



Title	低ニッケル片状黒鉛鑄鉄の耐熱性について
Author(s)	相馬, 詢; Sohma, Makoto; 長谷部, 誠 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 140, 91-100
Issue Date	1988-05-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/42096">https://hdl.handle.net/2115/42096</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	140_91-100.pdf



## 低ニッケル片状黒鉛鑄鉄の耐熱性について

相馬 詢 長谷部 誠\*

(昭和62年12月26日受理)

### On the Heat Resistance of Flake Graphite Cast Iron containing Low Ni

MAKOTO SOHMA, MAKOTO HASEBE

(Received December 26, 1987)

#### Abstract

The recent tendency to raise power of internal combustion engine strongly points out that the heat resistance of cast iron used mostly in the parts of the system of exhaust is to be increased more.

For the purpose, to add alloying elements is very effective and many heat-resistant cast irons are developed. But they are generally expensive and limited in the point of use industrially because they contain a large amount of alloying element. Thus the development of comparatively cheap cast iron of low alloying elements is important. So in this paper the heat resistance of cast irons alloyed up to 3% with Ni into the normal flake graphite iron of low strength (10 kgf/mm<sup>2</sup>) was investigated by the growth test.

From the test, the following results were obtained. That is, the growth of cast irons containing Ni was larger 2% at most than that of Ni-free iron. But 3%Ni iron had high mechanical properties even after it reached 7% growth when the internal structure became porous, its growth rate decreased from the middle stage of heatings and its falling off of oxide scale was comparatively small. So it was proved that 3%Ni iron was able to be evaluated as the industrially heat-resistant material and also in the point of economy.

#### 1. 結 言

鑄鉄は高温で加熱されると表面に酸化による変質が生じるが、普通鋼材に比べて酸化皮膜が剥離しにくいので耐熱材料として工業的に多く使用されている<sup>1)</sup>。例えば、ストーブ、火炉部品、鋼塊鑄型、シリンダーヘッド、A1溶解用ポットなどが主な例である<sup>2)</sup>。

近年、エネルギー問題に関して耐熱用及び高温材料の開発と耐久性が高まり、鑄鉄についても耐熱性の向上が強く求められるようになった。例えば最近内燃機関の高出力化に伴い鑄鉄製排気系部品の劣下が大きな問題になり解決が急がれている。

鑄鉄の耐熱性は酸化抵抗、高温強さ、さらに生長性によって評価される。なかでも、繰り返し加熱により不可逆的寸法変化が生じ、材質が劣化する生長現象<sup>3)</sup>が耐熱性評価の中でも特に重要である。それは熱サイクル、力学条件、環境等多くの要因によって複雑な影響を受けるからである<sup>4)</sup>。従って、過酷な工業的使用に対して鑄鉄の耐熱性を向上させるために耐生長性の見地からも多く

機械工学第二学科 機械材料学講座  
\*旭硝子株式会社

の研究が行われてきた。その中心をなすものは黒鉛形状変化と合金元素添加についてであり、それによって酸化と黒鉛化の抑制が試みられた。すなわち黒鉛形状を片状から塊状あるいは球状にすることによって黒鉛片に沿った酸化の内部侵入を防いだ<sup>5)</sup>。合金元素の添加としては、例えば Cr の添加によってパーライトを安定にして変態による生長、さらに遊離セメントサイトを析出させオーステナイト域の生長を減少させた。又、Si 添加により共析炭素量を減少し、オーステナイト域における黒鉛の溶出量を少なくして生長を抑制した<sup>6)</sup>。一方、Al, Ni 等も耐熱性に対しては有効で、特に後者は基質をオーステナイト組織にするので変態がなく、生長が起らない。代表的な鑄鉄としてはニクロシラル (Ni16~22%, Cr1.8~5.0%, Si5.0~7.0% の低炭素鑄鉄, 耐熱温度 950°C) とニレジスト (C2.6~3.1%, Si1.0~2.0%, Mn0.8~1.4%, P0.1~1.0%, Cr2.5~3.5%, Ni5.5~8.0%, 耐熱温度 850°C) で、前者は耐熱性のみならず、強度も高く熱衝撃に優れている。

耐熱性向上には上記のように合金元素の添加が特に有効であるが、合金鑄鉄は一般的に高合金のため、高価であり、使用が制限される。そこで本研究では普通の低強度片状黒鉛鑄鉄に少量の合金元素を加え、経済的な面からも耐熱性が評価できる鑄鉄の開発も重要であると考え、FC10 級の片状黒鉛鑄鉄にニッケル (Ni) を組織が大きく変化しない範囲で少量添加した場合の耐熱性を生長実験によって調べた。ここで Ni に注目したのは Ni1% 以下の少量でも基質を緻密にしてオーステナイトの安定性を増す、炭化物の形成を弱める、基質中への炭素の溶解度を減らすなどの働きをするからである<sup>7)</sup>。特に後者の効果は生長を抑制するのに有効であることが黒鉛不可逆移動説<sup>8)</sup> の立場から理解される。

