U.D.C. 669.131: 620.178:746

球状黒鉛鋳鉄の衝撃値などについて

Impact Values of Spheroidal Graphite Cast Iron

西山太喜夫*小池敬一*

内 容 梗 概

球状黒鉛鋳鉄の衝撃値を向上するために行つた実験結果について述べた。 すなわち化学成分中 C を 2.5~4.0%, Si を1.5~3.5%, Mn を 0.2~1.4%, P を 0.03~0.15%の範囲に変化せしめてその衝撃値 の変化を調査し,あわせて硬度,引張強さも一部につき調査した。なお顕微鏡組織との関連性特にフェ ライト量,パーライト量,黒鉛量およびその大きさなどの衝撃値にあたえる影響がわかつた。

〔I〕緒 言

球状黒鉛鋳鉄の衝撃値に関しては,二三の発表がなさ れているが,少数の試料によつてその化学成分と衝撃値 との関係をしらべたものが大部分で,各元素の影響も使 用原料銑がことなり製造方法がことなるためか必ずしも 一定していない。

また球状黒鉛鋳鉄の黒鉛量ならびにその形状,大小と 衝撃値の関係については,取扱が困難なためかほとんど 発表がない。このため現在不足しているデータを補充 し,かつもつとも衝撃値が大となる成分範囲を定めるた めにこの実験を行つた。

実験を行うにあたつては、通常の



第1表熔解材料の化学分析値

球状黒鉛鋳鉄の成分元素中,比較的 に影響が大であると考えられる C, Si, Mn, P の四元素について調査す ることにした。各元素の単独の影響 はある程度判明しており,かつ熔解 材料の関係などから実験回数も制限 されたので,(C, Si) および (Si, Mn, P) の組合せにより検討した。

〔II〕 実験方法

C, Si, Mn, P の四元素の影響をす

べて組合せることが,実験回数の関係で不可能なので, 二つの系列にわけて行つた。すなわち第一系列は C-Si の二元配置で,第二系列は Si-Mn-P の三元配置の組合 せにより実験を行つた。

第一系列は C を 2.5, 3.0, 3.5, 4.0%, Si を 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5%の各々の組合せにより20種類の試料を, 50 kg の高周波電気炉を用いて熔製した。第1図 a に示す 試片に鋳造し, 図中に示す位置から JISA-4号試片なら びにシャルピー衝撃試片を採取した。

第二系列は Si を 1.5, 2.0, 2.5, 3.0%, Mn を 0.2, 0.6, 1.0, 1.4%, P を 0.03, 0.07, 0.11, 0.15%のおのおのの組合せにより64種の試料をタンマン電気炉を用いて熔製し

* 日立製作所亀有工場

Table 1.	Chen	nical C	ompos	sitition	of Me	lting N	Aateri	als
熔解材料	化学分析值(%)							/.tt: =t/-
	С	Si	Mn	Р	S	Cu	Cr	加大
東北電気銑 (No.79)	3.57	1.12	0.28	0.029	0.018)第1系列に
軟 鋼 屑	0.20	0.20	0.4	0.02	0.02			「使用す
東北電気銑 (No.89)	3.82	1.17	0.27	0.036	0.021	0.07	Tr)第2系列に
本溪湖低燐銑	3.85	1.21	0.06	0.024	0.058	1- s		∫使用す
Fe-Si		78.86						1 2
Fe-Mn			73.92		2	ř.,		
Fe-P				24.44				1.1.1.1

た。第1図bに示す試片に鋳造しシャルピー衝撃試験片 を採取した。

使用熔解材料は東北電気銑を主とし,これに低燐銑, 軟鋼屑,木炭粉,Fe-Si,Fe-Pなどを添加して成分を調 整した。これら使用材料の化学分析値を第1表に示し た。

一部の試料は完全焼鈍を目標として、900℃ で1時間 保持後 700~740℃ に (Si %により変化させ) 24時間保 持して焼鈍を施した。

鋳造のまゝのもの,および焼鈍したものにつき,第一 系列においてはシャルピー衝撃試験,引張試験,硬度試 験を行いかつ顕微鏡組織を調べた。第二系列においては シャルピー衝撃試験および硬度試験を行い,顕微鏡組織

----- 85 ------



金属特集号第2集 日立評論 別冊第16号

第 2 表 第 一 系 列 の 分 析 値 Chemical Composition of First Series Table 2.

