

Stiklo defektų, susijusių su stiklo duženų naudojimu įkrovoje, analizė

A. Balandis, G. Vaickelionis

*Kauno technologijos universitetas,
Radvilėnų pl. 19, LT-50254 Kaunas, Lietuva
El. paštas giedrius.vaickelionis@ktu.lt*

crossref <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ct.59.1.1526>

Gauta 2012 m. sausio 20 d., priimta spaudai 2012 m. vasario 7 d.

Vis labiau naudojamos savos ir pirktinės stiklo duženos taros stiklo gamyboje turi didelę energetinę, ekonominę ir aplinkosaugos gerinimo reikšmę. Lydant stiklo duženas labai sumažėja šiluminės energijos, kartu kuro ir kenksmingų išlakų kiekiai, nes nebereikia naudoti šiluminės energijos endoterminėms reakcijoms, vykstančioms tarp žaliavų įkrovos mineralų stiklo lydalo susidarymo procesuose, be to, sumažėja akumuluojamos šilumos kiekis, kadangi stiklo duženų masė yra 11–20 % mažesnė už ekvivalentinio stiklo lydalo kiekio susidarymui reikalingą žaliavų įkrovos masę. Surenkant daugiau stiklo duženų ir pakartotinai jas naudojant mažiau teršiama aplinka stiklo atliekomis, kurių suirimo gamtoje trukmė ilgesnė kaip 600 metų.

Tačiau naudojant daug (per 70 %) pirktinių stiklo duženų taros stiklo gamyboje iškyla keletas papildomų technologinių problemų: sunku užtikrinti reikalingą stiklo cheminę sudėtį, spalvą, atspalvį bei stiprį; kokybiškos įkrovos, ypač duženų, paruošimo technologiniai procesai tampa sudėtingesni; produkcijos stikle gali susidaryti netipiški, nestikliški kieti intarpai, didinantys brokuotos produkcijos kiekį. UAB „Kauno stiklas“ pradėjus naudoti 80 % stiklo duženų ir 20 % žaliavų įkrovos mišinį ženkliai sumažėjo stiklo lydymui reikalingos gamtinių dujų sąnaudos, tačiau taros stiklo gaminiuose susidarydavo anksčiau nebūdingi nestikliški intarpai – sferiniai ir cilindriniai kieti intarpai, didinantys brokuotos produkcijos kiekį.

Darbe ištirta šių intarpų cheminė ir mineralinė sudėtis. Nustatyta, kad sferiniai intarpai sudaryti iš elementinio silicio ir kai kuriuose intarpuose papildomai nedidelio kiekio geležies silicido. Didesni cilindriniai intarpai sudaryti iš aliumosilikato – mulito. Aptarta šių intarpų kilmė ir susidarymo reakcijos, taip pat technologinės priemonės ir būdai šių defektų kiekiui stikle ženkliai sumažinti.

Įvadas

Dalies stiklo įkrovos pakeitimas stiklo duženomis įgalina ženkliai sumažinti reikalingas energijos ir kuro sąnaudas stiklo lydymui bet kurio tipo stiklo lydymo krosnyse. Lydant stiklo duženas nereikia šiluminės energijos endoterminėms stiklo susidarymo reakcijoms, vykstančioms tarp įkrovos mineralų, be to, stiklo duženų masė yra apie 20 % mažesnė už ekvivalentinio stiklo lydalo kiekio susidarymui reikalingą žaliavų įkrovos masę.

Stiklo taros gamyboje stiklo duženų naudojama nuo 20 % iki daugiau kaip 90 %, vidutiniškai Europos Sąjungos stiklo taros gamyklose panaudojama apie 48 % stiklo duženų. Manoma, kad papildomai panaudotų 10 % stiklo duženų įgalina lydkrosnės energijos sąnaudas sumažinti 2,5–3,0 % [1, 2].

Būtina skirti savas, technologines stiklo duženas ir atvežtines, pirktines stiklo duženas (antrą kartą perdirbamas stiklas, gaunamas iš stiklą naudojančių įmonių arba surinktas gyventojų ir tuo užsiimančių įmonių). Savų duženų stiklo cheminė sudėtis tokia pat, kaip ir lydomo stiklo, todėl jas galima naudoti net dideliais kiekiais, jos visos pakartotinai sunaudojamos ir gamybos metu neatsiranda papildomų priešasčių, sukeliančių naujus defektus stiklo gaminiuose.

