

HOMOGENIZAČNÍ A INTENZIFIKAČNÍ ÚČINEK ELEKTRICKÉHO PŘÍHŘEVU VE SKLÁŘSKÝCH TAVICÍCH PECÍCH

STANISLAV KASA, JAROSLAV STANĚK

*Katedra technologie silikátů, Vysoká škola chemicko-technologická
Suchbátarova 5, 166 28 Praha 6*

Došlo 20. 9. 1983

Nejdůležitější intenzifikační a homogenizační prostředky ve sklářské tavicí peci jsou ty, které správně ovlivňují a usměrňují proudění skloviny. Charakter proudění ve sklářské peci je popsán pomocí metody vzruchu a odezvy. Proces homogenizace je popsán na základě dvou dějů, mísením odběrových a cirkulačních proudů a difúzí. Nejúčinnějším intenzifikačním a homogenizačním prostředkem ve sklářské peci je elektrický příhřev, jehož technologický význam je uveden v závěru.

ÚVOD

Snahou všech výrobců skla je co nejvíce intenzifikovat tavicí proces, tj. utavit větší množství kvalitní skloviny s menším množstvím tepelné energie. Protože tavicí proces má sám velmi nízkou tepelnou účinnost, je nutné ke snižování spotřeby energie snižovat ztráty na tavicím agregátu, např. zlepšením izolací, zlepšením přestupu tepla do vsázky aj. Jednou z cest je i intenzivnější homogenizace skloviny.

Existuje celá řada prostředků jak urychlit tavicí proces při současném zlepšení homogenity vyráběné skloviny. Proto je nutné všimnout si vlastního tavicího procesu a možností jeho intenzifikace, souvislostí tavicího procesu s homogenizací skloviny a prostředků, které mají na homogenitu, tedy kvalitu skloviny, zásadní vliv.

TAVICÍ PROCES

Proces tavení skla je možno zhruba rozdělit na tři etapy:

- a) chemické reakce probíhající v zahřívané sklářské vsázce,
- b) rozpouštění zbylých zrn sklářského písku, která zůstala po proběhnutí výše uvedených reakcí ve vzniklé první tavenině dosud nezreagována;
- c) čerení a homogenizace skloviny.

První etapa tavicího procesu probíhá velmi rychle, avšak mnohem delší doby je třeba pro proběhnutí druhé a třetí etapy tavení. Protože teploty tavení v průmyslových kontinuálních pecích jsou mnohem vyšší než body tání vzniklých meziproduktů, je možné na tavicí proces nahlížet jako na rozpouštění oxidu křemičitého v alkalických taveninách, kde postupně vzrůstá obsah SiO_2 , a popsat rychlosti těchto heterogenních reakcí kinetickými rovnicemi I. řádu. Heterogenní reakce jsou obecně takové reakce, při kterých jsou reagující složky v různých fázích a k reakci dochází na fázovém rozhraní. Zvláštní důležitost při reakci nabývá přenos látky z taveniny na tuhý povrch, reakce na rozhraní fází a přenos produktu reakce do taveniny. Pokud jde o celkovou rychlost následných heterogenních reakcí, je určena rychlostí nejpomalejšího děje a tento děj se stává řídicím.

Ze sledování kinetiky tavicího procesu sklovin pro výrobu obalového a plochého skla lze průběh tavicího procesu rozdělit do tří hlavních intervalů [1]:

a) kinetická oblast — $t < 1\ 150\ ^\circ\text{C}$ —

řídícím dějem je rychlost povrchové reakce na rozhraní fází;

b) přechodná oblast — $1\ 150\ ^\circ\text{C} < t < 1\ 400\ ^\circ\text{C}$ —

probíhají oba děje, tj. difúze produktu i povrchová reakce souměřitelnými rychlostmi, a proto pro výslednou rychlost děje je nutno uvažovat jak rychlost difúze, tak i rychlost povrchové reakce;

c) difúzní oblast — $t > 1\ 400\ ^\circ\text{C}$ —

řídícím dějem je rychlost difúze produktu povrchové reakce do taveniny.

