

鐵鋼中に於ける諸元素の擴散に就て (第 II 報)

Si 及 P の擴散に就て

(日本鐵鋼協會第 28 回講演大會講演 昭和 17. 10. 東京)

上 村 勝 二*

DIFFUSION OF ELEMENTS IN SOLID IRON AND STEEL (II)

Katsumi Uemura

SYNOPSIS:—In the present investigation the coefficient of diffusion of silicon and phosphorus in solid iron were measured and the effects of carbon on this coefficient studied.

The results obtained were summarized as follows;

- 1) The coefficient of diffusion of silicon is 7×10^{-5} sq. cm. per day at 1000°C ; 15×10^{-5} at 1050°C ; 35×10^{-5} at 1100°C ; and 56×10^{-5} at 1050°C .
- 2) The coefficient of diffusion of phosphorus is 9×10^{-5} sq. cm. per day at 1050°C ; 21×10^{-5} at 1100°C ; 33×10^{-5} at 1150°C ; and 70×10^{-5} at 1200°C .
- 3) Both coefficients of diffusion of silicon and phosphorus increase appreciably when diffused simultaneously with carbon in the same direction, while they decrease markedly in the opposite direction.
- 4) The heat of diffusion which was determined graphically from the variation of coefficient of diffusion with temperature is 48,200 cal. per gram atom for silicon and 52,300 for phosphorus. These value are in accordance with the Dushman-Langmuir equation.
- 5) The diffusion equation may be written:

$$D_{\text{Si-}\gamma\text{Fe}} = 18,000.e^{-\frac{48,200}{RT}}$$

$$D_{\text{P-}\gamma\text{Fe}} = 42,000.e^{-\frac{52,300}{RT}}$$

for silicon and phosphorus, respectively, in which D is the diffusion coefficient, in sq. cm. per day, e the base of the natural logarithms, R the gas constant and T the absolute temperature.

I. 緒 言

鋼塊中で偏析した Si 及 P, 特に後者がソーキングによつて容易に均一化しないことは, よく知られてゐる事實であり, その原因は現在では P の擴散する速度の小なるがためであると一般に考へられてゐる。

鐵鋼中に於ける Si 及 P の擴散を研究し, 兩元素の擴散係數を測定したものは從來より極めて少く, 僅に Si に就ては, A. Fry¹³ が電解鐵と約 20% の Si を含む珪素鐵とを接觸せしめたものを 960°C 及 1150°C に加熱して求めた, Si 濃度と擴散深度との關係曲線より, G. E. Clausen¹⁴ がその擴散係數を計算したもの, 又 P に就ては A.¹⁵ Bramley と A. T. Cooper が電解鐵を水素 90% 燐化水素 10% の混合ガス中で 1h 加熱して, その表皮約 0.05mm 厚の部分に約 20% の P を含有せしめ, これを再び 950°C , 1000°C 及 1040°C 等の溫度に加熱し, 表皮部の P を内部に擴散せしめて, P の擴散係數を求めたものがあるに過ぎない。

よつて著者は Si 及 P がそれぞれ個々單獨に, 或は C と同時に同方向に, 又は反對方向に擴散する場合等に就て實驗を行ひ, これら兩元素の擴散係數, 擴散熱及これらに及ぼす C の影響, 並びに C の擴散係數に及ぼす Si 及 P の影響等を測定調査し, 併せて鋼塊中で偏析した P の均一化し難い原因が, はたして今日一般に考へられてゐる如く, その擴散係數の小なるがためであるか, 若しくはその他の原因によるものなるかを調べて見ることにした。

II. 實驗材料

實驗には第 5 表に掲げたやうな組成の鋼を用ひた。

第 5 表 實驗材料

試 料	Si%	P%	C%
Si 1~ 4	1.749	—	0.037
Si 5	1.997	—	0.046
Si 6~ 9	1.836	—	0.138
Si 10~13	2.067	—	0.491
P 1~ 8	—	0.158	0.069
P 9~12	—	0.169	0.279
P 13~16	—	0.194	0.730

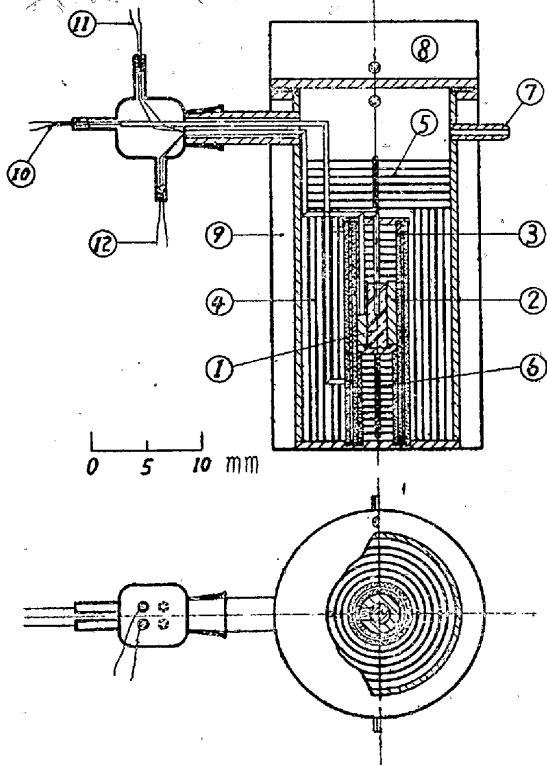
これらは何れも電解鐵に約 45% Si の珪素鐵, 若しくは約 20% P の燐鐵, 或は又木炭粉を加へて, 高周波誘導電