Tačiau šiuolaikinėse stiklo gamybos technologinėse linijose susidarantį stiklo niekalo kiekiai nėra dideli, todėl taros gamyboje dažnai naudojamos ir pirktinės stiklo duženos. Jų sudėtis būna nepastovi ir tiksliai nežinoma, o tai riboja jų panaudojimo, ypač didesniais kiekiais, galimybes.

Naudojant didelį stiklo duženų kiekį įkrovoje labai sunku kontroliuoti stiklo lydalo cheminę sudėtį ir fizikines mechanines gaminių charakteristikas.

Cheminę lydalo sudėtį gali pakeisti ir į pirktines stiklo duženas patenkančios organinės priemaišos: maisto, popieriaus bei plastiko likučiai, kurie turi ypač įtaką oksidacinėms-redukcinėms terpės charakteristikoms, stiklo lydalo skaidrinimo procesams ir gali pakeisti stiklo spalvą.

Su stiklo duženomis į stiklo lydala gali patekti metalai – aliuminis, švinas, geležis ir varis.

Aliuminis lydosi neaukštoje temperatūroje (660 °C), tačiau jis lydale veikia kaip stiprus reduktorius, sąlygojantis netirpių silicio intarpų susidarymą [3–5].

Elementinis švinas trumpina lydkrosnės eksploatacijos trukmę, nes skystas metalas skverbiasi į lydkrosnės dugno ugniai atsparias medžiagas ir ardo krosnies padą.

Geležies junginiai, patekę iš duženų į lydala, yra mažiau pavojingi krosniai ar stiklo savybėms, tačiau jie taip pat gali sudaryti netirpius intarpus ir spalvotas juostas stiklo gaminiuose. Tyrimai parodė [6], kad išlaikius stiklo lydala 1450 °C temperatūroje 30 minučių, susidariusiam stikle galima aptikti elementinės geležies intarpus. Esant aukštesnei lydalo temperatūrai geležis stiklo lydale oksiduojasi ir visiškai ištirpsta.

Varis lydosi dar žemesnėje temperatūroje (1085 °C) nei geležis. Nors esant įprastinėms taros stiklo lydymo temperatūroms (1350–1450 °C) varis yra skystos būsenos, tačiau ir jis gali sudaryti netirpaus vario sulfido intarpus. Su duženomis patenkantis žalvaris gali sudaryti tokius pačius netirpius intarpus, kaip ir varis [6].

Stiklo lydymui naudojant didelį pirktinių duženų kiekį, susiduriama taip pat su padidėjusiu kiekiu taros stikle netirpių intarpų defektų, kurie susidaro dėl keramikos, uolienu (akmenukų), porceliano ir sitalo (mikrobangų krosnelių padėklai ir langeliai, karščiui atsparūs kepimo indai ir pan.) priemaišų, patenkančių į stiklo duženas. Šių priemaišų lydymosi temperatūra dažniausiai yra aukštesnė kaip 1700 °C, todėl jos stiklo lydale išlieka beveik netirpių intarpų pavidalo.

Stiklo atliekas rūšiuojant rankiniu būdu, viename kilograme duženų lieka iki 400–500 mg kietų netirpių priemaišų. Po duženų rūšiavimo moderniose automatizuotose stiklo perdirbimo linijose šių atliekų kilograme duženų lieka tik apie 25–50 mg.

Visi anksčiau minėti netirpūs intarpai gerokai sumažina stiklo gaminių stiprį, nes dėl labai skirtingų pagrindinės masės ir netirpaus intarpo šiluminio plėtimosi koeficientų verčių stikle susidaro vidinių įtempių telkimosi židiniai ir mikroplyšių atsiradimo galimybė.

Todėl stiklo taros gamyboje naudojant daug pirktinių duženų labai svarbia problema tampa kokybiško duženų rūšiavimo ir jų paruošimo įkrovai procesai.