Porovnají-li se číselné hodnoty rychlostních konstant pro difúzi a chemickou reakci, vyplývá z toho, že rychlostní konstanta pro chemickou reakci je řádově vyšší. Tedy nejpomalejším dějem je transport produktu reakce do okolní taveniny, který je řízen difúzními procesy. Chceme-li tedy zintenzívnit tavicí proces urychlit ho, pak je nutné zaměřit se na urychlení difúzních procesů. Toho lze docílit zintenzívněním proudění skloviny během tavení.

PROUDĚNÍ V PECI

Při tavení nastává ve sklovině více či méně intenzivní samovolné proudění [2, 3]. Je nutné s ním počítat při tavení v pánvích i vanách. Právě v kontinuálních vanových pecích má zvláštní význam, neboť jeho přítomnost je podmínkou správné funkce pece. Má však vedle pozitivních účinků (urychlení procesů převodu hmoty a tepla) i negativní účinky (zvýšení koroze vyzdívek, strhávání neprotavených zbytků vsázky do pracovního prostoru pece).

Proudění v kontinuální peci se rozděluje na dva hlavní typy:

a) odběrový (primární) proud, tj. pohyb skloviny od zakládacího k pracovnímu prostoru vyvolaný tlakovým rozdílem způsobeným nakládáním vsázky a odběrem skloviny v pracovním prostoru pece;

b) cirkulační (sekundární) proud, tj. pohyb skloviny vlivem rozdílných teplot v peci, kdy hustoty skloviny v různě teplých místech jsou různé, a tím vzniká proudění.

Cirkulační proudy v peci se skládají s proudem odběrovým a vytvářejí tak v peci výsledné proudění ve tvaru spirálovitých proudnic [4, 5]. Velký význam pro systém proudů a celý tavicí proces má rozložení teplot v tavicím agregátu a nastavení maxima teplot v podélné ose pece [6]. Maximum bývá asi $100\ ^\circ\text{C}$ nad střední teplotou tavicího prostoru a jeho poloha je ve druhé třetině tavicího prostoru v podélném směru. Přesná jeho poloha závisí na konstrukci a zatížení pece a lze jí docílit účelným seřízením hořáků.

Rychlost proudění v peci se pohybuje řádově v jednotkách $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ s maximem na hladině i více než $10\ \text{m} \cdot \text{h}^{-1}$. Před teplotním maximem se rychlost toku v podélném směru následkem konvekčních proudů zmenšuje a za maximem opět zvyšuje. Maximum teplot tedy působí jako „tepelná přehrada“, jejíž správná funkce tkví v tom, že zpomaluje pohyb hromad vsázky avšak nezadržuje je v zakládacím prostoru. Poloha maximální teploty ve spalovacím prostoru nesouhlasí vždy s polohou maximální teploty ve sklovině, neboť poloha maxima ve sklovině se mění s odběrem. Se zvyšujícím odběrem se přehrada posouvá k pracovní části pece. Se zvyšujícím výkonem se také maximum teplot zplošťuje a tepelná přehrada přestává plnit svoji funkci, tj. nevrací neprotavenou sklovinu zpět do zakládacího prostoru, ale propouští ji do pracovní části pece. Tepelné maximum již

nestačí vytvořit dostatečně intenzivní konvekci. Proto je nutné vytvořit v peci takový systém proudů, aby každá částice získala stejnou tepelnou historii, popř. aby její tepelná historie spolu s dobou prodlení v peci právě stačila k dokončení všech etap tavicího procesu.

Teplotní pole má v peci také vliv na hloubku, do níž proudění zasahuje. K tomu faktu zde ještě přistupuje i barva skloviny, neboť barevné skloviny se vyznačují sníženou radiační vodivostí, a tudíž teplotní gradienty v pecích tavicích barevné skloviny jsou poměrně strmé. Tomuto jevu musí být přizpůsobena hloubka bazénu tavicí pece. Vzhledem k úsporám energie je vhodné dno pece izolovat, a proto je nutné zvětšit hloubku bazénu, aby se dno příliš neoříhalo a nekorodovalo. Proto hloubky bazénů pecí tavicích různá skla nejčastěji bývají:

- pro tavení bílého skla 1,5—1,7 m
- pro tavení barevného skla hnědého 1,2—1,6 m
- pro tavení barevného skla zeleného 1,2—1,4 m

K posouzení charakteru proudění ve sklářské tavicí peci a jeho mísicího účinku je nejlépe použít metodu vzruchu a odezvy [7, 8], která byla převzata z prací pro průtokové reaktory, neboť kontinuální tavicí pec je rovněž průtokový reaktor.

