

採らねばならぬ。

11. 製鐵所平爐鋼とアームコ鐵との品質を比較するに製

鐵所製が抗張力は強く延伸率は左程異らないから使用の目的では製鐵所製が有利である。

球状セメンタイト鋼の衝撃抵抗

藤田 守太郎*

Die Grundlage für die Spheroidalzementitbildung ist bereits vollständig untergesucht worden, aber die Eigenschaften des Spheroidalzementitstahles, vor allem seine Schlagfestigkeit, sind bis jetzt noch nicht genügend geforscht. In diesem Experimente, daher war es der Zweck, die Gefüge von Stählen mit verschiedenem Kohlenstoff-Gehalt zu verspheroidieren, und dann ihre Schlagfestigkeit zu bestimmen, um schliesslich den Wert mit der die anderen Gefüge habenden Stähle zu vergleichen.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in folgenden kurz zusammengefasst.

1) Von Stählen mit verschiedenen Gefüge hat der sein Zementit verspheroidierten Stahl den grössten Schlagfestigkeitswert, der aber als der von Sorbitstahl kleiner ist.

2) Der Grad des Zunahmes des Schlagfestigkeitswertes und des Abnahmes der Härte, die durch die Verspheroidierung des Zementites verursacht werden, zeigt jeder maximalen wert an dem etwa 0.8% Kohlenstoff enthaltenden Stahle (Eutektoidstahl)

3) Die Beziehung zwischen dem Schlagfestigkeit X und der Härte Y ist folgendes

$$XY = K$$

4) Vergleichend den nicht gearbeiteten Gutzblock mit dem Geschmiedeten, Kann man zeigen, dass der vorigere durch die Verspheroidierung in grotzer Matze beeinflusst wird.

I. 緒 言

球状セメンタイト鋼に關しては多くの人々により其成因性質等研究されて居つて、中でも成因に就ては殆完全に究め盡されて居るが其性質に至つては未だ不明の點が多い。鋼の組織中セメンタイトを球状化する時は抗張力、降伏點等を減じ延伸率、收縮率の増加を來すことは認められて居つたが其衝撃抵抗に關しては先きに C. H. Desh¹⁾ がアイゾット式衝撃試験機により、又近くは小林氏²⁾ に依つてシャルピー式衝撃試験機により實驗された位のものである。Desh が數種の炭素鋼を試験片として得た結果は球状セメンタイト組織のものが標準組織（パーライト）のものより衝撃値が低いと云ふのであつて、之に就ては當時既に F. C. Thompson³⁾ 等の反對があつた。小林氏の研究は過凝共晶鋼（炭素含有量 1.145%）只 1 種に就ての實驗であるが衝撃抵抗の増加を確めて居らる。其他、鋼の衝撃

抵抗を研究された人々の中に特に球状セメンタイト組織の衝撃値を見る心算ではなく色々の熱處理を加へて居る内に自然にセメンタイトが球状化したものに就て衝撃値を測るとか或⁴⁾ は只一二の鋼に就て謂はば附けたりに衝撃値を測つたと云ふ人はある。然し各種の炭素鋼に就て全般的に衝撃抵抗に關する事項を知るには不充分の點が少くないと考へたので炭素含有量の異なる各種炭素鋼に就き特に組織を球状パーライト化せしめたものに關して實驗を重ねた次第である。

II. 材 料

試験材料は次の 3 種類を用ひ孰れも製鐵所より寄贈されたものである。

A. 第 1 表に示す様な成分を有する原料を適宜配合して所要の炭素量を有する 6 種の試料を得た。其製造方法は先づアームコ鋼と除磷銑とを坩堝中に溶解し之に脱酸劑としてフェロマンガン約 30 gr を添加して之を 5 kg 鋼塊に

¹⁾ Jour. Iron & Steel Inst., 1923, I.

²⁾ 水曜會誌、第 5 卷第 10 號

³⁾ Jour. Iron & Steel Inst., 1923 I.

* 九州帝國大學工學部

⁴⁾ 例へば F. Korber u. A. Pomp.: Mitteil. a. d. Inst. f. Eisenforschung. Bd. VII.

鑄造し、次に此鋼塊頭部を約半分切り捨てて残りの部分を $15 \times 15 \times 1,000 \text{ mm}$ の棒に鍛造した。

第 1 表

種 別	C	Si	Mn	P	S	Cu
ア ー ム コ 鋼	0.03	痕跡	0.08	痕跡	0.016	0.046
除 燐 銑	3.86	0.044	0.29	0.016	0.008	痕跡
フェロマンガ	0.30	0.26	75.00			

斯くして出来上た 6 種の材料の成分は第 2 表の如くである。

第 2 表

試料番號	1	2	3	4	5	6
C	1.22	0.94	0.78	0.44	0.28	0.09
Mn	0.48	0.47	0.48	0.79	0.60	0.79

B. 普通の鋼片から得たもので第 3 表の成分を有して居る。

第 3 表

試料番號	C	Si	Mn	P	S	Cu	備 考
7	1.48	0.20	0.68	0.006	0.024	0.09	電氣爐鋼
8	1.23	0.11	0.65	0.006	0.017	0.10	〃
9	1.03	0.15	0.73	0.005	0.019	0.10	〃
10	0.97	0.17	0.73	0.006	0.021	0.10	〃
11	0.80	0.16	0.71	0.007	0.024	0.11	〃
12	0.64	0.155	0.64	0.034	0.033		平 爐 鋼
13	0.48	0.176	0.65	0.021	0.025	0.24	〃
14	0.35	0.197	0.59	0.011	0.025		〃

C. 第 4 表の成分のものを原料として A のものと同様の方法で溶解して之にアルミニウムを銑鋼 5kg に對し 3gr を加へて脱酸し第 5 表の試料を作つた。

第 4 表

種 別	C	Si	Mn	P	S	Fe
電 解 鐵	0.02	—	0.04	0.007	—	99.88
白 鐵 銑	4.43	0.04	0.08	0.019	0.005	—
金 屬 滿 俺	0.51	0.12	97.00	0.20		

第 5 表

試料番號	15	16	17	18	19	20	21	22
C	1.24	1.25	0.91	0.89	0.73	0.74	0.49	0.38
Mn	0.64	0.62	0.74	0.71	0.60	0.54	0.50	0.44

第 5 表の中で No. 15. 17. 19. 21 は鋼塊の儘のものと No. 16. 18. 20. 22 は鋼塊頭部を約半分切り捨て残部を鍛造して $3 \times 3 \text{ cm}$ の斷面積を有する角棒としたものである。

III. 衝 撃 試 験

1. Ac_1 及 Ar_1 の測定 球狀セメンタイト化の熱處理を行ふには正確なる Ac_1 Ar_1 點を知る必要があるので指差熱分析法によつて之を測定し第 6 表の結果を得た。

第 6 表

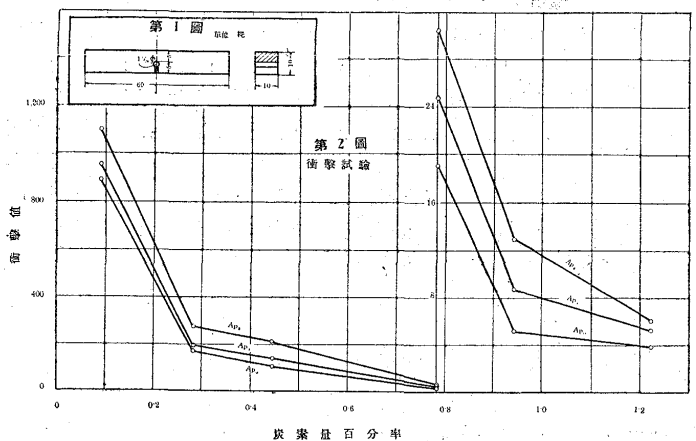
試料番號	Ac_1	Ar_1	試料番號	Ac_1	Ar_1	試料番號	Ac_1	Ar_1
1	730	700	7	752	713	15	755	709
2	735	700	8	754	707	16	753	724
3	738	698	9	750	704	17	753	707
4	728	695	10	749	701	18	754	720
5	745	685	11	747	703	19	758	700
6	736	665	12	749	696	20	764	716
			13	733	686	21	762	694
			14	733	683	22	759	705

2. A 類に就ての實驗 供試體は總て $15 \times 15 \times 65 \text{ mm}$ の大さとなし之を調質する爲めゲーデ式廻點真空唧筒により水銀柱約 2 mm の壓力の下に $1,100^\circ \text{C}$ にて 1 時間焼鈍し爐中冷却により完全な層狀パーライト (第 21 圖) のものとなして後、之に次の如き處熱理を施して衝擊試験片を作つた。

