2244	37	115
M.10.	"	3週間	8.720	L.10.	"	3週間	2200	30	100

り残留し「パーライト」地は「フェライト」地に變化せるを認めらるゝ又 500°C に焼鈍せるものは其現象弱く2週間のもの「パーライト」に變化を來し始めるを見る其等の状態は Fig. 11 乃至 Fig. 16 の寫真にて能く窺はるゝ此の如く 500°C と 600°C とは結果に於て格段の差異あることは焼鈍温度決定上には大に考慮を要する點と思ひます。

焼鈍と鑄物變形との關係

鑄造應力を去る爲めに鑄物を焼鈍して變形を生ずることは止むを得ざることにして此變形の原因に其内應力除去に因るものと鑄物自身の重さに因るものとの二種あると思ひます鑄物焼鈍に於て最も恐るゝは之の變形にて假令内應力は除去さるゝも其變形大なれば使用に適せざる様になるので充分研究し置く可きものと思ひます、前者に依る變形は鑄物を焼鈍する際各部分に於て同時に彈性變形より粘

鑄鐵燒鈍試驗片之顯微鏡寫眞

Fig. 11
M材(M2)常溫 ×750



Fig. 14
I材(I¹)常溫 ×750

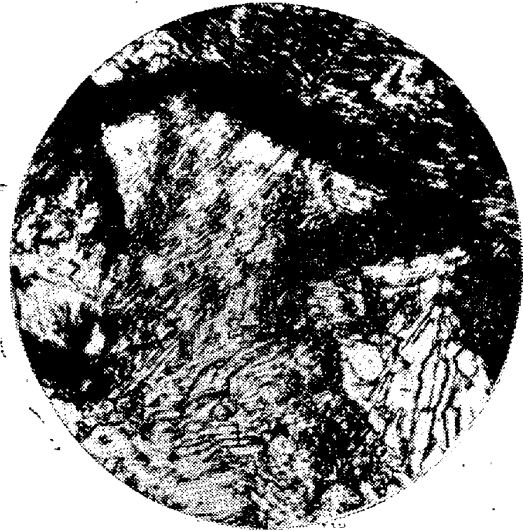


Fig. 12 ×750
M材(M6) 600°Cにて一週間燒鈍のもの

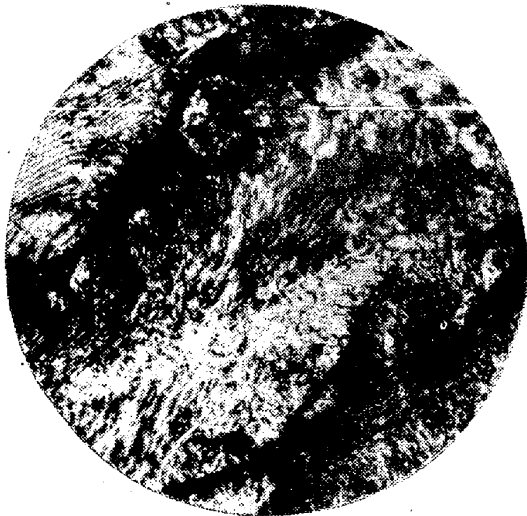


Fig. 15 ×750
I材(I⁸) 500°二週間燒鈍のもの

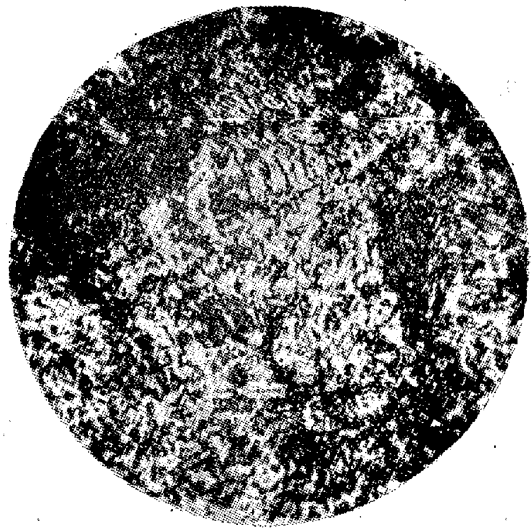
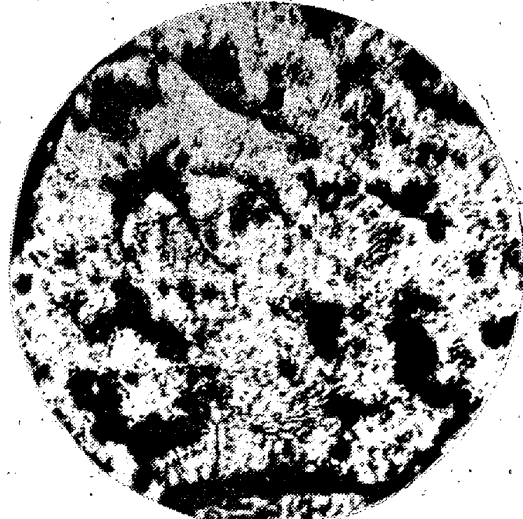