Dar neseniai (prieš 3–4 metus) UAB „Kauno stiklas“ taros stiklo įkrovoje buvo naudojama tik 20–40 % stiklo duženų, nes Lietuvos gyventojai vis dar vangiai rūšiavo

atliekas. Žymiai padidinus specializuotų atliekų surinkimo konteinerių kiekį, surenkama vis daugiau stiklo duženų. Be to, nemažai stiklo laužo surenkama iš pakelių bei pamiškių (gamtoje stiklas suyra labai lėtai – ilgiau kaip per 600 metų). Surenkant vis daugiau stiklo duženų, atsirado galimybė taros stiklo lydymui naudoti didesnius jų kiekius, todėl UAB „Kauno stiklas“ buvo nuspręsta taros stiklo lydymui naudoti net 80 % stiklo duženų ir tik 20 % žaliavų įkrovos mišinį. Panaudojus didelį kiekį stiklo duženų ir gerokai mažiau brangių pirktinių žaliavų, sumažėjo ne tik įkrovos savikaina, bet ir jos lydymui reikalingų gamtinių dujų sąnaudos. Tačiau labai padidinus pirktinių duženų kiekį įkrovoje, taros stiklo gaminiuose kartais susidaro netipiniai nestikliški intarpai, dėl kurių daugėja brokuotos produkcijos [7].

Šio darbo tikslas – atlikti išsamią nestikliškų intarpų analizę, nustatyti intarpų susidarymo priežastis ir pasiūlyti būdus šiam stiklo defektui išvengti taros stiklo gamybos metu.

Tyrimų metodika

Šiame darbe tirta UAB „Kauno stiklas“ tara, kurios stiklo cheminė sudėtis pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. UAB „Kauno stiklas“ taros stiklo cheminė sudėtis

Komponentai ir jų kiekis, %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
73,24	1,64	0,38	6,37	4,46	13,61	–	0,30

Cheminė stiklo sudėtis nustatyta klasikiniiais stiklo tyrimo metodais [8].

Netirpių intarpų struktūra ir tekstūra buvo tirta optiniu mikroskopu *OLYMPUS CX31LBSF*, naudojant fotografavimui priedą *OLYMPUS C-5050Z* ir esant bendram objektyvo ir okuliario didinimui 40 kartų.

Stiklo intarpų rentgeno spindulių difrakcinė analizė atlikta difraktometru *DRON-6*. Naudota: spinduliuotė – CuK α , filtras – Ni, detektoriaus judėjimo žingsnis – 0,02 °, intensyvumo matavimo trukmė žingsnyje – 0,5 s, anodinė įtampa $U_a = 30$ kV, srovės stipris $I = 20$ mA.

Rudos taros stiklo linijinio šiluminio plėtimosi koeficientų vertės buvo nustatytos kvarciniu dilatometru *DKB-4*.

Vidinių įtempių netolygumai stikle apie netirpius intarpus buvo tirti optiniu poliariskopu *PKS-500*.

Rezultatai ir jų aptarimas

Analizuojant naujo tipo nestikliškus intarpus optiniu mikroskopu *OLYMPUS CX31LBSF* nustatyta, kad šie intarpai taros stikle susidaro dviejų skirtingų formų ir dydžių: pirmojo tipo intarpai yra sferinės formos 0,5–3,0 mm skersmens, tamsiai pilki bei metalinio blizgesio (1 pav., a, b, c).





1 pav. Sferiniai metalinio blizgesio intarpai rudos taros stikle

1 paveiksle, *a* ir *b* matyti, kad sferiniai intarpai yra apsupti keletu sferinių sluoksnių, kurie taip pat yra papildomi vidinių įtempių telkimosi židiniai stikle, gerai matomi poliariskopo poliarizuotoje šviesoje. 1 paveiksle, *c* matyti, kad šiuose sluoksniuose susidaro spinduliniai mikroplyšeliai bei stiklo įtrūkios. Vidinių įtempių santalkos apie metališkus intarpus padidėjimas yra susijęs su dide-

liais netirpių nestikliškų intarpų, juos supančių pakitusios stiklo lydalo cheminės sudėties sluoksnių ir pagrindinės stiklo masės linijinių šiluminio plėtimosi koeficientų α skirtumais. 2 lentelėje yra pateiktos galimų su stiklo duženomis patekti metalų linijinio šiluminio plėtimosi koeficientų α bei šių metalų lydymosi temperatūrų t_l vertės.

