

# SOUČINITELE SMYKOVÉHO TŘENÍ SKLÁŘSKÝCH VÝROBKŮ

VLADIMÍR NOVOTNÝ, PETR KUBIŠTA

*Státní výzkumný ústav sklářský, Škroupova 957, 501 92 Hradec Králové*

Došlo 25. 5. 1987

*Sklonným drsnoměrem byl stanoven součinitel statického ( $f_0$ ) a kinetického ( $f$ ) smykového tření typických sklářských výrobků s původním, neupraveným povrchem a dále vzorků a výrobků s různě upraveným povrchem — omytým, obroušeným, pokrytým vrstvičkou  $\text{SnO}_2$ , popř. dopovanou  $\text{F}$ , s povrchem pokrytým vrstvičkou  $\text{SnO}_2$  různých tloušťek + organickou vrstvičkou, s povrchem zpevněným iontovou výměnou aj. Nejnižší smykové tření výrobků s původním povrchem mají plochá skla ( $f_0 = 0,17 \div 0,20$ ;  $f = 0,03 \div 0,10$ ), mírně vyšší trubky a nejvyšší obalová skla ( $f_0 = 0,23 \div 0,55$ ;  $f = 0,14 \div 0,39$ ). Po nanesení vrstvičky  $\text{SnO}_2$  resp. vrstvičky  $\text{SnO}_2$  + organické vrstvičky se statické součinitele tření plochých a obalových skel k sobě přibližují, u kinetického tření se vzájemně vyrovnávají.*

## ÚVOD

V souvislosti se zvyšováním rychlostí při automatizované výrobě sklářských výrobků a v plnicích linkách potravinářského průmyslu se v posledních 20 letech zvýšil zájem o studium tření sklářských výrobků a postupně vzrostla aplikace povlaků, snižujících tření skleněných obalů.

Tření (přesněji vnější tření) je definováno jako odpor, který vzniká při pohybu pevného tělesa po jiném pevném tělese, k němuž je přitlačováno [1, 2]. Odpor vzniká i tehdy, jsou-li obě tělesa vůči sobě v klidu a vnější síly se snaží je uvést do vzájemného pohybu. Odpor při pohybu těles se nazývá *tření za pohybu* nebo také *kinetické*, odpor bránící vzniku pohybu *tření za klidu* nebo také *statické*. Nejvýznamnější je odpor při posuvném pohybu pevného tělesa po jiném tělese, který se nazývá *smykové tření* (nebo též vlečné resp. klouzavé). Na tento případ se také v dalším textu omezíme.

Smykové tření se řídí Amontovým—Coulombovým zákonem

$$T = fN, \quad (1)$$

resp.

$$T_0 = f_0N, \quad (2)$$

kde  $T$  resp.  $T_0$  = síla tření za pohybu, resp. za klidu,  $N$  = normálová tlaková síla, kterou jsou tělesa k sobě přitlačována,  $f$  = součinitel kinetického smykového tření (kinetická smyková drsnost),  $f_0$  = součinitel statického smykového tření (statická smyková drsnost).

Podle tohoto zákona nezávisí součinitel tření na velikosti styčné plochy a v jistých mezích ( $0,5$  až  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) ani na vzájemné rychlosti těles. Závisí však na materiálu obou těles a na jakosti obou ploch (jejich drsnosti ev. vlnitosti).

Tření, při kterém není přítomna mezi vzájemně se dotýkajícími se tělesy žádná jiná látka, se nazývá tření suché, na rozdíl od až řádově nižšího tření polosuchého resp. kapalinného, kdy mezi třecí plochy je vpraveno mazadlo, které v případě polosuchého tření netvoří souvislou vrstvu, v případě kapalinného tření tuto vrstvu vytvoří. Je zřejmé, že při stanovení součinitele tření je třeba dbát na dostatečnou

čistotu styčných ploch, protože eventuálně přítomné nečistoty mohou podstatně ovlivnit výsledky. V tab. I jsou uvedeny součinitelé tření různých materiálů, dostupné v běžné literatuře [1—3].

V dosud publikovaných studiích o tření skla je obvykle určován součinitel tření mezi proměřovaným skleněným vzorkem a standardním skleněným tělesem s odlišným povrchem (např. zaobleným koncem skleněné tyčinky) eventuálně tělesem z odlišného materiálu [4—7]. Součinitel tření mezi stejnými skleněnými tělesy bývá měřen jen u skleněných obalů.

Tabulka I

Průměrné hodnoty součinitelů smykového tření různých materiálů [1—3]

Kombinace materiálů	Součinitel tření statického $f_0$	Součinitel tření kinetického $f$
ocel na oceli	0,1 ÷ 0,3	0,03 ÷ 0,09
ocel na ledu	0,027	0,014
ocel na achátu	0,2	—
kov na dřevě	0,5 ÷ 0,6	0,2 ÷ 0,5
dřevo na dřevě	0,4 ÷ 0,6	0,2 ÷ 0,5
dřevo na kameni	0,7	0,3
kůže na kovu	0,2 ÷ 0,6	0,1 ÷ 0,5
zabrzděná kola za suchého počasí:		
lokomotivy na kolejích	—	0,17 ÷ 0,30
automobilu na silnici	—	≈ 0,3

V této práci jsme se zaměřili na stanovení součinitelů smykového tření mezi stejnými výrobky jednotlivých typických skupin sklářské výroby a mezi stejnými vzorky nebo výrobky s různě zpracovaným povrchem, ev. s nanesenými povrchovými anorganickými nebo organickými vrstvami.

