NaCl-LiCl 系および KCl-NaCl-LiCl 系 フラックスの粘性*

松村嘉高** 水野政夫** 大西健介*** 西原清康****

The Viscosity of NaCl-LiCl and KCl-NaCl-LiCl Systems*

by Yoshitaka Matsumura**, Masao Mizuno**, Kensuke Onishi***
and Kiyokado Nishihara****

Abstract

The viscosity of the fused salt systems NaCl-LiCl and KCl-NaCl-LiCl have been investigated as functions of both temperature and molar compositions by the damped oscillation method with platinum disc. The isotherms of viscosity against molar compositions were determined over extended temperature ranges for these system and the activation energy for viscous flow was calculated according to Eyring's theory.

The isotherms of viscosity of fused NaCl-LiCl system showed negative deviation from additivity of molar compositions and increased with an increasing NaCl content in the liquid mixture. The activation energy showed negative deviation from additivity.

In the KCl-NaCl-LiCl system, the isotherms of viscosity decreased with an increasing LiCl in the mixture and increased slightly with increasing KCl or NaCl. In the 20 mol% KCl-NaCl-LiCl and the 40 mol% KCl-NaCl-LiCl systems, the activation energy showed positive deviations and a maximum value was found for each system.

These deviations are caused by the interaction between different types of ion pairs in the liquid mixture.

1. 緒 言

ろう接において、その作業性ならびに品質特性を支配するもっとも重要な因子はろう材と母材とのぬれ性である。このぬれ性は母材およびろう材の表面張力、母材とろう材との界面張力などの物理的性質の他に、その表面の清浄度が影響し、特に母材表面に酸化皮膜が存在する場合は、ぬれ性は著しく阻害されるので、ろう接前に除去することはもちろん、ろう接時においても酸化皮膜の生成を極力防止するよう努める必要がある。したがって、ろう接用フラックスの具備すべき性質としては、つぎの項目が考えられる。

- 1) 母材の酸化皮膜を除去する。
- 2) 作業時にろう材を覆って表面の酸化を防止する。
- 3) ろう材とフラックスとの界面張力を低下させ、母材とろう材とのぬれ性を促進させる。

これらの作用のうち1)はフラックスの化学的性質に2)および3)はフラックスの物理的性質による。この物理的性質としては、フラックスの融点、密度、粘度お

よび表面張力などが、その機能上重要な性質となる。

ろう接時の作業性との関連において、フラックスの物性研究^{1,2)}は種々行なわれているが粘性に関する研究は少ない。

本報においては、Al および Al 合金ろう接用フラックスの基本組成であるアルカリ金属塩化物の粘性について、前報にひきつづき、NaCl-LiCl 系および KCl-NaCl-LiCl 系混合フラックスの浴組成および温度による粘度の変化を検討し、さらに粘性流動の活性化エネルギーの値を算出し、これを解析することにより浴組成と粘度との関係について検討した。

2. 測定装置および寸法

粘度の測定には前報³⁾と同様、直径 30 mm, 厚さ 2 mm の白金円板を回転体とする減衰振動法を採用し、初期振動角を90°, 終期振動角を10°とし、この間の振動数 n を測定した。粘度の算出は、KCl を標準液として用いて実験常数を決定した1)式により行なった。

$$2.197/(n-1) = 0.0296(\eta\rho)^{1/2} - 0.00485(\eta\rho) + 0.0011(\eta\rho)^{3/2} \quad (1)$$

η : 浴の粘度 (c.poise) ρ : 浴の密度 (g/cm³)

