

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
KATEDRA SKLÁŘSKÝCH STROJŮ A ROBOTIKY
*TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
DEPARTMENT OF GLASS PRODUCING MACHINES AND ROBOTICS*

ČESKÁ SKLÁŘSKÁ SPOLEČNOST
CZECH GLASS SOCIETY

SBORNÍK ABSTRAKTŮ
CONFERENCE PROCEEDINGS OF ABSTRACTS

XIV. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE SKLÁŘSKÉ STROJE
14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON GLASS PRODUCING MACHINES

A
AND

SEMINÁŘ KOVY VE SKLÁŘSKÝCH TECHNOLOGIÍCH
SEMINAR OF METALS IN GLASS PRODUCING TECHNOLOGIES

17. ZÁŘÍ 2015, LIBEREC, ČESKÁ REPUBLIKA
17th SEPTEMBER 2015, LIBEREC, CZECH REPUBLIC

EDITOR: MARIE STARÁ

Barevná verze sborníku je k dispozici v PDF formátu na stránkách konference:
<http://www.ksr.tul.cz/konference>
Colour version of the proceedings is available in PDF format on conference webpage:
<http://www.ksr.tul.cz/konference>

© 2015

Technická univerzita v Liberci

Studentská 2, 461 17 Liberec, Česká republika

Česká sklářská společnost

Arbesova 4501/66a, Mšeno nad Nisou, 466 04 Jablonec nad Nisou, Česká republika

ISBN 978-80-7494-226-6

Obsah (Content)

Sklářské stroje (Glass Producing Machines)

<i>Hessenkemper Heiko</i> <i>Technical University – Bergakademie Freiberg, Germany</i> <i>Glass forming process as a tool for improved properties</i>	..... 6
<i>Kasch Gernot</i> <i>iPROTec GmbH, Germany</i> <i>Automatic drinking glass inspection</i>	..... 8
<i>Novotný František, Horák Marcel, Starý Michal, Pechar Jaroslav</i> <i>Technická univerzita v Liberci, Katedra sklářských strojů a robotiky</i> <i>Studie mechanického matování plochého skla</i> <i>Study of flat glass mechanical matting</i>	..... 12
<i>Ivan Kováčik, Jakub Riško, Peter Vrábek</i> <i>Nehomogenity v skle a ich vplyv na pevnosť skla pri ohybe nôh kalichov</i> <i>Inhomogeneities in the Glass and their Effect on the Glass Strength During</i> <i>Bending the Legs Chalices</i>	..... 16
<i>Smrček Josef, Kulas Václav</i> <i>Electroheat, Praha</i> <i>Chování roztavené skloviny při chladnutí a ohřevu</i> <i>Behavior of molten glass during cooling and heating</i>	..... 17
<i>Kulas Václav, Smrček Josef</i> <i>KavalierGlass, Sázava</i> <i>Sledování chladnutí skloviny při tvarování pomocí infrakamery</i> <i>Observation of cooling glass within moulding by infracamera</i>	..... 19
<i>Šec Karel, Štrojsa Josef, Smrček Josef</i> <i>Nicolet CZ s.r.o., Praha</i> <i>Oxidace povrchu skla při tvarování sledovaná ramanovou mikrospektrometrií</i> <i>Oxidation of glass surface during forming monitored by raman microspectrometry</i>	..... 21
<i>Matoušek Ivo</i> <i>Technická univerzita v Liberci, Katedra sklářských strojů a robotiky</i> <i>Netradiční metody chlazení tvarovacích nástrojů</i> <i>Non-traditional methods for cooling of glass forming tools</i>	..... 23
<i>Matúšek Ondřej, Hotař Vlastimil</i> <i>Technická univerzita v Liberci, Katedra sklářských strojů a robotiky</i> <i>Pokročilé snímání transparentních materiálů</i> <i>New approach of transparent material acquisition</i>	..... 29
<i>Hotař Vlastimil</i> <i>Technická univerzita v Liberci, Katedra sklářských strojů a robotiky</i> <i>Některé z trendů sklářských strojů a zařízení</i> <i>Some trends of glass producing machines and devices</i>	..... 33

Jirman Pavel

JIM design, Jablonec nad Nisou

Aplikace přechodu na mikroúroveň v problémech skla

Application of a transition to the microlevel on a case of glass problems 38

Kovy ve sklářských technologiích (Metals in Glass technologies)

Zýka Jiří, Andršová Irena, Hrbáček Karel, Hotař Adam

UJP Praha a.s., Praha

Ni-Cr-W-C slitiny vhodné pro použití v prostředí tekuté skloviny

Properties of NI-CR-W-C alloys suitable for use in liquid melt 41

Zýka Jiří, Hájíček Michal

UJP a. s., Praha

Wolframové pseudoslitiny ve sklářském průmyslu?

