

焼鈍炭素の大きさに及ぼす焼鈍方法の影響

南 波 栄 吉*

Effects of Annealing Conditions on the Size of Temper Carbon

By Eikichi Namba

Central Laboratory, Hitachi Ltd.

Abstract

In manufacturing of black heart malleable cast iron, effects of annealing time, heating rate and annealing temperature on the number and size of temper carbon were investigated. The way to show the number and size of temper carbon was also discussed, by comparing the writer's area method with the volume method shown by Tammann, Scheil and Schwartz.

Nodules grow large in size as time goes on till the graphitization completes, but their number increases mainly by the time when the first stage of graphitization begins. Slow heating as well as high temperature annealing increases the number of temper carbon and decreases its size. Difference of nodule distributions in irons of differed thickness decreases by slower heating. The reason of increasing number of nodules by slow heating is due to, as indicated by Palmer, the temperature range at which the birth of nuclei is very great. The author, also, found that there are two sorts of nuclei, one sort of nuclei never grows into nodules, the other does, and it is the second reason that the latter increases as the rate of heating decreases.

It was concluded that in the comparison of number and size of temper carbon, the area method might be admitted to use safely in stead of the troublesome volume method

[I] 緒 言

白銑の黒鉛化速度は黒鉛の分布状態に支配せられ、こまかい黒鉛が密に分布するほどその黒鉛化が速い。たとえば、Hatfield⁽¹⁾、斎藤及び沢村博士⁽²⁾、Schwartz, Johnson, Junge⁽³⁾によると、白銑を予備焼入れすれば黒鉛化が非常に促進されその焼鈍炭素は普通の製法による黒心可鍛鑄鉄におけるよりも細くなる。また、White及びSchneidewind⁽⁴⁾は白銑溶湯を過熱することによりFruska⁽⁵⁾及び小山氏⁽⁵⁾はAlを用いSchwartz⁽⁷⁾はカルシウムシリサイドを用いてそれぞれ溶湯を脱酸することにより、いずれも焼鈍炭素の大きさがこまかくなる事を

報告しておる。さらにまた、Bogehold⁽⁸⁾及びSchwartz⁽⁹⁾は白銑を焼鈍するとき第一段焼鈍温度に達するまでの加熱速度を大にすれば焼鈍炭素が粗大になり徐々に加熱するるとこまかくなることをみとめ、最近にいたりPalmer⁽¹⁰⁾が、徐加熱によつて焼鈍炭素が細くなるのは多数の黒鉛粒を発生する400~600°の温度範囲の保持時間が増すためであつて、したがつて白銑を400°附近に予備加熱することによつても同様の効果が得られることを明かにした。

本報告は焼鈍炭素の大きさに及ぼす加熱速度の影響を定量的に調べるとともに、加熱時間、焼鈍温度、及び鑄物の厚さの影響をもしらべ、これらの結果に検討を加えるとともに焼鈍炭素の大きさ及びその数を表わす方法を吟

* 日立製作所中央研究所

味したものである。

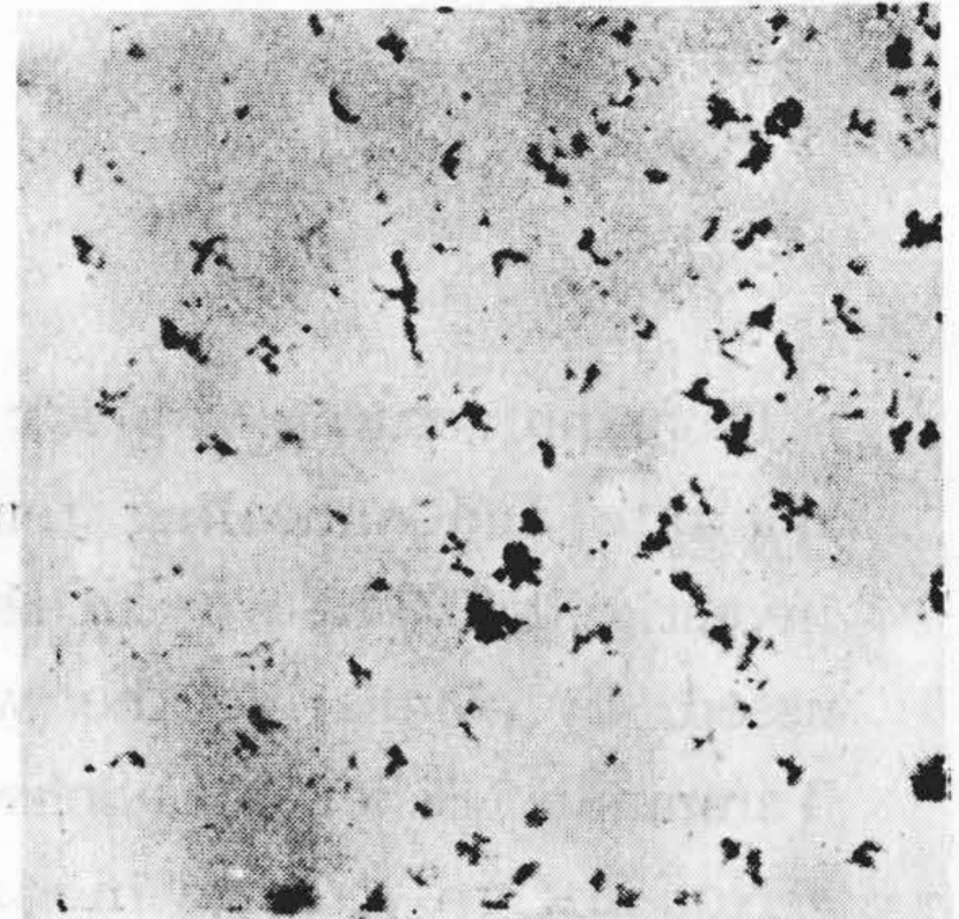
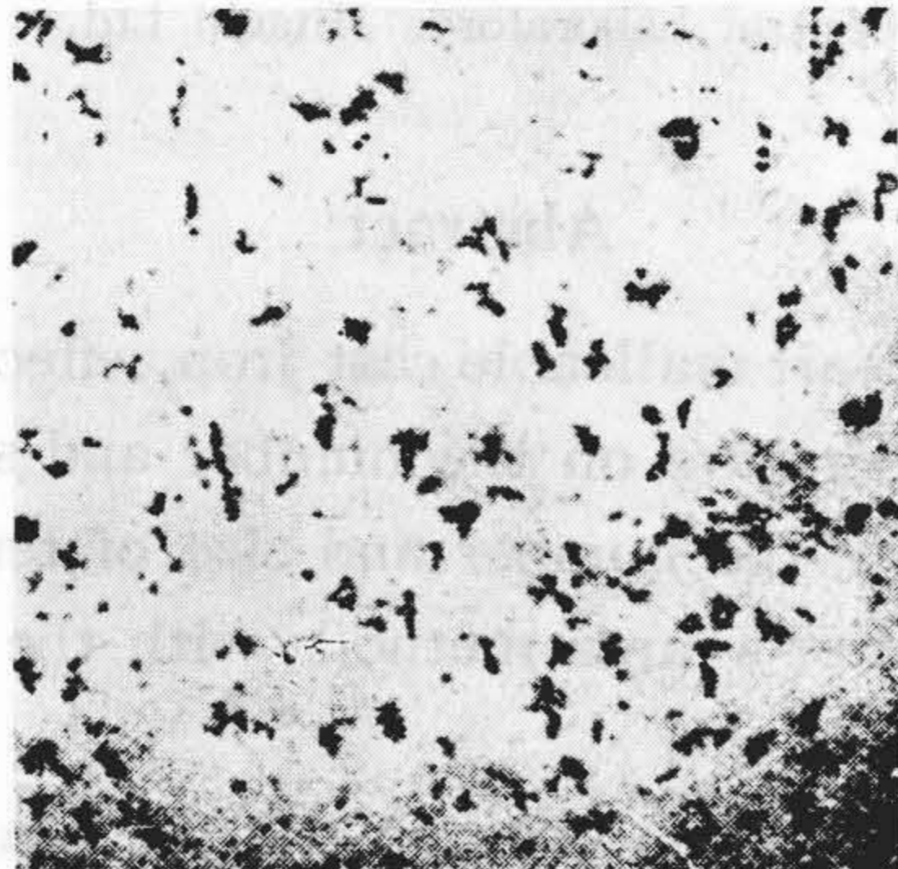
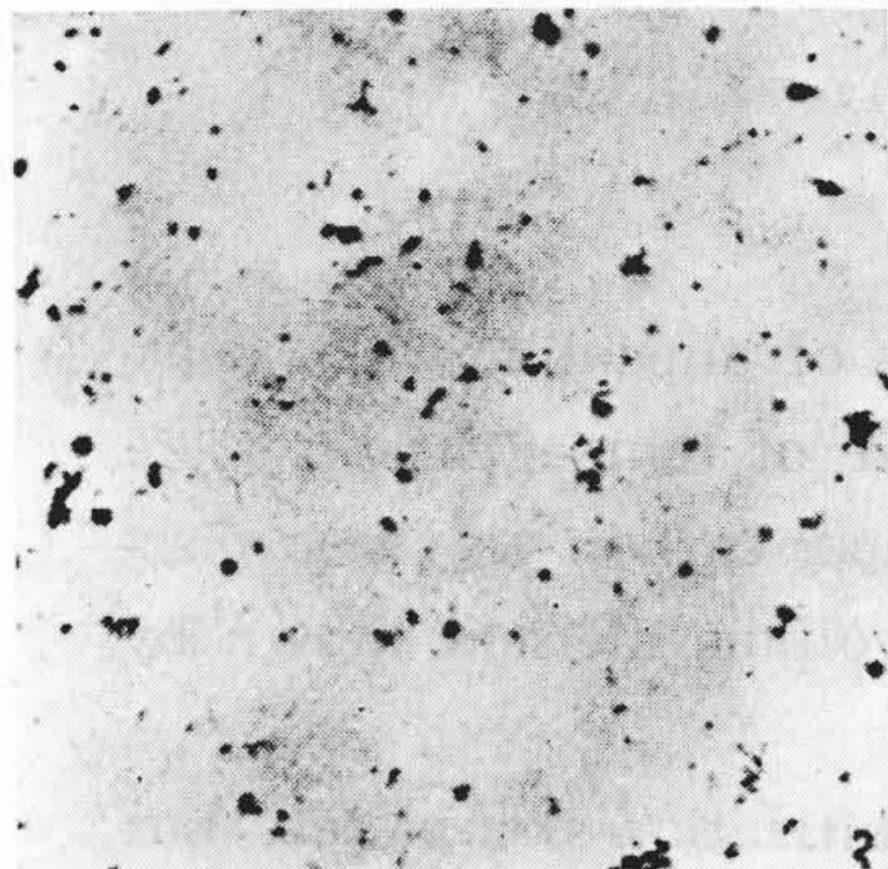
[II] 焼鈍時間と黒鉛の成長

(1) 実験の方法

まず白銑の焼鈍中における焼鈍炭素の成長をしらべた。試料には電気炉で製銑した熔湯を同一取鍋から生砂型に鑄込んで直径10mm、長さ150mmとした白銑丸棒を用いた。その化学成分は C 2.45%, Si 1.31%, Mn 0.41%, S 0.056%, P 0.14% である。これから長さ

15mm、直径8mm、及び6mmの試験片を作り、管状炉に入れて真空中で保持時間を種々にかえて焼鈍し、その断面を検鏡して黒鉛粒の大きさ及び数をしらべた。

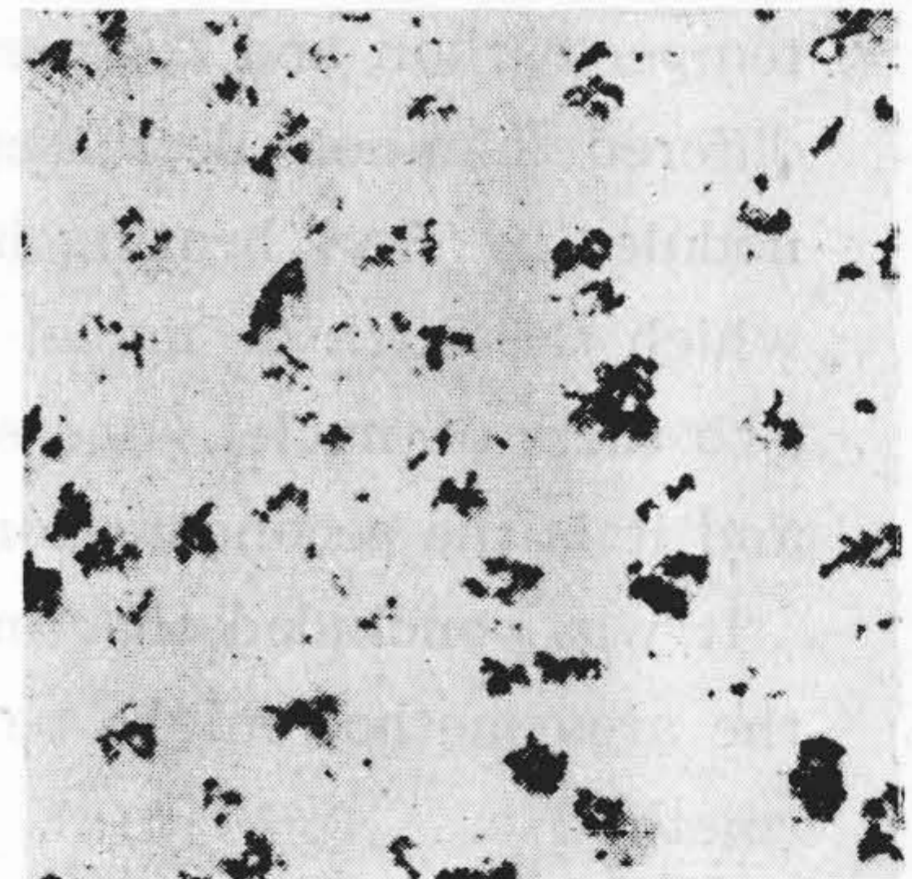
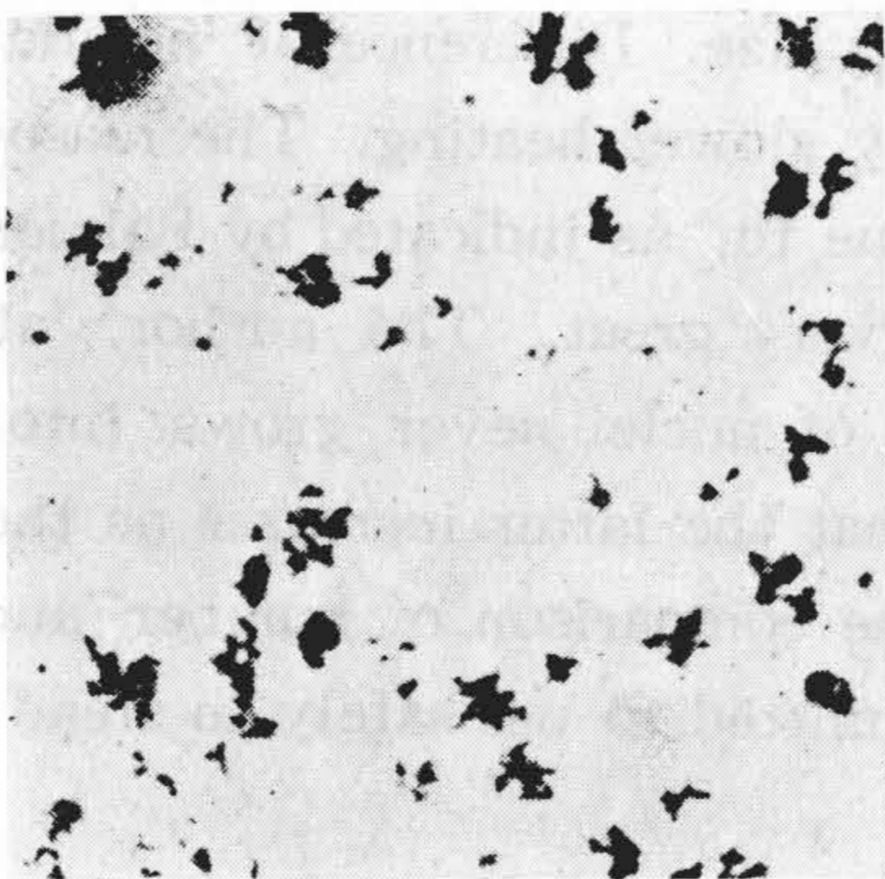
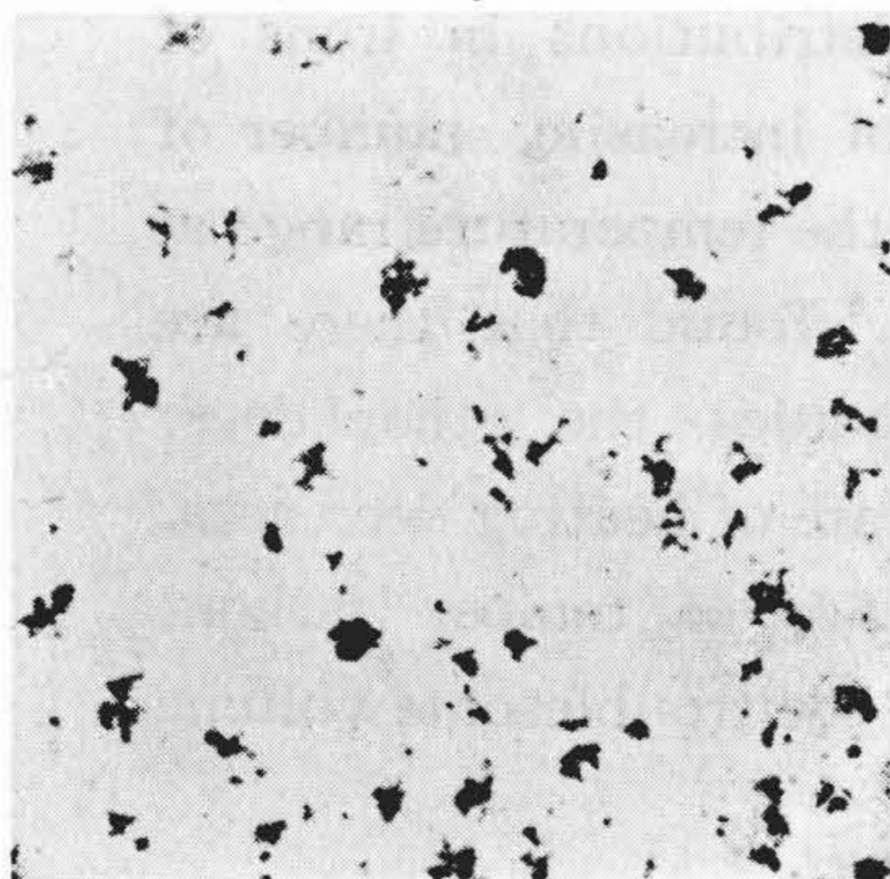
一般に黒心可鍛鑄鉄における焼鈍炭素の大きさ及び分布の粗密は試料断面の位置によつて異り、周縁部は内部よりも焼鈍炭素がこまかい。故に焼鈍炭素の大きさの比較にはその位置を一定にすることが必要であり、本実験ではこれを試料断面の中心から表面にいたる中央に定め、各試料について30倍の顕微鏡写真を取り、その写真に



第1図 (H. 1)一段 10min ×30
Fig. 1. (H. 1) 1st Stage 10min.