* 大阪帝國大學工學部冶金學教室

氣爐を用ひて、熔解 鍛造後、燒準したものである。

III. 實驗方法、擴散係數及擴散熱の算出

實驗方法：擴散係數及擴散熱の算出方法は第I報¹⁶⁾で述べたと同様である。但し Si 及 P は C に比較すれば、著しく擴散し難い元素であるが故に鍍鐵層の表面までこれらの元素を相當量擴散せしめて、分析値の正確を期するためには高温度で、しかも長時間擴散加熱を行ふことが必要となる。従つて第I報第2圖で示したやうな、C の擴散に用ひた装置では不十分であり、本實驗に於ては第9圖に示したやうな特殊の爐を考案作製して作用した。



- | | |
|----------------|---------------------------|
| ①……試片 | ⑩……電源へ |
| ②……鐵管 | ⑪……白金-白金・ロヂウム熱電對、自動温度調節器へ |
| ③……アルミナ製耐火管 | ⑫……白金-白金・ロヂウム熱電對、温度記錄計へ |
| ④⑤⑥……輻射放熱防止用鐵板 | |
| ⑦……真空ポンプへ | |
| ⑧⑨……水套 | |

第 9 圖
高温擴散用爐

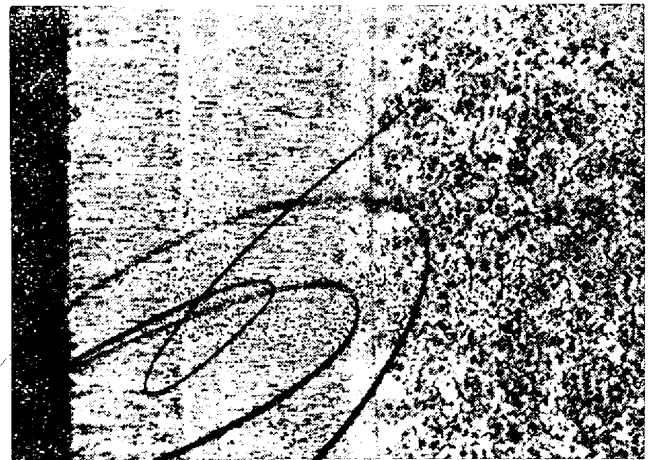
爐の構造は、圖示したやうに、上部約 2/3 だけの部分に幅 2 mm 厚さ 0.1 mm 長さ 5 m の白金リボンを捲いた、アルミナ製耐火管③を軟鋼製容器内に納め、これに軟鋼の蓋をしたものであつて、兩者の間にはグリースを塗つたゴムパッキングを挟んで、爐内の真空を保つた。試片①は上記の耐火管の白金リボンを捲いた部分の中央部に位置するやうに、耐火管中に納めた。試片と耐火管の内壁との間に

は、よく磨いた軟鋼管②を、又試片の上下には、よく研磨した數枚の薄鐵板⑥を、5 mm 位の間隔に耐火管中に配列して、試片の均一加熱を計つた。次に白金リボンを捲いた耐火管の外側には、今一つの耐火管を入れ、これと容器内壁及蓋との間にも、同様よく研磨した薄鐵板④及⑤を置いて、輻射放熱を防いだ。又特に高温度の擴散加熱の場合には、爐の周圍及蓋の上部にとりつけた水套⑧及⑨中に水道水を通して、ゴムパッキングに塗つたグリースの軟化するのを防止した。

上述の如き工夫をほどこすことによつて、爐内を高度の真空に保ち得るは勿論、試片を十分均一に加熱することが出来ると同時に、輻射による熱損失は勿論、傳導による熱損失をも減少し得るのであつて、500 Wh 位の電力で、容易に試片を 1200~1300°C の温度に、しかも ±2°C 以内の精度の下に長時間保持することが出来る。

尚 本實驗の場合の擴散加熱の温度は Si に対しては 1000~1150°C, P に対しては 1050~1200°C の範圍で、何れもオーステナイトの領域を選んだ。又寫眞第 13~17