(i) 其儘即ち層狀パーライト組織の儘のものを標準組織とし p にて表す。

(ii) 850°C に 20 分間保ちたる後同溫度より焼入して之を 300°C 又は 600°C にて 30 分間焼戻しソルバイト組織のものとする 300°C にて焼戻したものを s' とし 600°C にて焼戻したるものを s'' とする。

(iii) 850°C より焼入してマルテンサイト組織のものとし之を m にて表す。



以上 3 種の組織を有する各種の鋼を其炭素含有量に應じて Ac_1 點以上 $2 \sim 15^\circ$ 高き溫度に於て一定時間焼鈍して Ar_1 以下 50° を降るまで 1 分間 2° の割合にて冷却を行ひ其後は爐中に放置して 200°C に低下せしめ爐外に出す。斯くする時は程度の差はあるが球狀組織のものとなる之等を第 1 圖に示す衝擊試験片に作りシャルピー式 10 m.kg の衝擊試験機に依つて實驗し以下述べる様な結果を得た。

(a) 層狀パーライト組織のものより出發したるもの。今區別を明瞭ならしめる爲之に屬するものを p_n なる記號にて表す。n は球狀組織化への熱處理の時間を示すものとする。例へば A_{2p3} は A 類の No. 2 試片を層狀パーライトとなし之を源の組織として 3 時間球狀組織化の熱處理を加へたるものなることを示す。

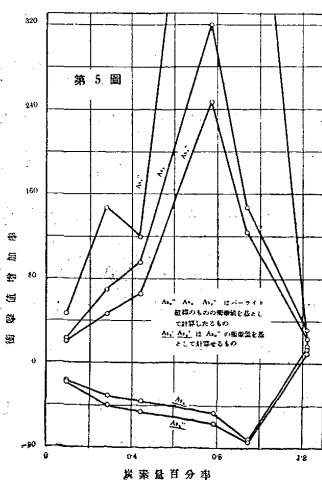
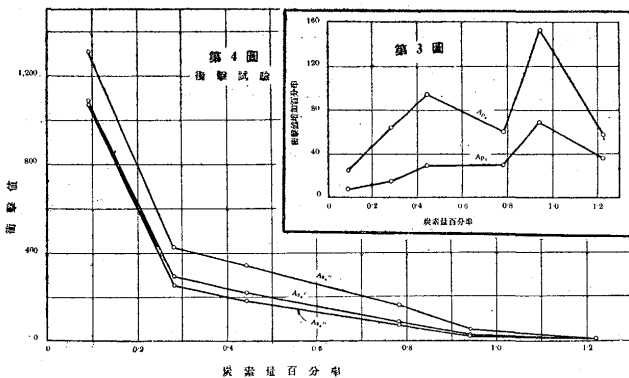
然して衝擊値測定は同一製作を施したる試片 2~3 個宛に行ひ之を平均して其熱處理に對する試片の衝擊値とする。第 7 表は其結果であつて第 2 圖は之を圖示したもの

である。

第 7 表

試料番号	衝撃値(cmkg/cm^2)				衝撃値増加率
	1	2	3	平均	
A ₁ P ₀	4.0	4.0	3.5	3.8	
A ₂ P ₀	5.0	5.6	4.8	5.1	
A ₃ P ₀	19.3	19.3	18.5	19.0	
A ₄ P ₀	109.8	114.4	105.2	109.8	
A ₅ P ₀	169.7	166.5	176.4	170.7	
A ₆ P ₀	902.0	889.0	884.3	891.8	
A ₁ P ₁	4.5	5.6		5.2	37
A ₂ P ₁	8.0	8.4	9.4	8.6	69
A ₃ P ₁	25.4	24.0		24.7	30
A ₄ P ₁	143.5	138.9		141.2	29
A ₅ P ₁	197.3	193.1		195.2	14
A ₆ P ₁	970.6	937.4		954.0	7
A ₁ P ₃	5.9	6.0	6.2	6.0	58
A ₂ P ₃	12.3	12.3	13.6	12.9	153
A ₃ P ₃	30.7	30.1		30.4	60
A ₄ P ₃	211.0	213.1		212.0	93
A ₅ P ₃	276.3	281.1		278.7	63
A ₆ P ₃	1110.0	1095.7		1102.8	24

第7表中 A_{p0}, A_{2p0} 等 p₀ で示されたものは 1,100°C にて1時間焼鈍して層状パーライト組織としたもので何等他の熱処理を施さないものである。又衝撃値増加率とは p₀



試片の衝撃値を基として計算した衝撃値増加百分率であつて $(A_{np_m} - A_{np_0}) / A_{np_0} \times 100$ にて表さるものである。第3圖は此増加率を圖示したもので之によると凝共晶鋼の附近が一番球状化による影響が大きいことを示して居る。

(b) ソルバイト組織のものより出發せるもの。

之に屬するものを s_x にて表す。例へば A_{3s1}' は前同様 A 類の No.3 を前述の 300°C にて焼戻す方法によりソルバイト組織のものとなし之に1時間球状組織化の熱處理

を施したものなることを示して居る。第8表は此種の試片の衝撃値測定結果で第4圖は夫を圖示せるもの又第5圖は第3圖と同意義のものであつて一つはパーライト組織のもの (A_{np0}) の値を基として計算し他はソルバイト組織のもの (A_{ns0}') の値を基として算出したものである。

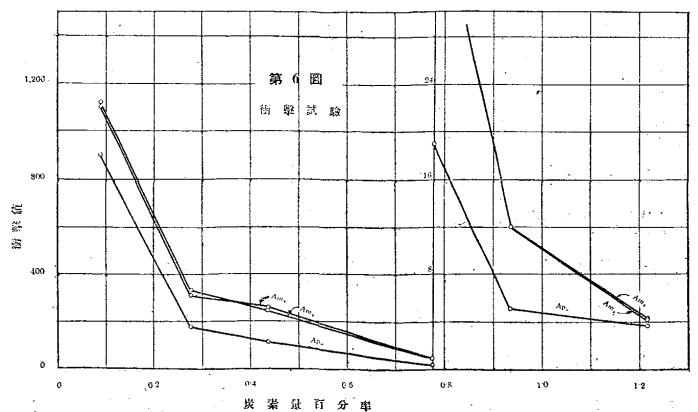
第 8 表

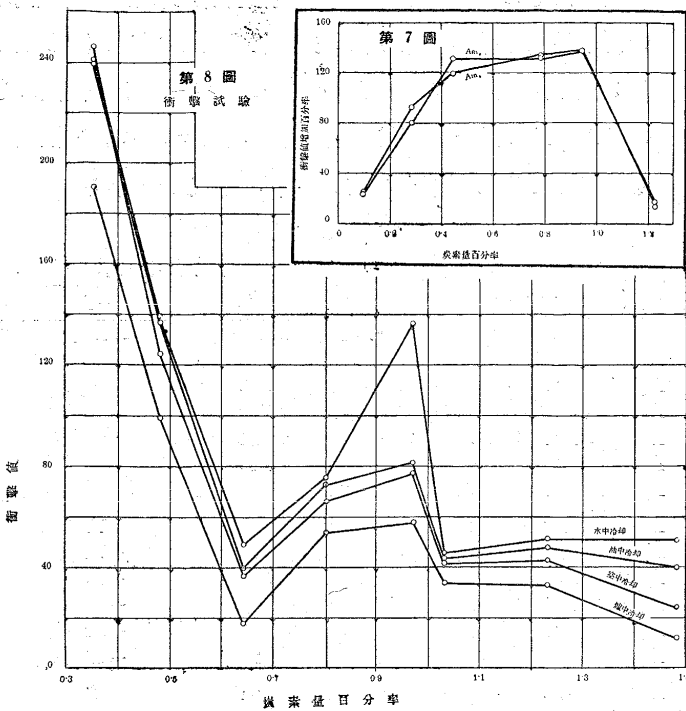
試料番号	衝撃値(cmkg/cm^2)				衝撃値増加率	
	1	2	3	平均	$\frac{A_{nsx} - A_{np0}}{A_{np0}} \times 100$	$\frac{A_{nsx} - A_{ns0}'}{A_{ns0}'} \times 100$
A _{1s0} '	4.2	4.5	4.3	4.3	13	
A _{2s0} '	51.2	48.0	46.6	48.6	853	
A _{3s0} '	150.4	159.7	158.6	156.2	722	
A _{4s0} '	340.1	339.3	337.9	339.1	118	
A _{5s0} '	419.6	422.8	415.7	419.1	146	
A _{6s0} '	1310.4	1305.8	1303.0	1306.4	46	
A _{1s2} '	4.8	4.9	5.1	4.9	29	11
A _{2s2} '	12.7	12.3	12.6	12.5	145	-74
A _{3s2} '	78.1	79.8	80.2	79.4	318	-49
A _{4s2} '	212.1	210.8	215.6	212.8	94	-37
A _{5s2} '	282.7	289.1	287.4	286.4	68	-32
A _{6s2} '	1086.6	1092.2	1087.5	1088.8	22	-17
A _{1s2} '	4.8	4.5	4.5	4.6	21	7
A _{2s2} '	10.7	11.3	11.9	11.3	122	-77
A _{3s2} '	63.7	65.2	67.8	65.6	245	-58
A _{4s2} '	178.3	183.6	177.5	179.8	64	-47
A _{5s2} '	249.4	246.1	248.4	248.0	45	-41
A _{6s2} '	1070.0	1098.7	1065.8	1068.2	20	-18

