

Pančenkov, G.M

VISKOSITÄT GESCHMOLZENER METALLE

Deutsche Vollübersetzung aus:

Doklady. Akademija nauk SSSR. (Fizičeskaja chimija).
Moskva, 79(1951), Nr. 6, S. 985 - 988.

Russ.: ВЯЗКОСТЬ РАСПЛАВЛЕННЫХ МЕТАЛЛОВ
Vjazkost' rasplavlennyh metallov

Die von uns aufgestellte Theorie der Viskosität von Flüssigkeiten [1, 2] führt zu folgender Abhängigkeit der Viskosität von Flüssigkeiten von der Temperatur:

$$\eta = \frac{12\sqrt{R}}{3} \frac{\omega^{2/3} \rho^{4/3} M^{-1/3} T^{1/2} e^{\Delta S/R} e^{\varepsilon_0/RT} (1 - e^{-\varepsilon_0/RT})}{V\pi V N_0}, \quad (1)$$

wobei η die absolute Viskosität einer Flüssigkeit, R die universale Gaskonstante, N_0 die Loschmidtsche Zahl, ω das Eigenvolumen der Moleküle pro Gramm, ρ die Flüssigkeitsdichte, M das Molekulargewicht, T die absolute Temperatur, ΔS die Veränderung der molaren Entropie bei Bildung einer Bindung und ε_0 die Bindungsenergie der Flüssigkeitsmoleküle bedeuten. Diese Gleichung kann man folgendermaßen schreiben:

$$\eta = A' \rho^{4/3} T^{1/2} e^{\varepsilon_0/RT} (1 - e^{-\varepsilon_0/RT}), \quad (2)$$

mit

$$A' = \frac{12\sqrt{R}}{3} \frac{\omega^{2/3} M^{-1/3} e^{\Delta S/R}}{V\pi V N_0}$$

Wie in [1] gezeigt, kann man die Größe A' als konstant annehmen, insbesondere in großen Temperaturintervallen, da ΔS sich gewöhnlich kaum mit der Temperatur verändert.

Diese Gleichung wurde mit guten Ergebnissen bei ihrer Natur nach verschiedenartigen Flüssigkeiten (Kohlenwasserstoffe, Alkohole, organische Säuren, Ketone, Haloidderivate von Kohlenwasserstoffen, Wasser, geschmolzene Salze usw.) untersucht. Wie nachstehend gezeigt werden soll, ist diese Gleichung aber auch gut anwendbar zur Beschreibung der Temperaturabhängigkeit der Viskosität von geschmolzenen Metallen. Die Überprüfung, ob diese Gleichung auch auf geschmolzene Metalle angewandt werden kann, wurde folgendermaßen durchgeführt. Aus den Versuchsangaben für die Viskosität der Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen wurde an zwei Punkten die Bindungsenergie ϵ_0 und A' berechnet. Mit diesen so berechneten Werten wurden nach Gleichung (2) die Viskositäten für das gesamte Temperaturintervall ausgerechnet und mit den Versuchsangaben verglichen. Die Ergebnisse sind bei flüssigem Natrium, Kalium, Silber, Cadmium, Quecksilber, Zinn, Blei, Antimon und Wismut in Tab. 1 angegeben. Hierbei bezeichnen T die absolute Temperatur, d die Dichte, η_{exp} die experimentell ermittelte Viskosität, η_{rech} die nach Gleichung (2) berechnete Viskosität und $\Delta\eta = \frac{\eta_{rech} - \eta_{exp}}{\eta_{exp}} \cdot 100$ die prozentuale Abweichung des Rechenwertes von der experimentell ermittelten Größe.