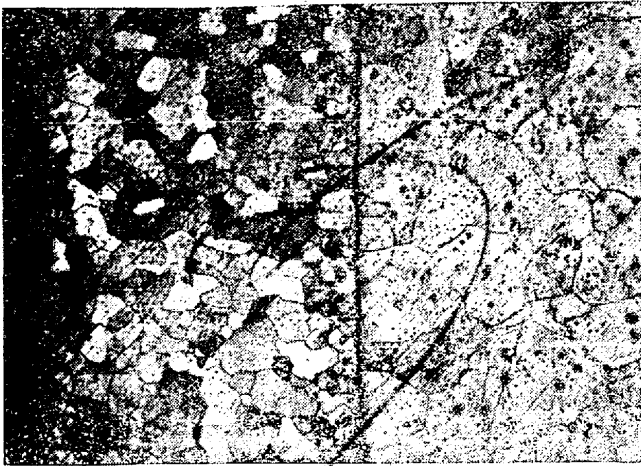
顯微鏡組織 ×70



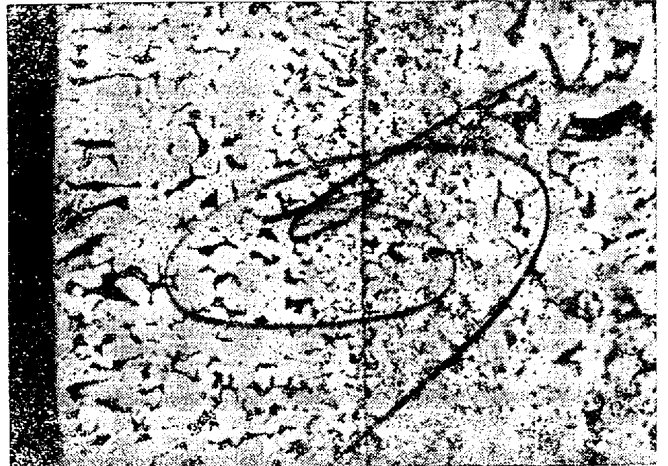
寫眞第 13 試料 Si 6 擴散前



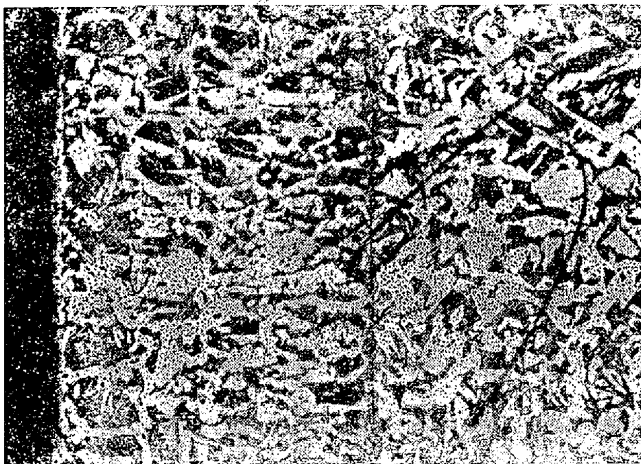
寫眞第 14 試料 Si 5 擴散前 920°C 1h 滲炭



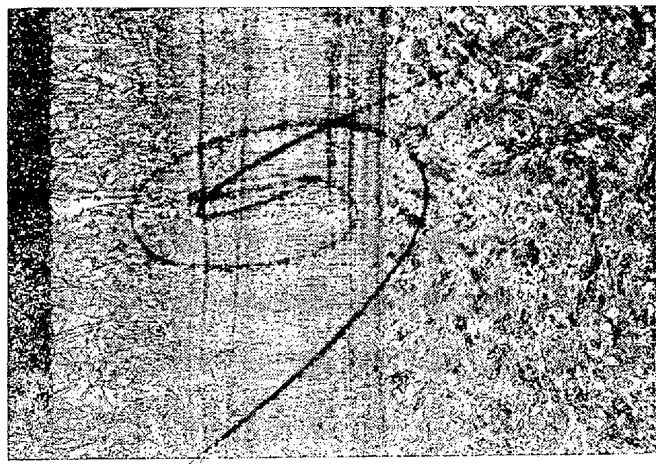
寫眞第 15 試料 Si 2 1050°C 1.8 日



寫眞第 16 試料 Si 8 1100°C 1 日



寫眞第 17 試料 Si 12 1100°C 1 日



寫眞第 18 試料 P 15 擴散前



寫眞第 19 試料 P 4 1150°C 1 日



寫眞第 20 試料 P 14 1100°C 2 日

に Si 第 18~20 に P の擴散加熱前、及後の試片の顯微鏡組織の數例を掲げた。

IV. 實驗結果

1. Si

擴散係數：第 6 表は測定した Si の擴散係數と、これが

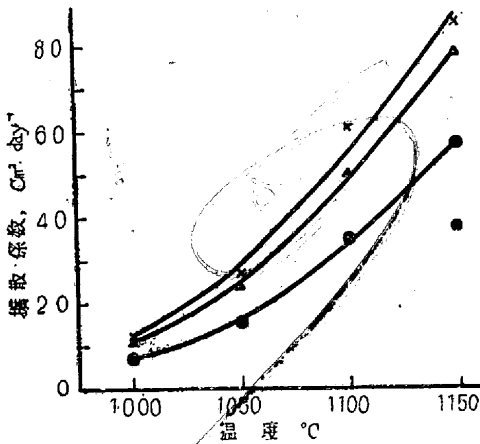
算出に用ひた諸實驗値を、又第 10 圖は擴散係數と溫度との關係、並に擴散係數に及ぼす C の影響を示したものである。

