低 Ni-Cr 鑄鉄における Ni の影響について*

井川 博** 近藤 明** 土居定雄**

Hiroshi Ikawa, Akira Kondo and Sadao Doi: Effect of Ni on Low Ni-Cr Cast Iron.

On the low Ni-Cr cast iron containing approximately 1.0 to 3.0% Ni and 0.5 to 1.5% Cr, the effect of the Ni contents on the thermal expansion, growth, resistance to oxidation and microstructure, which are the basic properties of low alloy heat-resisting cast iron, were studied. The results obtained are as follows:

(1) Mechanical properties of cast iron containing approximately 2.0% Ni and 1.5% Cr are good. When the Ni content is increased to about 3.0%, almost same values are obtained in relation to the tensile strength irrespective of the Cr content.

(2) Cast iron containing approximately 2.0% Ni and 1.5% Cr indicates the lowest thermal expansion value. When Ni content is increased to about 3.0%, a tendency of expansion is recognized.

(3) Cast iron containing approximately 2.0% Ni and 1.5% Cr also indicates the lowest value in growth rate. The growth rate becomes clearly larger with increasing Ni content.

(4) A similar tendency is observed between the resistance to oxidation and at the growth rate, but the effect of the Ni content on the weight gain is somewhat stronger than that of the Cr content.

(5) Plain cast iron is poor in thermal expansion, growth rate, and resistance to oxidation. At some testing temperatures, however, the above cast iron is superior to cast iron containing a small amount of Ni and Cr.

(6) On the microstructure of cast iron containing approximately 1.0 to 2.0% Ni, graphite becomes smaller and cementite increases with increasing Cr content. When the Ni content is increased to about 3.0%, graphite becomes larger and cementite decreases to some extent.

It is concluded that the Ni content ranging from 1.0 to 2.0% acts effectively on the basic properties of low alloy heat-resisting cast iron in the range of Cr contents from 0.5 to 1.5%, but an undesirable effect appears when the Ni content is increased to about 3.0%.

(Received June 30, 1966)

I. 緒 言

普通鑄鉄に少量の Ni, Cr を単独または複合添加した低合金鑄鉄の基本的な性質, すらわち, 熱膨張, 成長性, 耐酸化性などについては一部を報告した⁽¹⁾⁽²⁾. Ni, Cr をそれぞれ単独に添加した場合には, 上記諸性質におよぼす添加元素の影響が明らかに認められたが, Ni, Cr を複合添加した場合については, Ni 添加量が約 0.5% と 1.5% の 2 系列であつたため, それがどのような影響をおよぼすかは明瞭には認められなかつた. よつて本報では, Cr 添加量を前報⁽¹⁾と同じく約 0.5, 1.0, 1.5% とし, Ni 添加量を約 1.0, 2.0, 3.0% とし, Ni, Cr を複合添加したものにつき上記の諸性質をしらべ, Ni がそれらにどのような影響をおよぼすかを明らかにした.

II. 試料および実験方法

試料の溶製, 機械的試験, 熱膨張試験, 成長試験および耐酸化性試験などについては, 前報⁽¹⁾と全く同じ方法で行なつた.

顕微鏡組織については, 鑄放しのままのものと成長試験

** 愛媛大学工学部冶金学科 (Department of Metallurgy, Faculty of Engineering, Ehime University, Matsuyama)

* 1966 年 4 月本会東京大会に発表

(1) 井川, 大西, 近藤, 土居: 本誌, 30 (1966), 274.

(2) 井川, 近藤, 土居: 1965 年 10 月本会福岡大会に発表.

を行なつたのちのものについて, 黒鉛の形状と分布状態ならびに素地の組織を観察した.

III. 実験結果および考察

1. 化学組成と機械的性質

Table 1 に溶製した 10 種類の試料の化学組成と機械的性質とを示す. 化学組成については, Ni, Cr とともに緒言で述べた目標成分からは多少のずれを生じた. 引張強さについては, Cr 添加量が一定の場合, Ni が増すにしたがつてそれは大きくなる. また, Ni 添加量が約 3% の試料 No. 23, 24, 25 においては, Cr 添加量 0.5~1.5% の範囲では, 引張強さにそれほど大きな差は認められない. ただし, 硬さにはかなりの変化が認められる.

2. 熱膨張試験

Fig. 1~3 に実験結果の代表的なものを示す. 合金元素の添加されない No. 0 は著しく大きな膨張を示す (前報⁽¹⁾の試料 No. 1 にほぼ同じ) が, 合金元素の添加されたものは試料 No. 0 にくらべて膨張は小さくなる. Ni 添加量が約 1% と 2% では Cr の影響が大きく, 膨張は小さくなる (Fig. 1, 2). これに反して, Ni 添加量が約 3% になると (試料 No. 23, 24, 25) 膨張の傾向が認められる (Fig. 3). これらの結果より熱膨張試験においては, 試料 No. 21 がもつとも膨張しがたい. また, Cr 添加量が増すにしたがつて

変態温度は上昇し、Niが増すにしたがつてそれは下降するという一般的傾向⁽³⁾が明らかに認められた。

伸びを示したが、試料No.0とNo.14とはそれがいくぶん大きいことが認められた。800°Cに繰り返し加熱した場合

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of cast irons.