之に依ればソルバイト組織のものは他の組織のものより甚しく其衝撃値高くパーライト組織のものに比しこの増加率は最大 853% に及ぶも過凝共晶鋼 (試片 A₁) にあつては球状化せるものに及ばざること 10% 内外である。夫でソルバイト組織のもの、衝撃値を基として其増加率を算出すれば試片 A₁ 以外は皆負である。然し孰れにしても球状化の影響を蒙ることの大なるは矢張り凝共晶鋼の附近である。

(c) マルテンサイト組織のものより出發せるもの。

之に屬するものを m_x にて表す。例へば A_{5m3} は A 類の No.5 の試片をマルサイト組織のものとなし、之に球状組織化の熱處理を3時間施したるものなることを示す。





第9表は此系の衝撃測定値であつて第6圖は之を圖示せるもの又第7圖は第3圖と同じ方法に依つて畫きたるものである。

第 9 表

試料番號	衝撃値 (cmkg/cm ²)				衝撃値増加率 $\frac{A_n m_x - A_n p_0}{A_n p_0}$
	1	2	3	平均	
A ₁ m ₂	4.3	4.0	4.7	4.3	13
A ₂ m ₂	11.1	12.8	12.5	12.1	137
A ₃ m ₂	41.8	40.6	48.1	44.5	134
A ₄ m ₂	236.3	237.7	248.0	240.7	119
A ₅ m ₂	328.6	324.9	331.7	328.4	92
A ₆ m ₂	1124.6	1112.8	1093.5	1110.3	25
A ₁ m ₃	4.4	4.5	4.4	4.4	16
A ₂ m ₃	12.3	12.0	12.1	12.1	137
A ₃ m ₃	42.2	45.7	44.8	44.2	132
A ₄ m ₃	250.3	254.6	256.0	253.9	131
A ₅ m ₃	303.6	307.9	309.3	306.9	80
A ₆ m ₃	1096.0	1082.7	1099.2	1092.6	23

上表に見らるゝ如く球状組織化の熱處理の時間を2時間とするも或は3時間とするも其衝撃抵抗の増加は殆變らないが凝共晶鋼附近に於て最大の増加率を有することは他の組織より出發せるものと同様である。

3. B類に就ての實驗 之に屬する材料は特に此實驗の爲に造つたものでなく第3表の如く No.7~No.11 は電氣爐製鋼で No.12~No.14 は平爐製鋼である。之等の試片を 15×15×65mm の大さとなし 850°C に 20 分間焼鈍の後爐中冷却 (f)、空中冷却 (a)、油中冷却 (O)、水中冷却 (w) をなしたるものに球状組織化の熱處理を3時間行ひ前實驗と同一寸法の試験片を作つて衝撃値を測定し第

10 表の結果を得た。

第 10 表 の 1

試片番號	衝撃値		
	1	2	平均
B ₇ f ₃	11.5	10.4	10.9
B ₈ f ₃	32.2	30.8	31.5
B ₉ f ₃	33.5	31.7	32.6
B ₁₀ f ₃	57.2	56.0	56.6
B ₁₁ f ₃	53.7	52.2	52.9
B ₁₂ f ₃	15.6	17.1	16.3
B ₁₃ f ₃	97.2	98.9	98.0
B ₁₄ f ₃	191.0	187.6	189.3

第 10 表 の 2

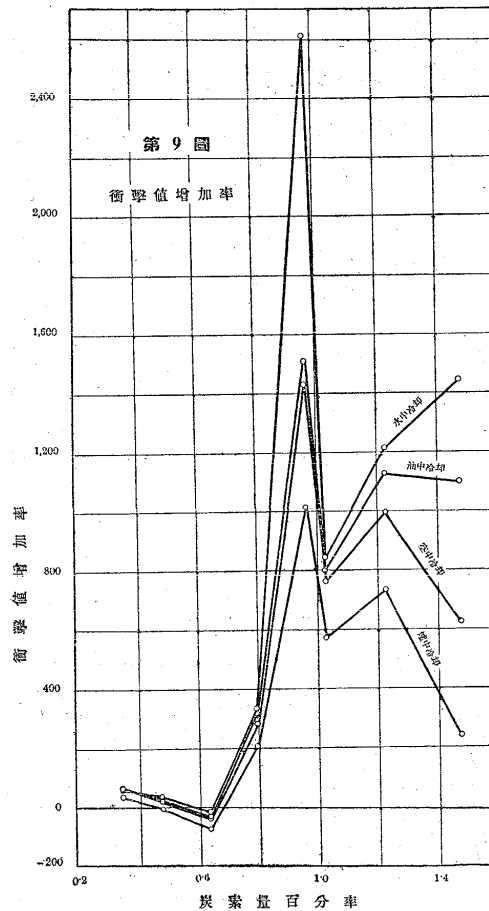
試片番號	衝撃値		
	1	2	平均
B ₇ a ₃	27.4	18.8	23.1
B ₈ a ₃	42.7	40.5	41.6
B ₉ a ₃	38.5	42.3	40.4
B ₁₀ a ₃	77.0	75.7	76.4
B ₁₁ a ₃	63.7	63.2	65.9
B ₁₂ a ₃	36.8	34.0	35.4
B ₁₃ a ₃	120.6	125.5	123.1
B ₁₄ a ₃	242.8	249.1	245.9

第 10 表 の 3

試片番號	衝撃値		
	1	2	平均
B ₇ O ₃	37.1	39.8	38.4
B ₈ O ₃	45.6	47.6	46.6
B ₉ O ₃	42.5	41.8	42.2
B ₁₀ O ₃	81.3	79.3	80.3
B ₁₁ O ₃	74.3	69.8	72.0
B ₁₂ O ₃	37.3	39.9	38.6
B ₁₃ O ₃	137.0	134.6	135.8
B ₁₄ O ₃	234.5	243.9	239.2

第 10 表 の 4

試片番號	衝撃値		
	1	2	平均
B ₇ w ₃	47.5	51.3	49.4
B ₈ w ₃	50.1	49.9	50.0
B ₉ w ₃	44.8	43.7	44.3
B ₁₀ w ₃	142.3	128.8	135.5
B ₁₁ w ₃	76.3	73.0	74.6
B ₁₂ w ₃	46.3	51.4	47.8
B ₁₃ w ₃	135.7	140.5	138.1
B ₁₄ w ₃	249.2	231.7	240.4



B類は試片の材料たるべき鋼の製造條件がかなり異つては居るが之を圖示すれば第8圖の如くであつて炭素量の多少に拘らず其衝撃値は球状化熱處理前の組織如何によつて定る今衝撃抵抗の大なるものから列挙すれば水中

冷却のもの、油中冷却のもの、空中冷却のもの、爐中冷却のものゝ順序となるが油中冷却のものと空中冷却のものと其差は比較的少い。

次に $A_n p_0$ 曲線 (第2圖) より B_n の炭素量に對する $A_n p_0$ の値を求め、之を基としてB類試片の衝撃値増加率 $\left(\frac{B_n x_3 - A_n p_0}{A_n p_0} \times 100 \right)$ を計算すれば第 11 表の如くで第 9 圖は之を圖示したものである。

第 11 表

試料 番號	炭素含 有量%	A_{np_0} の衝 撃値 (第 2 圖より) $cmkg/cm^2$	衝撃値増加率 $\left(\frac{B_{nX_3} - A_{np_0}}{A_{np_0}} \times 100 \right)$			
			爐中 冷却	空中 冷却	油中 冷却	水中 冷却
B ₇	1.48	3.2	24	622	1100	1442
B ₈	1.23	3.8	731	995	1126	1216
B ₉	1.03	4.7	572	759	798	842
B ₁₀	0.97	5.0	1013	1428	1506	2610
B ₁₁	0.80	17.2	207	283	319	334
B ₁₂	0.64	57.0	-71	-38	-32	-17
B ₁₃	0.48	100.0	-2	23	36	38
B ₁₄	0.35	145.0	36	70	65	66