圖表から明かなやうに、Si の擴散係數は、溫度の上昇に従つて著しく大となり、その値は A. Fry の實驗結果から G. E. Claussen が計算したものよりも相當小さい。又これを C の擴散係數に比較すれば、 10^{-2} の程度である。又 C と

第6表 Si の擴散係數とこれが算出に用ひた諸實驗値

試料 番號	溫度 °C	時間 h × 10 ³ day	x × 10 ³ cm	C _r 原子 百分率	C ₀ 原子 百分率	擴散係數 × 10 ⁵ cm ² day ⁻¹	
Si 1	1000	2.5	4.884	7.68	0.060	3.405	7.2
Si 2	1050	1.8	4.917	5.15	0.140	"	15.3
Si 3	1100	1.0	4.860	7.46	0.212	"	35.0
Si 4	1150	0.8	4.972	4.87	0.358	"	55.7
Si 5	1150	0.75	4.861	5.55	0.191	3.897	38.6
Si 6	1000	2.2	4.941	5.01	0.099	3.571	10.9
Si 7	1050	2.0	5.002	5.12	0.395	"	23.9
Si 8	1100	1.0	4.931	5.85	0.455	"	50.0
Si 9	1150	1.0	4.905	6.99	0.940	"	78.0
Si 10	1000	2.2	4.522	5.10	0.216	3.961	12.0
Si 11	1050	2.0	4.503	7.75	0.724	"	27.1
Si 12	1100	1.0	5.080	3.97	0.570	"	60.7
Si 13	1150	0.5	4.872	6.47	0.635	"	85.0

A. Fry, G. E. Claussen
 960°C.....65.0 × 10⁻⁵ cm²·day⁻¹
 1150°C.....125.0 × 10⁻⁵ cm²·day⁻¹



● 試料 Si 1~4
 ▲ 試料 Si 6~9
 + 試料 Si 10~13
 ■ 試料 Si 5~擴散前 920°C 1h. 滲炭

第10圖 Si 擴散係數と溫度との關係

その顯微鏡組織を示した如く、木炭 60%、炭酸バリウム 40% の滲炭剤を用ひて、920°C で 1h 滲炭した後、1150°C の溫度で 0.75 日間擴散させた。その結果、この場合の Si の擴散係數は、38.6 × 10⁻⁵ cm²·day⁻¹ であつて、これをこれと同溫度の試料 Si 4 の 55.7 × 10⁻⁵ cm²·day⁻¹ に比較すれば、擴散係數は相當小さくなり、尙 C と同方向に擴散する場合の試料 Si 9 及 13 の 78.0、及 85.0 × 10⁻⁵ cm²·day⁻¹ に比較すれば更に小さい。即ち Si は C と同時に同方向に擴散すれば、擴散し易くなるが、反對方向の場合はし難くなる。

次 C への擴散に及ぼす Si の影響を調べる目的で、曩に Si の擴散係數を求めた試料 Si 10~13 に就て、C の擴散係數をも調べて見た。寫眞第 17 はその顯微鏡組織の 1 例を示したもので、前述したやうに、C は Si より著しく擴散し易い元素であるが故に、電解鐵中へは、元の鋼中の C 濃度近くまで擴散してゐることが解る。この場合の C の擴散係數は、第 7 表及第 12 圖の擴散係數の對數と、絶對溫度の逆數との關係圖に示したやうに試料 Si 13 を除いては、略第 I 報の 0.334% C 鋼中に於ける C の擴散係數の對數と、絶對溫度の逆數との關係直線の延長線上に位置するのであつて、従つて C の擴散は Si によつて影響を受けないといへる。

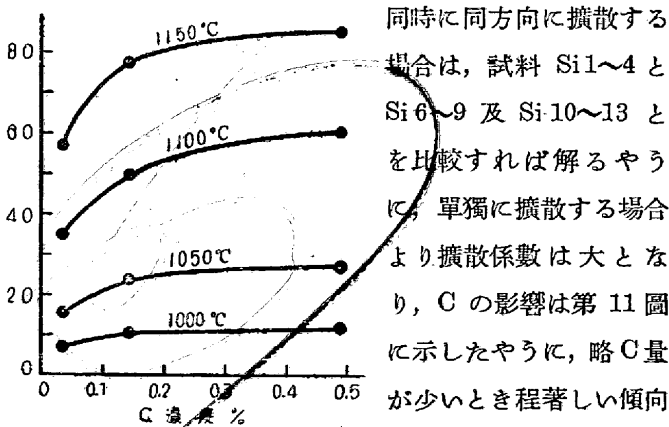
第7表 Si と同時に擴散する場合の C の擴散係數と、これが算出に用ひた諸實驗値