T a b e l l e 1

Natrium.		$\epsilon_0 = 1153 \text{ cal/mol, } \lg A' = \bar{4},00200$		
T	d [3]	$\eta_{exp} \cdot 10^3$ [4]	$\eta_{rech} \cdot 10^3$	$\Delta\eta, \%$
371,2	0,9381	7,264	6,647	- 8,0
372,8	0,9377	7,142	6,599	- 7,0
375,6	0,9370	6,856	6,582	- 5,0
393,6	0,9323	6,170	6,113	- 1,0
427,7	0,9234	5,314	5,386	+ 1,2
428,2	0,9233	5,322	5,377	+ 1,0
432,3	0,9223	5,225	5,303	+ 1,4
446,9	0,9160	4,942	5,032	+ 1,8
456,6	0,9134	4,760	4,878	+ 2,4
479,9	0,9100	4,431	4,562	+ 3,0
491,2	0,9070	4,239	4,415	+ 5,0
562,2	0,8885	3,506	3,677	+ 5,0
628,2	0,8513	3,015	2,989	- 1,0

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Kalium. $\epsilon_0 = 887,5$ cal/mol, $\lg A^1 = \bar{4},12400$

T	d [3]	$\eta_{\text{exp}} \cdot 10^3$ [4]	$\eta_{\text{re.}} \cdot 10^3$	$\Delta\eta, \%$
337,4	0,8256	5,535	5,341	- 3,5
340,2	0,8250	5,256	5,159	- 2,0
341,1	0,8248	5,230	5,140	- 1,2
352,6	0,8223	4,930	4,907	- 0,5
372,7	0,8178	4,540	5,547	+ 0,2
392,8	0,8133	4,188	4,239	+ 1,0
428,7	0,8053	3,707	3,786	+ 2,1
448,7	0,8009	3,530	3,576	+ 1,3
480,9	0,7937	3,249	2,283	+ 1,0
555,7	0,7781	2,750	2,770	+ 0,7
625,7	0,7616	2,457	2,412	- 1,9

Silber. $\epsilon_0 = 4666$ cal/mol, $\lg A^1 = \bar{5},02170$

T	d [5]	$\eta_{\text{exp}} \cdot 10^2$ [6]	$\eta_{\text{re.}} \cdot 10^2$	$\Delta\eta, \%$
1273,2	9,27	3,89	3,90	+ 0,2
1323,2	9,22	3,62	3,62	0,0
1373,2	9,17	3,39	3,39	0,0
1423,2	9,12	3,18	3,18	0,0
1433,2	9,07	2,99	2,99	0,0

Cadmium. $\epsilon_0 = 1156$ cal/mol, $\lg A^1 = \bar{5},58633$

T	d [7]	$\eta_{\text{exp}} \cdot 10^2$ [6]	$\eta_{\text{re.}} \cdot 10^2$	$\Delta\eta, \%$
623,2	7,980	2,366	2,370	+ 0,2
673,2	7,919	2,170	2,169	- 0,1
723,2	7,849	2,004	2,000	- 0,2
773,2	7,791	1,861	1,859	- 0,1
823,2	7,729	1,738	1,738	0,0
873,2	7,671	1,630	1,633	+ 0,2

Quecksilber. $\epsilon_0 = 286,3$ cal/mol, $\lg A^1 = \bar{5},64700$

T	d [8]	$\eta_{\text{exp}} \cdot 10^2$ [9]	$\eta_{\text{re.}} \cdot 10^2$	$\Delta\eta, \%$
253,2	13,645	1,85	1,76	- 4,0
273,2	13,525	1,68	1,65	- 2,0
293,2	13,546	1,55	1,55	0,0
323,2	13,472	1,39	1,43	+ 4,0
373,2	13,351	1,21	1,28	+ 6,0
423,2	13,231	1,09	1,16	+ 7,0
473,2	13,112	1,01	1,06	+ 5,0
523,2	12,993	0,96	0,98	+ 2,0
573,2	12,874	0,92	0,92	0,0
623,2	12,754	0,90	0,86	- 4,0