n : 振動数

* 原稿受付 昭和42年7月10日

** 正 員 京都大学 Member, Kyoto University

*** 学 生 員 京都大学 Student Member, Kyoto University

**** 京都大学 Kyoto University.

なお浴の密度については、白金球の沈みを用いる方法により密度を測定した。

粘性流動の活性化エネルギーの算出については、前報と同様に次式により算出することとした。

$$\eta/\rho = A' \exp(E_{vis}/RT) \quad (2)$$

$$A' = Nh/M \cdot \exp(-\Delta S^*/R)$$

N : Avogadro number

h : Planck constant

M : molar weight

ΔS^* : entropy of activation

R : gas constant

E_{vis} : activation energy for viscous flow

3. 測定結果

i) NaCl-LiCl 系

NaCl-LiCl 2 元系混合浴において、浴中の NaCl 含有量を、0, 20, 40, 60 および 80 mol% に変化させた、それぞれの浴について、570~870°C のそれぞれの温度で振動数 n を測定し、1) 式により粘度 η を算出した結果を Table 1 に示す。またこの結果を用いて、 $\ln(\eta/\rho) - 1/T$ 図を作製し、得られた直線の勾配より求めた粘性流動の活性化エネルギーの値をも Table 1 に併記した。

各組成における粘度の等温線と粘性流動の活性化エネルギーを Fig. 1 に示す。

同一組成においては、温度の低下にともない振動数は減少し粘度は増大する。また温度が一定の場合には浴中の NaCl 含有量が増加するにしたがって粘度はじやっか

Table 1 Density, Viscosity and Activation energy for Viscous flow of NaCl-LiCl system.

Composition (mol%)		Temperature (°C)	Density (g/cm ³)	Viscosity (c. poise)	Activation energy (Kcal/mol)
NaCl	LiCl				
100	0	870	1.52	1.16	7.1
		840	1.45	1.29	
		820	1.55	1.32	
80	20	840	1.52	1.25	5.7
		790	1.54	1.37	
		760	1.56	1.53	
60	40	840	1.50	1.17	4.5
		740	1.55	1.46	
		690	1.58	1.67	
40	60	840	1.48	1.19	4.2
		740	1.53	1.46	
		640	1.57	1.87	
27	73	840	1.46	1.19	3.7
		740	1.51	1.42	
		640	1.56	1.83	
20	80	840	1.46	1.13	4.0
		740	1.50	1.43	
		640	1.55	1.79	
0	100	840	1.43	1.10	4.2
		740	1.48	1.36	
		640	1.52	1.77

Fig. 1 Viscosity and activation energy of NaCl-LiCl system

増大する。粘性流動の活性化エネルギーは、1次のモル加成性 (Fig. 1 の破線) から一様に負に偏し、NaCl 含有量 27 mol% の組成領域で最小となる。

ii) KCl-NaCl-LiCl 系

KCl-NaCl-LiCl 系の混合浴において、浴中の KCl 含有量を 20, 40, 60 および 80 mol% に一定し、LiCl と NaCl との配合比を種々の割合に変化させた浴について、それぞれの温度で振動数 n を測定し粘度を算出した結果および粘性流動の活性化エネルギーを算出した結果を Table 2 に示す。

Table 2 の結果を用いて作製した粘度の等温線および粘性流動の活性化エネルギーの値を Fig. 2 に示す。

Fig. 2 に示すように、NaCl-LiCl 系に比し、KCl-NaCl-LiCl 系においては浴中の KCl 含有量の増加と共に粘度は増大する傾向を示す。KCl 含有量が一定の浴においては浴中の NaCl 含有量の増加と共に粘度が増大する。

Table 1 および 2 の結果を用いて作製した KCl-NaCl-LiCl 系の 690 および 640°C における等粘度曲線をそれぞれ Fig. 3 および 4 に示す。

Fig. 3 および 4 より浴中の LiCl 含有量が一定の場合、LiCl 含有量が少ない領域 (約 20 mol%) では NaCl 含有量が増加するにしたがって粘度の極大値および極小値が表われるか、LiCl 含有量が増加 (40 mol% 以上) するにしたがい浴中の NaCl の増減に関係なくほぼ同じ

Fig. 2 Viscosity and activation energy of KCl-NaCl-LiCl system

Table 2 Density, Viscosity and Activation energy for Viscous flow of KCl-NaCl-LiCl system.