V průtokových reaktorech se vyskytují čtyři základní typy proudění kapaliny:

- a) dokonalé mísení — proběhne okamžitě v celém objemu;
- b) pístový tok — všechny částice se pohybují stejnou rychlostí a k mísení nedochází;
- c) kombinovaný tok — vzniká superpozicí pístového toku a částečného mísení, např. konvekčními proudy;
- d) proudění v omezeném prostoru — část kapaliny stagnuje v tzv. mrtvých prostorech a tok se uskutečňuje zmenšeným průřezem.

Typ proudění se v praxi stanoví tak, že se na vstupu do systému zavede jednorázově (impulsně) nebo trvale (skokem) vhodný indikátor, jehož koncentrace se na výstupu stanoví jako funkce času. Výsledky se znázorňují graficky tzv. křivkami odezvy. V literatuře je v posledních letech publikována řada prací, v níž bylo použito odezvových křivek. U nás se touto problematikou zabývá Smrček [9, 10, 11, 12].

Využití údajů o mísicím účinku proudění k posouzení účinnosti kontinuálního systému naznačuje Cooper [13, 14]. Základní veličinou pro takové posouzení je poměr rychlostní konstanty nejpomalejšího, a tedy řídicího děje k k rychlosti toku hmoty v , tedy

$$\varphi = \frac{k}{v}. \quad (1)$$

Veličina φ je úměrná stupni dokončení příslušného procesu, kdy nízká hodnota φ podél určité dráhy vede k defektnímu sklu, a naopak vysoká hodnota φ znamená zbytečně vynaloženou energii ještě po ukončení děje.

HOMOGENIZACE SKLOVINY

Máme-li mluvit o homogenizačním účinku elektrického příhřevu, je nutné nejprve se zmínit o samotné homogenizaci skloviny a o tom co ji nejvíce ovlivňuje.

Homogenizace (chemická) je proces vyrovnávání rozdílů koncentrací v různých místech taveniny. Hodnocení stupně homogenity je velice obtížné a dosud pro něj neexistuje žádné objektivní kritérium nebo matematický vztah. Většinou se

stupeň homogenity hodnotí podle místních rozdílů hustoty, indexu lomu apod. Při hodnocení homogenity pracujeme obvykle se dvěma pojmy — míra segregace (nehomogenity), vyjádřená parametrem δ , který znamená rozměr nehomogenní oblasti; — intenzita segregace (nehomogenity), která se vyjadřuje maximálním rozdílem koncentrace proti průměrnému obsahu dané složky.

Homogenizace ve sklářských vanových pecích se uskutečňuje působením dvou základních dějů: mísením odběrovým tokem a účinkem cirkulačních proudů. Systémy proudů vyvolávají smyková napětí a ta deformují nehomogenní oblasti do menší tloušťky. Tím se pak usnadňuje druhý děj — difúze, tedy transport hmoty za účelem vyrovnání koncentračních rozdílů. Difúze je tím významnější, čím větší je difúzní koeficient a čím kratší jsou difúzní dráhy. Požadovaný stupeň homogenity a homogenizační děj se pak řídí tou složkou, která se homogenizuje nejpomaleji. U obalových a plochých skel je to SiO_2 a Al_2O_3 . Oba zmíněné děje se vzájemně doplňují, neboť proudění skloviny snižuje míru segregace, tedy zmenšuje rozměr nehomogenit, avšak nemá příznivý vliv na intenzitu segregace. Naproti tomu difúze snižuje intenzitu segregace a je vcelku bez vlivu na míru segregace. Je proto zřejmé, že mísicí účinek proudění se projeví nejpříznivěji v počátečních stádiích tavení, aby byl ponechán dostatek času k difúznímu vyrovnání koncentrací.

