

Meritve viskoznosti metalurških žlinder z vibracijskim viskozimetrom

1. Viskoznost rafinacijskih žlinder za EPŽ

UDK: 539.57

ASM/SLA: D10f, x29s

A. Rosina

S pomočjo novo razvitega elektronskega vibracijskega viskozimetra smo merili viskoznost rafinacijskih žlinder za postopek EPŽ pri različnih temperaturah. Ta viskozimeter omogoča meritve tudi do 10^{-2} Pas.

Preiskane žlindre so vsebovale 15 do 90 % CaF_2 , ki odločilno vpliva na viskoznost. Viskoznost žlinder se z naraščajočim deležem CaF_2 praviloma manjša, izjema je žindra s približno 60 % CaF_2 , ki odstopa od ugotovljene odvisnosti. Ta pojav lahko tolmačimo s faznim diagramom sistema CaO-CaF_2 .

1. UVOD

Pri prvih raziskavah strukture staljenih metalurških žlinder^{1,2} smo obdelali obsežno področje plavžnih in rafinacijskih žlinder elektroobločnih peči. Te raziskave so obsegale predvsem določitev viskoznosti, električne prevodnosti ter površinske napetosti, torej fizikalnih lastnosti, iz katerih lahko sklepamo o strukturi teh žlinder.

Razvoj posebnih metalurških rafinacijskih postopkov, ki so jih uvedli v našo tehnološko prakso — tu mislimo predvsem na postopke elektropretaljevanja pod žindro (EPŽ) in ponovne metalurgije — je med drugim narekoval tudi obsežnejše znanje o lastnostih teh žlinder. Zato smo usmerili naše delo na določitev fizikalnih lastnosti — predvsem viskoznosti — žlinder, ki jih uporabljajo pri pretaljevanju pod žindro, ter sintetičnih rafinacijskih žlinder, ki so jih razvili v oddelku za ekstraktivno metalurgijo metalurškega inštituta v Ljubljani.³

Problem, ki ga je bilo potrebno rešiti pred raziskavo in ki ni omogočal uporabe enake raziskovalne tehnike, kot smo jo uporabljali pri dosedanjih raziskavah, je bila zelo majhna viskoznost raziskovanih žlinder, saj te vsebujejo velik delež CaF_2 . Doslej uporabljani viskozimeter ni omogočal meritev dinamične viskoznosti pod $2 \cdot 10^{-1}$ Pas, kar je bilo premalo za načrtovane meritve. Viskoznost teh žlinder je dokaj majhna in v SI sistemu reda velikosti 10^{-1} do 10^{-2} Pas. Zato smo s pomočjo strokovnjakov Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko v Ljubljani in skopih literaturnih po-

datkov razvili elektronski vibracijski viskozimeter, s katerim smo lahko načrtane raziskave uresničili. Rezultati izvedenih meritev, ki še niso dovolj natančni in imajo nekatere pomanjkljivosti, so vendarle omogočili, da smo dobili prve podatke o lastnostih raziskanih žlinder, pri nadaljnjih raziskavah pa bomo lahko s pomočjo pridobljenih izkušenj odpravili nekatere napake ter pomanjkljivosti in izpopolnili uporabljeno merilno metodo.

Iz tega vidika moramo tudi obravnavati in ocenjevati rezultate, ki jih navajamo v nadaljevanju tega članka.

2. VISKOZNOST METALURŠKIH ŽLINDER

Podatki o viskoznosti povedo, kako bo žindra pri določeni temperaturi tekla. Ti podatki omogočajo, da določimo najprimernejšo sestavo žlindre in delovno temperaturo za optimalen potek reakcij med kovinsko talino in staljeno žindro. Viskoznost raste z velikostjo molekul, oziroma z velikostjo ionskih delcev, vendar oboje ni nujno in velja le splošno. Na viskoznost dokaj vpliva temperatura, pri kateri prične žindra kristalizirati ter je viskoznost v temperaturnem območju kristalizacije funkcija temperature in časa. Viskoznost žlinder je odvisna tudi od načina njihovega nastanka. Posebno pomembno je pri tem nihanje temperature, ki lahko povzroči, da postane žindra tako gosta (npr. če se v sistemu CaO-SiO_2 izloča $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), da se strdi.