## 2. 実験方法

実験に使用した鑄鉄は FC10 級の片状黒鉛鑄鉄溶湯に電解 Ni (95%) を添加して、目標 Ni 量 0%, 1% 及び 3% の三種の鑄鉄を製造したが、それらの鑄鉄を Ni0 鑄鉄, Ni1 鑄鉄及び Ni3 鑄鉄と呼ぶことにする。素材寸法は  $\phi 30 \times 250$  (mm) の丸棒で、その化学組成を表 1 に示した。顕微鏡組織は図 1 に示した通り、Ni0 鑄鉄の場合は長く伸びた片状黒鉛とその周辺のフェライト、そしてパーライト基質からなっている。又、キッシュ黒鉛の析出も各所に見られた。これに対して Ni の添加と共に黒鉛が細かく、パーライト基質は緻密になった。さらに、黒鉛周辺のフェライトは減少する傾向を示した。これらの三種の鑄鉄の諸性質を表 2 に示したが、引張強さは Ni0 鑄鉄の 10.0 kgf/mm<sup>2</sup> に対して、Ni の添加と共にほぼ直線的に増大して、Ni3 鑄鉄では 22.3 kgf/mm<sup>2</sup> と、

表 1 鑄鉄の化学組成, %

	T.C	Si	Mn	P	S	Ni
Ni0鑄鉄	3.49	2.11	0.49	0.034	0.018	0.023
Ni1鑄鉄	3.32	2.04	0.45	0.035	0.017	0.950
Ni3鑄鉄	3.19	2.07	0.43	0.035	0.019	2.870

表 2 鑄鉄の性質

	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	ブリネル硬さ (HB)	比重
Ni0鑄鉄	10.0	111	6.91
Ni1鑄鉄	15.7	121	6.92
Ni3鑄鉄	22.3	154	6.98

Ni0 鑄鉄の 2 倍以上になった。一方、ブリネル硬さ (HB) も引張強さと同様に Ni と共に増大した。

生長試験片は図 2 に示したように素材中心部から採取した直径 25 mm, 長さ 200 mm の丸棒で、生長量測定 of 基準として両端面の中心に耐熱鋼を打込んだ<sup>9)</sup>。そしてこの試験片を大型マッフル炉にて静止空気中で加熱と冷却を繰り返した。すなわち、950°C で 30 min 加熱した後、レンガ箱 (室温) 中での 30 min

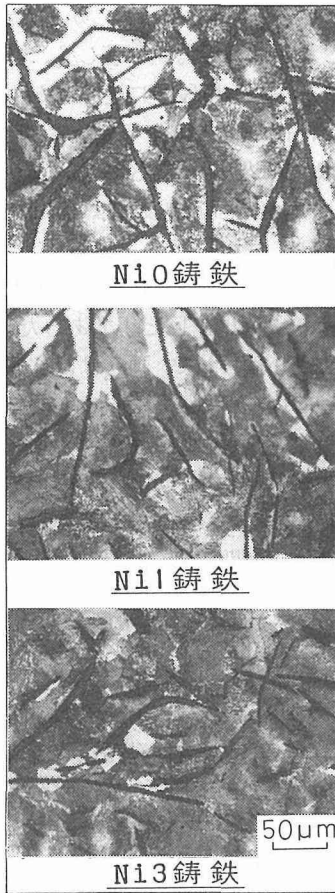
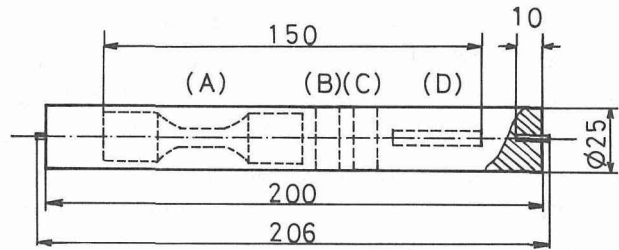


図1 鑄造のままの顕微鏡組織



- (A) 引張試験片 (平行部長さ: 11mm, 直径: 12mm, 肩部半径: 15mm)
- (B) 組織観察用試験片 (Φ25×10)
- (C) 硬さ測定用試験片 (フリネル硬さ)
- (D) 熱膨張試験片 (Φ5×35)

図2 試験片寸法

の冷却を一回として、各々の鑄鉄について1, 25, 50, 75及び100回加熱した。生長量の測定はノギスで耐熱鋼間を1/20mmまで測定して求めた。さらに、引張強さ、硬さ、比重及び熱膨張曲線を測定すると共に顕微鏡組織を観察した。尚、生長鑄鉄からそれぞれの試験片を採取する個所及び形状は図2に示した通りである。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 生長曲線及び重量変化

