

鼠鑄鐵の成長に就て(第3報)

(日本鐵鋼協會第16回講演大會講演昭和11年10月)

澤 村 宏*
山 本 次 郎*

GROWTH OF GREY CAST IRON.

Hiroshi Sawamura and Jiro Yamamoto.

SYNOPSIS:—The present investigation was carried out to make clear the relation between the growth of grey cast iron due to the abnormal expansion at Ar transformation and that due to the oxidation. Various kinds of dilatometer were used for this purpose. According to the authors' results, when grey cast iron is repeatedly heated at a high temperature in air, growth takes place principally due to the oxidation and the growth of this kinds is much larger than due to the abnormal expansion at Ar transformation.

It is acceptable that grey cast iron becomes susceptible to oxidation by passing through its Ar critical range, hence its growth is accelerated by the oxidation. The authors cannot, however, agree with the investigators who believe that the abnormal expansion at Ar transformation in a direct cause of growth in every case, the effect of oxidation being indirect.

緒 言

鼠鑄鐵を繰り返し加熱した場合に起る成長の原因に就ては従来幾多の學說が提出されてゐる 就中 Rujan and Carpenter¹⁾の酸化説は今日廣く信じられてゐる有力なる學說である

此の學說によれば鼠鑄鐵を酸化性雰圍氣中で加熱すると鐵及び之が含む珪素の酸化によつて鑄鐵内部に地金より比容積大なる以上の酸化物を生ずるが爲に鑄鐵が成長すると云ふのである

其後菊田博士²⁾は鼠鑄鐵の Ar₁ 變態に伴ふ膨脹が Ac₁ 變態に伴ふ收縮より大なる事實に基き新學說を發表した

此の學說を簡単に説明すると次の如くである

鼠鑄鐵を加熱して本多式熱膨脹計によつて試料に外氣が自由に接觸し得る様にして其の長さの變化を測定するとする 今加熱に際しセメントイトの黒鉛化が起らぬものと假定して熱膨脹曲線を求めると普通の場合第1圖 a b c d e f g となる b c は Ac₁ 變態に伴ふ收縮 e f は Ar₁ 變態に伴ふ膨脹である 曲線 f g は曲線 a b に殆んど平行となる故試料は第1回加熱の後尺度上 [G] だけ成長した事になる 此の [G] は主に次の2つの原因によ

つて生じたものである

1) Ar₁ 變態に伴ふ膨脹量が Ac₁ 變態に伴ふ收縮量より大なる事

2) Ac₁ 點以上の溫度範圍に於ける鑄鐵の膨脹係数が Ar₁ 點迄の溫度範圍に於ける鑄鐵の收縮係數

より大なる事 此が爲に曲線 d e は曲線 c d に一致せずして其の上部に表はれる事 斯る現象は鑄鐵の酸化によつて鑄鐵内の龜裂或は空隙に酸化物が生ずる結果鑄鐵の收縮が妨げられる爲である

今鑄鐵内部の酸化が起らなければ曲線 d e が曲線 c d に略一致し他の部分に變化なきものとすれば全體の曲線は a b c d e' f' g' となるが故に圖上 [G] = [G₁] + [G₂] で [G₁] は第1原因による成長量 [G₂] は第2原因による成長量を表はす事になる

鑄鐵の加熱冷却を繰り返す毎に上の2つの原因による効果が現はれて來るので鑄鐵は次第に其の成長量を増す事になるのであるが之に對する第2原因の効果は第1原因のそれに比べて重要でない

Benédicks and Löfquist³⁾は菊田博士の實驗結果を

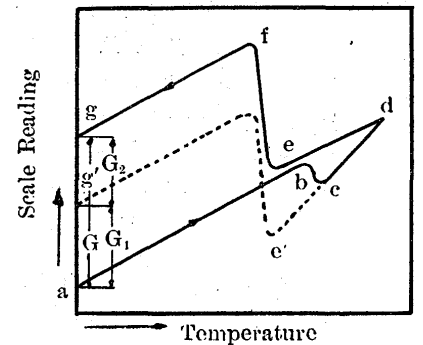
³⁾ Jour. Ir. St. Inst., (1927) I 603

* 京都帝國大學教授 ** 同研究員

¹⁾ Rujan and Carpenter: Jour. Ir. St. Inst., (1909) II 29; Carpenter: Jour. Ir. St. Inst., (1911) I 196

²⁾ Sci. Rept. Tohoku Imp. Univ., 9 (1922) 1; 鐵と鋼 20(昭10) 591

第 1 圖



基礎として鼠鑄鐵の A_1 變態に伴ふ異狀膨脹が其の成長の原因となる點を認め更に A_1 變態に伴ふ異狀膨脹のみならず一般に A_1 變態に伴ふ容積變化が地金の内部破壊 (internal bursting) を招來し材質の酸化を容易ならしめる事となる爲に結局は材質の酸化が成長の主なる原因となると論じてゐる 但し兩氏は酸化による成長の機構に就ては全く觸れて居ない

次に Piwowarsky⁴⁾ は從來の研究結果を吟味して其著書に次の如く述べてゐる

最初鼠鑄鐵を加熱冷却した場合に起る成長は遊離セメントait及びパーライト——セメントaitの分解に因る

其後加熱冷却を繰り返すと菊田博士或は Benedicks and Löfquist が説明したるが如き原因によつて材質疎となりて容易に酸化するが爲に成長が著しく起るものである

以上の諸學説によると鼠鑄鐵の變態に伴ふ非可逆的容積變化による成長と酸化による成長との間に密接なる關係が存在する様に考へられるのであるが著者が調査した範圍内では未だ此關係を明にした研究がないのである

返される場合に起る成長に対する種々の雰圍氣の影響に就て研究したのであるが本論文に於ては其後更に前述の問題に就て行つた研究結果を報告しやうと思ふ

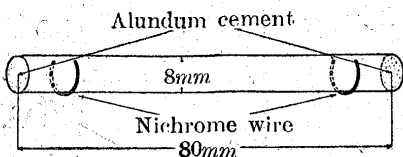
試料及實驗方法

本實驗に於ても主として前研究⁵⁾ に用ひたる真空熱膨脹計⁷⁾ 瓦斯熱膨脹計⁸⁾ 空氣熱膨脹計⁹⁾ を利用して實驗を行つた

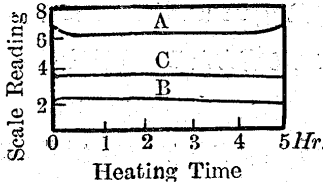
試料は直徑約 40 mm 長さ約 300 mm の砂型に鑄造せる鼠鑄鐵より採りたるもので直徑 8 mm 長さ 80 mm の丸棒である 其組織は何れも寫眞 1 に示す様に基質が全部パーライトより成てゐる 其成分は第 1 表の如くである

尙試料を空氣熱膨脹計中にて加熱すると其表面に生ずるスケールが試料を入れたる石英管に固着する怖があるので本實驗に於ては特に之を防ぐ爲に第 2 圖の如く試料の兩端に薄くアラウンドムセメントを塗布し又試料の兩端近くをニクロム線を以て巻き試料を直接石英管に接觸せしめない様に注意した

第 2 圖

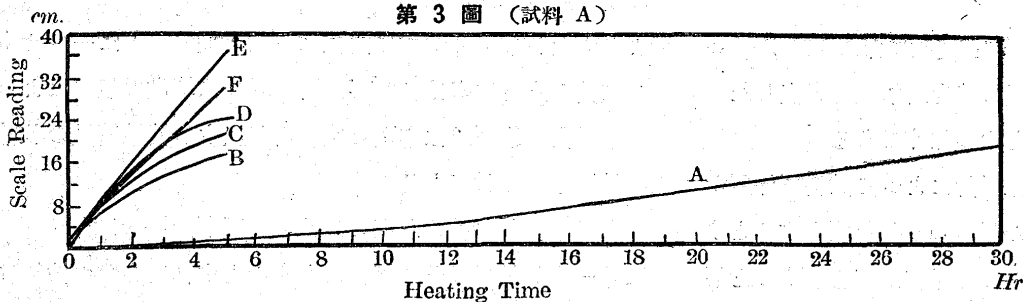


第 4 圖



A: 試料 J (炭素鋼) 950°C 加熱
B: 試料 K (珪素鋼) 900°C 加熱
C: 試料 K (珪素鋼) 950°C 加熱

第 3 圖 (試料 A)



