

## 溶融鑛滓の粘性 (I)

(CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系の粘性 §)

(昭和 26 年 4 月日本鐵鋼協會, 日本金屬學會連合講演大會にて講演)

齋藤 恒三\* 川合 保治\*\*

## ON THE VISCOSITY OF MOLTEN SLAGS (I)

(Viscosity of CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Slags.)

Tsunezo Saito Dr. Eng. and Yasuji Kawai

Synopsis: Viscosity of Synthetic CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> slags was measured by rotating an inner-cylinder viscosimeter. Iso-viscosity lines at 1,500 and 1,600°C were plotted on the diagram. Viscosity of CaO-SiO<sub>2</sub> slags at 1,600°C increased with SiO<sub>2</sub> content; and anomaly was not found at the composition corresponding to CaO-SiO<sub>2</sub>. By a small amount of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> added to CaO-SiO<sub>2</sub> slag the viscosity was almost unaffected, but at more than 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> increase of the viscosity became remarkable. Viscosity of the CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> side slags which had never been determined were found rather low and comparable to the low viscosity region in the CaO-SiO<sub>2</sub> side slags.

And some considerations on structures of these molten slags were given from the experimental results.

## I. 緒言

溶融鑛滓の粘性は溶滓の構造を研究する上に有用な資料を提供すると共に、他方製鍊反應の反應速度に重要な關係を持つ性質であつて、従来いろいろと研究されているが、報告されている結果は測定精度が低く、研究者により、かなり相違している。

熔鑛爐鑛滓の粘性に就いては Feild and Royster<sup>1)</sup>, McCaffery<sup>2)</sup> により CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系が、谷口、長谷川、上田<sup>3)</sup>, Hartman<sup>4)</sup> Endell<sup>5)</sup> 等により各種熔鑛爐鑛滓の粘性及び添加物の影響が研究されているが、熔鑛爐鑛滓の粘性を知るには不十分である。依つて熔鑛爐鑛滓の粘性に就いて系統的な研究を企圖した。此處では CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系の結果に就いて報告する。

## II. 實驗装置及び實驗方法

溶融鑛滓の粘性測定法には廻轉圓筒法、減衰振動法、球體引上等種々の考案があるが、高温のため正確な測定はなかなか困難である。著者等は最初、溶融鑛滓中に浸漬したモリブデン製の球を熱天秤を利用して引き上げる方法を試みたが、球を吊つているモリブデン線に附着する鑛滓の影響等により正確な結果を得ることが出来なかつた。そこで内部圓筒廻轉法によつた。装置を第 1 圖