Fig. 13 ×750
M材(M9) 600°Cにて三週間燒鈍のもの



Fig. 16 ×750
I材(I¹⁰) 500°Cにて四週間燒鈍のもの



性變形に變るものに非ず内應力高き部分が早く滑走面を生ずる故に茲に内應力の平衡は破らるゝ爲め鑄物全體は變形をなし應力の平衡を保つに至るのであります後者に依る變形は燒鈍の際の鑄物の置き方其重量を支持する方法及び溫度上昇の狀況等に依て大に異なる結果を來す可きも鑄物の重量の爲めに變形することを防ぎ可成各部を膨脹又は收縮に對し自由になる様に注意すれば左程大ならず實用上差支なき程度に止むることが出來ると思ひます。内應力除去に依る變形を前述の鑄造應力測定試験成績表2表3に於て見るに L_1-L_2 の 500°C の平均値は 606 耗に對し約 0.051 耗にして 550°C 及び 600°C の平均値は約 0.089 耗である故に加熱して内應力を多く去れば去る程其の爲めに生ずる變形量は大である。

實物燒鈍試験

鑄鐵鑄物を鑄造應力除去の目的にて 600°C 以下に燒鈍するに用ゆる火爐は同溫度迄均一に徐々に溫度を上昇することを得て冷却に際し極々徐冷の出來るものなれば如何なる型式のものにても宜敷からんと思ふ普通の鑄型乾燥爐の如きものにても 550°C 位迄上昇し得るものなれば其れを利用し得るも普通の乾燥爐は扉は鐵製のものが多くて徐冷に不適當かと思はるゝ全部煉瓦壁にて圍みたる爐なれば都合宜敷く普通の鋼鑄物の「アンニリングファネス」を利用するも宜敷からんと思ひます若し此等の設備なき機械工場に於ては屋外に簡單なる煉瓦壁の圍を作り急に冷却せざる丈けの設備があれば差支なく加熱の方法は石炭「ヨークス」又は瓦斯何れを使用するも宜敷からん但し爐の各部を可成一様の溫度に保ち得るものが望ましいものであります。

著者の實驗したる爐は Fig. 17 に示す石炭又は瓦斯兩機使用し得るものにして鋼鑄物燒鈍用のものであります即ち溫度の上昇には石炭を用ひ或る一定の溫度を保つには瓦斯を使用する計畫のものであります但し實驗の結果に依れば瓦斯を使用せずとも石炭焚火及び空氣の加減に依て一定の溫度を保持すること容易なる爲め通常は瓦斯を使用せず溫度を前後中央の3ヶ所にて計測し焚火を加減します溫度の計測には自動自記溫度計(ブラウン社製)を附して溫度の變化を測定してをります。

右の燒鈍爐を使用し Fig. 18 Fig. 19 の如き「タービンケーシング」を荒仕上後に燒鈍して其變形の狀況を計測した成績は同圖に記入せる通り極く謹少にて使用上何等差支なき程であります其燒鈍溫度 600°C 迄上昇に要せし時間は約2時間 600°C に7時間保持し徐々に冷却し19時間の後に於て開扉冷却をしました。此實驗に於て Fig. 19 に示す AB の寸法の變形が意外に多かりしは AB は餘り自由に膨脹させる時は變形甚だしかる可しと誤解し燒鈍の際は AB が膨脹せざる様に煉瓦にて兩端を外部より支へ置きたる爲めにして若し重量丈け中央にて支へ自由になして置けば斯る變形は起らなかつたと信じます此等の點は充分注意を要することと思ひます。