第2図 (H. 2)一段 30min ×30
Fig. 2. (H. 2) 1st Stage 30min

第3図 (H. 3)一段 1hr ×30
Fig. 3. (H. 3) 1st Stage 1hr



第4図 (H. 4)一段 2hr ×30
Fig. 4. (H. 4) 1st Stage 2hr

第5図 (H. 5)一段 4hr ×30
Fig. 5. (H. 5) 1st Stage 4hr

第6図 (H. 6)一段 5hr-40min ×30
Fig. 6. (H. 6) 1st Stage 5hr-40min.

第1表 第一段焼鈍温度保持時間の影響
Table 1. Effect of Annealing Time at the 1st Stage of Graphitization on Number and Size of Temper Carbon

試料 No.	一段保持時間 時 分	A=0.4mm ²		B=1.1mm ²		C=4.7mm ²		D=9.5mm ²		E=19.5mm ²		合計 粒数 面積	平均大き 粒数 面積 mm ²	
		粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積			
H 1	0.10	130	52	21	23							151	75	0.5
H 2	0.30	85	34	61	67							146	101	0.7
H 3	1.00	55	22	51	56	17	80	5	48			128	206	1.6
H 4	2.00	40	16	20	22	23	108	13	124			96	275	2.8
H 5	4.00	20	8	20	22	17	80	10	95	4	78	71	284	4.0
H 6	5.40	20	8	19	21	15	71	9	86	5	98	68	284	4.2

第2表 第二段焼鈍温度保持時間の影響
Table 2. Effect of Annealing Time at the 2nd Stage of Graphitization on Number and Size of Temper Carbon

試料 No.	二段保持時間 時分	A=0.4 mm ²		B=1.1 mm ²		C=4.7 mm ²		合計	
		粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積
I 1	0	128	51	46	51	1	5	175	107
I 2	12.00	92	37	41	45	17	80	150	162

ついて 45×45mm² 内の黒鉛の数と大きさをしらべて、それぞれ2回づつの平均値をもとめた。黒鉛粒の大きさは顕微鏡写真における粒子の面積をもつて表わし、大小種々の黒鉛粒子を A~G の7級の大きさに大別して、大粒の面積は写真より注意して切りとつた紙片の重量からもとめ、細粒のものは拡大鏡で平均半径を測定して算出した。

(2) 実験の結果

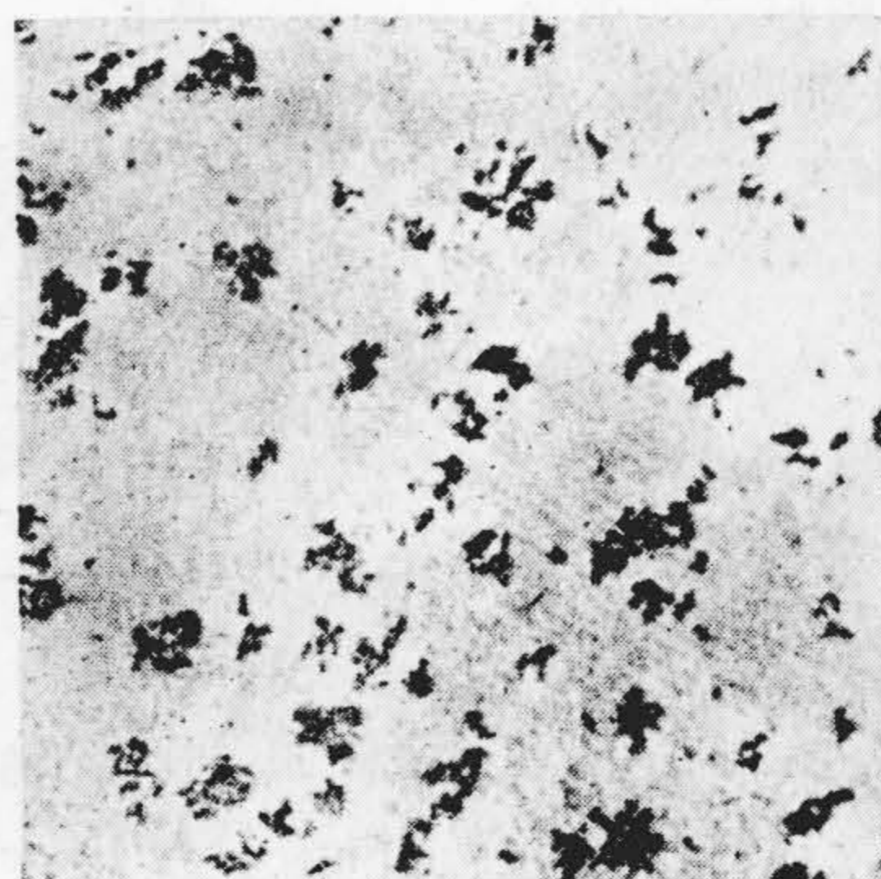
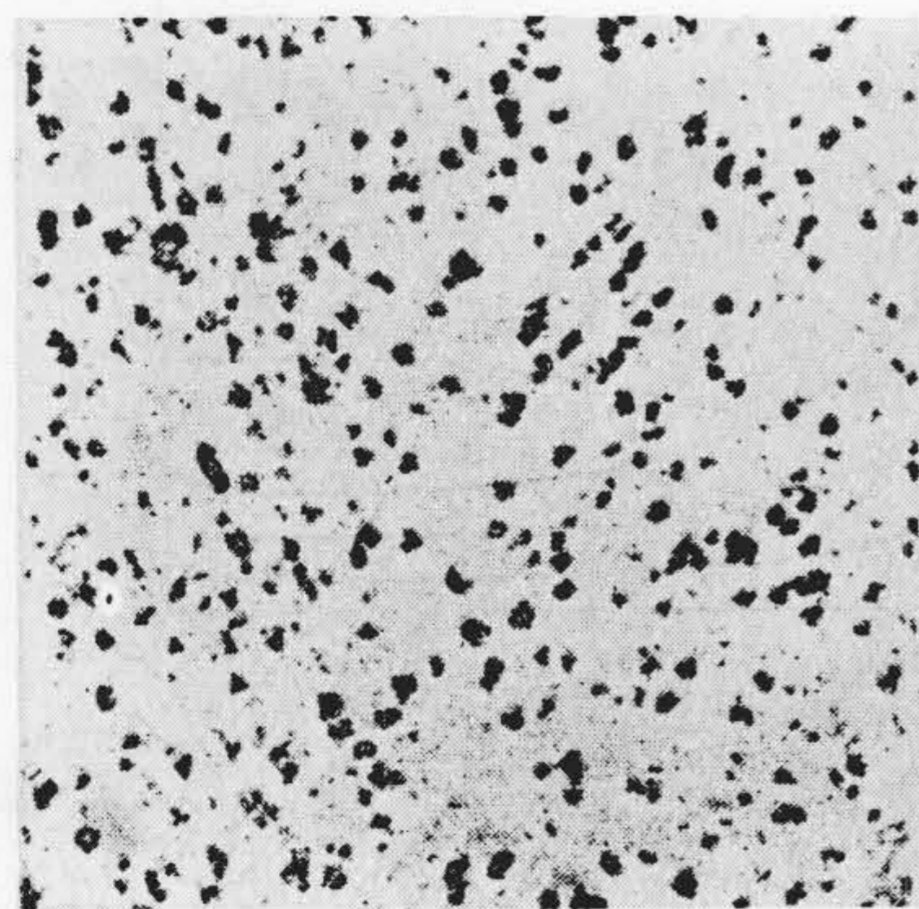
長さ15mm, 直径8mmなる白銑を1hrで950°に達せしめ、この温度に保持する時間を10min~5hrに種

々かえて第一段焼鈍を行つた結果を示すと、第1表及び第1図~第6図の通りである。すなわち、第一段焼鈍温度における保持時間を長くするに従つて、遊離セメントタイトの黒鉛化が進むために黒鉛粒子が次第に成長して黒鉛の総面積が増加するが、保持時間が3hr前後で黒鉛化の完了とともに総面積がほぼ一定と成る。また、粒子の数は時間の経過と共に減少の傾向を示し、黒鉛核の増加は主として第一段焼鈍温度に達するまでに行われそれ以後は粒子の成長及び併合を来たすことが知られるのである。

つぎに、第二段焼鈍温度における保持時間の影響を示すと第2表の通りである。表記の試料 I-1 は 950° に 3hr 保持後常温まで炉中冷却し、ふたたび加熱して 710° になつた時にただちに炉冷したものであり、試料 I-2 は同様に 710° に 20hr 保持したものである。両試料とも直径 6mm を有し、第一段焼鈍温度に上昇する時間を 90 分に、第二段焼鈍温度に上昇する時間を 60 分に一定にした。この場合も保持時間を延長するに従い黒鉛粒が成長してその面積が増加し粒子の数が減少するが、第二段黒鉛化は低温で行われるために進行がおそいから第一段黒鉛化のみの場合に比して保持時間の延長の割合に黒鉛面積の増加率が小さい。

[III] 加熱速度の影響

焼鈍炭素の大きさに及ぼす加熱速度の影響をしらべるために、前章に用いた試料と同一の白銑を焼鈍して、その時の常温から 950° に上昇するに要する時間を 10~240 分に変え、この温度に 3hr 保持して空冷した。その結果は第3表に示す通り、加熱速度を増すに従い黒鉛粒はいちじるしく大となり粒子の数が減少する。第7図及び第8図にその顕微鏡写真を示す。



第7図 (B. 1) 上昇 4hr ×30

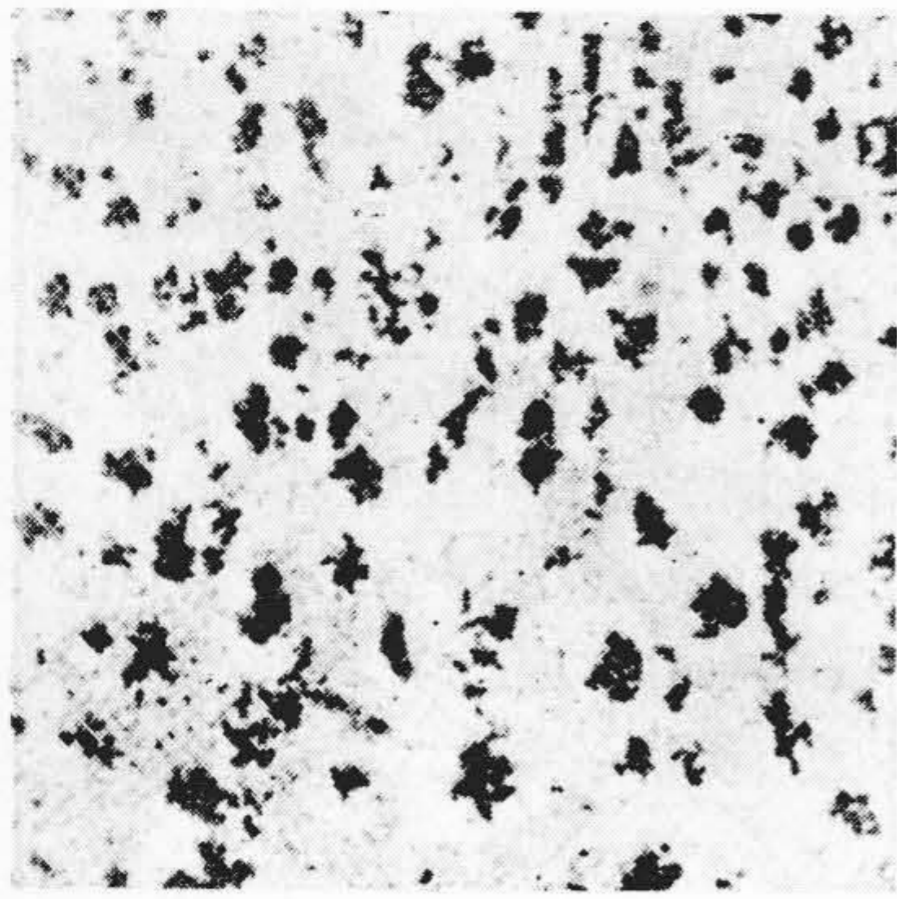
第8図 (B. 4) 上昇 1hr ×30

Fig. 7. (B. 1) Heated Up in 4hr

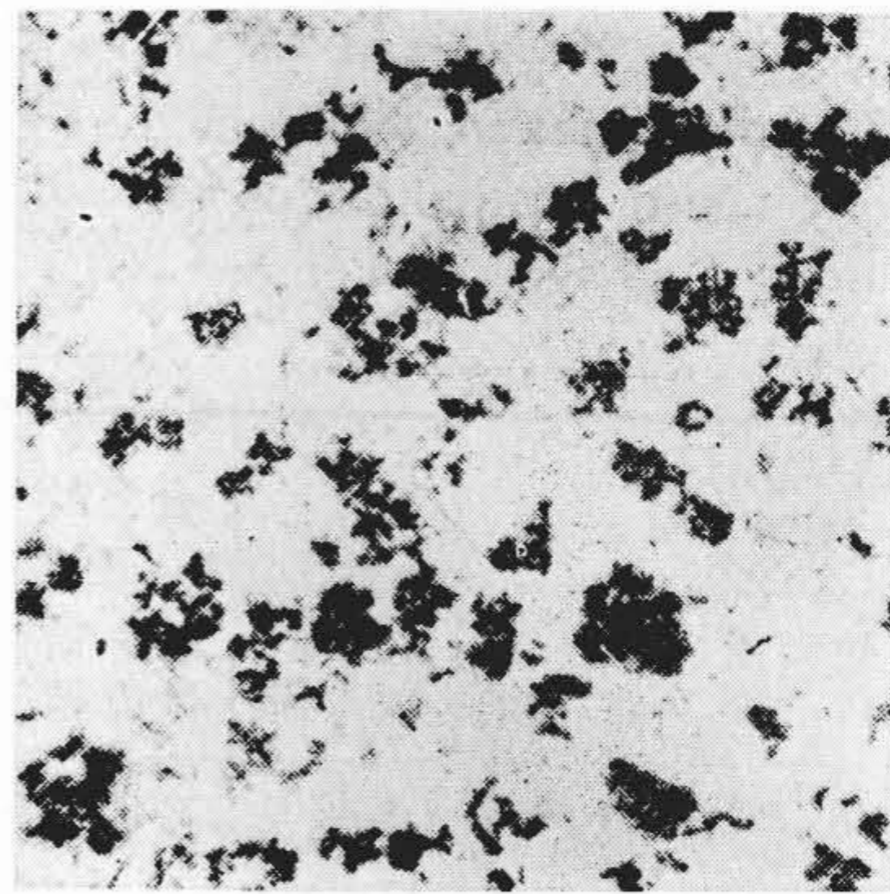
Fig. 8. (B. 4) Heated Up in 1hr

第3表 第一段焼鈍における加熱速度の影響
Table 3. Effect of Heating Rate on Number and Size of Temper Carbon after the 1st Stage of Graphitization

試料 No.	上昇時間 時分	A=0.4mm ²		B=1.1mm ²		C=4.7mm ²		D=9.5mm ²		E=19.5mm ²		合計		平均大小 mm ²
		粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	
B 1	4.00	160	64	75	83	2	9					237	156	0.6
B 2	3.00	105	42	52	57	15	71					172	170	1.0
B 3	2.00	60	24	45	50	20	94	5	48			130	216	1.6
B 4	1.00	40	16	21	23	16	75	4	38	2	39	83	191	2.3
B 5	0.30	30	12	13	14	10	47	6	57	3	59	62	189	3.0
B 6	0.10	10	4	15	17	8	38	6	57	4	78	43	194	4.4