Composition (mol%)			Temperature (°C)	Density (g/cm ³)	Viscosity (c. poise)	Activation energy (Kcal/mol)
KCl	NaCl	LiCl				
20	20	60	740	1.52	1.50	4.5
			690	1.54	1.68	
			640	1.57	1.89	
20	40	40	740	1.54	1.46	4.8
			690	1.57	1.65	
			640	1.59	1.91	
20	50	30	740	1.55	1.56	4.6
			690	1.58	1.75	
			640	1.61	1.96	
20	60	20	790	1.54	1.53	5.6
			740	1.56	1.74	
			690	1.59	1.99	
40	20	40	740	1.53	1.57	4.7
			690	1.56	1.77	
			640	1.59	1.95	
40	40	20	740	1.55	1.55	5.2
			690	1.58	1.75	
			640	1.61	2.08	
40	50	10	740	1.56	1.66	5.5
			690	1.59	1.84	
			640	1.61	2.27	
60	10	30	740	1.53	1.61	4.3
			690	1.56	1.74	
			640	1.59	2.03	
60	20	20	740	1.54	1.57	5.2
			690	1.57	1.82	
			640	1.60	2.09	
60	30	10	790	1.52	1.52	4.7
			740	1.55	1.65	
			690	1.58	1.92	
80	10	10	840	1.49	1.24	4.3
			790	1.52	1.44	
			740	1.55	1.66

Fig. 3 Viscosity of KCl-NaCl-LiCl system at 690°C

粘度を示す。また LiCl 含有量が増加するにしたがい粘度が減少する傾向がある。

4. 考 察

2元系混合溶融塩の粘性流動の活性化エネルギーが一次のモル加成性から算出される値に対し偏りをもつことの原因としては、混合による中間化合物または錯イオンの生成あるいは異種分子が隣接して存在することによる異種分子またはイオンの相互作用による影響^{4,5)}などが考えられる。

NaCl-LiCl 2元系塩においては、前報の KCl-LiCl, KCl-NaCl 系と同様に、分子容に加成性が成立するの

Fig. 4 Viscosity of KCl-NaCl-LiCl system at 640°C

で⁴⁾, 錯イオンは存在しないかまたは物性に影響を与えるほど存在しないと考えることができるので, この偏りを異種分子間の相互作用にもとづくものと仮定して考える。

KCl-LiCl 系および KCl-NaCl 系と同様に, 移動するイオン対ならびに, その両側に配置されるイオン対の3個のイオン対の相互作用を考慮すると, Fig. 5 に示すような種々の出会いが考えられる。このイオン対間に相互作用が働くものと仮定する。

Fig. 5 Type of viscosity interaction in a binary mixture

Fig. 5 の (a) の出会いにおける相互作用にもとづく活性化エネルギーは単純塩 A の活性化エネルギーに相当する。b) c) d) の型の相互作用は A イオン対 2 個と B イオン対 1 個の相互作用であり (c) および (d) の活性化エネルギーは同一と見なし, これを E_{AAB} とする。b) の活性化エネルギーは E_{ABA} , 同様に (f) および (g) の活性化エネルギーは E_{ABB} , (e) は E_{BAB} , (h) は E_B として表示する。

$E_A^* = (E_{ABA} + 2E_{AAB})/3$, $E_B^* = (E_{BAB} + 2E_{ABB})/3$ と定義すると, 2 元系塩の活性化エネルギー E_m は, それぞれの出会いにおける相互作用にもとづく活性化エネルギーと, その型の出現する確率との積和として次式で表わしうる。

$$E_m = x_1^3 E_A + 3x_1^2 x_2 E_A^* + 3x_1 x_2^2 E_B^* + x_2^3 E_B \quad (3)$$

E_m : 混合塩の粘性流動の活性化エネルギー

E_A : 純 A 塩の粘性流動の活性化エネルギー

E_B : 純 B 塩の粘性流動の活性化エネルギー

E_A^* : A イオン対 2 個と B イオン対 1 個の相互作用による活性化エネルギー

E_B^* : B イオン対 2 個と A イオン対 1 個の相互作用による活性化エネルギー

x_1 : A のモル分率

x_2 : B のモル分率

本実験における NaCl-LiCl 系混合フラックスの粘性流動の活性化エネルギーについて, 3) 式の適用性を検討した結果を Table 3 に示す。

Table 3 Activation Energy for Viscous flow of LiCl-NaCl System.