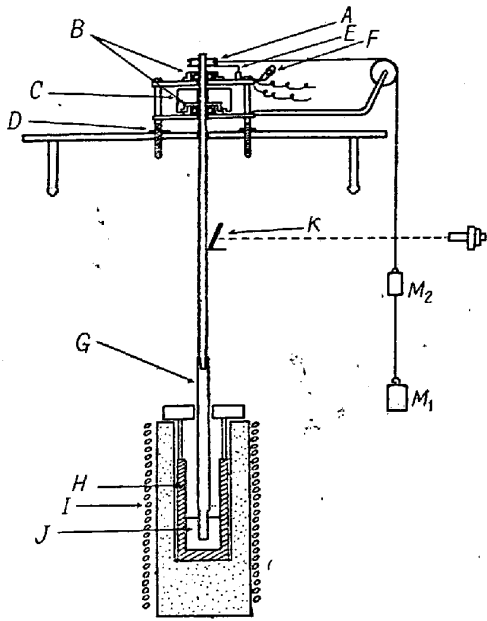
に示す。

鑛滓試料を黒鉛坩堝 H 中で高周波電氣爐を用いて溶解し、その中に黒鉛棒 G を一定深さ浸漬し、一定荷重で廻轉せしめ、その廻轉速度より粘性を求めた。坩堝 H は黒鉛電極より作製したもので内徑 40mm、深さ約 100mm である。鑛滓約 150g を溶解した場合、溶融鑛滓の高さは約 45mm でこの部分が略々高周波コイルの中央にくるようにした。廻轉棒 G は徑 13mm、長さ約 210mm の黒鉛棒で鑛滓に浸漬する部分を徑 12mm に削つて使用した。上端はネジ込みにより眞鍮棒につなぎ、眞鍮棒を 2 箇のボールベアリング B で支え、廻轉板 A に半捲きした絹絲に吊した 2 箇の錘り M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> の重量差により廻轉せしめた。下方のボールベアリングは水冷した。廻轉黒鉛棒の浸漬深さの調整及び垂直か否かの調整は 4 箇のネジ D により行つた。廻轉速度は廻轉板 A に取りつけた指針 E が水銀面を切るたびに豆ランプ F が明滅するようにストップウォッチで、廻轉速度が一定になつてからの 10 廻轉に要する時間を測定して求めた。廻轉速度の早い場合は水銀面に飛ぶ火花を見て時間を測定した。

§ 選鑛製鍊研究所報告第 100 號

\* 東北大學教授選鑛製鍊研究所工博

\*\* 東北大學助教授選鑛製鍊研究所



- |          |                                    |
|----------|------------------------------------|
| A 廻轉板    | B ボールベアリング                         |
| C 冷却器    | D 調整ネジ                             |
| E 指針     | F 豆ランプ                             |
| G 黒鉛棒    | H 黒鉛坩堝                             |
| I 高周波コイル | J 鍍滓                               |
| K 鏡      | M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> 錘り |

第1圖 實驗装置

測温は豫め Pt-Pt-Rh 熱電對により補正した光高温計により鍍滓表面の温度を測定した。

今黒鉛棒の廻轉により溶融鍍滓に層流を生じ、坩堝壁及び黒鉛棒と鍍滓間には滑りが起つていないとし、黒鉛棒が無限大の長さで装置の抵抗が零の理想状態を考える。黒鉛棒が一定の角速度  $\omega_0$  で廻轉している場合鍍滓中に半径  $r$  なる面を考えると、その外面の液體が内面に及ぼす粘性抵抗の偶力  $M$  は長さを  $L$ , 角速度を  $\omega$  とする

$$M = -2\pi r L \cdot \eta \cdot r \frac{d\omega}{dr} r$$

茲に  $\eta$  は粘性係数である。上式を積分した後  $r = R_1$  (廻轉黒鉛棒の半径),  $r = R_2$  (坩堝の半径) に於ける條件より積分常数を定め整理すると次式が得られる。

$$\eta = M \left( \frac{R_2^2 - R_1^2}{4\pi L R_1^2 R_2^2} \right) \frac{1}{\omega_0}$$

上式に於て右邊の括弧内の値は装置によつて定まる恒數であり、廻轉棒を廻轉せしめる錘りの重さが一定であれば  $M$  は一定である。従つて粘性は角速度の逆數即ち廻轉に要する時間に比例する。本實驗の場合廻轉棒は有限長さであるから端面の影響を考えねばならず又装置の抵抗、表面張力等を考慮しなければならず複雑となつてくるが、豫備實驗の結果は粘性と廻轉時間は直線關係にあることを示した。

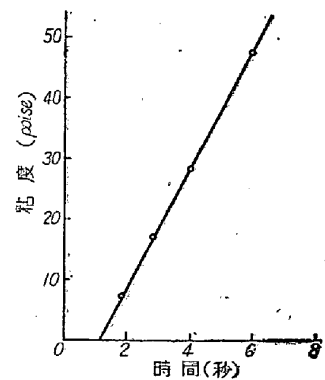
### III. 豫備實驗

#### (1) 錘りの決定

廻轉棒を廻轉せしめる2箇の錘りの重量差は鍍滓の粘性測定範圍 (1~100 poise) に於て廻轉速度を正確に測定し得るためには、なるべく小さい方がよいが、小さくなれば装置の抵抗が影響してくる。又錘りの差を大きくして廻轉速度を早くすると、廻轉棒と鍍滓間に滑りが生ずる危険性がある。そこで本實驗では 8g に一定した。