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### Použité vzorky

Měření jsme provedli s těmito vzorky výrobků (s původním, neupraveným povrchem):

1. ploché tabulové sklo Float tloušťky 2,8 mm
  - a) vyrobené v r. 1979
  - b) vyrobené v r. 1982;
2. ploché tabulové sklo Fourcault tloušťky 2,8 mm;
3. trubičky vnějšího  $\varnothing$  15 mm, tloušťky stěny 1,8 mm z boritokřemičitého skla pro zátav Kovaru, ručně tažené;
4. trubičky vnějšího  $\varnothing$  7,3 mm, tloušťky stěny 2,0 mm z boritokřemičitého skla KS 80, strojně tažené dolů systémem Vello;
5. trubičky vnějšího  $\varnothing$  6,3 mm, tloušťky stěny 1,0 mm z olovnatého žárovkového skla, strojně tažené horizontálně systémem Danner

6. trubky vnějšího  $\varnothing$  37 mm, tloušťky stěny 1,0 mm ze sodnovápenatokřemičitého přístrojového skla Unihost, strojně tažené horizontálně systémem Danner;
7. trubky vnějšího  $\varnothing$  40 mm, tloušťky stěny 2,9 mm z boritokřemičité skloviny Simax, strojně tažené nahoru;
8. tvrzené kulaté misky vnějšího  $\varnothing$  205 mm, výšky 65 mm, tloušťky stěny 5 mm, z boritokřemičitého skla Simax, strojně lisované;
9. lahve na pivo typ Euro, obsah 0,5 l, hnědé, strojní plně automatizovaná výroba
10. lahve na pivo typ Euro, obsah 0,5 l, zelené, strojní plně automatizovaná výroba;
11. lahve na olej obsahu 0,7 l, hnědé, strojní plně automatizovaná výroba;
12. širokohrdlé sklenice na mletou kávu, obsah 0,8 l, bezbarvé (válcovitého vnějšího  $\varnothing$  89 mm, na koncích rozšířené na  $\varnothing$  90 mm), strojní plně automatizovaná výroba.

Dále jsme provedli měření se vzorky plochého skla s různě opracovaným povrchem, jak je uvedeno v tab. III: Omytí povrchu jsme prováděli vodou se saponátem, opláchnutím destilovanou vodou a osušením. Vrstvy  $\text{SnO}_2$  různé tloušťky jsme vytvářeli převážně nastříkáním vodného ev. etanolového roztoku přípravku OZ firmy Th. Goldschmidt, NSR (v podstatě dimetyldichlorid cínčitý s 22 % monometylchloridu cínčitého) na vzorek vyhřátý na 630 až 650 °C. Přípravek OZ je určen k nanášení vrstev  $\text{SnO}_2$  na obalové sklo na „horkém“ konci výrobní linky — před chladičí pecí. Roztok jsme nastříkávali pomocí automatické pistole pro stříkání nátěrových hmot APL 4 n.p. Kovořinš Ledeč nad Sázavou. Vzorky  $\text{SnO}_2$  dopované F jsme vytvářeli obdobným způsobem z roztoku OZ s přídavkem HF resp.  $\text{NH}_4\text{F}$ . Pro porovnání jsme po vyhřátí na 630 až 650 °C na povrchy dvou sérií vzorků nastříkali jen destilovanou vodu, resp. nechali je samovolně zchladnout na vzduchu.

Stanovili jsme též tření plochých skel, na něž po vyhřátí na 50 až 60 °C jsme nastříkali přípravek R 250 resp. R 200 firmy Th. Goldschmidt, NSR, zředěný vodou, a to buď přímo — na původní povrch nebo na povrch s nanesenou vrstvou  $\text{SnO}_2$ . (Přípravek R 250 je vodní emulze polyethylenu, R 200 vodní emulze vosků. Jsou určeny pro nanášení organických vrstev na obalové sklo na „studeném“ konci výrobní linky.)

Pro porovnání jsme stanovili též součinitel tření povrchu vytvořeného obroušením volným brusivem —  $\text{SiC}$  zrnitosti č. 100.

Pokud není v tab. III uvedeno jinak, měření bylo vždy provedeno pro ten povrch floatu, který je při výrobě ve styku s atmosférou („nepocínovaný“).