Někteří autoři [15, 16] se pokusili o výpočet resp. odvození vztahů pro výpočet koncentrací a jejich poklesu v případě kulových nehomogenit. Z těchto vztahů je možné pak vypočítat i dobu vyrovnání koncentrace na 1/100 původního rozdílu, pro niž platí

$$t = 0,55r_0^2D^{-1}, \quad (2)$$

kde r_0 je původní poloměr kulové nehomogenity a D je difúzní koeficient. Jestliže budeme uvažovat nehomogenity o velikosti řádově 10^{-4} m, potom v případě SiO_2 vypočteme únosné doby homogenizace. Pro Al_2O_3 je situace nepříznivější vzhledem k nižšímu D . Nepříznivě rovněž působí, že oxid hlinitý se do skloviny vnáší v podstatně menším množství a při velikosti zrn stejné jako u oxidu křemičitého jsou potom vzdálenosti částic oxidu hlinitého tak velké, že se koncentrace nemohou dostatečně vyrovnat pouhou difúzí. Je tedy nutné vnášet oxid hlinitý do skloviny v jemnější formě a zabránit jeho shlukování. Obecně platí: Čím menší je množství vnášené látky, tím menší musí být velikost částic, aby se jejich vzájemná vzdálenost mohla vyrovnat difúzí. Výraz pro dobu homogenizace je možno upravit zavedením vztahu (3)

$$D = D_0 \cdot \exp(-E/RT) \quad (3)$$

vyjadřující teplotní závislost difúzního koeficientu tak, aby bylo možné vypočítat vliv teploty na homogenizaci. Pro teplotní závislost doby homogenizace platí

$$t = 0,0776 \cdot r_0^2 \cdot \exp(17\,000/T). \quad (4)$$

Z tohoto vztahu je však patrné, že teplota není parametrem, který by ovlivňoval průběh difúzní homogenizace tak podstatně jako velikost popř. vzdálenost částic.

Stejně úvahy lze aplikovat i na homogenizaci velkých oblastí. Zde velký rozměr a malé koncentrační rozdíly znamenají, že difúze sama nestačí k homogenizaci, když zůstává podstatou homogenizačního děje. Je však nutné nejprve nehomogenní oblasti změnit na takový tvar a velikost, aby difúze mohla být účinná. To obstará proudění skloviny a s ním spojený vznik gradientů rychlosti a smykových napětí. Gradienty rychlosti vznikají v odběrovém proudu poklesem rychlosti směrem ke dnu a stěnám. Smyková napětí vznikají vlivem konvekčních proudů

a proudění vyvolaného účinkem úniku plynů. Aby mohla nastat účinná difúzní homogenizace, musí se rozměr nehomogenity zmenšit řádově na 10^{-4} m.

O přesnější úvahy v tomto směru se pokusil Becker [17], který vyšel z analýzy vlivu proudění na difúzní vyrovnání koncentrace podle Geffckena [18]. Becker odvodil vztah pro výpočet velikosti nehomogenní oblasti, jež se stačí zhomogenizovat ve sklářské peci. Dokazuje, že účinkem proudění a difúze se mohou vyrovnat nehomogenity vznikající flotací písku, tékáním a korozí žárovzdorných materiálů. Tyto rušivé jevy musí však vznikat v prvním stádiu tavení, tj. před tepelnou přehradou, neboť za ni mají již podstatně menší naděje na vymizení.

O tom, zda homogenizační proces proběhne až do požadovaného stupně, rozhoduje však vedle D a δ také doba prodlení, jež se stanoví metodou odezvy na zavedený impuls. Smrček [12] na základě experimentálních měření na provozních pecích dokázal, že tvar tzv. $E(\theta)$ křivky, což je distribuční křivka doby udržení skloviny ve vaně, souvisí s homogenitou, jejíž kvalitu lze posuzovat z tvaru této křivky. Křivka $E(\theta)$ vypovídá ovšem o „makrohomogenitě“, tj. o časovém rozdílu koncentrací v celém objemu odcházející skloviny. Pro hodnocení homogenity je však nutné znát i průběh „mikrohomogenity“, tj. místní rozdily koncentrací ve stejném čase. Tyto rozdíly je možné zjistit z měření aktivity na dvou různých místech v témže čase nebo z průběhu aktivity vzorků odebíraných ve stejný čas z různých míst pece.