Bazične žlindre so podvržene kristalizaciji. Z rastočo bazičnostjo se hitro zvečuje kristalizacijska sposobnost žlindre v območju med likvidusom in solidusom. Pri ohlajevanju bazičnih žlinder posamezne komponente kristalizirajo in viskoznost se poveča.

Staljene kisle žlindre lahko močno podhladimo in zanje velja ravno obratno kot za bazične žlindre. Pri ohlajevanju so te žlindre tekoče v širšem območju kot pri ogrevanju zmesi kristaliziranih komponent, ki še niso med seboj reagirale. Čim bolj dobiva žindra značaj elektrolita, toliko manj bo viskozna in toliko bolj bo reaktivna.

Izhodišče vrednotenja izmerjene viskoznosti je domneva, da je v ionskih tekočinah viskoznost odvisna od anionskega polmera, ker so kationi (razen pri nekaterih fluoridih) premajhni, da bi vplivali na tekočinske lastnosti.

3. PODATKI O RAZISKANIH RAFINACIJSKIH ŽLINDRAH ZA EPŽ

Raziskave fizikalnih lastnosti rafinacijskih žlinder za EPŽ smo omejili na skupno 6 različnih sestav, ki so jih razvili v oddelku za ekstraktivno metalurgijo Metalurškega inštituta. Uporabljajo jih pri pretaljevanju pod žlindro pri laboratorijskih ter polindustrijskih poskusih na metalurškem inštitutu in tudi pri industrijskem obratovanju v Železarni Ravne. Kemično sestavo teh žlinder navajamo v tabeli I.

Tabela I — Kemična sestava preiskanih žlinder
Table I — Chemical Composition of the Investigated Slags

Oznaka	CaO	% MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaF ₂
M-1	25,24	14,36	1,06	43,90	15,10
M-2	36,30	—	1,53	29,02	32,21
M-3	20,74	0,10	0,78	27,30	49,80
M-4	0,39	0,40	1,30	34,91	60,94
M-5	18,12	—	1,05	—	74,13
M-6	6,72	—	0,94	—	89,76

Iz podatkov raznih avtorjev^{5,6}, predvsem pa Winterhagerja in sodelavcev,⁴ smo ugotovili, da se vrednost gostote žlindre podobne sestave, kot so bile raziskane, v temperaturnem intervalu med 1730 in 1920 K spremeni od 1,5 do 2,1 %, odvisno od sestave žlindre. To smo tudi upoštevali pri uporabljenih podatkih o gostotah in dobili vrednosti, ki so navedene za posamezne vrste žlinder v tabeli III. Čeprav so razlike gostote in njene spre-

membe s temperaturo sorazmerno majhne, jih moramo vendarle upoštevati pri ocenjevanju vrednosti viskoznosti, ki smo jih izračunali iz ugotovljenega števila vibracij in privzetih vrednosti gostote žlinder.

4. MERITVE

4.1. Elektronski vibracijski viskozimeter

Čeprav zasledimo prve navedbe o možnosti uporabe elektromagnetnega vibracijskega viskozimetra v sovjetskih literaturnih virih že v šestdesetih letih,⁷ smo morali počakati še nadaljnih 10 let, da bi dobili podrobnejše podatke o možnosti uporabe takega viskozimetra za merjenje viskoznosti metalurških žlinder. Leta 1974 so namreč Parabin, Peščihin in Ljamcev⁸ ter Arsentev, Vinogradov in Lisickij⁹ objavili poleg opisa tudi prve podatke o izmerjenih vrednostih viskoznosti metalurških žlinder. S pomočjo strokovnjakov Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko v Ljubljani smo tako lahko razvili merilnik viskoznosti, ki omogoča meritve tudi v območju pod 10⁻¹ Pas in ki je primeren za najnižja merilna območja.