第 9 図
(A. 1) 上昇
1.5hr ×30
Fig. 9.
(A. 1) Heated
up in 1.5hr



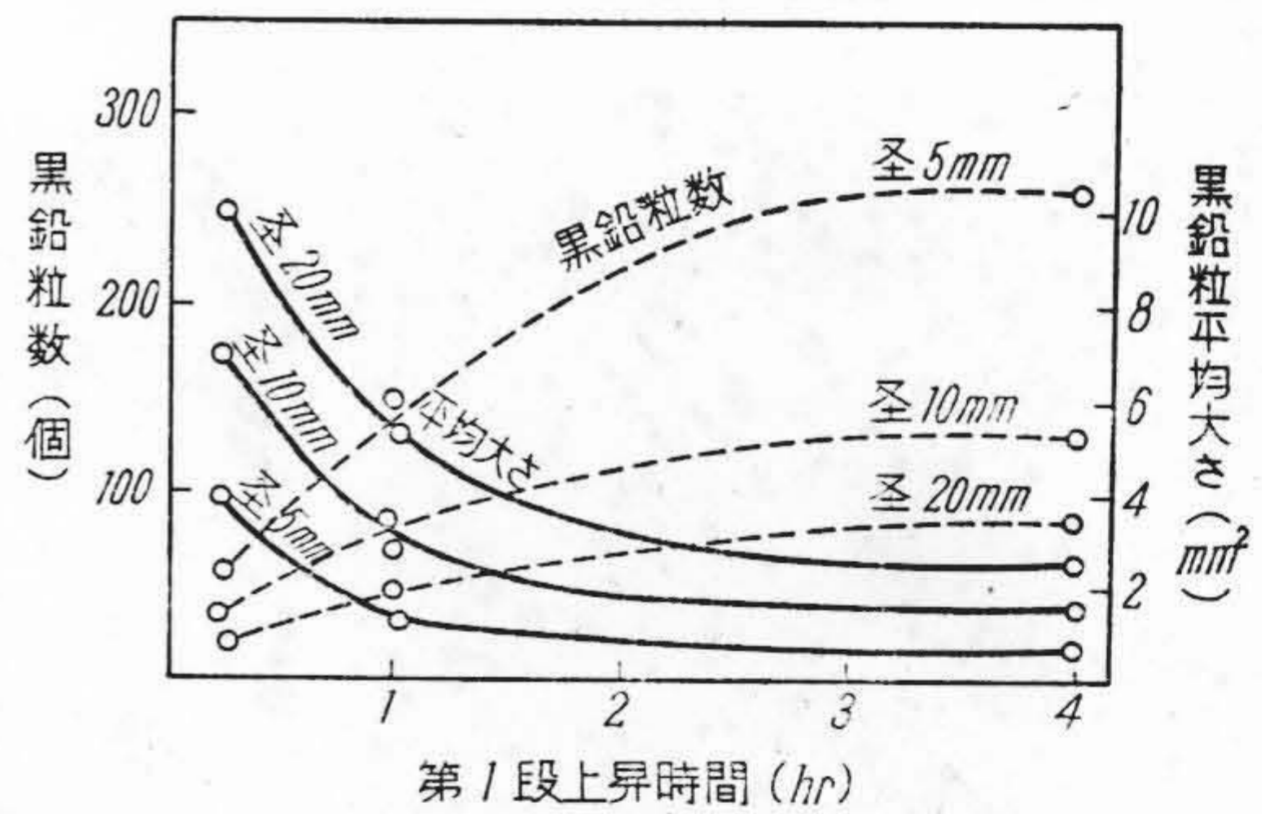
第 10 図
(A. 4) 上昇
15min ×30
Fig. 10.
(A. 4) Heated
up in 15min

第 4 表 第一 段 及び 第二 段 焼 鈍 に お け る 加 熱 速 度 の 影 響
Table 4. Effect of Heating Rate on Number and Size of Temper Carbon After 1st and 2nd Stages of Graphitization

試 料 No.	上昇時間 時 分	A=0.4mm ²		B=1.1mm ²		C=4.7mm ²		D=9.5mm ²		E=19.5mm ²		合 計		平均 大いさ mm ²
		粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	
A 1	1.30	24	10	27	30	39	183	13	124			103	347	3.3
A 2	1.00	37	15	14	15	16	75	25	238			92	343	3.7
A 3	0.30	17	7	20	22	24	113	12	114	4	78	77	334	4.4
A 4	0.15	10	4	10	11	20	94	9	86	6	117	55	312	5.3

また第 4 表、第 9 図及び第 10 図は加熱速度を変化して、950° に 5hr 保持後 710° に 8hr 保持して、第一段及び第二段黒鉛化を完了させたもので、前と同様に加熱速度の増加とともに黒鉛粒の成長を見るが第二段黒鉛化のために粒子が一層大となつておる。

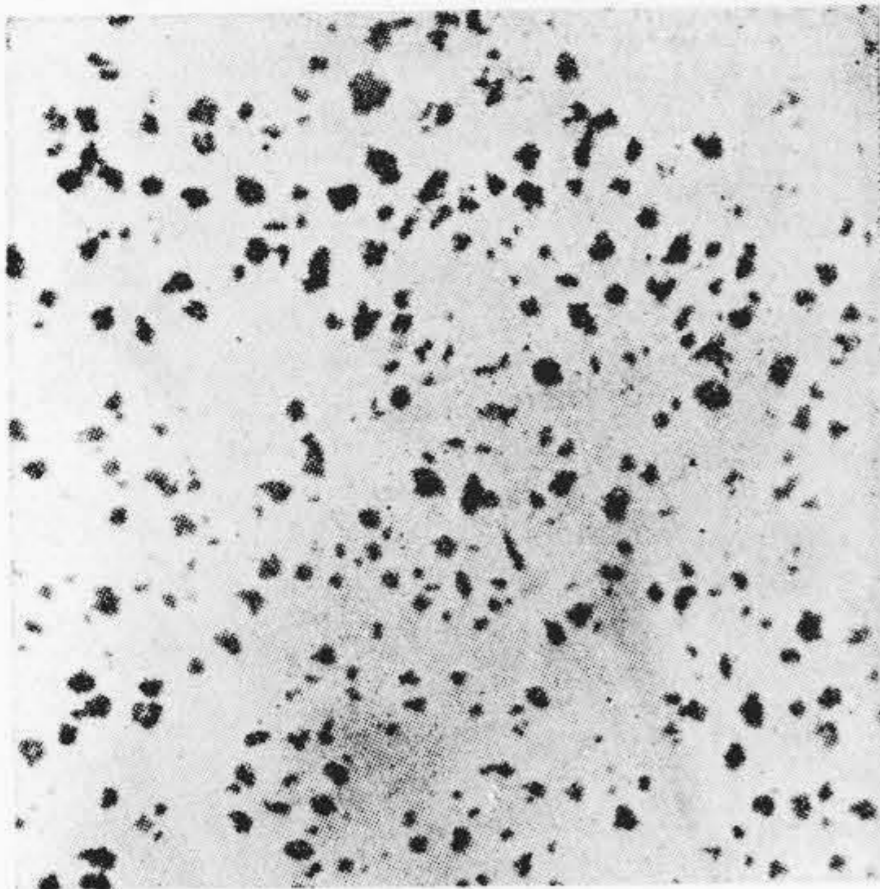
つぎに、加熱速度の影響に対する鋳物の厚さの関係をしらべた。試料の化学成分は、C 2.67%, Si 1.15%, Mn 0.32%, S 0.036%, P 0.143% で、生砂型を用いて直径 5, 10, 20mm を有する白銑丸棒を鋳造し、その各々の一定位置から長さ 20mm を切りとつた。そしてこれらの試料を常温から 950° まで 15, 60 及び 240分 で上昇せしめ、この温度に 4hr 保持して空冷した。その結果を第 5 表に示し、これを図示すると第 11 図となる。第 12 図～第 17 図にこれらの焼鈍炭素の顕微鏡写



第 11 図 加熱速度及び試料の大きさの影響
Fig. 11. Effect of Heating Rate on Number and Size of Temper Carbon after the 1st Stage of Graphitization for Test-pieces with Different Diameter

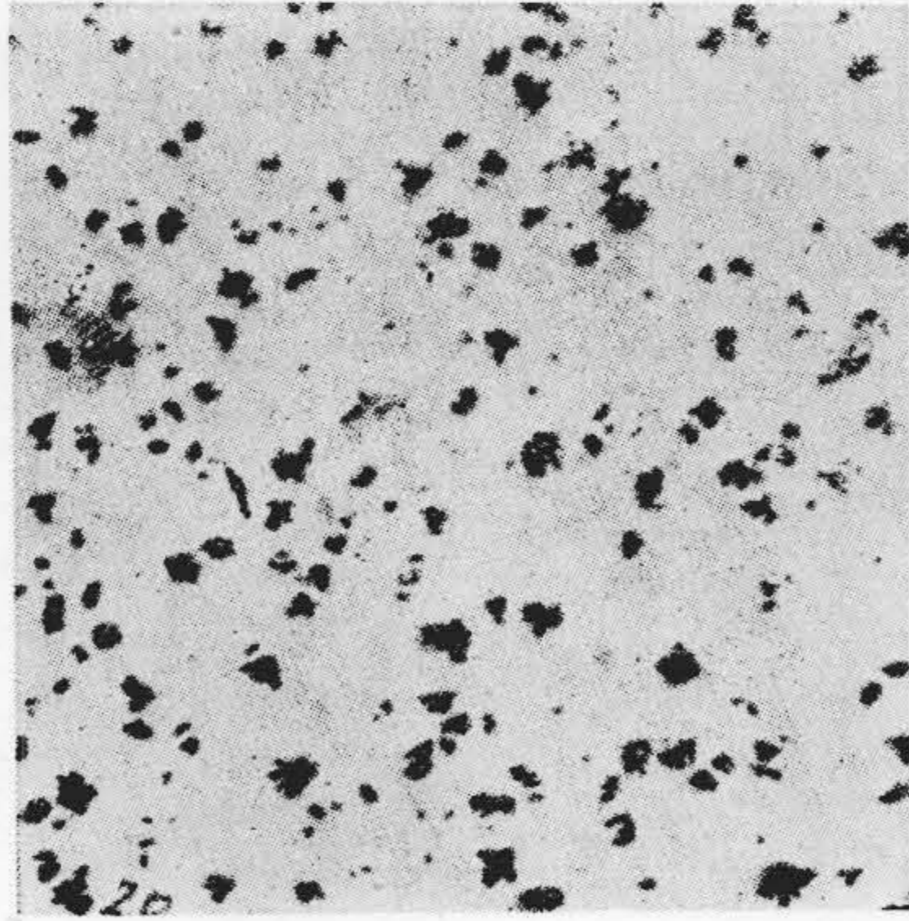
第 5 表 異 径 試 料 に お け る 加 熱 速 度 の 影 響
Table 5. Effect of Heating Rate for Test-pieces with Different Diameters

試料 No.	直径 mm	上昇 時間 時分	A=0.28 mm ²		B=0.78 mm ²		C=1.1 mm ²		D=4.7 mm ²		E=9.5 mm ²		F=19.5 mm ²		G=27.0 mm ²		合 計		平均 大いさ mm ²
			粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	粒数	面積	
C 1	5	4.00	135	37.8	75	58.5	49	53.9	3	14.1							262	164	0.6
C 2		1.00	70	19.6	28	21.8	31	34.1	20	94.0							149	170	1.2
C 3		0.15	10	2.8	9	7.0	15	16.5	12	56.4	9	85.5	3	58.5			58	227	3.9
C 4	10	4.00	45	12.6	33	25.7	31	34.1	16	75.2	7	66.5					132	214	1.6
C 5		1.00	26	7.3	15	11.7	14	15.4	14	65.8	8	76.0	3	58.5			80	235	2.9
C 6		0.15	3	0.8	3	2.3	5	5.5	7	32.9	9	85.5	2	39.0	2	54.0	31	220	7.1
C 7	20	4.00	29	8.1	14	10.9	16	17.6	17	79.9	12	114.0					88	231	2.6
C 8		1.00	11	3.1	4	3.1	6	6.6	15	70.5	9	85.5	3	58.5			48	227	4.7
C 9		0.15	2	0.6	2	1.5	2	2.2	5	23.5	6	57.0	2	39.0	4	108.0	23	232	10.0