試料悉号		化	学	分析值(%)						目標成分(%)		
рул-т ш <i>т</i> у	T.C	G.C	Si	Mn	Р	S	Cu	Cr	Mg	С	Si	
787-1 2 788-1 2 3	$2.52 \\ 2.48 \\ 2.57 \\ 2.55 \\ 2.49$	$1.75 \\ 1.78 \\ 1.92 \\ 1.93 \\ 1.88$	$1.45 \\ 1.99 \\ 2.50 \\ 2.94 \\ 3.52$	$\begin{array}{c} 0.26 \\ 0.27 \\ 0.27 \\ 0.29 \\ 0.29 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.047 \\ 0.040 \\ 0.036 \\ 0.040 \\ 0.041 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.022 \\ 0.024 \\ 0.021 \\ 0.026 \\ 0.020 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.98 \\ 1.12 \\ 0.75 \\ 0.75 \\ 1.01 \end{array}$	Tr Tr Tr Tr Tr		2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5	$1.5 \\ 2.0 \\ 2.5 \\ 3.0 \\ 3.5$	
786-1 785-1 2 3	2.92 3.02 3.17 3.14 3.07	$2.14 \\ 2.11 \\ 2.47 \\ 2.52 \\ 2.47$	$1.45 \\ 2.01 \\ 2.48 \\ 2.95 \\ 3.44$	$\begin{array}{c} 0.27 \\ 0.27 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.28 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.031 \\ 0.031 \\ 0.028 \\ 0.032 \\ 0.030 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.019 \\ 0.016 \\ 0.026 \\ 0.020 \\ 0.014 \end{array}$	$1.11 \\ 0.86 \\ 0.64 \\ 0.84 \\ 0.95$	Tr Tr Tr Tr Tr Tr	0.066 0.058 0.063 0.055	$3.0 \\ 3.0 \\ 3.0 \\ 3.0 \\ 3.0 \\ 3.0 \\ 3.0 \\ 3.0 $	1.5 2.0 2.5 3.0 3.5	
783-1 2 765 784-1 2	$3.56 \\ 3.39 \\ 3.41 \\ 3.42 \\ 3.36$	2.87 2.77 2.66 2.81 2.71	$1.52 \\ 1.99 \\ 2.57 \\ 2.96 \\ 3.46$	$\begin{array}{c} 0.33 \\ 0.32 \\ 0.28 \\ 0.29 \\ 0.29 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.039 \\ 0.030 \\ 0.042 \\ 0.028 \\ 0.032 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.019 \\ 0.016 \\ 0.019 \\ 0.020 \\ 0.019 \end{array}$	$0.70 \\ 1.09 \\ 0.71 \\ 0.69 \\ 1.03$	Tr Tr 0.06 0.06 0.06	$ \begin{array}{c} 0.053 \\ 0.041 \\ 0.064 \\ 0.041 \\ 0.053 \end{array} $	3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5	1.5 2.0 2.5 3.0 3.5	
793-1 2769 792-1 2	$\begin{array}{r} 4.14 \\ 4.04 \\ 4.23 \\ 4.18 \\ 4.13 \end{array}$	3.26 3.20 3.39 3.33 3.29	$ \begin{array}{r} 1.61 \\ 2.13 \\ 2.57 \\ 3.15 \\ 3.55 \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} 0.34 \\ 0.35 \\ 0.31 \\ 0.34 \\ 0.34 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.045 \\ 0.033 \\ 0.034 \\ 0.043 \\ 0.021 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.022 \\ 0.023 \\ 0.022 \\ 0.024 \\ 0.019 \end{array}$	0.89 1.12 0.76 0.89 0.92	0.01 Tr 0.04 Tr 0.01	0.049	4.0 4.0 4.0 4.0 4.0	1.5 2.0 2.5 3.0 3.5	

