

Viskosität der Schlackensysteme Fe—O—SiO₂—X*

L. BODNÁR, Š. CEMPA, K. TOMÁŠEK und L. BOBOK

*Laboratorium für Metallurgische Verfahren der Metallurgischen Fakultät
der Technischen Hochschule, 043 85 Košice*

Eingegangen am 9. März 1976

Zur Publikation angenommen am 30. Mai 1977

Die Arbeit präsentiert die Ergebnisse der Viskositätsmessungen in den synthetischen Schlackensystemen Fe—O—SiO₂—X (X = CaO, MgO) in dem Gebiet der Zusammensetzung, die derjenigen von Schlacken bei der pyrometallurgischen Kupfererzeugung, u. zw. von Schlacken aus dem Konzentrations-Schmelzflamofen sowie aus dem Konverter, entspricht. Auch die Meßresultate der Viskosität der Schlacken bei dem neuen kontinuierlichen Kupfererzeugungsverfahren KONTI sind angeführt. Untersucht wurde auch der Einfluß der Temperatur und des Gehaltes an Fe₂O₃, CaO und MgO auf die Viskosität der erwähnten Schlackensysteme.

Den eigentlichen Ergebnissen geht eine Beschreibung der verwendeten Apparatur sowie seiner experimentellen Überprüfung voraus. Gearbeitet wurde mit einem für die Zwecke der Autoren adaptierten Rotationsviskosimeter ROTOVISKO.

Die Ergebnisse werden vom Standpunkt der Ionentheorie bei geschmolzenen Schlacken sowie von dem der Ausscheidung der festen Phase bei Temperaturrückgang, bzw. bei Änderung der Zusammensetzung diskutiert.

The paper presents the results of the viscosity measurements for the synthetical slag systems Fe—O—SiO₂—X (X = CaO, MgO) in the composition range corresponding to that of slags from pyrometallurgical copper production, viz. slags from the reverberatory furnace for concentrating melting, as also those from the converter. Also the results of viscosity measurements in slags from the new continuous process of copper production, KONTI, are presented. The influence of temperature and of the content of Fe₂O₃, CaO, and MgO on the viscosity of the slag systems under investigation was studied.

A description of the apparatus used (a commercial rotary viscosimeter ROTOVISKO, adapted according to the purposes of the authors) as well as that of its experimental testing precedes the discussion of the results.

The results are discussed with respect to the ionic theory of molten slags and the deposition of the solid phase due to the decrease of temperature, or to the change in the composition.

* Überarbeitete Fassung eines Vortrags an der I. Konferenz der Sozialistischen Länder über die Chemie und Elektrochemie geschmolzener Salze, Smolenice, November 24—26, 1975.

В работе приводятся результаты измерений вязкости синтетических шлаковых систем $\text{Fe—O—SiO}_2\text{—X}$ ($\text{X} = \text{CaO}, \text{MgO}$) в области соответствующей составу шлаков пирометаллургического производства меди, в частности шлака из пламенной печи концентрационной плавки и шлака из конвертора. Приведены также результаты измерений вязкости шлаков нового континуального процесса производства меди КОНТИ. Было изучено влияние температуры и содержания Fe_2O_3 , CaO и MgO на вязкость указанных систем.

Результатам предшествует описание и испытание экспериментального оборудования, которым был коммерческий ротационный вискозиметр РО-ТОВИСКО, приспособленный для замыслов авторов.

Результаты обсуждаются с точки зрения ионной теории расплавленных шлаков, а также выделения твердой фазы при понижении температуры или изменении состава.

Das Studium der Viskosität der flüssigen Phasen bei der pyrometallurgischen Erzeugung von Kupfer ist sowohl vom theoretischen als auch vom praktischen Gesichtspunkt interessant. Die Viskosität ist einer der Faktoren, die die Geschwindigkeit der Reaktionen, der Absonderung der Schmelzprodukte in einzelne Phasen und damit auch die Höhe der Metallverluste in der Schlacke bestimmen. Die Dünflüssigkeit der Schlacke beeinflusst in beträchtlichem Maße den eigentlichen technologischen Vorgang und bestimmt als wesentlicher Faktor die Haltbarkeit der Ofenauskleidung. Auf Grund der Viskosität, bzw. der Werte der Aktivationsenergie des viskosen Flusses kann die Struktur der geschmolzenen oxidischen, sulfidischen, respektive metallischen Systeme qualitativ beurteilt werden.

