

Vplyv teplotného zaťaženia na konštrukčný prvok v sklárskom priemysle

Influence of the Thermal Loading on Structural Member in the Glass Industry

Ing. Mariana Janeková; Ing. Daniela Košťaliková; Ing. Andrej Dubec, PhD.; prof. Ing. Františka Pešlová, PhD.;
Ing. Matej Burget

Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, Fakulta priemyselných technológií v Púchove, I. Krasku
491/30, 020 01 Púchov, Slovenská republika

Článok sa zaoberá voľbou vhodného materiálu na stavbu strojov a zariadení v sklárskom priemysle. Téma súvisí s požadovanými vlastnosťami materiálu, ktoré určujú jeho životnosť v priebehu plnenia predurčených funkcií. Zvyšujúce sa nároky na materiál, z ktorého sa vyrábajú konštrukčné prvky pre sklárne vychádzajú z konkrétnych požiadaviek na ich exploatáciu v prevádzke. Tieto materiály sú namáhané okrem mechanického zaťaženia aj teplotným a koróznym pôsobením. Preto je potrebné zvoliť taký materiál, ktorý bude odolný voči kombinovanému zaťaženiu v agresívnom prostredí a zároveň bude ekonomicky výhodný. Kvalita sklárskeho výrobku je závislá na zodpovednom prístupe k výrobe a spracovaniu horúcej skloviny v interakcii s kovovým povrchom sklárskej formy. Tieto formy sa môžu stať veľmi citlivými na náhle zmeny okolia počas teplotného namáhania (rýchly ohrev a následné rýchle ochladenie v koróznom prostredí). Funkčné povrchy, vystavené teplotným šokom môžu mať odzvu v mikroštruktúre daného materiálu a môžu spôsobiť zmeny mechanických i fyzikálnych vlastností. Aby sa predišlo degradácii materiálu v prevádzke, sú odporúčané špecifické skúšky, ktoré môžu upozorniť na nevhodne zvolený materiál.

KLúčové slová: konštrukčný prvok; grafitická liatina; funkčný povrch; termálne šoky

The paper is closely connected with the selection of suitable construction material for devices in the glass industry, while the required material properties, which influence the service life and functionality of the exploited part are taken into account. Nowadays, there are increasing requirements to provide the accuracy, reliability and effectiveness of the individual parts, which are used in the glass industry and therefore the investigation is mainly connected with the materials that are applied for their production, because the mentioned materials are commonly exposed to mechanical, thermal and corrosion effects during their operation. On the basis of the fact mentioned above, it is important to pay attention to the selection of the suitable material with high resistance to the combined loading in the aggressive environment, while the given material and its utilization in service must also be suitable and efficient from the economic perspective. The quality of the final glass product is mainly based on a responsible approach to individual production procedures, including processing of molten glass, which is in interaction with the metallic mould surface. This paper is focused on observation of microstructural changes under the material surface, when the material was exposed to higher thermal loading. The given thermal loading was based on utilization of hot molten glass drops, which were applied on the surface of the predetermined material, which could be used for manufacturing of punches in the glass industry. Metal surfaces can be very sensitive when there are sudden changes in thermal loading (fast heating before fast cooling) in a corrosive environment. There can be the occurrence of microstructural change when the operating surfaces are exposed to so-called thermal shocks, because the given shocks lead to the changes in mechanical and physical properties. The investigated material is recommended to be exposed to specific tests in order to eliminate the degradation of material or to determine the material efficiency.

Key words: construction part; grey cast iron; functional surface; thermal shocks

Množstvo tepla odovzdané pri tvarovaní skloviny do formy je úmerné stykovej ploche, rozdielu teplôt skla vs. formy a odmocnine času pri styku. Z toho dôvodu môžeme množstvo odovzdaného tepla zvýšiť zväčšením stykovej plochy alebo teplotného gradientu medzi sklom a formou. V prípade styku skla s kovom rýchlosť pre-stupu tepla zo skloviny do formy s časom rastie [1 – 6].