Shemo tega elektronskega vibracijskega viskozimetra vidimo na sliki 1.

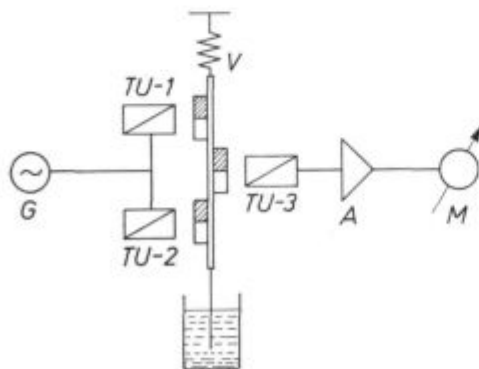
Elektronski vibracijski viskozimeter sestavlja jo naslednje glavne enote:

- generator (G) za napajanje pogonskih tuljav vibratorja,
- vibrator (V) s pogonskima (TU-1, TU-2) in odzemno tuljavo (TU-3),
- ojačevalnik napetosti (A) odzemne tuljave,
- merilnik napetosti (M) odzemne tuljave.

Generator, s katerim lahko spreminjamo frekvenco in amplitudo vibracij, napaja pogonski tuljavi. Zaradi gibanja letvice vibratorja, ki je opremljena s permanentnimi feritnimi magneti, se v odzemni tuljavi inducira napetost. Ta napetost je šibka ter jo zaradi tega ojačujemo z linearnim ojačevalnikom. Izhodno napetost tega ojačevalnika meri kot linearno funkcijo amplitude gibanja vibratorjeve letvice poseben merilnik. Frekvenco generatorja moramo uravnati tako, da je usklajena z lastno rezonanco vibratorja. Letvica vibratorja je togo vezana z molibdensko palico, premera 1 mm, ki je služila kot čutilo v mediju, katerega smo želeli določiti viskoznost.

4.2. Umerjanje vibracijskega viskozimetra

Vibracijski viskozimeter smo morali najprej umeriti, da smo ugotovili medsebojno odvisnost med številom vibracij (n), ki jih merimo kot ojačeno inducirano napetost odzemne tuljave in med viskoznostjo medija. Za umerjanje smo izbrali dvakrat destilirani 87 % glicerol, ker so zanj znani podatki o njegovi gostoti in njeni odvisnosti od



Slika 1
Shema elektronskega vibracijskega viskozimetra
Fig. 1
Scheme of the electron vibration viscosimeter

Tabela II — Podatki za umerjanje elektronskega vibracijskega viskozimetra^{10, 11}
 Table II — Data for the Calibration of the Electron Vibration Viscosimeter

87 % glicerol					
temp. (K)	293	303	313	323	333
št. vibracij n	88	91	94	95	96
$10^3 \cdot n^{-1}$	11,36	10,99	10,64	10,53	10,42
η (Pas)	0,153	0,078	0,044	0,027	0,018
ρ (kgm ⁻³)	1226	1220	1214	1209	1202
$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	13,696	9,755	7,309	5,713	4,651
80 % glicerol					
temp. (K)	293	303	313	323	333
št. vibracij n	93,5	95	96	97	98
$10^3 \cdot n^{-1}$	10,70	10,53	10,42	10,31	10,20
η (Pas)	0,060	0,034	0,021	0,014	0,009
ρ (kgm ⁻³)	1208	1202	1197	1191	1184
$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	8,514	6,393	5,014	4,083	3,264
70 % glicerol					
temp. (K)	293	303	313	323	333
št. vibracij n	96	96	96	97	98
$10^3 \cdot n^{-1}$	10,42	10,42	10,42	10,31	10,20
η (Pas)	0,023	0,014	0,009	0,007	0,005
ρ (kgm ⁻³)	1181	1176	1171	1166	1159
$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	5,212	4,058	3,246	2,782	2,407
60 % glicerol					
temp. (K)	293	303	313	323	333
št. vibracij n	97	97	97	98	98
$10^3 \cdot n^{-1}$	10,31	10,31	10,31	10,20	10,20
η (Pas)	0,011	0,007	0,005	0,004	0,003
ρ (kgm ⁻³)	1155	1150	1146	1140	1134
$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	3,564	2,837	2,387	2,135	1,844
50 % glicerol					
temp. (K)	293	303	313	323	333
št. vibracij n	97	97	99	99	99
$10^3 \cdot n^{-1}$	10,31	10,31	10,10	10,10	10,10
η (Pas)	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002
ρ (kgm ⁻³)	1129	1125	1120	1115	1109
$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	2,03	2,121	1,833	1,493	1,489