Die Rolle der Viskosität von Schlackenschmelzen ist bis nun noch nicht eindeutig festgestellt, weil nämlich eine niedrige Viskosität wohl einen schnellen Ausgleich der Konzentrationsunterschiede in der Schlackenphase ermöglicht und ein schnelles Ansetzen der zerstreuten Kupferpartikel oder des Kupfersteins unterstützt, jedoch auch die Übertragung des löslichen Metalls aus dem Phasengrenzgebiet in die Tiefe der Schmelze bewirkt und als Endresultat auch die Prozeßausbeute herabsetzen kann. Ein niedriger Viskositätswert wirkt sich auch ungünstig auf die Haltbarkeit der Auskleidung aus.

Zweck dieser Arbeit war es, den Einfluß zu untersuchen, den der Gehalt an Fe_2O_3 , MgO und CaO auf die Viskosität in den grundlegenden Schlackensystemen der Kupfermetallurgie, u. zw. in Fe—O—SiO_2 , $\text{Fe—O—SiO}_2\text{—CaO}$, $\text{Fe—O—SiO}_2\text{—CaO—MgO}$, ausübt, und die erhaltenen Resultate an einer realen Schlacke experimentell zu überprüfen.

Experimenteller Teil

Die Viskosität wurde mit einem Rotationsviskosimeter der Firma Gebrüder Haake,

angepaßt für die Arbeit bei hohen Temperaturen, gemessen. Das Schema der Apparatur wird auf Abb. 1 gezeigt. Im Steuerpult (1) befindet sich das Anzeigergerät und die Triebenelemente. Der Meßkopf (2) überträgt das von der Viskosität abhängige Drehmoment. Dieses wird von einem drehbaren, zylinderförmigen, in die Schmelze getauchten Platinkörperchen übertragen. Die mechanische und elektrische Verbindung zwischen dem Steuerpult und dem Meßkopf wird durch eine biegsame Welle (3) bewerkstelligt. Die Viskositätswerte wurden von einem Transistor-Registriergerät TZ 21 (4) verzeichnet. Der Tiegel (5) mit der Schlacke stand auf einem Gestell (6) im elektrischen Widerstandsofen (7) mit regulierbarer Temperatur. Die Temperatur wurde mit einem im Gestell (6) unmittelbar unterhalb des Tiegelbodens befestigten PtRh10—Pt Thermoelement gemessen.

Für die Viskositätsmessungen wurde die Messanordnung Typ E benützt. Der zylinderförmige Rotationsgeber hatte einen Durchmesser von 16 mm, bei einer Höhe von 35 mm; der Durchmesser der Verbindungswelle betrug 3 mm (laut Erzeugerfirma Ausführung E 100), war hohl und wurde vom VEB Safina, Vestec, auf Grund von Beratung und Dokumentation des Viskosimeterproduzenten, aus Platin verfertigt.

Vor den eigentlichen Messungen wurde die Apparatur durch Viskositätsmessungen in Ölen und Schmelzen mit bekannter Viskosität getestet. Der berechnete Gesamtfehler der Viskositätsmessungen betrug $\pm 12\%$, bei den Temperaturmessungen $\pm 10^\circ\text{C}$. Aus zehn Messungen wurde eine Standardabweichung von 5% festgestellt.

Mit Rücksicht auf die Tatsache, daß bei den Viskositätsmessungen im Temperaturintervall von $1100\text{--}1400^\circ\text{C}$ das Drehvermögen des Platingerbers eine Veränderung seiner Oberfläche und also der Konstante K bewirkte, war es notwendig eine Korrektur der Konstante K

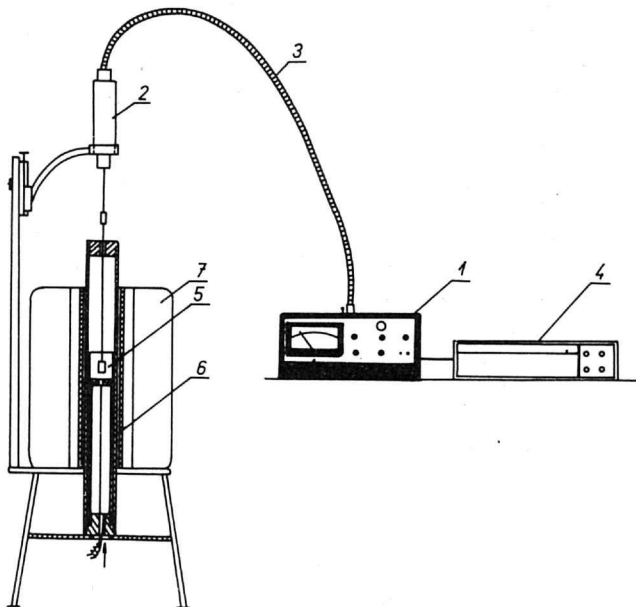


Abb. 1. Schema der Meßapparatur.

vorzunehmen. Die Änderung des Volumens des Rotationsgebers im angeführten Intervall wurde mittels folgender Beziehung berechnet

$$V = V_0(1 + \beta\Delta t)$$

wobei V = Volumen bei der Temperatur t ,

V_0 = Volumen bei der Temperatur von 20°C,

β = Koeffizient des Volumen-Dehnungsvermögens von Platin, $\beta \approx 3\alpha$,

α = Koeffizient des Längen-Dehnungsvermögens von Platin, $9,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,

Δt = Temperaturunterschied.