Na základě prací řady již zmíněných autorů je zřejmé, že ke kvantitativnímu popisu homogenizačního procesu je nutno znát:

- a) příslušný difúzní koeficient a jeho teplotní závislost,
- b) počáteční tvar, velikost a složení nehomogenní oblasti,
- c) dobu prodlení, resp. rozdělení dob prodlení jednotlivých objemových elementů,
- d) rozdělení rychlostí a teplot na uvažované dráze popř. v celém systému.

Z toho je patrné, že popis homogenizačního procesu je velice obtížný a při jeho hodnocení se musíme spokojit s menším množstvím informací, kde nám velice dobře slouží křivky odezvy.

VZTAH HOMOGENIZACE A PROUDĚNÍ

Z výše uvedeného rozboru charakteru toku skloviny v tavicí peci se Cooper [19] pokusil učinit alespoň dílčí závěry o tom, jaký druh proudění je z hlediska homogenizace žádoucí. Samotný odběrový proud nestačí k vyrovnání nehomogenit, neboť rozdělení rychlostí v odběrovém proudu je tak široké, že minimální doba prodlení je několikrát kratší než střední doba, tzn. že doba difúzního mísení je pro některé dráhy velmi krátká. Druhým důvodem, proč odběrový proud nestačí k vyrovnání nehomogenit, je to, že má tento proud pouze jeden směr a pro účinnou deformaci nehomogenních oblastí se vyžaduje jejich kolmá orientace na směr proudění. Systém s různými typy proudění dává tudíž lepší možnost, aby všechny nehomogenní oblasti různých tvarů a orientace byly deformovány. Významnou úlohu zde hrají unikající plyny, jež vyvolávají proudění ve směru kolmém k odběrovému proudu a horizontální nehomogenity se vytažují tak do vertikálních útvarů. Podélné i příčné konvekční proudy mají příznivý vliv na doby prodlení, a tudíž působí příznivě i na homogenizační proces. Nevýhodou konvekčních proudů je to, že některé proudnice se mohou uzavřít a vytvořit tak nepříznivé cirkulace.

ELEKTRICKÝ PŘÍHŘEV, JEHO VLIV NA PROUDĚNÍ

Chceme-li na peci vyrábět kvalitní sklo s vysokou homogenitou, je nutné peči konstruovat tak a použít na ní taková další zařízení, abychom správně ovládli proudění v peci co do směru a rychlosti. Existuje celá řada konstrukčních úprav a zařízení, která lze na peci za tímto účelem instalovat. Jsou to:

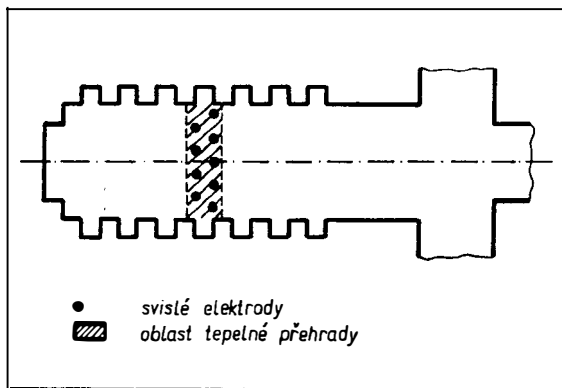
- a) probublávací systém (bubbling),
- b) mechanická přepážka,
- c) kombinace mechanické přepážky a probublávacího systému,
- d) mechanické míchání,
- e) hloubka bazénu.
- f) elektrický příhřev.

Porovnáme-li všechny způsoby ad a) až ad f), vychází a provozně to bylo i o zkoušeno, že nejučinnějším prostředkem k ovládnutí proudění v peci, a tím i prostředkem, pro získání skloviny o vyšší homogenitě za současného zvýšení účinnosti a tavicího výkonu pece, je elektrický příhřev.

Hlavním účelem instalace elektrického příhřevu na peci je posílit tepelnou přehradu pece. Umístění tepelné přehrady a její výraznost má zásadní vliv na proudění v peci, a tím i na homogenitu vyráběného skla. Proto se elektrody umísťují nejlépe přímo do tepelné přehrady vytvořené seřizováním teplot ve spalovacím prostoru plamenné pece. Jakým směrem postupuje tavení v peci, podívejme se na to se stavějí v peci elektrody. Používají se tyto polohy tyčových elektrod:

- a) svislé,
- b) vodorovné,
- c) šikmé ($15-25^\circ$).

