

耐摩耗ダクタイル鑄鉄の溶製*

百瀬恒夫**・伊豆 薫**・吉田 明**・大島勝巳***

The Melting of Wear-Resisting Ductile Cast Iron.

Tsuneo MOMOSE, Tōru IZU, Akira YOSHIDA and Katsumi ŌSHIMA

Synopsis:

A study was made to determine the adequate amount of nickel, chromium and molybdenum enough to obtain the desired hardness in as-cast state in accordance with the wall thickness of the product.

Experimental variables were as follows:

Nickel percent : 0, 1.0, 2.0

Chromium percent : 0.5, 1.0

Molybdenum percent : 0.5, 1.0

Sample size : 30, 45, 60 mm in diam.

Molds : green, dry

To simplify the experiment a "latin-square" design was applied and the results obtained were as follows.

(1) Bainitic structure was obtained when 2% nickel, 1% chromium and 1% molybdenum had been added.

(2) The mixed structure of eutectic cementite and bainite was obtained in the low-silicon range (1.5% Si) when each content of nickel, chromium and molybdenum was 1%, respectively.

(3) From the conclusions mentioned above, the following experimental formula to determine nickel, chromium and molybdenum amount required for 300~600 Brinell hardness number was developed:

Dry mold..... $H_B = 114.4X - 68.2XY + 178.7(Y+Z) + 9.9$

Green mold..... $H_B = 35.2X + 195.0Y + 58.2XY + 195.3Z - 10.0,$

where X = nickel %,

Y = chromium %, and

Z = molybdenum %.

I. 緒 言

当所におけるダクタイル鑄鉄 (D.C.I.) の溶製規格は D. C. I. 技術委員会の規格に準じて一応第 1 種から第 5 種までとしていたが、実際にはその中の第 3 種および第 4 種の耐摩耗 D. C. I. はいまだ未検討のためその溶製を実施するにいたつていなかった。

また一般には D. C. I. に対する Ni, Cr および Mo 添加の効果や耐摩耗性に関する研究発表などはかなりあるけれども、これを鑄造状態において実際作業に直接適用できるような硬度についての論文はあまり見当らなかつた。そこで実際の肉厚や鑄型の乾湿に応じてどのように Ni, Cr, Mo の元素を使い分ければよいか、また鑄放しのままで所要の硬度を得るためには基地の組織をいかにすべきかなどについて実験し、所期の成果を得ることができたので、その結果について報告する。

II. 実験計画

本実験の目的、対象、要因および原料鉄や添加合金の成分などの実験計画は Table 1 に示すとおりであつて、これを実験回数を少なくして分析を簡単にするためにラテン方格法を組合せた多元配置法により実験した。

III. 実験結果

1. 試料の溶製

Table 1 の計画にしたがつて試料の溶製には容量 15 kg のタンマン炉を用い、溶製時の加炭を防止するためアルミナ質の裏張りを施した黒鉛タンマン管を用い、内外二重に蓋をして極力加炭を防止した。黒鉛の球状化処

* 昭和 年 月本会講演大会にて発表

** 八幡製鉄所工作部

*** 〃 管理局

Table 1. Design of experiments.

Item	Contents					Note
Purpose	To establish the manufacturing standard of wear-resisting D.C.I.					
Characteristics	Brinell hardness number of ductile cast iron					
Chemical composition of raw material	C 4.36	Si 1.82	Mn 0.35	P 0.075	S 0.020	Yawata nodular pig No. 1043
Chemical composition of molten iron	C 3.4~3.8	Si 2.3~2.5	Mn 0.35~0.45	P <0.1	S <0.01	
Factorial effect and level	Ni Cr Mo	N ₁ =0% C ₁ =0.5% M ₁ =0.5%	N ₂ =1.0% C ₂ =1.0% M ₂ =1.0%	N ₃ =2.0%		Number of time 36
Sample size	S	S ₁ =30mm ϕ S ₃ =60mm ϕ	S ₂ =45mm ϕ			
Mold	T	T ₁ =green sand mold T ₂ =dry sand mold				

Table 2. Results of experiments.