図3はNi0, Ni1及びNi3鑄鉄の生長曲線で、生長量は室温において測定した結果である。

Ni0鑄鉄は加熱と共に生長が増大して、100回の加熱で線生長9.8%に達したが、生長傾向は加熱回数20, 45及び65回で

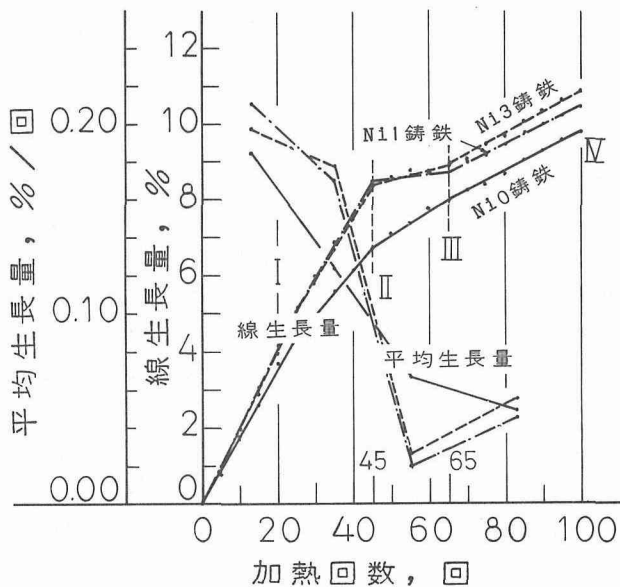


図3 生長曲線

変化した。すなわち100回の加熱に達するまで生長傾向は図中に示したようにI, II, IIIそしてIVの四段階に区分され、生長率が次第に減少した。一方、Ni1とNi3鑄鉄の100回加熱による生長傾向もNi0鑄鉄と同じ回数で変化すると共に両鑄鉄の生長はほぼ等しく、加熱終段において生じた生長差もわずかであった。しかし、Ni0鑄鉄より生長が大きく、しかも加熱の中段まで生長差が増大して、最大2%にもなった。

生長第I段階の20回加熱迄(生長量およそ4%迄)はNi0, Ni3そしてNi1鑄鉄の順に生長が大であるが、含Ni鑄鉄とNi0鑄鉄との生長差は

加熱と共に増大して、最大でおよそ1%になった。しかし三鑄鉄の生長傾向はほぼ等しかった。

生長第II段階(生長量7~8%迄)では各鑄鉄共に生長率が減少したが、Ni0鑄鉄は著しく、45回の加熱において含Ni鑄鉄に比較して約20%も生長が小であった。一方、第III段階に達すると生長率はさらに減少するが、含Ni鑄鉄の減少傾向が大きく、第II段階とは逆の傾向になったのが注目される。すなわち、Ni0鑄鉄の0.067%/回に対して両含Ni鑄鉄では0.026%/回と、Ni0鑄鉄より約60%も減少した。従って加熱と共にNi0鑄鉄との生長差が減少して、65回加熱後には45回加熱の1.71%から0.86%になった。

生長第IV段階に達するとNi0鑄鉄の生長率がわずかに減少するのに対して、両含Ni鑄鉄は第III段階の約倍に増大した。しかし、三鑄鉄の生長率はほぼ等しくおよそ0.050%/回と小であった。生長曲線は加熱と共にNi3鑄鉄がNi1鑄鉄を上回ったが、その差はごくわずかで、両者はほぼ類似した傾向の直線を描いた。一方、Ni0鑄鉄は含Ni鑄鉄の生長よりおよそ10%下回って平行線を描いた。

片状黒鉛鑄鉄にNiを少量添加すると機械的性質が増大するが、生長傾向も増大した。この現象は中間段階の生長、7~8%迄著しいので、Niの添加は耐熱性を低下させるとも考えられる。しかし、生長率の変化から耐熱性向上が理解される。すなわち、加熱が進んだ中間段階以上でNi添加鑄鉄の生長率が著しく低下したからである。

生長の中間段階まで含Ni鑄鉄の生長が添加しない場合よりも上回ったのは前報<sup>10)</sup>の通り、黒鉛形状に起因すると考えられる。すなわちNiの少量添加でも黒鉛片が微細化した。従って生長についての黒鉛不可逆移動説<sup>8)</sup>の立場から、黒鉛の表面積が増大するので加熱時における炭素の溶解量が増して、生長が大きくなったと考えられる。又、黒鉛片の微細化は自己浸炭性雰囲気形成を促し、炭素の溶解・析出を増大する<sup>11)</sup>。しかし生長がある程度進むと炭素が再分布する位置が減少する結果、既存黒鉛の表面を核として析出し、黒鉛の肥大化が生じる。この機構が第II段階から第III段階にかけて生長率が著しく低下した理由である。さらに、表面酸化が激しくなり酸素の内部侵入が抑制されて自己浸炭性雰囲気の生成量が減少したことも原因であろう。