#### (2) 廻轉時間と粘性の關係

ヒマシ油、グリセリン及び沃化亞鉛と澱粉の混合溶液の3種類額の液體に就いて粘性と廻轉時間の關係を調べた。ヒマシ油及びグリセリンは市販品で比重は夫々 0.96 (17°C), 1.23 (17°C) であつた。沃化亞鉛と澱粉の混合溶液は自製のもので比重は 2.45 (16°C) であつた。これらの粘性の温度變化を Ostwald 粘度計により豫め測定した後、内徑 40mm の硝子製坩堝に約 60cc (高さ約 45mm) 入れ、廻轉黒鉛棒を 25mm 浸漬せしめ廻轉時間を測定した。本装置の場合約 5 廻轉で廻轉速度が一定になることが判つたので 6 廻轉目より 15 廻轉迄の 10 廻轉に要する時間を測定した。その結果は第2圖の如くで何れの液體の場合も實驗誤差範圍内で一致して、粘性と廻轉時間は直線關係にあつた。溶融鍍滓の粘性決定にはこの直線を利用した。



第2圖 廻轉時間と粘度の關係 (10 廻轉)

#### (3) 浸漬深さ、坩堝の徑の影響

ヒマシ油を使用し、廻轉棒の浸漬深さを 20mm, 25mm, 30mm に變化させた場合、粘性と廻轉時間の關係はどの場合も直線關係にあつた。浸漬深さの深い程廻轉は遅く、時間の測定には都合がよいが鍍滓量を多くする必要があるので本實驗では浸漬深さ 25mm とした。又坩堝の徑 50mm, 40mm, 30mm のものに就いて浸漬深さ 25mm の場合の廻轉時間をヒマシ油を用いて比較してみたが差異はなかつた。本實驗では徑 40mm

の黒鉛坩堝を使用した。

(4) 廻轉棒の表面の性質に対する検討

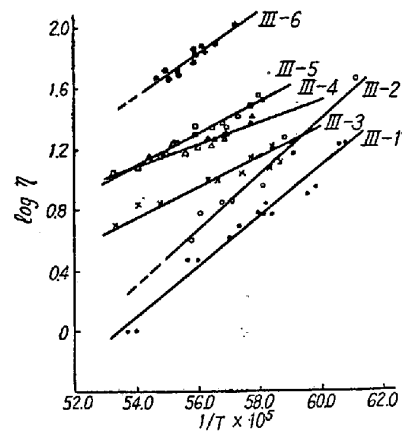
黒鉛棒は鑛滓に濡れないので、廻轉が早くなれば黒鉛棒と鑛滓の間に滑りが起る危険性がある。そこで本実験程度の廻轉速度(第2圖参照)の場合、廻轉棒の表面の性質が測定に影響するか否かを調べてみた。即ち廻轉棒を黒鉛棒そのままの状態の場合、黒鉛棒にパラフィンを含み込ませた場合、モリブデン棒にした場合等に於てヒマシ油或は沃化亜鉛と澱粉の混合溶液を用いて廻轉時間を比較してみた。これ等の場合廻轉棒が液體に濡れる場合と濡れない場合とに差異が認められなかつた。廻轉速度が比較的遅いので廻轉棒と液體の間に滑りは起らなかつたものと考えられる。

IV. 實 験 結 果

鑛滓試料には燒成石灰(99% CaO)、アルミナ(98.5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)及び石英砂(99.5% SiO<sub>2</sub>)を配合したものを150gを黒鉛坩堝中で溶解、1,700°C程度に保持して氣泡を除いたものを用いた。一測定に2~3時間を要したが、實驗中の鑛滓組成変化は無視できる程度であつたので分析試料は實驗終了後の鑛滓よりとつた。高周波爐使用による鑛滓の攪拌の影響をみるため、通電中の廻轉時間と電流切斷時の廻轉時間を比較したが差異は認められ

なかつた。(McCoffery<sup>2</sup>)も高周波爐を使用した)

氣泡を除去した試料を再溶解、暫らく保持した後黒鉛棒を25mm浸漬せしめ、種々の溫度に於て6廻轉より15廻轉迄の10廻轉に要する時間を測定し第2圖の直線より粘度を求めた。粘度の對數を絶對溫度の逆數に對してプロットしてみると第3圖に見られるように略々直線關係にあつたので、その回歸直線の方程式を求め、これ



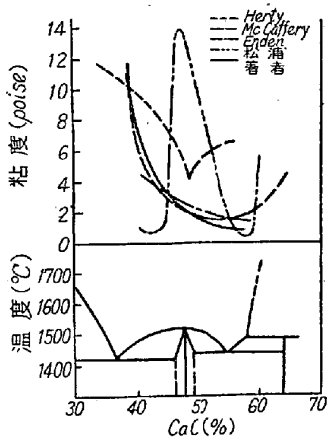
第3圖 log η · 1/Tの關係 (實驗III—1~6の結果)