Aus der Änderung des Volumens wurde die Vergrößerung der Oberfläche des Platingebers berechnet. Aus der experimentell bestimmten Abhängigkeit für die Änderung des Wertes der Konstante K des Gebers von der Größe seiner Oberfläche konnte der korrigierte Wert der Konstante K in benützten Temperaturbereich von 1000—1400°C bestimmt werden. Diese Messung wurde an Gebern von verschiedenen Größen der Oberfläche verwirklicht, wozu das Rizinusöl angewendet wurde.

Die Richtigkeit der ausgearbeiteten Methoden wurde durch Messungen der Viskosität der Schlacken in Systemen FeO—SiO₂ und FeO—SiO₂—CaO überprüft. Die erhaltenen Resultate sowie die Ergebnisse anderer Autoren sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Die Schlackenprobe befand sich bei den Messungen in einer Schutzatmosphäre von gereinigtem Stickstoff, dessen Durchfluß 1200 ml/min betrug.

Die Schlacken der synthetischen Systeme wurden aus reinen Oxiden — Eisen(III)-oxid, Siliziumdioxid bzw. Magnesium- und Kalziumoxid — und aus Eisenpulver hergestellt. Durch Umschmelzen in einem Eisentiegel bei der Temperatur von 1350°C wurde die mit Eisen gesättigte Schlackenprobe der gewünschten Ausgangszusammensetzung erhalten.

Im System Fe—O—SiO₂ wurde der Einfluß von Fe₂O₃ auf die Art festgestellt, daß die Viskosität im Platintiegel gemessen wurde, wobei der Gehalt an Fe₂O₃ unter der Einwirkung des Oxygens aus der Ofenatmosphäre fortlaufend anstieg, bis zur Sättigung des Systems mit Magnetit.

Zur Bestimmung der für die Sättigung der untersuchten Proben mit Magnetit erforderlichen Zeitdauer, d. h. der Zeit, die unter atmosphärischen, den bei den Viskositätsmessungen herrschenden nahe stehenden, Bedingungen für die Bildung einer festen Kruste auf der

Tabelle 1

Vergleich der eigenen Meßwerte für die Viskosität mit den Werten anderer Autoren

Autor	Chemische Zusammen- setzung, Gew. %			Viskosität (N s m ⁻²) bei den Temperaturen (°C)				
	SiO ₂	FeO	CaO	1200	1250	1300	1350	1400
Röntgen [1]	40,1	59,9	—	0,52	0,29	0,15	0,14	0,13
Eigene Werte	39,7	60,3	—	0,49	0,28	0,15	0,13	0,13
Johansen [2]	40,9	35,9	20,7	0,60	0,41	0,293	0,226	0,19
Eigene Werte	41,5	37,0	21,5	0,58	0,40	0,31	0,23	0,21

Schmelzoberfläche notwendig ist, wurde folgendes Experiment durchgeführt: Im Ofen für die Viskositätsmessungen wurde bei gereinigter Stickstoffatmosphäre die umgeschmolzene Probe aus dem Eisentiegel im Platintiegel geschmolzen; alle 15 bzw. 20 Minuten wurden — bis zum beginnenden Festwerden der Oberfläche — Proben für die chemische Analyse entnommen. Mittels dieser wurde der Gehalt an dreiwertigem Eisen in den Proben bestimmt. Der Kontakt mit Sauerstoff wurde durch den gereinigten Stickstoff vermittelt, der 13 p.p.m. O₂ enthielt. Dieser Sauerstoffgehalt im gereinigten Stickstoff wurde mit einem Sauerstoffanalysator (Erzeugung des ÚAČHP, Prag) bestimmt. Die Experimentergebnisse sind in Tabelle 2 enthalten.

Tabelle 2

Bestimmung der Magnetitsättigung durch Sauerstoff aus der Ofenatmosphäre

Probe	t, min	Chemische Zusammensetzung, Gew. %		
		FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
3	0	59,50	18,30	22,15
4	15	58,23	20,27	21,50
5	30	59,10	18,60	22,33
6	50	56,40	22,52	21,08
7	70	55,76	23,28	20,96
8	90	54,80	23,39	21,81
9	110	52,54	24,78	23,68
10	130	52,53	24,10	23,37
11	150		Kruste	

Der Einfluß von MgO und CaO in den betreffenden Systemen wurde im Eisentiegel bei gleichbleibendem Fe(III)-Gehalt untersucht.