Kovové povrchy v interakcii so sklovinou sa stávajú veľmi citlivými na zmenu fyzikálnych vlastností v prípade náhlých zmien teploty počas tepelného namáhania (rýchly ohrev a následné rýchle ochladenie).

Je možno predpokladať, v podstate takýmto spôsobom sú povrchy vystavené teplotným šokom [3, 4]. Podľa typu kovového materiálu bude následne dochádzať aj ku štruktúrnym zmenám povrchov materiálov [7]. Tieto zmeny sa zobrazia v kvalite sklárskych výrobkov. Na základe týchto poznatkov bude potrebné navrhovaný materiál vystaviť pred prevádzkovaním skúškam teplotnými šokmi.

Priebeh tvarovania skloviny ovplyvňuje nie len tvar povrchu, ale hlavne teplota na funkčnom povrchu formy [11]. Teploty v ostatných miestach formy pokiaľ nespô-

sobujú deformačne-napät'ové stavy, majú len sekundárny význam. Z toho dôvodu sa venuje pozornosť teplotným spádom na povrchu foriem, meraním teploty termočlánkami zabudovanými do formy a pripojenými na citlivý a rýchlo reagujúci merací prístroj. Toto meranie je možné uskutočniť aj v prevádzke, kedy sa používajú bezdotykové termočlánky na meranie teploty vonkajšieho povrchu formy. Z nameraných hodnôt sa usudzuje zmena teploty vnútorného povrchu. Pri lisovacích formách sa meria teplota povrchu formy až po vybratí výlisku [1 – 4].

V priebehu prevádzky sú sklárske súčasti vystavené negatívnym vplyvom v procese lisovania a fúkania skloviny pri výrobe sklárskych výrobkov, čo sa prejavuje nežiadúcimi účinkami [9]. Na základe týchto negatívnych vplyvov sa znižuje životnosť a tým vznikajú sklárske nepodarky [10]. Predložená práca sa venuje eliminácii nepodarkovosti sklárskych výrobkov z pohľadu materiálov, ktoré sú v interakcii s horúcou sklovinou.

Experiment

Na výrobu uvedených súčastí pre sklárske stroje sa využívajú Cr-Ni antikoročné ocele a liatiny, ktoré využívajú celý rad pozitívnych vlastností. Prax preukázala, že v dlhšom pracovnom intervale dochádza u týchto súčastí k medzným stavom, ktoré vyúsťujú do nežiaducich degradácií. Antikoročná ocel je náchylná na porušenie, zvlášť v prípade nedodržania pracovných podmienok a technologického postupu, za ktorých si tieto ocele majú zachovať svoje vynikajúce vlastnosti [4]. Pri dotyku skloviny s kovovým povrchom bude hrať veľmi dôležitú úlohu nie len teplotný gradient skloviny vs. kov, ale aj chemické zloženie skloviny. Toto bude ovplyvnené adhéziou a kvalitou povrchu [5].

Konštrukčný prvok

Medzi dôležité konštrukčné prvky v sklárskom priemysle patrí razník (obr. 1) ako súčasť tvarovacieho a lisovacieho stroja. Pri tvarovaní a lisovaní tvorí s predformou nerozlúnnú dvojicu. Úlohou razníka spolu s predformou je spracovať sklovinu do požadovaného tvaru pomocou tepla a tlaku. Sklovina v tvare kvapky pri teplote cca 1 000 °C je rozlisovaná razníkom pri tlake cca 25 MPa v celej pracovnej ploche taniera tak, že časť skloviny je dohrievaná v spodnej súčasti plameňom. Táto sklovina je prelisovaná cez vnútorný priemer taniera do spodnej formy na vytváranie stopky pohára [12].

Razníky, ktoré sú vyrobené z liatiny s lupienkovým grafitom (sivá liatina) 42 2420, počas procesu fúkania a lisovania skloviny sú vystavené pôsobeniu aj iným faktorom, ktoré superponujú nežiaduce vplyvy na materiál [8]. Normou stanovené vlastnosti predmetnej liatiny sú uvedené v tab. 1.