Uspořádání popř. rozmístění elektrod v peci je různé a lze říci, že je individuální pro každou pec. Vhodné rozmístění elektrod v peci, ve vztahu k technologickým požadavkům, tj. správné ovlivnění proudění, je nejlépe předem zjistit na fyzikálním modelu [20, 21, 22, 23]. Přesto však při návrhu rozmístění elektrod v peci postupujeme podle určitých pravidel.

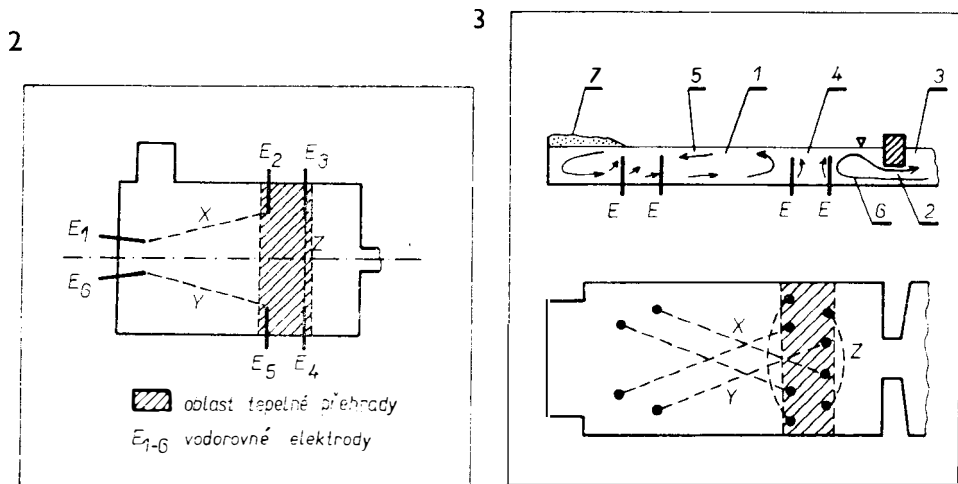


Obr. 1. Umístění svislých elektrod v tepelné přehradě plochafské pece.

Chceme-li posílit tepelnou přehradu pouze pro stabilizaci výkonu pece, umístíme elektrody do maxima teplot. To je nejčastější případ u plochařských van vytápěných surovým generátorovým plynem, který má proměnlivou výhřevnost. Umístění elektrod (svislých) v tepelné přehradě plochařské pece je na obr. 1.

V případě, že chceme kromě posílení tepelné přehrady ještě podstatně zvýšit tavicí výkon pece, umístí se větší počet elektrod do místa tepelné přehrady k jejímu posílení a část elektrod se umístí do bazénu pece před tepelnou přehradu. U menších pecí je možné s výhodou použít i vodorovných elektrod, jak je patrné z obr. 2.

Jde-li o větší pece a větší elektrické příkony přehřevů, je výhodné použít elektrody svislé; několik se jich umístí do tepelné přehrady a zbylé do bazénu k posílení tavicího výkonu pece, jak je vidět na obr. 3.



Obr. 2. Umístění vodorovných elektrod v peci k posílení tepelné přehrady a vybavení části elektrického výkonu v tavicí části pece.

Obr. 3. Uspořádání svislých elektrod v peci k posílení tepelné přehrady, vybavení části elektrického výkonu v tavicí části pece a schéma proudění; 1 — tavicí část pece, 2 — průtok, 3 — pracovní část, 4 — oblast tepelné přehrady, 5 — proudění v tavicí části pece, 6 — zpětný proud, 7 — vsázka, E — elektrody, X , Y , Z — fáze transformátoru.

Vedle dříve citovaných technologických požadavků na rozmístění elektrod přehřevu je nutno při rozmisťování elektrod brát zřetel na jejich zatížení, na zatížení zdrojů a jejich jednotlivých fází, pokud jde o zdroje vícefázové. Dále je nutno elektrody rozmístit a zapojit tak, aby odpor mezi nimi byl co největší, aby se tak největší množství energie vybavovalo mezi elektrodami. Naopak odpory přívodů musí být co nejmenší, aby ztráty v nich byly minimální.