Beim Untersuchen des Einflusses der einzelnen Oxide auf die Viskosität der erwähnten Oxidssysteme wurde das gleiche Verhältnis der übrigen Komponenten beibehalten. Dieses Verhältnis kann für die einzelnen Systeme folgend definiert werden

$$\text{System Fe—O—SiO}_2 \quad R = \frac{\text{FeO}}{\text{SiO}_2}$$

$$\text{System Fe—O—SiO}_2\text{—CaO} \quad R = \frac{\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$$

$$\text{System Fe—O—SiO}_2\text{—CaO—MgO} \quad R = \frac{\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}}{\text{SiO}_2}$$

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 3 bringt die Zusammensetzung der Ausgangsschlacken zur Untersu-

Tabelle 3

Zusammensetzung der Ausgangsschlacken für die Untersuchung des Einflusses von Fe_2O_3 , bzw. MgO und CaO auf die Viskosität in synthetischen Systemen

System	Einfluß	Chemische Zusammensetzung, Gew. %					R	Abb. Nr.
		SiO_2	FeO	Fe_2O_3	CaO	MgO		
Fe—O— SiO_2	Fe_2O_3	19,5	67,3	13,1	—	—	3,23	2
		27,0	63,0	10,0	—	—	2,07	2
		32,6	54,7	12,7	—	—	1,67	2
		37,8	56,9	5,3	—	—	1,47	2
Fe—O— SiO_2 —CaO— —MgO	MgO	25,3	51,6	13,5	9,6	—	2,96	4
		29,4	47,8	11,2	11,6	—	2,40	3, 4
		38,0	44,6	7,8	12,5	—	1,69	4
Fe—O— SiO_2 —CaO	CaO	35,4	48,2	16,4	—	—	1,82	5

chung des Einflusses von Fe_2O_3 , bzw. MgO und CaO , auf die Viskosität in den synthetischen Systemen.

Abb. 2 zeigt den Einfluß von Fe_2O_3 auf die Viskosität im System Fe—O— SiO_2 , bei der Temperatur von 1300°C , für verschiedene Werte von R .

Die Temperaturabhängigkeit der Viskosität im System Fe—O— SiO_2 —CaO— MgO für $R = 2,4$ ist aus Abb. 3 ersichtlich. Der Einfluß von MgO auf die Viskosität in diesem System, bei einer Temperatur von 1300°C und für verschiedene Werte von R , ist auf Abb. 4 gezeigt.

Die Temperaturabhängigkeit der Viskosität im System Fe—O— SiO_2 —CaO für $R = 1,82$ ist auf Abb. 5 dargestellt.

Die grundlegenden Ergebnisse der Viskositätsmessungen in synthetischen Schlackensystemen wurden mit der Viskosität echter Kupferhütten-Schlacken aus der Modellanlage KONTI für kontinuierliche Kupfererzeugung aus Konzentraten verglichen. Wegen eines verhältnismäßig hohen Kupfer- und Schwefelgehaltes in der KONTI-Schlacke (siehe Tabelle 4) konnte diese nicht für Viskositätsmessungen verwendet werden, da der Platingeber sowie der Platintiegel in dieser Schlacke während der Messungen in Lösung gingen. Da sich nun eine ganze Reihe anderer Stoffe diesbezüglich nicht als erfolgreich erwies, bereiteten wir die KONTI-Schlacke aus synthetischen Stoffen ohne Kupfer und Schwefel. Für die Viskositätsmessungen der so bereiteten Schlacken wurde ein Rotationskörper aus Platin verwendet.

Tabelle 5 zeigt die Zusammensetzung der synthetisch dargestellten KONTI-Schlacke, die hinsichtlich ihres Oxidgehaltes mit der echten KONTI-Schlacke übereinstimmt.

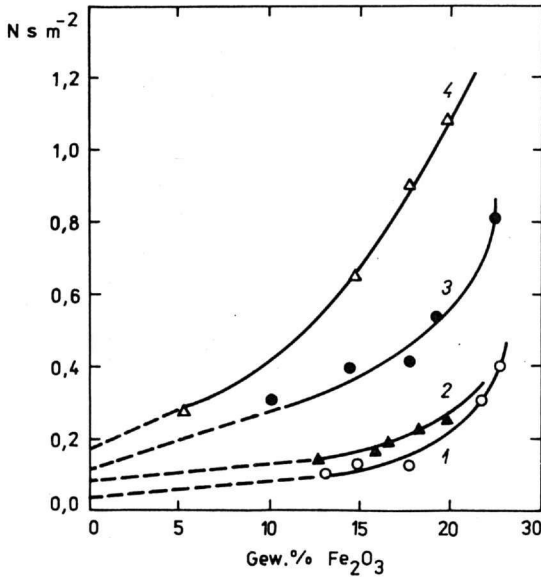


Abb. 2. Einfluß von Fe_2O_3 auf die Viskosität im System $\text{Fe}-\text{O}-\text{SiO}_2$ bei der Temperatur von 1300°C .