2 lentelė. Galimų su stiklo duženomis patekti metalų linijinio šiluminio plėtimosi koeficientų α bei šių metalų lydymosi temperatūrų t_l vertės

Šiluminės savybės	Metalinis intarpas				
	Si	Fe	Cu	Pb	Al
Linijinis šiluminio plėtimosi koeficientas, K^{-1}	$2,53 \cdot 10^{-6}$	$11,5 \cdot 10^{-6}$	$16,8 \cdot 10^{-6}$	$29,4 \cdot 10^{-6}$	$23,9 \cdot 10^{-6}$
Lydymosi temperatūra, $^{\circ}C$	1410	1535	1083	328	660

Rudos taros stiklo linijinio šiluminio plėtimosi koeficientas, nustatytas kvarciniu dilatometru *DKB-4*, atsižvelgus į CaO kiekį stikle, buvo gautas $(8,7-9,5) \cdot 10^{-6} K^{-1}$, stiklas lydomas esant $1575^{\circ}C$ temperatūrai (lydalo aukščiausia temperatūra $1330^{\circ}C$).

Antrojo tipo intarpai yra didesni – 3–5 mm ilgio ir 1,0–1,5 mm storio strypelių pavidalo (2 pav., *a*, *b*). Šių beveik juodų netirpių intarpų įtaka stiklo stiprio sumažėjimui yra dar didesnė.

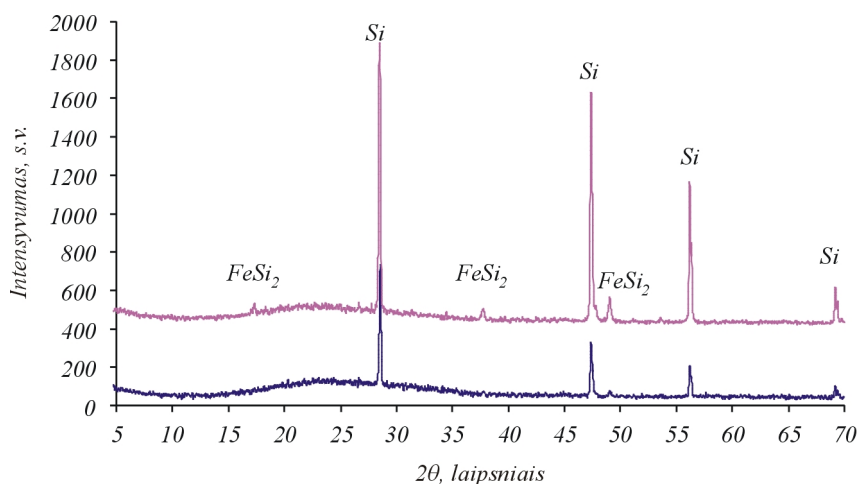


2 pav. Strypelio pavidalo intarpai rudos taros stikle

Tirtų intarpų cheminės ir mineraloginės sudėties identifikavimui jie kuo kruopščiau buvo atskirti nuo pagrindinės stiklo masės, susmulkinti iki miltelių pavidalo ir

difraktometru *DRON-6* buvo atlikta gautų miltelių rentgeno spinduliuotės difrakcinė analizė.

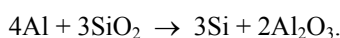
Sferinių intarpų rentgeno spinduliuotės difrakcinės analizės kreivės parodytos 3 paveiksle.



3 pav. Sferinių intarpų rentgeno spinduliuotės difrakcinės analizės kreivės

Rentgeno difrakcinės analizės duomenys rodo, kad sferiniai intarpai daugiausia sudaryti iš elementinio silicio (didelio intensyvumo elementiniam siliciui būdingos smailės d – 0,312; 0,192; 0,163 ir 0,136 nm). Be to, kai kuriuose iš šių intarpų yra ir nedidelis kiekis geležies silicido $FeSi_2$ (mažo intensyvumo smailės d – 0,511; 0,238 ir 0,186 nm).