ZÁVĚR

Při návrhu elektrického přehřevu není možno znalost zatížení elektrod a zdrojů, odporů mezi elektrodami, odporů přívodů aj. zanedbat. Protože jde o rozsáhlou problematiku spojenou s řadou problémů, je již několik let předmětem řešení výzkumných úkolů, jejichž výsledky jsou průběžně předávány do praxe.

Na základě výsledků výzkumu a provozních měření jsou vypracovány podklady pro instalace elektrických přihřevů na sklářských pecích a zjišťovány jejich intenzifikační a homogenizační účinky. Správnost těchto výsledků byla potvrzena řadou domácích a zahraničních autorů [24 až 30].

V zásadě lze technologický význam elektrického přihřevu na sklářských tavicích pecích shrnout do těchto bodů:

- a) stabilizuje jak teplotní, tak i rychlostní pole v peci;
- b) zrychluje proudění skloviny v peci;
- c) zrychluje pohyb vsázky v zakládacím cyklu;
- d) ovlivňuje proudění v pracovní části pece;
- e) výrazně přispívá k tepelné a chemické homogenizaci skloviny;
- f) prohřívá intenzivněji spodní vrstvy skloviny, a tím také
- g) zvyšuje tavicí výkon pece cca o 30 až 100 % podle potřeby;
- h) výrazně zlepšuje kvalitu skloviny;
- i) pracuje s vysokou účinností přenosu energie (cca 95 %).

Literatura

- [1] Šašek L.: *Sborník III. konference o elektrickém tavení skla*, DT Ústí nad Labem 1971, s. 26.
- [2] Hlaváč J.: *Základy technologie silikátů*, SNTL, Praha 1981.
- [3] Kolektiv: *Tavení skla*, HSP, SNTL, Praha 1970.
- [4] Trier W.: *Advances in Glass Technology*. Plenum Press 1962, s. 619.
- [5] Psychés J.: *Glass Ind* (1948).
- [6] Knap M.: *Sborník IV. konference o elektrickém tavení skla*, DT Ústí nad Labem 1974, s. 82.
- [7] Danckwerts P. V.: *Chem. Eng. Sci.* 2, 1 (1953).
- [8] Lewenspiel O.: *Teorie a výpočty chemických reaktorů*. SNTL, Praha 1975.
- [9] Smrček J.: *Sborník III. konference o elektrickém tavení skla*, DT Ústí nad Labem 1971, s. 40.
- [10] Thýn J., Smrček J.: *Sborník IV. konference o elektrickém tavení skla*, DT Ústí nad Labem 1974, s. 45.
- [11] Smrček J.: *Sborník V. konference o elektrickém tavení skla*, DT Ústí nad Labem 1980, s. 23.
- [12] Smrček J.: *Sklář a keramik* 23, 270 (1973), 304 (1973).
- [13] Cooper A. R.: *Jour. Amer. Ceram. Soc.* 42, 93 (1959).
- [14] Cooper A. R.: *Jour. Amer. Ceram. Soc.* 43, 97 (1960).
- [15] Cable M., Hakim J.: *Chem. Eng. Sci.* 27, 409 (1972).
- [16] Crank J.: *The Mathematics of Diffusion*. Oxford Univ. Press 1964.
- [17] Becker H.: *Glastechn. Ber.* 35, 387 (1962).
- [18] Geffcken W.: *Glastechn. Ber.* 30, 143 (1957).
- [19] Cooper A. R.: *Glass Technol.* 7, 2 (1966).
- [20] Staněk J.: *Elektrické tavení skla*. SNTL, Praha 1976.
- [21] Staněk J.: *Výzkum teoretických základů tavení skla*, Sborník VŠCHT Praha, L4, 1973.
- [22] Staněk J.: *Sklář a keramik* 29, 225 (1979).
- [23] Staněk J., Kasa S., Lisý A.: *Chemický prům.* 30, 456 (1980).
- [24] Jarošík V.: *Sklář a keramik* 22, 203 (1972).
- [25] Rak M.: *Sklář a keramik* 16, 46 (1966).
- [26] Pacovský V.: *Sklář a keramik* 18, 44 (1968).
- [27] Krey B.: *Silikattechn.* 31, 10 (1980).
- [28] Scarfe F.: *Glass Technology* 21, 37 (1980).
- [29] Savina I. M., Sevastian P. T.: *Steklo i keramika* [5], 5 (1977).
- [30] Savina I. M., Sevastian R. I.: *Steklo i keramika* [11], 4 (1979).