Obr. 1 Funkčný povrch sklárskej súčasti a jeho vnútorná časť

Fig. 1 Functional surface of part for glass products and its internal area

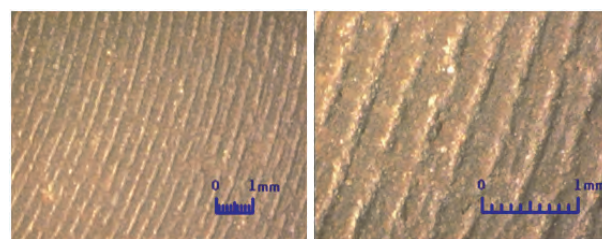
Tab. 1 Materiálové vlastnosti liatiny 42 2420 [3]

Tab. 1 Material properties of grey cast iron

Tvrdosť	220 HB
Najmenšia ťažnosť	A 12%
Medza pevnosti	380 MPa
Medza sklzu	200 MPa
Trieda odpadu	212

Funkčný povrch razníka môže byť ešte pred prevádzkovaním napadnutý koróziou, ktorú je potrebné pred prevádzkovaním odstrániť. Charakter korózie je podmienený vplyvom vzdušnej vlhkosti a taktiež z prachových častíc z technológie obrábania [5].

Z makroskopického pohľadu na dodaných častiach sklárskych foriem bolo nutné sa zamerať na charakter povrchu, jeho porušenie a lokalizáciu degradácie. Z odobraného materiálu boli metalograficky pripravené vzorky pre štúdium mikroštruktúry. Plánovanie experimentu pre vybraný typ liatiny, si vyžiadalo komplexný prístup k makroskopickému, ako aj mikroskopickému hodnoteniu funkčných oblastí, kde bolo pozorované ovplyvnenie prevádzkovými podmienkami [7].

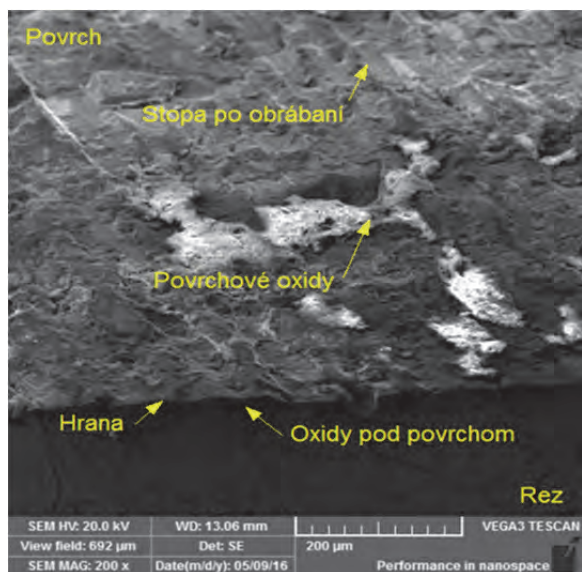


Obr.2 Funkčný povrch razníka

Fig. 2 Functional surface of the punch

Na funkčnej ploche razníkov boli pozorované stopy po obrábaní (obr. 2). Predpoklada sa, že nerovnosti povrchu razníka budú mať veľký vplyv na vznik oxidických fáz.

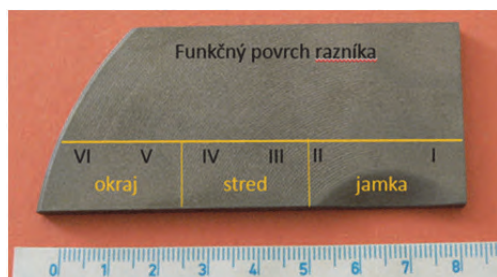
Oxidy na povrchu razníka sa vyskytujú vo väčších aglomerátoch, čím tvoria nerovnomernú oxidickú vrstvu (obr. 3).