Wolfram heavy alloys in glass industry? 46

Hotař Adam, Zýka Jiří, Hájíček Michal

Technická univerzita v Liberci, Katedra materiálu

Korozní odolnost wolframových pseudoslitin ve sklovinách

Corrosion resistance of wolfram heavy alloys in molten glasses 50

Úvod

Z pověření výboru České sklářské společnosti zajistila Katedra sklářských strojů a robotiky společně s Katedrou materiálu Technické univerzity v Liberci odbornou garancí i organizačně v pořadí již XIV. Mezinárodní konferenci Sklářské stroje a seminář Kovy ve sklářských technologiích, přičemž tato tradiční konference je pořádána v tříletém intervalu.

Organizačnímu výboru se podařilo připravit toto reprezentativní setkání sklářských odborníků z oblasti výzkumu, vývoje a výroby sklářských strojů v konfrontaci s výrobcí skla – uživateli této techniky.

Předkládaný sborník obsahuje 14 rozšířených abstraktů, přičemž obsah referátů zahrnuje všechny odborné okruhy vytýčené organizátory pro tuto konferenci. Referáty zpracované na vysoké odborné úrovni dávají možnost předpokládat, že problémy naznačené v referátech zaujmou a budou dobrým základem k odborné diskusi a otevřené výměně zkušeností v hlavním jednání i v kuloárech konference.

PŘÍPRAVNÝ VÝBOR KONFERENCE

Introduction

Being authorized by the committee of the Czech Glass Society the Department of Glass Producing Machines and Robotics together with Department of Material Science of the Technical University of Liberec has provided the organisational and technical guarantee for the 14th International Conference on Glass Producing Machines and seminar Metals in Glass Technologies, during this traditional conference which has been already organised in three year sequence.

This prestigious meeting of specialists from the sphere of research, development and production of glass machines, the Organisation committee succeeded in preparing a confrontation with glass producers – users of this technology.

The proceedings conclude 14 extended abstracts and their contents involve all specialised topics of the Conference. The papers are prepared on a high technical level and the presumption is that problems suggested in the lectures will lead to a wide-ranging discussion and open exchange of experience.

PREPARATORY COMMITTEE

Glass forming process as a tool for improved properties

Heiko Hessenkemper

The glass forming process is mostly seen as a shaping process. The physically most important aspect of glass forming is heat exchange. Here the first link to glass properties could be seen. During the forming, particularly in container and tableware production, the temperature difference between glass melt and moulding material produces thermal induced stresses. In addition to the mechanical induced stresses by the forming process, this could create in the glass surface tensile stresses. These stresses experiences a relaxation process. The combination creates local and time variable stresses in the surface, which could overcome the strength of a high viscosity melt of the surface. In the following production steps different reheating processes and the time in the first zone of the Lehr could minimise the damage, but a final rest of the surface damage will influence the strength strongly following the Griffith theory. The thermal control of the forming process is therefore important for the mechanical strength: Low temperature difference, which influences on the other side the heat exchange and the productivity, long reheating times and avoiding all unnecessary melt-metal contacts are keys to higher strength. The thermal optimum for a forming process improving the mechanical strength is a forming temperature near to the sticking viscosity.

For tableware the often used water steam layer between the melt and the moulding material is strongly reducing the heat transfer by the Leidenfrost phenomena. As a result, the mechanical strength and the optical properties are improved. An additional effect can be seen: The contact of water steam with a hot glass surface improves the chemical resistance of the glass surface due to dealkalisation. These chemical changes of the glass surface during the forming process should be more awaken to the glass community, because it is existing in most glass productions. In float glass production the interaction of the glass surface with tin bath changes the mechanical and chemical properties. The sulphur treatment of the tin bath side shelters not only the surface during the glass-roller contact, but also changes the chemical composition and therefore mechanical and chemical properties. During the thermal strengthening, the fast cooling creates not only surface tension increasing the mechanical strength but also freeze in another widened structure. This results in a reduced chemical resistance by a factor of two with consequences for the power induced degradation for solar glass, problems with long lasting high transmission properties due to accelerated corrosion and even in the end the possibility of spontaneous breakage due to the NiS_x problem. For the changing of the heating systems from oil to gas with less sulphur emissions the industry faced a quality regression. The very thin glass surface layer from Na₂SO₄ was missing resulting in a less stable glass surface with sometimes quality problems. Identifying the potential of activities changing the glass surface during the forming process or in the range of it, the question come up to induce surface changes by will. In the recent past, several technologies have been developed. All of them aiming to defined changes of the surface during or shortly after the forming process.