之に依れば其増加率は孰れも凝共晶鋼附近に於て最大であつて A 類に於ける實驗結果と一致する。然して B 類の場合は其増加率が最大であるばかりでなく炭素量 0.64% を越ゆる鋼中に在つては明らかに衝撃値自身が最大である。凝共晶鋼が過凝共晶鋼より衝撃値の高いのは直ちに理解することが出来るが炭素量 0.64% 以上の亜凝共晶鋼より此値が大きいのは聊瞭解に苦しむ所であるが試料の製法 (即ち電氣爐と平爐) の差違に據るのではなからうかと考へられる。

4. 實驗結果の考察 以上 A. B 兩類實驗結果を通覽するに球狀組織化に依つて孰れも標準組織に於ける場合より衝撃抵抗を増加して居る。此點に關しては C. H. Desh¹⁾ の結果と相反して居るが F. C. Thompson³⁾ の豫想とは合致する。然して球狀組織化の効果中、衝撃値の増加率は凝共晶鋼の附近に於て最大であることは A. B 兩類を通じて一致して居る。此事實は衝撃に抵抗する力に於て層狀パーライト組織のものがフェライト組織のものより小である事と及過凝共晶鋼に於けるセメントイトの網狀は本實驗の範圍内に於ては如何に球狀化の熱處理を施しても依然として其網狀の痕跡を留めて居る事とにより説明が出来る。ソルバイト組織のものは Thompson³⁾ により非常に微細なる球狀セメントイトであると認められて居るが A. Schrader⁵⁾ に依ればトルースタイトの組織すらパーライトと同じく層狀を呈して居るものであるからソルバイトは勿論層狀を呈して居ると云ふて居る。然し之は其組織自身が甚細きもの故取扱方の僅の相違によつて以上の如き異説が生ずるのであると思はれる。例へば A₁ 點以上より冷却することによつて生じたソルバイトと、焼入鋼を、焼戻しに依つてソルバイト組織にしたものとは其ソルバイト組織が多少異なることは當然と思はれる。従つて第 3 圖の如くソルバイト組織のものが最大の衝撃値を示したのは微細な

球狀セメントイトが均一に散布されて居ることに歸因するものであらう。斯く A 類に於てはソルバイト組織 (焼入焼戻により生じたるもの) より出發せるものゝ衝撃抵抗が最大であるのに B 類に於ける如く水中急冷即ちマルテンサイト組織のものより出發したものが他の組織 (ソルバイト組織のものも含まる) の場合より大きいのは此間の事情を示すものではなからうかと考へられるのである。マルテンサイト組織のものを球狀化したものは他の組織のものより出發せるものに比し衝撃値の大であるのは前者より出發せるものが後者のものゝ場合よりセメントイト粒子が小であることも亦其一因ではないかと思はれる。是等に依つて考へると球狀セメントイト組織のものゝ内でもセメントイト粒子の微細なるもの程衝撃抵抗が高いと云ひ得るのであるが此點に關しては今後尙充分の討檢を要する。

球狀化熱處理による結晶粒子の成長が衝撃値に如何なる影響を及ぼすかを見るに之に就て小林氏²⁾ は炭素量 1.145% の瑞典鋼棒に對する實驗に於て 8 時間以上焼鈍すれば球狀化による効果 (衝撃抵抗に對する) は結晶粒子の増大による逆効果によつて漸時打ち消されることを指摘され、J. H. Whiteley⁶⁾ も亦 Desh の實驗になる衝撃値減少の源因を此粒子の増大に歸して居る。然し之に對して Desh は球狀化せる試片のフェライト粒を明瞭に認め得る顯微鏡寫眞を示して其然らざることを強張して居るが同時に此點は尙研究の餘地ありと述べて居る。

斯く議論のある點から考へても例令球狀セメントイト粒子の増大が衝撃値に影響を及ぼさずとするも或は Desh の主張の如くフェライト粒子の成長なきものとするも孰れも長時間の焼鈍が衝撃値増加の目的に對しては勞多くして效少きことを示したもので本實驗の範圍に於ては是等の點を明瞭にするまでには到らないが長くとも 8 時間を越ゆる焼鈍が徒勞に歸すべきは第 9 表に見る如く 2 時間焼鈍と 3 時間焼鈍との間に何等差異を認め得ざるによつても略察知し得らるゝ所である。

然しパーライト組織のものより出發せる時は他の組織より出發するものより長時間を要すは第 7 表の例に見る如く明である。

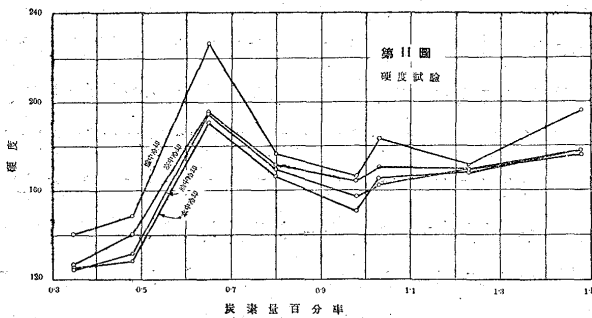
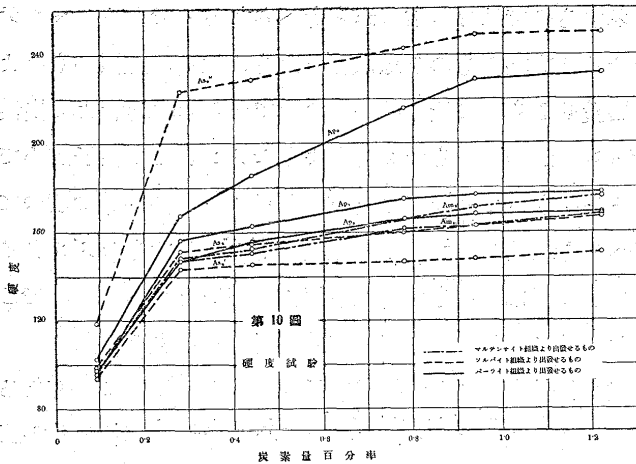
IV. 硬 度 測 定

衝撃試験を行つたものゝ一片を取り其一面を "000"

¹⁾ S. u. E. 1924 20 März.

⁶⁾ Jour. Iron & Steel Inst., 1923. I.

番の研磨紙まで磨き Small Ball Hardness Tester によりブリネル硬度を一試片に付5個所宛測定した。従つて同試料番號の同一熱處理のものに対しては10~15個所を測定したことになる。第12表、第13表は此等の値の平均値を示したもので圖示すれば第10圖及第11圖となる。



第12表

試料 番號	熱處理種類							
	P ₀	P ₁	P ₄	S ₀ '	S ₂ '	S ₂ ''	m ₂	m ₃
A ₁	231	177	168	249	152	166	175	167
A ₂	228	176	167	248	147	162	170	162
A ₃	215	174	165	242	146	159	165	161
A ₄	185	162	155	228	145	154	152	150
A ₅	167	156	147	223	143	151	147	147
A ₆	102	95	97	118	93	98	96	96

第13表

試料番號	熱處理種類			
	f ₃	a ₃	O ₃	W ₂
B ₇	196	176	178	178
B ₈	171	169	169	168
B ₉	183	170	162	165
B ₁₀	166	164	157	150
B ₁₁	176	171	169	166
B ₁₂	226	195	194	190
B ₁₃	148	140	131	128
B ₁₄	140	126	124	125

第14表は J. J. Curran⁷⁾

の實驗結果であつて之に依れば炭素量 0.17% のものは層狀パーライト及球狀セメンタイト孰れも其硬度に甲乙を認め難いが著者の結果に於ては炭素量 0.17% 附近のものは

層狀パーライト組織のもの、硬度約 126 にして之を球狀化すれば 111 に減少して居るに比すれば甚しき相違であ

る。然し炭素量 0.91% 及 1.29% のものにあつては兩組

第14表

試片		ブリネル硬度	
炭素%	満俺%	球狀セメンタイト組織のもの	層狀パーライト組織のもの
0.17	0.50	87	86
0.91	0.23	170	228
1.29	—	187	235

織のもの共 Curran の結果と能く一致して居る。

著者の實驗に於てはソルバイト組織のもの、硬度が最高であるが球狀化熱處理を施した試片が皆硬度の減少を示して居るのに獨りソルバイト組織のもの、み之を増加してをるのは此ものが微細な球狀セメンタイトであることと矛盾して居る様であるが此ソルバイト組織はマルテンサイト組織のものを 600°C にて 30 分間焼戻して生じたるもの故其微細の程度も超顯微鏡的で且一様に分布されて居ると考へれば斯く衝擊値の増加と共に硬度の増加を示しても尙ソルバイト組織のものを極微細の球狀セメンタイトであると主張する Thompson の説を認め得るのであるが此ソルバイトは焼戻しにより生じたるものに就てのみ云はるべきであることを附加すべきである。

A 類に屬するもの、内、標準組織のもの、硬度は炭素量の増加に伴つて増加するが凝共晶點以上の炭素量のものに於ては其増加は極めて少ない。然るに球狀化せるもの及ソルバイト組織のものも炭素量の増加に連れて硬度の増加を示すが其増加の様子が標準組織のものとは違つて居つて炭素量が約 0.3% 以上になると増加率は甚しく緩慢となり炭素量 0.28% 鋼と 1.22% 鋼とで硬度の差は僅に 10~20 である。B 類の試片は製造法に差異がある爲め炭素量による硬度増減の模様を明らかにすることが出来ないが炭素量 0.65% のものを除けば矢張り硬度は炭素量と共に漸増を示すことは A 類の場合と同一であつて球狀化前の組織即ち其熱處理の差異が硬度に及ぼす影響の少きものより列舉すれば 爐中冷却のものが一番少く 略々空氣冷却、油中冷却、水中冷却の順になつて居る。

次に標準組織のもの、硬度を基として他のもの、硬度増加率を算出して表示すれば A 類に就ては第 15 表、B 類に就ては第 16 表となる。

第15表

試料番號	硬度増加率 $\left(\frac{A_n X - A_n P_0}{A_n P_0} \times 100 \right)$						
	P ₁	P ₂	S ₀ '	S ₂ '	S ₂ ''	m ₂	m ₃
A ₁	-23	-27	8	-34	-28	-24	-28
A ₂	-23	-27	9	-36	-29	-25	-29
A ₃	-19	-23	13	-32	-26	-23	-25

⁷⁾ Iron Age, Jan. 12, 1923.

A ₄	-12	-16	23	-22	-16	-18	-19
A ₅	-7	-12	34	-14	-10	-12	-12
A ₆	-7	-5	16	-9	-4	-6	-6

第 16 表

試料 番號	炭素量 %	A _{np0} 第2圖 より	硬度増加率 $\left(\frac{B_n x - A_{np0}}{A_{np0}} \times 100\right)$			
			f ₃	a ₃	o ₃	w ₃
B ₇	1.48	234	-17	-25	-24	-24
B ₈	1.23	232	-26	-27	-27	-28
B ₉	1.03	229	-16	-26	-29	-28
B ₁₀	0.97	228	-27	-28	-31	-34
B ₁₁	0.80	217	-19	-27	-22	-24
B ₁₂	0.64	202	+12	-3	-4	-6
B ₁₃	0.48	188	-22	-25	-30	-32
B ₁₄	0.35	175	-20	-28	-29	-29

第 15 表によればソルバイト組織のものが 8~24% の硬度増加を示す以外球状化の熱処理を施したものは總て減少し其程度はソルバイト組織より出發したものに於て甚しく 9% より最高 36% にまで達して居る。然して球状セメンタイト化の熱処理を施したものは孰れも凝共晶點附近に於て其處理の影響を蒙ることが最大であるのは B 類の試料に就ても同様であつて硬度減少は 23~36% を示して居る。

此結果を Desh の夫と比較せんに Desh が球状化の熱處理（本實驗の方法とは異つて居る）を 18 時間~24 時間施して得たる球状セメンタイト鋼の硬度に對する效果即硬度の増加率 (a)、及 150 時間施したるものゝ増加率 (b) を前述の方法にて算出すれば第 17 表の如くなる。

第 17 表

炭素量%	1.28	0.91	0.61	0.45	0.2
(a) 増加率%	-38	-16	-18	-10	-6
(b) 増加率%	—	—	-22	-18	—

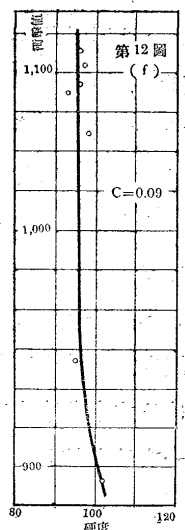
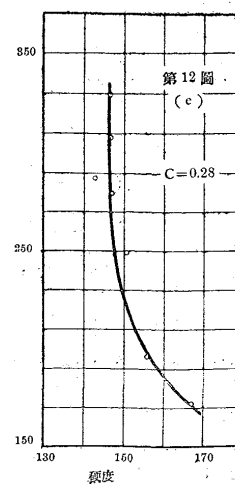
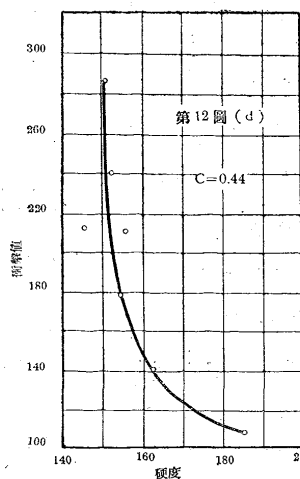
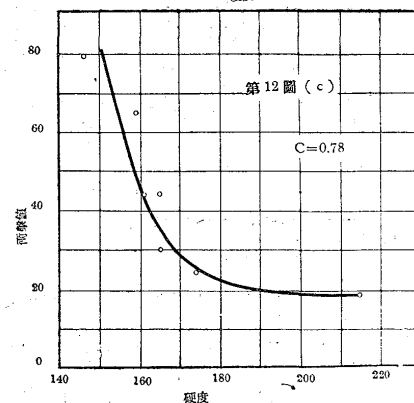
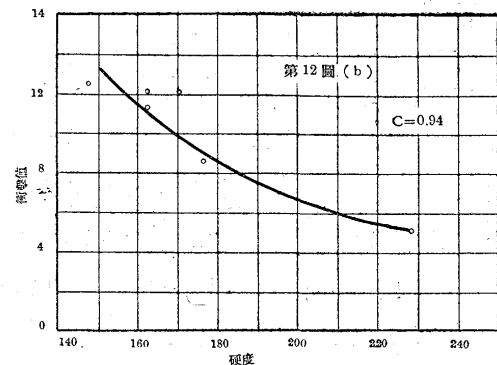
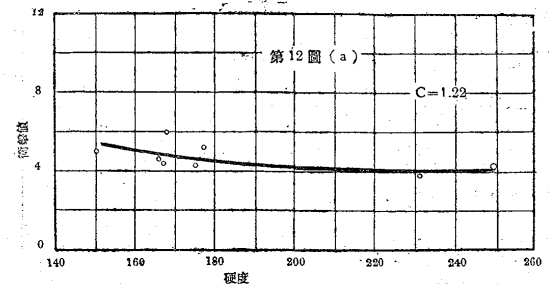
之に依れば孰れも予の實驗の夫に比し過少であつて只過凝共晶鋼に於てのみ僅に大である。斯くの如く球状化熱處理の方法こそ異つては居るが僅々 2~3 時間の處理を以てして 20 時間内外以上の操作を施したものと相匹敵するの結果を得て居る點から見ても長時間の處理が何等益なきことを知り得るのである。

V. 衝撃値と硬度との關係

A 類の試片から得た衝撃値と硬度數との積を各試料毎に計算して表示すれば第 18 表となる。表中平均の項は 7 個の値の内、最大、最小の 2 項を除きて殘餘の 5 個の値の平均を示したものである。

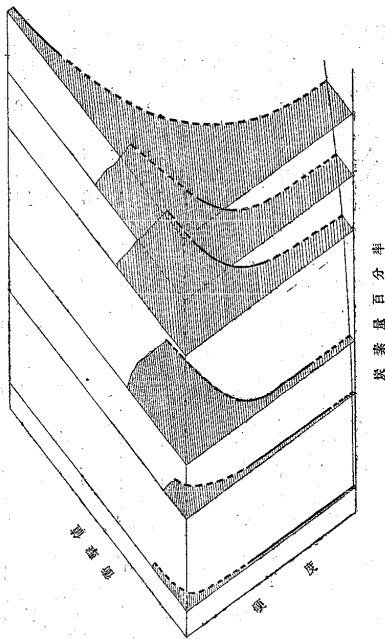
第 18 表

試料 番號	熱處理の種類						
	P ₀	P ₁	P ₂	S ₂ '	S ₂ ''	m ₂	m ₃
A ₁	9	9	10	8	8	8	8
A ₂	12	15	22	19	18	20	20
A ₃	41	42	50	116	104	74	71
A ₄	203	229	329	309	277	366	381
A ₅	285	305	409	410	375	482	451
A ₆	910	906	1070	1013	1046	1066	1049
							平均
							8
							18
							68
							302
							390
							1017



之等の値は大略其平均値に近似であるから衝撃値と硬度との關係は $XY=K$ なる式にて表はされる。今縦軸に衝撃値を取り横軸に硬度を取りて同一炭素量のものに曲線を書けば第 12 圖(a). (b). (c). (d). (e). (f) となり大體に於て双曲線の一部と看做し得る形を

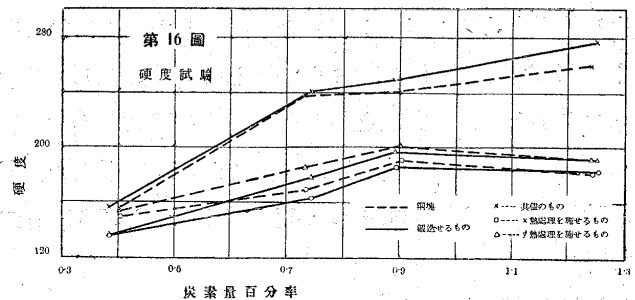
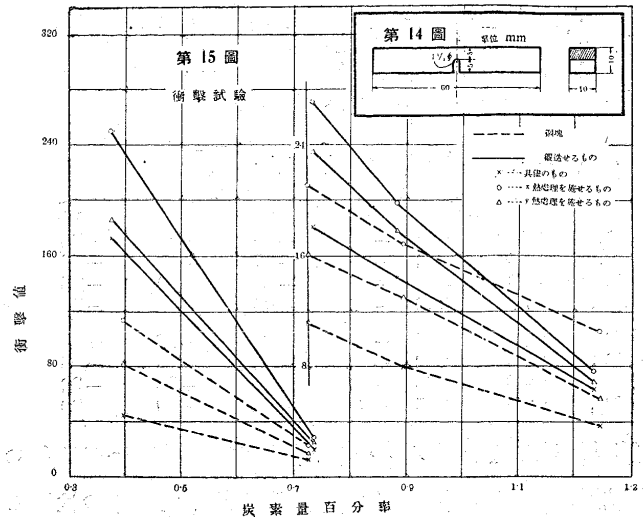
第 13 圖



呈して居る。第 13 圖は之等を各炭素量に従つて纏めたもので是に依つて球狀化の熱處理を施したる場合其衝撃値を測定する代りに硬度を測つて其試片の衝撃抵抗を推知することが出来る。然し此 A 類の試料は一定原料を以て特別の注意の下に製作されたものであるから此曲線圖を直ちに他の球狀セメント鋼の場合に使用することは出来ないが或種の鋼材に就て此曲線を作つて置けば以後は簡單なる硬度測定のみによつて衝撃抵抗測定に對する試験片作製の面倒を省くことが出来る。

VI. 機械的處理の影響

球狀化の熱處理を施す前に試片に機械的製作が加へられた場合其の球狀化に如何なる影響を及ぼすかを見んに C 類の試料に x, y なる兩種熱處理の孰れか一つを施し第 14 圖の如き試験片を作り、之を用ひて A, B 兩類のものと全く同様に衝撃抵抗及硬度を測定して第 19 表、第 20 表を得た。之を圖示すれば第 15 圖、第 16 圖となる。此所に x 熱處理とは試片を先づ 900°C に 30 分間保ちて之を 25°C の水中に急冷せしめたものを (Ac₁-10)°C に 30 分間保ちて 1 分間 2°C の割合にて (Ar₁-50)°C まで冷却し再び 10~15 分間に (Ac₁+10)°C まで熱し此溫度に 10 分間置きて後爐中冷却を行ふもので y 熱處理は x 熱處理に於ける水中急冷までの處理を行はずに其後の熱處理と全く同一方法を施したものである。



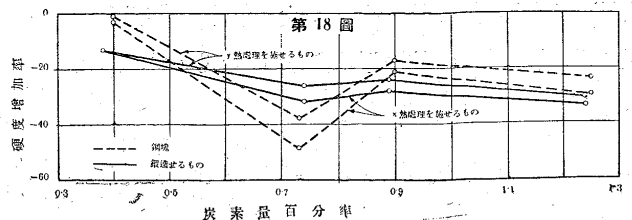
第 19 表

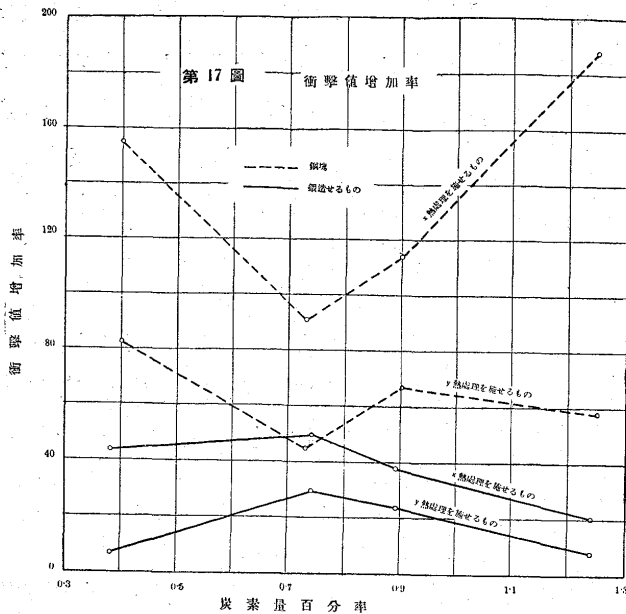
試料番號	衝撃値								
	其儘のもの			x 熱處理を施したるもの			y 熱處理を施したるもの		
	1	2	平均	1	2	平均	1	2	平均
C ₁₅	3.0	3.8	3.4	9.6	10.3	10.2	5.3	5.5	5.4
C ₁₆	5.5	6.7	6.1	6.8	8.0	7.4	5.8	7.4	6.6
C ₁₇	7.1	8.7	7.8	16.1	17.4	16.7	12.0	13.8	12.9
C ₁₈	12.9	15.6	14.3	18.8	20.6	19.7	17.2	18.3	17.7
C ₁₉	9.2	12.8	11.0	20.1	21.9	21.0	15.1	16.9	18.0
C ₂₀	17.6	18.4	18.0	25.3	28.7	27.0	23.9	23.9	23.4
C ₂₁	42.8	45.2	44.5	110.5	116.3	113.4	79.5	83.8	81.6
C ₂₂	169.5	177.5	173.5	244.1	256.0	250.0	184.7	187.3	186.0

第 20 表

試料番號	硬度		
	其儘のもの	x 熱處理を施したるもの	y 熱處理を施したるもの
C ₁₅	258	180	190
C ₁₆	276	181	190
C ₁₇	241	191	200
C ₁₈	259	186	197
C ₁₉	238	170	185
C ₂₀	241	164	178
C ₂₁	156	151	154
C ₂₂	157	137	137

此結果から其儘のものゝ値を基としたる衝撃値及硬度の増加率を算出すれば第 21 表となる。第 17 圖は衝撃値増加率を、第 18 圖は硬度増加率を圖示したものである。





第 21 表

試料番號	衝撃値増加率		硬度増加率	
	x	y	x	y
C ₁₅	183	53	-30	-24
C ₁₆	21	8	-34	-31
C ₁₇	114	67	-21	-17
C ₁₈	38	24	-28	-24
C ₁₉	91	45	-32	-26
C ₂₀	50	30	-49	-38
C ₂₁	155	83	-3	-1
C ₂₂	44	7	-13	-13

其儘のものに於ては鍛造を受けたものゝ方が鋼塊から取った試片より衝撃抵抗の大であるのは勿論であるが其差は炭素量の低きもの程著しく、炭素 1.25% 附近に於て鍛造せるものは鋼塊のものゝ約 2 倍に過ぎないが炭素 0.4% 附近に於ては約 4 倍にも達して居る。然し球状化熱処理の影響は鋼塊よりのものに對する方が遙に大であることは第

第 22 表 の (2)