Specimen No.	Chemical composition (%)							Mechanical properties		
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Tensile strength (kg/mm ²)	Deflection (mm)	Hardness (Hb)
0	3.38	2.03	0.59	0.087	0.025	0	0	21.1	2.0	183~195
14	3.37	1.98	0.56	0.091	0.022	0.94	0.50	23.7	2.0	205~209
15	3.35	1.88	0.57	0.084	0.022	0.92	0.92	28.2	1.5	235~252
16	3.38	1.87	0.55	0.089	0.028	0.88	1.38	31.8	1.8	273~321
19	3.31	1.82	0.59	0.079	0.027	2.17	0.48	26.1	2.0	223~229
20	3.38	1.87	0.60	0.084	0.035	1.99	0.92	29.5	1.8	255~262
21	3.19	1.92	0.58	0.079	0.027	2.29	1.36	33.9	1.5	302~331
23	3.10	1.92	0.59	0.092	0.026	3.44	0.49	33.1	1.9	262~273
24	3.26	1.96	0.58	0.090	0.032	3.42	0.90	32.5	1.3	269~277
25	3.35	1.91	0.57	0.081	0.032	3.25	1.34	36.2	1.5	307~342

Fig.1 Dilatation curves of specimen No.16 (in vacuum). Repeated heating temperature range: 550°~950°C. Heating and cooling rate: 10°C/min.

Fig.3 Dilatation curves of specimen No.25 (in vacuum). Repeated heating temperature range: 550°~950°C. Heating and cooling rate: 10°C/min.

Fig.2 Dilatation curves of specimen No.21 (in vacuum). Repeated heating temperature range: 550°~950°C. Heating and cooling rate: 10°C/min.

3. 成長試験

Fig.4~5に実験結果の代表的なものを示す。650°Cに繰り返し加熱した場合、ほとんどの試料は約0.5%程度の

Fig.4 Results of growth test of cast irons cyclic heated for 3 hr at 800°C.

(Fig.4), 試料No.16, 20, 21の伸びは小さい値を示す。950°Cに繰り返し加熱した場合 (Fig.5)は、試験温度が高い

(3) W.Hume-Rothery: J.Iron and Steel Inst., **203** (1965), 1185.

ため試料の伸びが大きく、成長の傾向が明りように認められる。この傾向は 800°C (Fig. 4) の場合とほぼ同じである。

Fig. 5 Results of growth test of cast irons cyclic heated for 3 hr at 950°C.

Fig. 6 Results of growth test of cast irons cyclic heated for 3 hr at 950°C in argon.

Fig. 6 はアルゴン 気流中 (150 cc/min) における 実験結果である。これはふん囲気の相違が成長にどのような影響をおよぼすかをしらべるために行なつたものである。図から明らかなように、試料 No. 0 が著しく大きな伸びを示すのに対し、Ni, Cr を添加した試料はすべて約 1% 以下の小さい伸びを示す。Fig. 6 におけるそれぞれの試料の成長の傾向は、Fig. 4, 5 におけるとほぼ同じである。また、Ni と Cr とは成長に対してたがいに相反する作用が認められているが⁽²⁾、Cr 添加量一定の場合、Ni 添加量が約 1% と 2% では著しい変化は認められない。ただし、Ni 添加量が約 3% になると、その黒鉛化を助長する作用⁽⁴⁾が大きく現われてくる。

(4) W.C. Blotto: Iron Age, 164 (1949), 88.

4. 耐酸化性試験

Fig. 7, 8 に実験結果の代表的なものを示す。650°C に繰

Fig. 7 Results of resistance to oxidation test of cast irons cyclic heated for 2 hr at 800°C.

Fig. 8 Results of resistance to oxidation test of cast irons cyclic heated for 2 hr at 950°C.

り返し加熱した場合、合金元素の添加されたものは、いずれも試料 No. 0 にくらべて耐酸化性はよくなっている。とくに試料 No. 16, 21, 26 は酸化増量が少なく、かつほぼ同じ値を示す。800°C (Fig. 7) と 950°C (Fig. 8) に繰り返し加熱した場合、Ni と Cr とが耐酸化性におよぼす影響については成長試験の場合とほぼ同じ傾向を認めることができる。800°C の場合、Ni 添加量約 3% のものは Cr 添加量 0.5~1.5% の範囲では、いずれも試料 No. 0 より酸化増量が多くなっている。950°C の場合も、試料 No. 15, 16, 21 を除きいずれも試料 No. 0 より酸化増量が多くなる。これらの結果から耐酸化性試験においては、成長試験の場合にくらべて Ni の作用がより大きいものと考えられる。

5. 顕微鏡組織

Photo.1~3に代表的な組織を示す。Photo.1は鑄放しのままのものである。Photo.1(a)は試料の No.0, 21, 25 の黒

鉛形状は小さく、かつ彎曲する傾向がある。さらに Ni が

Photo.1 Microstructures of specimen No.0, No.21 and No.25 as cast.
(a) Distribution of graphite ($\times 260$) (b) Matrix ($\times 520$)
Etchant: 5% Nital.