Elementinis silicis susidaro iš stiklo duženų į lydalą patekusiam aliuminiui redukuojant įkrovos kvarco grūdėlius:



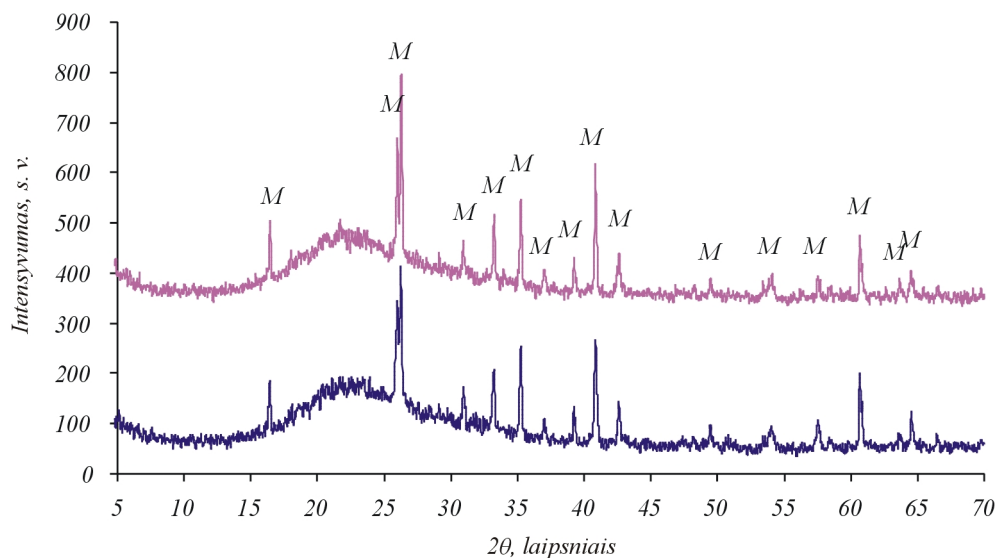
Elementinis silicis pradeda susidaryti esant 800–1000 °C temperatūrai smulkių, rudų, didelio savitojo paviršiaus miltelių formos, o lydalui temperatūrai viršijus 1400 °C silicio milteliai lydosi ir stiklo lydalui vėstant kristalizuojasi įvairių spalvų sferinių intarpų formos. Kadangi elementinio silicio lydalui tankis yra mažesnis už stiklo lydalui tankį, elementinio silicio lašeliai, stiklo lydalui tekant lydrosnėje link darbinės dalies, kyla į

viršutinius lydalui sluoksnius ir gali patekti į formuojamus gaminius.

Tyrimų rezultatai patvirtino autorių [3, 4] nuomonę apie sferinių netirpių intarpų stikle kilmę.

SiO_2 grūdėlių redukcijos metu susidariusio elementinio silicio intarpai stiklo lydale tirpsta sunkiai, plonam silicio dioksido sluoksneliui padengiant silicio grūdėlių paviršių. Elementinis silicis tirpsta, esant mažam tirpimo reakcijos greičiui ir sudėtingam kompleksiniam reakcijos mechanizmui, nes tuo pačiu metu silicis sąveikauja su stiklo lydale esančiais deguonies, hidroksido bei polivalenčiais jonais [9]. Šios sąveikos metu pakinta aplinkinių lydalui sluoksnelių cheminė sudėtis ir jų linijinio šiluminio plėtimosi koeficiento vertės.

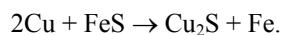
Analizuojant strypelių pavidalo intarpų rentgeno difrakcinės analizės duomenis (4 pav.) identifikuotos smailės (d – 0,539; 0,343; 0,339; 0,289; 0,269; 0,254; 0,243; 0,229; 0,221; 0,212; 0,184; 0,160; 0,153; 0,146 ir 0,144), kurios būdingos kintamos cheminės sudėties aliuminio silikatui – mulitui. Šio intarpų kilmę gali būti siejama su į stiklo duženas patekusiomis keramikos priemaisomis.



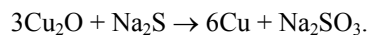
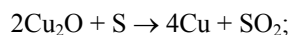
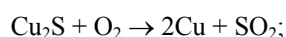
4 pav. Strypelių intarpų rentgeno spinduliuotės difrakcinės analizės kreivės

Apibendrinant tyrimų rezultatus galima teigti, kad ruošiant stiklo duženas įkrovai nepakanka jas smulkiai (iki 5 cm) susmulkinti. Naudojant didelius kiekius (> 70 %) duženų, jose metalo, keramikos ir porceliano priemaišos gali sudaryti tik kelias promiles. Metalo priemaišos į įkrovą tikėtina patenka su smulkiausia (mažesnių kaip 5 mm dydžio) dalelių frakcija, kurią sunku visiškai atskirti iš įkrovos.