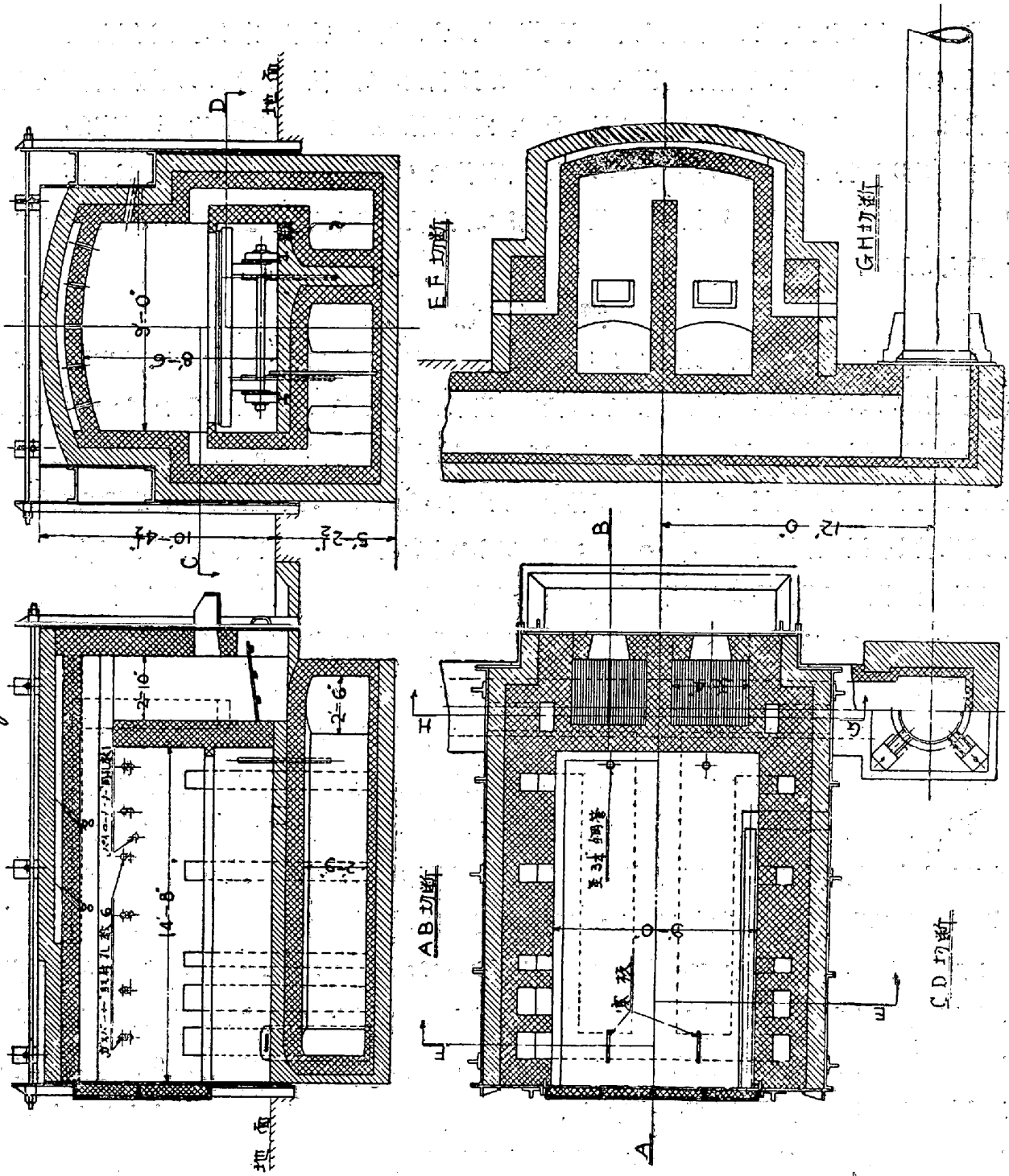
結 論

以上の實驗より得たる結論として次の諸條項を擧げることが出來る。

- (1) 鑄鐵鑄物の内應力は割合低き溫度例へば 200°C の燒鈍にても相當に除去することが出來る。

燒鈍爐

Fig 17



(2) 大部分の内應力を除去する爲めには普通 550°C 乃至 600°C に 10 時間乃至 6 時間保ち焼鈍し 2 晝夜以上を要して冷却すれば充分である 但し 強度との 關係もあれば 600°C を超過すること又 600°C 附近にて長時間の焼鈍は避けねばならぬ普通厚さ 1" 乃至 2" 位迄の鑄物に於ては温度の上昇に 6 時間 550°C に於て 6 時間保持し 150°C 迄冷却するに 72 時間を要する焼鈍法は最も適當と思惟せらる。