試料番號	熱處理の種別			
	f ₃	a ₃	O ₃	w ₃
B ₇	g で其粒は大小不揃なり。(第 33 圖)	殆 B ₇ f ₃ に同じ (第 34 圖)	g なり、粒に大小あり。(第 35 圖)	全部 g にして一様に見ゆ。(第 36 圖)
B ₈	セメンタイトの網状らしき部分は可なり大なる g となり其他の部分は微細なる g なり。	B ₈ f ₃ と區別つかず。	g にして粒の大小の差少し。	B ₈ O ₃ と同じ。
B ₉	B ₈ f ₃ と同じ。但し p の跡を多分に有せり。	g なり。	B ₉ a ₃ に似たり。	B ₉ O ₃ より g 粒の大小の差少し。勿論全部 g なり。
B ₁₀	所々に g の大なるものあり。g:s+p=2:1 (第 37 圖)	70% まで g なり (第 38 圖)	90% が g。他は p なり。(第 39 圖)	80% は g。他は非常に短き p なり。(第 40 圖)
B ₁₁	30% が g。他は比較的短き p なり。	60% が g 他は s なり。	60% 位が g。他は p なり。	70% g にして他は p なり。
B ₁₂	フェライトの網状に p 及 s にして p は非常に細し。	全部 p+s にして g らしき所見えず。	s らし。g を見ず。	多少の g を含む。他は s なり
B ₁₃	僅に g を含む。但し p の部分も g にならんとする傾向を多分に有す。	g なれども稍長きセメンタイト存在す。フェライト中への分布一様ならず。	可成 g となり居れり。50% 位が g なり。	g にならんとする氣味あれども未だ p の域を脱せず。p 若しくは s なり。
B ₁₄	p の崩れたる如き状を呈せり	大部分 p なれ共非常に細くて崩れたる如き状を呈す。	B ₁₄ a ₃ に同じ。	g を所々に見る。他は B ₁₄ a ₃ に同じ。

17 圖に明に認めらる。

A.B 兩類にあつては凝共晶點に於て最大衝撃値増加率を示して居つたが此 C 類にあつては鍛造せるものが僅に其傾向を示すのみにて鋼塊の方は反つて其點附近に増加率最小の點が存在して居るのは注目に値する。

x.y 兩處理法を比較するに x 熱處理即ち焼入れを行ひたる後球状化の熱處理を施したものゝ方が焼入れを行はずに球状化する y 熱處理法に比して甚しく効果的であつて之に依るもマルテンサイト組織より出發するのが球状化の目的に適ふものであると云ひ得る。

機械的處理の影響を見るに當つて鋼塊と鍛造せるものとを同一材料から取らなかつたのは製造上の便宜によつたもので鋼塊の大きさに限度があつた爲め出來得る限り同一條件で同程度の炭素量を有する 2 個の鋼塊を造り其一つを鋼塊の試料とし他の一つを 3×3 cm の斷面積を有する角棒に鍛造して此兩者を比較試験したのである。

VII. 顯微鏡組織

球状化熱處理を施したものゝ組織を検鏡して大略第 22 表の結果を得た。同表の (1) 中の a. b. c. d なる文字は

第 22 表の (1)

番號試料	熱處理の種別					
	P ₁	P ₃	S ₂ '	S ₂ ''	m ₂	m ₃
A ₁	a	a	a*	a	a	a●
A ₂	b	a	a	a●	a	a
A ₃	c	b	a	b	b	b
A ₄	b	c	b	a	b	a
A ₅	c△	b	c	c△	b	b
A ₆	d	d	c	d	d	d

* 第 24 圖 ● 第 25 圖 ● 第 26 圖
△ 第 31 圖 第 32 圖

第 22 表 の (3)
熱處理の種別

試料 番號	x 熱處理を施したるもの 揃ふたる g 但し長き形の g が僅に混ぜり。(第 43 圖)	y 熱處理を施したるもの 針の如きセメンタイトが 縦横に走れり。其他の所 は全部 g なり。(第 45 圖)
C ₁₅	g なり。セメンタイトの 網目なりし所は大粒の g となり居れり。(第 44 圖)	C ₁₅ x と同様に僅に p を残せり。(第 46 圖)
C ₁₆	g にして大小種々。	g にして大小種々。僅に p を残せり。
C ₁₇	揃ふたる g。C ₁₈ g の粒よ りも小にして一樣なり。	g は可なり揃へり。フェ ライトが所々に廣き場所 を占む。
C ₁₈	p の跡を可なり残せり。 然し大體は g にして大小 種々なり。	半分は p にして g, p 共 に非常に細し。
C ₁₉	g は p。他は可なり小さ き g なり。鍛造の方向を 示す如く列びたる傾向あ り。大なる鋼滓を含む。	1/2 位 g なり。殘部の p も g にならんとする傾向 を見る。鍛造の方向を示 す如く列べり。
C ₂₀	g:p=4:1 g は大小種々にしてフェ ライト中への分布一樣な らず。	g:p=2:5 g は細し。C ₂₁ x よりも 尚 g の分布一樣ならず。
C ₂₁	g:p=1:5 p も普通の組織を示さず g とならんとする傾向強 し。	g:p=1:5 g の粒の大きき一様なれ共 フェライト中への分布一 様ならず。
C ₂₂		

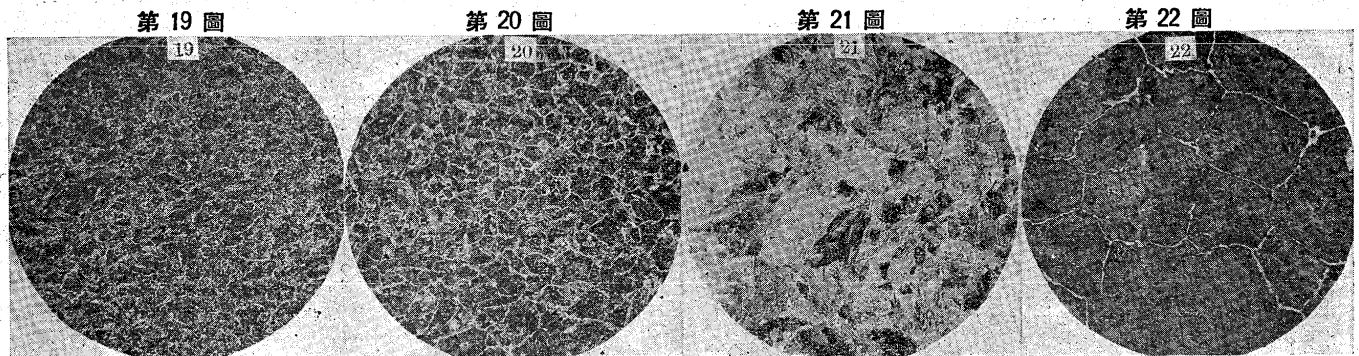
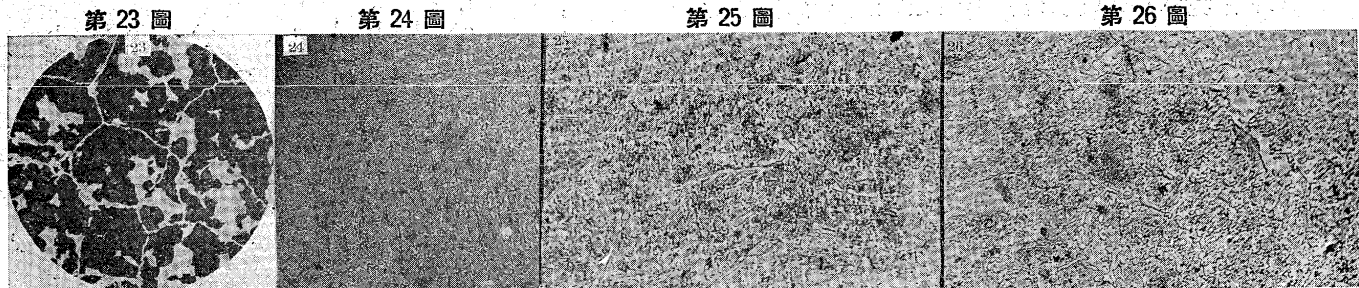
球狀化の程度を區別する爲めのもので a は完全に球狀セメンタイトのみ、b は少しく層狀パーライト或はソルバイト組織を含むもの c は其程度の進みしもの d は球狀セメンタイトなきものなることを表して居る。然し其區分は全く著者の感じに依るものであるから多少の相違のあるは止むを得ぬ所であるが a に屬すべきものが c, d の部類に入ると云ふ様なことはない。

第 22 表の (2) (3) 中 g は球狀セメンタイトを表はし p は層狀パーライトを又 s はソルバイトを表はすものとして各試片の顯微鏡組織を表示したものである。