A: 鑄造の儘, 900°C 加熱
B: 鑄造の儘, 950°C 加熱
C: " 980°C 加熱
D: " 1,000°C 加熱
E: " 1,050°C 加熱
F: 豫め加熱せるもの, 900°C 加熱

從て鑄鐵の成長に對し上述の二原因の效果の内何れが大であるか 又工業的に何れが重要であるかと云ふ問題が甚だ不明瞭に残されてゐる

著者^{5) 9)} は曩に鑄鐵の加熱が其 A_1 點を上下して繰り返

實驗に用ひた種々の瓦斯の製作方法並に其淨化方法は何れも前實驗に於けると全く同様であるので其説明を省略する 尙必要に應じ比重測定或は熱天秤實驗 顯微鏡試驗をも行つた

又本實驗に於ける試料の加熱及冷却速度は約 7°C/min である

鑄造の儘の試料の空氣中高温度に於ける成長

試料 A を空氣熱膨脹計に裝置し種々の高温度迄加熱

し 同温度を一定に保持して空氣中に於ける試料の成長を測定した 其結果は第 3 圖の如くである

此結果によると鑄造の儘の試料 A を空氣中に於て高温度に長時間加熱すると 900°C に於ては幾分は膨脹するが

⁴⁾ Hochwertiger Grauguss (1929) 321

⁵⁾ Anivers. Vol. Sci. Rept., Tohoku Imp. Univ. dedic. to Prof. K. Honda, Series I (1936) 899

⁹⁾ 水曜會誌 9 (1936) 31

⁷⁾ 著者論文, ⁸⁾ 附圖 3

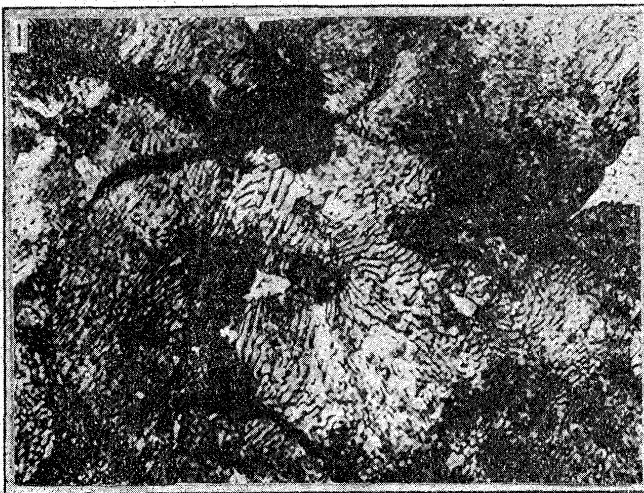
⁸⁾ 同 附圖 7

⁹⁾ 同 附圖 14

第 1 表

試料番號	成分 (%)						
	T.C	C.C	Si	P	Mn	S	
鑄鐵	A	3.59	0.72	1.89	0.40	0.58	0.065
	B	3.33	0.72	2.12	0.37	0.64	0.064
	C	3.31	0.59	1.95	0.21	0.74	0.067
	D	3.40	0.75	1.97	0.32	0.56	0.078
	E	3.36	0.72	1.83	0.25	0.54	0.065
	F	3.34	0.63	2.22	0.34	0.66	0.071
	G	3.16	0.75	1.87	0.23	0.71	0.074
	H	3.38	0.71	2.11	0.35	0.68	0.072
鋼	J	0.016	—	0.03	0.003	0.04	0.011
	K	0.04	—	3.90	0.014	0.07	0.014

寫眞 1 試料 A 鑄造の儘 ×500



30 時間加熱するも其成長量は僅である 900°C 以上になると加熱温度高くなるに従ひ其成長量が増加する

第 4 圖は第 1 表に示す成分を有する低炭素鋼及珪素鋼の試料 J 及 K を鑄鐵試料と同一條件の下に於て 900°C 及 950°C に加熱して其成長を測定した結果である 何れの試料に於ても斯る條件の下に於ては殆んど成長しない事が知られる

尚上と同一の鑄鐵試料を一度豫め空氣中に於て 900°C 迄加熱し 直ちに室溫迄冷却したる後之を上と同一方法によつて其成長を測定すると第 3 圖曲線 F に示す如く豫め斯る熱處理を施したる試料は鑄造の儘の試料に比べて著しく成長する事實が確められた

成長の絶対測定値は試料の種類により異なるのであるが上述の相對的關係は試料の種類に關係なく常に認められるのである

空氣中 900°C に於ける成長に及ぼす 種々の豫備熱處理の影響

眞空及空氣中に於ける豫備加熱温度の影響

i) 豫め眞空にて加熱せる試料 試料 B を眞空熱膨脹

計に裝置して眞空中に於て種々の温度に迄加熱したる後直ちに室溫迄冷却した 本研究を通じ眞空中に於ける實驗はすべて眞空度 0.001-0.00001 mm Hg となつて後始めて試料の加熱を始める事とした 次に斯く豫備熱處理せる試料を空氣熱膨脹計によつて 900°C 迄加熱し 同温度を一定に保持して其間に於ける成長を測定した

ii) 豫め空氣中に於て加熱せる試料 試料 B に就き空氣熱膨脹計を用ひ眞空中に於けると同様の豫備熱處理を行ひたる後空氣中 900°C に於ける成長を測定した

iii) 實驗結果 第 5 圖は試料を眞空中で豫備熱處理を行つた場合の加熱及冷却曲線を示す 空氣中に於て豫備熱處理を行つた場合の曲線は上と略同様な故之を省略する事とした 第 6 圖は豫備熱處理を行つた試料の空氣中 900°C に於ける成長を示してゐる 尚第 7 圖は原試料の豫備熱處理による比重減少率及豫備熱處理せる試料の空氣中 900°C に於ける 2 時間加熱による比重減少率を示す

第 5 圖に於て 700°C 迄豫備加熱せる試料の曲線 (a) に幾分の膨脹が現はれてゐるがこれは試料の黒鉛化に關係なく 加熱速度相當大なりし爲に起りたる試料の温度測定誤差に因るものである 800°C 迄豫備加熱せる試料にはパーライト-セメントイトの黒鉛化が起つた事は第 5 圖及第 7 圖から推知される 又第 5 圖に於て 1,095°C 迄豫備加熱せる試料の加熱曲線 (f) に約 1,070°C より收縮が現はれてゐるがこれは Steadite の熔融に基くものであらう

以上の實驗結果より次の事實が知られる

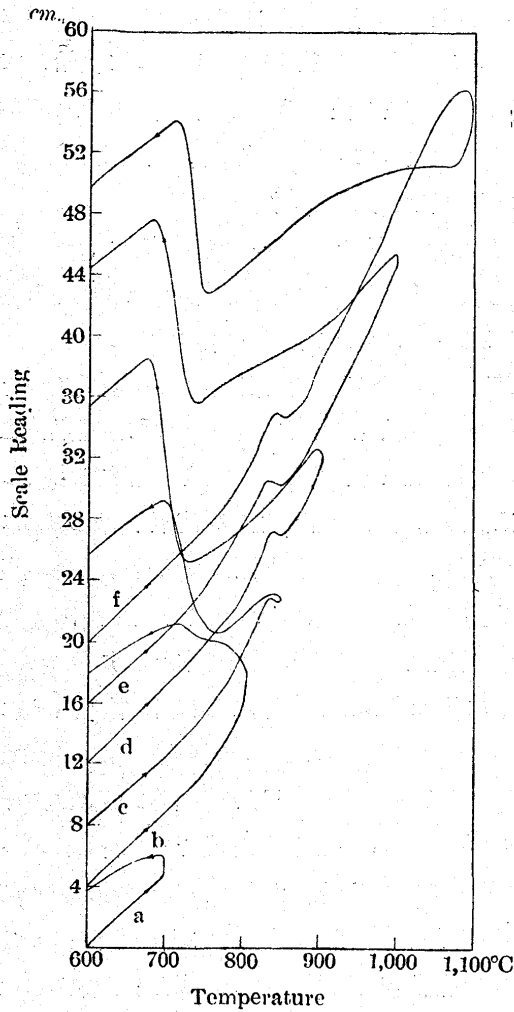
第 7 圖から見ると豫備熱處理による比重減少量は加熱温度が高い程大である

豫備熱處理せる試料の空氣中 900°C に於ける成長量に就ては 700°C に豫備加熱せる試料は極めて小であるが A_{c1} 點以上の温度に豫備加熱せる試料は著しく大である 而して約 900°C に豫備加熱せる試料が最大で豫備加熱温度が更に高くなる程小となる 此事實を更に確むる爲試料 C を採り眞空中にて豫備熱處理を行ひ試料 B と同様の實驗を行つたのであるが第 6 圖に示す如く上と全く同一の結果が得られた

