

Tvárnenie skla v jednoduchom tvárniacom nástroji

Ján Moravec, doc. Ing. PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1/8215 010 26 Žilina.

E-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2764, Fax.: + 421 41 525 2541

Glass forming in a simple forming tool

Abstract: The contribution presents the analysis and issues of glass forming in a forming tool with external heating. The necessary theoretical knowledge and properties of glass, which are necessary for solving the design of the forming tool, are listed. Technological methods of glass forming are mainly press-blowing and forming with a double-blowing system. With the help of the described tool, glass can be relatively successfully shaped, which is inserted into the tool in the shape of a plate. The glass plate, which is bent into a cylindrical or hemispherical shape, is placed on the press and heated with a flame until the glass is sufficiently soft to work with.

Keywords: glass, forming tool, heating, construction, technology

ÚVOD

Pod pojmom tvárnenie skla sa rozumie jeho spracovanie v tepelnom intervale, kedy je sklo tvárne, teda má takú viskozitu, že je natoľko tekuté, že sa dá tvarovať do kvapky, a také tuhé, že ho už nemožno tvarovať bez mechanického poškodenia. Tento rozdiel viskozít je *interval spracovateľnosti* [1-4].

Pri tvárnení sa sklu súčasne odoberá teplo, čím jeho viskozita rastie tak, že tvarovaný predmet si ponechá konečný tvar. Pri obalovom skle je daný tento tvar ústnou a konečnou formou.

Najdôležitejšími faktormi pri tvarovaní z fyzikálneho hľadiska sú zmeny viskozity v závislosti od teploty a prestupu tepla v sklovine ako i prestupu tepla z nej do okolia (forma, voľná atmosféra).

Nasledujúci text sa zaoberá tvárnením skla v klasickom celokovovom nástroji pri použití vonkajšieho ohrevu. Tento spôsob tvárnenia skla sa dá použiť najmä v prevádzkach ktoré produkujú malé série sklenených výrobkov.

1 TEORETICKÁ ČASŤ

Sklo je anorganická hmota vyznačujúca sa svojimi osobitnými vlastnosťami, ktorá sa pri normálnej teplote javí ako tuhá látka. Je amorfná, tzn., že nemá kryštalickú štruktúru ako väčšina tuhých látok a k prechádzajúcemu svetlu sa správa vo všetkých smeroch rovnako (na rozdiel od kryštalických látok). Vo všeobecnosti sa sklo pokladá za podchladenú

kvapalinu. Základný skelet skla tvorí sieť atómov kremíka (*Si*) pospájaná kyslíkom (*O*).

Vo vnútri nepravidelných agregátov SiO_2 – oxidu kremičitého môžu byť atómy sodíka (*Na*), draslíka (*K*), vápnika (*Ca*), horčíka (*Mg*), atď. [4-6].

Sklo sa používa vo viacerých odvetviach priemyslu, napr. :

- v chemickom priemysle na chemické aparatúry, laboratórne pomôcky a pod.,
- v optickom priemysle na prizmy, šošovky a pod.,
- v elektrotechnickom a elektronickom priemysle na izolanty, lampy, elektrónky a špeciálne prvky,
- pri stavbe strojov a budov ako nosné prvky.

Laboratórne sklo, ako aj sklo na chemické armatúry má mať veľkú odolnosť proti chemikáliám a má byť tepelne odolné proti rýchlym zmenám teploty. Všeobecne sa rozdeľuje sklo do troch skupín v závislosti od koeficienta lineárnej rozťažnosti α :

- $\alpha = 70 \div 90 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ sklo odolné proti chemickým látkam,
- $\alpha < 50 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ sklo odolné proti zmenám teplot,
- $\alpha < 35 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ špeciálne sklá.

1.1 Vlastnosti skla

Podľa účelu použitia výrobkov zo skla je nutné zvoliť vhodné chemické zloženie skla, aby sa zvýraznili požadované tepelné, chemické a mechanické vlastnosti vyrábaného skla.

Vlastnosti skla sa delia na:

1. *Tepelné.*

2. *Mechanické.*
3. *Chemické.*
4. *Elektrické.*
5. *Optické.*

1.1.1 Tepelné vlastnosti

Najdôležitejšie tepelné vlastnosti sú:

- *viskozita,*
- *teplotná odolnosť.*

1.1.2 Viskozita

Rozlišuje sa dynamická a kinetická viskozita. Pre výrobu je dôležitejšia dynamická viskozita, ktorá je základnou vlastnosťou skiel a prejavuje sa pri všetkých štádiách výroby skla, t. j. pri tavení, čírení, spracovaní - tvarovaní a chladení.