Mol. Fraction		Calc. from Additivity (Kcal/mol.)	Calc. with Eq. (15) (Kcal/mol.)	Experimental Data (Kcal/mol.)
LiCl	NaCl			
1.00	0.00	4.2	4.2	4.2
0.80	0.20	4.8	4.0	4.0
0.73	0.27	5.0	3.9	3.7
0.60	0.40	5.4	4.2	4.2
0.40	0.60	5.9	4.7	4.5
0.20	0.80	6.5	5.8	5.7
0.00	1.00	7.1	7.1	7.1

Table 3 に示すように NaCl-LiCl 系の粘性流動の活性化エネルギーの実測値は 3 式による計算値とよく一致する。したがってこの系における活性化エネルギーのモル加成性からの偏りも, KCl-LiCl 系, KCl-NaCl 系と同様に, 異種イオン対間の相互作用にもとづくものと考えられる。

KCl-NaCl-LiCl 3 元系混合塩の粘性流動の活性化エネルギーの値も Fig. 2 に示すように 1 次のモル加成性からは正または負に偏っている。いまこの偏りを 2 元系におけると同様, 異種イオン対間の相互作用にもとづくものと仮定して, A-B-C 3 元系において移動するイオン対ならびにその進行方向と直角方向におけるイオン対の配列の仕方について Fig. 5 と同様に考えると Table 4 に示すような種々の出会いが考えらる。このイオン対間に相互作用が働くものと仮定する。

いま A 塩のモル分率を x_1 , B 塩のモル分率を x_2 , C 塩のモル分率を x_3 とする。($x_1 + x_2 + x_3 = 1$)。A-B-C 3 元系において分子容に加成性が成立することから, A.

Table 4 The Type of Interaction and its Fraction of Total Occurrences in Ternary System.

No.	Type of Interaction	Activation energy	Fraction of Total Occurrences
1	A-A-A	E_A	X_1^3
2	A-B-A	E_{ABA}	$X_1^2 X_2$
3	A-A-B B-A-A	E_{AAB}	$2X_1^2 X_2$
4	B-A-B	E_{BAB}	$X_1 X_2^2$
5	B-B-A A-B-B	E_{ABB}	$2X_1 X_2^2$
6	B-B-B	E_B	X_2^3
7	B-C-B	E_{BCB}	$X_2^2 X_3$
8	B-B-C C-B-B	E_{BBC}	$2X_2^2 X_3$
9	C-B-C	E_{CBC}	$X_2 X_3^2$
10	C-C-B B-C-C	E_{BCC}	$2X_2 X_3^2$
11	C-C-C	E_C	X_3^3
12	C-A-C	E_{CAC}	$X_1 X_3^2$
13	C-C-A A-C-C	E_{ACC}	$2X_1 X_3^2$
14	A-C-A	E_{ACA}	$X_1^2 X_3$
15	A-A-C C-A-A	E_{AAC}	$2X_1^2 X_3$
16	A-B-C A-C-B B-A-C B-C-A C-A-B C-B-A	E_{ABC}	$6X_1 X_2 X_3$

B, および C 各塩は単純均一に分布しているものと考えられるので, A-A-A の相互作用の出現確率は x_1^3 , また A-B-B の相互作用の出現確率は $x_1 x_2^2$ となる. 種々な型の相互作用の出現の確率を Table 4 に示す. (ただしこの場合には相互作用の確率が濃度に関係し, その活性化エネルギーの大小, イオン対の大きさなどには無関係であると仮定する.)

3 元系混合融体の活性化エネルギーは Table 4 の結果により次式で示される.

$$E_m = x_1^3 E_A + x_1^2 x_2 E_{ABA} + 2x_1^2 x_2 E_{AAB} + x_1 x_2^2 E_{BAB} + 2x_1 x_2 E_{ABB} + x_2^3 E_B + x_2^2 x_3 E_{BCB} + 2x_2^2 x_3 E_{BBC} + x_2 x_3^2 E_{CBC} + 2x_2 x_3^2 E_{BCC} + x_3^3 E_C + x_1 x_3^2 E_{CAC} + 2x_1 x_3^2 E_{ACC} + x_1^2 x_3 E_{ACA} + 2x_1^2 x_3 E_{AAC} + 6x_1 x_2 x_3 E_{ABC}$$