temperature¹⁰ ter ustrezni podatki o viskoznosti.¹¹ Globina potapljanja molibdenske palice v glicerol, kasneje pa v žilindro, je znašala vselej 10 mm.

Določanje viskoznosti s pomočjo meritev števila vibracij letvice vibratorja v tekočem mediju omogoča upoštevanje medsebojne povezanosti gostote in viskoznosti medija. Iz podatkov, navedenih v tabeli 2, in to iz vrednosti $\sqrt{\eta \cdot \rho}$ ter tisočkratne obratne vrednosti števila vibracij, smo določili umeritveno premico, katere enačba glasi $y = -100,56 + 10,08 x$ pri vrednosti $r^2 = 0,95$.

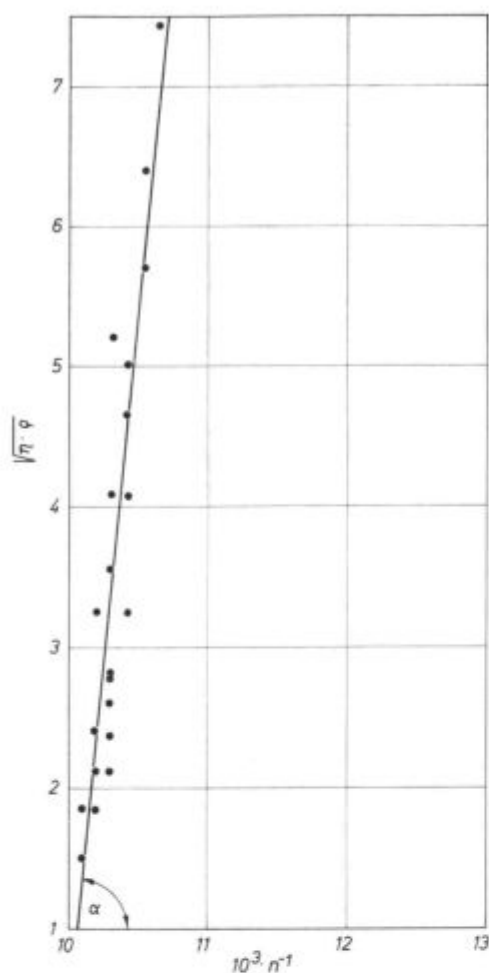
Iz podatkov tabele II konstruirani umeritveni diagram kaže slika 2.

4.3. Rezultati meritev

Po enačbi umeritvene premice je vrednost tangensa naklonskega kota 10,08. Poznavanje te vrednosti omogoča pri privzetih vrednostih gostote žilindre³⁻⁶, da lahko iz izmerjenega števila vibracij izračunamo preko vrednosti $\sqrt{\eta \cdot \rho}$ viskoznost žilindre. Pri upoštevanju vrednosti naklona umeritvene premice ($\tan \alpha = 10,08$) in pri znanih vrednostih $10^3 \cdot n^{-1}$ ter gostote žilindre, kar je navedeno v tabeli III, je vrednost $\sqrt{\eta \cdot \rho}$ enaka:

$$\sqrt{\eta \cdot \rho} = 10,08 \cdot (10^3 \cdot n^{-1}) - 100,56 \text{ in iz tega}$$

$$\eta = \frac{[10,08 \cdot (10^3 \cdot n^{-1}) - 100,56]^2}{\rho}$$



Slika 2
Umeritveni diagram za določevanje viskoznosti
Fig. 2
Calibration plot for the viscosity measurements

S pomočjo tega izraza izračunane vrednosti viskoznosti žlinder so zbrane v zadnji koloni tabele III, grafični potek temperaturne odvisnosti viskoznosti preiskanih žlinder pa vidimo na sliki 3.