No. Ex.	Marks	Matrix structure			B. H. N.		
		30 ϕ	45 ϕ	60 ϕ	30 ϕ	45 ϕ	60 ϕ
13	N ₁ C ₁ M ₂ (green)	P. F	P. F	P. F	321	302	321
17	N ₁ C ₂ M ₂ (dry)	P. C	P. C	P. C	341	321	311
11	N ₁ C ₁ M ₁ (")	P	P	P	293	293	285
4	N ₁ C ₂ M ₁ (green)	P. C	P. C	P. C	341	316	302
15	N ₂ C ₁ M ₂ (green)	P. C	P. C	P	311	321	311
16	N ₂ C ₂ M ₂ (dry)	P. C	P. C	P. C	341	341	341
8	N ₂ C ₁ M ₁ (")	P. C	P. C	P. C	302	311	302
2	N ₂ C ₂ M ₁ (green)	P. C	P. C	P. C	341	316	321
14	N ₃ C ₁ M ₂ (green)	B	B	B	*477	415	444
18	N ₃ C ₂ M ₂ (dry)	B	B	B. P	*495	444	*461
12	N ₃ C ₁ M ₁ (")	P. C	P	P	341	331	321
6	N ₃ C ₂ M ₁ (green)	M. B	B	P	**627	*555	341

Note: (1) Symbols P, F, C, B and E C indicate pearlite, ferrite, cementite, bainite and eutectic cementite, respectively.

(2) * Measured with a standard steel ball

(3) ** Measured by Vickers H. N. and converted into B.H.N.

Table 3. Original table.

	S ₁						S ₂						S ₃					
	N ₁		N ₂		N ₃		N ₁		N ₂		N ₃		N ₁		N ₂		N ₃	
	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
M ₁	293 D	341 W	302 D	341 W	341 D	627 W	293 D	316 W	311 D	316 W	331 D	555 W	285 D	302 W	302 D	321 W	321 D	341 W
M ₂	321 W	341 D	311 W	341 D	477 W	495 D	302 W	321 D	321 W	341 D	415 W	444 D	321 W	311 D	311 W	341 D	444 W	461 D

Table 4. Analysis table of variance.

Factorial effect	S. S	f	V	F	
N	117,167	2	58,583.5	**42.0	$F_{14}^2 \begin{matrix} (0.01) = 6.51 \\ (0.05) = 3.74 \end{matrix}$
S	9,254	2	4,627	3.3	
C	20,258	1	20,258	**14.5	
M	4,011	1	4,011	2.8	
T	7,168	1	7,168	*5.1	
S × N	9,051	4	2,262.8	1.6	$F_4^1 \begin{matrix} (0.01) = 8.86 \\ (0.05) = 4.60 \\ (0.1) = 3.10 \end{matrix}$
S × C	5,203	2	2,601.5	1.8	
S × M	4,543	2	2,271.5	1.6	
S × T	3,435	2	1,717.5	1.2	
N × C	21,990	2	10,995	**7.8	
N × M	1,097	2	548.5	0.3	$F_{41}^4 \begin{matrix} (0.01) = 5.04 \\ (0.05) = 3.11 \end{matrix}$
E (Error)	19,490	14	1,392.1		
Z (Total)	222,667	35			

理は 7 kg の原料鉄および合金鉄を溶解後 1450°C で坩堝を炉外に取り出し、1400°C で Fe-Si-Mg 合金 (0.3% Mg) とミッシュメタル 0.01% をホスホライザーで添加した。

試験片の铸造は 30mm φ, 45mm φ および 60mm φ の長さ 100mm φ のものを同一チャージで同時に铸造した。なお実験順序は Table 2 に示すごとくランダムに行なった。

2. 測定結果

前項のごとき要領で铸造した試験片の底部から約 1/3 の箇所を切断し、切断面の組織ならびに外周部のブリネル硬度を測定した結果は Table 2 のごとくであった。

3. 測定結果の処理

実験計画にしたがって Table 2 の硬度の測定結果を纏めて Table 3 のごとき原表を得た。この原表について統計的な処理を行ない、その得られた数値を纏めて Table 4 のごとき分散分析表を得た。

上表のごとく N, C, T の主効果と N × C の交互作用以外は有為差がない。念のために交互作用を全部誤差項にプールして分散分析を行なってみたが、やはりこの結論に差はなかつた。これは Mo や Cr を 0.5~1% とし、Size 間隔を 30mm φ ~ 60mm φ と小さくつけた結果である。従つてこの結果を 30mm φ ~ 60mm φ の Size に用いるならよいが、より大きな Size のものに適用するにはなお交互作用や型について確かめる必要がある。