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Zinn. $\epsilon_0 = 1210 \text{ cal/mol, lgA}' = \bar{5},44150$				
T	d [10]	$\eta_{\text{exp}} \cdot 10^2$ [11]	$\eta_{\text{re.}} \cdot 10^2$	$\Delta\eta, \%$
533,2	6,974	1,82	1,81	- 0,5
573,2	6,243	1,67	1,66	- 0,6
613,2	6,916	1,54	1,53	- 0,6
653,2	6,889	1,43	1,43	0,0
693,2	6,862	1,33	1,34	+ 0,7
733,2	6,833	1,25	1,26	+ 0,8
773,2	6,814	1,18	1,19	+ 0,8
813,2	6,790	1,125	1,129	+ 0,4
853,2	6,766	1,07	1,076	+ 0,6
893,2	6,743	1,025	1,026	+ 0,1
933,2	6,719	0,985	0,985	0,0
973,2	6,695	0,945	0,946	+ 0,1
1013,2	6,672	0,915	0,911	- 0,4
1073,2	6,637	0,87	0,862	- 1,0

Blei. $\epsilon_0 = 2303 \text{ cal/mol, lgA}' = \bar{6},92237$				
T	d [7]	$\eta_{\text{exp}} \cdot 10^2$ [6]	$\eta_{\text{re.}} \cdot 10^2$	$\Delta\eta, \%$
623,2	10,639	2,648	2,649	0,0
673,2	10,578	2,315	2,315	0,0
723,2	10,518	2,057	2,055	- 0,1
773,2	10,499	1,850	1,859	+ 0,5
823,2	10,395	1,681	1,681	0,0
873,2	10,330	1,540	1,540	0,0

Antimon. $\epsilon_0 = 2585 \text{ cal/mol, lgA}' = \bar{5},08854$				
T	d [12]	$\eta_{\text{exp}} \cdot 10^2$ [13]	$\eta_{\text{re.}} \cdot 10^2$	$\Delta\eta, \%$
973,2	6,45	1,300	1,289	- 0,8
1073,2	6,38	1,111	1,122	+ 0,9
1173,2	6,32	1,012	0,970	- 1,5
1273,2	6,27	0,907	0,900	- 0,7
1373,2	6,20	0,800	0,817	+ 2,1*

Wismut. $\epsilon_0 = 1447, \text{lgA}' = \bar{5},10295$				
T	d [14]	$\eta_{\text{exp}} \cdot 10^2$	$\eta_{\text{re.}} \cdot 10^2$	$\Delta\eta, \%$
577,2	9,984	1,66	1,66	0,0
724,2	9,810	1,21	1,24	+ 2,5
873,2	9,630	1,00	1,00	0,0
874,2	9,629	0,996	0,998	+ 0,2

*viskosität extrapoliert.

Wie aus Tab. 1 hervorgeht, stimmen die nach Gleichung (2) errechneten Viskositätswerte der Metalle gut mit dem Versuch überein. Dabei muß berücksichtigt werden, daß die Meßgenauigkeit von Dichte und Viskosität der Metalle wegen der schwierigen Versuchsanordnung bei hohen Temperaturen, aber auch wegen der Schwierigkeit, Metall im Reinzustand zu bekommen, nicht besonders groß ist. In den meisten Fällen weisen die Verfasser der anderen Arbeiten auch nicht darauf hin. Bei den Berechnungen haben wir außerdem die Temperaturabhängigkeit der Enthalpieveränderung bei der Bindungsbildung vernachlässigt.

Von besonderem Interesse sind die geringen Werte der Bindungsenergie der Atome im flüssigen Metall ϵ_0 insbesondere dann, wenn man sie mit den Verdampfungswärmen vergleicht, die gewöhnlich um etliche Kalorien pro Gramm-Atom größer sind. Der geringe Wert ϵ_0 , verglichen mit der Verdampfungsenergie der Metalle, wird verständlich, wenn man die bei Metallen vorhandenen charakteristischen freien Elektronen berücksichtigt.