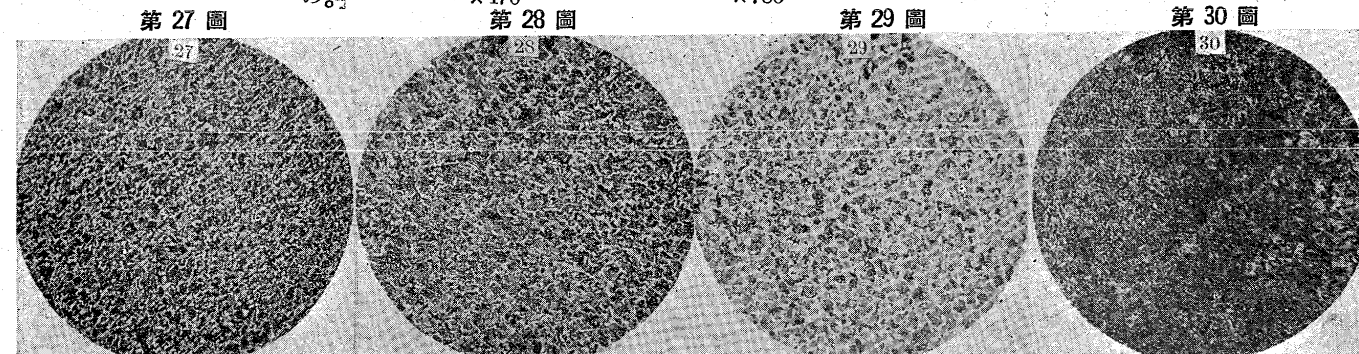
VIII. 結 言

以上の實驗結果を總括すれば

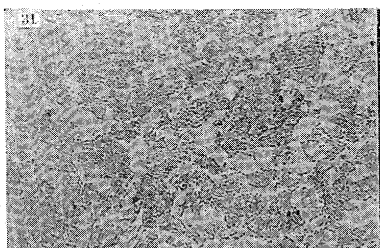
1, 各種組織中のセメンタイトを球狀化すれば標準組織のものより衝撃抵抗を増すことが出来る。然して其増加の

試料 A₁ の最初のもの。鋼塊の底部に相當する部分。
×70試料 A₁ の最初のもの。鋼塊の中央部に相當する部分
×70第 20 圖のものを 1,100°C に 1 時間焼鈍したるもの。
×70第 21 圖の試片を 850° に 20 分間保ちて同温度より水中焼入せるもの、外周部
×140

第 22 圖の内部 ×110

第 22 圖のものに s₂' の熱處理を施したるもの。
×470第 22 圖のものに m₃ の熱處理を施したるもの
×786試料 A₂ に s₂' の熱處理を施したるもの
×786試料 A₂ の最初のもの。鋼塊の底部に相當する部分
×70試料 A₂ の最初のもの。鋼塊の中央部に相當する部分
×70第 28 圖のものを 1,100°C に 1 時間焼鈍したるもの
×70第 29 圖の試片を 850° に 20 分間保ちて同温度より水中焼入を行ひたるもの
×140

第 31 圖



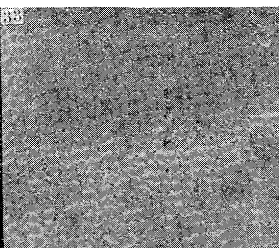
第 29 圖の試片に p_1 熱処理を施したるもの $\times 250$

第 32 圖



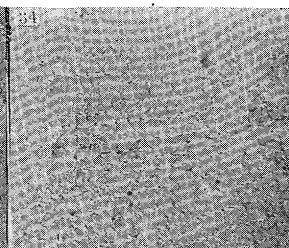
第 29 圖の試片に s_2'' 熱処理を施したるもの $\times 580$

第 33 圖



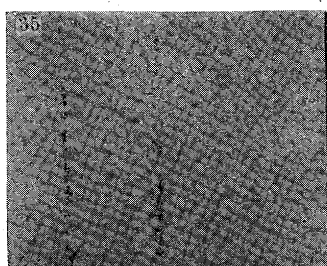
試料 B_7 に f_3 熱処理を施したるもの $\times 580$

第 34 圖



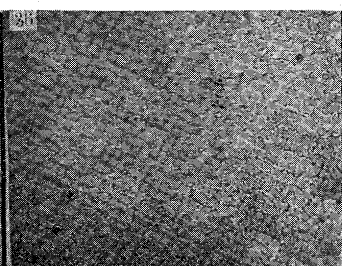
試料 B_7 に a_3 熱処理を施したるもの $\times 580$

第 35 圖



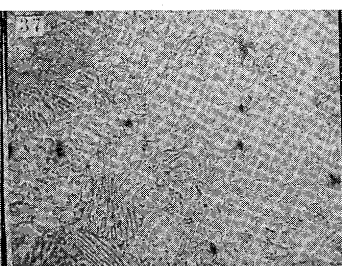
試料 B_7 に o_3 熱処理を施したるもの $\times 600$

第 36 圖



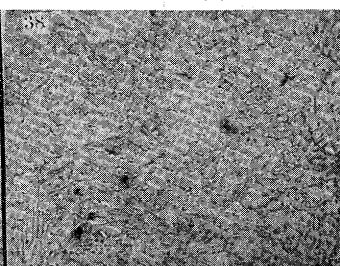
試料 B_7 に w_3 熱処理を施したるもの $\times 600$

第 37 圖



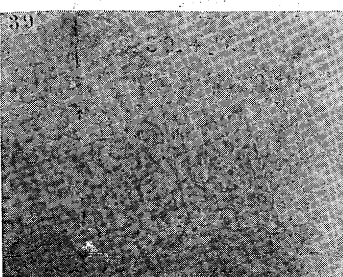
試料 B_{10} に f_3 熱処理を施したるもの $\times 600$

第 38 圖



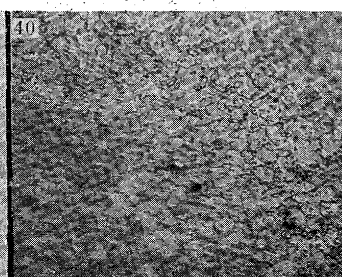
試料 B_{10} に a_3 熱処理を施したるもの $\times 600$

第 39 圖



試料 B_{10} に o_3 熱処理を施したるもの $\times 570$

第 40 圖



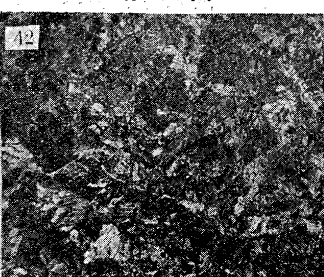
試料 B_{10} に w_3 熱処理を施したるもの $\times 570$

第 41 圖



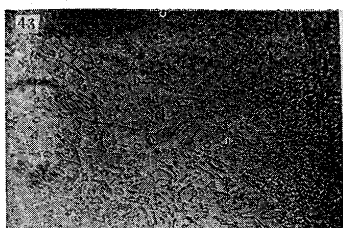
試料 C_{15} 鋼塊の儘 $\times 130$

第 42 圖



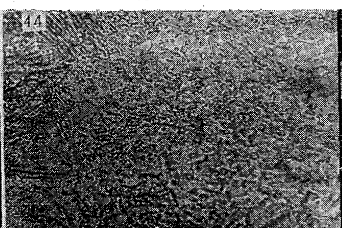
試料 C_{11} 鍛造せるもの $\times 130$

第 43 圖



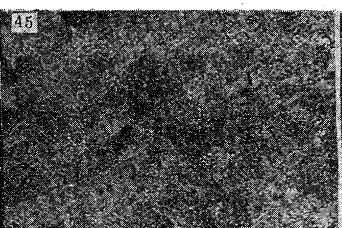
第 41 圖の試料に x 熱処理を施したるもの $\times 620$

第 44 圖



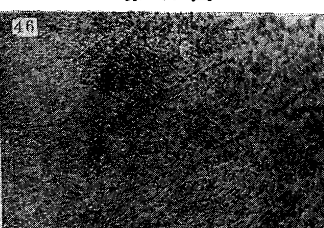
第 42 圖の試片に x 熱処理を施したるもの $\times 620$

第 45 圖



第 41 圖の試料に y 熱処理を施したるもの $\times 230$

第 46 圖



第 42 圖の試料に y 熱処理を施したるもの $\times 230$

程度は初めの組織によつて異りマルテンサイト組織のものを 300°C にて 30 分間焼戻したるものより出發せるものが一番効果があつた。

2. 球状セメンタイト化による衝撃値増加率は凝共晶點附近の炭素量のものに於て最大である。

3. 球状セメンタイト組織となすも其衝撃値はソルバイト組織のもの（焼入鋼を焼戻して成立されたもの）には及ばない。

4. 硬度は球状セメンタイト化に依つて減少する。其減少率は矢張凝共晶鋼の邊で最大である。

5. 衝撃値と硬度との關係は $XY=K$ にて表はされ衝撃値を縦軸に硬度を横軸に取る時は炭素量の高きもの程水平であつて炭素量の増加と共に漸時上向きとなり $C=0.09$ に到れば殆んど垂直となる。

6. 鋼塊の儘のものと鍛造されたものとは前者の方が球状化によつて受ける影響は大きい。

本實驗に關しては當初より井上克巳博士の懇篤なる御指導に據る所多く記して感謝の微意を表する。又試料は製鐵所小平技師の御盡力により作製されたもので併て御禮申述べらる次第である。