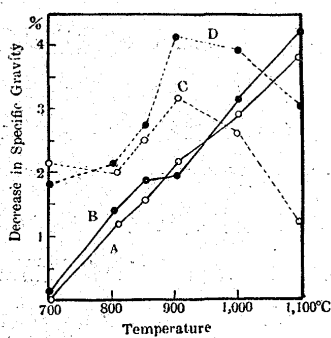
種々の雰圍氣中に於ける豫備加熱の影響 試料 C を豫め眞空 CO_2 中に於て 900°C 迄加熱し直ちに室溫迄冷却したる後之を空氣熱膨脹計に裝置し空氣中 900°C 迄加熱し同温度を一定に保持して其間に於ける成長を測定した

前研究の結果に従へば眞空 CO_2 及 H_2 中で鼠鑄鐵を加

第 5 圖 (試料B真空加熱)



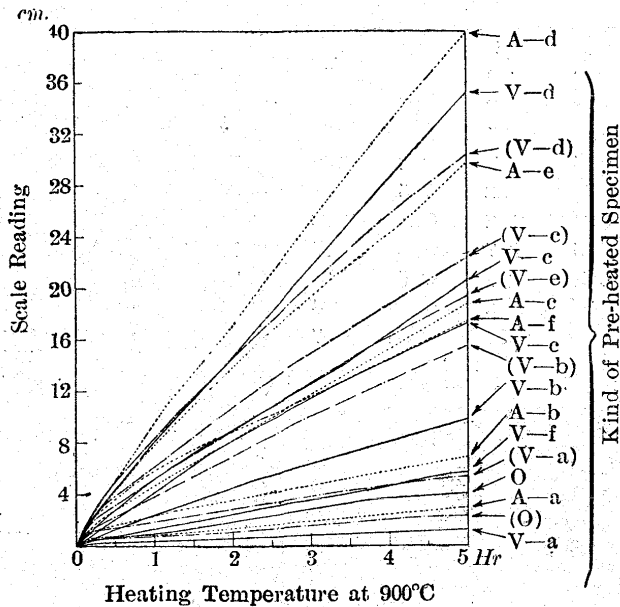
第 7 圖 (試料B)



- A: 真空中豫備加熱後鑄造の儘の試料に對する減少率
- B: 空氣中豫備加熱後鑄造の儘の試料に對する減少率
- C: 真空中にて豫備加熱せる試料の空氣中5時間加熱後豫備加熱せる試料に對する減少率
- D: 空氣中にて豫備加熱せる試料の空氣中5時間加熱後豫備加熱せる試料に對する減少率

熱する時 其第 1 回冷却の際に起る Ar_1 變態に伴ふ試料の膨脹は真空中に於て最も大で CO 中に於て之に亞ぎ

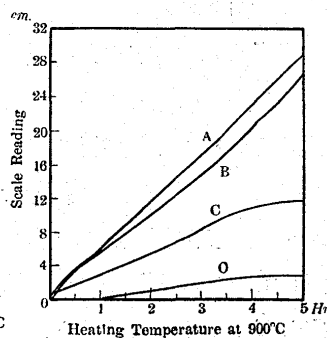
第 6 圖



第 6 圖の說明

試料 B			試料 E	
鑄造の儘	真空中加熱	空氣中加熱	鑄造の儘	真空中加熱
O:—	V-a:700°C	A-a:700°C	(O):—	(V-a):700°C
	V-b:805°C	A-b:800°C		(V-b):800°C
	V-c:853°C	A-c:850°C		(V-c):860°C
	V-d:905°C	A-d:900°C		(V-d):920°C
	V-e:1,000°C	A-e:1,000°C		(V-e):1,000°C
	V-f:1,095°C	A-f:1,100°C		

第 8 圖 (試料C)



- A: 真空中にて豫備加熱せる試料
- B: CO " "
- C: H_2 " "
- O: 鑄造の儘の試料

於ける成長に對し豫め試料に起りたる Ar_1 變態が著しく影響する事實が知られるのである

尙第 8 圖を見ると原試料の成長量より豫め H_2 中で加熱した試料の成長量が遙に大である H_2 中に於て試料を豫備熱處理したる場合に起りたる Ar_1 變態に伴ふ膨脹量は前述の如く極めて小であるので此現象は試料が豫め H_2 中に於て加熱及冷却せられる間に連續的に膨脹收縮したと云ふ事實に基くものであると考へられる 即ち異狀膨脹或は異狀收縮を伴はざる試料の加熱或は冷却も亦空氣中に於ける成長に可なりの影響を與へる事が豫想せられるのである

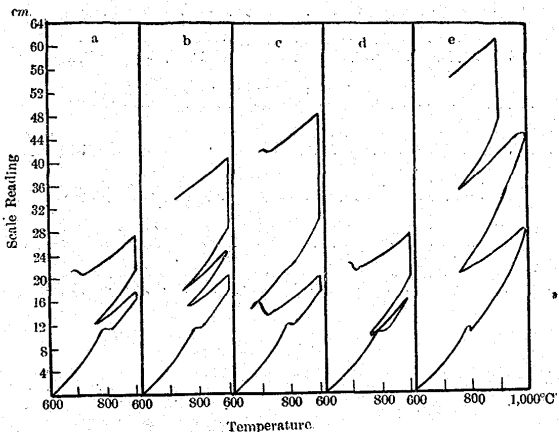
其他の種々豫備熱處理の影響 先づ試料 D を採り之を空氣熱膨脹計に裝置して豫め次の如き種々の方法を以て加熱し最後には $900^\circ C$ を一定に保持して其間に於ける成長を測定し之に對する豫備加熱方法の影響を調べた

- a) $900^\circ C$ 迄加熱→ $900^\circ C$ 3 時間保持→ $750^\circ C$ 迄冷却 (Ar_1 點迄降下せず)→ $900^\circ C$ 迄加熱 同温度 5 時間保持

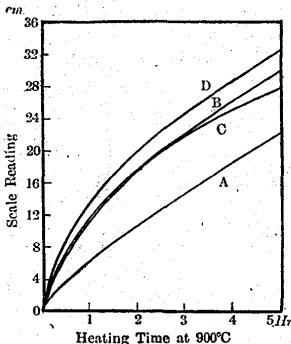
H_2 中に於ては真空中及 CO 中に於けるより遙に小であるので此現象が豫備加熱後に行ふ空氣中 $900^\circ C$ 加熱に於ける成長に如何に影響するかを見る爲に此實驗を行たのである 實驗の結果は第 8 圖に示す如くである

此結果によると空氣中 $900^\circ C$ に於ける試料の成長量は豫備熱處理の場合に起りたる Ar_1 變態に伴ふ膨脹が大なる程大となつてゐる 即ち試料の空氣中に

第 9 圖 (試料 D)

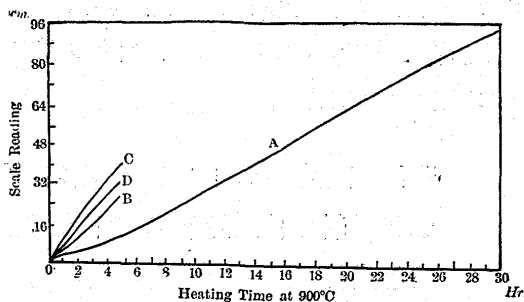


第 10 圖-1 (試料 E)



A: 真空中豫備加熱 1 回
 B: " 3 "
 C: " 6 "
 D: " 9 "

第 10 圖-2 (試料 F)



A: 空氣中豫備加熱 1 回
 B: " 5 "
 C: " 10 "
 D: " 20 "

- b) 900°C 迄加熱→900°C 3 時間保持→750°C 迄冷却 (Ar₁ 點迄降下せず)→900°C 迄加熱→750°C 迄冷却 (Ar₁ 點迄降下せず)→900°C 迄加熱 同溫度 5 時間保持
- c) 900°C 迄加熱→900°C 3 時間保持→675°C 迄冷却 (Ar₁ 變態終了)→900°C 迄加熱 同溫度 5 時間保持
- d) 900°C 迄加熱→750°C 迄冷却 (Ar₁ 點迄降下せず)→900°C 迄加熱 同溫度 5 時間保持
- e) 1,000°C 迄加熱→750°C 迄冷却 (Ar₁ 點迄降下せず)→1,000°C 迄加熱→750°C 迄冷却 (Ar₁ 點迄降下せず)→900°C 迄加熱 同溫度 5 時間保持