1) Ni の効果曲線

分散分析を行なう過程で Table 3 の原表から $y = x - 350$ の変換を行なつて N_1, N_2, N_3 についてそれぞれまとめて得られたデータ x_{ij} の 12 個の平均値 \bar{x}_i を計算する。

$$\bar{x}_i = 350 + \bar{y}_i \quad \text{ここに } \bar{y}_i = \frac{12}{j=1} \sum y_{ij} / 12$$

$$N_1: \bar{x}_1 = 350 + (-453/12) = 312.3$$

$$N_2: \bar{x}_2 = 350 + (-341/12) = 321.6$$

$$N_3: \bar{x}_3 = 350 + 1052/12 = 437.6$$

この際の平均値の 95% 信頼限界を計算すると

$$1.96 \hat{\sigma}_{\bar{x}} = 1.96 \sqrt{139^2 / 12} = 21$$

$$\text{故に } N_1: 333.3 \sim 291.3$$

$$N_2: 342.6 \sim 300.6$$

$$N_3: 458.7 \sim 416.7$$

また $\bar{x}_2 < \bar{x}_1 + \bar{x}_3 / 2$ であるから Ni の効果は Fig. 1 に示すように上方に凹なる曲線である。図より明らかなように Ni の効果は Ni 1% 以上で急激に増加し、Ni 2% で bainite 組織をつくり、ブリネル硬度も平均 438 程度になる。

2) Size の効果曲線

Size の効果曲線も前記同様に計算してそれを図示すれば Fig. 2 の通りである。

$S_2 < S_1 + S_3 / 2$ ゆえ曲線は僅かに上方に凹なる曲線であるがほとんど直線に近い。また図に示すように S は危

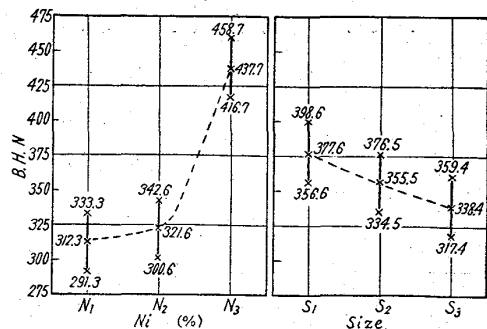


Fig. 1. Effect of Ni on hardness of 12 specimens.

Fig. 2. Effect of size on hardness of 12 specimens.

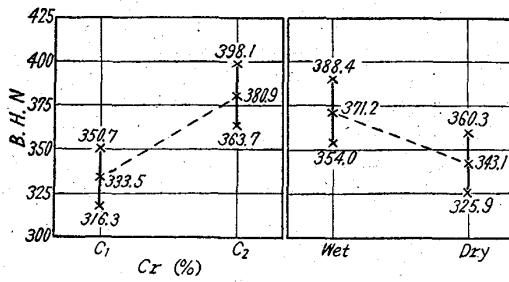


Fig. 3. Effect of Cr on hardness of 18 specimens.

前述のごとく Mo については 3 水準について実験しているの、その場合の Mo の効果を検討しその平均値ならびに信頼限界を图示すれば Fig. 5 のごとくなる。すなわち曲線は上方に凸であるがほとんど直線に近い。

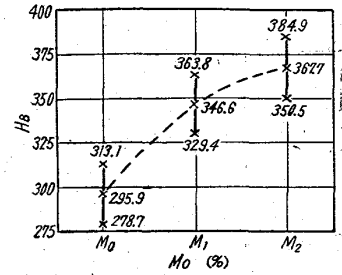


Fig. 5. Effect of Mo on hardness of 18 specimens.