から1400°, 1500°, 1600°Cに於ける粘度を算出した。實驗結果を一括して第1表に示した。同表中括弧を附した粘度値は測定溫度範圍外に外挿して求めた値である。

第1表 實 験 結 果

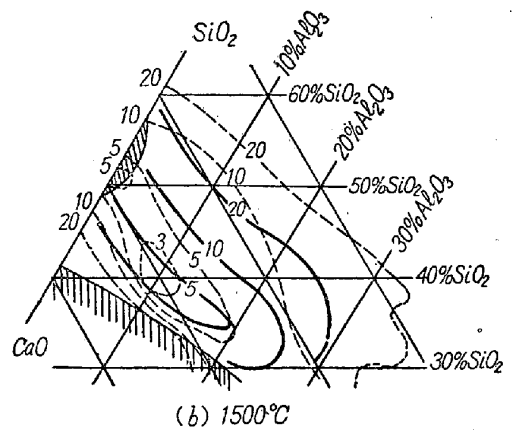
實 験 番 號	鑛 滓 組 成 (%)			粘 度 (poise)			A (poise)	U (kcal)
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,600°C	1,500°C	1,400°C		
I—1	55.64	44.36		1.1	8.1		1.04 · 10 <sup>-15</sup>	32.6
2	51.40	48.60		1.1	3.2		5.05 · 10 <sup>-9</sup>	18.1
3	45.28	54.72		4.5	(18)		1.50 · 10 <sup>-10</sup>	22.8
4	41.76	58.24		4.2	(20)		4.68 · 10 <sup>-12</sup>	25.9
5	37.96	62.04		12	23		9.14 · 10 <sup>-5</sup>	11.1
II—1	44.06	52.06	3.88	2.4	12		2.37 · 10 <sup>-12</sup>	26.1
III—1	50.35	39.29	10.36	1.0	3.1	11	1.19 · 10 <sup>-9</sup>	19.4
2	48.07	41.08	10.85	1.5	5.5	23	1.77 · 10 <sup>-10</sup>	21.6
3	47.55	43.16	9.29	4.9	9.9	22	2.05 · 10 <sup>-5</sup>	11.7
4	42.45	47.90	9.65	11	19	(33)	9.31 · 10 <sup>-4</sup>	8.8
5	37.48	53.91	8.61	11	22	(50)	2.24 · 10 <sup>-5</sup>	12.3
6	30.82	58.22	10.96	29	76	(220)	8.89 · 10 <sup>-7</sup>	16.3
7	28.16	60.88	10.98	約 130				
IV—1	46.70	31.85	21.45	3.5	15	(71)	4.44 · 10 <sup>-11</sup>	23.7
2	45.47	34.87	19.66	1.7	5.1	18	4.71 · 10 <sup>-9</sup>	18.6
3	38.28	42.95	18.77	7.5	20	(61)	1.74 · 10 <sup>-7</sup>	16.6
4	29.50	51.98	18.52	28	90	(330)	2.97 · 10 <sup>-6</sup>	19.5
5	20.03	59.31	20.66	約 150				
V—1	39.94	29.68	30.38	9.3	29		1.71 · 10 <sup>-8</sup>	19.0
2	37.24	33.98	28.78	17	35		3.73 · 10 <sup>-5</sup>	12.3
3	29.30	42.72	27.98	24	71		6.90 · 10 <sup>-8</sup>	18.5