Všeobecne je viskozita vnútorný odpor tekutín, ktorý bráni jednotlivým vrstvám v pohybe. :

Rozmerovou jednotkou pre η je dPa·s (dekapascalsekunda).

Viskozita skla sa v závislosti od teploty zobrazí viskóznou krivkou, ktorá je charakteristická pre každé sklo. Sklo je v určitom teplotnom intervale tvárne. Ak sa mu odoberá teplo, sklo tuhne, stúpa odpor voči pohybu vrstiev, jeho viskozita stúpa - zvyšuje sa, až tvarovaný predmet si uchová svoj konečný tvar. Závislosť viskozity na teplote je nepriamoúmerná, t. j. čím je vyššia teplota, tým nižšia je viskozita a opačne.

Rozdiel, resp. zmena viskozity, keď je sklo tak tekuté, že ho možno tvarovať do kvapky a keď sklo je už také tuhé, že ho nemožno tvarovať bez mechanického poškodenia sa nazýva „*interval spracovateľnosti.*“

Interval spracovateľnosti je veľmi dôležitým parametrom každého skla.

1.1.3 Teplotná odolnosť

Teplotná odolnosť sa udáva rozdielom teplôt - maximálnej, na ktorú sa výrobok vyhreje a minimálnej, na ktorú sa výrobok schladí (prudko). Označuje sa Δt (°C).

Na teplotnú odolnosť vplýva viacero činiteľov. Závisí jednak od vlastností skla ako materiálu, ale tiež od vlastného výrobku (tvar, hrúbka steny, stav povrchu, veľkosť výrobku). Tiež od výrobných podmienok (vychladenie homogenita, kvalita povrchu). Chemické zloženie, resp. jeho zmena nemá podstatný vplyv na teplotnú odolnosť.

1.1.4 Mechanické vlastnosti skla

Medzi mechanické vlastnosti skla patria:

- a) mechanická pevnosť v ťahu a tlaku,
- b) mechanická pevnosť v ohybe - pružnosť,
- c) tvrdosť,

- d) krehkosť,
- e) odolnosť voči vnútornému pretlaku,
- f) odolnosť voči nárazu.

1.1.5 Chemické vlastnosti

Pre obalové sklo je dôležitá odolnosť voči vode. Vo všeobecnosti sklá sa zatriedujú do päť hydrolytických tried. Obalové sklo musí vyhovovať podmienkam tretej hydrolytickej triedy. Pôsobením vody, atmosférickej vlhkosti, kyselín a zásad dochádza k rozrušovaniu povrchových vrstiev skla a tým k zhoršovaniu pevnosti, resp. za určitých okolností až k znehodnoteniu obsahu. Pre dosiahnutie požadovanej 3. hydrolytickej triedy je nutné dodržiavať určité chemické zloženie skla a hlavne udržiavať minimálne 1,4 % Al_2O_3 v skle.

1.1.6 Elektrické vlastnosti skla

Sklo je v tuhom stave nevodič a správa sa ako izolant. V roztavenom stave vedie elektrický prúd a má vlastnosti elektrického vodiča. Toto sa využíva pri celoelektrickom tavení alebo na tzv. elektrické príhrevy, ktorými sa zvyšuje výkon taviacich agregátov a zabezpečuje sa homogenizácia skloviny [3].

1.1.7 Optické vlastnosti skla

V podmienkach výroby skla ide o farebnosť jednotlivých druhov skiel. Farebnosť odtieňov skla sa porovnáva voči referenčným vzorkám alebo sa vyhodnocuje na spektrofotometri.

2 TVÁRNENIE SKLA

2.1 Prestup tepla pri tvarovaní

Odoberaním tepla sklu pri jeho súčasnom tvarovaní sa zvyšuje jeho viskozita natoľko, že si predmet zachová svoj konečný tvar. Na rýchlosť chladnutia, teda i tvarovania, má preto značný vplyv práve prestup tepla zo skla do tvarovacích foriem. Prestup tepla je vedením a sálaním. Na prestup tepla má veľký vplyv tepelná vodivosť daného skla a táto je určovaná jeho chemickým zložením. Podiel zložky SiO_2 (piesok) zvyšuje tepelnú vodivosť, podiel zložiek Na_2O , K_2O (alkálie) túto znižuje.