危険率 5% では有為でない。

Size の各水準の硬度平均

$$S_1: 350 + 331/12 = 377.6$$

$$S_2: 350 + 66/12 = 355.5$$

$$S_3: 350 + (-139/12) = 338.5$$

3) Cr の効果曲線

$$C_1: 350 + (-298/18) = 333.5$$

$$C_2: 350 + 556/18 = 380.8$$

Cr の効果は Fig. 3 に示すごとく危険率 1% で有為である。したがって C₂ ではセメントイトが析出するので硬度が増したわけである。

4) T (鋳型の乾湿) の効果

T の各水準の硬度平均

$$W: 350 + 383/18 = 371.2$$

$$D: 350 + (-125/18) = 343.1$$

鋳型の乾湿効果は危険率 5% で有為ではあるけれども Fig. 4 に示すごとく平均値の 95% の信頼限界は両者重複しているの、鋳型の乾湿によつて差があるとは言えない。しかしこれは実際には鋳型の乾湿に差がないのではなく、本質的には差があるが Cr の影響が大きく、これが乾湿の影響を打消していると考えられる。

5) M (Mo) の効果

M の各水準の硬度平均

$$M_1: 350 + (-61/18) = 346.7$$

$$M_2: 350 + 319/18 = 367.7$$

計算の結果 95% の信頼限界では Mo が 0.5% と 1% のときとではほとんど差が認められない。

しかし実際には本試験の当初に Mo を 0% と 0.5% の 2 水準として実験したがほとんど Bainite 組織が得られなかつたので、改めて Mo を 0.5% から 1.0% に増して再試験したのである。したがつてこの場合は Mo の効果は十分あるが、0.5% 加えても 1.0% 加えても差がないという意味である。

6) Mo を 0, 0.5 および 1.0% の 3 水準とした場合の Mo の効果

(a) Mo 効果の有為性の検定

前述の硬度の各測定値から有為性を検定すると

$$F_0 = 48989/2/1392 \cdot 1 = 17.59$$

$$F_{14}(0.005) = 7.92$$

ゆえに Mo の効果は危険率 0.5% で有為である。

(b) Mo の変動 S (Mo) の分割

$$S(MI) = (1,292)^2/36 = 46,368$$

$$S(Mq) = (-532)^2/108 = 2,620.5/48,988.5$$

$$F_0 = 46,368/1,392 \cdot 1 = 33.3$$

Mo の直線効果は危険率 0.5% で有為である。

(c) Mo% と 0.5% の差の効果の検定

$$S = (6,239 - 5,327)^2/36 = 23,140$$

$$F_0 = 23,140/1,392 \cdot 1 = 16.62$$

$$F_{14}(0.005) = 11.06$$

ゆえに危険率 0.5% で有為である。

このように Mo の効果は Mo 0.5~1.0% では差は認められないが、0~0.5% では危険率 0.5% で差が認められる。全体としての Mo の効果も危険率 0.5% である。

6) Ni と Cr の交互作用

交互作用のうち唯一つ有為差のある Ni×Cr の平均値を計算してこれを图示すると Fig. 6 の通りである。

すなわち Fig. 6 から硬度におよぼす Cr の効果は Ni 2% で大きな差があらわれる。

また C₁ と C₂ は図のごとく危険率 5% で差があることもわかる。

4. Low Si の効果

鋳鉄の耐摩耗性

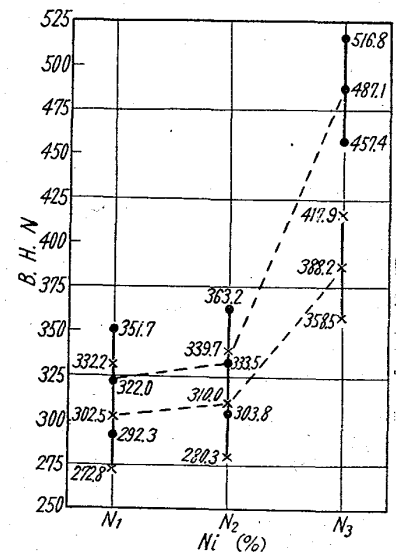


Fig. 6. Interaction between Ni and Cr.

Table 5. Comparison on of effect on Low-Si.

No.	Marks	S ₁		S ₂		S ₃		
		B.H.N	Structure*	B.H.N	Structure*	B.H.N	Structure*	
15 L-15	(Green) N ₂ C ₁ M ₂ (P ₁)	Q ₁ L-Si Q ₂	311 495	P. C E.C. B	321 477	P. C E.C. B	311 461	P E.C. B
16 L-16	(Dry) N ₂ C ₂ M ₂ (P ₂)	Q ₁ L-Si Q ₂	341 477	P. C E.C. B	341 361	P. C E.C. B	341 444	P. C C. B
8 L-8	(Dry) N ₂ C ₁ M ₁ (P ₃)	Q ₁ L-Si Q ₂	302 363	P. C P. C	311 311	P. C P. C	302 321	P. C P. C
2 L-2	(Green) N ₂ C ₂ M ₁ (P ₄)	Q ₁ L-Si Q ₂	341 477	P. C E.C	316 495	P. C E.C	321 514	P. C E.C

Note: P: pearlite, F: ferrite, C: cementite, B: bainite, EC: entectic cementite

Table 6. Analysis table of variance.