4.4. Diskusija rezultatov

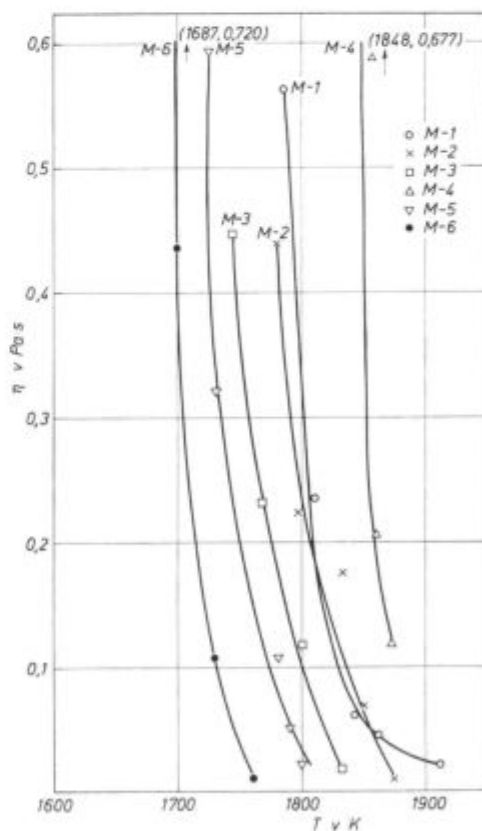
Potek krivulj viskoznosti na sliki 3 ter ustrezni podatki, zbrani v tabeli III kažejo, da je najviskoznejša žindra M-4, po vrstnem redu pa ji sledijo: M-1, M-2, M-3, M-5 in M-6. Temperaturna območja, v katerih smo merili viskoznost teh žlinder, so bila:

- Pri žindri M-1: 1793—1911 K
- Pri žindri M-2: 1779—1876 K
- Pri žindri M-3: 1746—1833 K
- Pri žindri M-4: 1848—1872 K
- Pri žindri M-5: 1725—1801 K
- Pri žindri M-6: 1687—1760 K

Temperaturna območja izmerjenih viskoznosti so zelo ozka, kar je za sorazmerno nizke vrednosti, ki smo jih merili, tudi razumljivo. To je tudi razlog, da imajo krivulje velik naklonski kot. Pre-

hod krivulj v nekoliko položnejši del pod 0,1 Pas je dovolj izrazit le pri nekaterih žindrah, kar je najverjetneje posledica spodnje meje občutljivosti merilnega inštrumenta. To mejo bomo morali pri nadaljnjih raziskavah podrobneje raziskati in ugotoviti vpliv posameznih dejavnikov merilne aparature na izmerjene količine.

Vzporeditev rezultatov izmerjenih viskoznosti s kemično analizo preiskanih žlinder kaže na nedvomno prevladujoč vpliv dodatka CaF₂ na viskoznost. Žindre z velikim deležem CaF₂ imajo majhno viskoznost, kar velja za pretežni del žlinder. Najbolj tekoča je žindra M-6, ki vsebuje največji delež CaF₂, namreč 89,76 %. Njej sledi M-5 z 74,13 % CaF₂, nato pa z izjemo M-4 z 60,94 % CaF₂ žindra M-3, ki vsebuje 49,80 % CaF₂. S padajočim deležem CaF₂ istočasno narašča vpliv ostalih žilindrnih komponent, od katerih prevladujeta v preiskanih žindrah Al₂O₃ in CaO. Izrazito odstopanje od te ugotovitve je žindra M-4, ki ima v preiskanem temperaturnem območju izmed vseh žlinder največjo viskoznost, četudi je delež prisotnega CaF₂ v njej velik, saj znaša 60,94 %. Pojasnilo za ta pojav daje fazni diagram sistema CaF₂-Al₂O₃^{12, 13}. Čeprav se vrednosti tališč ter eutektske sestave obeh navedenih avtorjev med seboj nekoliko razlikujeta, je tališče žindre M-4 dane sestave izmed raziskanih žlinder največje in