第IV段階で含Ni鑄鉄の生長率が再び増大して、三鑄鉄の生長傾向がほぼ等しくなった。生長率の増大は鑄鉄全体がポラスな構造に変化した後の加熱で、しかも表面の酸化皮膜が部分的にはく離されるので、雰囲気を中心部付近迄達し、内部酸化あるいは自己浸炭現象がわずかに生じるようになったためであろう。さらに基質の黒鉛化も考えられる。

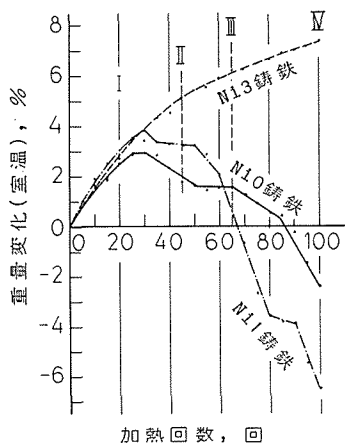


図4 加熱に伴う重量変化

図4は生長試験片の加熱に伴う重量の変化(室温)を示したグラフである。三鑄鉄ともに生長第II段階の中ば付近迄加熱と共に重量が増大したが、その後の変化に相違が生じた。すなわち、Ni0鑄鉄の重量は30回以上の加熱で次第に減少し、100回加熱後においては加熱前より約2%減少した。これは鑄鉄表面に形成された酸化皮膜(スケール)の形成と脱落の繰り返しによる。

Ni1鑄鉄も50回以上の加熱で次第に重量が減少したが、その傾向はNi0鑄鉄より著しく、100回の加熱後にはNi0鑄鉄より約3倍も重量減が生じた。これはNiの少量添加によって材質が強化される一方、黒鉛が微細化されるので酸化性雰囲気の浸透が中心部迄は達しにくい、むしろ表面近くでは容易であるの

で<sup>11)</sup>、スケールの形成・脱落が繰り返されたのであろう。一方、Ni3 鑄鉄は 50 回以上の加熱で増加率が減少するが、加熱と共に重量がほぼ連続的に増大した。これは Ni 量が比較的高いので、表面に形成されるスケールの強度が比較的高く、密着性が良いので剝離・脱落が抑制されたのであろう。

以上の重量変化から、Ni は 3% 程度の添加により普通片状黒鉛鑄鉄の耐熱性を向上させることが分かった。特に、7% の生長により鑄鉄内部がポーラス化し雰囲気の影響を強く受ける段階に達しても生長率が著しく低いのは、前述のように表面に形成された皮膜が Ni0 鑄鉄や Ni1 鑄鉄とは異なり、密着性が良いので、雰囲気の内侵を抑制したことも一因であらう。

### 3.2 生長に伴う諸性質の変化

図 5 は生長に伴う諸性質の変化を示したグラフである。

三鑄鉄の鑄造のままの比重はほぼ等しくおおよそ 7.0 である。しかし Ni3 鑄鉄の値は強度から判断すると少し低い<sup>12)</sup>。これは Ni 添加により鑄物の中心部付近に微小引け巣が発生した<sup>13)</sup>ためと考えられる。一方、比重は生長と共にほぼ直線的に 7% まで減少したが、生長最終段階での減少傾向が著しく、10% 生長では三鑄鉄共におおよそ 5.5 になった。

このような加熱に伴う比重の減少は鑄鉄内部が黒鉛不可逆移動機構により次第にポーラスな構造に変化することを示すものであることが、後述の組織変化とともに理解される。

鑄造のままのブルネル硬さ HB は前述の通り Ni 添加と共に増大して、Ni0 鑄鉄の 111 が Ni3 鑄鉄では 154 になった。これに対して生長と共に 7% までほぼ直線的に減少したが、7% 以上での減少傾向が大きく、10% 生長における三鑄鉄の硬さはほぼ等しくなり、おおよそ 35 であった。

鑄造のままの引張強さは硬さの場合と同じく Ni 添加により増大し、前述のように Ni0 鑄鉄の 10.0 kgf/mm<sup>2</sup> が Ni3 鑄鉄では 22.3 kgf/mm<sup>2</sup> になった。生長に伴う変化は比重、硬さと同じく生長 7% まではほぼ連続的に減少したが、7% 以上での減少傾向が著しく、10% 生長では三鑄鉄共に 3~5 kgf/mm<sup>2</sup> 程度になった。