Varis lydosi žemoje temperatūroje (1083 °C) ir lengvai pasiskirsto stiklo lydale, tačiau redukuojantis FeS arba SO₃, gali susidaryti vario sulfido intarpai:



Šie intarpai stiklo lydale gali reaguoti su lydalo komponentais, susidarant koloidiniam metaliniam variui:



Analogiškai stiklo lydale gali reaguoti ir žalvario lydinių intarpai. Dėl šių reakcijų vario sulfidas stiklo lydale gali egzistuoti tik trumpą laiką, ir netirpūs vario sulfido intarpai stikle randami retai.

Geležies intarpai mažiau pavojingi taros stiklo savybėms, nes geležies savitasis tankis didesnis už stiklo lydalo, ir geležies intarpai ($t_1 = 1535$ °C) nusėda ant lydrosnės dugno. Oksiduojantis geležiai susidaręs FeO stiklo lydale lengvai ištirpsta ir pasiskirsto jame, tačiau tai gali sukelti spalvotų juostų susidarymą, pakeisti stiklo atspalvį.

Krištolo stiklo atliekose esančiam švino oksidui redukuojantis lydale (žalias ir rudas stiklas lydomas redukcijoje aplinkoje) gali susidaryti elementinis švinas. Jis lengvai lydosi ($t_1 = 328$ °C) stiklo lydale, dalis švino oksiduojasi ir jame ištirpsta, taip didina švino oksido kiekį natrio ir kalcio silikatinio taros stiklo sudėtyje ir keičia šio stiklo fizikines bei mechanines savybes. Dėl didelio savitojo tankio išsilydęs švinas nusėda ant lydrosnės dugno ir nepatenka į stiklo gaminius (nesudaro metalinių intarpų). Tačiau nusėdęs ant lydrosnės ugniai atsparių medžiagų švinas reaguoja su jomis ir labai ardo baseino dugną, atsirandant jame skylėms (lydrosnės dugno „gręžimo“ efektas).

Pavojingiausi stikle yra metališki nemagnetiniai aliuminio ir netirpūs mineraliniai intarpai, kuriuos visiškai atskirti iš susmulkintų duženų yra sudėtinga.

Magnetinėmis savybėmis pasižymintys stambesni intarpai iš duženų atskiriami juostiniais pakabinamais magnetais, o smulkios metalinės dalelės – specialiais neodimio būgniniais magnetais.

Nemagnetiniai metaliniai intarpai, tokie kaip aliuminio, vario bei žalvario, yra atpažįstami daugiakanaliais RF detektoriais (radijo dažnių aptikimo detektoriais). Šiais prietaisais atpažinti duženų metaliniai intarpai yra nupučiami suspausto oro srove nuo duženų transporterio juostos.

Neskaidrūs mineraliniai intarpai (keramikos, akmenukų, porceliano) duženose yra nustatomi naudojant infraraudonųjų lazerių kameras, kurios įgalina atpažinti ir pašalinti iš duženų net labai mažas šių intarpų daleles, tačiau tam, kad būtų užtikrintas didelis šių intarpų pašalinimo laipsnis yra rekomenduojamos dviejų stadijų atskyrimo priemonės.

Sunkiausia yra atskirti skaidrių sitalų (mikrobangų krosnelių durelės, kaitinimo lėkštelės ir pan.) intarpus iš stiklo duženų. Šių intarpų atskyrimui yra sukurti naujo tipo separatoriai, kuriuose įmontuotos specialios rentgeno spinduliuotės kameros. Rentgeno spinduliuote yra labai greitai nustatomos skirtingų tankių medžiagos ir sitalo gabaliukai yra nupučiami nuo duženų transporterio juostos.