Ⅴ—1	1	61.89		38.11	0.9	(42)		$4.06 \cdot 10^{-30}$	63.7
	2	55.30		44.77	1.4	9.3		$3.57 \cdot 10^{-15}$	31.7
	3	50.48		49.52	1.2	5.5		$4.00 \cdot 10^{-12}$	24.9
	4	45.93		54.07	1.2	7.8		$2.93 \cdot 10^{-15}$	31.7
	5	41.28		58.72	3.5	(117)		$4.21 \cdot 10^{-27}$	58.4
Ⅵ—1	1	61.06	7.78	31.16	3.2	(29)		$4.30 \cdot 10^{-17}$	36.6
	2	59.61	8.04	32.35	1.9	12		$1.36 \cdot 10^{-14}$	30.7
	3	55.90	7.75	36.35	1.3	4.2		$8.89 \cdot 10^{-10}$	19.9
	4	49.28	8.02	42.70	1.5	3.9		$5.28 \cdot 10^{-6}$	16.2
	5	44.60	7.61	48.79	2.9	9.4		$3.03 \cdot 10^{-9}$	19.5
	6	39.03	7.98	52.99	2.6	16		$6.27 \cdot 10^{-14}$	29.6
Ⅶ—1	1	52.22	15.70	32.08	1.7	12		$9.33 \cdot 10^{-16}$	33.1
	2	48.86	15.68	35.46	1.0	9.0		$2.26 \cdot 10^{-17}$	36.2
	3	43.45	15.93	40.62	3.6	(18)		$1.60 \cdot 10^{-12}$	26.8



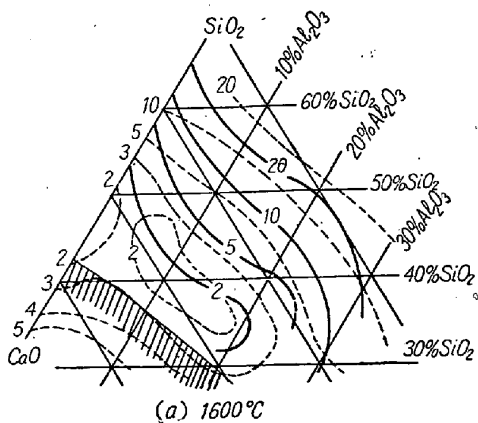
第4圖 CaO-SiO<sub>2</sub> 系の 1600°C に於ける粘性

CaO-SiO<sub>2</sub> 系の 1600°C に於ける組成と粘性の関係を第4圖に示した。比較のため Herty<sup>1)</sup>, Mc Caffery<sup>2)</sup>, Endell<sup>3)</sup>, 松浦<sup>4)</sup> 等の結果を附記した。圖から判る如く測定者により著しく相違している。本実験の結果はCaO増加と共に粘性は減少し, Mc Caffery, Endell の結果に近かった。CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系に於ける CaO-SiO<sub>2</sub> 側の等粘性線を第5圖に示した。点線で示したのは



第5圖 CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系 CaO-SiO<sub>2</sub> 側の等粘性線 (数字は粘度 (poise))

---- Mc Caffery  
 — 著者



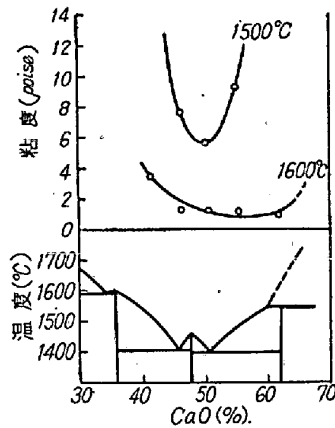
第5圖 CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系 CaO-SiO<sub>2</sub> 側の等粘性線 (数字は粘度 (poise))

---- Mc Caffery  
 — 著者

Mc Cafferyの測定による等粘性線である。本実験結果は大體の傾向は Mc Caffery の結果に近いが, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の高い場合の等粘性線の位置はかなり相違している。1, 600°C に於て Mc Caffery は CaO 50%, SiO<sub>2</sub> 40%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10% 附近に粘性最低値のあることを示しているが, 著者等の実験では CaO の多い試料は冷却途中崩解して坩堝を破壊し実験困難であり最低値を明瞭に掴むことが出来なかつた。(このような試料はカーバイト臭が強く, 坩堝と CaO が反応してカーバイトが生成したことを示していた)。猶 Mc Caffery は状態圖によれば固体が析出する範囲 (圖に於て斜線を施した部分) に於てもかなり低い粘性であることを示しているが, 著者等の経験では鑛滓の粘性は初晶析出と共に急激に上昇するものであつて Mc Caffery の結果は不正確と思われる。