試料 番號	溫度 °C	時間 h × 10 ² day	x × 10 ³ cm	C _c %	C ₀ %	擴散係數 × 10 ⁴ cm ² ·day ⁻¹	
Si 10	1000	2.2	4.522	5.10	0.424	0.491	1580
Si 11	1050	2.0	4.503	7.75	0.446	"	3790
Si 12	1100	1.0	5.080	3.97	0.433	"	6000
Si 13	1150	0.5	4.872	6.47	0.349	"	1860

擴散熱：上記の擴散係數の對數と、絶對溫度の逆數との間には第 12 圖に示したやうに、略直線的の關係が成り立つので、第 I 報で述べた如く、この直線の勾配から擴散熱を求めて見た。第 8 表にその値を示す。

この値は C に比較すれば遙に大きく、Si は C より擴散し難いことは、これからでもよく解る、又この値は G. E. Claussen の求めた擴散係數から、著者が計算したものよりも著しく高い。

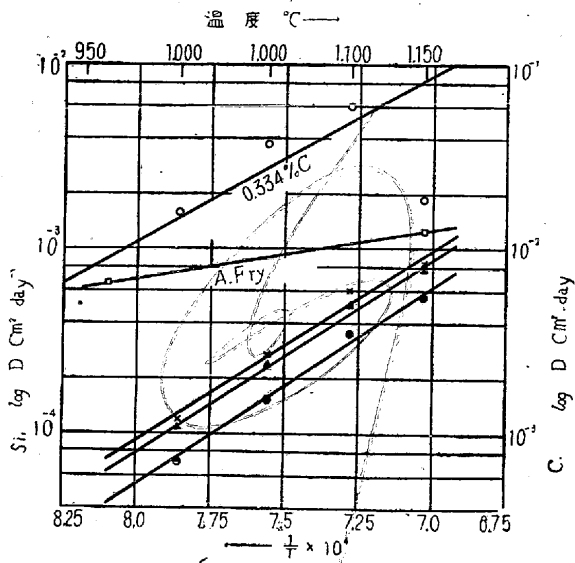
次に實測した擴散係數の誤差の程度を調べるために、第 I 報の 6 式に示した Dushman-Langmuir 式から、擴散熱を計算し、これと上述のやうにして求めた値とを比較して見ることにした。但しこの場合、式中の飛躍距離 δ の値は、C 場合と同様に 2.56 × 10⁻⁸ cm をとつた。第 8 表右欄



第11圖 Si の擴散係數と C 濃度との關係

同時に同方向に擴散する場合は、試料 Si 1~4 と Si 6~9 及 Si 10~13 とを比較すれば解るやうに、單獨に擴散する場合より擴散係數は大となり、C の影響は第 11 圖に示したやうに、略 C 量が少いとき程著しい傾向がある。

次に Si と C とが互に反對方向に、同時に擴散する場合の Si の擴散係數に及ぼす C の影響を見るために、試料 Si 5 に就て、寫眞第 14 に



- C, 試料 Si 10-13
- Si, 試料 Si 1-4
- ▲ Si, 試料 Si 6-9
- × Si, 試料 Si 10-13
- Si, A. Fry

第 12 圖 Si log D-1/T

第 8 表 Si の擴散熱 cal/g-atom

試料番號	log D-1/T 圖より	Dushman-Langmuir 式より
Si 1~4	48800	1000°C 50500
		1050 50500
		1100 50100
		1150 50700
Si 6~9	48500	1000 49500
		1050 49100
		1100 49100
		1150 49400
Si10~13	47300	1000 49200
		1050 48900
		1100 48500
		1150 49300
⊗ A. Fry, G. E. Claussen	12100	960 43000
		1150 48200

⊗ 著者の計算による

の値はかやうにして計算したものであつて、兩者は相當よく一致して居り、實測した擴散係數の誤差は僅少であると見られる。

擴散方程式：擴散係數と溫度との間には第 I 報の 4 式で示した。

$$D = A \cdot e^{-\frac{Q}{RT}}$$

なる關係が略成立する。今上式に實驗によつて求めた擴散係數 D と擴散熱 Q とを代入して、常數 A を求むれば、オーステナイトの領域に於て、任意の溫度に於ける Si 擴散係數は、次の諸式から計算することが出来る。