FeO/SiO_2 : 1. 3,23; 2. 1,67; 3. 2,07; 4. 1,47.

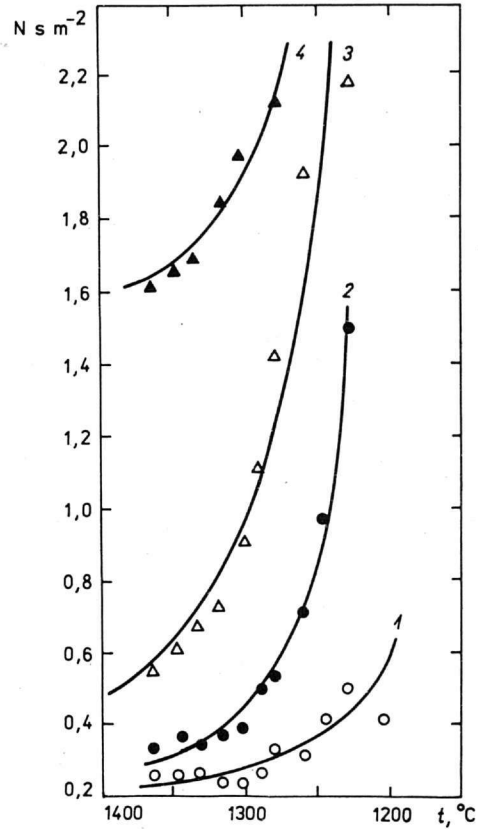


Abb. 3. Temperaturabhängigkeit der Viskosität im System $\text{Fe}-\text{O}-\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{MgO}$;

$R = 2,4$.

1. 0% MgO ; 2. 3% MgO ; 3. 6% MgO ; 4. 9% MgO .

Tabelle 4

Chemische Zusammensetzung der Schlacken aus dem KONTI-Modellaggregat vor der Abreicherung

Chemische Zusammensetzung, Gew. %							
SiO_2	FeO	Fe_2O_3	CaO	MgO	Al_2O_3	Cu	S^-
27,8	30,6	20,6	11,0	4,8	0,05	2,8	0,27

Der Einfluß von Fe_2O_3 auf die Viskosität synthetischer KONTI-Schlacken wird für zwei verschiedene Verhältnisse R , bei der Temperatur von 1300°C , in Abb. 6 gezeigt.

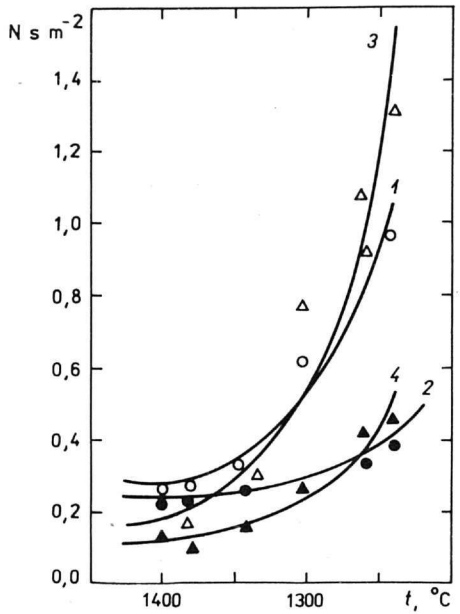
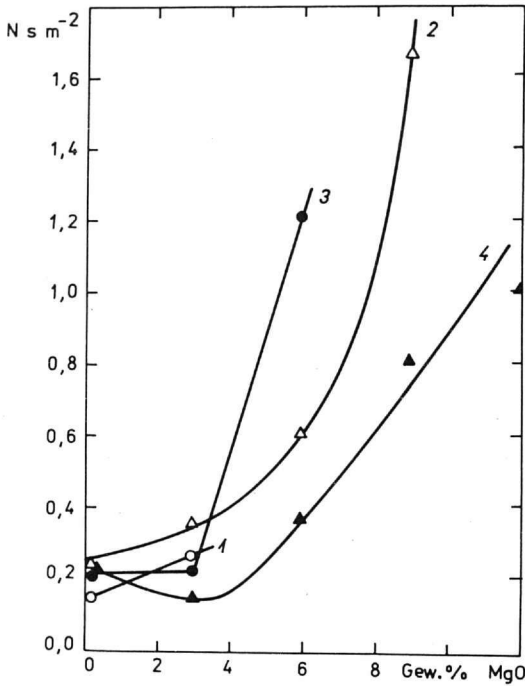


Abb. 4. Einfluß des MgO-Gehaltes auf die Viskosität bei 1300°C.