The first is using a new lubricant. In addition to normal functions of the lubricant an ion exchange, take place with the hot glass surface. This chemical altered glass composition in the surface is the reason for improved mechanical and chemical properties. In addition, the lubrication interval is strongly decreased. For the blank mould the time interval is changed

from 15 minutes to typically every 4 hours with strongly decreased amount of material. Although the product properties could not be improved with blank mould lubrication, the economic effect is enormous, just taken into account not to through three bottles away after every lubrication and to have possible quality problems the following bottles not being in a thermal equilibrium stage. The operator is free to deal with real production problems and the strong reduced mould corrosion is another important economic effect. The handling could be a problem, because it is essential to lubricate with an extreme small amount of material, which is different to the usual behaviour. Lubricating rollers in the rolled glass industry creates the same positive effects.

A second technique is based on the former experience to improve glass surface properties by contacting hot glass surface with Al containing vapours. The new developments are following a similar route but has eliminated the former problems: Cl kontamination, corrosive etc. In container glass a cooperation with the company Pennekamp has been established and a technique is now on the market for an inside and outside treatment of hot glass surfaces with a reactive atmosphere. Strong quality improvements for chemical and mechanical properties has been achieved. Beside this, there is the opportunity to eliminate the hot end coating, because the changed surface together with the cold end coating has similar effects as hot end and cold end coating together. This technique can be applied to flat glass. In the float glass process it could be incorporated in the first zone of the lehr, in the rolled glass production just before the lehr a small reaction chamber is sufficient. The results: with additional cost of a few cent per m² a strength increase up to 30 % with a 50 % higher Weibul modulus can be achieved, an increase of the hydrolytic resistance of several 100%, an increase of the micro hardness, a transmission increase up to 0,5 %.

These examples demonstrate, that the forming process could be utilized in different ways for the improvement of glass properties.

Automatic drinking glass inspection

Gernot Kasch

Introduction

In drinking glass production we have a high rate (up to 30%) of faulty items. Therefore inspection and sorting is an essential task to provide good quality. Due to the high number of specific error classes (up to 60) and typical production rates of about 30 to 60 per minute, manual testing will never be reliable.

Motivation

With an automatic inspection system it's possible to increase reliability of testing and achieve a certifiable quality level. Additionally, capturing and statistical analysis of glass data can be used as feedback to optimize production process.

Complementary to cold end inspection, testing in the hot-end production before the cooling conveyor belt, a fast and direct process intervention is possible. For such a setup, glass tracing will enable even a correlation of faults to specific stations of a press or blow machine. To achieve a stable quality level without outliers, reduce personal costs and improve production quality, introduction of automatic quality inspection systems is highly recommended.

Contrary to drinking glass production, in container glass production usage of automatic inspection system is established since many years. Many attempts have been done to adopt these systems to drinking glass production. Due to different boundary conditions it's not possible to achieve a comprehensive and accurate solution with these systems.

Drinking Glass	Container glass
Low throughput	High Throughput
High variability of products	Low variability of products
Low product cycle time	High product cycle time
Custom specific differing quality levels and test criteria	Comparable test criteria
High variability and subtle fault characteristics	Low variability of stronger shaped faults
High priority to cosmetic faults	Low priority to cosmetic faults
Complex geometric and optical structure of stemware with need to inspect all parts of a class	Usually much simpler geometric and optically conditions

Specification

In classical measuring technology applications, the measuring tasks like for dimensional, pressure, temperature or other parameters are usually well defined.

Especially for cosmetic faults it's not possible to get a mathematically well defined specification. In fact, manual quality interpretation has to be adapted and rebuilt by an inspection system.

Due to highly different abilities of fault recognition and classification of manual and automatic vision, a close collaboration of system developer and customer is essentially for successfully project realization and good acceptance of inspection system in production.

Defect classes

In drinking glass, main defect classes are all kinds of shape deformations, break-outs and cracks, inclusions, seam, knots and surface defects like cords, run marks and so on. Appearance of these defects can be in all regions of the glass like rim, bowl, bowl-stem joint, stem, stem-base plate joint and base plate.

System setup

In container glass production the typical setup consists of inspection systems located on both sides of the conveyor belt for products, allowing testing without the need of special handling. These setups will limit the count of possible view directions of a glass to typically four positions. By this a very poor three dimensional structural information of a glass can be acquired. As every capture system has to deal with a typically 90° sector of a glass, visibility of many faults is quite limited.

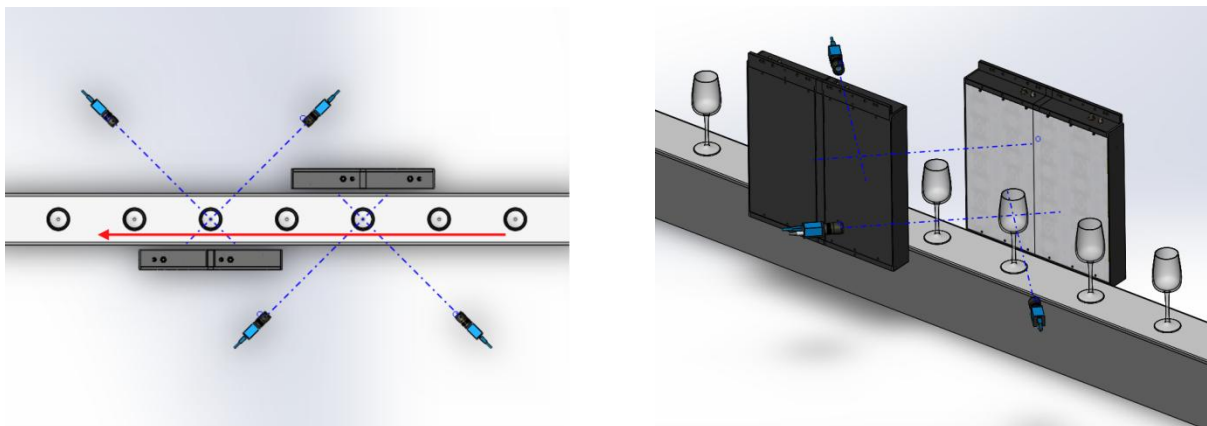


Fig. 1 Simplified schematic – conveyor belt

Contrary to this approach we use a system with a round table and rotational test stations. By this, a glass handling is necessary, but we can implement a wide range of different optical setups in a compact machine, to achieve optimal test conditions for different parts of the glass or different failure classes. In each test station, the glass will rotate by 360° and between 25 (frame) and 2000 (line) images per glass were captured allowing a high 3-dimensional structure analysis, like in computer tomography systems.

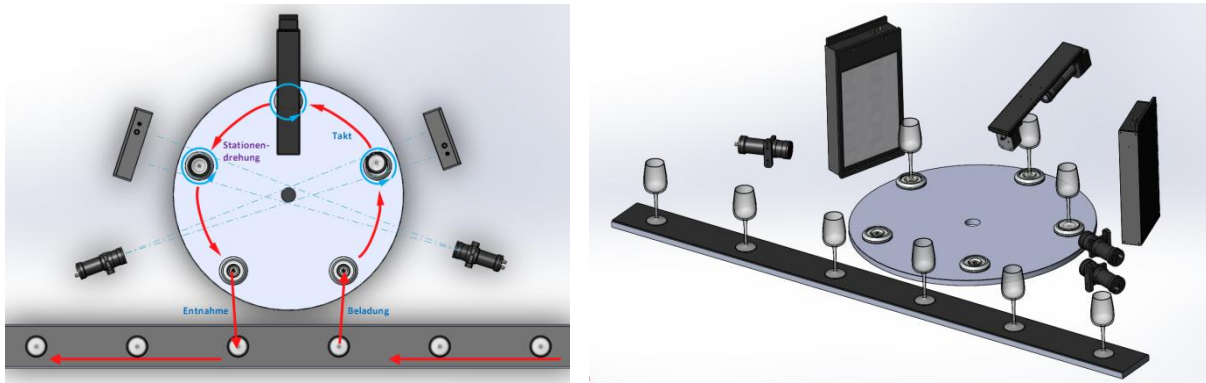


Fig. 2 Simplified schematic – round table

By this approach, a high accuracy and reliability of fault detection, classification as well as stability of measurements can be ensured.

Realization

We started building our first generation of dedicated glass inspection systems from 1995 and were able to gather experience in production use, of about 20 years. From 2007 we started with development of a new generation of inspection systems, based on these experiences, as well as latest image processing technologies. The actual machine will capture and analyze an amount of about 500 images with approximately 600 Mbyte of data for each test sample. The first machine of the new generation is in production use since spring of this year.

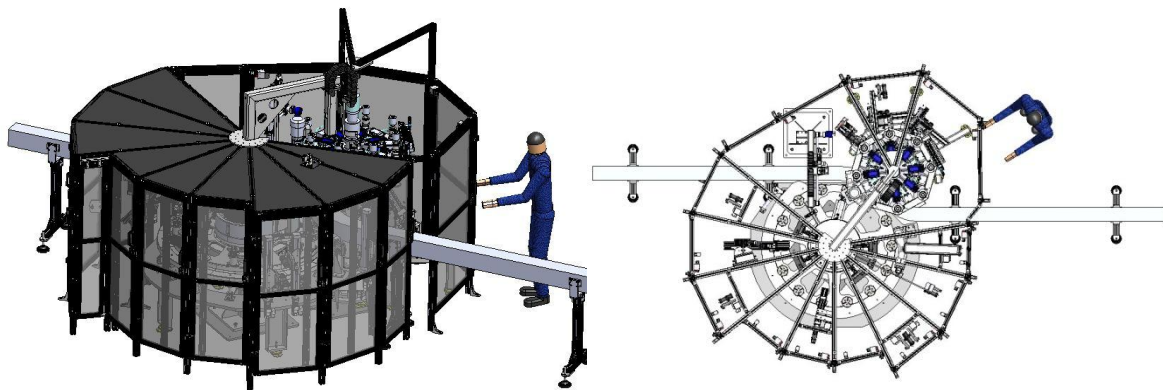


Fig. 3 Inspection machine

Conclusion

The machine realized includes eleven dedicated test systems and enables inspection of all parts of stemware drinking glasses and detection of all fault classes, so a fully automatic inspection system for drinking glasses is realized.

By use of a modular concept the system can be custom specific adapted to different applications, like for stemware or tumblers. Also the system can be adopted for use in cold end or hot end production.

Outlook

For realization of this inspection system, multiple innovative optical and algorithmic solutions were developed. These can also be adapted to other inspection tasks with similar requests.

Summary:

Automatic inspection of hollow glass in drinking glass production will represent a major challenge for inspection technique. This results from a high variability of products, as well as a wide range of faults located on the complete surface or inside of a glass. A high range of geometric and cosmetic faults have to be recognized and classified to reproduce the quality opinion of human inspection. Compared to widely used inspection systems in container glass production, the test complexity and requested accuracy in drinking glass production is much higher, so a special solution for this application area has to be designed.

Studie mechanického matování plochého skla

František Novotný, Marcel Horák, Michal Starý, Jaroslav Pechar

Úvod

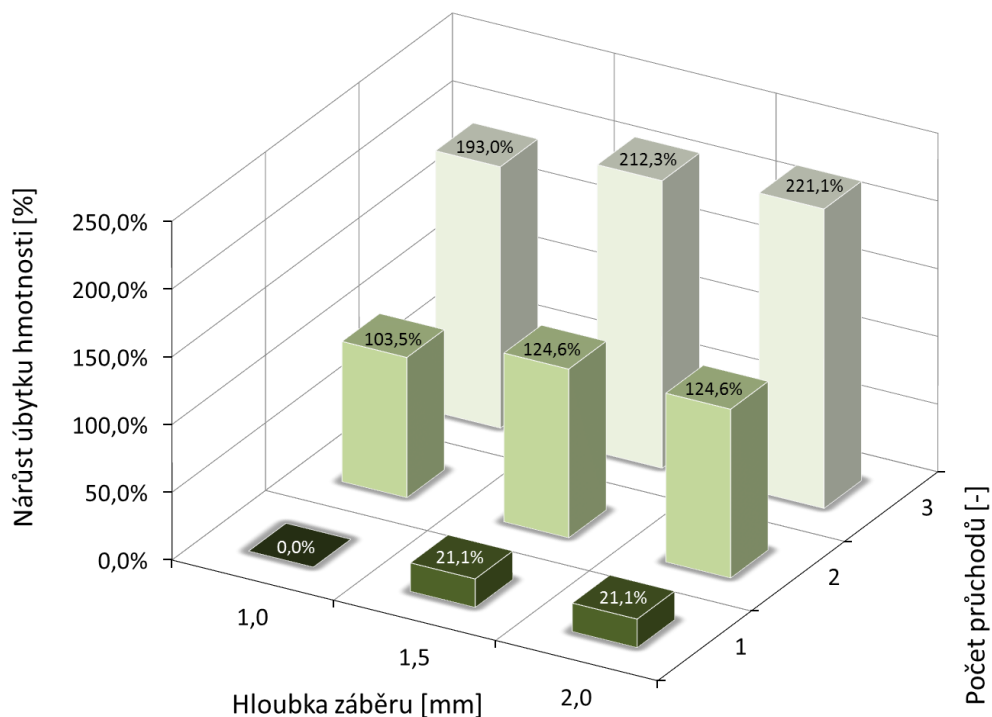
Známé způsoby matování skla lze rozdělit dle postupu na **metody chemické a fyzikální**. **Chemické matování** je založeno na reakci kyseliny fluorovodíkové se složkami skloviny, při které vzniká řada fluoridů a fluor-křemičitanů, kdy nerozpustné a méně rozpustné soli krystalizují na povrchu skla, na kterém vzniklé krystaly vytvářejí velmi jemnou a rovnoměrnou strukturu. Vlivem rozptylu dopadajícího světla sklo získává hedvábně matný povrch. Chemicky matovaný povrch skla je bez puklin a záprasků a je velmi dobře čistitelný. Na druhou stranu je však povrchová struktura měkčí než základní matrice skla a náchylnější k mechanickému poškození. Nevýhodou metody je aplikace velmi agresivních a nebezpečných látek, které tvoří zvláště nebezpečné odpady (fluoridové zátěže).

Fyzikální matovací postupy jsou založené na principu tlakového pískování nebo využívají aplikaci brusných nástrojů s vázaným brusivem, kde jsou zrna syntetického diamantového prášku vázána ve vhodném pojivu, nejčastěji metalickém na bázi bronzu, čímž je vytvořena abrazivní funkční vrstva nástroje s minimálně 50% koncentrací (koncentrace 100 % představuje 4,4 crt v 1 cm³ účinné vrstvy). Zrnitost prášku je závislá na charakteru úrovně broušení a obecně se používají zrnitosti pro jemné broušení v intervalu od 20 do 40 μm, pro hrubé pak od 60 do 80 μm. Lze konstatovat, že strojní zařízení využívající nástroje na platformě vázaného brusiva jsou především využívána pro broušení a leštění hran a jsou konstruována buď pro kusovou malosériovou výrobu, nebo jako automaty, které tvoří součást výrobní linky. Navíc je nutné při obráběcím procesu kontaktní místo intenzivně chladit vodou nebo speciálně připravenou řeznou kapalinou.

Při pískování je brusivo urychlováno proudem stlačeného vzduchu a vrháno kolmo k povrchu skla. Dopadající zrna brusiva postupně rozrušují lesklou sklovitou vrstvu, část zrn se odrazí a část se setrvačnou silou pohybuje po povrchu skla. Matování skla tedy probíhá kombinovaným způsobem, tj. brusná zrna postupně třští, vytloukají a drtí povrchovou vrstvu. Použité brusivo následně padá do násypky a je opětovně používáno. Jemný skleněný prach a část roztříštěného brusiva je z místa pískování odsáváno. Abrazivním materiálem je pro sklo nejčastěji korund Al₂O₃ (hnědý a bílý - na olovnaté sklo, protože nezabarvuje) nebo karbid křemíku SiC, smírek, popř. křemen v zrnitosti od 60 do 80 μm, eventuálně balotina. Pískováním upravený povrch skla je ostrý, nepevný, drolivý, obsahuje povrchové trhlinky a celková kvalita povrchu je nízká. Trhlinky navíc představují velký měrný povrch náchylný na vsakování vlhkosti, mastnot atd., což se projevuje vznikem nežádoucích skvrn. Nepevný povrch skla se velmi snadno odře a tím na něm vznikají neodstranitelné šmouhy. Pískováním je běžně odstraňována vrstva skla v řádech setin až desetin milimetru a hloubka narušení povrchovými trhlínkami, které snižují pevnost skla, závisí na velikosti pískovacích zrn a tlaku hnacího vzduchu. Úroveň energetické účinnosti je u metody matování skla pískováním nízká. Z hlediska typu a tvaru matovacích, resp. broušících, leštících nástrojů jsou známé diskové kotouče nebo plošné nástroje s funkční abrazivní vrstvou, ale i rotační diskové nástroje, které jsou osazeny buď po obvodu, nebo na čelní ploše disku, případně i kombinovaně, např. plastovými vlákny s délkou od 0,5 do 10 mm a průměrem 0,1 až 1,5 mm, která obsahují zrna syntetického diamantu.

Technologie mechanického matování skla

Mechanický matovací proces představuje unikátní a zcela novou technologii [1], chráněnou patentem CZ 302636 ve vlastnictví firmy Sklopan Liberec, a. s. a v současné době jsou rovněž podány patentové přihlášky na evropské a světové úrovni. V první fázi řešení byly zevrubně prověřovány možnosti technologie, byly vymezeny základní požadavky na konstrukci testovacích nástrojů a následně provedeny prvotní experimenty s ohledem na okrajové podmínky procesu jako jsou otáčky, resp. obvodová rychlost kartáče, hloubka řezu (přítlak nástroje oproti obráběné ploše skla), množství chladicí kapaliny, rychlost pojezdu, geometrie kartáče, skladba svazků pracovních kompozitových vláken, struktura vláken (délka, průměr, obsah diamantu, zrnitost) atd. Testovací nástroje s rozdílnou zrnitostí syntetického diamantu ve vláknech a také jejich délkou byly postupně instalovány na vřeteno horizontální CNC frézky a pro řadu kombinací procesních parametrů byla získána rozsáhlá série matovaných vzorků skla s rozdílným charakterem výsledného matu [2].