生長に伴う引張強さの変化で注目することは、Ni がわずか 1% の添加で 50%、3% 添加で約 100% も増大する一方、7% の生長においても Ni0 鑄鉄のおおよそ 150%、15~17 kgf/mm<sup>2</sup> を保持し、加熱前よりわずか 30% 程度の減少にすぎなかった。すなわち、Ni を 1~3% 添加することにより生長初期段階では生長率が增大するが、生長により鑄鉄内部がポーラス化し、雰囲気の影響が顕著になり始める 7% の生長段階においても比較的高い機械的性質を保持する効果が認められた。しかしこの効果も図から明らかなように 7% までで、それ以上では消失するが、前述のごとく生長率は著しく低くなった。従って、Ni の少量添加によって加熱の中段迄は生長による材質の劣下を防ぎ、加熱の後段では生長率を低下させる効果があることを明らかにしたが、これは鑄鉄の耐熱性向上の観点から極めて重要な知見と考えられる。又、Ni わずか 1% の添加によって引張強さが 15 kgf/mm<sup>2</sup> 強を保持していることから、強度を有した多孔質の材料として防震材料等工業的に種々の利用の可能性が大である<sup>14)</sup>。

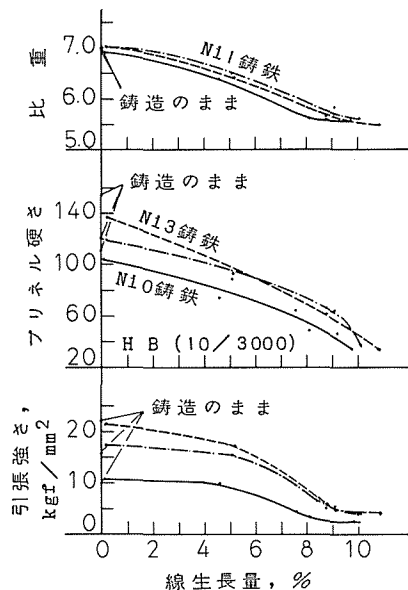


図 5 生長に伴う性質の変化

### 3.3 熱膨張曲線

図6と7はNi0とNi3 鑄鉄の0, 50及び100回加熱した熱膨張曲線である。測定用試験片は生長実験試験片の中心部から採取したφ5×35 (mm) の丸棒で、縦型の熱膨張試験機<sup>15)</sup>の燃焼管を真空(おおよそ $3 \times 10^{-3}$  mmHg)にして行った。繰り返し加熱温度範囲は950°~600°Cで、この間を加熱・冷却速度おおよそ10°C/minで3回加熱した。

鑄造のまま(空气中加熱0回)のNi0 鑄鉄の熱膨張曲線において、加熱初めには大きな冷却変態膨張が生じるが、2回目以降は漸進的に減少した。又、オーステナイト域において加熱・冷却曲線がほぼ一致する傾向が見られた。これに対してNi3 鑄鉄の場合はNi0 鑄鉄に類似しているが、オーステナイト域における加熱曲線の傾きが增大すると共に冷却曲線との傾きの差が生じ、生長が増大した。

50回の加熱、生長7%により鑄鉄内部がポーラス化したNi0 鑄鉄の生長率は鑄造のままに比較して著しく低い。すなわち、毎回の生長率はほぼ一定であるが鑄造のままの加熱初期のおおよそ1/5である。これに対してNi3 鑄鉄の加熱1回目の生長はNi0 鑄鉄より大であるが、加熱と共に