Slika 3
Temperaturna odvisnost viskoznosti preiskanih žlinder
Fig. 3
Temperature influence on the viscosities of the investigated slags

Tabela III — Izmerjene vrednosti viskoznosti preiskanih žlinder pri različnih temperaturah
 Table III — Viscosity Values of the Investigated Slags

Žlindra	Temp. (K)	n	$10^3 \cdot n^{-1}$	ρ (kgm ⁻³)	$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	η (Pas)
M-1	1785	72	13,89	2769	39,451	0,562
	1820	80	12,50	2749	25,440	0,235
	1843	89	11,24	2735	12,739	0,059
	1861	90	11,11	2725	11,429	0,048
	1911	93	10,73	2685	7,598	0,021
M-2	1779	74	13,51	2896	35,621	0,438
	1801	80	12,50	2881	25,440	0,225
	1833	82	12,20	2860	22,416	0,176
	1850	88	11,36	2849	13,949	0,068
	1876	96	10,42	2832	4,474	0,007
M-3	1746	74	13,51	2868	35,621	0,442
	1779	80	12,50	2848	25,440	0,227
	1801	85	11,77	2835	18,082	0,115
	1833	94	10,64	2817	6,691	0,016
M-4	1848	70	14,29	2794	43,483	0,677
	1860	81	12,35	2789	23,928	0,205
	1872	85	11,77	2784	18,082	0,117
M-5	1725	72	13,89	2664	39,451	0,593
	1780	86	11,63	2636	16,670	0,105
	1791	90	11,11	2630	11,429	0,050
	1801	93	10,73	2625	7,598	0,022
M-6	1687	70	14,29	2626	43,483	0,720
	1701	75	13,33	2620	33,806	0,436
	1731	86	11,63	2608	16,670	0,107
	1760	88	11,36	2596	13,949	0,075

sicer med 1800 in 1900 K. Rezultati doslej opravljenih raziskav na metalurškem inštitutu v Ljubljani¹⁴ potrjujejo take ugotovitve. Pri tem lahko domnevamo, da je raziskana žlindra M-6 praktično dvokomponentna ter prisotne nečistoče, ki jih je dokaj malo, skoraj ne vplivajo na spremembo tališča.

5. ZAKLJUČKI

Rezultate izvedene raziskave lahko strnemo v naslednje zaključke:

1. Za merjenje viskoznosti raziskanih sintetičnih žlinder, katerih najpomembnejša značilnost je njihov fluoridni značaj, smo uporabili nov tip viskozimetra. Razvili smo ga skupno s strokovnjaki Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko v Ljubljani s pomočjo zelo skopih literarnih podatkov⁷⁻⁹. Uporabljeni viskozimeter meri število amplitud, s katerimi vibrira letvica vibratorja ter nanjo vezana molibdenska palica, ki je segala v staljeno žlindro. Z umerjanjem z glicerolom različne koncentracije ter pri različnih temperaturah smo določili umerjevalno premico medsebojnega

odnosa med kvadratnim korenem produkta viskoznosti in gostote ter številom vibracij. Z njeno pomočjo smo nato določili viskoznost posameznih žlinder v temperaturnih območjih nad njihovim tališčem, upošteva je njihovo gostoto. Uporabljeni vibracijski viskozimeter omogoča meritve viskoznosti tudi pri majhnih vrednostih viskoznosti, tj. v območju pod 0,1 Pas.