4) 式において E_{ABA} , E_{AAB} はいずれも A イオン対 2 個と B イオン対 1 個の相互作用にもとづく活性化エネルギーであり, これらを別々に求めることは困難であるので次のように定義する.

$$E_{AB}^* = (E_{ABA} + 2E_{AAB})/3 \quad (5)$$

$$E_{BA}^* = (E_{BAB} + 2E_{ABB})/3 \quad (6)$$

$$E_{BC}^* = (E_{BCB} + 2E_{BBC})/3 \quad (7)$$

$$E_{CB}^* = (E_{CBC} + 2E_{BCC})/3 \quad (8)$$

$$E_{CA}^* = (E_{CAC} + 2E_{ACC})/3 \quad (9)$$

$$E_{AC}^* = (E_{ACA} + 2E_{AAC})/3 \quad (10)$$

5)~10) を 4) 式に代入すると 3 元系混合塩の活性

化エネルギー E_m は次式で示される.

$$E_m = x_1^3 E_A + 3x_1^2 x_2 E_{AB}^* + 3x_1 x_2^2 E_{BA}^* + x_2^3 E_B + 3x_2^2 x_3 E_{BC}^* + 3x_2 x_3^2 E_{CB}^* + x_3^3 E_C + 3x_1 x_3^2 E_{CA}^* + 3x_1^2 x_3 E_{AC}^* + 6x_1 x_2 x_3 E_{ABC} \quad (11)$$

KCl-NaCl-LiCl 3 元系フラックスにおいて, A を KCl, B を NaCl, C を LiCl とおくと, E_{AB}^* および E_{BA}^* の値は, KCl-NaCl 系より, 同様に E_{BC}^* , E_{CB}^* は NaCl-LiCl 系により, E_{CA}^* , E_{AC}^* は KCl-LiCl 系によりそれぞれ求めることができる. したがって 11) 式における未知数は E_{ABC} の値のみとなるので任意の組成の 3 元系塩の粘性流動の活性化エネルギーの実測値を 11) 式の E_m に代入すれば E_{ABC} の値を求めることができる.

KCl-NaCl-LiCl 3 元系混合塩について, 各組成の浴の粘性流動の活性化エネルギーの値を 11) 式により計算した結果, 実測データによる値, モル加成性による計算値とを比較した結果を Table 5 に示す.

Table 5 Activation Energy for Viscous flow of KCl-NaCl-LiCl system.

Composition (mol %)			Calc. from additivity (Kcal/mol)	Calc. with eq. (11) (Kcal/mol)	Experimental data (Kcal/mol)
KCl	NaCl	LiCl			
20	20	60	5.0	4.5	4.5
20	40	40	5.6	5.1	4.8
20	50	30	5.9	4.9	4.7
20	60	20	6.2	5.6	5.6
40	20	40	5.3	4.5	4.7
40	40	20	5.9	5.2	5.2
40	50	10	6.2	5.4	5.5
60	10	30	5.3	4.0	4.3
60	20	20	5.6	5.1	5.2
60	30	10	5.9	4.6	4.7
80	10	10	5.6	4.3	4.3

Table 5 に示すように, KCl-NaCl-LiCl 3 元系の混合浴の粘性流動の活性化エネルギーの値は 11) 式の計算値と良く一致している.

これらの結果から, アルカリ金属塩化物の 2 元系または 3 元系の混合浴において, 活性化エネルギーの値がモル加成性による値に比し偏りを生じるのは異種分子間の相互作用によるものと考えられ, この相互作用としては 3 体の出会いにもとづく活性化エネルギーおよびその出会いが出現する確率との積により各組成における活性化エネルギーを算出できる.