實驗結果は夫々第 9 圖 a—e の如くである

此結果によつて次の如き種々の事實が知られる 即ち

1) a 圖及 d 圖を比較して明なる如く試料を a 圖に於ける如く豫め 900°C に於て 3 時間保持するも又 d 圖に於ける如くに保持しなくても最後の 900°C に於ける 5 時間の成長量は殆んど變りがない

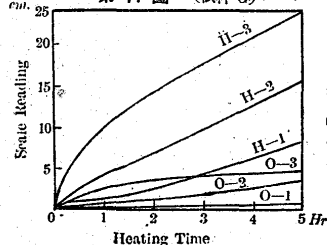
2) b 圖及 e 圖を a 圖及 d 圖に比較して知られる様に試料に豫め Ar₁ 變態が起らなくとも試料は單に異狀膨脹或は收縮を伴はざる加熱冷却が繰り返されるのみで空氣中に於て著しく成長し易き状態となる

3) c 圖を a 圖に比較して明なる如く試料が豫め其 Ar₁ 變態に伴ひ異狀膨脹を起すと空氣中に於て著しく成長し易き状態となる

次に試料 E 及 F を採り豫め夫々真空熱膨脹計及空氣熱膨脹計に装置し之によつて試料を其 A_{c1} 點以上の溫度—850°C と Ar₁ 點以下の溫度—600°C との溫度範圍に

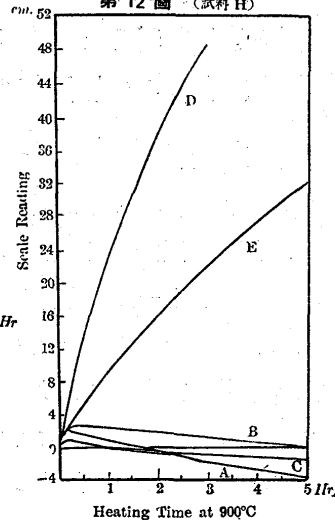
於て所要回数加熱冷却を連續繰り返したる後室溫度迄冷却し之を更に空氣熱膨脹計によつて 900°C 迄加熱し同溫度を一定に保持して其間の成長を測定し上述の豫備熱處理が試料の空氣中に於ける成長に如何に影響するかを調べた

第 11 圖 (試料 G)



O—1: 鑄造の儘 850°C
 O—2: " 930°C
 O—3: " 1,000°C
 H—1: 豫備加熱試料 850°C
 H—2: " 930°C
 H—3: " 1,000°C

第 12 圖 (試料 H)



A: 真空中加熱
 B: H₂ "
 C: N₂ "
 D: CO "
 E: 空氣 "

實驗結果は第 10 圖 1—2 の如くである

此結果によると豫め真空中或は空氣中に於て試料の A₁ 點を上下して加熱冷却を繰り返すと空氣中 900°C に於ける成長は大となるがこれには一定の限度がある事が知られる 即ち 3 回豫備加熱を行ひたる試料の成長は 1 回豫備加熱を行ひたる試料より遙に大であるが 5—20 回豫備加熱を行ひたる試料と大差がない 試料を真空中又は空氣中に於て A₁ 點を上下して加熱及冷却を繰り返すと後述の實驗に示す様に Ar₁ 變態に伴ひ異狀膨脹は冷却を繰り返す

毎に小となり遂には無視し得る程度に迄減少するので試料の Ar_1 變態に伴ふ異狀膨脹が其空氣中に於ける成長に著しき影響を及ぼすものとすれば本實驗の結果は或る程度迄この現象に因て理解出来る

豫め空氣中 A_{c1} 點以上の溫度に加熱せる試料の空氣中種々の高溫度に於ける成長

試料 G を豫め空氣中に於て $900^{\circ}C$ 迄加熱して後直ちに室溫迄冷却し之を空氣熱膨脹計に裝置し空氣中にて夫々 $850^{\circ}C$, $930^{\circ}C$ 及 $1,000^{\circ}C$ 迄加熱し同溫度を一定に保持して其間に於ける成長を測定した

實驗結果は第 11 圖の如くである

試料の成長は加熱溫度高き程大である 尙此圖には比較の爲原試料の成長をも示してある

豫め真空中 A_{c1} 點以上の溫度に加熱せる試料の $900^{\circ}C$ に於ける成長に及ぼす種々の雰圍氣の影響

試料 H を豫め真空中にて $900^{\circ}C$ 迄加熱し直ちに室溫迄冷却したる後一つは真空熱膨脹計一つは空氣熱膨脹計他は瓦斯熱膨脹計を用ひ種々の雰圍氣中に於て $900^{\circ}C$ 迄加熱し同溫度を一定に保持して其間に於ける試料の成長を測定した 瓦斯熱膨脹計を用ひた場合に於ける瓦斯送入方法並に其量は前實驗に於けると同じい

實驗結果は第 12 圖の如くである

此實驗結果によると上述の如く豫備熱處理せる試料を真空 H_2 及 N_2 の内で $900^{\circ}C$ に加熱すると試料は全く膨脹しない 却つて幾分收縮するのであるが空氣中では著しく成長する 此事實により試料を空氣中に於て高溫度に加熱した場合に著しく成長するのは試料の酸化に基く事が明である CO 中に於ては空氣中に於けるより更に一段成長するのであるが他の理由に因るものでこれに就ては後に別に説明する事とする

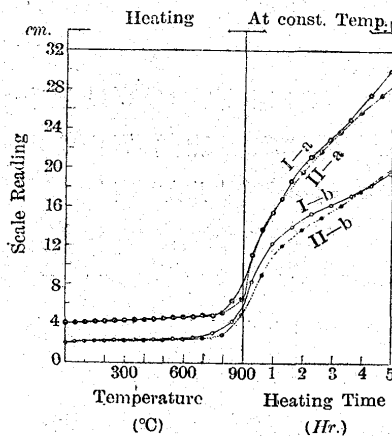
前述の様に豫め高溫度に加熱せられたる試料の空氣中 $900^{\circ}C$ に於ける成長量は鑄造の儘の試料に比べて著しく大なる事實は試料を一度豫め高溫度に加熱すると鑄造の儘の試料に比べて酸化され易い状態に變る爲であるがこれに就て更に次の實驗を行た

試料 F より直徑 $8mm$ 長さ $80mm$ の 2 本の丸棒 I 及

II を採り其各々を第 13 圖の如く 2 分して直徑約 $7.5mm$ 長さ約 $35mm$ の大きさに仕上げ其 1 部 a を豫め真空中 $900^{\circ}C$ 迄加熱したる後直ちに室溫迄冷却し 他部 b には何等豫備熱處理を施さずして熱天秤試料とした

試料を本多式熱天秤を用ひ空氣中に於て $900^{\circ}C$ 迄加熱し同溫度を一定に保持して其間に於ける試料の重量變化を測定した 實驗結果は第 14 圖の如くである 尙空氣中 $900^{\circ}C$ 5 時間加熱による試料の重量増加率は第 2 表の如くである

第 14 (試料 F)
天秤感度: $1cm \#9mg$

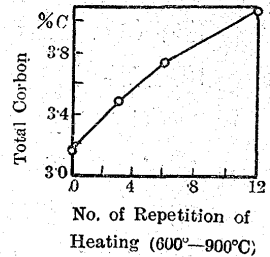


I-a, II-a: 豫備加熱試料
I-b, II-b: 鑄造の儘の試料

第 13 圖



第 15 圖 (試料 G)



第 2 表 熱天秤實驗後に於ける重量増加率

試料番號	加熱前重量 (g.)	加熱後重量 (g.)	加熱により重量増加率 (%)
I-a(豫備加熱す)	87358	89610	2.60
II-a(")	80715	82852	2.65
I-b(鑄造の儘)	80285	81786	1.87
II-b(")	80087	81597	1.89