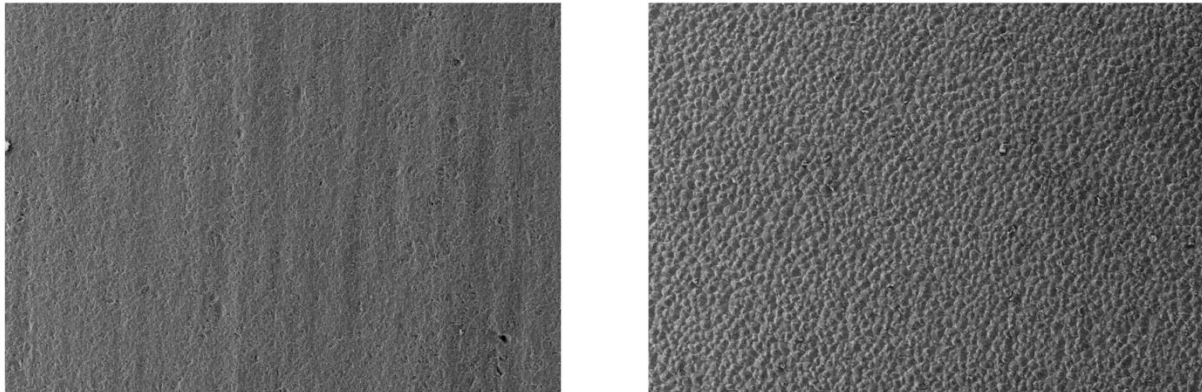
Obř. 1 Nárůst úbytku hmotnosti v závislosti na počtu průchodů a hloubce záběru

Úvodní testy ukázaly, že technologie je poměrně citlivá na změnu výše uvedených procesních parametrů [3] a bude nutné na základě metodiky plánovaných experimentů stanovit takový postup, který povede efektivním způsobem k nalezení optimální kombinace okrajových podmínek tak, aby bylo dosaženo požadované jakosti povrchu s charakteristickou texturou, tvořenou designově zajímavou mikro drážkovanou strukturou konečného výrobku.

Výsledné vlastnosti povrchu skla lze kromě změny procesních parametrů modifikovat také počtem průchodů matovacího nástroje. V závislosti na počtu průchodů a hloubce záběru byl při jinak konstantních provozních podmínkách u vybraných vzorků analyzován úbytek hmotnosti plochého skla a bylo zjištěno, že změna hmotnosti má spíše lineární charakter a výrazně závisí především na počtu průchodů, zatímco změna hloubky záběru v intervalu od 1 do 2 mm má vliv minimální a navíc s narůstající hodnotou záběru dochází vlivem poddajnosti vláken jen k nepatrným změnám.

Graf na obr. 1 ukazuje změnu nárůstu úbytku hmotnosti v procentech ve vztahu k směrné hodnotě cca $38,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, která odpovídá jednomu průchodu a 1 mm hloubky záběru. Z grafu vyplývá, že nárůst při změně záběru je minimální a na úrovni cca 20 %, s ohledem na počet průchodů je pak přírůstek kolem 200 % oproti směrné hodnotě. Naměřená průměrná hodnota hloubky odstraněného skla je $16 \mu\text{m}$ a při přepočtu na úběr skla na 1 m^2 se jedná o průměrný vypočtený úbytek $40 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, což je plně v souladu se směrnou hodnotou úbytku, která byla stanovena vážením.

Snímky z elektronového mikroskopu na obr. 2 ukazují rozdíl v povrchové struktuře mechanicky a chemicky matovaného skla při 50 násobném zvětšení.



Obr. 2 Detail povrchu mechanicky (vlevo) a chemicky (vpravo) matovaného skla

Závěr

Předložený článek prezentuje nový způsob matování plochého skla mechanickým způsobem, který je charakterizován působením kompozitových vláken rotačního válcového kartáče na povrch skla, kde dochází k jeho postupnému rozrušování účinkem syntetických diamantových zrn, která jednotlivá vlákna obsahují. Jsou popsány hlavní procesní parametry, které ovlivňují kvalitu výsledného matu.

Poděkování

Výzkum nové technologie mechanicky matovaného povrchu skla je realizován s finanční podporou TAČR z Programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje EPSILON v rámci projektu „Nová technologie matování a prototyp strojního zařízení pro opracování povrchu skla“ s reg. č. TH01031152.

Literatura

- [1] ČAPKA, V. Způsob úpravy povrchu plochého skla a zařízení k provádění tohoto způsobu. Patent č. 302636. 29. 6. 2011.
- [2] NOVOTNÝ F., STARÝ, M., HORÁK, M., PECHAR, J. Nové trendy v oblasti mechanického opracování povrchu plochého skla. Sklář a keramik, Vol. 65 (2015), č. 5 – 6, pp. 91-95, ISSN 0037-637X.
- [3] STANGO, R. J., HEINRICH, S. M., SHIA, C. Y. Analysis of Constrained Filament Deformation and Stiffness Properties of Brushes. Journal of Engineering for Industry Vol. 111 (1989), pp. 238-243, ISSN 0022-0817.