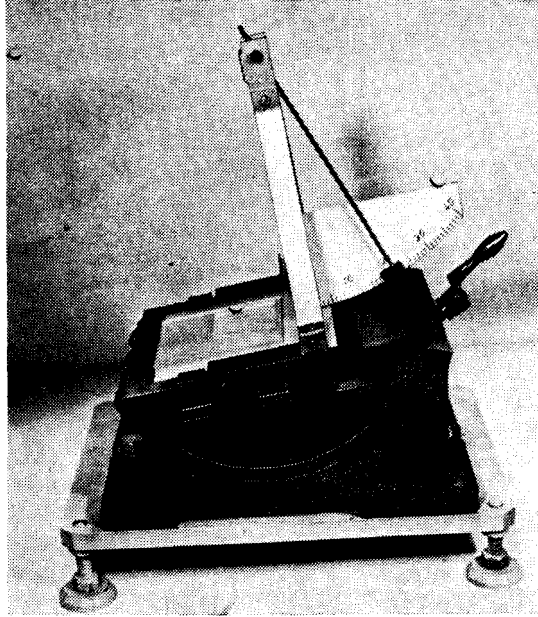
Vzorky obalového skla s různě opracovaným povrchem, uvedeného v tab. IV, jsme získali vždy odebráním z výrobní linky, v níž byly na těchto výrobcích vytvářeny vrstvy nejprve  $\text{SnO}_2$ , a poté organického povlaku za účelem zvýšení odolnosti povrchu těchto výrobků proti poškrábání. Trubičky zpevněné iontovou výměnou byly zpracovány ponořením do  $\text{KNO}_3$  o teplotě 490 °C na 3 hodiny, pak ochlazeny a omyty vodou.

### Metodika měření

Měření smykového tření se provádí tzv. drsnoměry (tribometry), a to buď vodorovnými nebo jednoduššími sklonnými. Jejich princip a příslušná teorie je uvedena např. v [1].

Součinitel tření jsme měřili jednoduchým sklonným drsnoměrem, zkonstruovaným v SVÚS Hradec Králové, jehož fotografie je na obr. 1. Měření jsme prováděli tak, že vzorky jsme položili na přístroj plochami, jejichž vzájemné tření chceme určovat,

na sebe. Sklonnou desku jsme nakláněli otáčením kličkou přístroje tak dlouho, až se horní vzorek dal samovolně do pohybu a odečetli pak (s přesností na 5') na stupnici příslušný úhel naklonění — statický třecí úhel  $\alpha_0$ . Dále jsme obdobně určovali úhel naklonění, při němž se horní vzorek po malém nárazu začal pohybovat přibližně rovnoměrnou rychlostí, tj. kinetický třecí úhel  $\alpha$ . Náraz byl udělován malým kladívkem hmotnosti 20 g s ramenem délky 20 cm, vychylovaným o úhel  $10^\circ$  až  $20^\circ$  (viz obr. 1).



Obr. 1. Sklonný drsnoměr.

☐ Součinitel statického smykového tření neboli statická smyková drsnost  $f_0$  je rovna tangente statického třecího úhlu  $\alpha_0$ , obdobně součinitel kinetického tření neboli kinetická třecí drsnost  $f$  je rovna tangente kinetického třecího úhlu  $\alpha$  (odvození viz např. [13])

$$f_0 = \operatorname{tg} \alpha_0, \quad (3)$$

$$f = \operatorname{tg} \alpha. \quad (4)$$

Měření součinitele tření vzorků plochých skel jsme prováděli dvěma způsoby:

1. horní i dolní vzorek měl plochu  $100 \times 100$  mm

2. dolní vzorek měl plochu  $100 \times 100$  mm,

horní  $50 \times 50$  mm.

Ověřili jsme si, že výsledky nezávisí na tom, zda byl použit 1. nebo 2. způsob měření.

Součinitele tření plochých skel jsme stanovili vždy nejméně na 3 párech vzorků, přičemž u každého páru bylo provedeno 5 měření.

Nezávislost součinitele tření na zatížení jsme si ověřili jeho změřením pro ploché sklo Float bez přidavného zatížení, dále se zatížením 125 g a 250 g.

Měření součinitele tření trubek a obalových skel jsme prováděli obvyklým způsobem — určováním třecího úhlu trubky, resp. láhve, položené na dvou dalších stejných trubkách, resp. lahvích (se stejně zpracovaným povrchem). Postupně jsme při jednotlivých měřeních měnili vzájemnou polohu jednotlivých trubek resp. lahví. Délka trubek byla 150 mm. Určování součinitele tření simaxových misek jsme prováděli tak, že jsme položili na drsnoměr vždy 2 misky dnem na sebe. Výsledky uvedené v tabulkách, jsou vždy průměrem z 10 až 15 měření.

## Výsledky

Součinitelé smykového tření výrobků s původním, neupraveným povrchem jsou v tab. II.

Velký rozptyl výsledků naměřených u plochých skel, vyjádřený relativně velkou hodnotou směrodatné odchylky, je způsoben větším kolísáním součinitele tření v jednotlivých místech povrchu plochých skel, tj. u různých vzorků, než tomu je u jiných typů proměřovaných výrobků.

Výsledky měření součinitelů smykového tření plochých skel s různě upravených povrchem jsou shrnuty v tab. III; v tab. IV. jsou obdobné výsledky pro dutá skla s různě upraveným povrchem.

Úprava povrchu plochých skel vedla všeobecně k snížení součinitele variace kinetického tření, tj. k jeho relativně menšímu kolísání v jednotlivých místech povrchu ve srovnání s původními, neupravenými plochými skly.