Photo.2 Microstructures of specimen No.0, No.21, No.23 and No.24 after repeated heating for 3 hr at 950°C in air.
(a) Distribution of graphite ($\times 260$) (b) Matrix ($\times 520$)
Etchant: 5% Nital.

鉛形状を示し、Photo.1(b)は同じくそれらの素地の組織を示している。試料 No.0 の黒鉛形状 (Photo.1(a)) については、大きな片状黒鉛が認められる。しかし、合金元素の添加

添加されると、試料 No.25 (Photo.1(a)) に示すように黒鉛形状は太く、かつ片状になる。試料 No.0 (Photo.1(b)) の素地はパーライトであるが、合金元素の添加されたもので

は、試料 No. 21, 25 (Photo. 1 (b)) に示すようにセメンタイトが認められる。Ni 添加量が約 3% の試料 No. 25 (Photo. 1

地 (Photo. 3 (b)) はフェライトで、硬さは Hv 201 と 236 を示す。試料 No. 14 の素地 (Photo. 3 (b)) はパーライトとフェライトからなる。パーライトの硬さは Hv 336 と 326 を示す。試料 No. 21 (Photo. 3 (b)) は合金元素が多いためセメンタイトが認められる。セメンタイトの硬さは Hv 558 を示し、パーライトのそれは Hv 353 と 358 を示す。

Photo. 3 Microstructures of specimen No. 0, No. 14 and No. 21 after repeated heating for 3 hr at 950°C in argon.

(a) Distribution of graphite (×260) (b) Matrix (×520)
Etchant: 5% Nital.

(b)) にはマルテンサイトが認められる。

Photo. 2 は 950°C で成長試験を行なったものである。Photo. 2 (a) は試料 No. 0, 21, 23, 24 の黒鉛形状を示し、Photo. 2 (b) は同じくそれらの素地の組織を示している。試料 No. 21 の黒鉛形状 (Photo. 2 (a)) については、鋳放しのままのものよりいくぶん太くなっている。Ni 添加量が約 3% の試料 No. 23, 24 の黒鉛形状 (Photo. 2 (a)) については、黒鉛の周辺に突起を生じている。この現象は前報¹⁾と同じように考察される。試料 No. 0 の素地 (Photo. 2 (b)) はパーライトとフェライトからなるが、合金元素の添加されたものでは、試料 No. 21, 23, 24 (Photo. 2 (b)) に示すようにマルテンサイトが認められる。試料 No. 21, 24 (Photo. 2 (b)) にはセメンタイトも生じているが、試料 No. 23 (Photo. 2 (b)) にはそれは認められない。これは Ni が多く Cr が少ないために Ni の黒鉛化作用が強く現われたものと考えられる。

Photo. 3 はアルゴン気流中 (950°C) で成長試験を行なったものである。Photo. 3 (a) は試料 No. 0, 14, 21 の黒鉛形状を示し、Photo. 3 (b) は同じくそれらの素地の組織を示している。組織中の圧こは、マイクロビッカース硬さ (荷重 50 g) を測定した場合のものである。黒鉛形状は鋳放しのままのものよりいくぶん太くなっている。試料 No. 0 の素

IV. 結 言

以上の実験結果より熱膨張、成長性、耐酸化性、顕微鏡組織を通じて Cr は前報¹⁾と同じようにいずれもよい影響を与える。Ni は添加量が約 1% と 2% ではよい影響を与えるが、約 3% になるとかえってこのましくない影響が現われる。これらを要約するとつぎのようである。

(1) 機械的性質については、Ni, Cr が増すにしたがつて引張強さ、

硬さは増大する。しかし、Ni 約 3% では引張強さにはほとんど変化が認められない。

(2) 熱膨張試験については、Ni 約 1% と 2% では Cr 添加量が増すにしたがつて膨張は小さくなる。Ni 約 3% になると、同一 Cr 添加量では、膨張は大きくなる。

(3) 成長試験については、Ni 添加量が増すにしたがつて成長率は大きくなり、Cr 添加量が増すにしたがつてそれは小さくなる。試料 No. 16 と No. 21 の成長率は小さく、かつほぼ同じ値を示す。

(4) 耐酸化性試験については、成長試験とはほぼ同じ傾向を示すが、成長試験の場合にくらべて、Ni の影響は大きく現われる。試料 No. 16 と No. 21 は耐酸化性がよい。

(5) 合金元素の添加されない試料 No. 0 は熱膨張、成長性 (650°C)、耐酸化性 (650°C) いずれも劣る。ただし、試験温度によっては合金元素の添加されたものよりよい結果がえられる (Fig. 5~8)。

(6) 顕微鏡組織については、Ni 約 1% と 2% では、Cr 添加量が増すにしたがつて黒鉛形状は小さくなり、セメンタイトは多くなる。しかし、Ni 約 3% では、黒鉛形状は大きくなり、セメンタイトの量はいくぶん少なくなる。

終りに本研究を遂行するにあたり、熱心に実験に協力された森岡哲郎工学士 (当時学生) に感謝の意を表します。