Moskauer
I.M. Gubkin-
Erdölinstitut

Redaktionseingang 1.6.1951
Vorgetragen vom Akademie-
mitglied A.V. Topčiev
am 25.6.1951

L i t e r a t u r

- ² Г. М. Панченков, ЖФХ, **24**, 1390 (1950); ДАН, **50**, 329 (1945); **51**, 361, 453 (1946); ЖФХ, **20**, 811, 1011 (1946); **21**, 187 (1947); Теория вязкости жидкостей, 1947; ДАН, **63**, 701 (1948). ⁴ Г. М. Панченков, ЖФХ, **24**, 1390 (1950). ³ M. E. Rink, C. R., **189**, 39, 135 (1929). ⁴ J. S. Ching, Proc. Roy. Soc., **157** A, 264 (1936). ⁵ F. Sauerwald, Zs. Metallk., **14**, 460 (1922). ⁶ K. Gering u. F. Sauerwald, Zs. anorg. allg. Chem., **223**, 204 (1935). ⁷ Y. Matsuyama, Sci. Rep. Tohoku, **18**, 20 (1929). ⁸ Техническая энциклопедия, Справочн. физ., хим. и техн. величин, **2**, 1929, стр. 217. ⁹ Техническая энциклопедия. Справочн. физ., хим. и техн. величин, **10**, 1930, стр. 70. ¹⁰ H. Landolt, Phys. Chem. Tab., 4. Aufl., 1912. ¹¹ V. H. Stott, Proc. Phys. Soc., **45**, 350 (1933). ¹² K. Bornemann u. F. Sauerwald, Zs. Metallk., **14**, 157 (1922). ¹³ A. Bienics u. F. Sauerwald, Zs. anorg. Chem., **161**, 51 (1927). ¹⁴ F. Sauerwald u. K. Töppler, ibid., **157**, 117 (1926). ¹⁵ F. Sauerwald u. K. Töppler, ibid., **157**, 133 (1926).

1. pančenkov, G.M.: K voprosu o rasčetah absoljutnyh značenij vjazkosti židkosteј.
In: Žurnal fizičeskoј chimii. Moskva, 24 (1950), Nr 11, S. 1390 - 1406.
Dt.: Zur berechnung der absoluten Werte der Viskosität von Flüssigkeiten. - Übersetzung Nr 280 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek stuttgart, 29 seiten.
2. pančenkov, G.M.: Zavisimost' vjazkosti čistych židkosteј ot temperatury.
In: doklady. Akademija nauk SSSR. (Fizičeskaja chimija). Moskva, 50 (1945), S. 329 - 332.
Dt.: Temperaturabhängigkeit der Viskosität reiner Flüssigkeiten. - Übersetzung Nr 284 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek stuttgart, 8 seiten.

pančenkov, G.M.: The relation between the viscosity of liquids and their pressure.

In: Comptes rendus (Doklady) de l'Académie des sciences de l'URSS. Moskva, 51 (1946), Nr 5, S. 365 - 368.

pančenkov, G.M.: The viscosity of liquid mixtures.

In: Comptes rendus (Doklady) de l'Académie des sciences de l'URSS. Moskva, 51 (1946), Nr 6, S. 457 - 460.

pančenkov, G.M.: Zavisimost' vjazkosti čistych židkosteј ot temperatury.

In: Žurnal fizičeskoј chimii. Moskva, 20 (1946), Nr 8, S. 811 bis 833.

<Temperaturabhängigkeit der Viskosität reiner Flüssigkeiten; engl. Übersetzung, nachgewiesen bei International Translations Centre, Delft, Nr TT-286>

pančenkov, G.M.: Zavisimost' vjazkosti židkosteј ot temperatury.

In: Žurnal fizičeskoј chimii. Moskva, 21 (1947), Nr 2, S. 187 bis 195.