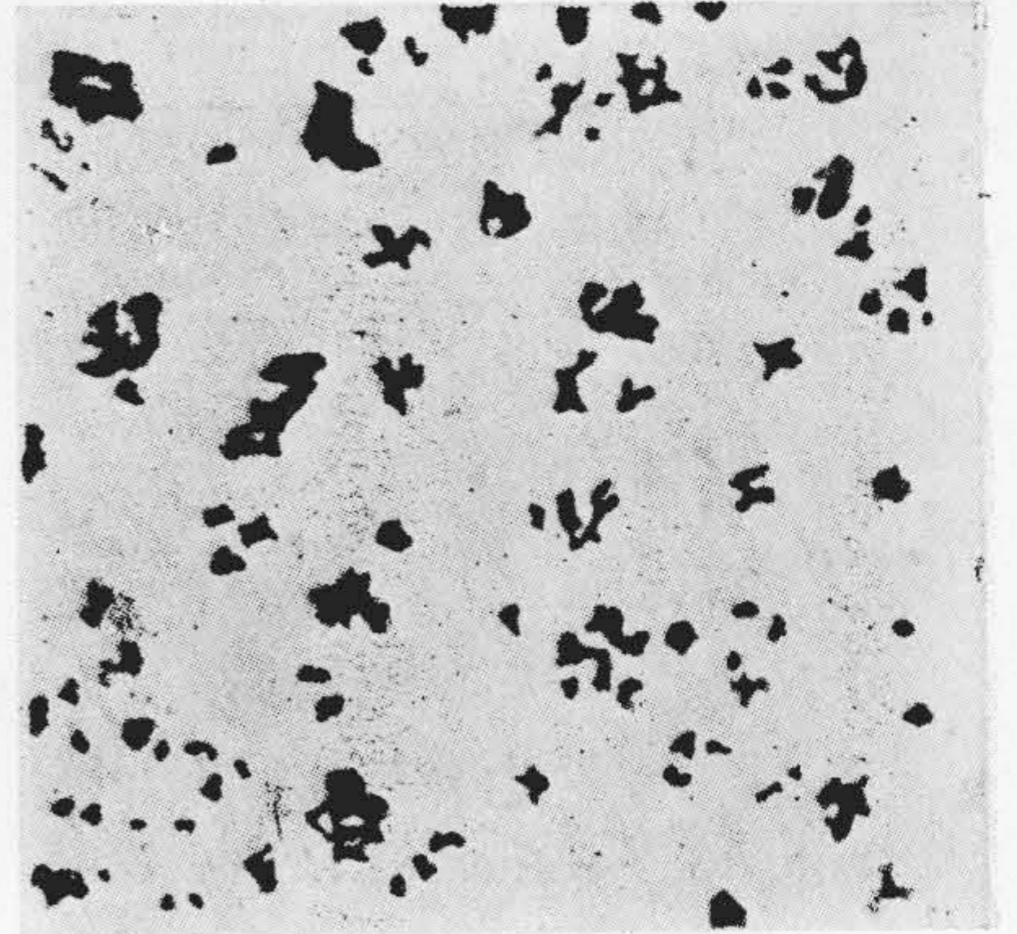
第 12 図 (C. 1) 直径 5mm
上昇 4hr ×30

Fig. 12. (C. 1) 5mm Dia.,
Heated up in 4hr



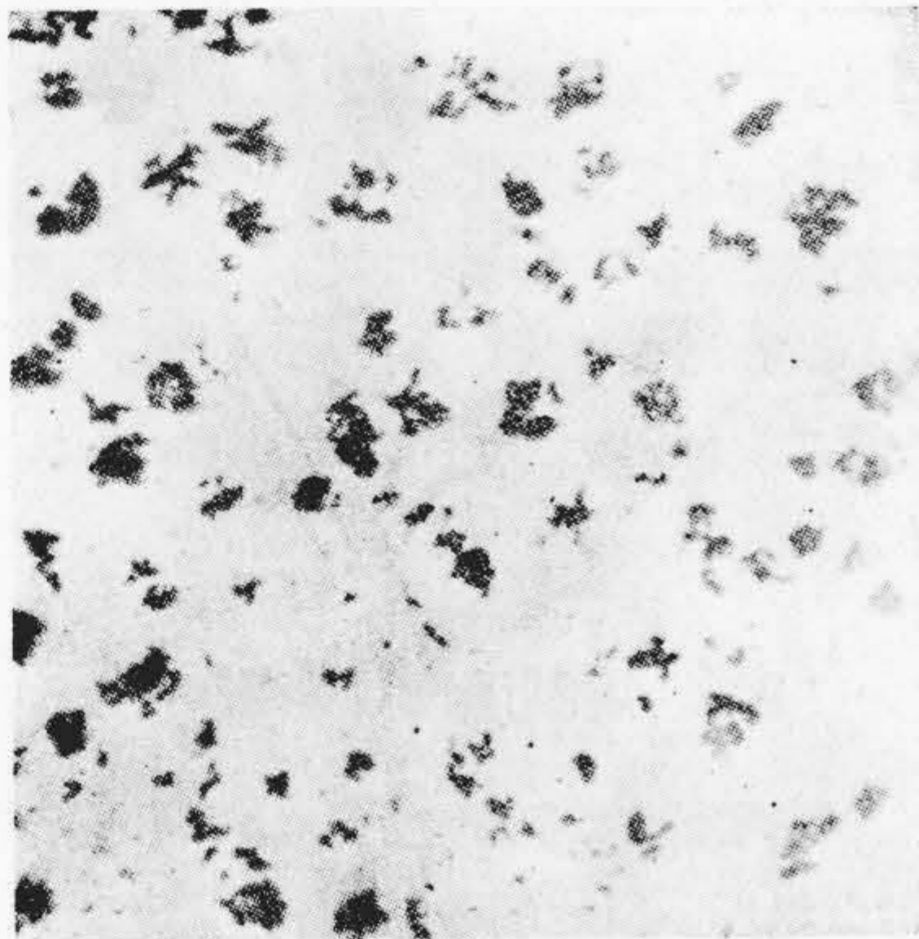
第 13 図 (C. 2) 直径 5mm
上昇 1hr ×30

Fig. 13. (C. 2) 5mm Dia.,
Heated up in 1hr



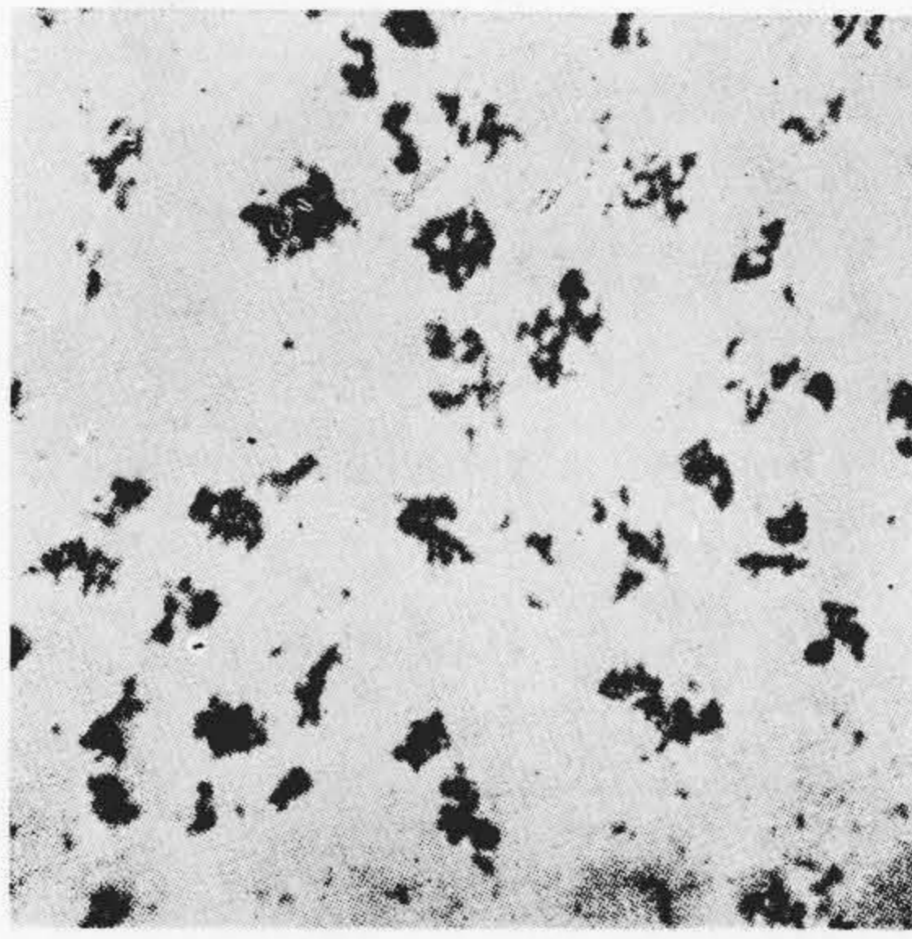
第 14 図 (C. 3) 直径 5mm 上昇
15min ×30

Fig. 14. (C. 3) 5mm Dia., Heated
up in 15min



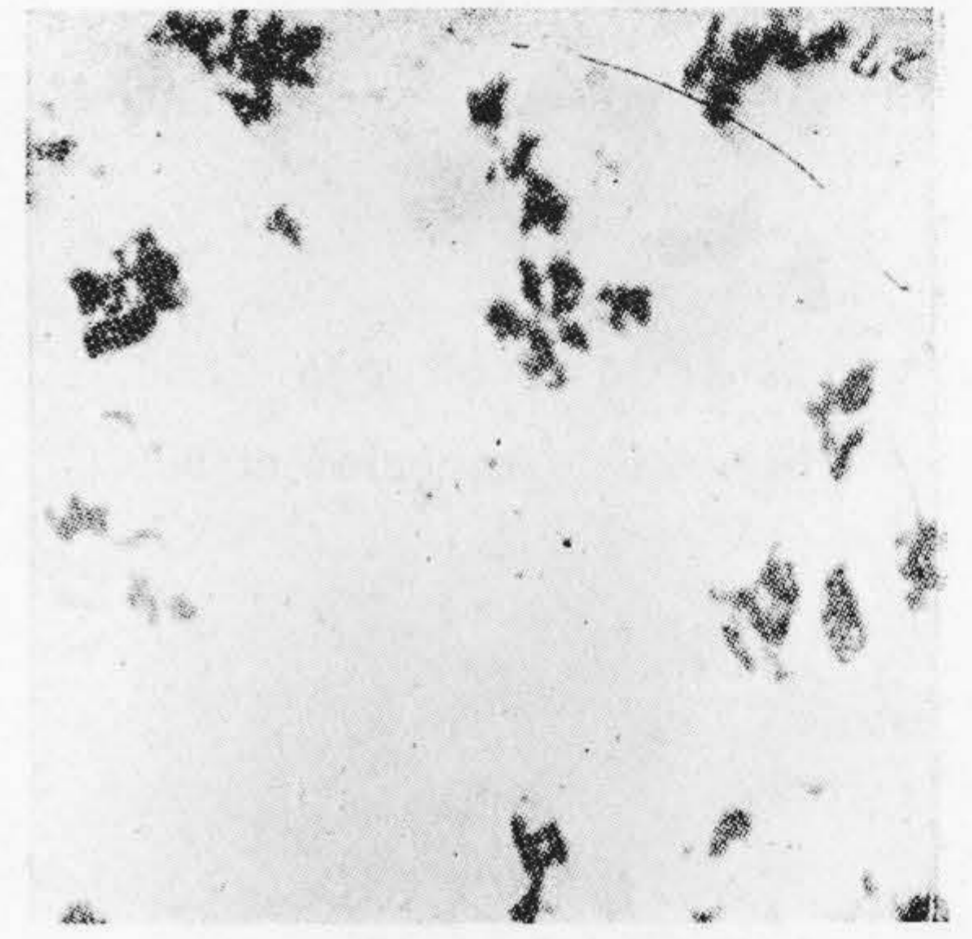
第 15 図 (C. 7) 直径 20mm
上昇 4hr ×30

Fig. 15. (C. 7) 20mm Dia.,
Heated up in 4hr



第 16 図 (C. 8) 直径 20mm
上昇 1hr ×30

Fig. 16. (C. 8) 20mm Dia.,
Heated up in 1hr



第 17 図 (C. 9) 直径 20mm 上昇
15min ×30

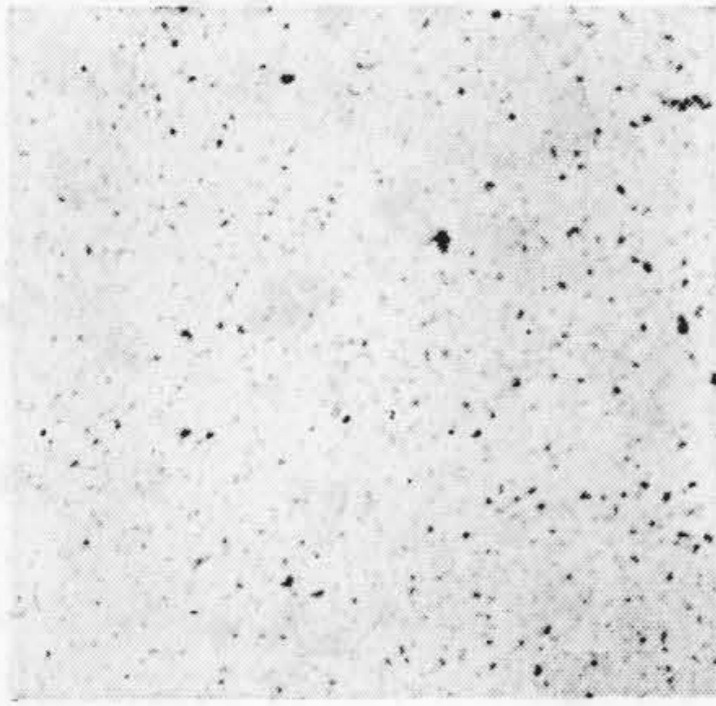
Fig. 17. (C. 9) 20mm Dia.,
Heated up in 15min

真の一例を示す。一般に径の異なる白銑丸棒を同一条件で焼鈍すると、その白銑組織の粗密の程度にしたがつて径の小さいものほど焼鈍炭素がこまかくなりその数が増加する。ところが焼鈍時の加熱速度を変えると、第 11 図に見る如く径の大小による焼鈍炭素の大ききの差が加熱速度の速い場合に大きく、ゆるやかに加熱するほどその差異が小さくなる。

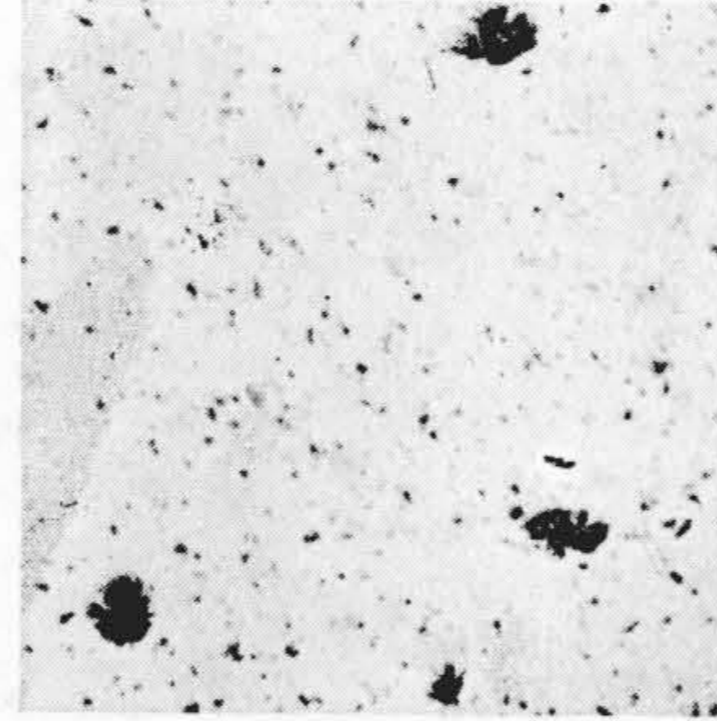
焼鈍炭素の大ききは黒鉛核の生成割合と C の拡散速度とに影響せられ、核の生成割合が大きくて C の拡散速度が小さいほど、焼鈍炭素はこまかくなりその数が増加する。また C の拡散速度は温度とともに大となるが、本実験のごとく第一段焼鈍の一定温度まで上昇させるさいの加熱速度の変化によつて焼鈍炭素の大ききが異なるのは、第一段焼鈍温度における C の拡散速度は同一であるから、加熱速度の変化によつて核の生成割合が異なることに基因する。すなわち、すでに Palmer⁽¹⁰⁾によつて明か

にされておるように、黒鉛核の生成割合は 400°~600° においてすこぶる大であるから、こ温度範囲をゆつくり加熱すれば多数の焼鈍炭素を生じてその大ききが細くなるのである。

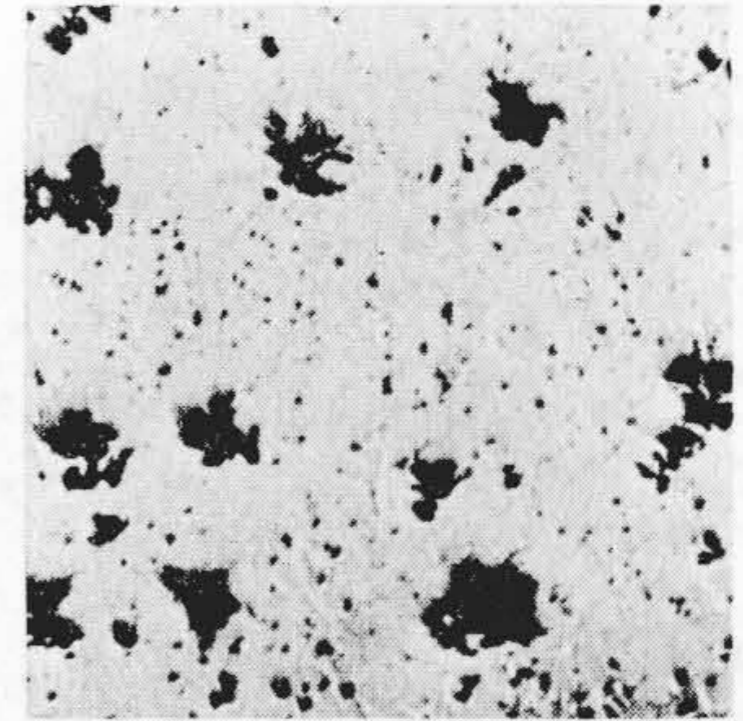
筆者はまた、C 2.47%, Si 0.91%, Mn 0.35%, S 0.100%, 長さ 15mm, 直径 5mm を有する白銑を、750°~950° に保持せる鉛浴中に 10 分間浸漬して、各温度における黒鉛核の生成割合をしらべ、750°~800° の方が 850°~950° よりもやや多数の黒鉛核を生成することを認めしたが、さらに次のような実験を行つた。C 2.52%, Si 1.24%, Mn 0.30%, S 0.024%, P 0.14%, Cr 0.004%, 長さ 10mm, 直径 10mm, を有する白銑を真空中で焼鈍し、加熱速度を 15°/分に一定にして 750°~950° の各温度に達せしめ、それぞれの温度に 3hr 保持して一部の遊離セメントを黒鉛化せしめた時の顕微鏡組織をしらべた。その結果は第 18 図~第 22 図に示す通り、



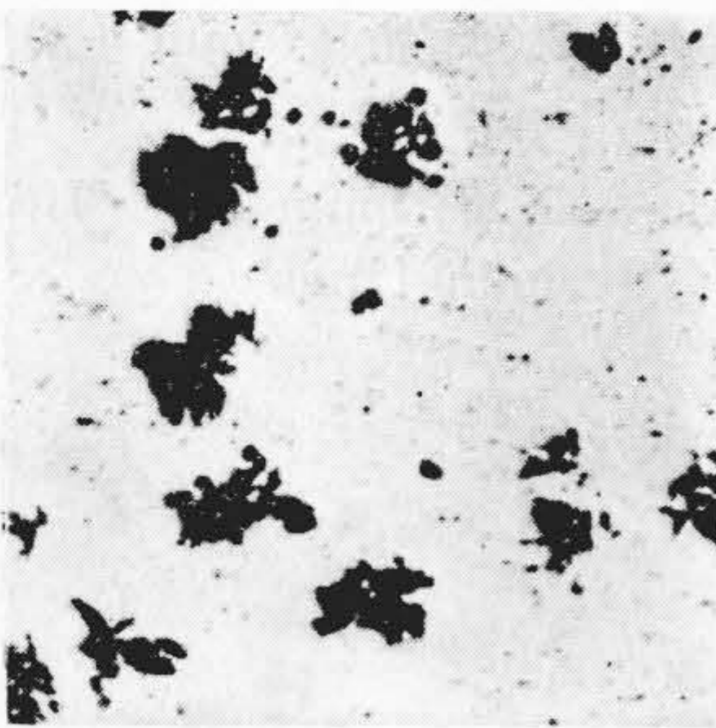
第 18 図 750° 焼鈍 ×30
Fig. 18. Annealed at 750°C



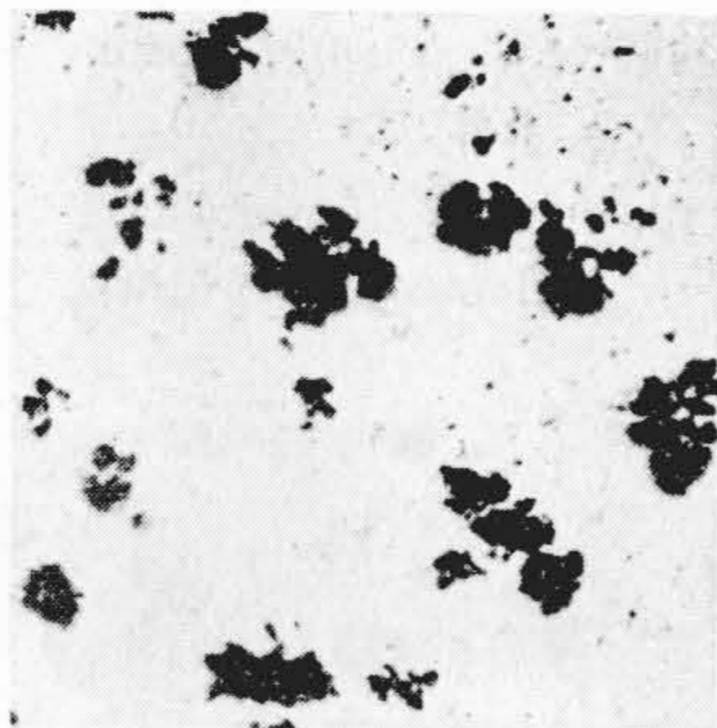
第 19 図 800° 焼鈍 ×50
Fig. 19. Annealed at 800°C



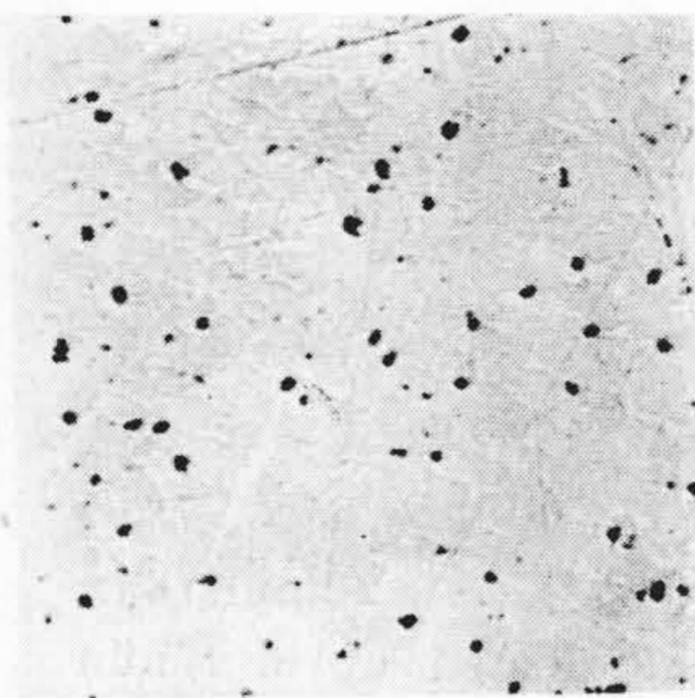
第 20 図 850° 焼鈍 ×50
Fig. 20. Annealed at 850°C



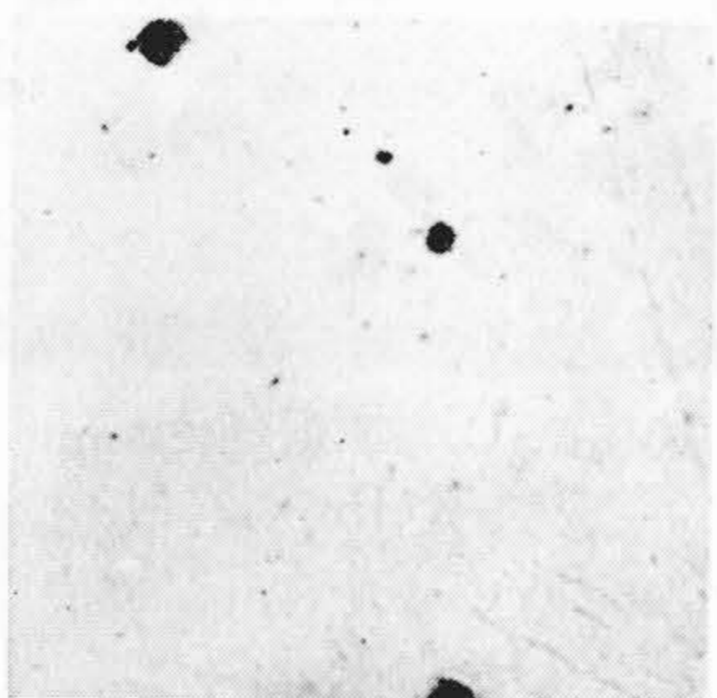
第 21 図 900° 焼鈍 ×50
Fig. 21. Annealed at 900°C



第 22 図 950° 焼鈍 ×50
Fig. 22. Annealed at 950°C



第 23 図 850°—10 分 ×80
Fig. 23. Annealed at 850°C—10min



第 24 図 850°—60 分 ×80
Fig. 24. Annealed at 850°C—60min

焼鈍温度 750° においてすでに多数の微細黒鉛を生じ、さらに温度を上げると微細黒鉛のほかに粗大黒鉛を生じ温度とともに粗大黒鉛が増加してゐる。これによつて、焼鈍過程における黒鉛には微細なものゝ粗大なものゝの 2 種類が存在し、黒鉛核は全部が一様に成長することなく、これらの中に成長しやすい核が存在することが知られるのである。この種の核をここには「成長核」と呼ぶことにする。成長核は C の拡散によつて成長し、また他の微細黒鉛を合粒して黒鉛化を完了する。成長核は核の生成割合に比例して多かるべく、また温度の上昇とともに増加するが時間の経過によつても増加する。第 23 図及び第 24 図はその例を示したもので、850° の鉛浴中に同一の白銑試料を浸漬して、浸漬時間が 10 分のものと 60

分のものを比較すると、前者は微細黒鉛のみからなるが後者は少数の粗大黒鉛を生じてゐる。以上の結果から、第一段焼鈍温度に上昇させる時の加熱速度を小にするほどその温度に達するまでに生ずる成長核が増加しこれらの核を中心にして黒鉛化が進行するから、加熱速度の大きい場合に比して焼鈍炭素の数が増加し大いさがこまかくなる第二の理由をなすものと考えられる。

〔IV〕 焼鈍温度の影響

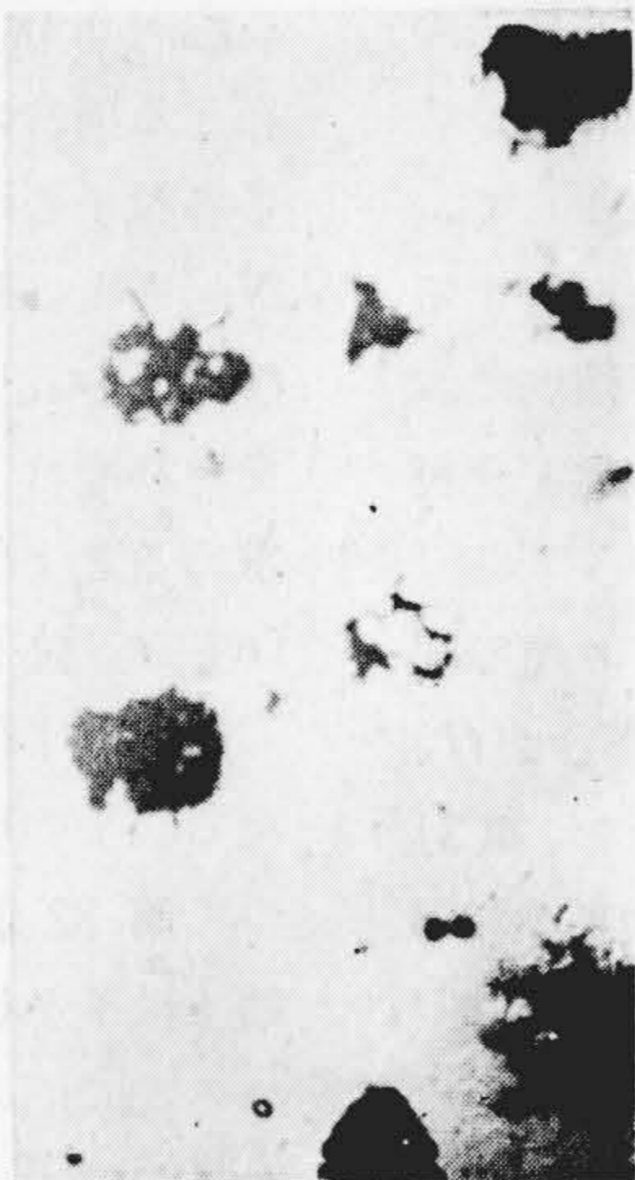
二重溶解法で製銑され、C 2.47%、Si 0.91%、Mn 0.35%、S 0.100% の化学成分と径 5 mm、長さ 10 mm を有する白銑を、850°、900°、及び 950° の各鉛浴に 5hr 浸漬して第一段黒鉛化を終らせた試料について、13 倍率に撮影した顕微鏡写真の 20×20 mm² 内における焼鈍炭素の平均粒数は、850° で約 50 個、900° で 60 個、950°

で 70 個であつた。これらを 80 倍率で示すと第 25 図～第 27 図の通りである。すなわち、第一段焼鈍温度を高くするほど焼鈍炭素が小さくなつていくぶん数を増しその変形率も増加することが知られる。

また、C 2.45%、Si 1.31%、Mn 0.41%、S 0.056%、P 0.4% の白銑を真空中で加熱速度を同一にして、900°、1000°、及び 1050° に達せしめ、その温度に 6 hr 保持して第一段黒鉛化を完了し、さらに第二段黒鉛化を完了させた結果は第 28 図～第 30 図に示す如くで、30 倍率の写真の 45×45mm² 内における焼鈍炭素の平均粒数は 900° で約 108 個、1000° で 118 個、その平均大きさは 900° で 2.6mm²、1000° で 1.0mm² を有し、1050° では黒鉛がいちじるしく変形してゐる。



第 25 図 850°—5hr ×80



第 26 図 900°—5hr ×80



第 27 図 950°—5hr ×80

Fig. 25. Annealed at 850°C—5hr Fig. 26. Annealed at 900°C—5hr Fig. 27. Annealed at 950°C—5hr

第一段焼鈍温度を高くするにしたがい、焼鈍炭素が変形の度を増して、ついにはオーステナイト粒界にそって析出することは前報告⁽¹¹⁾にのべたところであるが、さらにまた焼鈍炭素が小さくなりその数が増加するのは、焼鈍温度の上昇とともに黒鉛の成長核が増すことに原因する。オーステナイトにおけるCの拡散速度は温度が10°上ると1.10倍⁽¹²⁾になるが、白鉄の黒鉛化速度は化学成分によつて異なるも温度が10°上ると大体1.23倍⁽¹³⁾になる。このように、温度の上昇に伴い黒鉛化速度の方がCの拡散速度よりも一層速くなるのは、温度とともに黒鉛の成長核が増すためである。

[V] 焼鈍炭素の大きさの吟味

(1) 試料の切断面における焼鈍炭素粒子と単位容積内における粒子との関係

以上の実験には焼鈍炭素の大きさを平面的に取りあつかい、試料を顕微鏡下に検した時の黒鉛粒子の面積をも

つて焼鈍炭素の大小を比較した。しかし顕微鏡でのぞいて見られる黒鉛粒子は試料の研磨面で切断された粒子の切り口面であつて、それがかならずしも粒子の真の大きさと一致するとはかぎらない。かかる方法は粒子の径が粒子間の平均距離にくらべて非常に小さいときには許容されうるが、厳密にいうと同一粒子においてもこれを切断する面の位置が異るとその切り口の面積も変化する。したがつて、粒子の大きさを比較するためには粒子の真の容積を知る必要があり、粒子の数もまた空間的に取りあつかわねばならぬ。単位容積内の粒子の数をあらわす方法として、普通は単位面積内の粒子の数を $\frac{3}{2}$ 乗するか、あるいは指数⁽¹⁴⁾を用いておるが、これらとても各粒子の大きさが同一である場合に限ることで、大小種々の粒子が混在する実際の場合に対してはなお検討の余地がある。

この問題にかんして、はじめて研究を発表したのがG. Tammann及びW. Crone⁽¹⁵⁾である。その後E. Scheil⁽¹⁶⁾

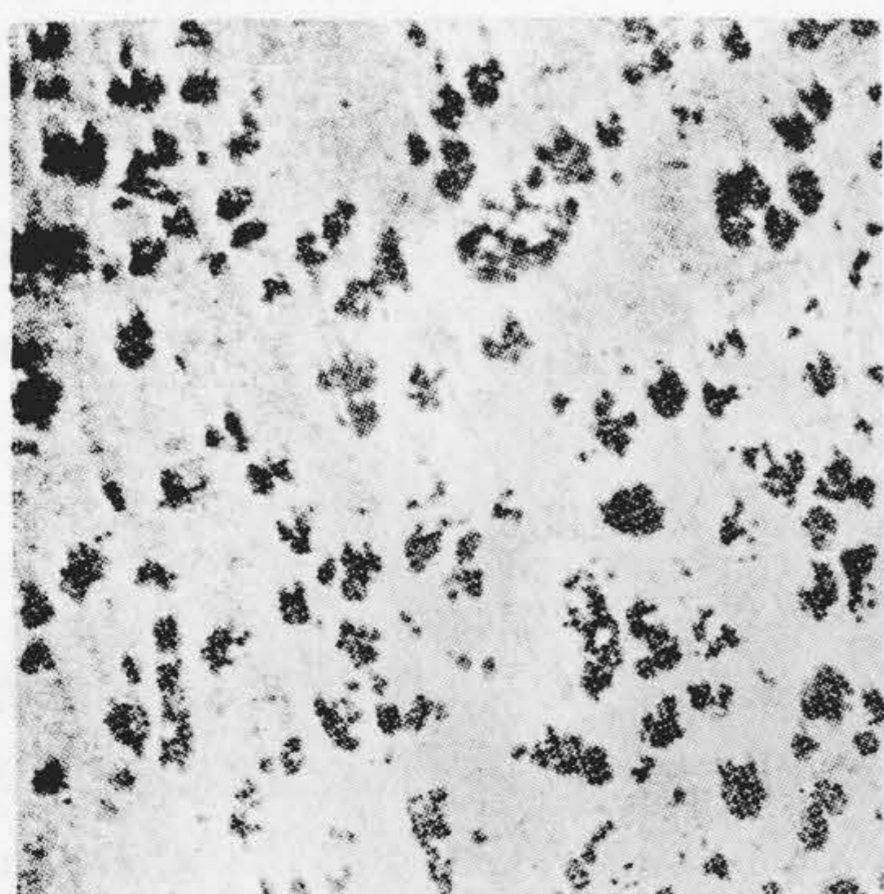


Fig. 28. (E. 1) 900°—6hr, 710°—8hr ×30

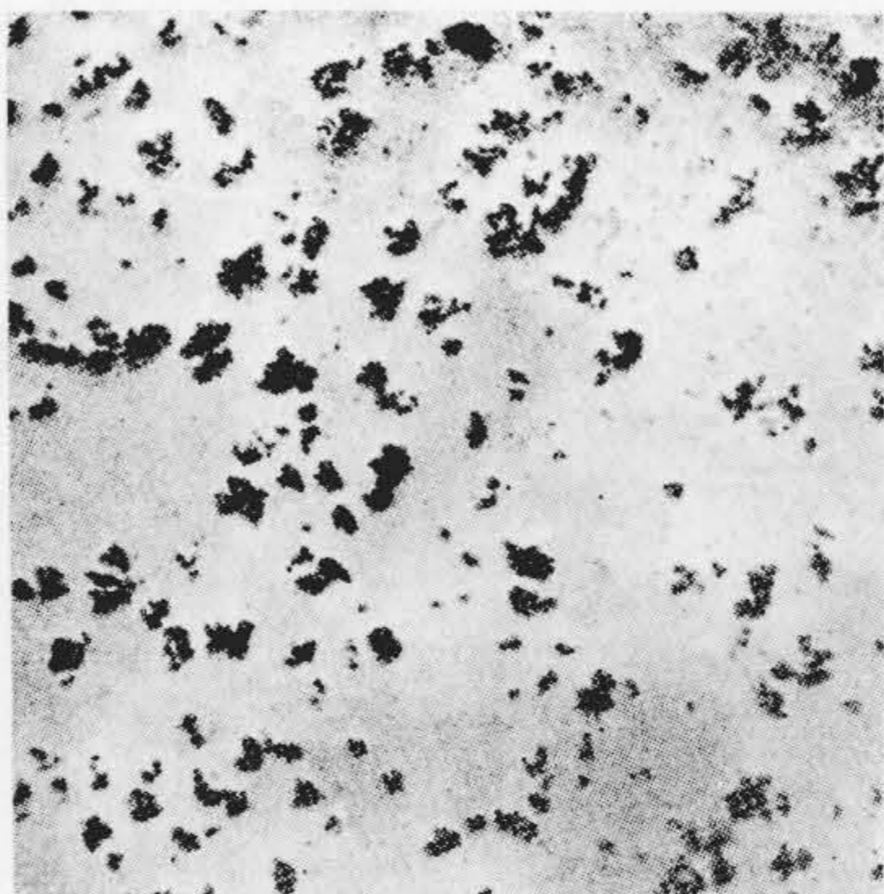


Fig. 29. (E. 2) 1,000°—6hr, 710°—8hr ×30

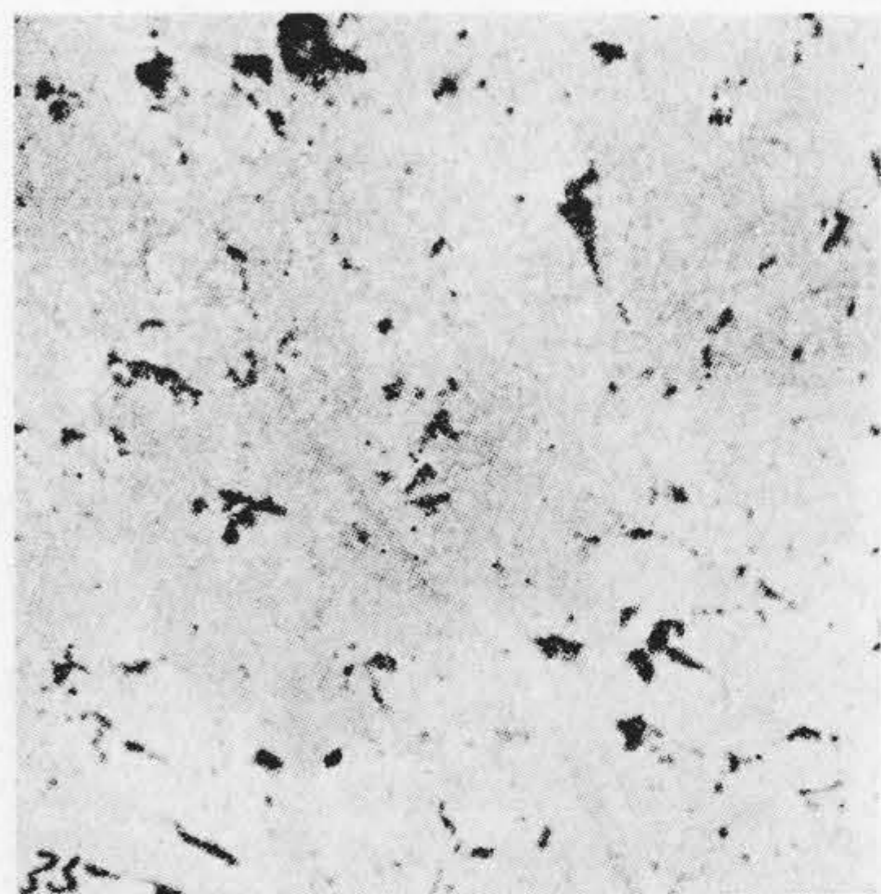
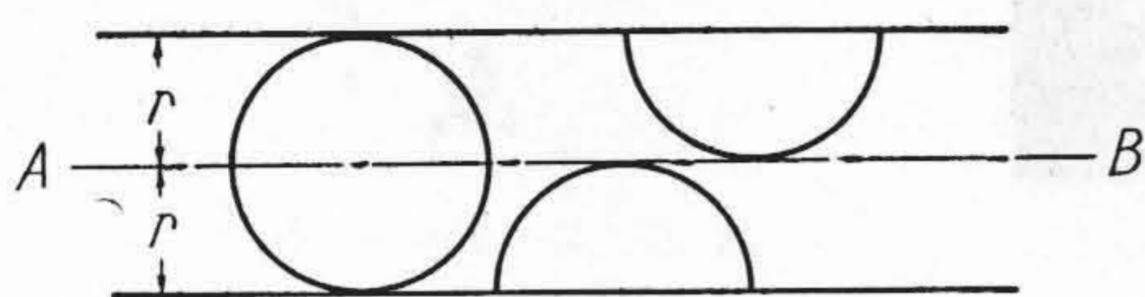