2.2 Tvarovanie skla lisofúkaním

Podstatou tohoto systému tvarovania spočíva v tom, že tvarovanie ústia sa robí v prvej operácii lisovaním pri súčasnom vylisovaní tzv. banky predného tvaru. Prenesením tohoto predného tvaru s už hotovým vylisovaným ústím sa v druhej operácii tlakom vzduchu vyfukuje konečný tvar. Banka predného tvaru pri vyfukovaní v konečnej forme je zavesená pritom za už hotové ústie. Ďalšou operáciou je odnímanie výrobku z konečnej formy na odkládku,

kde dochádza k ochladeniu tak, aby sa tento pri doprave do chladiacej pece už nedeformoval. Takto je možné tvarovať obalové sklo buď v jedno alebo dvojkvapke, v zahraničí pracujú už stroje v trojkvapke. Lisofúkacím systémom sa zväčša vyrába širokohrdlové sklo, no vyrábajú sa i fľaše. Oproti dvakrát fúkaciemu systému je pri fľašiach vyrábaných lisofúkacím spôsobom dosiahnuté lepšie rozdelenie skloviny.

Tvarovanie lisofúkacím spôsobom je náročnejšie ako dvakrát fúkacím a preto musia byť dodržiavané najmä tieto zásady:

- optimálny tvar kvapky,
- správna konštrukcia foriem,
- bezchybná doprava kvapiek po sklzoch,
- stabilita teploty kvapky,
- optimálne mazanie foriem,
- vhodné chladenie foriem, najmä ústnej formy a tvárnika.

2.2 Tvarovanie dvakrát fúkacím systémom

Pri tomto systéme tvarovania na rozdiel od lisofúkacieho, sa ústne v prvej operácii tvaruje pôsobením tlaku vzduchu priamo. Kvapka dopadá do prednej formy na ústnik, pričom vzápätí na to pôsobí záfukom a tlakom na sklovinu vytvára ústie. Takto je možné tvarovať iba tzv. úzkohrdlové sklo (fľaše). Ďalší proces tvarovania je zhodný s lisofúkacím.

2.3 Povrchové javy pri tvarovaní

Pri tvarovaní sa vytvára povrch skla, ktorý je najdôležitejšou časťou výrobku. Pri technológii pracujúcich bez tvarovacieho nástroja sú problémy s kvalitou povrchu podstatne menšie a majú špecifický charakter, ako pri technológii používanej tvarovacím nástrojom.

Mikro-geometria povrchu skla, alebo primárna geometria povrchu skla je jemná štruktúra povrchu, ktorá vznikla priamym otlakom povrchu tvarovacieho nástroja. Dá sa pozorovať lupou alebo mikroskopom, možno ju merať ako drsnosť povrchu a hodnotiť ako strednú drsnosť R_a , možno snímať profilogramom povrchu.

Pri kontakte skla a formy dochádza k otlaku drsnosti formy do povrchu skla, v ideálnom prípade je drsnosť skla rovnaká, ako drsnosť formy. V praxi je ale menší, lebo nemusí dôjsť k dokonalému kontaktu (vplyv viskozity, pracovného tlaku a prípadného vyhladenia formy vrstvou mazadiel) a po skončení kontaktu skla a kovu môže dôjsť k termickej nivelizácii povrchu skla. Rozdiel nie je podstatný, pri väčšine výrobkov tvarovaných v dotyku s kovom zostáva na povrchu veľmi jemný otlak nástroja, ktorý dovolí napr. spôsob čistenia formy a v mnohých prípadoch a ich materiál

(oceľ alebo liatina). Pri lisovaných, nepálených výrobkoch je drsnosť skla asi 70 % ÷ 100 % drsnosti formy, pri fľašiach a liateho skla asi 10 % ÷ 30 %.

Dôležitou hodnotou je požiadavka na povrchovú drsnosť výrobku. Pri úžitkovom skle (lisované sklo a podobne), ktoré môže bez ďalšieho mechanického alebo chemického opracovania napodobniť brúsené sklo sa vyžaduje lepšia drsnosť ako $R_a = 0,1 \mu\text{m}$. To znamená, že i tvarovacie nástroje musia byť leštené na drsnosť neprekračujúcu $R_a = 0,1 \mu\text{m}$. Bežné lisovacie výrobky majú povrchovú drsnosť okolo 0,2 μm , hodnotu $R_a = 0,5 \mu\text{m}$ a sú teda nevyhovujúce.