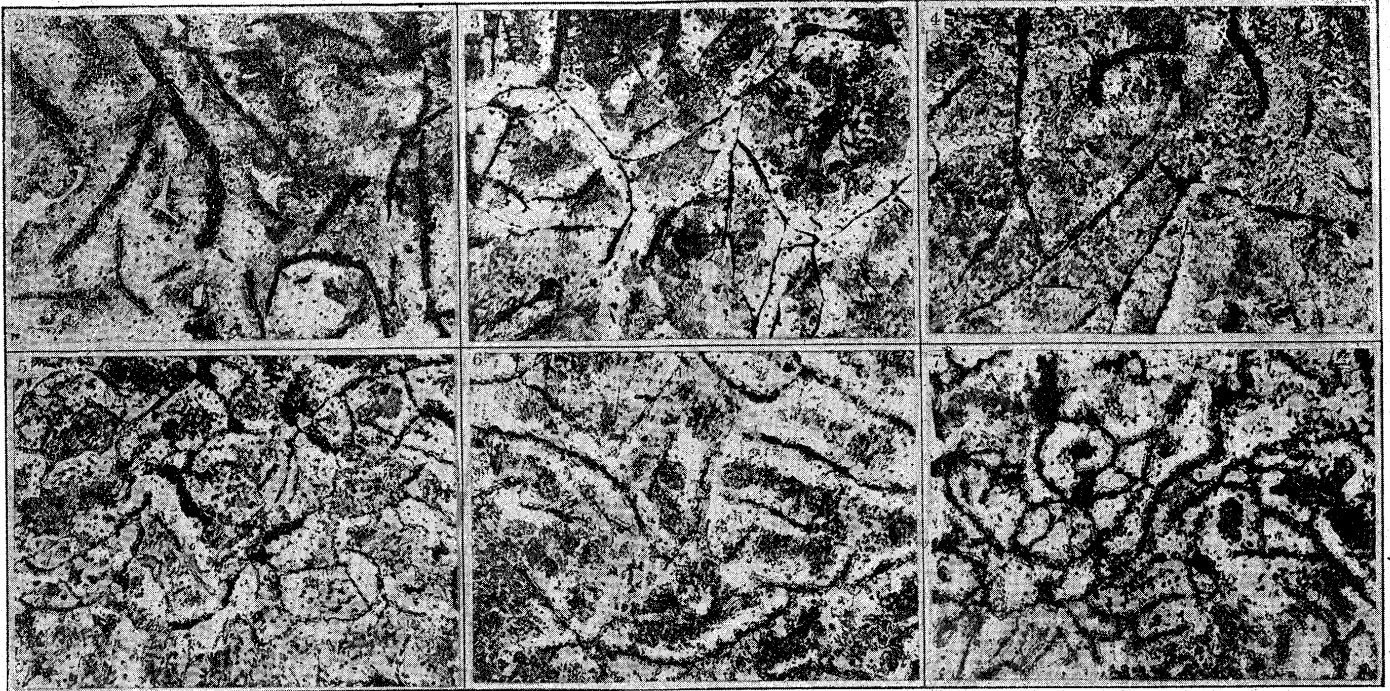
鑄鐵が空氣中に於て加熱されると脱炭と同時に地金の酸化が起り第 14 圖には此等兩變化の合成効果が現はれてゐるのでこれから直ちに地金の酸化量を知る事は出来ない 然し地金が酸化される程脱炭の程度も大であると考へられるので第 14 圖の曲線によつて地金が酸化された程度の大小は比較出来る

即ち重量増加の大なる試料の地金は重量増加の小なる試料より著しく酸化された事になるのである 第 14 圖により試料 a の地金が酸化された程度は試料 b よりも遙に大である事が知られるのである

CO 中に於ける鼠鑄鐵成長の原因

前掲の第 12 圖に於て豫備加熱せる試料の $900^{\circ}C$ に於

寫眞 2: 鑄造の儘 3: CO 中 3 回加熱外部 4: CO 中 6 回加熱内部 5: CO 中 6 回加熱外部 6: CO 中 12 回加熱内部 7: CO 中 12 回加熱外部 試料 G ×160



ける成長は CO 中に於て極めて大なる事を示してゐる
 これは豫備加熱の爲に其質疎となりたる試料の内部に CO が浸入し來り試料内部に於て此 CO が分解して炭素が沈澱し其爲生じたる力によつて地金に龜裂を生じた事に因るもので鐵鑄を CO 中で加熱した場合に起る膨脹¹⁰⁾と同一性質のものである様に考へられる 著者は此考を確むる爲更に次の實驗を行つた

試料 G を豫め 21×14×100mm の寸法に機械仕上げをなし之より 21×14×20mm の寸法の試片 3 個を造り其各々を磁性管内に入れ其内に CO を通じつゝ 600°C—900°C 間を繰り返し所要回数加熱冷却したる後室温迄爐中冷却し 試片の全炭素量(表面附着の炭素は除く)並に組織の變化を調べた 瓦斯送入量は 1 l/hr で 20 分毎に磁性管内に於ける瓦斯送入方向を變換する事とした

全炭素量の變化は第 15 圖の如くである 即ち試片の全炭素量は加熱回数と共に殆んど直線的に増加してゐる

これは勿論試片内部に於て CO が分解して炭素が沈澱したるが爲に他ならない

元來 CO は黒鉛に沿ふて試料の内部に浸入し易きが故に黒鉛の周邊に盛んに炭素が沈澱する 其結果寫眞 4~7 に示す如く黒鉛片の輪郭が極めて不明瞭となる 又 CO は苟も龜裂が存在すれば其所に浸入して炭素が沈澱するので

加熱回数多き試料の組織を見ると沈澱せる炭素が寫眞 7 の如く恰も黒鉛片の如き外觀を呈してゐる

上の現象は工業上にも重要であると考へ目下更に詳細に亘て研究中である 他の機會に其結果を報告しやうと思ふ

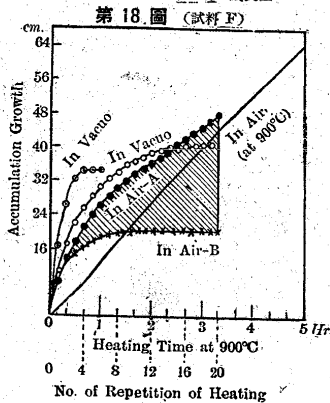
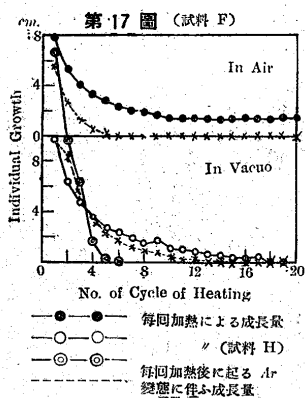
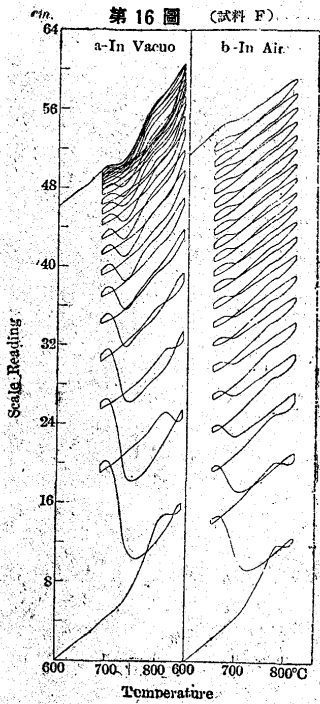
尙著者は第 1 報告¹¹⁾に於て空氣中或は CO 中で鼠鑄鐵を其 A₁ 點を上下して連續加熱した場合に得られる最高加熱温度より Ar₁ 點に至る間の冷却曲線が著しく膨脹を示してゐるのは試料の酸化に基くものではないと述べたこれは CO の如き還元瓦斯中に於ても上の現象が起るので斯く考へたのである 然るに今回の研究結果によつて前言を取消したいと思ふ 鼠鑄鐵内の龜裂に炭素が沈澱すると此所に鑄鐵の酸化によつて酸化鐵 珪酸或は珪酸鐵等が滿された場合と同様に此物質が鑄鐵の温度降下に伴ふ收縮を妨ぐる作用をなすものであると考へられるからである

Ar₁ 變態に伴ふ異狀膨脹に因る成長量と酸化に因る成長量との比較

試料 F を眞空熱膨脹計に裝置し眞空中にて 685°C—850°C 間を繰り返し 19 回加熱冷却し其間に於ける試料の長さの變化を測定せるに第 16 圖~a に示す結果を得た