(3) 普通鑄鐵鑄物にありては此焼鈍温度は化學的成分に依て變化する必要はない。

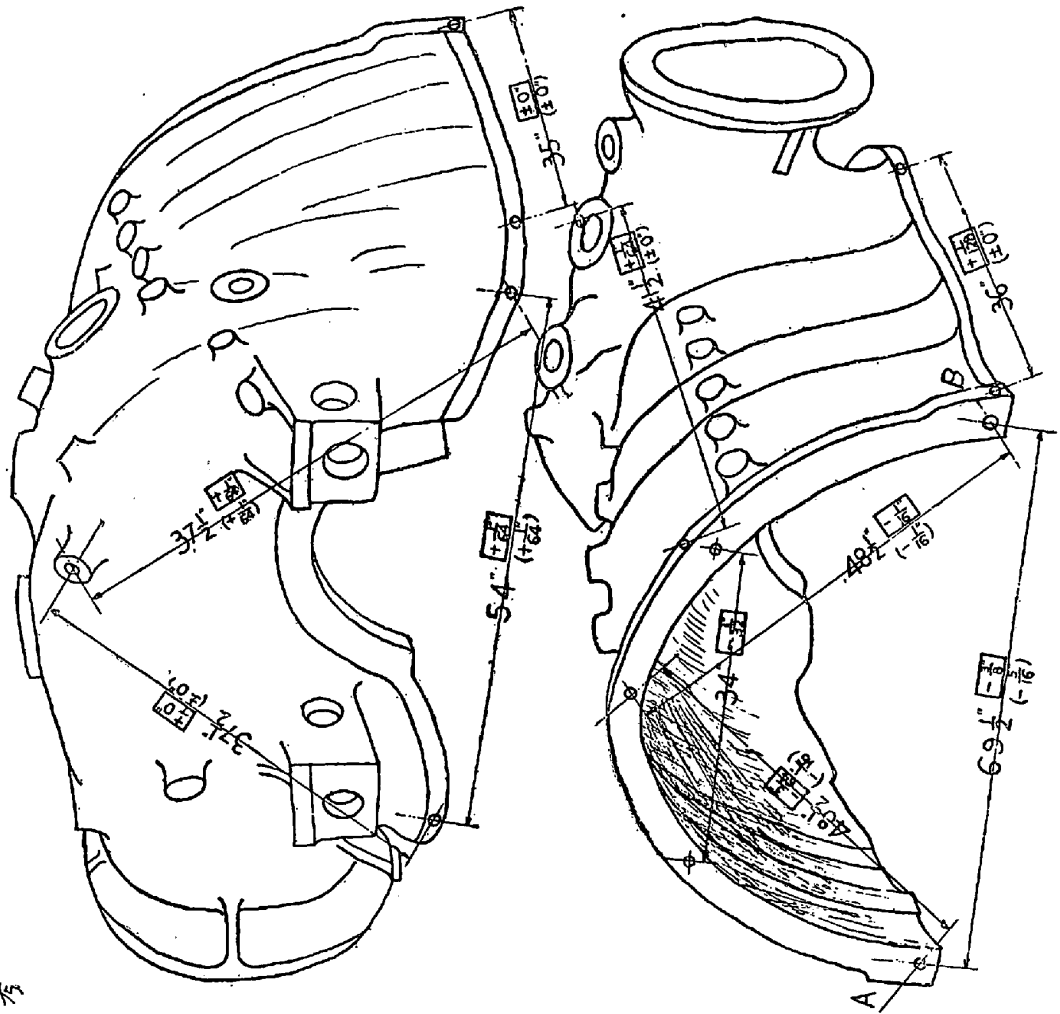
(4) 此焼鈍温度にては鑄物の變形は餘り大ならず實用に差支なき程度である。

(5) 鑄物の焼鈍に依る變形は内應力を多く除去する程大である。

(6) 鑄物は 600°C 以下にて内應力を除去するに必要な時間位焼鈍することに依り強度を失ふことはない但し 600°C にても長く焼鈍すれば減少する。

以上は私の實驗しました結果と愚見を臆面なく御話致し此種の御研究又は御調査をされておる諸君より御教示に預りたいと考へを有りの儘持ち出しましたから、どうか宜敷御願ひ致します終りに臨み長く御清聴を煩はしたることを諸