2. Za vse raziskane žlindre smo ugotovili temperaturno odvisnost viskoznosti. Najbolj viskozna je žlindra M-4, sledijo pa ji M-1, M-2, M-3, M-5 in M-6. Praviloma — z izjemo žlindre M-4 — pada viskoznost raziskanih žlinder s povečanjem deleža CaF₂. Temperaturna območja izmerjenih viskoznosti so zelo ozka ter imajo krivulje velik naklonski kot. Izmerjene vrednosti so v skladu z rezultati meritev pri podobnih žlindrah^{4-6, 15-17}, ki pa so sorazmerno skromni.

3. Opravljene meritve viskoznosti, ki smo jih izvedli s pomočjo merjenja števila amplitud vibracijske letvice ter ugotovljeni rezultati so dovolj natančni in tudi njihova odvisnost od temperature je takšna, da opravičujejo nadaljevanje raziskave. To nameravamo opraviti tudi za druge vrste žlinder, ki so močno tekočne.

Literatura

1. Dobovišek B., A. Rosina: »Nadaljevanje študije strukture staljenih metalurških žlinder in talin«, (I. del), Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, (Ljubljana), avgust 1971, SBK 206/41-69, nal. MI 815
2. Rosina A., F. Seme, B. Hofbauer: »Nadaljevanje študije strukture staljenih metalurških žlinder in talin«, (II. del), Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, (Ljubljana), september 1973, SBK 206/154-72, nal. MI 141
3. Koroušič B., V. Prešern: »Osvajanje proizvodnje EPŽ žlinder in eksotermičnih praškov za potrebe EPŽ-peči R-915Y-TO v Zelezarni Ravne«, (I. del — Laboratorijske preiskave žlinder), Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, (Ljubljana), november 1971, nal. MI 73
4. Winterhager H., R. Kammel, A. Gad: »Elektrische Leitfähigkeit, Dichte und Oberflächenspannung fluoridhaltiger Schlacken für das Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren«, Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Westdeutscher Verlag, (Köln und Opladen), 1970, Nr. 2115
5. Jakobašvili S. B., I. I. Frumin: »Ispredovanije mežfazovo najteženija na granice šlak metal i povernostno natjaženija svaročnih šlakov«, Avtomatičeskaja svarka (Kijev) 14 (1961), No. 6, str. 14—19
6. Gerlach J., U. Hennig, H.—D. Pötsch: »Dichte, Viskozi-tät und Al_2O_3 -Sättigungskonzentration kryolithhaltiger Schmelzen«, Erzmetal (Stuttgart) 31 (1978), Hf. 7—8, str. 333—338
7. Štengelmejer S. V.: »Elektromagnitnih vibracionij viskozimetr«, Zavodska laboratorija, (Moskva), XXX (1964), No. 2, str. 238—239
8. Parabin V. V., L. A. Peščihin, K. K. Ljamcev: »K voprosu o viskozimetrii metalurgičeskikh rasplavov vibra-cionim metodom«, Zavodska laboratorija, (Moskva), XL, (1974), No. 4, str. 415—417
9. Arsentev P. P., B. G. Vinogradov, B. S. Lisickij: »Izme-renije vjazkosti rasplavov na osnove železa na elektro-vibracionom viskozimetru«, Izvestija visših učebnih za-vedenij — Černaja metalurgija, (Moskva), (1974), No. 7, str. 181—183
10. VDI Wärmeatlas 1974, Verlag VDI (Düsseldorf), Blatt D c 7, Blatt D c 9
11. Hodgmen C. H.: »Handbook of Chemistry and Physics«, Fortienth Ed., Chemical Rubber Publishing Co., (Cle-veland, Ohio), 1958, str. 2169
12. Zmodin G. I., A. K. Catterdži: »Osobenosti kristaliza-ciji šljakov sistemi Al_2O_3 - CaF_2 «, Izv. AN SSSR, Metali, (Moskva), 6 (1971), str. 46—52
13. Mitchell A., B. Burel: »The phase diagram of CaF_2 - Al_2O_3 electroslag fluxes«, Journal of Iron and Steel Insti-tute, (London), 4 (1970), str. 407
14. Koroušič B., V. Prešern: »Osvajanje proizvodnje EPŽ žlinder in eksotermičnih praškov za potrebe EPŽ-peči R-915Y-TO v Zelezarni Ravne«, (II. del — industrijski poskusi), Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, (Ljubljana), januar 1972, nal. MI 73
15. Hoyle G., P. Dewsnap, D. J. Salt, E. M. Barrs: The British Iron and Steel Research Association (BISRA) MG/A/416-66, London, 1966
16. Kato M., S. Minowa: »Viscosity Measurements of Mol-ten Slag, Properties of Slag at Elevated Temperature, Part. I.«, Transactions ISIJ (Tokyo), Vol. 9 (1969), Nr. 1, str. 31—38
17. Povolockij D. Ja., V. Ja. Miščenko, G. P. Vjatkin, A. V. Puzirev: »Fiziko-hemičeskie svojstva rasplavov sistemi CaO - Al_2O_3 - CaF_2 «, Izv. visših učebnih zavedenij, Černaja metalurgija (Moskva), (1970), No. 12, str. 8—12