$$D_{Si \rightarrow \gamma Fe} = 17000 \cdot e^{-\frac{48800}{RT}} \dots (7_1)$$

$$D_{Si \rightarrow \gamma Fe} = 22000 \cdot e^{-\frac{48500}{RT}} \dots (7_2)$$

$$D_{Si \rightarrow \gamma Fe} = 16000 \cdot e^{-\frac{47300}{RT}} \dots (7_3)$$

但し e は自然對數の底數、 R はガス常數、 T は絕對溫度である、上記の 7_1 、 7_2 及 7_3 式はそれぞれ純鐵、或は特別極軟鋼、極軟鋼又は軟鋼及半軟鋼、乃至硬鋼中に於ける Si の擴散係數の算出に用ひることが出来る。尚 C の有無及其の量には無關係に、鐵鋼中に於ける Si の擴散係數は、略次の 8 式から概算することが出来る。

$$D_{Si \rightarrow \gamma Fe} = 18000 \cdot e^{-\frac{48200}{RT}} \dots (8)$$

2. P

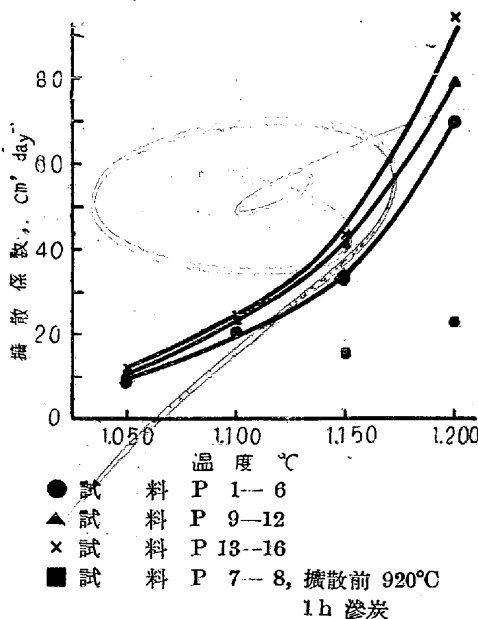
擴散係數：第 9 表は P の擴散係數と、これが算出に用ひ

第 9 表 P の擴散係數とこれが算出に用ひた諸實驗値

試料番號	溫度 °C	時間 day	$h \times 10^2$ cm	$x \times 10^3$ cm	C_M 原子 %	C_{MO} 原子 %	擴散係數 $\times 10^6$ cm ² ·day ⁻¹
P 1	1050	3.5	4.473	7.73	0.024	0.283	8.8
P 2	"	3.0	4.301	5.25	0.022	"	9.3
P 3	1100	2.0	5.309	5.42	0.020	"	20.7
P 4	1150	1.0	4.676	5.95	0.021	"	32.2
P 5	"	1.5	5.141	5.05	0.031	"	33.5
P 6	1200	0.5	4.920	5.98	0.019	"	69.6
P 7	1150	1.3	5.035	5.10	0.004	"	15.4
P 8	1200	0.7	4.732	5.76	0.010	"	22.3
P 9	1050	3.0	4.530	5.68	0.025	0.301	10.6
P 10	1100	2.0	4.836	4.81	0.033	"	23.5
P 11	1150	1.0	4.593	5.12	0.033	"	40.9
P 12	1200	0.8	4.916	4.89	0.053	"	79.0
P 13	1050	3.5	4.596	8.67	0.045	0.339	12.1
P 14	1100	2.0	5.364	7.89	0.033	"	24.4
P 15	1150	1.0	4.888	7.93	0.040	"	43.2
P 16	1200	0.32	4.708	9.12	0.024	"	94.0

A. Bramley, A. T. Cooper

950°C	6.2×10^{-5} cm ² ·day ⁻¹
1000°C	11.4×10^{-5} cm ² ·day ⁻¹
1040°C	21.6×10^{-5} cm ² ·day ⁻¹



- 試料 P 1-6
- ▲ 試料 P 9-12
- × 試料 P 13-16
- 試料 P 7-8, 擴散前 920°C 1h 滲炭

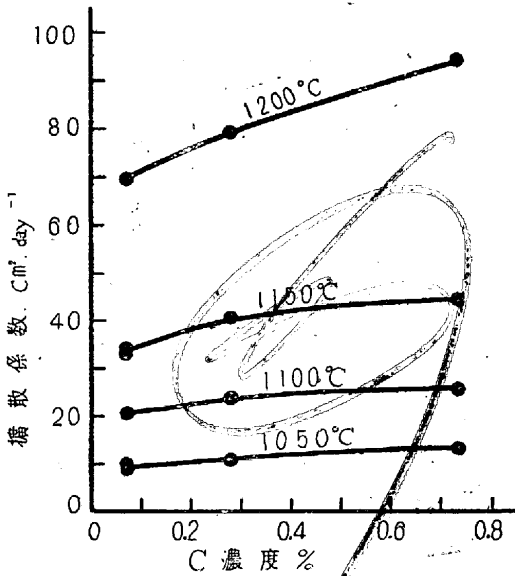
第 13 圖 P の擴散係數と溫度との關係

た諸實驗値を、又第 13 圖は擴散係數と溫度との關係、及 C の影響を示したものである。

これによれば實測した P の擴散係數は A. Bramley 等の測定値よりも小さく、又前述の Si に比較すれば低い。

12

次に C と同時に同方向に擴散すれば、Si の場合と同様に擴散係数は大となり、第 14 圖に示したやうにこの場合も亦 C 量の低いとき程、その影響が大きいやうである。但し C の影響は Si に比較すれば稍少ない。