Dt.: Temperaturabhängigkeit der Viskosität von Flüssigkeiten. - Übersetzung Nr 285 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek stuttgart, 13 seiten.

pančenkov, G. M.

Teorija vjazkosti židkosteј.

/Moskva: Gostechopizdat, / 1947.

<Theorie der Viskosität von Flüssigkeiten; russ.>

pančenkov, G.M.: K voprosu o rasčetah absoljutnyh značenij vjazkosti židkosteј.

In: Žurnal fizičeskoј chimii. Moskva, 63 (1948), Nr 6, S. 701 bis 703.

Dt.: Zur berechnung der absoluten viskositätswerte von Flüssigkeiten. - Übersetzung Nr 286 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek stuttgart, 6 seiten.

3. Rinck, M.E.: densité du potassium et du sodium liquide.
In: Comptes rendus hebdomadaires des sciences de l'académie des sciences. Paris, 189 (1929), S. 39 - 41, 135.
4. Chiong, Y.S.: viscosity of liquid sodium and potassium.
In: Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and physical sciences. London, 157 (1936), Nr 891, S. 264 - 277.
5. sauerwald, F.: Dichtemessungen von Metallen und Legierungen bei hohen Temperaturen mit besonderer Berücksichtigung des flüssigen Zustandes. 4. Messungen nach dem Auftriebsverfahren. Die Systeme Sb-Zn und Al-Sb, die Metalle Ag und Mg.
In: Zeitschrift für Metallkunde. Stuttgart, 14 (1922), Nr 12, S. 457 - 461.
6. gering, K., sauerwald, F.: Über die innere Reibung geschmolzener Metalle und Legierungen. 6. Die innere Reibung von Pb, Cd, Zn, Ag, Sn, K, Na und die Frage der Strukturviskosität von Amalgamen.
In: Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie. Leipzig, 223 (1935), Nr 2, S. 204 - 208.
7. matuyama, Yoshiharu: On the density of molten metals and alloys.
In: Science reports of the Tohoku University. Series 1: Physics, chemistry, astronomy. Sendai, 18 (1929), S. 19 - 46.
8. Techničeskaja énciklopedija. spravočnik fizičeskich, chimičeskich i techničeskich veličin.
/Moskva:/ 2 (1929), S. 217.
<Technische Enzyklopädie. Handbuch physikalischer, chemischer und technischer Größen; russ.>
9. siehe 8., 10 (1930), S. 70.
10. Landolt, Hans
Physikalisch-chemische Tabellen.
Berlin: Springer, 1912, 4. Aufl.
11. stott, vaughan H.: The measurement of the viscosity of a molten metal by means of an oscillating disc.
In: Proceedings of the Physical Society. London, 45 (1933), S. 530 - 544.
12. Bornemann, K., sauerwald, F.: Dichtemessungen von Metallen und Legierungen bei hohen Temperaturen mit besonderer Berücksichtigung des flüssigen Zustandes. Messungen nach dem Auftriebsverfahren. Die Systeme Cu-Sn und Cu-Al.
In: Zeitschrift für Metallkunde. Stuttgart, 14 (1922), Nr 4, S. 147 - 159.
13. Bienias, A., sauerwald, F.: Über die innere Reibung geschmolzener Metalle und Legierungen. 3. Die innere Reibung von Kupfer, Antimon, Blei und Kupfer-Antimon-, Kupfer-Zinn-, Blei-Wismut-Legierungen.
In: Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie. Leipzig, 161 (1927), Nr 1/2, S. 51 - 75.

14. gauerwald, F., Töpler, K.: Über die innere Reibung geschmol-
zener Metalle. 2. Weiteres über die Meßmethode und über die
innere Reibung der Bi-Sn-Legierungen und der Legierung Cu_3Sn .
In: Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie.
Leipzig, 157 (1926), Nr 1/3, S. 117 - 137.
15. siehe 14., S. 133.
-

Stuttgart, den 6. August 1986

übersetzt von

Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer