

ので、連続焼鈍後の固溶C量は増加する。よつて歪時効硬化量も増す。

2. したがつて連続焼鈍板では、結晶粒が大きくなることによる軟化効果と、固溶C量の増加による硬化効果がともなうので、両効果による相殺作用がみられる。これが箱型焼鈍板にくらべて硬度がいつそう均一であることの主因と考えられる。また軟質のブリキを作ることが困難な理由と思われる。

3. ライン速度が増加すると、結晶粒が微細化し、固溶C量は増加するので硬度は高くなる。したがつてライン速度は硬度調節の有効な因子である。

終りに、御指導をいただいた東京大学五弓勇雄先生、ならびに実験に協力せられた東洋鋼板KKの矢崎正則、岡村行雄、藤井昭明、高橋肅の諸氏に深謝いたします。

#### 文 献

- 1) D. J. BLICKWEDE: Flat Rolled Products-Rolling and Treatment, [Interscience Publishers](1959) p. 91
- 2) 周藤: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 509
- 3) A. F. MOHRI: Blast Furn & Steel Plant. 45 (1957) 6, p. 1163
- 4) 瀬川, 松本: 製鉄研究, (1960) 230, p. 2895
- 5) 平松: 鉄と鋼, 49 (1963) 1, p. 63
- 6) J. D. FAST and H. B. VERRIJP: J. Iron & Steel Inst.(U.K.), 181 (1955) p. 337
- 7) Ake JOSEFSSON and Eric KULA: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 194 (1952) p. 161
- 8) J. F. ENRIETTO: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 224 (1962) p. 43
- 9) W. PITSCH u. K. LÜCKE: Arch. Eisenhüttenw., 27 (1956) 1, p. 45
- 10) C. A. WERT: J. Metals, 188 (1950), p. 1242
- 11) 作井, 森: 鉄と鋼, 44 (1958) 9, p. 150
- 12) R. RAWLINGS and D. TAMBINI: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 184 (1956), p. 302
- 13) L. S. DARKEN, R. P. Smith and E. W. FILER: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 191 (1951), p. 1174
- 14) 周藤: 鉄と鋼, 48 (1962) 11, p. 1375
- 15) G. LAGERBERG and A. JOSEFSSON: Acta Met., 3 (1955) 3, p. 236
- 16) P. STARK, B. L. AVERBACH and M. COHEN: Acta Met., 6 (1958) 3, p. 149
- 17) J. F. BUTLER: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 224 (1962), p. 89
- 18) 青木, 関野, 藤島: 鉄と鋼, 48 (1962) 2, p.156
- 19) 周藤, 矢崎, 岡村: 東洋鋼鉄, 12 (1963) 1, 2, p. 34
- 20) A. S. KEH and H. A. WRIEDT: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 224 (1962) p. 560

## オーステナイト域における鑄鉄の生長\*

長 岡 金 吾\*\*

### Growth of Cast Iron in Austenite Region.

Kingo NAGAOKA

#### Synopsis:

During cyclic heating in the austenite-region grey cast irons increase their volume irreversibly without transformation and graphitization. In this study some experimental facts were obtained on the growth in air, but they could not be explained by the oxidation theory.

Therefore a new mechanism, suggested by the author, of the growth was applied to explain them. The results obtained are summarized as follows.

(1) Growth in austenite-region depends mainly on the difference in the temperature of cyclic heating.

(2) Even the hard grey cast iron that does not grow in the critical range may grow in austenite region.

(3) The dilatometer curves of nodular graphite cast iron show that this iron grows gradually in a loop in austenite-region during cyclic heating.

\* 昭和33年4月本会講演大会にて発表 昭和38年8月13日受付

\*\* 北海道大学工学部, 工博

(4) Preheating in air promotes the growth in austenite region, but retards it in the cycle including transformation.

(5) Growth characteristics of cast iron may differ in critical-range and in austenite-region. And growth occurring in the cycle covering both regions is the sum of growth in individual regions.

(6) Growth by transformation can not be examined separately, and it is usually accompanied with growth in austenite region.

(7) Experimental facts on the growth in austenite region are not explainable by the earlier theories, and it is suggested that the migration of graphite carbon during cyclic heat treatment in austenite region may create irreversible volume changes.

(Received 13 Aug. 1963)

## I. 結 言

鑄鉄を加熱すれば体積が不可逆的に変化し、加熱を繰返すと膨張が累加して脆弱になる。このような現象は鑄鉄の生長として古くから知られ、実際的な対策も樹てられている。鑄鉄を加熱した場合におこる黒鉛化膨張、あるいは黒鉛沿いに侵入した酸化による膨張は不可逆的变化である。また、加熱冷却によつて黒鉛を含む組織に亀裂が生ずるならば、これも生長の原因になる。したがつて傾向的には鑄鉄の生長は、これらの現象が複合したものとして説明し得る。また、実際にも黒鉛化と酸化を防ぐことによつて生長が抑制される。加熱による亀裂の発生は変態における組織の変化が原因であり、パーライトを安定にすれば、これが防がれるという菊田の説りによつて、一般に硬質の鑄鉄が耐熱用途に向けられている。一方、鑄鉄に関する最大の進歩として注目される球状黒鉛鑄鉄はフェライト系の軟質であつて生長が少ない。この事実にも酸化が浸透し難い、あるいは切欠効果が小であるから変態による亀裂が生じ難いという説明が与えられる。

鑄鉄の生長と黒鉛化、変態および酸化とのあいだには重要な関係がある。しかし、変態をこえて加熱した場合の鑄鉄の熱膨張曲線において、 $Ac_1$  変態点をこえた加熱と冷却において  $Ar_1$  変態に達するまでの部分においても不可逆変化がおこるけれども、これには黒鉛化と変態が含まれない。この温度範囲における生長がオーステナイト域の生長であるが、これをとくに区別した研究はほとんど無い。沢村はこの不可逆膨張を酸化物の楔作用による亀裂の発生<sup>2)</sup>、大河内は吸蔵ガス<sup>3)</sup>の膨張による内部破壊として説明した。

著者はさきに球状黒鉛鑄鉄の生長は析出黒鉛と基質の間における炭素の移動履歴にともなう不可逆膨張<sup>4)</sup>でなかるうかという考え方をもつたが、黒鉛化と変態の生じないオーステナイト域の加熱冷却には炭素の移動がともなうことに注目し、独立したオーステナイト域の生長に

関する実験を行なつた。オーステナイト域の生長に適用し得る従来の生長理論は、前に述べたように酸化説とガス説であるが、ガス説は実証性に乏しいので、主として酸化説による検討を行ない、オーステナイト域の生長についての実験事実は酸化説によつて説明し難いとの結論に達した。この問題は、かかる結論が得られた段階で講演発表<sup>5)</sup>したが転じてこれを基礎にしてさきの炭素移動による不可逆膨張を追求し、それが本質的に実験によつて証明し難い問題を含むところから一つの生長機構の概念として発表した<sup>6)</sup>。そこではオーステナイト域の生長が酸化説に従わずに継起することと、顕微鏡組織に黒鉛の再分布が観察されることを主要な基礎事実として議論を進めた。著者はさらにこの新たな生長機構の概念を実証しなければならぬと考えるが、そのために前後することになるけれどもオーステナイト域の生長に関する主な実験事実を黒鉛再分布による生長機構の立場による理解を加えて報告しておきたい。

## II. 実験要領

オーステナイト域の生長を高温で測定するために Fig. 1 のごとき熱膨張試験装置を製作した。酸化の影響を遮断するには真空中における実験を為すべきであるけれども、鑄鉄の生長が雰囲気によつて著しく変化し、真空度が  $10^{-3}$  mmHg の場合においても結果に再現性が得られない<sup>7)</sup> ことと、実際の条件を考慮して敢て静止空气中で実験した。試験片は内径 25mm の石英管内の試料台に載せ、その加熱中の長さの変化を可動石英桿を介して右端の 1/100 目盛のダイヤルインジケーターに指示させた。加熱炉には電気抵抗管状炉を用い試験片に締結した白金熱電対で温度を測定し調節した。試験片と試料台の間の抵抗を減ずるために、試料の両端に近く白金線を巻いたが、さらに装置全体を傾けて指示の正確を期した。加熱冷却の割合は  $800\sim 950^{\circ}\text{C}$  間で  $10\sim 12^{\circ}\text{C}/\text{min}$  である。

試験片は直径 9mm 長さ 75mm の丸棒で機械仕上

Table 1. Chemical compositions of specimens (%).

Cast iron	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mg	Remarks
H	3.33	1.08	0.30	0.14	0.078	—	—	Inoculated
I	3.55	3.37	0.50	0.030	0.014	—	—	Pig iron Inoculated
J	3.63	3.47	0.54	0.200	0.024	—	—	
K	2.82	1.89	0.84	0.044	0.031	—	—	
M	3.35	1.62	0.45	0.310	0.048	—	—	Inoculated
N	2.95	1.43	0.25	0.140	0.058	—	—	
O	3.78	1.33	0.57	0.291	0.091	—	—	
P	3.61	1.25	0.36	0.310	0.082	0.45	—	Meehanite Nodular
R	3.15	1.47	0.76	0.074	0.117	0.55	—	
T	3.36	3.03	0.60	0.027	0.012	—	0.041	

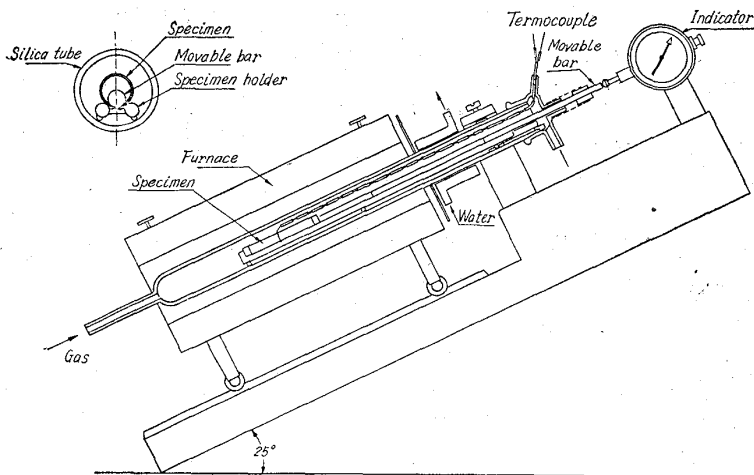


Fig. 1. Schematic view of dilatometer.

により製作した。なお酸化防止の特別な処置はとらなかつた。試料は工業的に製造された鑄鉄から適宜選定したが、化学成分は Table 1 に示すごとくである。

なお、雰囲気の問題については別に行なつた実験を補遺とした。

### III. 実験結果

#### (1) 加熱冷却の影響

オーステナイト域に加熱して恒温に保持した鑄鉄にはその種類と雰囲気によつて膨張、収縮いずれの変化もお

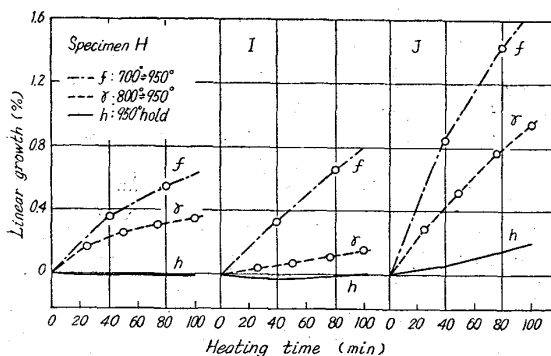


Fig. 2. Growth during different heat treatments.

こる。数種の鑄鉄を 950°C に加熱し、恒温における長さの変化する傾向の異なる鑄鉄 H. I. J を選び出し、これを 950°C と 800°C の間および 950°C と 700°C の間でそれぞれ加熱冷却を繰返した。950°C における長さの変化は Fig. 2 のごとくである。

950°C の恒温で幾分収縮した後、ほとんど長さが変化しなかつた鑄鉄 H を 800°C と 950°C の間で加熱冷却した結果は、その都度不可逆的に膨張した。熱膨張曲線は Fig. 3 のごとくオーステナイト域の加熱冷却により鋸歯状になつた。恒温加熱の保持時間と 5 サイクルの加熱繰返しの所要時間はともに 100min 間である。

変態を含む 700°C と 950°C の間の加熱冷却によつて、さらに著しい生長が生じた。

恒温加熱ではじめ収縮した後膨張に転じた鑄鉄 I の長さは、保持時間 100min の後にはほぼ元の長さに戻つた。この鑄鉄の生長を鑄鉄 H の生長と比較すると、オーステナイト域では I の生長が少なく、変態を含む場合には逆に著しい。黒鉛組織は H の方が緻密である。鑄鉄 J は最も粗大な黒鉛の鑄鉄で 100min 間の恒温加熱によつて 0.2% 膨張した。この鑄鉄の生長は最も著しい。

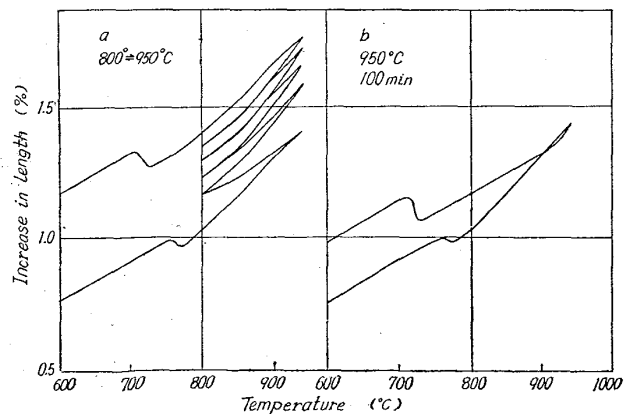


Fig. 3. Dilatometer curve indicating the growth in austenite region.

これまでの研究によれば恒温加熱による膨張と加熱冷却による生長はともに鑄鉄の酸化現象として説明されている。加熱冷却により恒温加熱の場合よりもはるかに大きな不可逆膨張が生ずる。また恒温で収縮する鑄鉄も加熱冷却によつて著しく生長する。これを理解するには加熱冷却が酸化による生長を増大させる機構が必要である。沢村の酸化物の楔作用<sup>2)</sup>による亀裂の発生はその一つである。

粗大な片状黒鉛の鑄鉄ほど酸化の影響を受け易い。この実験において、恒温加熱による膨張傾向と変態を含む場合の生長は鑄鉄H、I、Jの順に増加し、黒鉛組織の粗さに一致した。しかし、オーステナイト域では緻密な組織の鑄鉄Hの生長が、これより黒鉛の粗いIよりも著しい結果になった。この説明には酸化の感受性に影響する成分的要因が考えられるが、引用し得るのは HALLET の酸化保護層の生成説<sup>3)</sup>である。

著者の生長機構では炭素移動が生長の条件になるので恒温加熱と加熱冷却の関係はよく説明し得る。また恒温における膨張についての嵩つた酸化物の生成<sup>4)</sup>による説明と矛盾することにもならない。収縮はオーステナイト中への炭素溶解の過渡現象<sup>5)</sup>ということも考えられるが本質的には炭素移動によつて porosity を生じた鑄鉄の加熱中の収縮と考えることもできよう。なお、オーステナイト生長傾向が黒鉛の粗密と一致しないことについては別に考察する。

## (2) 温度差の影響

鑄鉄Hを試料とし、下限温度 750°C、温度差 50°C、100°C および 150°C でオーステナイト域の生長を測定した。5サイクルの生長量は 750°C では 0.11%、0.15% および 0.26% また、全生長量は 0.17%、0.25% および 0.41% であつて、加熱温度が高くなるほど生長が増加する。これは酸化現象として説明されている。この場合には、加熱の平均温度は温度差が大になるほど高くなるから、空気中の試験では温度差の影響は明らかでない。

次に鑄鉄Hと類似の硬質の鑄鉄Kを用い最高温度を一定にして温度差の影響を測定した。加熱サイクルは Table 2 に示すが、合計の加熱時間はほぼ 100min 間である。測定結果は Fig. 4 のごとく温度差が大になる程生長が増加した。

この実験では最高温度が一定であるから温度差が大になるほど平均温度は低下する。したがつてオーステナイト域の生長は加熱温度、回数よりも温度差によつて支配される。さらに、鑄鉄HおよびKについて、温度差を一定にして温度範囲を変えた実験の結果は Table 3 のご

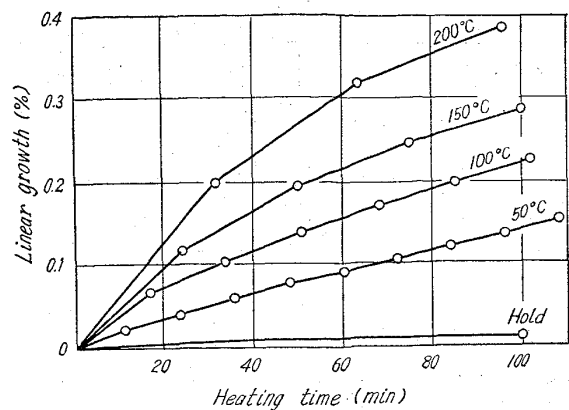


Fig. 4. Effects of temperature difference on the growth in austenite region.

Table 2. Heating cycle of the experiments.

Heat treatment		No. of heating cycles	Heating total time min
Difference in temp. °C	Range of temp. °C		
0	950°C, hold	—	100
50	950 $\longleftrightarrow$ 900	9	109
100	950 $\longleftrightarrow$ 850	6	105
150	950 $\longleftrightarrow$ 800	4	100
200	950 $\longleftrightarrow$ 750	3	95

Table 3. Effects of temperature.

Cast iron	Heating cycles (°C)	Growth (%)	
		Total	Austenite region
H 150°C	800 $\longleftrightarrow$ 950 5 cycles	0.40	0.28(850°C)
	750 $\longleftrightarrow$ 900 5 cycles	0.41	0.35(850°C)
K 100°C	850 $\longleftrightarrow$ 950 7 cycles	0.41	0.16(850°C)
	750 $\longleftrightarrow$ 850 7 cycles	0.31	0.17(850°C)

とくであつて、高温度のために生長が増加するとは認められない。

加熱冷却の温度差がオーステナイト域の生長を支配する要因であるという実験結果を酸化説によつて説明することは困難である。酸化による生長の抑制作用説<sup>7)</sup>を引用しても温度差の影響に結びつく理解が得難い。これに対して、黒鉛再分布による生長機構では、オーステナイト域における加熱冷却による温度差は、黒鉛と基質の間で移動する炭素量におきかえることができる。移動炭素量は生長を支配する第一の要因である。

## (3) 硬質鑄鉄の生長

鑄鉄H、Kはいわゆるパーライト鑄鉄であるが、オーステナイト域における生長は顕著である。(Fig. 3, Fig. 4) Fig. 5 はクロムを 0.55% 含む耐熱鑄鉄Rの熱膨張

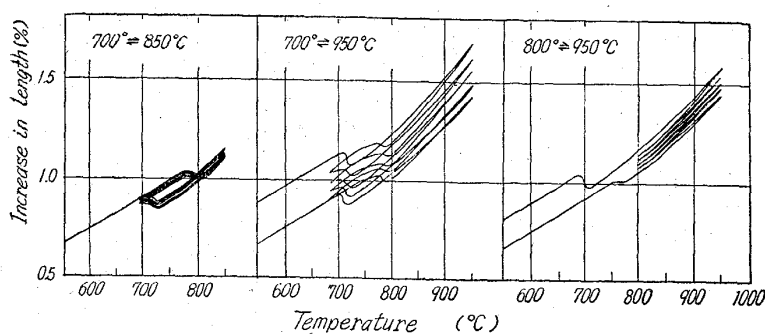


Fig. 5. Dilatometer curves of hard grey cast iron.

曲線である。700°Cと850°Cの間の変態を含むサイクルではほとんど生長しない。オーステナイト域の生長はこの研究で観測した最低ではあるが、加熱冷却ごとに逐次膨張した。この鑄鉄は鑄造のままでは抗張力が42 kg/mm<sup>2</sup>に達するきわめて硬質の鑄鉄である。

パーライト鑄鉄の変態による生長については、菊田により不均一な組織変化が少なく、亀裂が発生し難いと説明されているけれども、変態の無いオーステナイト域の生長は酸化説あるいは黒鉛化説によらなければならない。すなわち、硬質の鑄鉄は一般に組織が緻密で酸化の影響を受け難く、また炭化物が安定で黒鉛化膨張が少ないと説明される。しかし、前述のようにオーステナイト域の生長は単なる酸化膨張ではなく、鼠鑄鉄では黒鉛化膨張も起こらないから、これでは不十分である。

炭素移動により、硬質鑄鉄のオーステナイト域における生長を考えるうえで注目されるのは、その顕微鏡組織に観察される炭化物である。硬質鑄鉄には一般にパーライト基質に細かい黒鉛が析出するが、その他に炭化物が網状あるいは遊離状に析出する。Fig. 5のクロム鑄鉄を繰返し加熱した後は、鑄造のままの組織よりも多量のセメントライトが見られた。オーステナイト域で加熱冷却した場合に黒鉛の他にセメントライトが析出していれば炭素移動はセメントライトとオーステナイトの間にもおこる。鑄鉄の生長が、黒鉛が基質に溶解し、再析出する場合にのみ起こると考えるならば、セメントライトが存在しそれが移動炭素の給源になる場合には、黒鉛との間の炭素移動は減少するからオーステナイト域の生長は抑制される。黒鉛との間の炭素移動によつて生長がおこり、セメントライトが溶解析出する場合に不可逆膨張にならない主な理由は、オーステナイトと黒鉛、セメントライトの比容積の関係にあると考える<sup>10)</sup>。黒鉛とセメントライトが共に析出する場合にオーステナイトとの間でどのような割合の炭素移動がおこるかについては明らかでないが、セメントライトとオーステナイトの間で炭素移動がおこることは、加熱冷却によるセメントライトの再分布によつて確

かである<sup>6)</sup>。このような説明は積極的な炭化物の安定化によるオーステナイト域の生長抑制から、白鉄は黒鉛化しない限り生長しない理由をも明らかにする。さらに重要なことは、全く同じ考え方を変態による生長に適用すれば、菊田の変態亀裂説によらずにパーライト鑄鉄の生長特性を理解し得ることである。すなわち、パーライトと共析オーステナイトの間の変態には黒鉛と基質の間の炭素移動が生じないから、生長の条件にならないの

である。なお、硬質鑄鉄の生長についてはセメントライトの他に析出黒鉛の絶対量が少ないための構造上の問題があるが、ここでは省略する。

(4) 黒鉛組織の影響

鑄鉄の生長は黒鉛組織によつて著しい影響をうける。

片状黒鉛は酸化浸透の通路と考えられ切欠効果をもつ内部亀裂と考えられた。微細な黒鉛、さらに球状黒鉛はこの理由によつて生長が少ないと説明されてきた。しかし、黒鉛組織と同時に製法、成分の異なる鑄鉄を比較している場合もあり十分検討されなければならない問題を残している。

黒鉛組織は同一組成の鑄鉄を異なる寸法の鑄型に鑄造することにより変えることができる。鑄鉄 I を試料とし、直径35mmと20mmの2種の丸棒に鑄込み、中心部から試験片を削り出した。直径の大なる試料は黒鉛片が粗く、基質のフェライト量が多い。これらを800°Cと950°Cの間のオーステナイト域と、700°Cと850°Cの間の変態域で加熱冷却を繰返した。試験結果はFig. 6に示すごとく、変態域では粗大な黒鉛の場合に生長が著しいが、オーステナイト域の生長傾向にはその差が認められない。再加熱し冷却した両試料の基質はともにフェ

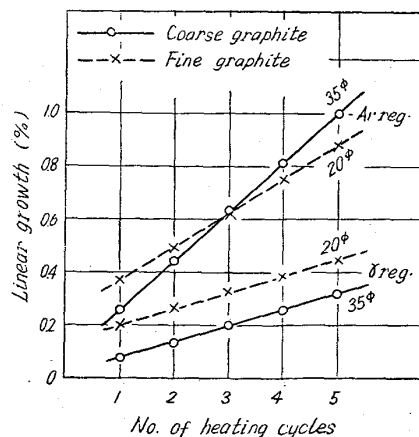


Fig. 6. Influences of graphite size on the growth of cast iron.

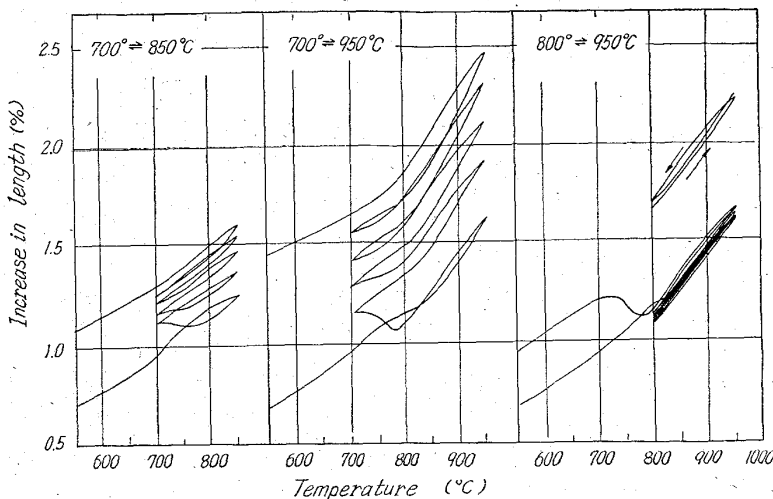


Fig. 7. Dilatometer curves of nodular graphite cast iron.

ライトになった。

変態域の生長が黒鉛の粗い場合に著しい実験結果はこれまでの研究に一致する。これには変態亀裂の発生に関する組織の強度的意義が注目されている。オーステナイト域では酸化の影響が等しいとは考えられないにもかかわらず生長に黒鉛粗密の影響が認められない。強度的意義があるとすれば、等しいかあるいは変態の場合と逆でなければ説明がつかない。結論として酸化説と亀裂説による理解は不完全である。著者は炭素移動による立場から、黒鉛組織の粗密と移動距離の關係に注目した説明を試みたが、問題が主として変態による生長になるので改めて報告することにしたい。これには、この実験の熱膨張曲線に認められた変態における収縮と膨張の違いを考慮する必要がある。

球状黒鉛鑄鉄の生長についてはすでに報告<sup>4)</sup>したが、オーステナイト域における加熱冷却の際の挙動から、この鑄鉄の生長が従来の生長理論によつて理解し難いという確信を一層深くすることができた。オーステナイト域および変態を含む温度範囲における熱膨張曲線はFig. 7のごとくである。変態を含む場合の熱膨張曲線において加熱冷却の変態収縮と膨張がともに数回の加熱によつて認められなくなり、単純な形になることはすでに真空中の実験で報告<sup>4)</sup>した結果に一致する。また、加熱による全膨張量が他種の鑄鉄に比べて大であることも、まえに報告したとおりである。オーステナイト域の生長はきわめて少ない。しかも、その熱膨張曲線は、冷却曲線が膨張側になり次の加熱曲線は収縮側に変化し、加熱冷却でループを描く。1サイクルごとにループの履歴として少しづつの生長が進む。この事実は注目に値するもので、次の加熱が収縮に変化する曲線の形状は酸化による楔作

用では説明し難い。著者は炭素移動にともなう鑄鉄の体積変化として、球状黒鉛鑄鉄のオーステナイト域におけるループと変態における収縮膨張の消失を考察し、ほぼ満足すべき結果を得た<sup>10)</sup>。

(5) 予備加熱の影響

すでに述べたように、著者は鑄鉄の加熱による黒鉛化膨張、酸化膨張を否定するものではない。これ以外に加熱冷却による不可逆膨張がおり、その機構が炭素移動に關係することを強調するのである。黒鉛化、酸化および著者のいう生長は高温現象として關係が深い。とくにオーステナイト域においては酸化との關係が重要である。酸化性雰囲気中ではかさばつた酸化物の生成による膨張のほか、いわゆる酸素ガスの影響が認められる。これは大河内によるガス説のごとく吸蔵ガスの膨張による内部破壊ではなくて、炭素移動におよぼすガスの影響が主体である。実験によればオーステナイト域の温度に加熱し恒温に保持した場合に、保持中にはほとんど長さの変化が生じないにもかかわらず保持時間が長くなると冷却曲線の傾斜が緩かになり不可逆膨張が増大した。保持時間による生長の増加は雰囲気の影響と考えることができる。

鑄鉄Hを950°Cに100min間予備加熱した場合、予備加熱の無い場合の、加熱冷却による生長傾向を比較した結果はFig. 8のごとくである。800°Cと950°Cの間のオーステナイト域の生長率は予備加熱によつて約48%増加した。変態を含む700°Cと850°Cの間で加熱冷却した場合には逆に予備加熱によつて生長がいくらか減少した。予備加熱温度を850°Cにして同様の比較を行なつた結果では、オーステナイト域の生長には予備加

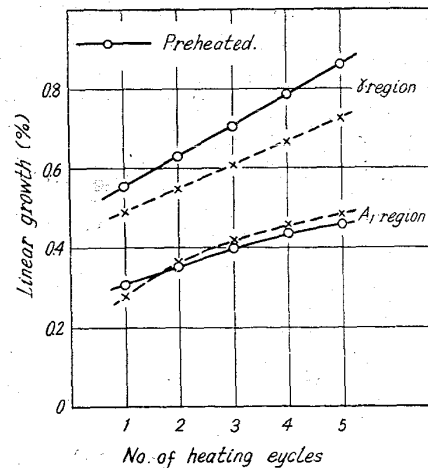


Fig. 8. Effects of preheating in air on the growth of cast iron.

熱の影響がほとんど認められないが、変態を含む生長は15%以上減少した。

予備加熱がオーステナイト域の生長を助長し、逆に変態域の生長を抑制するという事実はきわめて重要である。もし、生長に影響する要因がすべて、オーステナイト域と変態域の生長に同じ傾向の変化を与えるならば、とくにオーステナイト域の生長を区別する意義が少なくなる。しかし、黒鉛組織の影響もそうであつたように、オーステナイト域の生長と変態による生長を区別しなければならないので、これまでほとんど問題にされなかつたオーステナイト域の生長に関する研究は生長現象の新たな解明に重要である。さらに、この実験事実は酸化説と亀裂説の折衷論<sup>2)</sup>が矛盾することを明らかにする。折衷論では亀裂が酸化を促し、酸化物が楔となつて亀裂を増すと考えるが、予備加熱が酸化であると考える限りにおいて変態による生長の抑制は説明し難い。

著者は予備加熱による雰囲気の影響を加熱鑄鉄に対するガスの影響であると考え、炭素移動がガス成分によつて困難になるとして、促進抑制の両作用を同時に説明したが、これは重要な問題なのでさらに追求することが必要である。GRANT は変態を含む場合の生長に関する実験の結果から酸化は生長に対して促進と抑制の二重作用をもつと述べている。興味深い着想であるがその機構は複雑になるように思われる。

(6) 変態による生長との関係

加熱サイクルを 800°C と 950°C の間のオーステナイト域および変態を含む 700°C と 850°C の間とし、種々の片状黒鉛鑄鉄の生長を測定した。さらに両実験の関係を明らかにするために、同じ鑄鉄を 700°C と 950°C で加熱冷却を繰返した。各5サイクルによる生長の関係は Fig. 9 のごとくである。横軸に 700°C と 850°C の間の生長をとつた場合には他のサイクルとの関係はばらつきが大きく、とくに 800°C と 950°C の間のオーステナイ

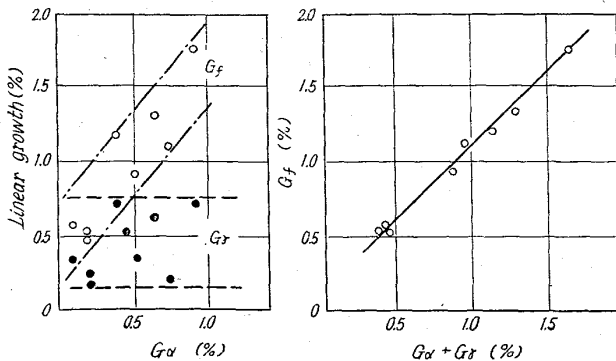


Fig. 9. Relation between the growth in austenite region and in critical range.

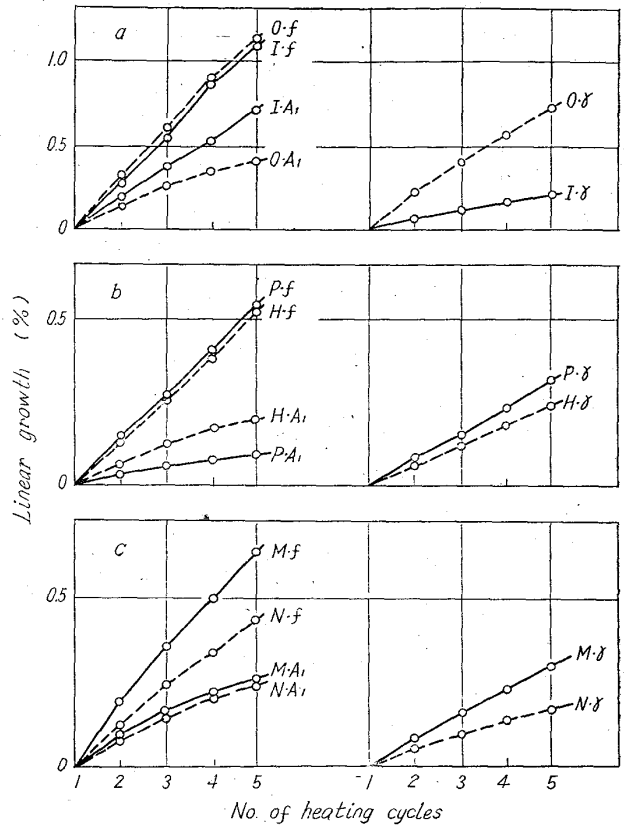


Fig. 10. Growth characteristics of several cast irons.

ト域の生長との間には関係が認められない。しかし、変態による生長と考えられる 700°C と 850°C の間の生長を  $G_\alpha$  とし、オーステナイト域の生長を  $G_f$  とし、両者の和  $G_\alpha + G_f$  を横軸にとし、両域にわたる 700°C と 950°C の間の生長  $G_f$  との関係性を求めた結果は極めて良い直線関係になつた。

実験による異なるサイクルによる生長の関係は組合せた鑄鉄について比較すればさらに明瞭になる。Fig. 10 は 2, 3 の例である。700°C と 950°C の間の生長傾向がほぼ等しい鑄鉄 O, I および P, H の組合せにおいて変態による生長傾向はオーステナイト域の生長と逆になる。変態による生長傾向が等しい鑄鉄 M, N の組合せにおいて、700°C と 950°C の加熱サイクルの生長に見られる著しい違いはオーステナイト域の生長傾向によつて支配された結果である。

以上の実験では簡単にするために 700°C と 850°C の間の加熱サイクルによる生長を変態による生長として扱つた。しかし厳密に言えば変態による生長のほかオーステナイト域の生長が含まれている。Ac<sub>1</sub> 変態と Ar<sub>1</sub> 変態に温度差があるために、つねにオーステナイト域の生長がともなうことになる。しかし、前の実験で明らかになつたことから、オーステナイト域の生長は加熱冷却

Table 4. Growth by  $A_1$  transformation.

Cast iron	Heating cycles	Average growth	Ratio
K Hard	700 $\rightleftharpoons$ 850°C 750 $\rightleftharpoons$ 850°C	4.7×1/100min 2.6	100 55
	700 $\rightleftharpoons$ 950°C 750 $\rightleftharpoons$ 950°C	14.3 // 9.3 //	100 65
J Soft	700 $\rightleftharpoons$ 850°C 780 $\rightleftharpoons$ 850°C	23.7 // 7.7 //	100 33
	700 $\rightleftharpoons$ 950°C 800 $\rightleftharpoons$ 950°C	38.5 // 17.6 //	100 45

の温度差が小であればわずかであると考えられる。

これまでの研究は生長における変態を重視しながら、これと傾向が一致しないオーステナイト域の生長の加わったものを対象としていたことになる。詳細に研究するには変態による生長と、オーステナイト域の生長を分離する必要があるけれども、直接分離は不可能のようである。間接的には、加熱サイクルの上限温度を一致させ、下限温度を  $Ar_1$  変態の直上および直下にとり、両者の差を求めるならば、それが変態による生長量に最も近い値になると思われる。軟質の鑄鉄Jと硬質の鑄鉄Kについて実験した結果は Table 4 に示すごとくである。これから当然のことであるが、最高加熱温度の低い場合および軟質の鑄鉄では変態による生長が、全体の生長のなかで重要な比率を占めることが明らかになった。生長し難い硬質の鑄鉄ではオーステナイト域の生長が重要である。また、この結果から、変態を上下した加熱冷却による、すべての場合の生長は変態による生長とオーステナイト域の生長の和であつて、両者は不可分の関係にあることが明らかになった。なお Table 4 の実験において変態の直上、直下の温度を定めることは必ずしも容易ではないうえに、変態を含む場合と含まない場合では加熱時間に差があるので、厳密に変態による生長を分離したとは言い難い点に注意が必要である。

#### IV. 結 言

鑄鉄の生長は複雑な現象であつて、これを説明する理論も錯雑している。変態、黒鉛化および酸化が生長の要因と考えられているが、著者は加えて、黒鉛の溶解析出による不可逆膨張の重要性を主張した<sup>6)</sup>。オーステナイト域の生長を区別して考えると、著者の生長機構が最もよく実験事実を説明する。この論文においてはオーステナイト域の生長に関する実験事実と、これに対する理論について若干の検討を加えた。さらにオーステナイト域における生長と変態による生長の関係についても重要な

実験結果が得られたが、その理解については変態による生長の機構の問題を含むので詳細な議論は省いた。なお、黒鉛の溶解析出による生長機構においては生長量は炭素移動量、黒鉛の溶解による porosity の発生および黒鉛の析出における再分布によつて考えられることを付言しておく。得られた結果を要約すれば次のごとくである。