Význam symbolů a některých termínů v tabulkách:

$\bar{x}$  — aritmetický průměr,

$s_x$  — směrodatná odchylka,

„nepocínovaný“ povrch Floatu — povrch, který je při výrobě ve styku s atmosférou,  
 „pocínovaný“ povrch Floatu — povrch, který je při výrobě ve styku s Sn lázní.

## ZÁVĚR

Jednoduchým sklonným drsnoměrem jsme stanovili součinitel statického  $f_0$  a kinetického  $f$  smykového tření pro 12 typických sklářských výrobků s původním, neupraveným povrchem. Dále jsme provedli totéž stanovení pro vzorky a výrobky s povrchem různě upraveným.

Z proměřovaných výrobků s původním povrchem mají nejnižší smykové tření plochá skla ( $f_0 = 0,17 \div 0,20$ ;  $f = 0,03 \div 0,10$ ), mírně vyšší trubky a nejvyšší obalová skla ( $f_0 = 0,23 \div 0,55$ ;  $f = 0,14 \div 0,39$ ).

Omytím původního povrchu plochých skel se jejich tření mírně sníží, zdrsněním povrchu obroušením se v souladu s předpokladem podstatně zvýší — na hodnoty blízké nejvyšším hodnotám naměřeným u obalových skel. Po zpracování povrchu dutých skel (trubiček) iontovou výměnou v roztaveném  $KNO_3$  za účelem zpevnění se jejich tření prakticky nezmění.

Po nanesení povrchové vrstvičky  $SnO_2$ , resp. vrstvičky  $SnO_2$  a pak organické vrstvičky se statictí součinitelé tření plochých a obalových skel k sobě přiblíží, součinitelé kinetického tření dokonce natolik, že jsou prakticky stejní. U obalových skel přitom dochází k podstatnému snížení tření, u plochých skel naopak k jeho zvýšení.

Tabulka II

Smykové tření sklářských výrobků s původním, neupraveným povrhem

Vzorky výrobku č.	Druh výrobku	Součinitel smykového tření				Třecí úhel (°)			
		statického $f_0$		kinetického $f$		statický $\alpha_0$		kinetický $\alpha$	
		$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
1a	ploché sklo Float tloušťky 2,8 mm, vyrobeno r. 1979 — „nepocínovaný“ povrch — „pocínovaný“ povrch	0,17	0,06	0,09	0,05	9,6	3,6	5,0	2,8
		0,20	0,03	0,05	0,02	11,3	1,5	2,7	1,1
1b	ploché sklo Float tloušťky 2,8 mm, vyrobeno r. 1982 — „nepocínovaný“ povrch — „pocínovaný“ povrch	0,17	0,02	0,03	0,03	9,6	1,2	1,6	1,6
		0,17	0,02	0,03	0,02	9,4	1,0	1,7	1,3
2	ploché sklo Fourcalt tloušťky 2,8 mm	0,19	0,04	0,10	0,06	10,7	2,1	5,8	3,5
3	trubičky ze skla Kovar vnější $\varnothing$ 15 mm, tl. stěny 1,8 mm ručně tažené	0,23	0,04	0,12	0,01	14,3	2,3	7,1	0,4
4	trubičky ze skla KS 80 vnější $\varnothing$ 7,3 mm, tl. stěny 2,0 mm strojně tažené dolů systémem Vello	0,23	0,03	0,072	0,004	12,8	1,5	4,2	0,2
5	trubičky z olovnatého žárovkového skla vnější $\varnothing$ 6,3 mm, tl. stěny 1,0 mm strojně tažené horizontálně systémem Danner	0,24	0,04	0,07	0,01	13,3	2,1	3,77	0,4

Tabulka II

Smykové tření sklářských výrobků s původním, neupraveným povrhem  
(pokračování)

Vzorky výrobku č.	Druh výrobku	Součinitel smykového tření				Třecí úhel (°)			
		statického $f_0$		kinetického $f$		statický $\alpha_0$		kinetický $\alpha$	
		$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
6	trubky ze skla Unihost vnější $\varnothing$ 37 mm, tl. stěny 1,0 mm strojně tažené horizontálně systémem Danner	0,26	0,05	0,18	0,02	14,3	2,9	10,2	1,1
7	trubky ze skla Simax vnější $\varnothing$ 40 mm, tl. stěny 2,9 mm strojně tažené nahoru	0,23	0,06	0,18	0,01	13,1	3,1	10,1	0,4
8	tvrzené kulaté misky ze skla Simax (dno) vnější $\varnothing$ 205 mm, výšky 65 mm, tl. stěny 5 mm, strojně lisované	0,23	0,05	0,14	0,02	13,0	2,7	8,2	1,0
9	lahve na pivo typ Euro obsah 0,5 l, hnědé, strojně plně automatizovaná výroba	0,27	0,03	0,14	0,01	15,0	1,7	8,1	0,8
10	lahve na pivo typ Euro obsah 0,5 l, zelené, strojně plně auto- matizovaná výroba	0,31	0,05	0,19	0,02	17,3	2,9	10,6	1,3
11	lahve na olej, obsah 0,7 l hnědé, strojně plně automa- tizovaná výroba	0,37	0,04	0,22	0,01	20,1	1,8	12,6	0,6