第 3 表 Table 2

第 Chor

二系列の分析値

				1	able 3.	Cr	iemica	I Com	positi	on of	Seco	nd Se	ries				
試料		化	学	分	析	値	(%)		試料		化	学	分	析	値	(%)	
番号	T.C	GC	Si	Mn	Р	S	Ni	Cr	番号	T.C	GC	Si	Mn	Р	S	Ni	Cr
47 48 54 24 33	3.75 3.62 3.56 3.77 3.62		$1.53 \\ 1.57 \\ 1.57 \\ 1.63 \\ 1.60$	$\begin{array}{c} 0.25 \\ 0.30 \\ 0.25 \\ 0.24 \\ 0.61 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.033 \\ 0.067 \\ 0.113 \\ 0.155 \\ 0.040 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.026 \\ 0.035 \\ 0.032 \\ 0.039 \\ 0.040 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.34 \\ 0.42 \\ 0.56 \\ 0.47 \\ 0.39 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$	12 19 27 63 53	3.95 3.63 3.64 3.67 3.59	3.01	2.59 2.57 2.61 2.39 2.44	$0.25 \\ 0.63 \\ 0.61 \\ 0.62 \\ 0.65$	$\begin{array}{c} 0.167 \\ 0.031 \\ 0.079 \\ 0.106 \\ 0.158 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.021 \\ 0.025 \\ 0.036 \\ 0.029 \\ 0.032 \end{array}$	$ \begin{array}{r} 0.48 \\ 0.42 \\ 0.40 \\ 0.36 \\ 0.48 \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$
9 37 7 13 34	3.82 3.26 3.66 3.66 3.81		$1.56 \\ 1.66 \\ 1.81 \\ 1.64 \\ 1.63$	$0.65 \\ 0.63 \\ 0.64 \\ 1.06 \\ 1.04$	$\begin{array}{c} 0.072 \\ 0.118 \\ 0.170 \\ 0.044 \\ 0.077 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.019 \\ 0.029 \\ 0.029 \\ 0.020 \\ 0.027 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.19 \\ 0.40 \\ 0.46 \\ 0.42 \\ 0.34 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$	23 42 46 1 15	3.79 3.62 3.88 3.61 3.62	2.93	$2.62 \\ 2.71 \\ 2.65 \\ 2.67 \\ 2.64$	$1.00 \\ 1.03 \\ 1.03 \\ 1.03 \\ 1.03 \\ 1.37$	$\begin{array}{c} 0.037 \\ 0.067 \\ 0.112 \\ 0.152 \\ 0.035 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.026 \\ 0.026 \\ 0.036 \\ 0.030 \\ 0.020 \end{array}$	$0.40 \\ 0.44 \\ 0.39 \\ 0.30 \\ 0.43$	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$
30 18 26 11 5	3.67 3.80 3.62 3.75 3.73		1.51 1.54 1.71 1.42 1.59	$1.03 \\ 1.04 \\ 1.39 \\ 1.45 \\ 1.43$	$\begin{array}{c} 0.095 \\ 0.154 \\ 0.029 \\ 0.081 \\ 0.115 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.024 \\ 0.030 \\ 0.029 \\ 0.021 \\ 0.022 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.43 \\ 0.42 \\ 0.41 \\ 0.41 \\ 0.43 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$	$20 \\ 56 \\ 4 \\ 36 \\ 41$	3.69 3.65 3.61 3.89 3.65	2.92	2.50 2.60 2.51 3.05 3.07	$1.45 \\ 1.29 \\ 1.48 \\ 0.28 \\ 0.25$	$\begin{array}{c} 0.073 \\ 0.118 \\ 0.163 \\ 0.035 \\ 0.077 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.026 \\ 0.027 \\ 0.030 \\ 0.028 \\ 0.032 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.39 \\ 0.55 \\ 0.41 \\ 0.37 \\ 0.43 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$
62 38 3 44 49	3.61 3.76 3.91 3.75 3.78	3.17	$1.70 \\ 1.96 \\ 2.03 \\ 2.12 \\ 2.24$	$1.39 \\ 0.25 \\ 0.21 \\ 0.27 \\ 0.27$	$\begin{array}{c} 0.139 \\ 0.039 \\ 0.084 \\ 0.113 \\ 0.169 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.038 \\ 0.019 \\ 0.024 \\ 0.030 \\ 0.028 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.45 \\ 0.40 \\ 0.37 \\ 0.45 \\ 0.53 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$	22 16 14 61 60	3.87 3.66 3.49 3.57 3.63		2.98 2.94 2.95 2.97 3.17	$0.25 \\ 0.24 \\ 0.57 \\ 0.62 \\ 0.49$	$\begin{array}{c} 0.112 \\ 0.158 \\ 0.039 \\ 0.075 \\ 0.102 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.029 \\ 0.039 \\ 0.019 \\ 0.025 \\ 0.026 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.39 \\ 0.50 \\ 0.26 \\ 0.33 \\ 0.35 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$
21 28 10 50 39	3.90 3.56 3.77 3.97 3.74	2.91	$1.86 \\ 2.14 \\ 2.14 \\ 2.03 \\ 2.09$	$0.67 \\ 0.64 \\ 0.66 \\ 0.66 \\ 1.03$	$\begin{array}{c} 0.040 \\ 0.058 \\ 0.122 \\ 0.134 \\ 0.046 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.031 \\ 0.030 \\ 0.036 \\ 0.029 \\ 0.034 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.44 \\ 0.41 \\ 0.42 \\ 0.41 \\ 0.41 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$	52 35 51 32 29	3.33 3.56 3.53 3.91 3.51		3.10 3.13 2.95 3.19 2.89	$0.64 \\ 1.00 \\ 1.08 \\ 1.04 \\ 0.95$	$\begin{array}{c} 0.149 \\ 0.032 \\ 0.073 \\ 0.119 \\ 0.156 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.026 \\ 0.034 \\ 0.037 \\ 0.022 \\ 0.027 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.50 \\ 0.40 \\ 0.41 \\ 0.43 \\ 0.34 \end{array}$	$0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01$
57 40 59 6 31	3.69 3.47 3.71 3.87 3.56	2.80	2.16 2.00 2.12 1.90 2.05	$1.05 \\ 1.02 \\ 1.03 \\ 1.38 \\ 1.41$	$\begin{array}{c} 0.076 \\ 0.111 \\ 0.148 \\ 0.037 \\ 0.063 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.030 \\ 0.039 \\ 0.029 \\ 0.022 \\ 0.032 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.43 \\ 0.41 \\ 0.42 \\ 0.37 \\ 0.38 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$	55 45 25 64	3.70 3.86 3.79 3.59		$3.01 \\ 2.91 \\ 2.88 \\ 2.97$	$1.39 \\ 1.28 \\ 1.43 \\ 1.33$	$\begin{array}{c} 0.028 \\ 0.064 \\ 0.110 \\ 0.131 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.029 \\ 0.032 \\ 0.037 \\ 0.031 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.47 \\ 0.39 \\ 0.45 \\ 0.33 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$
8 2 17 58 43	3.75 3.84 3.92 3.55 3.49	2.94	$1.92 \\ 2.03 \\ 2.79 \\ 2.58 \\ 2.56$	$1.49 \\ 1.41 \\ 0.27 \\ 0.25 \\ 0.29$	$\begin{array}{c} 0.121 \\ 0.154 \\ 0.037 \\ 0.075 \\ 0.100 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.026 \\ 0.027 \\ 0.024 \\ 0.038 \\ 0.029 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.39 \\ 0.36 \\ 0.36 \\ 0.40 \\ 0.63 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \\ 0.01 \end{array}$	備考	Mg-	処理	Mg-Ni	-Fe (24	: 65 : 11)合金を	使用	

をしらべた。

なお本実験においては衝撃試験片は切欠のないものを 使用した。

〔III〕 実験結果ならびにその検討

試料の化学分析値は,第一系列を第2表に第二系列を 第3表に示した。

(1) C, Si を変化した場合の衝撃値

鋳放しおよび焼鈍の衝撃値を第2図に示した。 鋳放し では Si の低いほど衝撃値が高く, 焼鈍したものでは Si が 2~2.5% で最高値を示しており, C が低いほど高い 値を示している。試片に鋳造上の欠陥を認めたものをの ぞいて有意差検定を行つた結果, 鋳放し, 焼鈍いずれの 場合においても C および Si が1%の危険率で有意で





第2図 衝撃値に対する Siおよび C の影響 Fig. 2. Effect of Silicon and Carbon Content on Impact Value