¹⁰⁾ 澤村・鐵と鋼 22(昭 11) 121

¹¹⁾ 前出



ては試料の成分のみならず加熱中に於ける真空度も亦大なる関係を有する様である

次に試料 F を空气中に於て繰り返し加熱して得られた結果は前の場合と著しく異なるのである 即ち第 16 圖及

又試料 F を空氣熱膨脹計により 650°C~815°C 間を上と同様の實驗(但し此場合は加熱回数 20)を行ひたるに第 16 圖~b に示す結果を得た

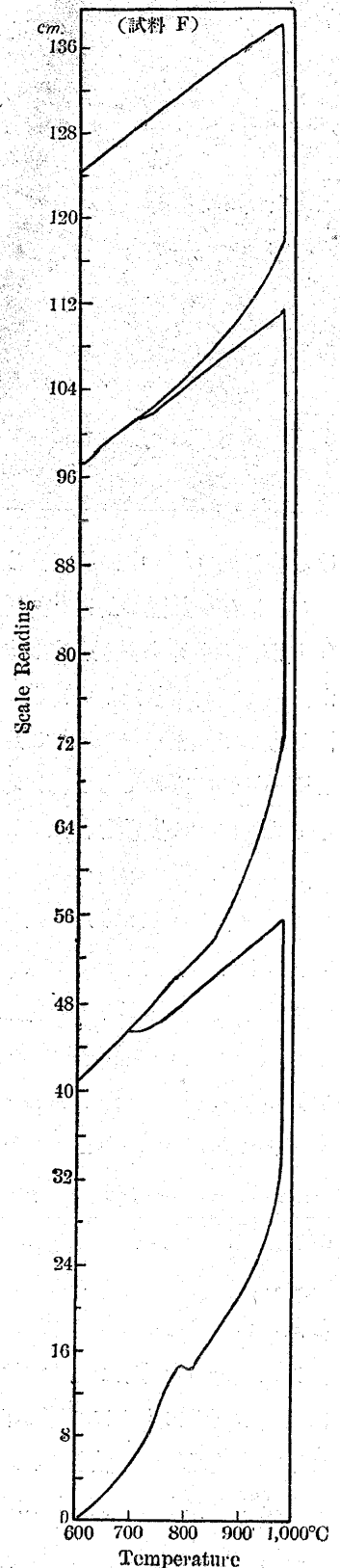
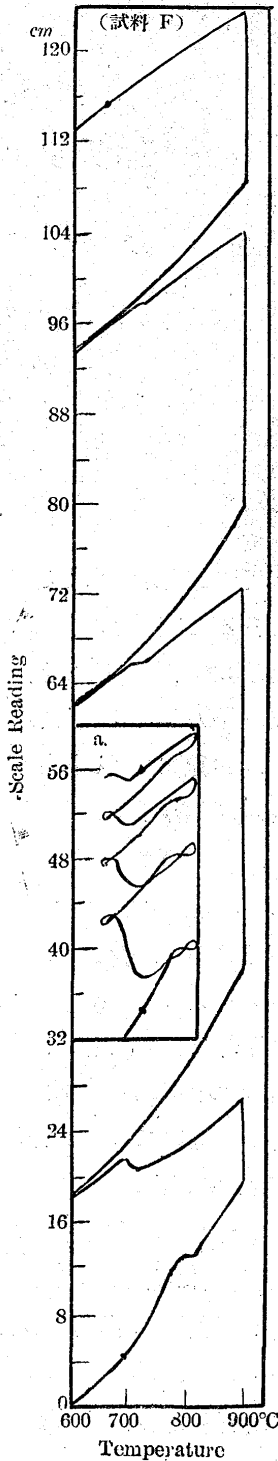
上の實驗結果から加熱毎に得られる試料の尺度上に於ける成長量並に Ar_1 變態に伴ふ成長量と加熱回数との關係を求めると第 17 圖となる 但し此成長量には第 1 回加熱の際に起るパーライト — セメントタイトの黒鉛化に因る成長量を除いてある 又試料の尺度上に於ける全成長量と加熱回数との關係を求めると第 18 圖となる

此等の圖に明な様に試料を真空中に於て其 A_1 點を上下して繰り返し加熱すると加熱回数が増すに従ひ Ar_1 變態に伴ふ成長量は漸次小となり遂には零となる 試料の成長量も之に平行して次第に小となり結局加熱を更に繰り返すも試料は最早全く成長しない様になる 結局試料 F は加熱回数 18 にして尺度上 400mm 成長し其膨脹が止たのである 此成長量は試料の Ar_1 變態に伴ふ膨脹に基くものと考へて大なる誤りがない 此現象は已に第 1 報告に述べたのであるが今参考の爲前實驗の結果を第 17 圖及第 18 圖に示して置いた (曲線 V 試料 H)

試料 F 及 H の實驗結果を比較すると試料 F は前述の如く加熱回数 18 にして其成長が止んだのに反し試料 H は 5 回の加熱で最早成長しない様になった此原因に就

第 19 圖—1

第 19 圖—2



第 17 圖から知られる様に試料は第 7 回目の冷却に於て已に Ar_1 變態に伴ふ膨張を現はさない様になるのであるが其後に於ても加熱を繰返す毎に常に少量づゝ膨脹する而も其膨脹量は 10 回加熱後殆んど一定となる 故に其全膨脹量は第 18 圖曲線 A に示す如く 10 回加熱迄は急速に大となるが其後は加熱回数に正比例して直線的に徐々に増加して行くのである 但し此關係は本實驗の範囲内の事であつて加熱回数更に大となりたる場合も同様であるかは解らない 10 回加熱後に於ける試料の成長が試料の酸化に基因する事は眞空中に於ける實驗結果と對照すれば明である 其一定成長量は第 17 圖から知られる様に各加熱毎に尺度上 14mm である 今假りに試料が第 10 回目の加熱を受くる迄に第 2 回加熱から以後各加熱毎に試料の酸化の爲尺度上 14mm 成長したものと之を各加熱後に於ける全成長量より差引くと第 18 圖曲線 B が得られるのである 斯様に作圖すると第 18 圖上曲線 A~B 間の斜線の部分が試料の酸化に因る成長量 曲線 B が Ar_1 變態に伴ふ膨脹に基く成長を現はすものと考へて大なる誤りがないと思ふ 斯く考ふると空氣中に於ける試料の Ar_1 變態に伴ふ膨脹に基く成長量は結局尺度上約 210mm である

上述の空氣中に於ける實驗を行ひたる試料 即ち空氣中に於て A_1 點を上下して 20 回連続加熱されたる試料を今度は 900°C に加熱し同溫度を一定に保持して空氣中 900°C に於ける成長を測定せるに第 18 圖に示す結果を得た 即ち此試料は空氣中 900°C に於て 5 時間内に酸化の爲更に尺度上約 640mm 成長したのである

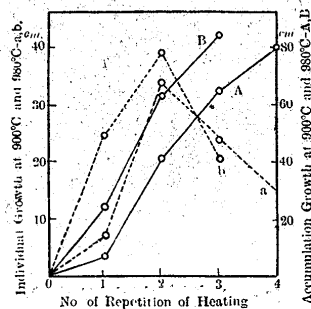
次に試料 F を空氣熱膨脹計を用ひ先づ 900°C 及 980°C 迄加熱し 同溫度を 5 時間保持せる後室溫迄冷却する操作を連續數回行ひ其間に於ける膨脹を測定し 600°C 以上の溫度範圍に於ける結果を連結せるに第 19 圖~1 及第 19 圖~2 に示す結果を得た 第 20 圖は 900°C 及 980°C に於ける 5 時間内の成長量及其總和と加熱回数との關係を示すものである 尙第 19 圖~1~a は試料 F を空氣熱膨脹計を用ひ 650°C~815°C 間を連續加熱したる場合に得られたる曲線(第 16 圖~b より轉載す)である

上の結果を見るに Ar_1 變態に伴ふ膨脹は第 19 圖~1~a には著しく現はれてゐるが第 19 圖~1 に於てはこれより遙かに小さく第 19 圖~2 に於ては第 19 圖~1 に於けるより更に小さく現はれてゐる 試料を 980°C に加

熱した場合の如きは已に第 2 回目の冷却の際殆んど無視し得る程度になつてゐる 即ち試料の酸化の程度大なる程 Ar_1 變態に伴ふ膨脹が小となるのである 此れ主として鑄鐵の酸化の爲黒鉛が酸化物にて包まれ黒鉛と地金との接觸面積小となる故に黒鉛が地金への擴散困難となり又他面には地金の脱炭作用が著しく起る爲に高溫度に於けるオースナイトの炭素量小となり従て Ar_1 に於て生ずるセメント量小となる爲である