Tab. II. (pokračování)

12	sklenice na mletou kávu, obsah 0,8 l bezbarvé, strojní plně automatizovaná výroba	0,55	0,13	0,39	0,09	28,3	5,4	21,5	4,3
----	---	------	------	------	------	------	-----	------	-----

Tabulka III

Smykové tření vzorků plochých skel s různě upraveným povrchem

Druh skla	Úprava vzorků	Součinitel smykového tření				Třecí úhel (°)			
		statického $f_0$		kinetického $f$		statický $\alpha_0$		kinetický $\alpha$	
		$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
Fourcault tloušťky 2,8 mm	0 (původní povrch)	0,19	0,04	0,10	0,06	10,7	2,1	5,8	3,5
	omytý	0,16	0,02	0,03	0,01	8,9	1,2	1,5	0,7
Float tloušťky 2,8 mm vyrobený r. 1982	0 (původní povrch)								
	— „nepocínovaný“ povrch	0,17	0,02	0,03	0,03	9,6	1,2	1,6	1,6
	— „pocínovaný“ povrch	0,17	0,02	0,03	0,02	9,4	1,0	1,7	1,3
	omytý								
	— „nepocínovaný“ povrch	0,13	0,03	0,09	0,02	7,6	1,6	5,0	0,8
	— „pocínovaný“ povrch	0,15	0,03	0,07	0,02	8,4	1,4	3,9	1,0
	obroušený SiC zrnitosti č. 100	0,42	0,06	0,16	0,02	25,0	3,3	10,2	1,5
	po vyhřátí na 650 °C samovolně ochlazený na vzduchu								
	— „nepocínovaný“ povrch	0,30	0,05	0,10	0,03	16,8	2,5	5,6	1,7
	— „pocínovaný“ povrch	0,17	0,02	0,07	0,03	10,2	1,3	3,7	1,6
po vyhřátí na 650 °C ochlazený proudem vzduchu	0,14	0,01	0,10	0,01	7,8	0,8	5,4	0,7	



Tabulka III

Smykové tření vzorků plochých skel s různě upraveným povrchem  
(pokračování)

Druh skla	Úprava vzorků	Součinitel smykového tření				Třecí úhel (°)			
		statického $f_0$		kinetického $f$		statický $\alpha_0$		kinetický $\alpha$	
		$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
	po vyhřátí na 650 °C ochlazený nastříká- ním vody	0,16	0,01	0,13	0,01	9,3	0,9	7,5	0,8
	vytvoření vrstvičky SnO <sub>2</sub> :								
	— tloušťky 10 ÷ 20 nm	0,33	0,06	0,10	0,02	18,4	3,2	5,6	1,3
	— tloušťky 30 nm	0,31	0,08	0,17	0,05	17,4	4,0	9,6	2,6
	— tloušťky 70 nm	0,39	0,07	0,11	0,06	21,0	3,5	6,1	3,2
	vytvoření vrstvičky SnO <sub>2</sub> , dopované F:								
	— tloušťky 200 nm	0,24	0,05	0,18	0,04	13,8	2,4	10,1	1,9
	— tloušťky 400 nm	0,37	0,06	0,08	0,03	20,0	2,8	4,4	2,0
	— tloušťky 900 nm	0,33	0,06	0,09	0,07	18,4	3,1	5,4	3,7
	vytvoření organické vrstvičky — nastří- káním R 250	0,21	0,07	0,03	0,03	11,6	3,6	1,9	1,4
	vytvoření vrstvičky SnO <sub>2</sub> , pak vytvoření organické vrstvičky:								
	— SnO <sub>2</sub> tloušťky 10 nm + R 200	0,25	0,05	0,04	0,02	13,9	2,6	2,4	0,9
	— SnO <sub>2</sub> tloušťky 70 nm + R 200	0,28	0,03	0,03	0,02	15,6	1,7	1,9	0,1
	— SnO <sub>2</sub> (+F) tloušťky 200 nm + + R 250	0,24	0,06	0,11	0,05	13,6	3,1	6,1	3,0
	— SnO <sub>2</sub> tloušťky 700 nm + R 200	0,30	0,04	0,04	0,03	16,5	2,0	2,3	1,6