Obr. 3 Oxidická vrstva na funkčnom povrchu
Fig. 3 Oxidic layer on the functional surface

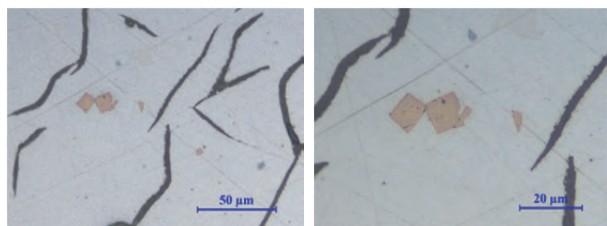
Mikroskopické hodnotenie

Pred skúmaním a hodnotením mikroštruktúr liatiny s lupienkovým grafitom bola vždy kontrolovaná mikročistota základného materiálu, kde bol kladený dôraz na výskyt nekovových inklúzií, kovovú matricu, rozloženie, veľkosť a tvar grafitu, prípadne iné zmeny v štruktúre tohto materiálu. Razník bol rozrezaný na 3 diely (obr. 4), kde boli uskutočnené podrobné mikroskopické hodnotenia.



Obr. 4 Odrezaná časť razníka z prevádzky
Fig. 4 Punch sample – cut-off part from the punch used in operation

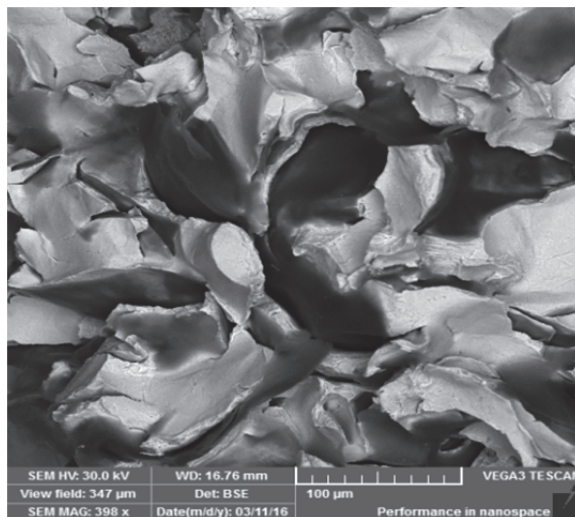
V základnom materiáli s lupienkovým grafitom bol pozorovaný výskyt oxidov, netvárniteľné silikáty a ostrohranné komplexy na báze karbonitridov (ružové útvary), ktoré zodpovedajú stupňu č. 1 podľa uvedenej normy [7]. Pri vyššom stupni tieto inklúzie sú nežiadúce, nakoľko bývajú iniciátormi porušenia už pri malom mechanickom alebo teplotnom zaťažení (obr. 5).



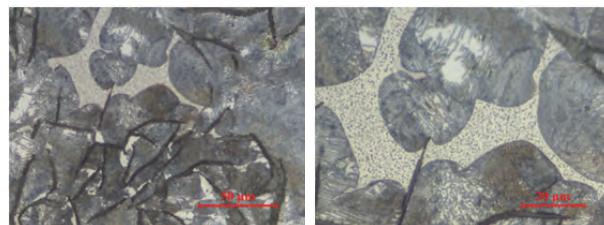
Obr. 5 Mikročistota liatiny s lupienkovým grafitom
Fig. 5 Micropurity of grey cast iron

V oblasti označenej I až VI sa pri hodnotení grafitu zistilo, že ide o liatinu s lupienkovým grafitom s označením – (I) so zmiešaným rozložením – (C) podľa normy.

Vzhľadom k tomu, že sa jednalo o mikroštruktúrne hodnotenie grafitickej liatiny, ktorá je typická svojou heterogénnou štruktúrou, bola zaujímavá aj citlivosť jednotlivých fáz na oxidáciu [8]. Mikroskopickou analýzou sa zistilo, že v oblasti štruktúry označenej I až VI (obr. 6) sa vyskytovala grafitická liatina s lupienkovým grafitom, ktorého rozloženie je zmiešané, a veľký podiel steaditu a fosfidového eutektika (obr. 7).