Išvados

1. Su stiklo duženomis į stiklo lydala dažniausiai patenka geležies, vario, švino ir aliuminio priemaišų. Iš jų pavojingiausias yra aliuminis, kuris redukuoja SiO₂ iki metalinio Si, o šis stiklo gaminiuose išlieka metalinių sferų pavidalo ir dėl skirtingų šiluminio plėtimosi koeficientų verčių ardo stiklą.
2. Taros stiklo gamyboje naudojant didelį kiekį pirktinių stiklo duženų ir siekiant išvengti gausių stiklo defektų susidarymo, būtina iš susmulkintų duženų pakabinamais juostiniais ir neodimio būgniniais magnetais pašalinti magnetinėmis savybėmis pasižymintį metalinius intarpus, daugiakanaliais detektoriais bei infraraudonųjų lazerių kameromis iš susmulkintų duženų pašalinti nemagnetinius bei mineralinius intarpus. Sunkiausiai nustatomų skaidrių sitalų priemaišų atskyrimui būtina įrengti specialias detekcijos rentgeno spinduliuotės kameras.

- Tik naudojant šiomis priemonėmis aprūpintas modernias stiklo duženų paruošimo linijas galima iki minimumo sumažinti stiklo taros defektų kiekį.
3. Norint sumažinti stiklo defektų kiekį, ant stiklo atliekų surinkimo konteinerių turėtų būti informaciniai užrašai, rekomenduojantys į šiuos konteinerius nemesti stiklo taros su metaliniais kamšteliais ir dangteliais, metalinių skardinių, porceliano, keramikos bei sitalo atliekų. Be to, taip pat reiktų gyventojus informuoti, kad šios nepageidautinos stiklo atliekų priemaišos turi neigiamą įtaką stiklo gaminių, gaunamų naudojant šias stiklo atliekas, kokybei, o šių priemaišų atskyrimui iš duženų yra reikalingi brangūs įrengimai.

Literatūra

1. Справочник по наилучшим доступным техническим методам использования энергоресурсов в стекольной промышленности: Производство сортового и тарного стекла. ООО «Эколайн», 2005. http://www.14000.ru/projects/glass/BAT_in_Energy_use.pdf
2. **Beerkens R. G. C., Santen E. V.** Recycling in Container Glass Production: Present Problems in European Glass Industry, in A Collection of Papers Presented at the 66th

Conference on Glass Problems: Ceramic Engineering and Science Proceedings. 2008. Vol. 27, Issue 1. P. 181–202. (ed W. M. Kriven), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA

3. **Wischnat V., Roger U., Lenhart A.** // *Glastechnische Berichte*. 1993. Vol. 66, N 11. P. 285–289.
4. **Pitzel C., Ehrig R., Stachel D.** // *Glass Science and technology*. 2005. Vol. 78, N 4. P. 159–164.
5. **Kulikauskas L.** *Medžiagotyra. Konstrukcinės medžiagos (vadovėlis aukštųjų mokyklų studentams)*. Vilnius, 1997. 509 p.
6. **Stachel D., Zangenberg F., Muller T. E.** // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2007. Vol. 68. P. 1017–1020.
7. **Mihailova I., Djambazki P., Koleva D.** // *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*. 2009. Vol. 44, N 4. P. 351–358.
8. **Vaickelionis G., Leškevičienė V., Tumas A.** *Stiklo, stiklo žaliavų ir įkrovos cheminė analizė (mokomoji knyga)*. Kaunas, 2002. 108 p.
9. **Reisch R., Stachel D., Traufelder S.** // *Glass Science and Technology*. 1996. Vol. 69, N 11. P. 343–347.

A. Balandis, G. Vaickelionis

ANALYSIS OF GLASS DEFECTS CAUSED BY THE MELTING OF BATCH WITH A HIGH CONTENT OF GLASS CULLET

Summary

The utilization of recycled cullet reduces significantly glass production costs. Every 10 percentage points of recycled glass used in the manufacture of container glass saves about 3.5% of energy and 11% of raw materials. To use cullet in high quantities (more than 70% for container glass), the cullet has to meet some demands, and only some ppm of metals, ceramics, porcelain and pyro-ceramics are permitted. A source of metallic inclusions may be the fine-grade fraction of the cullet with the particle diameter less than 5 mm, which cannot be easily separated from glass waste. Upon increasing the recycled cullet quantity from 20% to 80%, in the glass manufacture stock company “Kauno stiklas” a new type of non-dissoluble glass defects has been detected. It was determined that spherical inclusions are mainly due to elementary silicon and a small quantity of iron silicide. Another biggest and cylindrical solid inclusion is composed by aluminum silicate mullite.

The main methods of separating metallic and mineral inclusions from glass cullet have been examined.