1. $R = 2,96$; 2. $R = 2,40$; 3. $R = 2,23$;
4. $R = 1,69$.

Abb. 5. Temperaturabhängigkeit der Viskosität im System Fe—O—SiO₂—CaO; $R = 1,82$.

1. 0% CaO; 2. 2% CaO; 3. 4% CaO; 4. 6% CaO.

Tabelle 5

Ausgangszusammensetzung der synthetisch dargestellten Schlacken aus dem KONTI-Modellaggregat für die Untersuchung des Einflusses von Fe₂O₃, bzw. MgO und CaO auf die Viskosität

Einfluß	Chemische Zusammensetzung, Gew. %						R	Abb. Nr.
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Al ₂ O ₃		
Fe ₂ O ₃	27,7	30,5	21,0	10,5	5,5	0,9	1,41	6
Fe ₂ O ₃	28,7	36,7	21,5	10,6	5,7	0,05	1,75	6
MgO	30,6	55,2		11,2	3,0	—	2,17	7
CaO	31,0	55,8		8,0	5,2	—	1,96	8, 9

Abb. 7 veranschaulicht die Temperaturabhängigkeit der Viskosität der synthetischen KONTI-Schlacken bei veränderlichem MgO-Gehalt.

Abb. 8 wiedergibt die Temperaturabhängigkeit der Viskosität der synthetischen KONTI-Schlacken bei veränderlichem CaO-Gehalt.

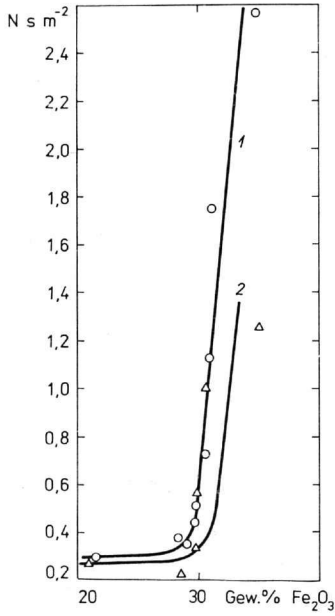


Abb. 6. Einfluß von Fe_2O_3 auf die Viskosität der synthetisch dargestellten KONTI-Schlacke bei 1300°C .

1. $R \approx 1,70$; 2. $R \approx 1,41$.

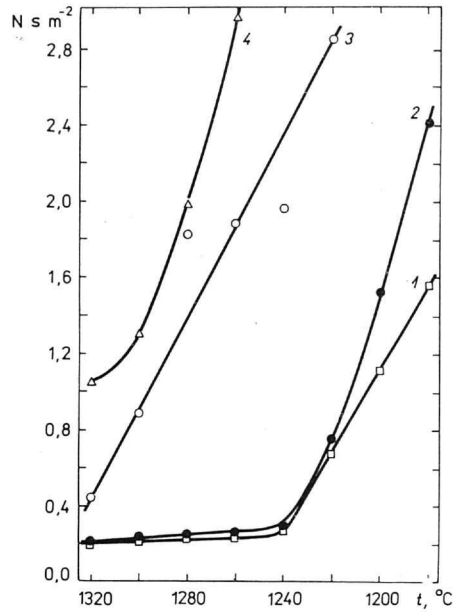


Abb. 7. Temperaturabhängigkeit der Viskosität der synthetisch dargestellten KONTI-Schlacke bei verschiedenem MgO -Gehalt.

1. 3% MgO ; 2. 5% MgO ; 3. 7% MgO ; 4. 9% MgO .

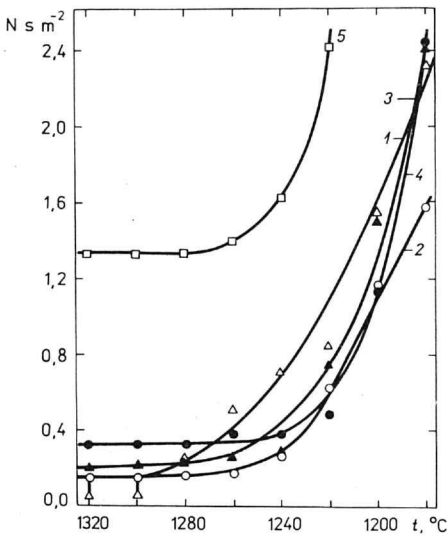


Abb. 8. Temperaturabhängigkeit der Viskosität der synthetisch dargestellten KONTI-Schlacke bei verschiedenem CaO -Gehalt.