Fig. 30. (E. 3) 1,050°—6hr, 710°—8hr ×30

が均一な基地の中に球状の粒子が分布するときの粒子の切り口半径とその真の半径との関係を確率計算によつて求め、さらに H. Schwartz⁽¹⁷⁾ がこの方法を演繹して、試料の切断面において大小種々なる切り口半径を有する黒鉛粒子の単位面積当りの数をしらべ、単位容積内における真の大いさの各粒子の個数を求める計算方式を発表した。

いま、黒鉛粒子が完全な球体であつてすべて r なる同一半径を有する場合を考える。そして試料内に高さが H 、底面が単位面積を有する円壩を考え、この円壩を、第 31 図に示す如く、その軸に垂直な面 AB で切断する。 AB



第 31 図 AB 面で切断される粒子
Fig. 31. Schematic Picture of Spheres of Radius r Intersected by Plane of AB

面にさうして厚さ dh を考え、その中に含まれる粒子の数を C_r とし、円壩内の粒子の総数を M_r とすれば、

$$M_r = C_r \int_0^H dh = C_r H$$

$$\therefore C_r = M_r / H \dots\dots\dots (1)$$

となる。図示の如く AB 面で切断される粒子は、 AB 面の上方及び下方へ r なる距離内にいずれもその中心点を有するものであるから、 AB 面における粒子の数を n_r とすれば、

$$n_r = \frac{M_r}{H} \int_0^{2r} dh = \frac{2 M_r \times r}{H}$$

$$\therefore M_r = \left(\frac{n_r}{2r} \right) H \dots\dots\dots (2)$$

となる。また円壩の単位容積内の粒子の数を N_r とすれば

$$N_r = \frac{M_r}{H}$$

であるから、(2) 式から

$$N_r = \frac{n_r}{2r} \dots\dots\dots (3)$$

となる。すなわち、同一大いさの粒子ばかりである場合には、単位容積内の粒子の数は、切断面における単位面積内の粒子の数をその粒子の直径で除したものに等しい。

つぎに、大小種々の半径を有する粒子が混在する場合を考える。これらの粒子の大いさが連続的に変化しないである大いさ、たとえば $r_1=r$, $r_2=0.9r$, $r_3=0.8r$..

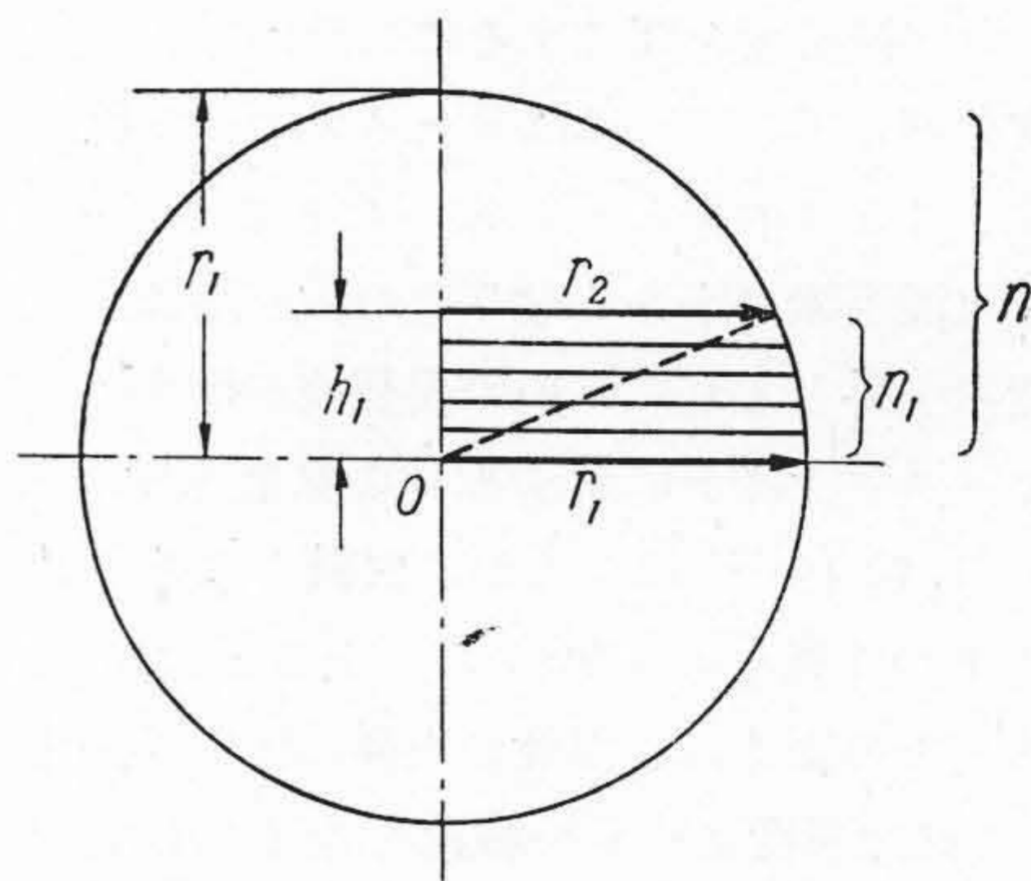
.. $r_{10}=0.1r$ なる限られた値を有する 10 種の粒子が存在する場合について考える。半径が r_1, r_2, \dots, r_{10} , なる各粒子の単位容積内の数をそれぞれ N_1, N_2, \dots, N_{10} とし、切断面における切り口半径が、 $r_1 \sim r_2, r_2 \sim r_3, r_3 \sim r_4, \dots, r_{10}$ 以下、なる粒子の単位面積内の数をそれぞれ $n_1, n_2, n_3, \dots, n_{10}$ とし、各粒子の数を求めると下記の通りである。

(a) r_1 粒子 :-

切り口半径が r_2 以上の粒子は、すべて真の半径が r_1 なる粒子の切断によるものであることは明かであり、従つて第 32 図において、 r_1 粒子の中心 O から任意の距離で粒子を切断して、その切り口半径を $r_1 \sim r_2$ ならしめる切断面の頻度に比例する量 h_1 は、

$$h_1 = (r_1^2 - r_2^2)^{\frac{1}{2}} = \{1 - (0.9)^2\}^{\frac{1}{2}} = 0.436$$

である。しかるに切り口半径 $r_1 \sim r_2$ を有する粒子の数



第 32 図 直径 r_1 粒子を切断して切り口半径を $r_1 \sim r_2$ ならしめる切断面の頻度

Fig. 32. Diagrammatic Representation of Probability of Intercepts of Radius $r_1 \sim r_2$ Resulting from a Sphere of Radius r_1

は n_1 であるから、 r_1 粒子を切断して得られる切り口の総数 n を求めると、

$$n : n_1 = r_1 : h_1$$

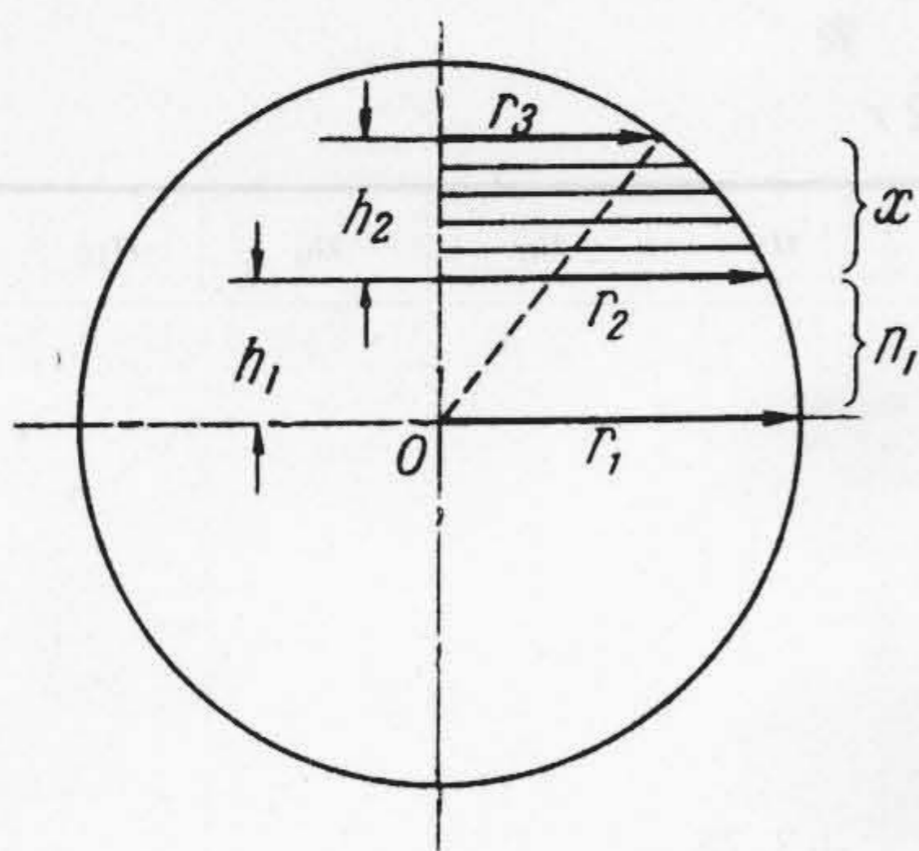
$$\therefore n = \frac{r_1 n_1}{h_1} = \frac{n_1}{0.436} \dots\dots\dots (4)$$

となる。単位容積内の r_1 粒子の数 N_1 は (3) 式及び (4) 式から、

$$N_1 = \frac{n_1}{0.436 \times 2r_1} = \frac{2.29 n_1}{2r_1} \dots\dots\dots (5)$$

となる。すなわち、単位容積内の r_1 粒子の数は、切断面の切り口半径が r_2 以上なる粒子の数を最大粒子の直径 ($2r_1$) で除したものに係数 2.29 を乗じて求められる。

(b) r_2 粒子 :-



第 33 図 直径 r_1 粒子の切口半径を $r_2 \sim r_3$ ならしめる切断面の頻度

Fig. 33. Diagrammatic Representation of Probability of Intercepts of Radius $r_2 \sim r_3$ Resulting from a Sphere of Radius r_1

切り口半径が $r_2 \sim r_3$ なる粒子は r_1 及び r_2 粒子の切断によるものである。

まず、 r_1 粒子の切断による切り口の数と求めると、第 33 図から、 r_1 粒子の切り口半径を $r_2 \sim r_3$ ならしめる切断面の頻度 h_2 は

$$h_2 = (r_1^2 - r_3^2)^{\frac{1}{2}} - (r_1^2 - r_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \{1 - (0.8)^2\}^{\frac{1}{2}} - \{1 - (0.9)^2\}^{\frac{1}{2}} = 0.164$$

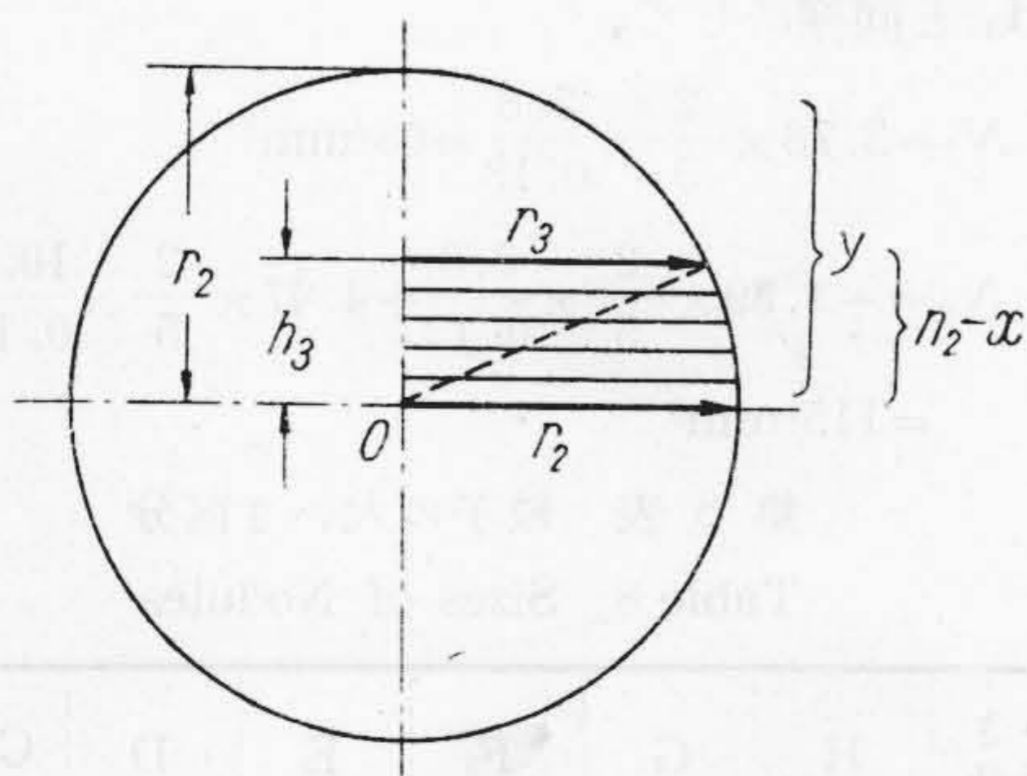
となり、 r_1 粒子を切断して $r_2 \sim r_3$ なる半径を有する切り口の総数 x は、

$$x : n_1 = h_2 : h_1$$

$$\therefore x = \frac{h_2 n_1}{h_1} = \frac{0.164 n_1}{0.436}$$

となる。

つぎに、 r_2 粒子の切断から来る切り口の数 $(n_2 - x)$



第 34 図 直径 r_2 粒子を切断して切口半径を $r_2 \sim r_3$ ならしめる切断面の頻度

Fig. 34. Diagrammatic Representation of Probability of Intercepts of Radius $r_2 \sim r_3$ Resulting from a Sphere of Radius r_2

であるから、

$$n_2 - x = \{n_2 - (0.164/0.436)n_1\} \dots \dots \dots (6)$$

第 34 図から、 r_2 粒子を切断して切り口半径を $r_2 \sim r_3$ ならしめる切断面の頻度 h_3 は、

$$h_3 = (r_2^2 - r_3^2)^{\frac{1}{2}} = \{(0.9)^2 - (0.8)^2\}^{\frac{1}{2}} = 0.412$$

(6)式から r_2 粒子の切り口の総数 y を求めると、

$$y : (n_2 - n_1 \frac{0.164}{0.436}) = r_2 : h_3$$

$$\therefore y = \frac{r_2}{h_3} (n_2 - n_1 \frac{0.164}{0.436})$$

$$= \frac{1}{0.458} (n_2 - n_1 \frac{0.164}{0.436}) \dots \dots \dots (7)$$

故に単位容積内の r_2 粒子の数 N_2 を求めると (3) 式及び (7) 式から、

$$N_2 = \frac{1}{0.458 \times 2 r_2} (n_2 - \frac{0.164 n_1}{0.436})$$

$$= \frac{1}{0.458 \times 0.9 r_1 \times 2} (n_2 - \frac{0.164 n_1}{0.436})$$

$$= -0.91 \frac{n_1}{2 r_1} + 2.43 \frac{n_2}{2 r_1} \dots \dots \dots (8)$$

となる。

以下同様にして、 $N_3, N_4 \dots N_{10}$ の各値を求めるとそれらの計算式における $\frac{n_1}{2 r_1}, \frac{n^2}{2 r_1}, \dots, \frac{n_{10}}{2 r_1}$ に対する係数が第 6 表の通りになる。

かくして、試料の研磨面における大小粒子の切り口の大きさ、及びそれらの単位面積内の数を知れば、第 6 表を用いて単位容積内における真の大きさの粒子の数を算出することができる。上記は粒子の大きさを 10 区分した場合であるが、5 区分の時は $2 r_1$ に $10/5$ を掛け、4 区分では $10/4$ を掛ければよい。以下この方法を容積法と呼ぶことにし、これに対して、筆者が用いた面積による方法を比較検討してみる。