第 14 圖 P の擴散係數と C 濃度との關係

又試料 P 7 及 8 は Si のところで述べたと同様に、擴散前 920°C で 1h 滲炭したものに就て、P の擴散に及ぼす C の反對方向の擴散の影響を調べたものであつて、この場合の擴散係數は、1150°C 及 1200°C で、それぞれ 15.4 及 $22.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{day}^{-1}$ であり、これらと同一温度の試料 P 4.5 及 P 6 の 32.3 , 33.5 及 $69.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{day}^{-1}$ 等に比較すれば、その値は $(1/2) \sim (1/3)$ である。尙この値は、C と同方向に擴散する場合の、試料 P 11, 12 及 P 15, 16 の 40.9 , 79.0 及 43.2 , $94.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{day}^{-1}$ に比較すれば更に小さい。即ち P も亦 C と同時に反對方向に擴散すれば、擴散は著しく妨げられ、しかもその程度は Si の場合より大きい。

鋼塊中で偏析した P が、ソーキングによつて、容易に均一化しない理由は、勿論その擴散係數の小なることにもよるが、鋼塊中に於て偏析した P は Si と異り、C を反撥して、その偏析部には C は存在せず、従つてこれを加熱した場合は、P は偏析部より周圍へ、同時に又 C は周圍部より P の偏析部に向つて、互に反對方向の擴散が同時に起る結果、本實驗に於て認めた如く、P の擴散が著しく妨げられることが、その原因の一つであると見て差支へがない。

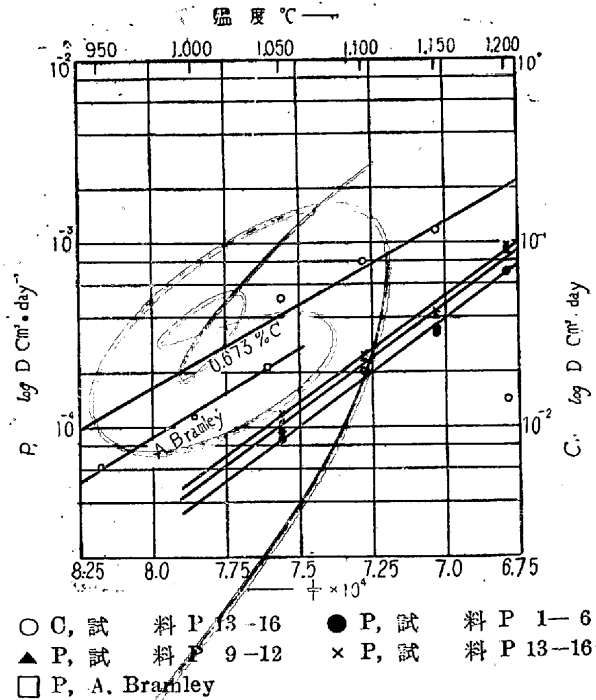
次に試料 P 13~16 に就て、C の擴散に及ぼす P の影響を調べて見た。その結果は第 10 表及第 15 圖に示したやうに、試料 P 16 を除いては、これらと略 C 濃度の等し

い、第 I 報で述べた 0.673% C 鋼中の、C 擴散係數の對數と、絶對温度の逆數との關係直線の延長線上に、略位置するのであつて、C は Si の場合と同様に、P と同時に同方向に擴散しても、殆どその影響を受けないものと見られる。

第 10 表 P と同時に擴散する場合の C の擴散係數と、これが算出に用ひた諸實驗値

試料 番號	温度 °C	時間 h	$h \times 10^2$ cm	$x \times 10^3$ cm	C_c %	C_{co} %	擴散係數 $\times 10^5$ $\text{cm}^2 \cdot \text{day}^{-1}$
P 13	1050	3.5	4.596	8.67	0.691	0.730	5030
P 14	1100	2.0	5.364	7.89	0.679	"	7900
P 15	1150	1.0	4.888	7.93	0.671	"	11700
P 16	1200	0.32	4.708	9.12	0.470	"	1400