1. 8% CaO ; 2. 10% CaO ; 3. 11% CaO ;
4. 12% CaO ; 5. 14% CaO .

Abb. 9 zeigt die Abhängigkeit der Viskosität der synthetischen KONTI-Schlacken von dem Gehalt an CaO, bei verschiedenen Temperaturen.

Die erhaltenen Ergebnisse können folgend erklärt werden: Aus Abb. 2 ist klar ersichtlich, daß das Eisen(III)-oxid die Viskosität im System Fe—O—SiO₂ mäßig erhöht, ungefähr bis zu einem Gehalt von 17%. Dieser mäßige Anstieg der Viskosität im ersten Gebiet kann durch die erhöhte Anzahl der anwesenden Fe³⁺-Kationen in der homogenen Schmelze erklärt werden. Diese Kationen bilden mit dem O²⁻-Anion das komplexe Anion Fe_xO_y^{z-}, wahrscheinlich FeO₂⁻ und Fe₂O₅⁴⁻, wodurch die Struktur komplizierter wird und die Viskosität steigt. Ein heftigerer Anstieg der Viskosität bei höherem Gehalt an Eisen(III)-oxid findet seine Erklärung in der Ausscheidung der festen Phase bei Sättigung der Schmelze mit Magnetit. In Abb. 2 wird die Extrapolation der Viskositätswerte bis zum Nullgehalt an Fe₂O₃ gezeigt. Diese Werte bei 0% Fe₂O₃ zeigen gute Übereinstimmung mit den Angaben von Kozakevič [3], Urbain [4] und Myslivec [5], die die Viskosität im System FeO—SiO₂ gemessen hatten. Die Lage der einzelnen Linien auf dieser Abbildung zeigt den Einfluß des Verhältnisses $R = \text{FeO}/\text{SiO}_2$, bzw. den von SiO₂. Bei einem SiO₂-Gehalt über 30% wurde ein Viskositätsabfall beobach-

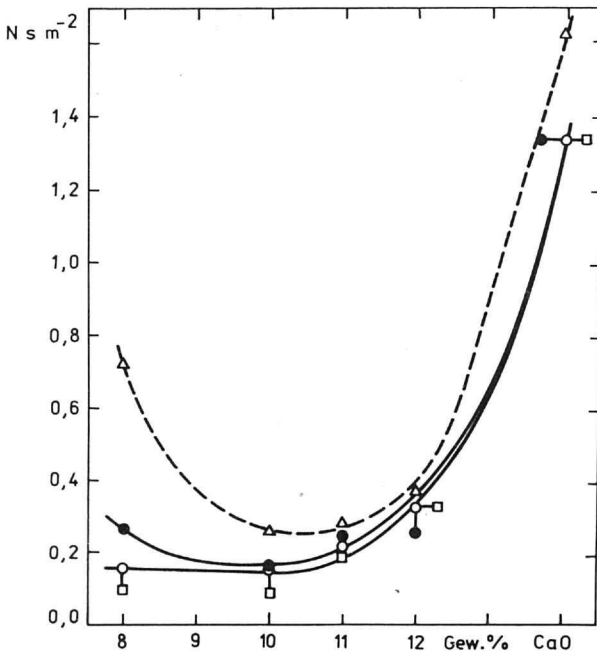


Abb. 9. Abhängigkeit der Viskosität der synthetischen KONTI-Schlacke von verschiedenem CaO-Gehalt, bei verschiedenen Temperaturen.

□ 1320°C; ○ 1300°C; ● 1280°C; △ 1240°C.

tet, welcher Umstand im Einklang mit den erwähnten Autoren, die den Einfluß von SiO_2 auf die Viskosität im System FeO—SiO_2 untersuchten, steht.

Aus der Lage der Linien auf Abb. 3 und aus Abb. 4 ist ein Ansteigen der Viskosität mit wachsendem Gehalt an MgO zu ersehen. Das Kation Mg^{2+} liegt mit seinem Ionenpotential-Wert an der Grenze zwischen den Modifikator-Kationen, die in der Schmelze selbständig vorkommen, und den komplexbildenden Kationen, die mit dem O^{2-} -Anion komplexe Anionen bilden. Daher, obwohl das Kation Mg^{2+} Silikatanionen zerstört, hingegen mit Sauerstoff den komplexen Anionen ähnliche Gebilde formt, wird die Struktur des Systems komplizierter. Die Viskosität steigt auch aus dem Grunde, weil bei wachsendem Gehalt an MgO die schwerlösliche Phase von Monticellit ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$) ausgeschieden wird, der mittels RTG-Diffraktionsanalyse schnellgekühlter Proben nachgewiesen wurde.