Factorial effect	S. S	f	V	F ₀	
S	594	2	297	0.2	
Q	86,040	1	86,040	***57.4	
P	32,549	3	10,849	** 7.3	
S × Q	278	2	139	0.1	F ₁₅ ¹ (0.005) = 11.06 F ₁₅ ¹ (0.01) = 8.68
S × P	749	6	124		
P × Q	19,533	3	6,511		
E (Error)	2,180	6	363		F ₁₅ ³ (0.01) = 5.42
Z (Total)	141,924	23			

には一般に Ni, Cr などの特殊元素の添加以外に C, Si の含有量が大きく影響するものである。上述の実験計画とは別個に Si の影響を調べるために、球状化処理に純 Mg (0.6% 添加) を使用して、Si 含有量を平均 2.48% から 1.54% に下げて溶解 No. 15, 16, 8, 2 を再試験した。

実験結果は Table 5 に示す通りで、これから計算して求めた分散分析結果は Table 6 のごとくである。

S × P, P × S は P の性質上技術的意味がないので誤差項にプールする。

この場合 S S = 22,463 f = 15 V = 1,497

1) 分析結果の検討

a. この場合も size (S) は有為でない。すなわち 30mm φ ~ 60mm φ のような小範囲では S の効果は検出出来ない。Si 量 (Q) は危険率 0.5% で有為であるが (P₃) 溶解 No. 8 と L-8 とは次のごとく危険率 5% で差が認められない。

P₃ N₂ C₁ M₁ についての Q₁ と Q₂ の差の検定

$$S_Q = (95 - 15)^2 / 6 = 1,067 \quad f_Q = 1$$

$$F_0 = 1,067 / 363 \cdot 3 = 2.93 \quad F_{15}^1(0.05) = 5.99$$

このことは Table 5 の組織欄の各欄がいずれもパー

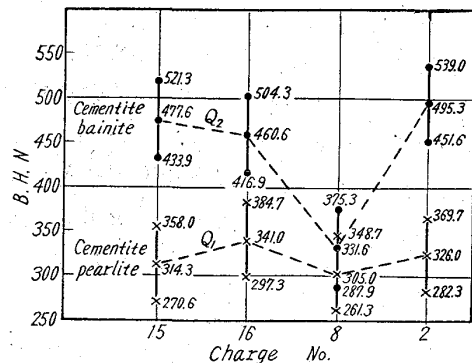


Fig. 7. Difference between Q₁ and Q₂.

ライトとセメントイトの混在した同一のものであることから説明される。

b. P₁, P₂, P₃, P₄ における Q₁ と Q₂ の差を Fig. 7 に示す。図における 95% 信頼巾は純誤差から計算すべきであるが、安全のため S × P, P × Q をプールした誤差から算出した。溶解 No. 8 以外は Q₁ と Q₂ に顕著な差が認められる。

$$\text{平均値の標準偏差} = \sqrt{1,497/3} = 22.34$$

信頼度 95% における精度

$$\beta = 1.96 \times 22.34 = 43.7$$

S ₂ (45mmφ)					
N ₁ (0%)		N ₂ (1.0%)		N ₃ (2.0%)	
0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
W	D	W	D	W	D
302	321	321	341	415	444
293	316	311	316	331	555
D	W	D	W	D	W

Photo. 1. Microstructures of 45mm φ test pieces.
×100 (1/3)

Fig. 7から溶解 No. 8における Q₁ と Q₂ の差は全く認められないことが了解される。したがって Ni が 1% のときには Cr を 1% あるいは Mo を 1% 以上にしないと十分な硬度 (bainite) が得られない。

IV. 顕微鏡組織

実験計画に基づく硬度の調査は以上述べた通りであるが、硬度を測定した各試料について調べた顕微鏡組織を Table 3 (Original table) の要領で整理すると Photo. 1 のごとし。