(2) 実験結果の検討

前章の第 1 表、第 3 表、及び第 5 表に示す筆者の得た実験結果から、上記の方法によつて単位容積内における真の大きさの黒鉛粒子の数を求めて見る。

これらの表の粒数は 30 倍率に撮影した顕微鏡写真の $45 \times 45 \text{mm}^2$ 内におけるものであり、また粒子の大きさは試料の研磨面における各粒子の切り口面積で表わされたものである。もちろん粒子の切り口は完全な円形ではなくて種々に変形しておるが、それぞれの切り口面積に等しい円の半径を求めると第 7 表の通りになる。そして各粒子の大きさを直径 1mm 単位に区分すると第 8 表となり、実験結果による黒鉛粒子の数 Z から研磨面における真の単位面積内の粒子の数 n を求めると第 9 表を得る。故に第 6 表、第 8 表及び第 9 表を用いて、まづ第

第 6 表 $n/2r$ の 係 数 表
Table 6. Coefficients of $n/2r$

係数	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}
N_1	+2.29									
N_2	-0.91	+2.43								
N_3	-0.31	-0.96	+2.58							
N_4	-1.6	-0.32	-1.02	+2.79						
N_5	-0.8	-0.17	-0.34	-1.11	+3.02					
N_6	-0.05	-0.09	-0.18	-0.37	-1.17	+3.33				
N_7	-0.04	-0.06	-0.09	-0.17	-0.40	-1.21	+3.78			
N_8	-0.04	-0.03	-0.05	-0.09	-0.15	-0.47	-1.39	+4.47		
N_9	-0.01	-0.01	-0.03	-0.05	-0.08	-0.17	-0.41	-1.53	+5.77	
N_{10}	±0.00	+0.01	-0.01	-0.02	-0.05	-0.05	-0.13	-0.35	-1.54	+10.0
$\sum N$	+0.69	+0.80	+0.86	+0.98	+1.17	+1.43	+1.85	+2.59	+4.23	+10.0

1 表の実験結果について各試料の単位容積内の各粒子の総数 N を求めると下記の通りである。

(i) 試料 H_1 :

粒子の最大直径は $\frac{2}{30} = 0.07 \text{ mm}$ であり、粒子の

大いさは 2 区分であるから $2r$ の係数は $\frac{10}{2} = 5$ となる。

$$N_9 = \frac{5.77 \times 9.3}{5 \times 0.07} = 153/\text{mm}^3$$

$$N_{10} = -\frac{1.57 \times 9.3}{5 \times 0.07} + \frac{10 \times 57.8}{5 \times 0.07} = 1,610/\text{mm}^3$$

(ii) 試料 H_2 :

試料 H_1 と同様にして

$$N_9 = \frac{5.77 \times 27.1}{5 \times 0.07} = 446/\text{mm}^3$$

$$N_{10} = -\frac{1.54 \times 27.1}{5 \times 0.07} + \frac{10 \times 37.6}{5 \times 0.07} = 961/\text{mm}^3$$

(iii) 試料 H_3 :

第 7 表 試料の黒鉛粒に相当する円の直径
Table 7. Diameters of Circles Having the Same Areas with Temper Carbon Observed by Photomicrograph

大いさの記号	黒鉛粒の大きさ mm^2	粒の直径 mm
A	0.28	0.6
B	0.40	0.7
C	0.78	1.0
D	1.1	1.2
E	4.7	2.7
F	9.5	3.5
G	19.5	5.0
H	27.0	6.0

粒子の最大直径は $\frac{4}{30} = 0.13 \text{ mm}$ であり、粒子の

大いさは 4 区分であるから係数は $\frac{10}{4} = \frac{5}{2}$ である。

$$N_7 = 3.78 \times \frac{2}{5} \times \frac{2.2}{0.13} = 26/\text{mm}^3$$

$$N_8 = -1.39 \times \frac{2}{5} \times \frac{2.2}{0.13} + 4.47 \times \frac{2}{5} \times \frac{7.6}{0.13} = 95/\text{mm}^3$$

$$N_9 = -0.4 \times \frac{2}{5} \times \frac{2.2}{0.13} - 1.53 \times \frac{2}{5} \times \frac{7.6}{0.13} + 5.77 \times \frac{2}{5} \times \frac{22.7}{0.13} = 347/\text{mm}^3$$

$$N_{10} = -0.13 \times \frac{2}{5} \times \frac{2.2}{0.13} - 0.35 \times \frac{2}{5} \times \frac{7.6}{0.13} - 1.54 \times \frac{2}{5} \times \frac{22.7}{0.13} + 10 \times \frac{2}{5} \times \frac{24.4}{0.13} = 634/\text{mm}^3$$

(iv) 試料 H_4 :

H_3 と同様にして、

$$N_7 = 3.78 \times \frac{2}{5} \times \frac{5.8}{0.13} = 68/\text{mm}^3$$

$$N_8 = -1.39 \times \frac{2}{5} \times \frac{5.8}{0.13} + 4.47 \times \frac{2}{5} \times \frac{10.2}{0.13} = 115/\text{mm}^3$$

第 8 表 粒子の大いさ区分

Table 8. Sizes of Nodules

大いさの記号	H	G	F	E	D	C+B+A
粒の直径 (mm)	6~5	5~4	4~3	3~2	2~1	1 以下
半径記号	$r_5 \sim r_6$	$r_6 \sim r_7$	$r_7 \sim r_8$	$r_8 \sim r_9$	$r_9 \sim r_{10}$	r_{10} 以下

(粒径は 30 倍率の値を示す)

第9表 黒鉛粒子の分布

Table 9. Number of Nodules per mm² in Each Sample

Z=30 倍率の顕微鏡視野 45×45mm² における黒鉛粒数

n=真の単位面積 (1mm²) における黒鉛粒数

直径 粒数	6~5 mm		5~4 mm		4~3 mm		3~2 mm		2~1 mm		1 mm 以下	
	z ₅	n ₅	z ₆	n ₆	z ₇	n ₇	z ₈	n ₈	z ₉	n ₉	z ₁₀	n ₁₀
H ₁									21	9.3	130	57.8
H ₂									61	27.1	85	37.8
H ₃					5	2.2	17	7.6	51	22.7	55	24.4
H ₄					13	5.8	23	10.2	20	8.9	40	17.8
H ₅			4	1.8	10	4.4	17	7.6	20	8.9	20	8.9
H ₆			5	2.2	12	5.3	15	6.7	19	8.4	20	8.9
B ₁							2	0.9	75	33.3	160	71.1
B ₂							15	6.7	52	23.1	105	46.7
B ₃					3	1.3	15	6.7	45	20.0	60	26.7
B ₄			2	0.9	4	1.8	16	7.1	21	9.3	40	17.8
B ₅			3	1.3	6	2.7	10	4.4	13	5.8	30	13.3
B ₆			4	1.8	6	2.7	8	3.6	15	6.7	10	4.4
C ₁							3	1.3	49	21.8	210	93.3
C ₂							20	8.9	31	13.7	98	43.6
C ₃			3	1.3	9	4.0	12	5.3	15	6.7	19	8.4
C ₄					7	3.1	16	7.1	31	13.7	78	34.7
C ₅			3	1.3	8	3.6	14	6.2	14	6.2	41	18.2
C ₆	2	0.9	2	0.9	9	4.0	7	3.1	5	2.2	6	2.7
C ₇					9	4.0	17	7.6	16	7.1	43	19.1
C ₈			3	1.3	9	4.0	15	6.7	6	2.7	15	6.7
C ₉	4	1.8	2	0.9	6	2.7	5	2.2	2	0.9	4	1.8

註：n=Z÷45²/30²

$$N_9 = -0.41 \times \frac{2}{5} \times \frac{5.8}{0.13} - 1.53 \times \frac{2}{5} \times \frac{10.2}{0.13} + 5.77 \times \frac{2}{5} \times \frac{8.9}{0.13} = 100/\text{mm}^3$$

$$N_{10} = -0.13 \times \frac{2}{5} \times \frac{5.8}{0.13} - 0.35 \times \frac{2}{5} \times \frac{10.2}{0.13} - 1.54 \times \frac{2}{5} \times \frac{8.9}{0.13} + 10 \times \frac{2}{5} \times \frac{17.8}{0.13} = 492/\text{mm}^3$$

(v) 試料 H₅ :

最大粒子の直径は $\frac{5}{30} = 0.17 \text{ mm}$, 5 区分であるか

ら係数は $\frac{10}{5} = 2$ となる。

$$N_6 = 3.38 \times \frac{1.8}{2 \times 0.17} = 18/\text{mm}^3$$

$$N_7 = -\frac{1.21 \times 1.8}{2 \times 0.17} + \frac{3.78 \times 4.4}{2 \times 0.17} = 55/\text{mm}^3$$

$$N_8 = -\frac{0.47 \times 1.8}{2 \times 0.17} - \frac{1.39 \times 4.4}{2 \times 0.17} + \frac{4.47 \times 7.6}{2 \times 0.17} = 82/\text{mm}^3$$

$$N_9 = -\frac{0.17 \times 1.8}{2 \times 0.17} - \frac{0.41 \times 4.4}{2 \times 0.17} - \frac{1.53 \times 7.6}{2 \times 0.17} + \frac{5.77 \times 8.9}{2 \times 0.17} = 111/\text{mm}^3$$

$$N_{10} = -\frac{0.05 \times 1.8}{2 \times 0.17} - \frac{0.13 \times 4.4}{2 \times 0.17} - \frac{0.35 \times 7.6}{2 \times 0.17} - \frac{1.54 \times 8.9}{2 \times 0.17} + \frac{10 \times 8.9}{2 \times 0.17} = 212/\text{mm}^3$$

(vi) 試料 H₆ :

H₅ と同様にして計算される。

さらに第3表の試料 B₁~B₆ 及び第5表の試料 C₁~C₉ について、夫々の N を求めると第10表の通りになる。表記の N₅~N₁₀ はそれぞれ 0.2, 0.17, 0.13, 0.10, 0.07, 0.03mm なる真の直径を有する黒鉛粒子の単位容積内の数である。

第10表 単位容積(1mm³)内の黒鉛粒数
Table 10. Number of Nodules per mm³
in Each Sample

試料 No.	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	N ₉	N ₁₀	合計
H ₁					153	1610	1763
H ₂					446	961	1407
H ₃			26	95	347	634	1102
H ₄			68	115	100	492	775
H ₅		18	55	82	111	212	478
H ₆		22	51	63	105	215	456
B ₁				12	573	1978	2563
B ₂				90	369	1287	1746
B ₃			15	84	324	719	1142
B ₄		9	17	85	123	473	707
B ₅		13	25	45	75	359	517
B ₆		18	24	34	93	94	263
C ₁				17	372	2697	3086
C ₂				120	196	1238	1554
C ₃		13	40	52	84	210	399
C ₄			36	84	206	994	1320
C ₅		13	39	65	72	499	688
C ₆	8	6	41	23	23	66	167
C ₇			46	88	85	543	762
C ₈		13	40	70	10	176	309
C ₉	16	3	25	17	1	46	108

第8表から半径 $r_5 \sim r_{10}$ の各粒子の容積を計算して、第10表の単位容積内の粒数 $N_5 \sim N_{10}$ を用い、各試料における黒鉛粒子の平均大いさを求めると第11表を得る。ただし、ここには第1表～第5表の数値と比較するために、顕微鏡の倍率に合わせて粒子の直径を30倍にとり、 $2r_5, 2r_6, \dots, 2r_{10}$ をそれぞれ6, 5, \dots 1mmとした。いま第11表の容積法による結果と、第1表～第5表の面積法による結果とを、比較して図示すると第35図～第38図となる。図において実線は容積法を、点線は面積法を表わす。いずれの図においても容積法は面積法よりも曲線の変化の程度が当然大きく現われておるが、その変化の傾向は両者とも同様である。たとえば第35図における第一段焼鈍温度の保持時間と黒鉛粒子の大いさとの関係は、容積法及び面積法による両曲線とも保持時間の延長に従って粒子の大いさが増すが保持時間4hrからほぼ一定になる。

全試料について容積法による黒鉛粒の大いさ V と面積法によるその大いさ A との比を求めると、第12表の如く大体一定の比を有し、前者は後者の約2倍である。また容積法から得た単位容積内の粒数 N_v と、研磨面の

第11表 単位容積当りの黒鉛容積(mm³)
Table 11. Total Volume of Nodules Per
mm³ and their Mean Volume
in Each Sample

試料 No.	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉	V ₁₀	計	粒数	平均 大いさ
H ₁					641	843	1484	1763	0.8
H ₂					1878	503	2381	1407	1.7
H ₃			871	1343	1454	332	4000	1102	3.6
H ₄			2279	1626	419	258	3905	775	5.0
H ₅		1178	1843	1159	465	111	4756	478	9.9
H ₆		1440	1709	891	440	113	4593	456	10.0
B ₁				170	2400	1036	3606	2563	1.4
B ₂				1272	1546	674	3492	1746	2.0
B ₃			503	1187	1357	376	3423	1142	3.0
B ₄		589	570	1202	515	248	3124	707	4.4
B ₅		851	838	636	314	188	2827	517	5.5
B ₆		1178	804	481	390	49	2902	263	11.0
C ₁				240	1558	1412	3210	3086	1.0
C ₂				1696	821	648	3165	1554	2.0
C ₃		851	1340	735	352	110	3388	399	8.5
C ₄			1206	1187	863	520	3776	1320	2.8
C ₅		851	1307	919	302	261	3640	688	5.3
C ₆	905	393	1374	325	96	35	3128	167	18.7
C ₇			1541	1244	356	284	3425	762	4.5
C ₈		851	1340	990	42	92	3315	309	10.7
C ₉	1810	196	838	240	4	24	3112	108	30.6

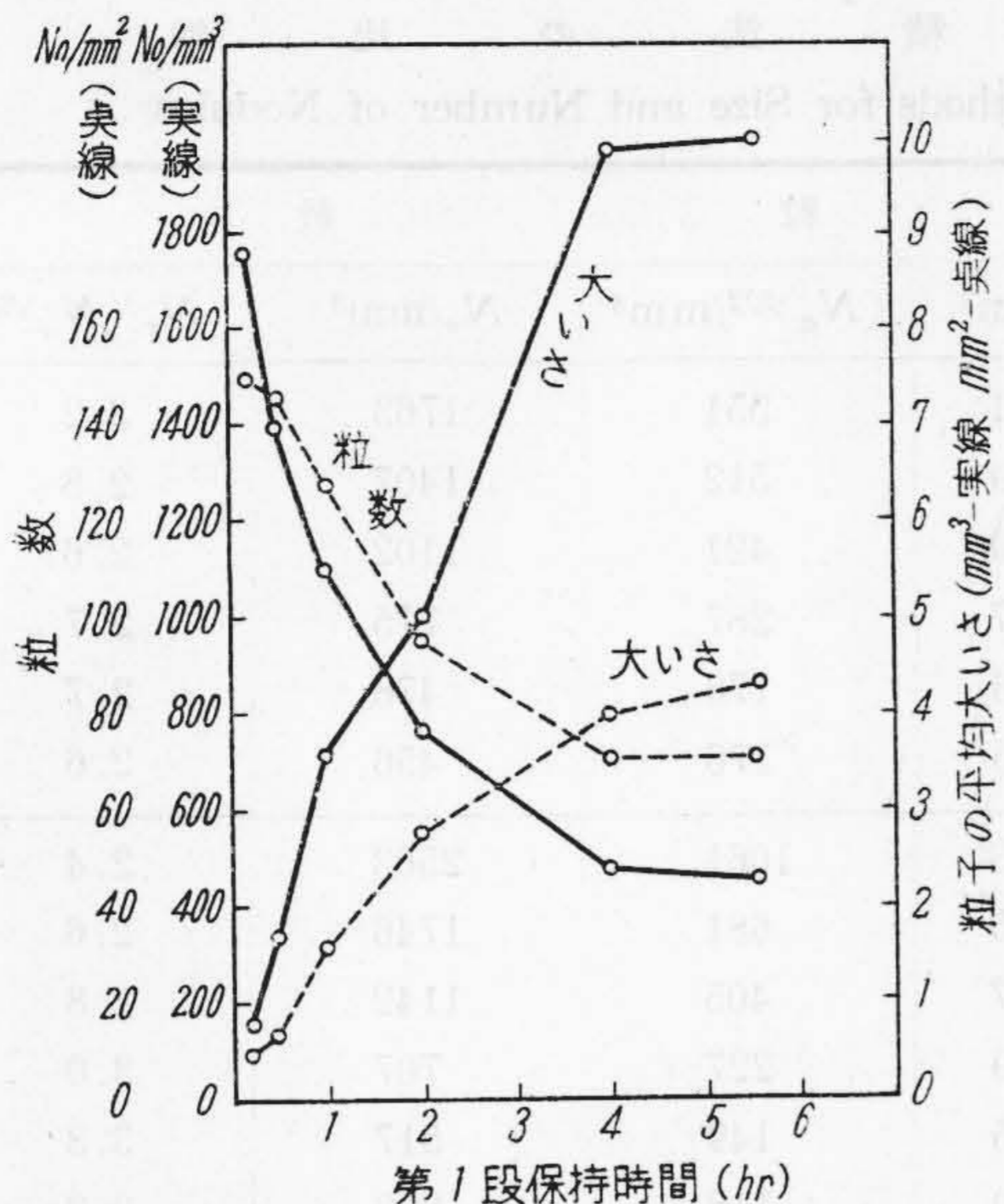
単位面積内の粒数 N_a から算出した単位容積内の粒数 $(N_a)^{3/2}$ との比を求めると、第12表の如く、やはりほぼ一定の比を有し、前者は後者の約3倍である。