君に感謝すると共に此機會に於て本實驗に際し直接計測其他を擔任された理學士田崎正浩君及其他本研究に助力せられたる諸君に對し感謝の意を表します。

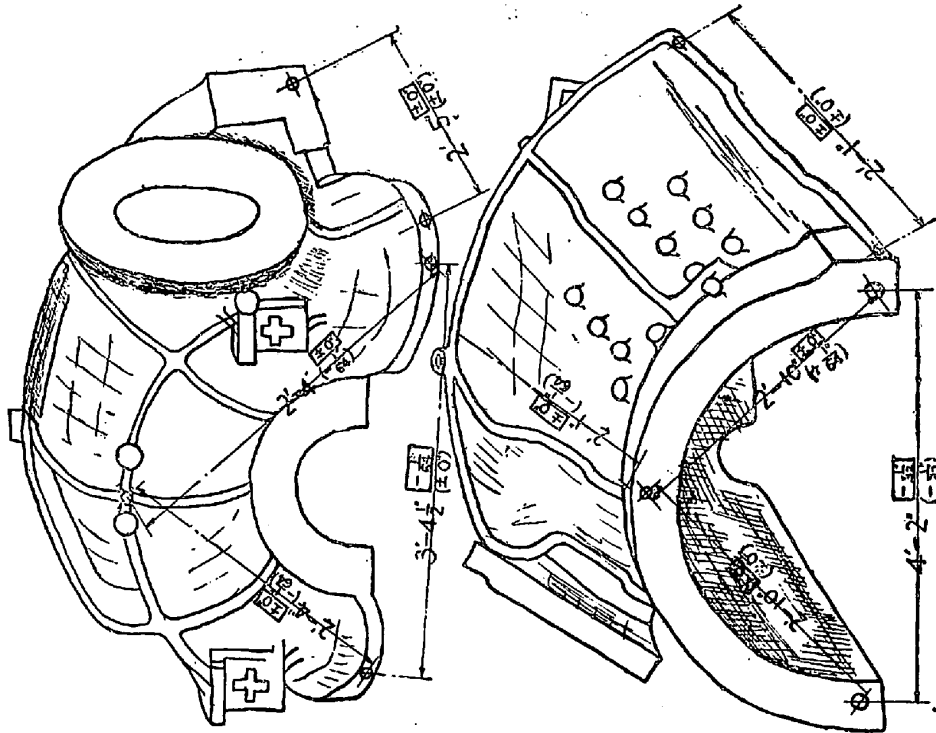
Fig. 19.



備考

第一回試験に於てA B間収縮量大ナル。A及B部ト妙ト、間ニ煉瓦ヲ置キ温度上昇ニ際シ変形ヲ防止スル爲メ自由ニ膨脹シ妨ガレシ結果ト記シテ第二回試験ニ在リテ其部ト伸長スル

Fig. 18.



備考

第一回試験ハ焼鈍温度600°C 焼鈍時間6時間後
徐冷シテ要形ヲ測定ス。変形ハ□ヲ以示ス。
第二回試験ハ第一回試験後其體之ヲ亦550°C=7時間
加熱シテ冷卻後、要形ハ()ヲ以示シ一層初
期元寸法ヲ規準トスルモナリ。