Obr. 6 Zobrazenie sivej liatiny pomocou SEM metódou BSE
Fig. 6 Image of grey cast iron by the SEM, using BSE method

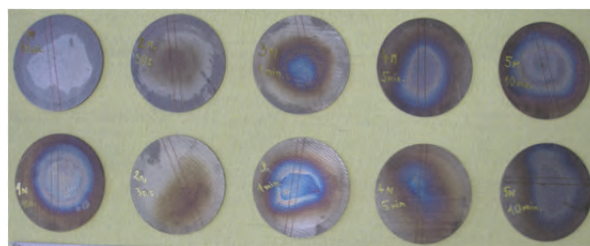


Obr. 7 Mikroštruktúra sivej liatiny
Fig. 7 Microstructure of the grey cast iron

Špecifické skúšky na adhéziu skloviny

Pre sledovanie interakcie kov vs. sklovina boli navrhnuté špecifické skúšky. Bolo simulované pôsobenie kvapky horúcej skloviny na povrch sivej liatiny, z ktorej sú vyhotovené sklárske razníky.

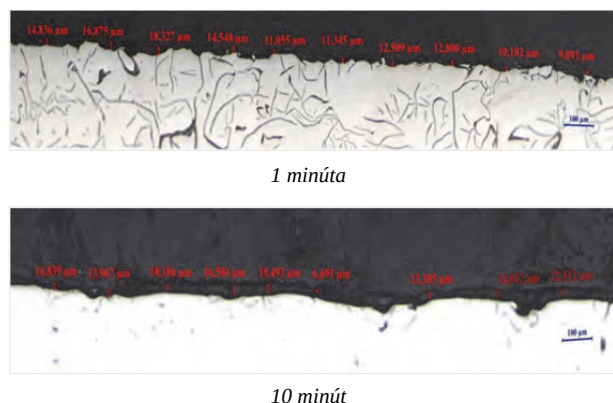
Na 10 vzorkách liatiny s lupienkovým grafitom bola v rôznom čase nanesená horúca sklovina (obr. 8).



Obr. 8 Povrch vzoriek po odlúpnutí skloviny na sivej liatine
Fig. 8 Samples of grey cast iron surfaces after peeling of the molten glass

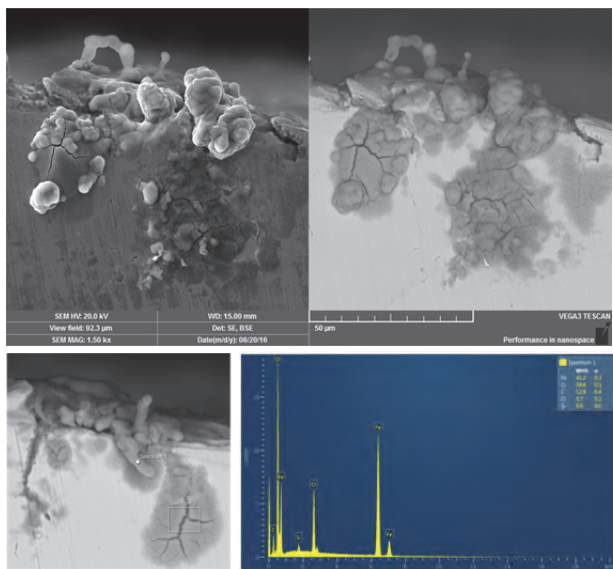
Horúca kvapka skloviny pôsobila určitý čas na povrch liatiny (od 1 po 10 minút), kde po jej odlúpnutí bola podrobne mikroskopicky hodnotená zmena mikroštruktúry. Tepelná stopa po horúcej sklovine sa na jednotlivých vzorkách prejavila okamžite. Dá sa predpokladať, že pôsobením horúcej skloviny dochádza k interakcii aktívnych prvkov, a to ako v sklovine, tak aj v kove.

Hodnotenie povrchových a podvrchových oblastí v časových intervaloch ukázalo, že sa jedná o vznik oxidických vrstiev, ktoré boli typické svojou hrúbkou. Oxidy tvorili nesúvislú a nerovnomernú vrstvu. Hrúbky týchto oxidických vrstiev pre minimálnu a maximálnu časovú záťaž horúcou sklovinou sú dokumentované na obr. 9.



