

(138) 耐摩耗ダクタイル鑄鉄の溶製

八幡製鉄所工作部

百瀬恒夫・伊豆 董・○吉田 明

〃 管理局

大島 勝巳

On the Production of Wear-Resisting Ductile Cast Iron.

Tsuneo MOMOSE, Tōru IZU,

Akira YOSHIDA and Katsumi ŌSHIMA.

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 1 種から 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たらない。

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、また鑄放しのみ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、要因および原料銑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

A. 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。黒鉛の球状化処理は 7 kg の原料銑および合金鉄が溶解後 1450°C で坩堝を炉外に取出し、1,400°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。

試験片の鑄造は 30mm φ, 45mm φ および 60mm φ の長さ 100mm のものを同一チャージで同時に鑄造した。

なお実験順序は Table 2 に示すごとくランダムに行なつた。

B. 測定結果

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

C. 測定結果の処理

実験計画にしたがつて 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。

すなわち Table 4 に示すごとくこの種 D. C. I. の硬度には Ni, Cr および型別の主効果と、Ni と Cr の交互作用が有意であることが判明した。またサイズや Mo が有意と出ないのは Mo や Cr を 0.5~1.0% としサイ

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 N ₁ =0%	Cr C ₁ =0.5%	Mo 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 ₂ =45mm φ	S ₃ =60mm φ				
Mould	T	T ₁ =green sand mould	T ₂ =dry sand mould					

Table 2. Results of experiment.

Ex. No.	Marks	Matrix structure			B. H. N		
		30φ	45φ	60φ	30φ	45φ	60φ
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 (〃)	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 (〃)	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 EC indicate pearlite, ferrite, cementite, bainite and eutectic cementite, respectively.
 (2) * Measured with standard steel ball.
 (3) ** Measured by Vickers H. N. and converted into B. H. N.

ズ間隔を 30~60mmφ と小さくとつたためである。

D. 分散分析結果の検討

Table 4 の分散分析表で有意と出た各要因について、さらに詳細な情報を得るために、それぞれの平均値や信頼限界を推定するとつぎのごとくである。

1. Ni の効果曲線 Ni の各水準別の平均値とその 95% の信頼限界を計算し、これを図示すると Fig. 1 のごとくになり、図から明らかなように Ni の効果は Ni 1% 以上で急激に増加し、Ni 2% でベイナイト組織をつくり、ブリネル硬度も平均 438 程度になる。(注: 平均値の標準偏差 = $1.96 \times \sqrt{1392/12} = 21$)

2. Cr の効果 Cr の効果は危険率 1% で有意である。したがって C₂ 水準ではセメンタイトが析出する

ので硬度が増したわけである。

3. Mo の効果 (省略)

4. Ni と Cr の交互作用 交互作用のうち唯一の有意差のある Ni×Cr の平均値と信頼限界を図示すると

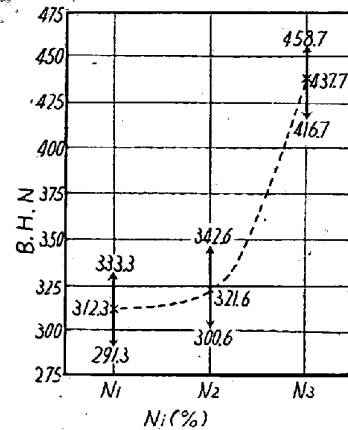


Fig. 1. Effect of nickel on hardness of 12 specimens.

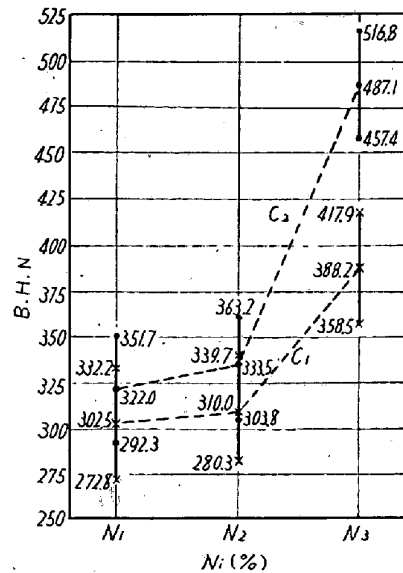


Fig. 2. Interaction between Ni and Cr.

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	341	302	341	341	627	293	316	311	316	331	555	285	302	302	321	321	341
	D	W	D	W	D	W	D	W	D	W	D	W	D	W	D	W	D	W
M ₂	321	341	311	341	477	495	302	321	321	341	415	444	321	311	311	341	444	461
	W	D	W	D	W	D	W	D	W	D	W	D	W	D	W	D	W	D

Fig. 2 のごとく、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。

E. low-Si の場合 (省略)

IV. 顕 微 鏡 組 織

硬度を測定した各試料について調べた顕微鏡組織の一例を Table 3 の原表の要領で整理して示すと Photo. 1 のとおりである。

すなわち写真は S₂ (45mmφ) 群の試料の組織であるが、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。またベイナイトは 2%Ni, 0.5%Cr でも Mo が 0.5% で析出せず、1%Mo ではじめて析出する。したがってベイナイトを析出させるためには 2%Ni で 1%Mo, または 0.5%Mo の場合は Cr 1% で生型であることが必要である。

V. 摩 耗 試 験

試験は前記 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 50 kg 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。その結果はベイナイト地のものはパーライト地のものより数倍優れた耐摩耗性を示した。

VI. 結 言

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% のときはベイナイト組織を得る。

(2) low-Si (1.5%) では Ni 1%, Mo 1%, Cr 1% のときに共晶セメントタイトとベイナイトの混合組織を得る。

したがって本結論からブリネル硬度 300~600 を得る

Size Ni % Cr %	S ₂ (45mmφ)					
	N ₁ (0%)		N ₂ (1.0%)		N ₃ (2.0%)	
	0.5 Green	1.0 Dry	0.5 Green	1.0 Dry	0.5 Green	1.0 Dry
Mo 1.0%						
Mo 0.5%						
	Dry	Green	Dry	Green	Dry	Green

Photo. 1. Microstructures of 45mmφ test pieces.

Table 4. Analysis table of variance.

Factorial effect	S. S	f	V	F	
N	117,167	2	58,583.5	**42.0	
S	9,254	2	4,627	3.3	
C	20,258	1	20,258	**14.5	F ₁₄ ² (0.01) = 6.51 (0.05) = 3.74
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 ² (0.01) = 8.86 (0.05) = 4.60 (0.1) = 3.10
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	F ₄₁ ² (0.01) = 5.04 (0.05) = 3.11
N × M	1,097	2	548.5	0.3	
E (Error)	19,490	14	1,392.1		
Z (Total)	222,667	35			

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つてこれを数式化しつぎの実験式を得た。

$$H_B = 114.4X - 68.2XY$$

$$+ 178.7(Y+Z) + 9.9 \dots\dots\dots \text{乾燥型}$$

$$H_B = 35.2X + 195.0Y + 58.2XY$$

$$+ 195.3Z - 10.0 \dots\dots\dots \text{生 型}$$