ZUSAMMENFASSUNG

Die Entwicklung der Elektroschlackeumschmelzverfahren und der Pfannenmetallurgie hat die Notwendigkeit der Viskositätsmessung dieser Schlacken hervergerfen. Für die Messung der Schlackenviskosität, die der Grössenordnung 10^{-1} bis 10^{-2} Pas ist, haben wir einen neuen Typ des Viskosimeters entwickelt. Dieser Viskosimeter misst die Amplitudenzahl mit welcher die Vibratorleiste vibriert und auf welcher ein Molibdenstab befestigt ist der in die Schlacke reicht.

Die Messungen ergaben die grösste Viskosität bei der Schlacke M-4, dieser folgen die Schlacken M-1, M-2, M-3, M-5 und M-6. Nach der Regel, mit Ausnahme der Schlacke M-4, fällt die Viskosität der untersuchten Schlacken mit dem steigenden CaF_2 Gehalt. Die Temperaturbereiche der ausgemessenen Viskosität sind sehr eng, die entsprechenden Kurven haben einen grossen Neigungswinkel. Die gemessenen Werte stimmen mit den Literaturangaben über die Viskosität ähnlicher Schlacken überein.

SUMMARY

Development of the electro-slag remelting processes and of the ladle metallurgy demands the necessity for determining the viscosity of those slags. A new type viscosimeter was developed for measuring the viscosities of order 10^{-1} to 10^{-2} Pas. It measures the number of amplitudes of the vibrator lamina being connected to a molybdenum wire which is immersed into the slag.

The measured viscosities of slags M-4, M-1, M-2, M-3, and M-6 are decreasing. Regularly — slag M-4 is an exception — the viscosity of the investigated slags decreases with the increased CaF_2 content. Temperature intervals of measured viscosities are very narrow thus the corresponding curves have a great angle of inclination. The measured values agree with the data in references on the viscosities of similar slags.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие способов электрического переплава стали под шлаком и металлургии ковша были причиной необходимости определения вязкости этих шлаков. Для измерения их вязкости, которая лежит в пределах от 10^{-1} до 10^{-2} Pas разработан новый тип вискозиметра. Этот вискозиметр измеряет число амплитуд, с которыми происходит вибрация рейки вибратора и в соединении с ней молибденого шпинделя погруженного в шлак.

Установили, что самую высокую вязкость показывает шлак

с обозначением M-4, за ним же шлаки M-1, M-2, M-3, M-5 и M-6. По правилу — за исключением шлака M-4 — вязкость исследованных шлаков уменьшается с повышением содержания CaF_2 .

Темпный диапазон измеренных вязкостей лежит в очень узких пределах, имеет соответствующие кривые с большим углом отклонения. Измеренные значения согласуются с данными о вязкости, которые известны в специальной литературе о подобных шлаках.