(1) オーステナイト域で加熱冷却することによつて鑄鉄は生長しつづける。

(2) オーステナイト域の生長は加熱冷却の温度差が大きいほど著しい。同じ温度差の場合に高温で生長が増加するとは限らない。

(3) 変態域でほとんど生長しない硬質の鑄鉄にもオーステナイト域の生長が認められる。

(4) 片状黒鉛の粗密の影響が変態域の生長に認められた鑄鉄をオーステナイト域で試験した場合にはその影響が認められなかつた。

(5) 球状黒鉛鑄鉄のオーステナイト域の生長はループを描きつつ進行した。

(6) 空気中で予備加熱した後のオーステナイト域の生長は増加するが変態による生長は逆に減少した。

(7) 変態を上下した加熱冷却による生長は変態による生長とオーステナイト域の生長の和である。

(8) 変態による生長は単独に測定し得ず、オーステナイト域の生長をとらなう。

(9) オーステナイト域の生長傾向と変態による生長傾向は必ずしも一致しない。

(10) オーステナイト域の生長は酸化膨張ではない。酸化雰囲気の影響はまずガスによる間接作用としてあらわれオーステナイト域の生長を増加せしめる。

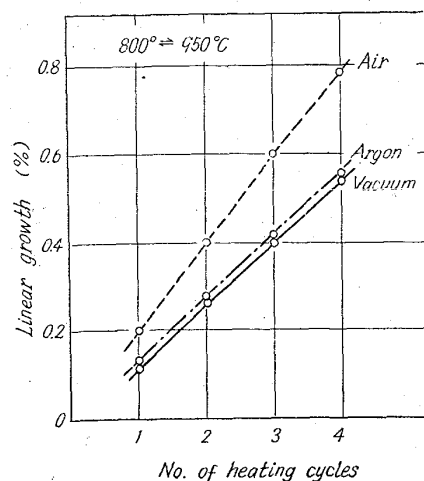


Fig. 11. Growth in austenite region tested with other apparatus.



(11) オーステナイト域の生長は黒鉛の溶解析出による生長機構によつてよく説明し得る。

### V. 補 遺

オーステナイト域の生長は真空、アルゴンガス中においてもおこる。Fig. 11 はその一例で炭素 3.4%，珪素 1.7% の鼠鑄鉄の生長である。測定はまえの実験とは別に川鉄製熱膨張記録装置によつた<sup>14)</sup>。

最後にこの研究は北海道立工業試験場において行なつたことを付記し、関係者に深甚なる謝意を表します。

### 文 献

- 1) 菊田：東北理科報告 (1922) 11 April 1~17
- 2) 沢村：鉄と鋼, 23 (1937) 9, p. 863
- 3) 大河内：東大工紀要, 13\*3 (1920) 2
- 4) 長岡：鉄と鋼, 39 (1953) 11, p. 1250
- 5) 長岡：鉄と鋼, 44 (1958) 3, p. 362
- 6) 長岡：鑄物, 34 (1962) 5, p. 380
- 7) J. J. GRANT: Foundry Trade J., 3 (1953) 9, p. 281
- 8) M. M. HALLET: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 170 (1952) p. 321
- 9) 森田：鑄物, 27 (1955) 4, p. 307
- 10) 長岡, 萩原：鉄と鋼, 46 (1960) 10, p. 1310
- 11) 長岡：鑄物, 34 (1962) 9, p. 54

## オーステナイト+フェライト系ステンレス鋼の 諸性質におよぼす成分および組織の影響\*

井上 繁 弘\*\*・土 屋 隆\*\*\*

### Effects of Chemical Compositions and Structural Condition on Properties of Austenitic and Ferritic Cast Stainless Steels.

Shigehiro INOUE and Takashi TSUCHIYA

#### Synopsis:

Cast 18-8 stainless steels normally contain  $\delta$ -ferrite, the amount of which depends mainly on the chemical composition.

In this report, the effects of various alloying elements on the amount of ferrite and on the properties of the steels investigated by tensile, microscopic and corrosion tests were investigated with the following results.

(1) The strength of the cast steels increased in proportion to the amount of ferrite in austenite, but the elongation lowered inversely.

(2) For the same amount of ferrite, the alloying elements Si, Mn and Mo strengthened the cast steels in that order.

(3) The corrosion resistance was not affected by the amount of ferrite, but it was vastly dependent on the variation and content of alloying elements.

(4) No definite relation was observed between mechanical properties at 800°C and the amount of ferrite.

(Received 21 Aug. 1963)

### I. 緒 言

18-8 系ステンレス鋼は凝固の際、柱状晶の発達にともない偏析を生じ易く、 $\delta$ -フェライトが残留し、オーステナイト+フェライト組織となる。

鍛造材の場合には、フェライト量の多いことは熱間加工性を劣下させる原因となるが、鑄物の場合には、このフェライトが hot tear などの防止に役立つ。したがって ACI 規格では 18-8 ステンレス鋼はその成分規格範囲でフェライト相を 0~15% 含有するのが普

通であると述べられている<sup>1)</sup>。一般にフェライト量が増加すると冷間強度が増加し、靱性が低下すると云われており<sup>2)</sup>、オーステナイト+フェライト型でその両者の性質の差を利用した高張カステンレス鋼もある<sup>3)</sup>。一方オーステナイト系ステンレス鋼中のフェライト相は強い腐食剤の場合には局部電池作用を高めて一般に腐食度<sup>4)</sup>

\* 昭和37年10月本会講演大会にて発表  
昭和38年8月21日受付

\*\* 太平金属工業株式会社, 工博

\*\*\* 大平金属工業株式会社