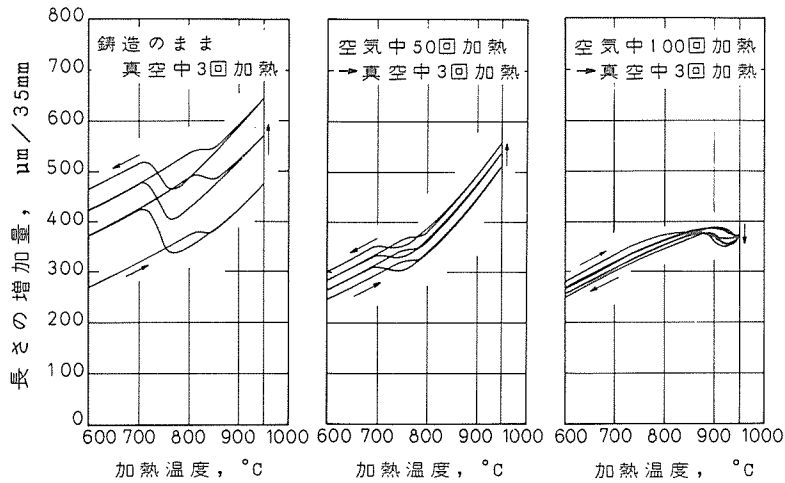


図6 Ni0 鑄鉄の熱膨張曲線

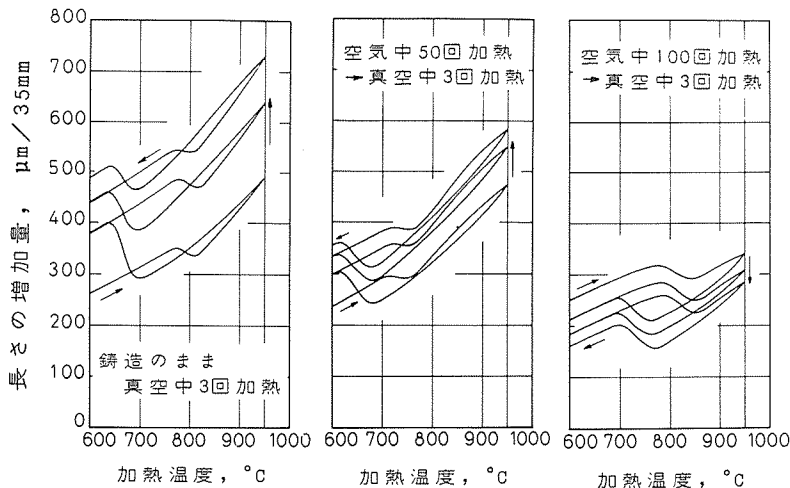


図7 Ni3 鑄鉄の熱膨張曲線

減少し、3回目にはNi0鑄鉄にほぼ等しくなった。

生長の最終段階に達すると両鑄鉄共に収縮傾向を示したが、その度合はNi3鑄鉄の方が大であった。又、注目することは両鑄鉄の加熱0と50回後のそれぞれの変態点はほぼ等しかったが、100回加熱後には高温側に移行した。この現象は脱炭の進行によるものと思われる。

収縮現象は加熱の繰り返しにより片状黒鉛から炭素が基質中に溶解・析出して、黒鉛が粒状あるいは糸状に分布することによって、黒鉛同志がつながる一方、鑄鉄内部がポラスな状態、すなわち焼結金属に類似した通気性のある構造に変化した結果である<sup>15)</sup>。

真空中における繰り返し加熱による収縮の度合がNi3鑄鉄において著しかったのは、前述のように黒鉛の微細化によって黒鉛再分布量が多く、従って生長が大になり、内部のポラス化が激しくなった結果である。一方、このような鑄鉄を空气中で加熱すると生長率がわずかに増大したのはポラス部に侵入した酸化性雰囲気によって内部酸化あるいは自己浸炭現象が生じたのであろう。

### 3.4 生長鑄鉄の外観及び顕微鏡組織

図8はNi0とNi3鑄鉄の生長試験片の加熱に伴う外観の変化を示した写真である。Ni1鑄鉄はNi0鑄鉄に類似しているので省略した。

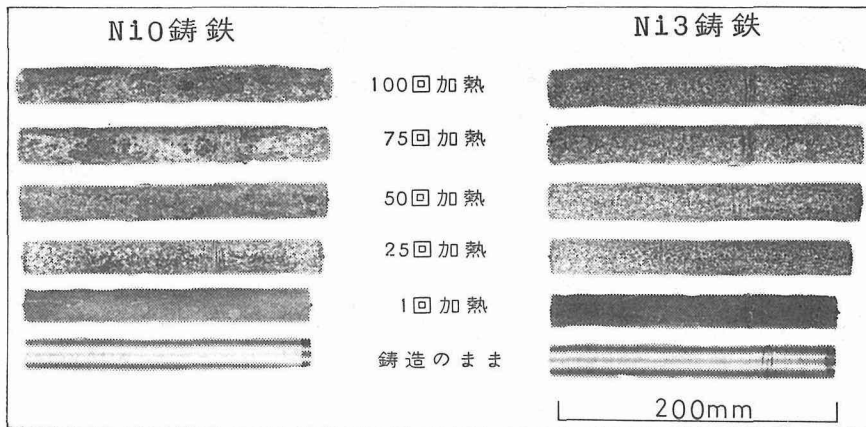


図8 生長鑄鉄の外観

両鑄鉄共に加熱に従って不可逆的に寸法が増大する一方、表面の変質、すなわち酸化の影響が激しくなる様相が明りょうである。

Ni0鑄鉄ではスケールの形成・脱落が激しく、有効直径が減少した。しかしNi3鑄鉄ではスケールのはく離がわずかで、表面はごま塩状を呈し、加熱と共に長さのみならず直径も増大する傾向が認められるが、この現象は先の図4に示した重量変化に対応する。

図9と10はNi0とNi3鑄鉄の顕微鏡組織である。

鑄鉄は加熱と共に試料周辺に変質層、すなわち元の試料表面から外側に形成される酸化皮膜( $\text{FeO} + \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ )とその内側の酸化( $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{SiO}_4$ <sup>16)</sup>)・脱炭層の形成が顕著になったが、Niと共に変質の度合が減少する傾向が見られた。

25回加熱後の酸化・脱炭層厚(第1層)はNi0鑄鉄、Ni3鑄鉄共に同程度であったが、黒鉛周辺の酸化物のenvelop<sup>17)</sup>はNi3鑄鉄の方がわずかに厚く、又黒鉛の肥大化も大である。

酸化・脱炭層の内側に緻密なパーライト層(第2層)<sup>18)</sup>が形成されたが、両鑄鉄共に黒鉛周辺に少量のフェライトの析出が見られた。又、黒鉛周辺の乱れ、再分布黒鉛数はNi3鑄鉄の方が多