Abb. 5 veranschaulicht den Einfluß der Temperatur, und die Lage der einzelnen Linien auch den des CaO -Gehaltes auf die Viskositätswerte im System $\text{Fe—O—SiO}_2\text{—CaO}$. Mit steigendem CaO -Gehalt sinkt die Viskosität, da bei steigender Anzahl der Ca^{2+} -Kationen und O^{2-} -Anionen die Sauerstoff-Silizium-Anionen mit Sauerstoff gesättigt werden, wodurch die Struktur der Schmelze einfacher wird.

Abb. 6 zeigt den plötzlichen Viskositätsanstieg bei erhöhtem Fe_2O_3 -Gehalt über 30%, bei 1300°C , in der KONTI-Schlacke. In diesem Falle zeigt sich die Sättigung bei einem Fe_2O_3 -Gehalt, der höher ist um etwa 10%, als im synthetischen System. Dies kann dadurch erklärt werden, daß die KONTI-Schlacke ein Vielkomponentensystem darstellt, in dem am Viskositätswert mehrere Einflüsse geltend werden. Im homogenen Gebiet der Schmelze zeigte sich der Einfluß des Anions $\text{Fe}_x\text{O}_y^{z-}$ nicht.

Wie aus Abb. 7 ersichtlich ist, steigt die Viskosität mit wachsendem MgO in synthetischen KONTI-Schlacken. Zwischen einer 3 und 5% Zugabe von MgO ist kein wesentlicher Unterschied, wohl aber bei weiterem Anstieg des MgO -Gehaltes auf 7 und 9%, wo der Viskositätsanstieg markant wird. Dieser Umstand kann erklärt werden durch die Wirkung der Mg^{2+} -Kationen in der Silikatstruktur, ähnlich wie im synthetischen System. Bei höherem MgO -Gehalt kann auch die Ausscheidung einer schwerlöslichen Phase auftreten. Als Beweis für diesen Umstand kann auch die Abweichung der Viskositätswerte zwischen 3 und 5% MgO , bei niedrigeren Temperaturen dienen. Der Einfluß von MgO auf die Viskosität der synthetischen KONTI-Schlacken ist im wesentlichen derselbe wie im System $\text{Fe—O—SiO}_2\text{—CaO—MgO}$.

Beim System $\text{Fe—O—SiO}_2\text{—CaO}$ wurde der Einfluß von CaO bis zu 6% beobachtet. Da die Schlacke aus der KONTI Modellanlage immer mehr als 6% CaO enthält, wurde für diesen Fall der Einfluß eines höheren CaO -Gehaltes auf die Viskosität untersucht.

Wie Abb. 9 zeigt, fällt die Viskosität in der synthetischen KONTI-Schlacke mit

steigendem CaO-Gehalt; bei einem bestimmten Gehalt an CaO, ungefähr bei 12%, erfolgt ein steiler Anstieg der Viskosität. Für den Viskositätsabfall gilt die gleiche Erklärung wie im synthetischen System, während ihr Anstieg über 12% CaO-Gehalt durch die Bildung einer schwerlöslichen Phase, die in einem Vielkomponentensystem, wie es die KONTI-Schlacke darstellt, vorkommt, erklärt wird.

Die Temperaturabhängigkeit zeigt im Falle der Untersuchung des Einflusses von CaO und MgO einen exponentialen Verlauf.

Zusammenfassend kann über den Einfluß von Eisen(III)-oxid, Kalzium- und Magnesiumoxid auf die Viskosität gesagt werden, daß diese Oxide im wesentlichen die gleiche Wirkung in synthetischen Systemen zeigen wie bei der synthetisch dargestellten KONTI-Schlacke, bei der allerdings der Einfluß weiterer Komponenten deutlicher wird, nachdem es sich um ein komplizierteres Vielkomponentensystem handelt.

Literatur

1. Röntgen, R., Winterhagen, H. und Kammel, R., *Erzmetall* **13**, 363 (1960).
2. Johansen, F. und Wiege, W., *Erzmetall* **11**, 2 (1958).
3. Kozakevič, P. P., Leiba, S. P. und Komar, E. P., *Zh. Fiz. Khim.* **1939**, 248.
4. Urbain, G., *C. R. Acad. Sci.* **4**, 330 (1951).
5. Myslivec, T., *Eigenschaften und Struktur geschmolzener Schlacken*. Klement-Gottwald Vitkovicer Eisenwerke, Ostrava 1970.

Übersetzt von T. Guttmanová