第4図 衝撃値に対する Mn および P の影響 (Si 2.0%)

Fig. 5. Effect of Manganese and Phosphorus Content on Impact Value (Si 2.0%)

Si = 2.5 %

第3図 衝撃値に対する Mn および P の影響 (Si 1.5%)

Fig. 3. Effect of Manganese and Phosphorus Content on Impact Value (Si 1.5%)

あることがわかつた。

なお統計的手法により等間隔の場合の直交多項式⁽²⁾を 利用して衝撃値 Y の函数型を推定して、つぎのごとき 実験式をえた。

鋳放し状態では

 $Y = 1.88 - 1.52 (C - 3.25) - 1.0 \{ (C - 3.25)^2 - 0.313 \}$ $-1.16 (Si - 2.5) \dots \dots (1)$

第5図 衝撃値に対する Mn および P の影響 (Si 2.5%)

Fig. 5. Effect of Manganese and Phosphorus Content on Impact Value (Si 2.5%)

焼鈍状態では

Y = 9.72 - 1.80(C - 3.25) - 1.04(Si - 2.5) - 3.64{ (Si -2.5)²-0.5}......(2)

-1.16(Si-2.5).....(1) ただし C および Si は分析値(%) である。

---- 87 -----

別冊第16号

- 第6図 衝撃値に対する Mn および P の影響 (Si 3.0%)
- Fig. 6. Effect of Manganese and Phosphorus Content on Impact Value
- (2) Si, Mn, P を変化した場合の衝撃値

鋳放しおよび焼鈍状態の衝撃値を**第3図~第6**図に示した。図のパラメータは P で① P = 0.03%, ② P = 0.07%, ③ P = 0.11%, ④ P = 0.15% である。

Mn および P の増加とともにあきらかに衝撃値が低下している。Si 3%では Mn による衝撃値の低下率が緩和されている。有意差検定を行つた結果は,鋳放しではMn が 1%の危険率で, P % 5%の危険率で有意である。 焼鈍状態では Mn および P が 1%の危険率で有意である。

統計的手法により等間隔の場合の直交多項式を利用して衝撃値 Y の函数型を推定して、つぎのごとき実験式をえた。

鋳放しでは

ただし Si, Mn, P は分析値(%) である。

(3) C, Si を変化した場合の引張強さ,硬度,伸び C, Si を変化した第一系列の鋳放しおよび焼鈍状態の

引張強さ,硬度および伸びを第7図に示した。図のパラ メータはCで①C=2.5%,②C=3.0%,③C=3.5%,④

--- 88 -----

Mn%	鋳			放		焼			觐		
P %	0.2	0.6	1.0	1.4	Si%	Mn% P%	0.2	0.6	1.0	1.4	
0.03	41	41	44	52		0.03	16	21	26	27	
0.07	33	42	44	47		0.07	16	21	27	28	
0.11	36	42	41	46	1.5	0.11	18	25	30	31	
0.15	41	42	42	46		0.15	21	26	30	30	
0.03	35	42	42	48		0.03	19	24	25	28	
0.07	36	42	43	46	- 2.0	0.07	19	27	27	29	
0.11	38	43	- 44	41		0.11	23	25	25	27	
0.15	42	42	43	42		0.15	21	25	25	30	
0.03	35	41	41	46	-	0.03	24	23	23	23	
0.07	35	41	44	44	-	0.07	21	26	24	27	
0.11	38	40	45	44	2.5	0.11	23	24	24	27	
0.15	41	41	44	44	-	0.15	23	24	26	26	
0.13	41	26	40	45	-	0.03	20	23	24	24	
0.03	30		40	44	-	0.07	20	23	23	23	
0.07	40		40	44	3.0	0.11	21	24	26	25	
0.11	38	43	45	44	-	0.15	10	24	22	27	
	P % 0.03 0.07 0.11 0.15 0.03 0.07 0.11 0.15 0.03 0.07 0.11 0.15 0.03 0.07 0.11 0.15 0.03 0.07 0.11 0.15 0.03 0.07 0.11 0.15 0.03 0.015 0.11 0.15	0.03 41 0.07 33 0.11 36 0.15 41 0.03 35 0.07 36 0.07 36 0.11 38 0.15 42 0.03 35 0.15 42 0.03 35 0.15 42 0.03 35 0.11 38 0.15 41 0.03 36 0.15 41 0.03 36 0.15 41 0.03 36 0.11 38 0.15 41	$P >_0$ 4141 0.03 4141 0.07 33 42 0.11 36 42 0.15 4142 0.03 35 42 0.07 36 42 0.11 38 43 0.15 4242 0.03 35 41 0.03 35 41 0.15 4242 0.03 35 41 0.07 35 41 0.11 38 40 0.15 4141 0.03 36 36 0.07 40 38 0.11 38 43 0.15 4142	P > 0414144 0.03 414144 0.07 334244 0.11 364241 0.15 414242 0.03 354242 0.07 364243 0.11 384344 0.15 424243 0.07 354141 0.03 354141 0.03 354141 0.07 354141 0.07 354144 0.11 384045 0.15 414144 0.03 363640 0.07 403843 0.11 384345 0.15 414245	P_{20} 41414452 0.03 41414447 0.07 33424447 0.11 36424146 0.15 41424246 0.03 35424248 0.07 36424346 0.11 38434441 0.15 42424342 0.03 35414146 0.11 38434444 0.15 414144 0.11 38404544 0.03 36364045 0.07 40384344 0.11 38434544 0.11 38434544 0.15 41424547	P_{20} 414144520.03414144520.07334244470.11364241460.15414242460.03354242480.07364243460.11384344410.15424243420.03354141460.07354141460.03354141440.15414144440.15414144440.03363640450.07403843440.11384345440.1541424547	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	P_{∞} 41414452 0.03 41414447 0.07 33424447 0.11 36424146 0.15 41424246 0.03 35424248 0.07 36424346 0.07 36424346 0.07 36424346 0.07 36424346 0.11 38434441 0.15 42424342 0.15 42424342 0.15 42424342 0.03 35414146 0.13 35414146 0.11 38404544 0.15 414144 0.03 36364045 0.03 36364045 0.03 36364045 0.03 36364045 0.07 2023 0.07 2023 0.07 2023 0.11 384344 0.15 414245 0.15 1924	P_{ϕ} 0.03 41 41 44 52 0.07 33 42 44 47 0.11 36 42 41 46 0.15 41 42 42 46 0.15 41 42 42 46 0.03 35 42 42 48 0.07 36 42 43 46 0.07 36 42 43 46 0.07 36 42 43 46 0.07 36 42 43 46 0.07 36 42 43 46 0.07 36 42 43 42 0.11 38 43 44 41 46 21 25 0.03 35 41 41 46 0.07 35 41 41 46 0.15 21 25 25 0.07 35 41 44 44 44 0.11 38 40 45 0.15 41 41 44 0.15 23 24 0.03 36 36 40 45 0.07 20 23 24 0.07 20 23 24 0.07 20 23 23 0.11 38 43 44 0.11 21 24 26 0.11 38 43 44 0.11 21 24 </td	