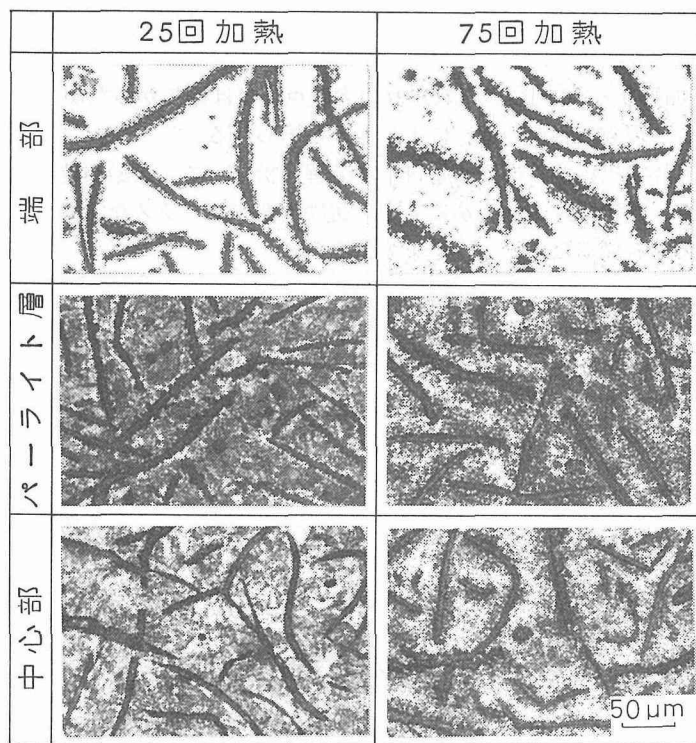


図9 Ni0 鋳鉄の顕微鏡組織

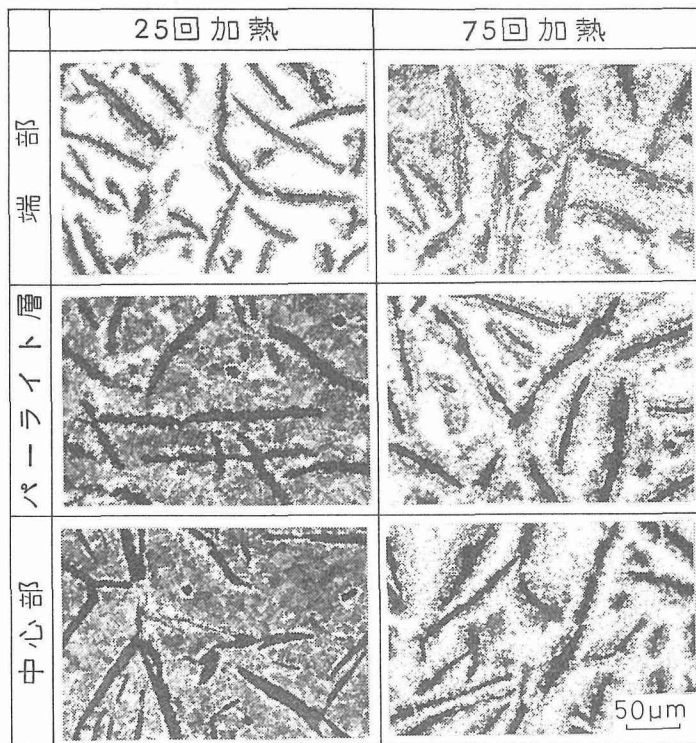


図10 Ni3 鋳鉄の顕微鏡組織

く、生長傾向に対応した。

25回加熱後の中心部組織(第3層)は片状黒鉛、粒状小黒鉛及びパーライト基質からなる一方、黒鉛周辺にフェライトの析出が少量見られた。しかし黒鉛周辺の乱れ及び粒状小黒鉛の析出量はパーライト層(第2層)におけるよりも少なく、又パーライトは第2層より粗い様相である。

75回の加熱によって酸化・脱炭層が激しくなり、Ni0 鋳鉄ではその度合が特に大で、又、内部は分解傾向のパーライト基質、粒状小黒鉛、少量のフェライト、羽毛状突起の見られる片状黒鉛とそれを取りまく酸化物の envelop からなっている。これに対して Ni3 鋳鉄は Ni0 鋳鉄に類似しているが、中心部におけるパーライトの分解が著しく、フェライトの析出が顕著である。又、酸化物の点見も見られた。注目することは、Ni は黒鉛化を促進させる元素として知られているが、加熱がかなり進むまで黒鉛化が進行しなかったことから黒鉛化までの潜伏期間がかなり長いと考えられた。従って 25 回の加熱により Ni0 鋳鉄は約 4%、Ni3 鋳鉄は約 5% 生長したが、Ni3 鋳鉄の機械的性質は前述のように Ni0 鋳鉄より約 50~60% も大であったのは、Ni によるパーライトの分解抑制と自己浸炭現象によるパーライトの緻密化によると考えられる。