1. S₁ (30mm φ) について (写真省略)

パーライト地のもは前述の検定結果と同様に生、乾の型別による組織の差はほとんど見られない。N₃ の分では M₁ (乾) C₁ の 1 個のみがパーライト地であるが、他はすべてベーナイトあるいはマルテンサイトである。しかしパーライト地のももやはり特殊成分の効果があらわれて、黒鉛の形状は非常に微細である。音谷らの説によれば一般に D. C. I. には Ni, Cr, Mo などを添加しても、セメンタイトが出やすくベーナイト組織の析出する範囲はきわめて狭いと言われているが、この場合は比較的容易にベーナイト組織が得られた。なおパーライト組織のもも黒鉛の球状化はよく、文献²⁸⁾にもあるごとく Mo, Cr などが球状化には何ら悪影響をおよぼさないことがわかる。

2. S₂ (45mm φ) について

ここでは N₁ (0% Ni) C₁ (0.5% Cr) では生、乾型いずれも若干フェライトが析出しており球状黒鉛はかなり大きい。ベーナイト地のももの範囲はやはり S₁ 同様に 2% Ni, 0.5% Cr でも Mo が 0.5% であればベーナイトは析出せずパーライトである。また一般に C₁ と C₂ を比較すると C₂ (1% Cr) の方が遊離セメンタ

イトが大である。

3. S₃ (60mm φ) について (写真省略)

この場合は一般にセメンタイトは減少しフェライトは増している。30mm φ, 45mm φ とのことなるところは N₃ の M₂ のみがベーナイト組織で、同一成分の N₃ C₁ M₁ でも 60mm φ になるとパーライトは得られずパーライト組織である。

また N₃ C₂ M₂ でも 60mm φ になるとある程度冷却速度が遅いので、ベーナイトの基地中に若干パーライトが析出している。

4. Low-Si D. C. I. について

Mg 添加に純 Mg を使用して Si 含有量を 2.5% から 1.5% に下げた Low-Si D.

C. I. の顕微鏡組織を Photo. 2 に示す。

Low-Si であるため一般にセメンタイトが多く、特に Cr, Mo の低い L-8 を除いてはほとんどが共晶組織である。しかしこの場合は Size の効果が大きくなり S₁-S₂-S₃ と試料の径が大になるにしたがってセメンタイトは減少し黒鉛粒は大となっている。

ベーナイト組織は既述の検定結果と同様 Mo 1% を含む L-15 および L-16 のみに析出し、しかも 30mm φ 試料では共晶組織の中の黒鉛の周辺だけに僅か認められそれが Size の増大にしたがってパーナイトも逐次増加している。したがってパーナイトの析出には冷却速度に微妙な範囲があり、しかもそれには部分的に黒鉛の肥大

No.	Size	30mmφ	45mmφ	60mmφ
L 15	% Ni 1.0 Cr 0.5 Mo 1.0			
		HB 495	477	461
L 16	% Ni 1.0 Cr 1.0 Mo 1.0			
		HB 477	461	444
L 8	% Ni 1.0 Cr 0.5 Mo 0.5			
		HB 363	311	321
L 2	% Ni 1.0 Cr 1.0 Mo 0.5			
		HB 477	495	514

Photo. 2. Microstructures of low-Si D.C.I.
×100 (1/2)

成長がある役割を果していることがうかがわれるが、これに関して音谷らは黒鉛が間接的な核として作用すると述べている⁹⁾。

V. 冷却速度ならびに機械的性質

1. 冷却速度

前述のペーナイト組織を有するダクタイル鑄鉄の機械的性質を調査するために、溶解 No. 6, 12, 14 および 18 の成分のものを再び溶製して Y ブロックを鑄造した。勿論この Y ブロックはペーナイト組織であった。

冷却速度を測定した結果では Ni, Mo および Mg 処理などによって著しく過冷されていることがわかり、この過冷過程における共析変態の抑制作用の増加がペーナイト析出の原因であろう⁹⁾。

アシキュラー鑄鉄あるいはこの種の D. C. I. の恒温変態などについては従来から種々の研究発表^{6)~9)}がなされているのでここで詳述は避けるが、要するにこの冷却曲線が T. T. T 曲線のペーナイト変態域を横切る冷却速度であるためにペーナイトが生成するわけであつて、その変態前後の冷却速度を測定結果から計算すればおおむね次の通りである。