ГОМОГЕНИЗИРУЮЩЕЕ И ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДОГРЕВА В СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧАХ

Станислав Каса, Ярослав Станек

*кафедра технологии силикатов, Химико-технологический институт,
166 28 Прага*

Наиболее важными интенсифицирующими и гомогенизирующими средствами в стекловаренных печах оказываются те средства, которые действуют на стекломассу и регулируют ее ток. Поэтому приводятся и описываются основные типы тока стекломассы в печи и их влияние на процесс плавления. Для рассмотрения характера тока в стекловаренной печи и его перемешивающего действия описывается метод возбуждения и реакции. Процесс гомогенизации стекломассы описывается на основании действия двух процессов, т. е. перемешивания потоков отбора и циркуляции и диффузии.

Из целого ряда конструктивных перседелок наиболее эффективным средством для гомогенизации и интенсификации в стекловаренной печи оказывается электрический дополнительный подогрев. В зависимости от им выполняемого назначения приводятся три основных типа его размещения в печи, которые предоставляют возможность стабилизировать ход плавильной печи при частичном повышении мощности плавления и оказывать резкое влияние на повышение мощности плавления. В заключение авторами оценивается технологическое значение электрического дополнительного подогрева в стекловаренной печи.

Рис. 1. Размещение вертикальных электродов в термической перегородке плавильной печи.

Рис. 2. Размещение горизонтальных электродов в печи для увеличения термической перегородки и часть электрического оборудования стекловаренной печи.

Рис. 3. Упорядочение вертикальных электродов в печи, предназначенных для увеличения термической перегородки, часть электрического оборудования в плавильной печи и схема потоков стекломассы; 1 — плавильная часть печи, 2 — проток, 3 — рабочая часть печи, 4 — область термической перегородки, 5 — проток стекломассы в плавильной части печи, 6 — обратный поток, 7 — шихта, E — электроды, X, Y, Z — фазы трансформатора.

HOMOGENIZING AND INTENSIFYING EFFECT OF ELECTRIC BOOSTING IN GLASSMELTING FURNACES

Stanislav Kasa, Jaroslav Staněk

*Institute of Chemical Technology, Department of Silicates,
166 28 Prague*

The most important intensifying and homogenizing measures in a glassmaking furnace are those which influence and suitably direct the glass melt flow. The main types of glass melt flow in the furnace and their effect on the melting process are described. The pulse and response method, which is used for assessing the character of flow in a glassmaking furnace and its mixing effect is described. The process of glass melt homogenization is dealt with on the basis of the two processes involved, namely the mixing of working and recycling streams, and diffusion.

Electric boosting appears to be the most effective measure among those aimed at homogenizing and intensifying the glass melting operation. According to the function the electric boosting is to serve, that is the stabilization of the furnace operation, stabilization combined with an increased throughput, and extensive raising of the throughput, the respective three basic types of its situating in the furnace are described. A brief summary of the technological significance of electric boosting in glass furnace is given in the conclusion.

Fig. 1. Layouts of vertical electrodes in the thermal barrier of a sheet glass furnace.

Fig. 2. Positioning of horizontal electrodes in the furnace to reinforce the thermal barrier, and introduction of some of the electrical in put into the melting part of the furnace.

Fig. 3. Arrangement of vertical electrodes in the furnace to reinforce the thermal barrier, introducing additional electrical power to the melting part of the furnace, and the resulting flow pattern;

1 — melting part of the furnace, 2 — throat, 3 — working part of the furnace, 4 — thermal barrier zone, 5 — flow in the melting part of the furnace, 6 — return flow, 7 — batch, E — electrodes, X, Y, Z — transformer phases.