第4表 ショア 硬 度 に 対 す る Si, Mn, P の 影 響 Table 4 Effect of Silicon, Manganese and Phosphorus Content on Shore Hardness

第5表 黒鉛量ならびにフェライト量と衝撃値の関係 Table 5. Relation between Impact Value and Graphite and Ferrite Content

and the

	1.1.1.1.1.1					衝擊値	kg ^{-m} /cm ²	検鏡によるフェ	ェライト量 %
No.	Т.С %	G.C	C.C %	Si %	Mn %	鋳放し	焼 鈍 後	鋳放し	焼 鈍 後
800 782-2 788-1 2 3	$2.51 \\ 2.48 \\ 2.57 \\ 2.55 \\ 2.49$	$1.75 \\ 1.78 \\ 1.92 \\ 1.93 \\ 1.83$	0.76 0.70 0.65 0.62 0.61	$1.56 \\ 1.99 \\ 2.50 \\ 2.94 \\ 3.52$	$\begin{array}{c} 0.31 \\ 0.27 \\ 0.27 \\ 0.29 \\ 0.29 \end{array}$	$1.3 \\ 1.6 \\ 1.8 \\ 0.5 \\ 0.4$	$11.6 \\ 14.2 \\ 12.3 \\ 10.8 \\ 5.8$	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ (0.2) \\ (0.2) \\ (0.2) \end{array}$	80 98 (99.8) 100 100
786-1 2 785-1 2 3	$2.92 \\ 3.02 \\ 3.17 \\ 3.14 \\ 3.07$	$2.14 \\ 2.11 \\ 2.47 \\ 2.52 \\ 2.47$	$\begin{array}{c} 0.78 \\ 0.91 \\ 0.70 \\ 0.62 \\ 0.60 \end{array}$	$1.45 \\ 2.01 \\ 2.48 \\ 2.95 \\ 3.44$	$\begin{array}{c} 0.27 \\ 0.27 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.28 \end{array}$	3.5 2.1 1.5 1.5 0.7	$\begin{array}{r} 8.6 \\ 10.9 \\ 12.5 \\ 11.5 \\ 6.9 \end{array}$	0 0 (0.5) 2.5 3.0	80 (99.5) 100 100 100
783-1 2 765 784-1 2	3.56 3.39 3.41 3.42 3.36	2.87 2.77 2.66 2.81 2.71	0.69 0.63 0.77 0.61 0.65	$1.52 \\ 1.99 \\ 2,57 \\ 2.96 \\ 3.46$	$\begin{array}{c} 0.33 \\ 0.32 \\ 0.28 \\ 0.29 \\ 0.29 \end{array}$	$3.6 \\ 3.2 \\ 1.9 \\ 1.9 \\ 0.7$	$\begin{array}{r} 8.2 \\ 11.2 \\ 14.2 \\ 11.0 \\ 7.1 \end{array}$	$ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ (0.2) \\ 3 \\ 5 \end{array} $	70 98 100 100 100
793–1 2 769 792–1 2	$ \begin{array}{r} 4.14 \\ 4.04 \\ 4.23 \\ 4.18 \\ 4.13 \end{array} $	3.26 3.20 3.39 3.33 3.29	0.88 0.84 0.84 0.85 0.85	$1.61 \\ 2.13 \\ 2.57 \\ 3.15 \\ 3.55$	$\begin{array}{c} 0.34 \\ 0.35 \\ 0.31 \\ 0.34 \\ 0.34 \end{array}$	$2.1 \\ 2.1 \\ 1.6 \\ 0.8 \\ 0.4$	9.1 8.2 8.6 8.3 6.5	0 0 (0.1) (0.1) (0.1)	80 98 95 100 100
T-3 T-28 T-57 T-31 T-58	3.91 3.56 3.69 3.68 3.55	3.17 2.91 2.80 2.91 2.91 2.94	$\begin{array}{c} 0.74 \\ 0.65 \\ 0.89 \\ 0.77 \\ 0.61 \end{array}$	$2.03 \\ 2.14 \\ 2.16 \\ 2.05 \\ 2.58$	$\begin{array}{c} 0.21 \\ 0.64 \\ 1.05 \\ 1.41 \\ 0.25 \end{array}$	2.9 2.3 2.0 2.1 5.3	8.6 8.5 5.0 3.1 9.1	15 5 5 1 60	$ 100 \\ 100 \\ 80 \\ 40 \\ 100 $
T-27 T-47 T-20 T-48 T-9	3.64 3.63 3.69 3.62 3.26	$3.01 \\ 2.93 \\ 2.92$	$ \begin{array}{r} 0.63 \\ 0.70 \\ 0.77 \\ \end{array} $	$2.61 \\ 2.71 \\ 2.50 \\ 1.57 \\ 1.66$	$\begin{array}{c} 0.61 \\ 1.03 \\ 1.45 \\ 0.30 \\ 0.63 \end{array}$	$2.1 \\ 2.0 \\ 1.6 \\ 2.8 \\ 1.3$	$7.0 \\ 5.0 \\ 3.3 \\ 8.2 \\ 7.0$	60 50 15 5 3	100 100 100 100 100
T-34 T-11 T-41 T-61 T-51	3.81 3.75 3.65 3.57 3.53			$1.63 \\ 1.42 \\ 3.07 \\ 2.97 \\ 2.95$	$1.04 \\ 1.45 \\ 0.25 \\ 0.62 \\ 1.08$	$ \begin{array}{r} 1.6 \\ 0.7 \\ 2.0 \\ 1.4 \\ 1.4 \end{array} $	$ \begin{array}{r} 4.8 \\ 2.2 \\ 7.2 \\ 6.2 \\ 4.8 \\ \end{array} $	$ \begin{array}{c} 1 \\ 0 \\ 60 \\ 60 \\ 50 \end{array} $	40 0 100 100 100
T-45	3.86		5 7 16	2.91	1.20	1.3	3.2	15	100