このように $V:A$ 及び $N_v:(N_a)^{3/2}$ はつねに一定の比を有するから、焼鈍炭素の大いさ及びその数の大小を比較するためには、面倒な計算を要する容積法によるまでもなく、筆者が本実験に行つた如く、かんたんに顕微鏡下に見られる焼鈍炭素の面積及びその粒数をもつて表わしても、実際上にはなんら支障ないことが明かに知られる。

[VI] 結 言

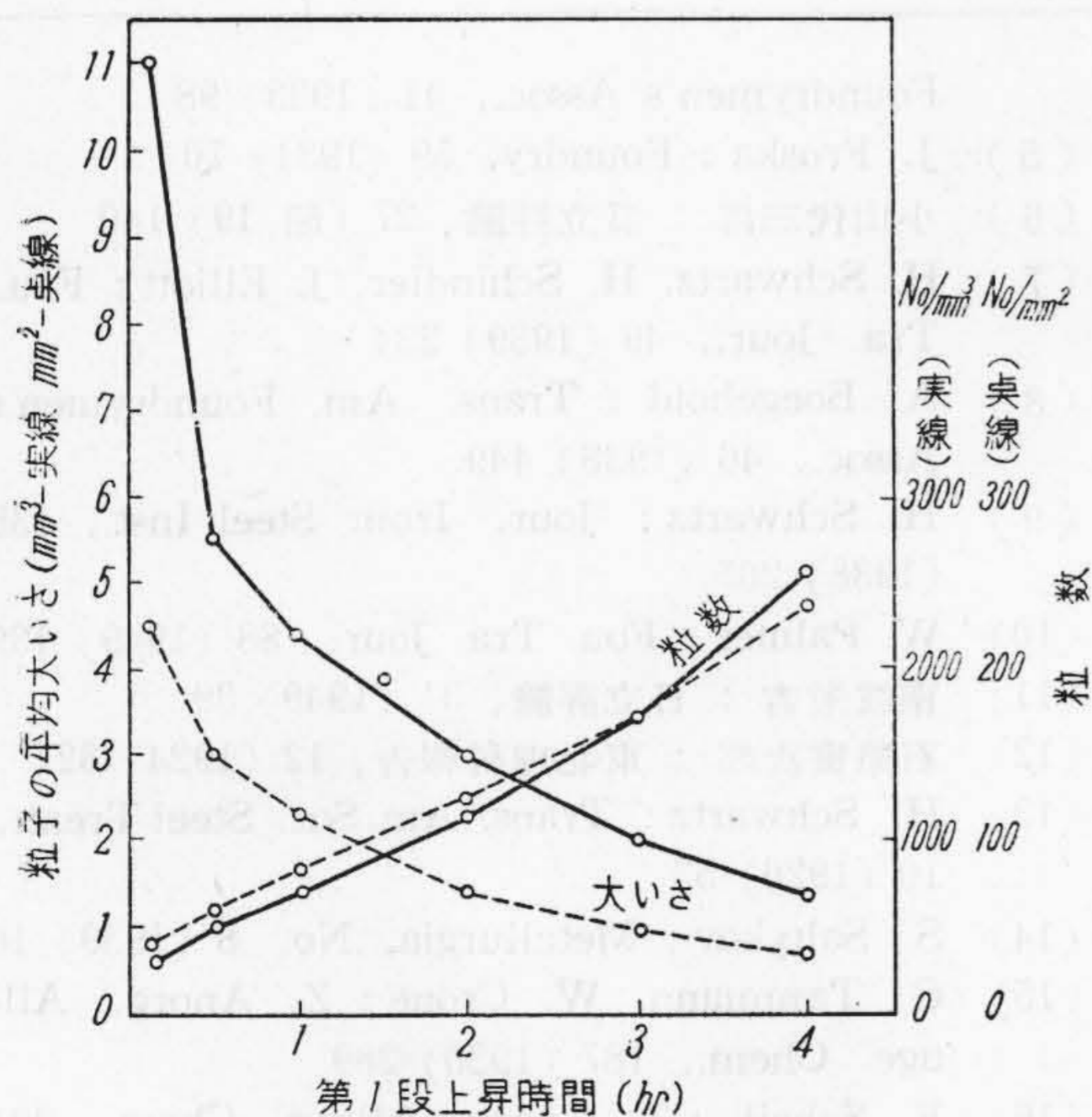
以上の結果を総括すると下記の通りである。

- (1) 第一段焼鈍時間の経過とともに黒鉛粒が成長するが、粒子の数は昇温開始から第一段黒鉛化の初期までに増加し、それ以後は粒子の成長が行われる。
- (2) 第一段焼鈍温度に達するまでの加熱速度を増すに従い、黒鉛粒が大きくなり粒子の数が減少する。
- (3) 白銑の肉厚の大小による黒鉛粒の大いさの差異は



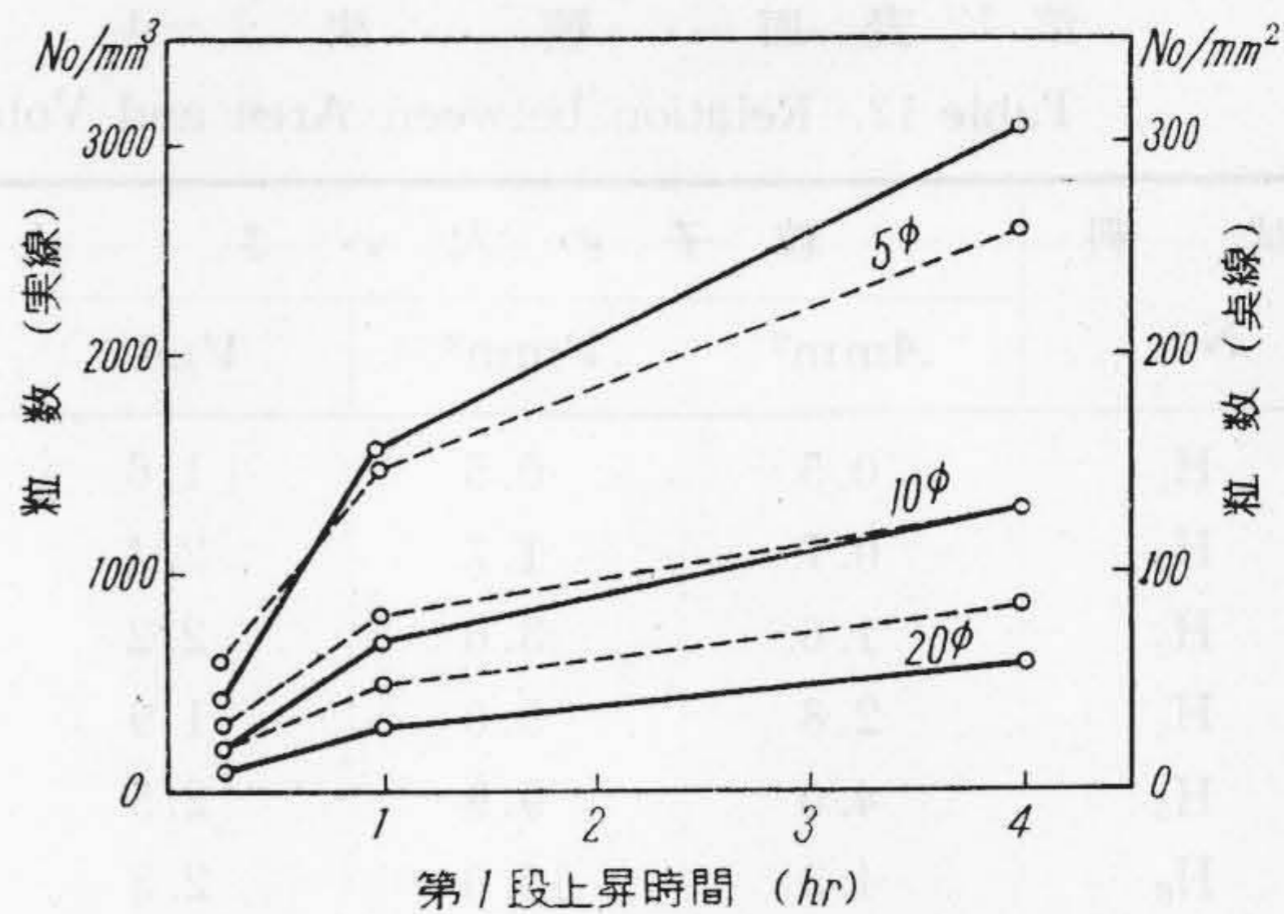
第 35 図 面積法と容積法による第 1 段焼鈍時間と黒鉛粒子の大きさとの関係

Fig. 35. Changes in Nodule Number and Size of Temper Carbon with The Annealing Time at the First Stage of Graphitization, Represented by Area (dotted line) and Volume (full line) Methods



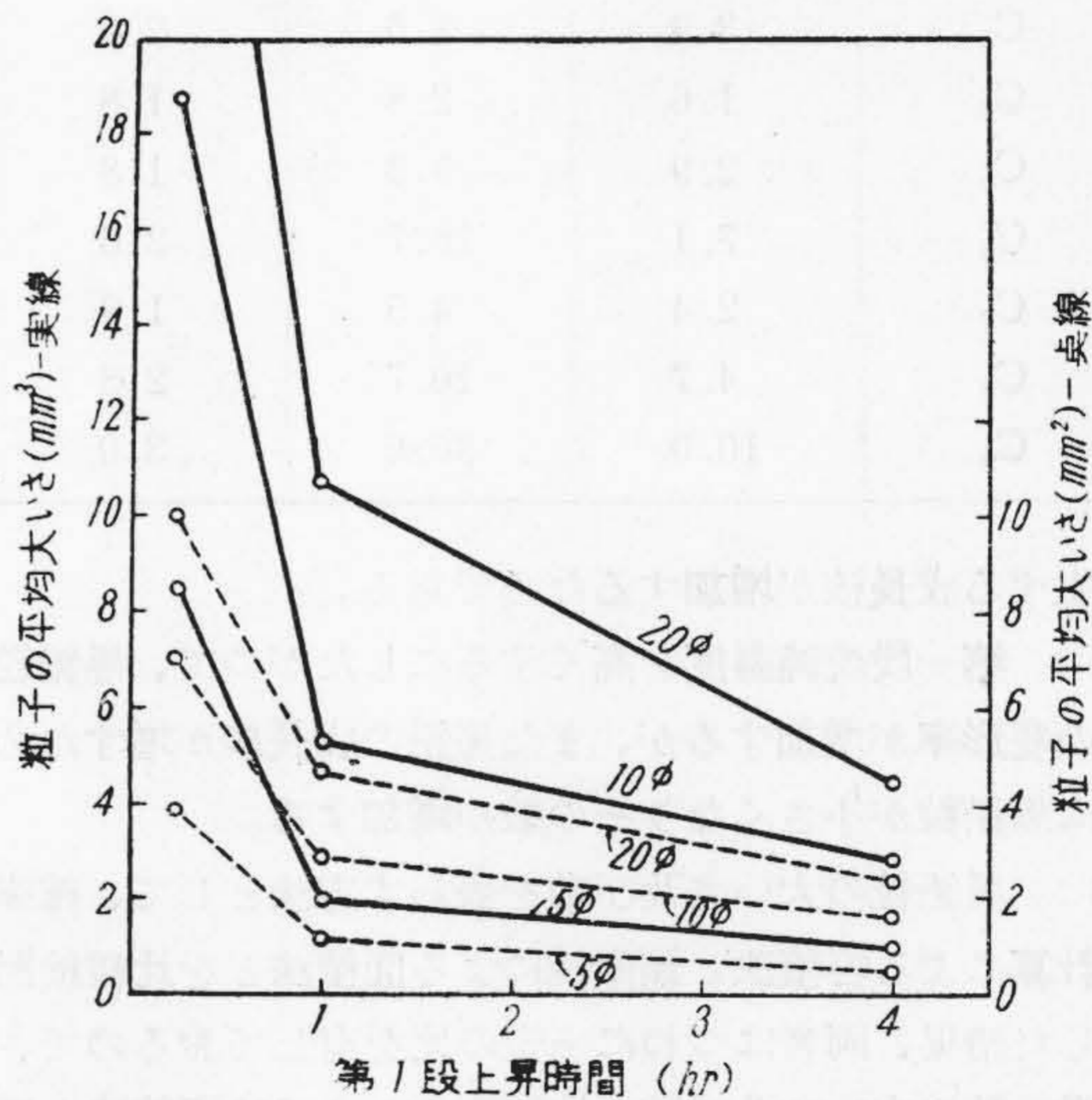
第 36 図 面積法と容積法による加熱速度と黒鉛粒子の大きさとの関係

Fig. 36. Effect of Heating Rate on Number and Size of Temper Carbon, represented by Area (dotted line) and Volume (full line) Methods



第 37 図 面積法と容積法による異径試料の加熱速度と黒鉛粒数との関係

Fig. 37. Effect of Heating Rate on Number of Temper Carbon after the 1st-Stage of Graphitization for Test-pieces with Different Diameters, Represented by Area (dotted line) and Volume (full line) Methode



第 38 図 面積法と容積法による異径試料の加熱速度と黒鉛粒の大きさとの関係

Fig. 38. Effect of Heating Rate on Size of Temper Carbon after the 1st-Stage of Graphitization for Test-pieces with Different Diameters, Represented by Area (dotted line) and Volume (full line) Methods

加熱速度をおそくするにしたがつて減少する。
 (4) 加熱速度がおそいほど黒鉛粒がこまかくなりその数が増加する理由は、加熱速度の減少とともに黒鉛核の発生割合の大きい温度範囲を徐熱されるために核の生成が増すとともに、第一段焼鈍温度に達するまでに

第12表面積法と容積法の比較

Table 12. Relation between Area and Volume Methods for Size and Number of Nodules

試料 No.	粒子の大きさ			粒数			
	A_{mm^2}	V_{mm^3}	V/A	N_a/mm^2	$(N_a)^{3/2}/mm^3$	N_v/mm^3	$N_v/(N_a)^{3/2}$
H ₁	0.5	0.5	1.6	67.1	551	1763	3.2
H ₂	0.7	1.7	2.4	64.9	512	1407	2.8
H ₃	1.6	3.6	2.2	56.9	421	1102	2.6
H ₄	2.8	5.0	1.9	42.7	287	775	2.7
H ₅	4.0	9.9	2.5	31.6	176	478	2.7
H ₆	4.3	10.0	2.3	31.5	176	456	2.6
B ₁	0.7	1.4	2.0	105.3	1061	2563	2.4
B ₂	1.0	2.0	2.0	76.5	681	1746	2.6
B ₃	1.4	3.0	2.1	54.7	405	1142	2.8
B ₄	2.3	4.4	1.9	36.9	227	707	3.0
B ₅	3.0	5.5	1.8	27.5	149	517	3.3
B ₆	4.5	11.0	2.4	19.0	118	263	2.2
C ₁	0.6	1.0	1.7	116.4	1260	3086	2.4
C ₂	1.2	2.0	1.7	66.2	531	1554	2.9
C ₃	3.9	8.5	2.2	25.7	133	399	3.0
C ₄	1.6	2.8	1.8	58.6	457	1320	2.9
C ₅	2.9	5.3	1.8	35.5	216	688	3.2
C ₆	7.1	18.7	2.6	13.8	51	167	3.3
C ₇	2.4	4.5	1.9	37.8	238	762	3.2
C ₈	4.7	10.7	2.3	21.4	97	309	3.2
C ₉	10.0	30.0	3.0	10.3	33	108	3.3

生ずる成長核が増加するためである。

(5) 第一段焼鈍温度を高くするにしたがつて、黒鉛粒の変形率が増加するが、また黒鉛の成長核が増すために黒鉛粒が小さくなりその数が増加する。

(6) 黒鉛粒の大きさ及び数を表わす方法として、確率計算による容積法と顕微鏡による面積法とを比較検討した結果、両者はつねに一定の比を有しておるので、黒鉛粒の大きさ及び数を比較するためには面積法を採用しても実際には支障ない。

本実験に御援助をいただいた山田氏、小林氏、及び日立深川工場の各位に深謝の意を表す。

参考文献

- (1) W. Hatfield : Royal Society, A. 135 (1911)
- (2) 斎藤・沢村 : Memo. College. Eng. Kyoto Imp. Univ., 5 (1927) 2.
- (3) H. Schwartz, H. Johnson, C. Junge : Trans. Am. Soc. Steel Treat., A. 17 (1930) 383.
- (4) A. White, R. Schneidewind : Trans. Am.

- Foundrymen's Assoc., 41 (1933) 98
- (5) J. Fruska : Foundry, 59 (1931) 70
- (6) 小山代三郎 : 日立評論、27 (昭 19) 140
- (7) H. Schwartz, H. Schindler, J. Elliott : Fou. Tra. Jour., 49 (1939) 234
- (8) A. Boegehold : Trans. Am. Foundrymen's Assoc., 46 (1938) 449.
- (9) H. Schwartz : Jour. Iron. Steel Inst., 138 (1938) 205
- (10) W. Palmer : Fou. Tra. Jour., 88 (1949) 139
- (11) 南波栄吉 : 日立評論、31 (1949) 39
- (12) 石原寅次郎 : 東北理科報告、12 (1924) 327
- (13) H. Schwartz : Trans. Am. Soc. Steel Treat., 10 (1926) 53
- (14) S. Saltykov : Metallurgia, No. 8 (1939) 10
- (15) G. Tammann, W. Crone : Z. Anorg. All-uge. Chem., 187 (1930) 289
- (16) E. Scheil : Z. Anorg. Alluge. Chem., 201 (1931) 259
- (17) H. Schwartz : Metals and Alloys, 5 (1934) 139