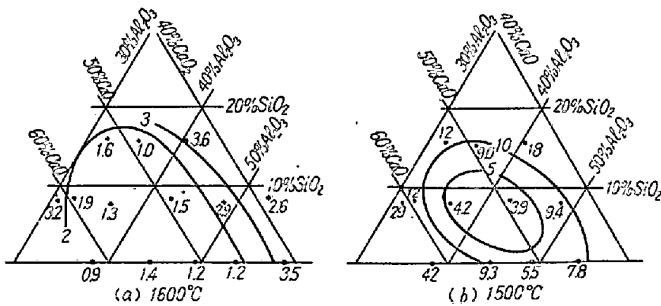
CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系に於ける組成と粘性の関係を第6圖に示した。1, 500°C に於ては CaO 50% 附近に粘性最低値が認められたが 1, 600°C に於ては明瞭でなく, 固体が析出する組成に到るまで CaO 増加と共に粘性は低下

するばかりのような傾向を示した。



第6圖 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系の粘性

CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系に SiO<sub>2</sub> を 15% 程度まで添加した場合の 1,500°C, 1,600°C に於ける等粘性線を第7圖に示した。此等の部分の粘性に就いては今迄測定が行われた事がない。著者等の測定結果では、この部分の粘性はかなり低く、CaO-SiO<sub>2</sub> 側の低粘性部分と同程度の粘性であつた。



第7圖 CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系, CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 側の等粘性線 (数字は粘度 poise)

V. 實驗結果の考察

一般に液体の粘性の温度変化は次式の如くである。

$$\eta = A \cdot e^{\frac{U}{RT}}$$

Uは粘性流の活性化エネルギーで液体構造が変化しない限り物質によつて決定される恒数、Aも又物質に就いて決定される恒数でAndrade<sup>9)</sup>, Eyring<sup>10)</sup> 等により研究されている。本實驗の粘性測定の温度範囲では log η と 1/T は直線関係にあつたのでそれぞれ A, U の値を計算し第1表に附記した。CaO-SiO<sub>2</sub> 系のUの値は 11.1~32.6 kcal で組成によるUの變化は一様ではなかつた。松浦<sup>6)</sup> による CaO-SiO<sub>2</sub> 系のUの値は 25~96 kcal で組成變化に伴うUの變化は矢張り一様ではなかつた。熔融珪酸鹽の電気傳導度測定、電解等の研究より熔融珪酸鹽はイオン性液体であつて SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup> の正四面體が Si 量

に應じて種々の大きさの鎖状或は輪状をなしていると考えられている。これに金属酸化物が添加されると鎖なり輪なりが破壊されて段々小さくなり遂には SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup> 單獨となる。従つて若し CaO-SiO<sub>2</sub> 系に於て、液体中に化合物が存在しないならば U の CaO の増減による變化は一樣である。一定温度に於ける組成-粘性曲線及び組成-U 曲線に最低値なり最高値なりが存在すれば化合物の存在が暗示されるわけであるが、本實驗の CaO-SiO<sub>2</sub> 系の 1,600°C に於ける粘性變化及び U の變化は不規則で化合物の存在は不明瞭であつた。Bockris<sup>11)</sup> 等による CaO-SiO<sub>2</sub> 系の電気傳導度測定に於ても化合物の存在は不明瞭であると報告されている。即ち CaO-SiO<sub>2</sub> なる化合物は 1,600°C に於ては存在しないか存在するとしても大部分は解離して僅かに残存するに過ぎないと考えられる。CaO-SiO<sub>2</sub> 系に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が添加された場合少量の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 添加では粘性は殆んど變化なく、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20%以上になると粘性が増加してくる。U の値は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 添加によつて大した變化をしない。このことは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 添加によつて SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup> の輪なり鎖なりは大して破壊されることなく Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が多くなれば寧ろ AlO<sub>3</sub><sup>3-</sup> の如き陰イオンを生じ粘性は増加してくるものと考えられる。

CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系に於ては 1,500°C に於ては Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 50% 附近に粘性最低値が存在するが 1,600°C になると不明瞭である。活性化エネルギー U も Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 50% 附近に最低値が存在する。従つて CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系液体では低温では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 50% 附近に化合物が存在するが、1,600°C になれば殆んど解離するものと考えられる。CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系に SiO<sub>2</sub> を添加した場合 SiO<sub>2</sub> 10% 程度迄は粘性は大して變化しない。即ち SiO<sub>2</sub> 添加による SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup> 生成の粘性増加作用は SiO<sub>2</sub> 10% 程度以上になつて表われてくるようである。