Obr. 9 Pôsobenie horúcej skloviny na funkčný povrch
Fig. 9 Effect of molten glass on the functional surface

Poznatky z popísané interakcie aktívnych prvkov na rozhraní skloviny a kovu ukazujú, že je dôležité či sa jedná a liatinu feritickú alebo feriticko-perlitickú. Mechanická zmes feritu a cementitu sa prejavila ako veľmi citlivá na teplotné zmeny, čo preukázali aj detailné zábery v danej fáze.



Obr. 10 Identifikácia oxidov na povrchu konštrukčného prvku
Fig. 10 Identification of oxides on the surface of the structural member

Na záver hodnotenia bola zvolená rastrovacia elektrónová mikroskopia pre identifikáciu morfológie a skladby oxidov. Oxidy boli špecifické svojou stavbou, a preto boli ďalej chemicky analyzované (obr. 10).

Záver

Experimentom bolo preukázané, že prevádzkové podmienky môžu byť príčinou vzniku takej degradácie, ktorá sa stáva neprípustnou pre ďalšie používanie funkčnej súčasti. Vzhľadom k tomu, že v uvedenom prípade sa jedná o agresívne okolie pri interakcii na rozhraní kovu a skloviny, je predpoklad, že sa bude prostredie spoluzúčastňovať na vzniku korózných spodín formou kombinovaného korózneho napadnutia. V ďalšom výskume bude tejto problematike venovaná bližšia pozornosť.

Pod'akovanie

Autori ďakujú Slovenskej grantovej agentúre za finančnú podporu projektov KEGA 006TnUAD-4/2014, VEGA 1/0385/14 a projektu „Centrum pre testovanie kvality a diagnostiku materiálov“, ITMS kód 26210120046 Operačného programu Výskum a vývoj financovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- [1] ROUČKA, J. *Metalurgie litin*. 1. vyd. Brno: PC-DIR REAL, 1998. ISBN 80-214-1263-1.
- [2] SKOČOVSKÝ, P., MATEJKA, M. *Mikroštruktúra liatin – metalografická príručka*. Trenčín: ES VŠDS Žilina, Fomplex, 1994.
- [3] VAŠKO, A., SKOČOVSKÝ, P. *Kvantitatívne hodnotenie štruktúry liatin*. Žilina: EDIS ŽU, 2007. ISBN 978-80-8070-748-4.
- [4] SPIŠÁK, E. a kol. *Strojárske technológie*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2011, 388 s. ISBN 978-80-553-0820-3.
- [5] VOJTĚCH, D. *Materiály a jejich mezní stavy*. Praha: VŠCHT v Prahe, 2010. 212 s. ISBN 978-80-7080-741-5.
- [6] ŠENBERGER, J. a kol. *Metalurgie ocelí na odlitky*. Brno: nakladatelství VUTIUM, 2008, 311s. ISBN 978-80-214-3632-9.
- [7] HRIVŇÁKOVÁ, D., HRIVŇÁK, I. *Materiálografia*. Bratislava: STÚ v Bratislave, 2011, 363 s. ISBN 978-80-227-3606-0.
- [8] SKOČOVSKÝ, P., PODRÁBSKÝ, T. *Grafické liatiny*. Žilina: EDIS, 2005. ISBN 80-8070-390-6.
- [9] PAVÚČKOVÁ, A. *Vplyv teplotného zaťaženia materiálov pre sklársku formu*. Dizertačná práca. Púchov: FPT TnUAD, 2014.
- [10] *Sklo*. [online]. [s.a.]. [cit. 2016-01-28]. Dostupné na: <<http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/sklo.html>>.
- [11] ŠAŠEK, L. *Specialni technologie skla I*. Praha: VŠCHT, 1985. 145 s. ISBN 80-7080-127-1.
- [12] *Postup výroby skla*. [s.a.]. [cit. 2016-01-28]. Dostupné na: <www.sklarska.univerzit.sk/6-postup-vyroby-skla>.