擴散熱：第 15 圖は P の擴散係數の對數と絶對温度の逆數との關係を示したものであつて、この場合も亦兩者の間には直線的の關係が成立する。



第 15 圖 P の $\log D - 1/T$

第 11 表 P の擴散熱, cal/g-atom

試料番號	log D - 1/T 圖より	Dushman-Langmuir 式より	
		1050°C	
P 1~6	5 2700	1050°C	5 2000
		"	5 1900
		1100	5 1700
		1150	5 2300
P 9~12	5 1800	"	5 2200
		1200	5 1800
		1050	5 1500
		1100	5 1300
P 13~16	5 2400	1150	5 1500
		1200	5 1400
		1050	5 1100
		1100	5 1100
A. Bramley,	4 3500	950	4 8700
		1000	4 9200
		1040	4 9100
A. T. Cooper			

⊗ 著者の計算による

第 11 表はこれらの直線の勾配から求めた擴散熱を示したものである。

この値は Si よりも僅かに大きく、A. Bramley 等の測定した擴散係數から、著者が計算したものよりも相當大きい。又第 11 表の右欄の數値は、Dushman-Langmuir 式より計算した擴散熱を示したものであつて、前者と後者とはよく一致してゐる。即ち實測した P の擴散係數は相當正確であると見てよい。

擴散方程式：前に述べた P の場合と同様に、實驗から求めた擴散係數 D と、擴散熱 Q の値を 4 式に代入して、常數 A を求めれば、オーステナイトの溫度範圍内に於ては、任意の溫度に於ける P 擴散係數は、次の諸式から計算することが出来る。

$$D_{P \rightarrow \gamma Fe} = 41000 \cdot e^{-\frac{52700}{RT}} \dots\dots\dots (9_1)$$

$$D_{P \rightarrow \gamma Fe} = 36000 \cdot e^{-\frac{51800}{RT}} \dots\dots\dots (9_2)$$

$$D_{P \rightarrow \gamma Fe} = 49000 \cdot e^{-\frac{52400}{RT}} \dots\dots\dots (9_3)$$

9_1 , 9_2 及 9_3 式はそれぞれ純鐵乃至極軟鋼、軟鋼乃至半硬鋼、及硬鋼、又は最硬鋼中に於ける P の擴散係數の計算に用ひることが出来る。尙又 C の含量には關係なく、鐵鋼中に於ける P の擴散係數は、次式から概算することが出来る。

$$D_{P \rightarrow \gamma Fe} = 42000 \cdot e^{-\frac{52300}{RT}} \dots\dots\dots (10)$$

V. 結 言

以上述べたような方法によつて、Si 及 P の擴散係數及擴散熱を測定し、同時に C の影響を調べた結果は

1. 測定した Si の擴散係數は、A. Fry の實驗結果から G. E. Claussen が計算した値よりも小さい。
2. 又測定した P の擴散係數は、A. Bramley 等の實測値よりも小さい。
3. Si の擴散係數は P の擴散係數よりも稍大きい。
4. Si 及 P の擴散係數は、C の擴散係數に比較すれば、何れも 10^{-2} の程度である。

5. Si 及 P は何れも、C と同時に同方向に擴散すれば、その速度は大となり、その程度は P より Si の方が大きい。又この場合の擴散係數の増加と、C 濃度との關係に就ては、C 濃度の小さいとき程増加が著しい傾向がある。

6. 反對に C は、Si 或は P と同時に同方向に擴散しても、これらの元素によつてその速度は影響を受けないやうである。

7. Si 及 P は何れも C と同時に反對方向に擴散すれば、擴散は著しく妨げられ、特に P の場合は前述の如き實驗に於て、その速度は數分の一に低下する。この事實は鋼塊中で偏析した P の均一化し難い原因の一つに擧げられる。

8. 實測した P 及 Si の擴散係數の對數と絕對溫度の逆數との間には、略直線的の關係が成立する。而してこの直線の勾配から求めた擴散熱と Dushman-Langmuir 式から計算した擴散熱とは略一致するのであつて、實測した擴散係數は相當正確であると見られる。

9. Si の擴散熱は P のそれよりも稍低い。又これらの値は G. E. Claussen 及 A. Bramley 等の求めた擴散係數から、著者が計算したものに比較すれば、相當大きい。

10. 鐵鋼中に於ける Si 及 P の擴散係數は、オーステナイトの溫度範圍内に於ては、それぞれ次の式より概算することが出来る。

$$D_{Si \rightarrow \gamma Fe} = 18000 \cdot e^{-\frac{48200}{RT}}$$

$$D_{P \rightarrow \gamma Fe} = 42000 \cdot e^{-\frac{52300}{RT}}$$

最後に本實驗を行ふに當り種々御助言を賜つて西村秀雄先生に深く感謝し、又熱心に實驗に助力された西中清孝君の勞に深謝の意を表す。

参 考 文 献

13) A. Fry: Stahl und Eisen, **43** (1923) 1039
 14) G. E. Claussen: Trans. Amer. Soc. Metals, **24**(1936) 640
 15) A. Bramly, A. T. Cooper: Trans. Faraday Soc., **31** (1935) 117
 16) 著者: 鐵と鋼, **28** (昭 17) 951