€=4.0%である。

状態では Si2%位まで大差なくそれ以上 Si が増すとと もに強くなつている。硬度は鋳放しでは Si の増加とと

引張強さは, 鋳放しでは Si 2% 位で最大値を示し焼鈍

____ 89 ____

金属特集号第2集 日立評論 別冊第16号

もに硬くなり、焼鈍状態では Si2%位までは大差なく、 ネシウム処理条件などによつて移動すると考えるが、化 それ以上 Si が増加するとともに硬くなつている。伸び は鋳放しおよび焼鈍状態とも Si2% 附近で最大値を示 している。

(4) Si, Mn, P を変化した場合の硬度

Si, Mn, P を変化した第二系列の鋳放しおよび焼鈍状 態の硬度を第4表に示した。硬度は鋳放しおよび焼鈍状 態とも Mn の増加につれて硬くなつている。

(5) 化学成分を変化した場合の組織

試料の顕微鏡組織ならびに第5表から、C, Si, Mn, P を変化した二系列の鋳放しおよび焼鈍状態の組織図をつ くると第10図および第11図のごとくなる。一部の顕微鏡 組織を第8図,第9図に示した。もちろんこの範囲はほ かの黒鉛化に影響をあたえる元素の存在,あるいはマグ 学成分の組織にあたえる影響をある程度推察しうるもの と考える。

(6) 黒鉛形状ならびにその大きさの影響

第8図,第9図の写真などで判明するごとく、本実験試 料では黒鉛の形状に大なる変化はない。しかし第一系列 では同一試料から3ないし4個の衝撃試片を採取して試 験しており,これらの衝撃値の変動が認められるから,こ の試料を顕微鏡下で観察して,黒鉛をその大きさならび に形状の面から分類し,これと衝撃値との関連性を示し たものが第12図である。黒鉛球は焼鈍によつてその平均 直径ならびにその数が増加している。また黒鉛量も部分 的にかなり変化しているが,黒鉛量が一定ならば,比較的 大きな黒鉛が均一に分布している方が衝撃値が高いとい

×50 Si, Mn を変化した組織-1 (P=0.07%) 第8図 顕 微 鏡 写 真 Fig. 8. Micro-structure

---- 90 -----

鏡 真 第9図 顕 微 写.

第10図 化学成分と組織との関係 Fig. 10. Relation between Chemical Composition and Micro-structure

えるのではないかと考える。形状の面からは本実験試料

第11図 化学成分と組織との関係 Fig. 11. Relation between Chemical Composition and Micro-structure

中には片状または準片状黒鉛はほとんど存在しないの で,形状の影響を見出すことはできなかつた。 本実験の試料の一部についてその黒鉛量を定量し衝撃

--- 91 ----

日 女. 評論

属 金 特 集 号 第2集

別冊第16号

第12図 黒鉛の大きさと衝撃値の関係 Fig. 12. Relation between Size of Graphite and Impact Value

値との相関をしらべた。その結果(第5表および第13図, 第14図参照)黒鉛量と衝撃値の相関係数は、鋳放しで 0.086, 焼鈍後で 0.405 であった。この検定には Mn 含有 量のことなるものはのぞいてあるが, Si 量がひとしくな いため相関度が低くなつているので, 化学成分のひとし いものについては黒鉛量の影響がさらにあきらかにあら われるものと考える。