温度 範囲	°C/mn
800~700°C	16.6
650~550 //	7.7
900~400 //	8.3

2. 機械的性質

前述の Y ブロックから切り出した試験片の引張強度は Table 7 の通りである。

すなわち硬度は前述の 30, 45, 60mm φ 試料よりは若干低いけれども組織はおおむね予想通りのものが得られた。抗張力はやはりペーナイト組織のものが最も優れ、しかもパーライト地のものよりも僅かではあるが伸びも勝っている。また衝撃値については調査しなかったけれども、文献¹⁰⁾によればこの種 D. C. I. においてはブリネル硬度 300 程度でシャルピー衝撃値は 2kg·m/cm² 程度を示しているの、その方面での利用価値も大であろうと思われる。

Table 7. Mechanical properties of N₃.

No.	Tensile strength kg/mm ²	Elongation %	Brinell hardness	Structure of matrix
6	69.1	0 ^c	331	Pearlite + cementite
12	68.5	0.5 ^c	311	Pearlite + cementite
14	75.0	0.5 ^c	388	All bainite
18	62.3	0 ^c	375	Bainite + pearlite cementite

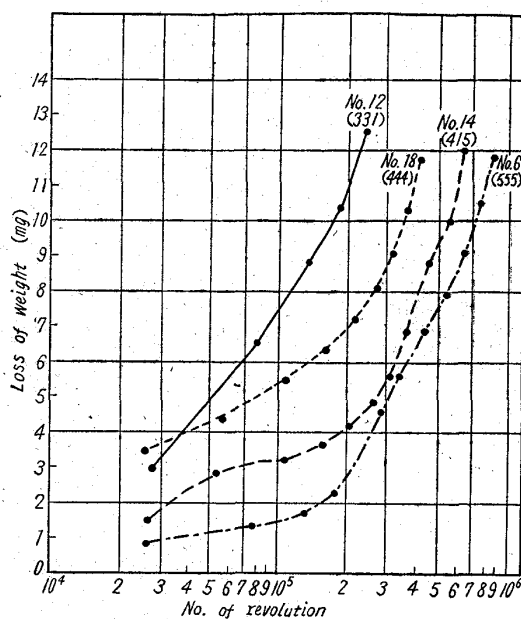


Fig. 8. Abrasion weight-loss of N₃ series.

VI. 摩耗試験

試験は前記試験溶製における 45mm φ × 100 の丸棒から切り出した全試料について西原式摩耗試験機により荷重 50kg の乾燥摩耗とし、同一材質による転り摩耗試験を行なった。その結果は Fig. 8 のごとし。

図は 2% Ni 群であるが、ここでは No. 12 のパーライト地のものを除いた他の 3 つのペーナイト地のものの成績は他の 1, 2 群(省略)のものに比し非常にすぐれており、最高の No. 6 試料の摩耗減量 12mg に達する回転数は、他のパーライト地のものの平均 4 × 10⁵ 回転に比し 9 × 10⁵ 回転で約 2 倍以上の成績を示している。また同じペーナイト地でも硬度に比例せずに、No. 14 が No. 18 よりもすぐれているのは、やはり大粒の球状黒鉛が一樣に分布しているためであろう。

VII. 要 約

以上が試験結果の概要であつて、これを要約し結論を述べると次の通りである。

1. Ni, Cr および N × C の効果は顕著である。
- a. Ni は直線成分、曲線成分ともに危険率 0.5% で

有為である。

b. Ni 1~2% で硬度は急激に増加し、2% Ni でベーナイト組織を得る。

c. Cr の効果は危険率 1% で有為である。

d. Ni と Cr の交互作用は危険率 5% で有為である。Cr の効果は Ni 0~1% ではあまりあらわれないが、Ni 2% で大きな差があらわれる。

e. その他の交互作用は無視してよい程度に小さい。

2. Size は本実験の範囲である 30~60mm φ の範囲では有為差がない。

このことは技術的常識からすればおかしなが、Size 間隙が小さいのでその効果が成分効果に攪乱されたものと考えられる。(誤差変動が大きい)