組織変化についてさらに注目されることは、生長は黒鉛可逆移動と自己浸炭現象によると

著者の一人が主張しているが<sup>19-20)</sup>、本研究においてそれが同時にしかも明瞭に見られたこと見られたことである。すなわち、酸化・脱炭層に続くパーライト層中の元の黒鉛周辺は生長と共に乱れる一方、基質中の各所に粒状の黒鉛が数多く明瞭に観察された。そして中心部に向かって黒鉛粒数が減少し、パーライトが粗くなると共にフェライトの析出が増大した。従来の多くの研究においても同様な傾向が見られたが、本研究のように自己浸炭現象とそれに伴う粒状黒鉛の析出は明確でなかった。従って本研究は Ni の少量添加によって普通片状黒鉛鋳鉄の耐熱性向上を明らかにすると共に、著者の一人の鋳鉄の生長理論<sup>19)</sup>を改めて実証することができた。

#### 4. 結 言

耐熱性が比較的低い低強度の片状黒鉛鋳鉄の耐熱性を少量の合金元素の添加により向上させる、すなわち低価格耐熱鋳鉄開発の試みとして FC10 級の片状黒鉛鋳鉄に Ni を組織変化を大きく起こさせない範囲添加 (3%迄) した鋳鉄について静止空气中で生長実験を行った。そして生長傾向及び諸性質の変化から低 Ni 片状黒鉛鋳鉄の耐熱性について有益な知見を得ることができた。得られた結果をまとめると次の通りになる。

1) 片状黒鉛鋳鉄 FC10 級に Ni を 3%迄添加すると、Ni と共に機械的性質が増大した。すなわち、引張強さは Ni0%の 10.0 kgf/mm<sup>2</sup> が Ni1%添加で 15.7 kgf/mm<sup>2</sup>、そして 3%では 22.3 kgf/mm<sup>2</sup> になった。硬さも同様な傾向で増大した。又、Ni3%添加により酸化スケールの脱落、黒鉛化の抑制傾向が生じた。

2) 950°~室温の間を 100 回繰り返し加熱すると三鋳鉄 (Ni0%, 1%及び 3%) 共おおよそ 10%生長した。又、生長傾向も同じ加熱回数で変化すると共に生長率が次第に減少した。

3) 含 Ni 鋳鉄の生長は加熱の全体を通してほぼ等しいが、Ni を含まない鋳鉄よりは大きめで、しかも加熱中段まで差が増大して、最大で 2%にも達した。しかし加熱後段では減少して 1%になった。

4) 含 Ni 鋳鉄は内部がポーラスな段階に達する 7%の線生長においても機械的性質が Ni を含まない鋳鉄より約 50%も大きであった。

5) 含 Ni 鋳鉄は加熱の中段以降で生長率が著しく低下した。従って耐酸化性等も含め総合的に考慮すると Ni3%鋳鉄は低価格耐熱鋳鉄として工業的に評価できることが分かった。

#### 文 献

- 1) 長岡：機械材料学 (工学図書), (1984), p. 224
- 2) 斎藤：鋳鉄工学 (丸善), (1965), p. 90
- 3) C. Benedicks and H. Löfguist: Journ. I. & S. Inst., I (1927), p. 603
- 4) 長岡：鋳物の耐熱性 (第 8 回日本鋳物協会シンポジウム), (1975), p. 1
- 5) 斎藤：鋳鉄工学 (丸善), (1965), p. 93
- 6) 長岡：機械材料学 (工学図書), (1984), p. 225
- 7) 青山, 横井, 小林：鋳物, 58 (1987), 3, p. 200
- 8) K. Nagaoka: AFS Cast Metals Research Journal, (1969), 9, p. 145
- 9) R. J. Maitland & H. C. H. Hughes: J. & I., Dec. (1958), p. 573
- 10) 相馬, 長岡：鋳物, 58 (1986), 11, p. 781
- 11) 相馬：鋳物第 108 回講演概要集, (1985), 10 月, p. 58
- 12) 加山ら：鋳鉄の材質, (コロナ社), (1975), 第 5 版, p. 128
- 13) 大平, 井川：鋳造工学 (日本金属学会), (1971), p. 17
- 14) 相馬, 長岡：鋳物, 55 (1983), 4, p. 199
- 15) 相馬, 長岡：鋳物, 43 (1971), 2, p. 109
- 16) 渡辺, 大平：鋳物, 40 (1968), 1, p. 20

- 17) J. W. Grant : Foundry Trade Journal, Sept. (1953), 10, p. 321
- 18) 相馬, 長岡 : 鑄物, 56 (1984), 5, p. 269
- 19) 相馬 : 鑄物, 59 (1987), 5, p. 284
- 20) 相馬, 大内 : 北大工研究報告, 第 135 号 (1987), 5 月, p. 33