〔IV〕 結果の考察

(1) 衝撃値とほかの機械的性質との関係について 鋼についてはその硬度と衝撃値との間に関係があるこ とが知られているので, 球状黒鉛鋳鉄では衝撃値とほか の機械的性質との間にいかなる関係があるかをしらべて みた。第一系列のものをとりその硬度,伸びと衝撃値と の相関検定を行つた。引張強さはその値がかなりばらつ いていること,引張強さ~硬度の間にはほぼ直線的関係 がなりたつことが知られているので⁽³⁾⁽⁴⁾,今回は除外し た。相関検定結果を第6表に示した。硬度(X)および 伸び (Y) に対する衝撃値 (Z) の重相関係数は

黒鉛量 (%)

第14図 黒鉛量と衝撃値との関係 Fig. 14. Relation between Graphite Content Impact Value

Table 6. Res	ults of Correlation Analysis
	単相関係数(試料数 39)
更度——衝擊値 (X) (Z)	$R_{XZ} = -0.9529^{**}$
夏 (X) (Y)	$R_{XY} = -0.8234 **$
申び――衝撃値	$R_{YZ} = 0.8737^{**}$

1%の危険率の有意水準で相関がある

硬度~伸び~衝撃値の間には密接な関係があることがわ かる。第15回に硬度と衝撃値,第16回に伸びと衝撃値の 関係を図示した。

(2) 化学成分の影響

---- 92 -----

球状黒鉛鋳鉄の硬度および伸びと衝撃値が関連を有することがわかつたので、W.S. Pellini⁽⁶⁾および C.F. Reynolds⁽⁵⁾などの発表した機械的性質と成分の影響を参考にして検討した。

(i) Si の影響

Si は黒鉛化を促進するため鋳放しでフェライトを析 出しやすくし,また焼鈍のさいのパーライトの分解を促 進する。しかし Si が 3.5% 以上となれば鋳放しの伸び が減少し⁽⁵⁾,衝撃値も減少するであろう。また黒鉛の大 きさは小粒となり,その数は増加する傾向がある。この ことも衝撃値を減少する原因と考えられる。

(ii) Mn の影響

Mn は黒鉛化を妨げ Mn1%以上, Si3%以下ではパ ーライトを焼鈍によつて完全に分解することは困難であ る。衝撃値,伸びなどは鋳放し状態では Mn1%以上で 急激に減少するが,焼鈍したものではその影響は比較的 小となり,Si3%以上の場合は Mnが高くてもパーライ トの分解は比較的容易になり機械的性質も向上する。

(iii) Pの影響

Pはパーライトおよびフェライト中に固熔して脆くする。この影響は鋼では比較的敏感にあらわれるが鋳鉄ではそれほど敏感でなく, 0.1%以下の P は影響がないと

いう説もあるが,やはり伸びおよび衝撃値はPとともに 直線的に減少するようである。

(iv) Cの影響

Cの影響はその化合炭素量と遊離炭素量,黒鉛の形 状,大小などによつてきまり,その影響を一義的に論ず ることはむづかしい。もしマトリックスの状態が同一で あるとすれば,黒鉛球の存在によつてそのマトリックス の有効断面積を減少し,同時に黒鉛の形状,大小による 影響があらわれる。この黒鉛粒による影響は衝撃値に比 較的あらわれやすいものと考える。

(3) 組織と衝撃値との関係について

(i) フェライトおよびパーライト量と衝撃値との関係

試料のフェライト量が増加すれば衝撃試験の変形量が 増加し衝撃値が向上する。

W.S. Pellini⁽⁶⁾ によるとパーライト量が 0~20%の範 囲では伸びの変化は少い,本実験試料も同様の傾向をも つている。これに反しパーライトの多い部分では少量の フェライトによつて衝撃値が変化しやすい。この場合ブ ルアイ組織の黒鉛周囲のフェライトは硬度が小であるか ら変形に対して緩衝作用をなすものと考えられる。しか し Si 量が増すとともにシリコフェライトの硬度が増加 して緩衝作用も少くなると思われる。

(ii) 黒鉛の形状,大きさ,分布の影響

第16図 衝 撃 値 と 伸 び の 関 係 Fig. 16. Relation between Impact Value and Elongation

黒心可鍛鋳鉄についての南波氏の研究⁽⁷⁾によれば,黒 鉛の大きさが小になるほど亀裂の進行に対するクッショ ンの作用が増加して,引張強さが増加する。しかしこの 場合にも伸びの値は黒鉛の大きさによつてあまり変化し ていない。考察(1)において述べたごとく,伸びと衝 撃値との間にはある程度比例関係がなりたつことから黒

---- 93 -----

別冊第16号

鉛量が同一の場合には衝撃値は黒鉛の大きさによつてあ まり影響を受けないものと考えられる。

また球状黒鉛は焼鈍炭素とことなり,その大きさによ つて球状化の程度をことにすることは少いから,球状黒 鉛がある程度の大きさを有する方が切欠効果が減少して 衝撃値が向上するものと考えられる。黒鉛の分布は均一 分布がのぞましく,黒鉛量が多くなると黒鉛球が部分的 に密集しやすくこの部分から破断しやすい。

黒鉛の形状が球状から片状に近づくにつれて切欠効果 が増大して、応力集中率が高くなつて衝撃値が低下する が、その程度を数字的に示すことは困難である。 R.W. Lindsay の黒鉛球状化率と引張強さ、伸びとの関係図⁽⁸⁾ から判断すると準片状黒鉛が20%程度存在したとき、引 張強さの減少は約10%、伸びの減少は約4%である。本 実験試料はつねに組織中に完全球状黒鉛を90%以上含ん でいるので、黒鉛の形状の影響はほとんどあらわれなか つたものと考えられる。