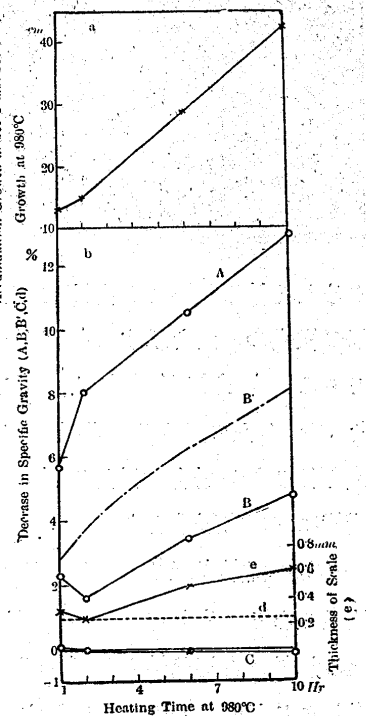
次に試料 D を空氣熱膨脹計により先づ 900°C 迄加熱せる後直ちに室溫迄冷却し之を再び 980°C 迄加熱し同溫度を種々の時間保持せる後室溫迄冷却して豫備熱處理せる試料の空氣中 980°C に於ける酸化による成長量及空氣中 980°C に於て加熱せる後冷却の際現はれる Ar_1 變態に伴ふ膨脹による成長量と 980°C に於ける加熱時間との關係を求めた

第 20 圖 (試料 F)



A. a: 900°C 加熱
B. b: 980°C //

第 21 圖 (試料 D)



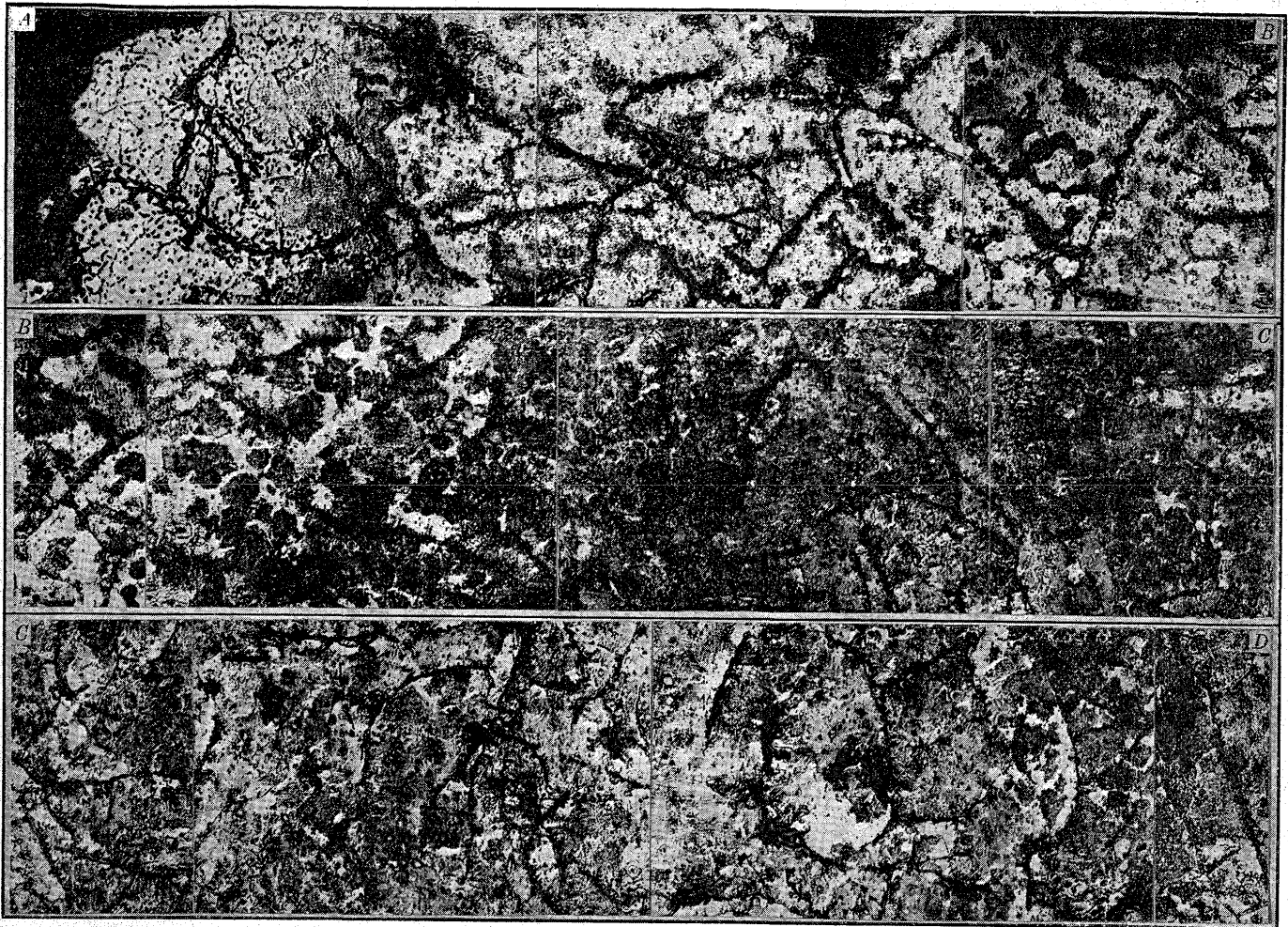
實驗結果は第 21 圖の如くである 第 21 圖~a は 980°C に於ける試料の成長を示す 第 21 圖~b 中曲線 A は豫備熱處理せる試料及之を再び 980°C に於て種々の時間加熱せるものの比重を測定して豫備熱處理せる試料の 980°C 加熱による比重減少率を求めた

結果である 曲線 B は 980°C にて加熱せる試料の表面に生じたるスケールを金鋏にて叩き落し更に其表面を金剛砂研磨機に掛けてスケールを完全に取除きたるものの比重を測定して此中心部が 980°C 加熱による比重減少率を

A: 鐵肌の着きたる儘の試料
B: 鐵肌を除きたる試料
B': 同上(但し想像曲線)
C: A_1 變態による變化
d: 豫備加熱の際 A_1 變態による變化
e: 鐵肌の厚さ

寫眞 8 試料 D 空氣中980°C 6 時間加熱

約 × 200



求めたる結果である 寫眞 8 はスケールを除きたる中心部の組織の一例を示す A は外表部 B は最中心部の組織である A B B C C D と連続してゐるが印刷の都合上之を 3 分したのである 曲線 C は 980°C に於ける加熱實驗を行ひたる場合に得たる A_{c1} 變態に伴ふ收縮量及 A_{r1} 變態に伴ふ膨脹量より A_1 變態に伴ふ比重の變化を算出しこれが豫備熱處理せる試料の比重に對する割合を求めたる結果である 尙曲線 d は豫備熱處理を行ひたる場合に得たる加熱及冷却曲線より A_1 變態に伴ふ比重の減少量を算出しこれが原試料の比重に對する割合を求めたる結果である 又曲線 e は 980°C に加熱せる場合に生じたるスケールの厚さを概略示すものである

此實驗結果によると豫備熱處理せる試料を空氣中に於て 980°C に加熱した場合に起る A_1 變態に伴ふ容積變化に因る成長量は曲線 C を以て示され試料の酸化に因る成長量は曲線 A 及 C が夾む距離を以て表はされるものと考へて大なる誤りがない 豫備熱處理を受けたる試料は A_1 變態に伴ふ容積變化により 980°C に於て 1 時間加熱

されたる場合は極めて僅か成長したのであるが 6 時間或は 10 時間加熱されたる場合は寧ろ幾分收縮したのである 何れにしても本實驗の條件の下に於ては A_1 變態に伴ふ容積變化による成長量は酸化に因る成長量に比べて無視し得る程度に小なる事が知られるのである 尙酸化に因る成長量はスケールの部分に於て最も大きく内部に進むに従ひ小となる様に考へられるのであるが曲線 B によりスケールを除きたる中心部も酸化の爲尙可成り成長してゐる事が知られる スケールを完全に除きたる中心部の試料を製作する場合に中心部の内最も成長量大なる外表の部分が磨き取られるのでスケールを除く眞の中心部の酸化に因る成長量は曲線 B を以て示される量よりは大きき假へば B' の如き曲線を以て表はさる可きであらう

以上種々實驗結果より一般に普通成分の鼠鑄鐵を酸化性瓦斯中に於て高溫度に連續加熱した場合には鑄鐵の A_{r1} 變態に伴ふ異狀膨脹に因る成長量は酸化に因る成長量に比べて極めて小である事が判るのである