2.3.1 Druhy skla a prísady

Portachróm sa používa do zeleného skla. Služi ako surovina na vnášanie farbiacej zložky do skla, oxidu chromitého (Cr_2O_3).

Sklo pre elektrotechnický a elektronický priemysel sa vyhodnocuje podľa koeficienta lineárnej rozťažnosti, izolačných vlastností a konštanty dielektrickosti.

Kremičité sklá sú vyhotovované z čistého SiO_2 a majú veľmi malý koeficient lineárnej rozťažnosti $\alpha = 5 \cdot 10^{-7} \cdot \text{K}^{-1}$, dobrú prenikavosť svetelných lúčov a sú vysoko odolné proti lúhom a kyselinám. Používajú sa na optické prístroje a v laboratóriách.

Optické sklo sa vyznačuje optickou homogénnosťou a má rovnaký súčiniteľ lámovosti svetla. Mechanické vlastnosti spomínaných hmôt sú relatívne nízke.

Napríklad hranica pevnosti: $R_m = 30 \text{ MPa} \div 60 \text{ MPa}$.

Špeciálne druhy skla tvoria - kryštalické sklá, sitaly. Sitaly sú kremičité sklá s drobnou kryštalickou štruktúrou, ktorá od základu mení ich vlastnosti. Majú zvýšenú pevnosť, nie sú krehké ako sklo ani za tepla a sú schopné vydržať nárazové zaťaženie.

Na rozdiel od skla, ktoré so vzrastajúcou teplotou mäkne, sitaly si zachovávajú tvrdosť a pevnosť do teploty približne 600 °C. Podobne ako kovy majú zreteľný bod tavenia, kolísajúci podľa druhu sitalov v rozmedzí od 1200 °C do 144 °C.

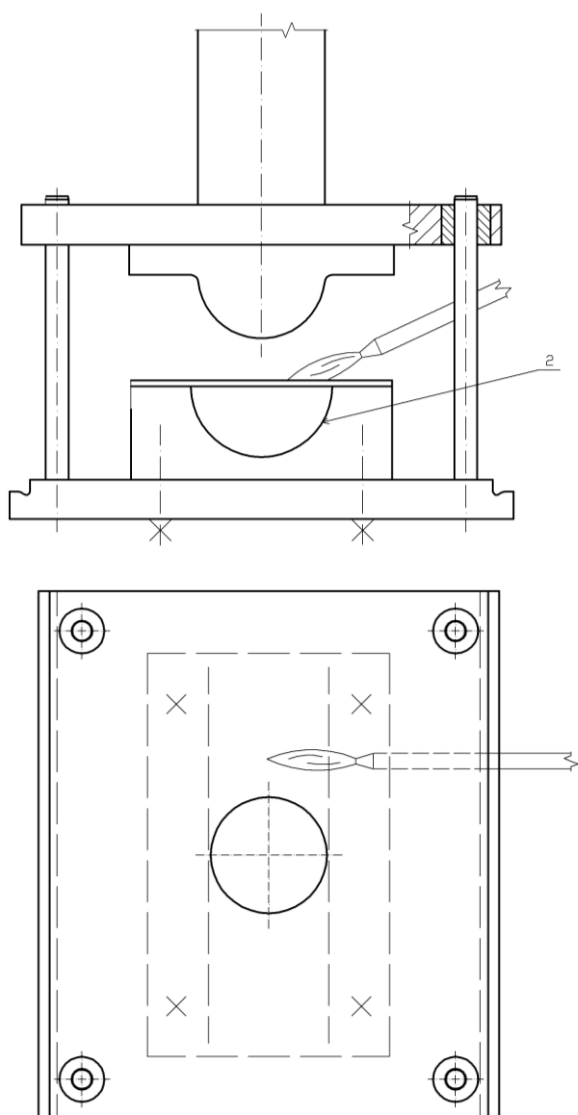
Hranica pevnosti v ťahu je $R_m = 400 \text{ až } 800 \text{ MPa}$, čo približne zodpovedá pevnosti uhlíkových ocelí a vysokopevných liatin. V laboratórnych podmienkach boli vyhotovené sitaly s pevnosťou v ťahu 1 GPa a 1,5 GPa.

Spájanie skla s kovovým materiálom prináša niektoré problémy - najmä v elektrotechnike. Pri spojení skla s kovom je žiaduce, aby sa koeficient lineárnej rozťažnosti kovu α_k veľmi nelíšil od skla α_s , pričom sa vyžaduje, aby v mieste spoja nevznikli v skle veľké napätia. Pevnosť skla v tlaku je podstatne vyššia ako v ťahu, musia sa dodržať tieto nerovnosti:

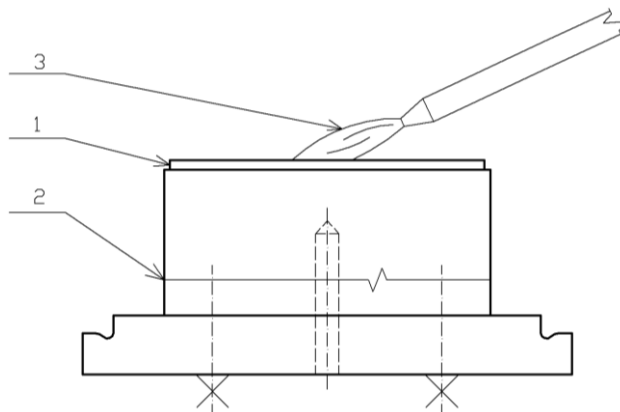
- a) keď sklo obopína kov, platí $\alpha_s > \alpha_k$,
- b) keď kov obopína sklo, platí $\alpha_s < \alpha_k$,
- c) keď sa sklo spája s kovom natupo $\alpha_s < \alpha_k$.

3 TVÁRNIENIE SKLA V NÁSTROJI

Pomocou nástroja na obr. 1 sa dá vhodne tvárniť sklo, ktoré sa vkladá do nástroja v tvare platničky. *Sklená doska* 1 ktorá sa ohýba do valcového alebo polguľového tvaru (za istých podmienok sa dá v nástroji urobiť aj hlboké ťahanie nádoby zo skla), sa položí na *lisovnicu* 2 a zahrieva plameňom zo zdroja 3 do stavu, kedy je sklo primerane mäkké na prácu [2, 3]. Po tvárnení skla do požadovaného tvaru za niekoľko sekúnd po jeho stvrdnutí sa *výtvarok* opatrne vyberie (*prísavkou*) a pomaly sa chladí voľne na vzduchu. Tento spôsob možno hodnotiť ako návrat k tzv. zabudnutým technológiám, ktoré niekedy môžu pomôcť preklenúť obdobie výpadku primárnej technológie a dokážu určitý čas pracovať ako náhradná technológia. Ekonomický rozbor a porovnanie jednoznačne ukáže vhodnosť použitia tohto krátkodobého spôsobu tvárnenie skla, najmä pri malosériových objednávkach [3].



Obr. 1. Tvárniaci nástroj na tvárnenie skla s pomocou vonkajšieho ohrevu



Obr. 2. Tvárnenie skla v nástroji: 1 – sklo, 2 – lisovnica, 3 –vonkajší ohrev horákom

ZÁVER

V príspevku bolo poukázané na problematiku tvárnenia skla v malej firme produkujúcej nízke série sklenených výrobkov. Prínosom riešenia je jeho nenáročnosť a operatívnosť možnosti jeho aplikácie ako náhradnej technológie.

LITERATÚRA

- [1] MORAVEC, J. - BILÍK, J. (2016): *Tvárniace stroje a nástroje*. EDIS vydavateľstvo ŽU v Žiline, ISBN 978-80-8070-812-2.
- [2] MORAVEC, J. (2006): *Prúdenie a hydrodynamika toku skloviny*. In: *Hydraulika a pneumatika*, roč. VIII., číslo 3-4/,str.27-29, ISSN 1335-5171.
- [3] Kolektiv: *250 technologických novinek*, svazek 12. Práce, Praha.
- [4] SMETANA, J. (1977): *Hydraulika 1*. Nakladatelství ČSAV Praha.
- [5] SKARBINSI, M. - SKARBINSKI, J. (1982): *Technologickosť konštrukcie strojov*. Alfa Bratislava.
- [6] MAŠTOVSKÝ, O. (1974): *Hydromechanika*. SNTL, SVTU Bratislava.