3. 鑄型の乾湿の効果は危険率 5% で有為であるが、平均値の 95% の信頼限界ではあまり差が認められない。

4. Mo の効果

a. Mo 0.5~1% の 2 水準では有為ではない。これは Mo 0.5% と 1% とでは硬度に差が認められないということである。

b. Mo 0% を入れて 3 水準とした場合は直線効果は危険率 0.5% で有為で、曲線効果はほとんど 0 である。

5. Low Si の場合

a. Ni 1% で共晶セメンタイトとベーナイトの混合組織を得る。したがって Si の効果は非常に大である。

b. High Si と Low Si の全体を通じて型と成分の複合効果 P が顕著であるが(型は有為でないことが一応わかっている。)これは成分 (Cr, Mo) 効果の差が有為であることを示していると解してよい。

c. 型と成分の複合 (P) と Si 量 (Q) との交互作用 $P \times Q$ が純誤差で検定すれば有為であるが、これは Si % の効果は Cr, Mo % によつてことなるという意味で当然であるけれども、これには C % のバラッキの影響もある程度含まれていて技術的に明確に出来ないので誤差項にプールした。

6. これら各試料の顕微鏡組織について観察した結果も上記検定結果とよく一致した結果を得、またベーナイトやマルテンサイトについては電子顕微鏡によつても観察し、従来の文献¹¹⁾と比較検討してこれを確めた。

7. 本実験結果を実際作業に適用する際の参考にするために同一成分のキールブロックを鑄造し、その冷却速度を測定した結果は 900~400°C 間における平均速度は 8.3°C/mn であった。

8. 上記 Y ブロックによる機械試験の結果は、ベーナ

イト組織のもので抗張力 = 75 kg/mm², 伸び = 0.5%, $H_B = 388$ で衝撃値もかなり期待出来ると思われた。

9. 鑄放し状態において得られたパーライト、セメンタイトおよびベーナイト組織の含 Ni-Cr-Mo ダクタイル鉄の耐摩耗試験の結果では、組織的にはベーナイト組織のものが最も優れ、ついでセメンタイト、パーライト組織となり、フェライトを含むものが最低である。また黒鉛形状の影響もかなり大きく、一般に大粒の球状黒鉛が一様に分布した組織のものが耐摩耗性は優れている。したがって荷重 50 kg の乾燥転り摩耗においては、ベーナイト組織のものは普通の D. C. I. に比し 4~5 倍の耐摩耗性を有することが判明した。

VIII. 結 言

上記諸項を総合して得られる結論は

耐摩耗性 D. C. I. を溶製するには、本実験計画での溶製条件の下に下記成分条件を満足すればよい。

(1) Ni 2%, Mo 1%, Cr 1% のときはベーナイト組織を得る。

(2) Low Si (1.5%程度) では Ni 1%, Mo 1%, Cr 1% のときに共晶セメンタイトとベーナイトの混在組織を得る。

したがって前二項の結論から、ブリネル硬度 300~600 を得るに必要な Ni, Cr, Mo の含有量を決定するために最小自乗法によってこれを数式化しつぎの実験式を得た。

$$H_B = 114 \cdot 4X - 68 \cdot 2XY + 178 \cdot 7(Y + Z) + 9 \cdot 9 \dots \dots \dots \text{乾燥型}$$

$$H_B = 35 \cdot 2X + 195 \cdot 0Y + 58 \cdot 2XY + 195 \cdot 3Z - 10 \cdot 0 \dots \dots \dots \text{生 型}$$

ただし X: Ni%, Y: Cr%, Z: Mo%

文 献

- 1) 音谷: 鑄物, 31 (1959) 2, p. 84
- 2) PIWOWARSKY: Neue Giesserei Tech.-Wiss., Berich., 3, 1950
- 3) 谷村, 他: 鉄と鋼, 38 (1952), 10
- 4) 音谷, 他: 鑄物, 31 (1959) 別冊 4 号, D. 399
- 5) 音谷, 他: " , 30 (1958) 8, p. 603
- 6) 谷村, 他: " , 12 (1940) 9, p. 517
- 7) 音谷, 他: " , 30 (1958) 4, p. 211
- 8) " , : " , 30 " 9, p. 669
- 9) 花井, 他: 鉄と鋼, 44 (1958) 3, p. 366
- 10) 西山, 他, D.C.I. Com. 資料 (1959) 3,
- 11) L. HABRAKEN: Métallographie électronique, C.N.R.M., 1953