Tabulka IV

Smykové tření některých vyráběných trubiček a dutých skel s upraveným povrchem

Druh výrobků	Ozn. v tab. II	Zpracování výrobků	Součinitel smykového tření				Třecí úhel (°)			
			statického $f_0$		kinetického $f$		statický $\alpha_0$		kinetický $\alpha$	
			$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
trubičky ze skla KS 80	4	0 (původní povrch)	0,23	0,03	0,072	0,004	12,8	1,5	4,2	0,2
	—	zpevnění iontovou výměnou v $\text{KNO}_3$ 490 °C/3 h	0,21	0,03	0,071	0,004	12,0	1,5	4,1	0,2
lahve na pivo typ Euro obsah 0,5 l hnědé	9	0 (původní povrch)	0,27	0,03	0,14	0,01	15,0	1,7	8,1	0,8
	—	vytvoření vrstvičky $\text{SnO}_2$ tloušťky $\approx 5 \div \div 10$ nm	0,22	0,04	0,14	0,02	12,5	2,2	7,9	1,3
	—	vytvoření vrstvičky $\text{SnO}_2$ tloušťky $\approx 5 \div 10$ nm, pak organické vrstvičky	0,16	0,02	0,11	0,01	9,0	1,1	6,5	0,6
sklenice na mletou kávu, obsah 0,8 l bezbarvé	11	0 (původní povrch)	0,55	0,13	0,39	0,09	28,3	5,4	21,5	4,3
	—	vytvoření vrstvičky $\text{SnO}_2$ tloušťky $\approx 5 \div \div 10$ nm	0,20	0,02	0,14	0,01	11,2	0,9	7,8	0,8
	—	vytvoření vrstvičky $\text{SnO}_2$ tloušťky $\approx 5 \div \div 10$ nm, pak organické vrstvičky	0,13	0,02	0,09	0,01	7,3	1,1	5,1	0,5
lahve na pivo typ Euro obsah 0,5 l zelená	10	0 (původní povrch)	0,31	0,05	0,19	0,02	17,3	2,9	12,6	0,6
	—	vytvoření vrstvičky $\text{SnO}_2$ tloušťky $\approx 5 \div 10$ nm	0,27	0,03	0,17	0,02	15,0	1,5	9,5	1,3

Таблица IV

Смазочное трение некоторых выработанных трубочек и толстых стел с управленным поврхом (покращовани)

Друх выработку	Озн. в таб. II	Зпраровани выработку	Сочинител смазочного трения				Трени угол (°)			
			статического $f_0$		кинетического $f$		статический $\alpha_0$		кинетический $\alpha$	
			$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
лахе напово- ве обсах 0,25 л хнеде	—	вытворени врствич- кы SnO <sub>2</sub> толущ- кы $\approx 5 \div 10$ nm	0,20	0,02	0,14	0,01	11,2	0,9	7,8	0,8
	—	вытворени врствич- кы SnO <sub>2</sub> толущ- кы $\approx 5 \div 10$ nm, пак органичке врствичкы	0,15	0,01	0,12	0,01	8,8	0,5	7,0	0,4

Литература

- [1] Horák Z., Krupka F., Šindelář V.: *Technická fyzika*. Праце, Прага 1954.
- [2] Horák Z., Krupka F.: *Fyzika*. 1. svazek. SNTL, Прага 1976.
- [3] Brož J., Roskovec V., Valouch M.: *Fyzikální a matematické tabulky*. SNTL, Прага 1980.
- [4] Jackson J., Rand B., Rawson H.: *Verres Réfract.* 35, 257 (1981).
- [5] Rawson H., Turton G.: *Glastechn. Ber.* 46, 28 (1973).
- [6] *O prirodě trenija tverdych tel.* Izd. nauka i tehnika, Minsk 1971.
- [7] Zouhar J., Martinovský J.: *Sklář a keramik*, 22, 274 (1972).
- [8] Krutina J.: *Přehled technické mechaniky*. Праце, Прага 1954.
- [9] Budd S. M. In: *Coatings on glass 1980*. Elsevier, Lausanne, N. Y., 1981; *Thin solids films* 77, 13 (1981).
- [10] Bowden F. P., Tabor D.: *The friction and lubrication of solids*. Clarendon press. Oxford 1964.
- [11] Bowden F. P., Tabor D.: *Friction and introduction to tribology*. Heinemann, London 1974.
- [12] Kragelskij I. V., Vinogradov E. I.: *Koeficienty trenija*. Moskva 1962.
- [13] Juliš K., Brepta R.: *Mechanika I — Statika a kinematika*. SNTL, Прага 1986.
- [14] VDI — Zeitschrift, 101, 697 (1959).

КОЭФИЦИЕНТЫ СКОЛЬЗЯЩЕГО ТРЕНИЯ СТЕКЛОИЗДЕЛИЙ

Владимир Новотны, Петр Кубишта

Государственный научно-исследовательский институт стекла  
501 92 Градец Кралове

В предлагаемой статье приводятся результаты измерения коэффициента скользющего трения статического  $f_0$  и кинетического  $f$ , полученные с помощью наклонного шероховатомера, изображенного на рис. 1. Посредством данного прибора устанавливаются углы трения статический  $\alpha_0$  и кинетический  $\alpha$  и на основании полученных данных выводятся соответствующие коэффициенты трения согласно отношению [3] и [4]. В отличие от до сих пор опубликованных данных относительно скользющего трения стекла нами устанавливаются в основном коэффициенты трения между одинаковыми изделиями с одинаково обработанной поверхностью.

В таблице 1 приводятся обычно публикуемые данные относительно трения разных материалов, в табл. II—IV величины, полученные нами. Значение применяемых символов в таблицах:  $\bar{x}$  — арифметическое среднее,  $s_x$  — стандартное отклонение.