したがって, KCl-NaCl-LiCl 3 元系塩の粘度 η_M は次式により算出する.

$$\eta_M = \frac{Nh}{V_M} \cdot \exp \cdot DS^* / R \cdot \exp(x_1^3 E_A + x_2^3 E_B + x_3^3 E_C + 3x_1^2 x_2 E_{AB}^* + 3x_1 x_2^2 E_{BA}^* + 3x_2^2 x_3 E_{BC}^* + 3x_2 x_3^2 E_{CB}^* + 3x_1^2 x_3 E_{CA}^* + 3x_1 x_3^2 E_{AC}^* + 6x_1 x_2 x_3 E_{ABC})$$

$$+6x_1x_2x_3E_{ABC})/RT \quad (12)$$

$$V_M = x_1 \frac{M_{KCl}}{\rho_{KCl}} + x_2 \frac{M_{NaCl}}{\rho_{NaCl}} + x_3 \frac{M_{LiCl}}{\rho_{LiCl}} \quad (13)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1, x_2, x_3: \text{KCl, NaCl または LiCl のモル分率} \\ M_{KCl}, M_{NaCl}: \text{KCl または NaCl の分子量} \\ \rho_{KCl}: 1.7660 - 0.0004328t \\ \rho_{NaCl}: 1.9911 - 0.0005430t \\ \rho_{LiCl}: 1.9767 - 0.0005831t \\ t: \text{温度 (}^\circ\text{C)} \end{array} \right.$$

Al および Al 合金のろう接用フラックスとしては、その融点が、ろう材の融点より 30~50°C 低い 550~580°C で粘度が低くかつ若干の組成変化によっても粘度の余り変化しない組成が好ましい。

Fig. 6 Liquidus surface for KCl-NaCl-LiCl system

Fig. 6 の KCl-NaCl-LiCl 3 元系混合塩の液相面図および前述の粘度の測定結果より、フラックスの基本組成としては

LiCl: 30~50 mol%

NaCl: 30~50 mol%

KCl: 20~40 mol%

の組成が好ましいと考えられる。なお LiCl は 1 mol 当り $\frac{1}{2}$ H₂O の結晶水を含み脱水が他の 2 塩に比し、より困難なことから LiCl 含有量をできる限り少なくする方がよい。

アルカリ金属塩化物の粘性流動の活性化エネルギーの値はいずれもそれぞれの塩の電気伝導の活性化エネルギーの値より大きい。アルカリ金属塩化物浴においては電気伝導に支配的に関与する種は陽イオンであるので粘性流動に関与する種は、陽イオンよりもイオン半径の大きい陰イオンまたはイオン対と考えられるが、それぞれの単純塩の活性化エネルギーの値が異なっていることから、粘性に関与する種はイオン対であると考えられる。

註, Table 3 に示す NaCl, LiCl の活性化エネルギーの値は前報の値と比較すると t 検定の結果、高度に有意であることが認められている。前回の実験に使用した試料は化学用薬品で、それぞれの融点は KCl を除き何れも A.E. Glassner の値よりも 3~8°C 低かった。今回の試料は特級薬品を用い融点は大体、Glassner の値と一致していた。したがって活性化エネルギーおよび粘度測定値の差異は薬品ロット間の差異によるものと考えられる。ロット内の差異は繰返し精度から検討して極めて小さいことが認められている。この点については目下検討中であるが、何れの場合も、三イオン対の相互作用を考慮することにより、それぞれの値は算出できる。

5. 総 括

Al および Al 合金ろう接用フラックスの基本組成であるアルカリ金属塩化物混合浴のうち、NaCl-LiCl 系および KCl-NaCl-LiCl 系の各組成の浴の密度および粘度を測定し、粘性流動の活性化エネルギーを算出した。

その結果を総括すると次のようになる。

- 1) NaCl-LiCl 系および KCl-NaCl-LiCl 系浴の分子容にはいずれも加成性が成立する。
- 2) NaCl-LiCl 系では粘度は浴中の NaCl 含有量が増加するにしたがいじやっかん増大する。また粘性流動の活性化エネルギーの値は一次のモル加成性に対し一様に負に偏し、NaCl 27 mol % の組成領域において最小となる。

- 3) KCl-NaCl-LiCl 系では浴中の LiCl 含有量が一定の場合には NaCl と KCl との混合比の違いによる粘度の差はあまり認められず浴中の LiCl 含有量が増加するにしたがい粘度は減少する。3 元系における粘性流動の活性化エネルギーの値もモル加成性から正または負に偏っている。