VI. 總 括

黒鉛坩堝を用い高周波電気爐により CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 人工鑛滓を溶解し、その中に浸漬した黒鉛棒を一定荷重で廻轉させ廻轉速度より 1,400~1,600°C に於ける粘性を測定した。

CaO-SiO<sub>2</sub> 系及び CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系の CaO-SiO<sub>2</sub> 側は Mc Caffery の測定結果と大體一致したが、著者等の結果では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20% 以上の粘性増加作用が著しかつた。CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系及び CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系の CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 側に就いては今迄測定された事がないが、著者等の測定結果では粘性はかなり低く CaO-SiO<sub>2</sub> 側の低粘性部分と同程度であつた。

CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系溶液には低温で化合物が存在すると考えられたが CaO-SiO<sub>2</sub> 系溶液に於ては化合物の存在は明瞭ではなかつた。

終りに臨み、本研究の遂行に關し終始御鞭撻を賜つた東北大學選鑄製錬所長小野健二博士に厚く感謝の意を表すると共に分析に助力された後藤正君に對しても厚く感謝致します。猶研究費の一部は文部省科學研究費によつたことを附記して謝意を表します。(昭和26年5月寄稿)

#### 文 献

- 1) A. L. Feild & P. H. Royster: U. S. Bur. Mines, Tech. Paper 187 (1918); 189 (1918).
- 2) R. S. McCaffery & co-workers: A. I. M. E. Tech. Pub. No. 383 (1931).
- 3) 長谷川熊彦, 谷口光平, 上田哲三: 製鐵研究, No. 97 (昭2).
- 4) F. Hartman: St u Eisen, 54 (1934), 564; 58 (1938), 1033.
- 5) K. Endell & R. Kley: St. u. Eisen, 59 (1939) 677; K. Endell & G. Brinkman: *ibid.* 59 (1939), 1319.
- 6) C. H. Herty & co-workers: Mining Met. Invest. Bull. No. 47 (1930).
- 7) K. Endell, G. Heidtkamp & L. Hax: Archiv. Eisenhüttenw. 10 (1936/37), 85.
- 8) 松浦二郎: 鐵と鋼, 29 (昭18), 496.
- 9) E. N. Dec. Andrade: Phil. Mag 7 (1934), 17; 698
- 10) H. Eyring: J. Chem. Phys. 4 (1936), 283.
- 11) J. O'M. Bockris & co-workers: Discuss. Faraday Soc. No. 4 (1948), 265.

## 特 殊 鑄 鋼 の 研 究 (IX)

(Cr-Mo 及び Ni-Cr-Mo 鑄鋼の機械的性質に及ぼす Mn の影響)

(昭和 25 年 9 月本會講演大會にて講演)

三ヶ島 秀 雄\*

### RESEARCHES ON THE SPECIAL CAST STEEL (IX)

*Hideo Mikashima, Dr. Eng.*

Synopsis: Influence of Mn on the hardness and impact resistance of Cr-Mo cast steels containing Cr 1.2%, Mo 0.25%, and Ni-Cr-Mo cast steels containing Ni 2%, Cr 1.5%, Mo, 0.4% were investigated. The results obtained were summarized as follows:

(A) Cr-Mo-Mn cast steel: The hardness increased with addition of the Mn increase, and with 1.8% Mn addition the hardness reached to the maximum value. The impact resistance showed the maximum value at Mn content 1.0~1.4%. The first temper-brittleness, which took place at 300~400°C, was marked as the Mn content increased.

(B) Ni-Cr-Mo-Mn cast steel: The hardness increased with increase of the Mn content. The impact resistance increased slightly with the addition of Mn up to 1%, but with higher Mn addition it decreased rapidly. The first temper-brittleness took place at about 400°C, and it showed a large sensibility as the Mn content increased.

In general the Ni-Cr-Mo cast steel was somewhat lower in strength, but addition of Mn to these cast steel, the strength and toughness was markedly increased due to the quenching properties and uniformity of heat-treatment.

#### I. 緒 言

従來強靱特殊鑄鋼として Ni-Cr 或は Ni-Cr-Mo 鑄

鋼が使用されているが、第8報に述べた様に強度が劣

\* 九州工業大學金屬工學教室, 教授工學博士