В табл. II приводятся величины коэффициентов трения для 12 стеклоизделий с первоначальной необработанной поверхностью: 1 — листовое стекло Флоат 2,8 мм — „нелуженая“ поверхность и „луженая“ поверхность, 2 — листовое стекло Fourcault 2,8 мм, 3 — трубки  $\varnothing$  15 мм из стекла для спая Ковара, тянутые вручную, 4—7 — трубки  $\varnothing$  6,3—40 мм из разных типов стекломассы, тянутые машиной, 8 — закаленные круглые чашки из стекла Симакс, штампованные машиной, 9—10 — бутылки для пива Euro, машинное автоматизированное производство, 11 — бутылки для масла 0,7 л, машинное автоматизированное производство, 12 — широкогорлые стаканы для молотого кофе, машинное автоматизированное производство.

В табл. III обобщаются результаты измерения коэффициента скользящего трения образцов листовых стекол с поверхностью, обработанной разным способом: обмытой, с шероховатой полировкой SiC, покрытой пленкой SnO<sub>2</sub>, или с добавкой F, толщины 10—800 нм, покрытой пленкой SnO<sub>2</sub> разной толщины + органическим слоем, обработанной нагреванием до 650 °C и охлажденной разным образом.

В табл. IV приводятся измеренные величины некоторых пустотелых изделий из стекла с поверхностью, обработанной разным образом: упрочненной ионным обменом, покрытой слоем SnO<sub>2</sub> или слоем SnO<sub>2</sub> + органические изделия.

Из исследуемых изделий с первоначальной поверхностью наиболее низкое скользящее трение имеют листовые стекла ( $f_0 = 0,17 \div 0,20$ ;  $f = 0,03 \div 0,10$ ), незначительно более высокое — трубки и наиболее высокое тарные стекла ( $f_0 = 0,23 \div 0,55$ ;  $f = 0,14 \div 0,39$ .)

Обмывкой первоначальной поверхности листовых стекол их трение умеренно понижается, шероховкой в результате полировки повышаются величины до величин, близких наиболее высоким величинам у тарных стекол; в результате упрочнения ионным обменом скользящее трение практически не изменяется.

В результате нанесения поверхностного слоя SnO<sub>2</sub> или SnO<sub>2</sub> + слой органических веществ статистические коэффициенты скользящего трения листовых и тарных стекол приближаются друг к другу, коэффициенты кинетического трения приближаются настолько, что они практически одинаковы. У тарных стекол в связи с тем происходит существенное понижения трения, в то время как у листовых стекол оно повышается.

Рис. 1. Наклонный шероховатомер.

## THE COEFFICIENTS OF SHEARING FRICTION OF GLASS WARE

Vladimír Novotný, Petr Kubišta

State Glass Research Institute, 501 92 Hradec Králové

The paper presents the results of measuring the static  $f_0$  and kinetic  $f$  coefficient of shearing friction by means of a simple roughness meter illustrated in Fig. 1. The instrument serves to determine the friction angle—static,  $\alpha_0$ , and kinetic,  $\alpha$ , from which the respective coefficient of friction is derived according to equations (3) and (4). In contrast to the studies published so far on shearing friction of glass, the coefficients of friction were determined solely for friction between identical products with the same surface finish. Table I lists some typical literary data on the friction of various materials, Tables II to IV give the values measured by the present authors. The significance of the symbols in the tables is as follows:  $\bar{x}$  — arithmetic mean,  $s_x$  — standard deviation.

The values of the coefficient of friction for 12 glass products with original untreated surfaces are given in Table II: 1 — Float sheet glass 2.8 mm 'untinned' and 'tinned' surface, 2 — Fourcault sheet glass 2.8 mm, 3 — dia. 15 mm tubes of Kovar sealing glass, hand-drawn, 4 through 7 — dia. 6.3—40 mm tubes of various types of glass, machine drawn, 8 — toughened circular dishes of Simax glass, pressure moulded, 9, 10 — Euro beer bottles, automated machine production, 11 — 0.7-litre capacity oil bottles, automated machine production, 12 — wide-necked ground coffee bottles, automated machine production.

Table III summarizes the results of measuring the coefficients of shearing friction of sheet glass specimens with surfaces after various treatments: washed, roughened by sanding with SiC, with SnO<sub>2</sub> coating, also doped with F, 10 to 900 nm in thickness, coated with SnO<sub>2</sub> layers

with various thicknesses and an organic coating, treated by heating at 650 °C and following various annealing schedules.

Table IV lists the measured values of some hollow ware with various types of surface treatment — toughened by ionic exchange, coated with an SnO<sub>2</sub> layer or SnO<sub>2</sub> + organic substances.

Among the glass ware types with original surfaces, the lowest shearing friction is exhibited by sheet glass ( $f_0 = 0.17$ — $0.20$ ,  $f = 0.03$ — $0.10$ ), mildly higher values by the tubes, and the highest by container glass ( $f_0 = 0.23$ — $0.55$ ,  $f = 0.14$ — $0.39$ ). Washing of the original surface will mildly reduce their friction while sanding raises it to values close to those of container glasses; toughening by ion exchange does not practically affect the shearing friction. Application of SnO<sub>2</sub> or SnO<sub>2</sub> + organic layer coatings brings closer the friction coefficients of sheet and container glasses; this applies particularly to the coefficients of kinetic friction which become virtually equal. The friction of container glasses is substantially reduced by these coatings, while that of sheet glasses increases.