アルカリ金属塩化物混合浴における、活性化エネルギーの値が、モル加成性により算出される値に対し負または正に偏ることの原因としては異種イオン対間の相互作用が考えられ、2 元系、3 元系いずれの混合塩においても 3 体のイオン対の出合いの型を考え、その相互作用にもとづく活性化エネルギーとその出合いの出現する確率との積の和により混合塩の活性化エネルギーは算出する。すなわち A-B 2 元系塩においては 3) 式で、A-B-C 3 元塩においては 11) 式により算出することができる。

$$E_m = x_1^3 E_A + 3x_1^2 x_2 E_{AB} + 3x_1 x_2^2 E_{BA} + x_2^3 E_B \quad (3)$$

$$\begin{aligned} E_m = & x_1^3 E_A + 3x_1^2 x_2 E_{AB} + 3x_1 x_2^2 E_{BA} + x_2^3 E_B \\ & + 3x_2^2 x_3 E_{BC} + 3x_2 x_3^2 E_{CB} + x_3^3 E_C + 3x_1 x_3^2 E_{CA} \\ & + 3x_1^2 x_3 E_{AC} + 6x_1 x_2 x_3 E_{ABC} \end{aligned} \quad (11)$$

E_m : 混合塩の粘性流動の活性化エネルギー

E_A : A 塩の活性化エネルギー

E_B : B 塩の活性化エネルギー

E_C : C 塩の活性化エネルギー

E_{AB}^* : A イオン対 2 ケと B イオン対 1 ケによる相互作用エネルギー

E_{BA}^* : B イオン対 2 ケと A イオン対 1 ケの相互作用エネルギー

E_{BC}^* : B イオン対 2 ケと C イオン対 1 ケの相互作用エネルギー

E_{CB}^* : C イオン対 2 ケと B イオン対 1 ケの相互作用エネルギー

E_{CA}^* : C イオン対 2 ケと A イオン対 1 ケの相互作用エネルギー

E_{AC}^* : A イオン対 2 ケと C イオン対 1 ケの相互作用エネルギー

E_{ABC} : A, B および C イオン対それぞれ 1 ケによる相互作用エネルギー

x_1, x_2, x_3 : A, B および C のモル分率

2 元系塩では $x_1 + x_2 = 1$

3 元系塩では $x_1 + x_2 + x_3 = 1$

参 考 文 献

- 1) M.F. Jordan & D.R. Milnen; "The Removal of Oxide from Aluminum by Brazing Fluxes" J. Inst. Metals, Vol. 85, (1956) p. 33~40.
- 2) A.H. Sully & H.K. Hardy; "An Investigation of Thickening and Metal Entrapment in a Light Alloy Molting Flux" Vol. 82, (1953) pp. 49~58.
- 3) 松村, 水野, 西原: "KCl-LiCl 系および KCl-NaCl 系フラックスの粘性に関する研究" 溶接学会誌, Vol. 35 No. 6 (1955) p.p. 421~428.
- 4) E.R. Van. Artsdalen & I.S. Yaffe; "Electrical Conductivity and Density of Molten Salt Systems., J. Phys. Chem., Vol. 59 (1955) p.p. 118~127.
- 5) J. Frenkel; "Kinetic Theory of Liquids" Dover (1955) pp. 191~196.

次 号 予 告

資 料

《圧接機構》

常 温 圧 接	齊 藤 哲 夫
拡 散 接 合	橋 本 達 哉
摩 擦 圧 接	蓮 井 淳 夫
爆 発 圧 接	石 井 勇 五 郎

論文および報告

炭素鋼圧接部の高温顕微鏡的研究	橋 本 達 哉
鋼中の水素の挙動に関する基礎的研究 (3)	大 西 巖 男
Ni 基耐熱合金の溶接性に関する研究 (第 2 報)	岡 田 実 博
点溶接におけるナゲット生成機構の研究 (第 1 報)	中 村 孝 信

I.I.W. および J.I.W.

'67 I.I.W. 年次大会 (ロンドン) 出席報告

文 献 紹 介

研 究 速 報