鑄鐵の成長に関する理論

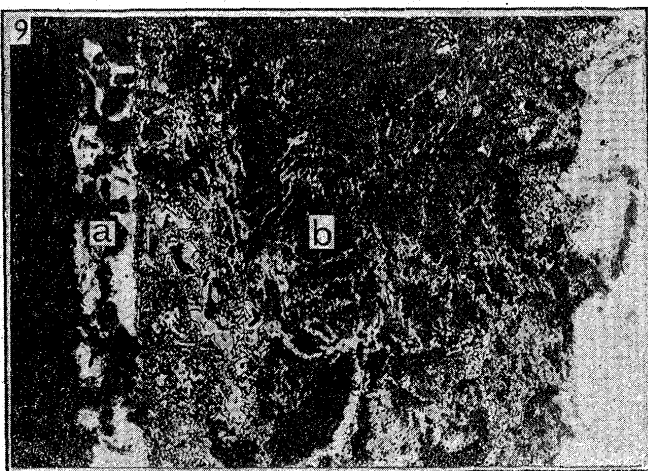
鼠鑄鐵を其 A_{c1} 點以上の温度に加熱した場合に起る成長に関する理論に就ては緒言に於て其の大要を述べたのであるが尙 Outeridge¹²⁾ は鼠鑄鐵の成長は鑄鐵が含有せる瓦斯が加熱の爲に膨脹する爲に起るものであると云ふ學說を提出し大河内博士 佐藤學士¹³⁾ 及 Pearson¹⁴⁾ は或る場合には此學說の正しき事を認めてゐる。併しながら本研究の結果は此瓦斯膨脹説によつては到底無理なく説明出来ないことは自ら明である。又本研究の結果は何れも最初 Ruggan and Carpenter が唱へた酸化説の正しきことを立證するに充分なることは前述の如くであるが成長の現象は一般に酸化説に A_1 點に於ける不可逆的膨脹に因ると云ふ菊田博士の説を加味して考へなくてはならないと主張する Benedicks and Löfquist 或は Diwowsky の説が肯綮に申つてゐると信するのである。

茲に問題になるのは鼠鑄鐵が高温度に於て酸化すれば何故に成長するかと云ふ酸化による成長の機構である。

純鐵が高温度に於て酸化されて生ずる酸化層の組織は Pfeil¹⁵⁾ によつて詳細研究せられてゐるが其理想的組織は Scheil u. Kiwit¹⁶⁾ の論文第1圖によく示されてゐる。即ち外層は Fe_2O_3 、其次の層は Fe_3O_4 、其下の層は FeO 及 Fe_3O_4 混合より成てゐる。

鼠鑄鐵が酸化性雰囲気中に於て高温度に加熱される場合は鋼が酸化される場合と大に趣を異にし、酸化性瓦斯は鑄

寫眞 9 試料 D 空氣中 980°C 6 時間加熱



鐵の黒鉛片に沿ひ或は内部龜裂或は空隙を縫ふて中心部に侵入して其内外より之を侵すのである。其結果として外表のみならず内部にて酸化鐵及珪酸鐵が生成される事となる。寫眞 9 は鼠鑄鐵のスケールの部分の組織を示してゐるが外部の白色層 (a) は主に Fe_3O_4 より成り其外に更に FeO の層が存在すべきであるが其層が薄いのと其質脆いが爲顯微鏡試料研磨の際除かれたものと思ふ。次の厚い層 (b) は主に FeO と Fe_3O_4 とより成る。勿論之等の層中には酸化鐵以外に珪酸鐵等も含有されてゐる。

Scheil¹⁷⁾ によれば鼠鑄鐵を空中に於て 600°C の如き比較的低温に加熱するも黒鉛片を包む基質中に珪酸鐵が生ずる。況や更に高温度に加熱される時は黒鉛片或は空隙を包む基質中に酸化鐵並に珪酸鐵が生ずる筈である。斯る酸化物の比容積は地金のそれより大なるが故に斯る酸化物が成生せられるのみで鑄鐵は成長するのであるが鑄鐵の酸化の進行するに従ひ黒鉛片が占むる空間及其他の空隙に於ける此等の酸化物の生成が地金に楔の作用を及ぼし之に龜裂を生ぜしめる結果として鑄鐵は成長する。又新に生じたる龜裂は更に地金の酸化を容易ならしめて鑄鐵の成長を促進する事となるのである。

鑄鐵内空隙に生ずる酸化物の楔作用に就ては前述の如く鑄鐵を CO 中で加熱した場合に鑄鐵が其内に存在する空隙に於ける炭素沈澱による楔作用によつて成長する事實から容易に推考し得るのである。

尙 Baeyer¹⁸⁾ によれば C 0.21~0.5% Si 0.16~0.23% 含有する普通炭素鋼を空氣中にて 1,095°C 以上の温度に加熱するとスケール直下の結晶粒境界に珪酸及酸化鐵を生ずる。斯る現象は鼠鑄鐵にも起るべきであつてこれも亦鑄鐵成長の原因として考慮する必要がある。

之を要するに鑄鐵は内外より酸化作用を受けて酸化物が地金の結晶粒内、結晶粒境界及黒鉛が占むる空間及其他の空隙に生ずるが爲に成長するものであるが特に黒鉛が占むる空間及其他の空隙に於ける酸化物生成による楔作用は鑄鐵の成長に重要な關係あるものと考へられる。

總 括

以上研究結果を總括すれば次の如くである。

(1) 鼠鑄鐵を鑄造の儘空氣中に於て高温度に加熱すると成長する。之を豫め其 A_{c1} 點以上の温度に加熱したる

¹²⁾ Trans. Am. Inst. Min. Met. Eng., 35 (1904) 223

¹³⁾ Journ. Coll. Eng., (Tokyo) 10 (1920) 53

¹⁴⁾ Carnegie Schol. Mem., 15 (1926) 231

¹⁵⁾ Jour. Ir. St. Inst. (1931) I 239

¹⁶⁾ Arch. Eisenhüttenw., 9 (1936) 405

¹⁷⁾ Arch. Eisenhüttenw., 6 (1932) 61

¹⁸⁾ Trans. Am. Soc. Met., 25 (1936) 420

後其 A_{r_1} 點以下の溫度に迄冷却し A_{r_1} 變態に於て異狀に膨脹せしめたるものを空氣中に於て高溫度に加熱すると著しく成長する 其成長量は同一の實驗條件の下に於て鑄造の儘のものより遙に大である 即ち鼠鑄鐵の A_{r_1} 變態に伴ふ異狀膨脹が其成長に重大なる關係を有する事實を明にした

(2) 鼠鑄鐵の加熱冷却に伴ふ連續的膨脹並に收縮も亦鑄鐵の成長を助長せしむる因子となる 但し此影響は A_{r_1} 變態に伴ふ異狀膨脹程大でない

(3) 鼠鑄鐵を種々の雰圍氣中に於て高溫度に加熱し其間の成長を測定し空氣中に於ける成長が鑄鐵の酸化に因る事實を確めた 尙鼠鑄鐵が豫め其 A_{r_1} 變態に伴ひて異狀に膨脹する時は其材質疎となりて酸化され易き状態に變化する 故に鼠鑄鐵の A_{r_1} 變態は其酸化による成長を促す有力なる因子となる

(4) 鼠鑄鐵を CO 中に於て加熱すると著しく成長する 其理由は CO が鑄鐵内部に於て分解して炭素を沈澱

する事實に因ることを確めた

(5) 酸化性瓦斯中で加熱せられる鼠鑄鐵の成長が主として Ruggan and Carpenter の唱へた酸化説及菊田博士の A_1 點に於ける不可逆膨脹説の内何れの學説に従て起るものであるかに就て實驗を行た 本實驗の範圍内に於ては A_1 點に於ける不可逆膨脹説に従て起る成長量は酸化に因る成長量に比べて遙に小である 而して此關係は鑄鐵の加熱時間が長い程又鑄鐵が酸化される程度が大なる程著しく現はれる

(6) 鼠鑄鐵の成長に關する從來の酸化説を吟味し鑄鐵内に存在する黒鉛片が占むる空間及其他の空隙に於ける酸化物の生成が及ぼす楔作用が鑄鐵の成長に重要なる關係を有する事を主張した

本研究は豊田自働織機製作所の後援によるもので同會社に對し深謝の意を表す 尙實驗を遂行するに當り森直次氏より多大の助力を受けた 同氏に對し亦厚く御禮申上ぐる次第である