Fig. 1. Slope-type roughness meter

B. KRATOCHVÍL, L. JENŠOVSKÝ: ÚVOD DO KRYSTALOCHEMIE, SNTL, Praha 1987, 240 str., 139 obr., 31 tab.

Monografia prináša pri nevelkom rozsahu diela maximum informácií o príprave a vlastnostiach kryštálov, o ich symetrii, štruktúrnom výskume a o vzťahoch medzi štruktúrou a vlastnosťami kryštalických látok. Uvádza tiež krátky prehľad štruktúrnych typov, určený predovšetkým na pochopenie významu kryštalochémie ako hraničného odboru medzi chémiou, fyzikou, mineralógiou, geológiou, metalurgiou, biológiou a niektorými technologickými smermi. Je to v súčasnej dobe u nás jediná moderne poňatá učebnica základov kryštalochémie českých autorov, vedľa českého prekladu učebnice: Základy chemické a fyzikálnej kryštalografie (Academia, Praha 1979) poľského autora J. Chojnackého. Hlavný význam knihy spočíva v možnosti jej využitia ako študijnej pomôcky pre študentov prírodovedeckého a technického zamerania, ale možno ju tiež doporučiť vedekým a výskumným pracovníkom technického zamerania, ktorým umožňuje zoznámenie sa so základmi kryštalochémie. Je to odrazový mostík k intenzívnejšiemu využívaniu obrovského rozsahu štruktúrnych informácií a kryštalografických údajov, ktoré sú k dispozícii v odbornej literatúre, na riešenie vedeckých a technických problémov všade tam, kde sa hľadajú závislosti medzi štruktúrou, chemickým zložením a vlastnosťami tuhých látok a kde sa robí prínosná chemická zloženia a metód prípravy tuhých látok s vopred určenými vlastnosťami.

Pozorné spracovanie textu a obsahu monografie nevyžaduje veľa pripomienok. Na str. 209 je uvedený v zozname minerálov, reprezentujúcom Mohsovu stupnicu tvrdosti, na 4. mieste fluorit, na 5. mieste kazivec, čo je však synonymum pre fluorit (CaF<sub>2</sub>). Na 5. mieste Mohsovej stupnice má byť správne uvedený minerál *apatit*. V súhlase s odbornou literatúrou možno doporučiť používať pre vibrácie atómov, znižujúce difrakčnú mohutnosť atómu (atómový rozptylový faktor) pri rastúcom difrakčnom uhle a rastúcej teplote, výraz tepelné vibrácie (thermal vibrations) a nie teplotné vibrácie uvedené na str. 117 a ď. Korekcia na absorpciu (str. 102) je zaradená medzi prvú skupinu korekčných faktorov, ktorými sa korigujú pozorované difrakčné intenzity pred vlastným určením štruktúry i do druhej skupiny korekčných faktorov, ktorými sa vykonávajú korekcie až v priebehu spresňovania štruktúry. V princípe by sa mali vykonať korekcie na absorpciu pred vlastným určením a spresnením štruktúry zohľadnením tvaru, rozmerov a chemického zloženia skúmanej látky ako aj smeru dopadajúceho a difraktovaného žiarenia v kryštále. Krátko treba komentovať i výraz (5—2) na str. 103. Prvý člen v čitateli vzťahu (5—2) predstavuje polarizačný faktor pri kinematickom popise monochromatizácie žiarenia na kryštále, druhý člen je polarizačný faktor pri dynamickom popise monochromatizácie, pričom výraz pre  $L_p$  (5—2) je priemernou hodnotou oboch členov. Maximálne rozdielny medzi kinematickým a dynamickým členom sú 5%. Trochu zabudnuté zostáva v odbornej literatúre i v tejto knihe *Pearsonovo valenčné pravidlo* (W. B. Pearson, Acta Crystallogr., 17, 1—15, 1964), ktoré predpovedá výskyt polyaniónových, polykatiónových alebo normálnych valenčných štruktúr polovodičov u zlúčenin, kde elektronegatívnejší atóm patrí do IV až VII skupiny periodickej sústavy (s výnimkou prechodných prvkov). Rozhodujúci pre klasifikáciu je pomer  $n_e/n_a$ , kde  $n_e$  je celkový počet valenčných elektrónov a  $n_a$  je počet aniónov. Zlúčeniny vyhovujú podmienke:  $(n_e + b_a - b_c)/n_a = 8$ , kde  $b_a$  a  $b_c$  je počet elektrónov zahrnutých vo väzbe anión-anión, resp. kation-kation. Pri obmedzenom rozsahu publikácie nebolo možné ísť do všetkých detailov, predať by som však pripomenul význam zavedenia *Burgersovho vektora* pre popis dislokačných typov, rastu dislokácií a tvorby dislokačných stupňov. Pre popis