(iii) 黒鉛量の影響について

球状黒鉛鋳鉄の黒鉛量が変化した場合に,黒鉛が断面 中に占める割合がどのように変化するかをしらべてみ た。黒鉛球が均一に分布していると仮定して試料断面に おいて黒鉛の占める面積を計算したものが第7表であ

第7表	試料断面中に黒鉛の占める面積	
Table 7.	Area of Graphite in Section of	2
Test Pi	ece	

黒鉛重量(%)	黒 鉛 容 量 (%)	断面中に黒鉛の占め る面積 (%)	
1.8	6.13	15.5	
2.0	6.77	16.6	
2.2	7.41	17.6	
2.4	8.06	18.6	
2.6	8.68	19.6	
2.8	9.29	20.5	
3.0	9.91	21.4	
3.2	10.52	0.52 22.3	
3.4	11.12	23.1	
3.6	11.73	23.9	
3.8	12.32	24.7	
4.0	12.91	25.5	
4.2	13.49	26.3	
4.4	14.07	27.0	

≈ ¹¹

-

る。第一系列の焼鈍試料中フェライト量が95%以上のも のについての黒鉛量と衝撃値の関係を第17図に示した。 この場合,黒鉛量は全炭素量にひとしいものと考え炭素 量のことなるグループ別に黒鉛量および衝撃値の平均を 求めたのである。

黒鉛量が 3.4% 以上で衝撃値が急に低下している理由 は,黒鉛が多くなると部分的に密集しやすくなる傾向が 認められることから,その有効断面積が減少したためで はないかと考える。

一般に,地鉄の組織,成分の相違が小であり,黒鉛の 形状および大きさ,分布などがほぼ同一の場合には,衝 撃値は黒鉛量によつて変化するはずである。実際に検定 を行つた結果,地がフェライトのみからなる焼鈍試片に ついては,黒鉛量と衝撃値の間に相関が認められるが, 鋳放しのものについては相関は認められなかつた。

〔V〕 結 言

球状黒鉛鋳鉄の化学成分を C 2.5~4.0%, Si 1.5~3.5 %, Mn 0.2~1.4%, P 0.03~0.15%の範囲で変化させそ の衝撃値などを調査した結果, つぎのようなことが判明 した。

(1) 各元素の機械的性質にあたえる影響

第一系列の C, Si を変化した場合, 第二系列の Si, Mn, P を変化した場合の二系列で, それぞれ二元配置,

第17図 黒 鉛 量 と 衝 撃 値 の 関 係 Fig. 17. Relation between Impact Value and Graphite Content

三元配置法による有意差検定を行つた結果

(a) 鋳放しの衝撃値に対しては C, Si, Mn は1%
 の危険率で有意であり、 P は5%の危険率で有意である。

(b) 焼鈍後の衝撃値に対しては C, Si, Mn, P はい づれも1%の危険率で有意である。

(c) 鋳放しの硬度に対しては Mn が1%の危険率で
 有意であり,焼鈍後の硬度に対しては Si および Mn が
 5%の危険率で有意である。

このほか,焼鈍状態の引張強さおよび鋳放しの伸びと Si量との間には関係があるらしいことがわかつた。こ の結果を用いて実験範囲内における衝撃値と化学成分の 関係式を導いた。

さらに衝撃値は C 2.5~3.5%, Si 2.0~2.5%の範囲で 高く, Mn, P は可及的少い方がのぞましい。Si 含有量 が3%以上になれば Mn は1%程度含有してもパーライ ト増加による影響は比較的少い。

(2) 組織について

本実験試料の黒鉛形状はほとんど変化がないので,黒 鉛形状の影響はあきらかでなかつたが,一部試料につい てしらべた結果では,黒鉛の大きさがひとしく,分布が 均一であれば衝撃値が高いようである。黒鉛の直径はあ る程度大きい方が切欠効果が減少する意味で有利である と考えられる。

また黒鉛量が大になれば当然衝撃値が低下するはずで あるが,検定の結果は Si 量がことなるため,焼鈍後の 衝撃値と黒鉛量との間に相関が認められるに過ぎなかつ た。

パーライト量は衝撃値に大きな影響をあたえるはずで あるが、本実験ではパーライトが連続的に変化した試料 がえられなかつたため、その影響をあきらかにできなか ったが Si 量の特に高い部分をのぞいては,衝撃値はフ ェライト量にほぼ比例して増加すると考えられる。

(3) 衝撃値とほかの機械的性質との相関について 衝撃値と硬度および伸びとの間に高度の相関が認めら れ,硬度および伸びの値によつてある程度衝撃値を推定 することができるようである。

終りに本研究に対して御懇篤な御教示を賜わつた村上 先生に厚く御礼申上げるとともに,試料の作製ならびに 試験に協力された加藤氏をはじめ,御支援御協力を賜わ つた方々に深く謝意を表する。

参考文献

- (1) A.L. Carr, W. Steven: Metal Treatment and Drop Forging, Oct. 1953
- (2) 田口: 実験計画法 日本化学会プリント (昭28)
- (3) C.K. Donoho: Foundry, 78 96 (June 1950)
- (4) D.G. Reese: Foundry, 78 120 (May 1950)
- (5) C.F. Reynolds, H.F. Taylor: Transactions of A.F.S., P. 687 1952
- (6) W.S. Pellini, G. Sandoz & H.F. Bishop: Transactions of A.S.M., 46 418
- (7) 南波: 鋳物, 24 9 (昭 27-4)
- (8) R.W. Lindsay, A. Shames: Transactions of A.F.S., P. 650 1952
- (9) 谷村: 鉄と鋼, 38 38 (昭 27-9)

--- 95 ----