Anotace:

Příspěvek prezentuje novou a unikátní technologii matovacího procesu plochého skla založenou na principu mechanického rozrušování povrchových vrstev skla působením kompozitových štětin válcového kartáče. Technologie má vysoký aplikační potenciál a umožňuje vytvářet nové typy výrobků s širokým uplatněním v bytové architektuře, v interiérech, v nábytku, osvětlovací technice a bytových doplňcích. Modifikací podmínek technologického procesu je možné cíleným způsobem měnit výsledné povrchové vlastnosti, přičemž lze vytvářet jak celoplošné matované povrchy, tak i vzorované s rozdílnou hloubkou struktury. Mechanický způsob matování je oproti konvenčním metodám nákladově úsporným řešením, odpadá nutnost likvidace chemických odpadů a jsou výrazným způsobem minimalizovány nároky na zabezpečení provozu a zástavbový prostor.

Summary:**STUDY OF FLAT GLASS MECHANICAL MATTING**

The article presents new and unique technology of flat-glass matting process, based on mechanical erosion of surface layers by composite filaments of cylindrical brush. This technology has a high application potential and allows creation of new product types widely applicable to housing architecture, interiors, furniture, lighting technology and domestic accessories. By modification of technological conditions it is possible to change final surface properties; it is possible to produce all-over matted surfaces as well as patterned with different depth of structure. Mechanical way of glass matting is to the contrary to conventional methods cost saving, it avoids the disposal of chemical waste and it significantly reduces the needs for operation and working space.

doc. Ing. František Novotný, CSc., Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, 461 17 Liberec 1, e-mail: frantisek.novotny@tul.cz, tel.: +420 485 352 903

Ing. Michal Starý, Ph.D., Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, 461 17 Liberec 1, e-mail: michal.stary@tul.cz, tel.: +420 485 352 942

Ing. Marcel Horák, Ph.D., Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, 461 17 Liberec 1, e-mail: marcel.horak@tul.cz, tel.: +420 485 352 943

Ing. Jaroslav Pechar, Sklopan Liberec, a.s., Zahradní 445, 460 01 Liberec 11, e-mail: jaroslav.pechar@sklopan.cz

Nehomogenity v skle a ich vplyv na pevnosť skla pri ohybe nôh kalichov

Ivan Kováčik, Jakub Riško, Peter Vrábek

Pevnosť skla predstavujú jeho mechanické vlastnosti a tie bývajú hlavným parametrom pre určenie použitia skla. Teoretická pevnosť skla môže byť v reálnom procese výroby niekoľko násobne nižšia, ako sú teoretické hodnoty. Príčinou veľkých rozdielov medzi reálnou a teoretickou pevnosťou skla sú rôzne nehomogenity. Tieto nehomogenity sa môžu v skle vytvoriť počas výroby, prípadne prepravou alebo skladovaním. Vznik takýchto chýb v skle môže znižovať úžitkové vlastnosti hotového výrobku. Pri výrobe úžitkového skla môže byť kritickou časťou jeho noha – štylok. Ten pri výskyte nehomogenity v skle môže byť náchylný na lom. Pre porovnanie teoretickej a reálnej pevnosti skla na lom bolo pripravených niekoľko experimentov. Pre experimenty boli pripravené vzorky skla – štylky kalichu v tvare valcových sklenených tyčiniek rôznych priemerov a dĺžok. Takto pripravené vzorky boli následne zaťažované na ohyb, kde sa zaznamenávalo hraničné zaťaženie pri vzniku lomu. Takto získané reálne hodnoty odolnosti štylkov sa porovnávali s teoretickým matematickým modelom MKP. Získané hodnoty potvrdzujú nižšiu reálnu pevnosť skla, ako je teoretická pevnosť. Výsledky pomôžu pri návrhu nových výrobkov s očakávanou pevnosťou. Pri ďalšom analyzovaní chýb v skle a ich vplyvu na zníženie pevnosti, bude do budúca možné optimalizovať tvar výrobku pre elimináciu náchylnosti na lom. Prípadne, riadiť výrobný proces s cieľom znížiť výskyt chýb v skle a tak zvýšiť odolnosť výrobkov.

INHOMOGENEITIES IN THE GLASS AND THEIR EFFECT ON THE GLASS STRENGTH DURING BENDING THE LEGS CHALICES

Ing. Ivan Kováčik, RONA a. s., Schreiberova 365, 020 61 Lednické Rovne, Slovensko, e-mail: kovacik@rona.sk, tel.: + 421 42 4601 177

Ing. Peter Vrábek, RONA a. s., Schreiberova 365, 020 61 Lednické Rovne, Slovensko, e-mail: vrabel@rona.sk

Chování roztavené skloviny při chladnutí a ohřevu

Josef Smrček, Václav Kulas

Úvod

Dávka skloviny, která právě opouští lůno roztavené skloviny (kapka z dávkovače, náběr na kouli či píšťalu, cibule při tažení Fct, trubek nebo folií) má panenský povrch, který vznikl ze skloviny dlouhodobě udržované (24-100 hod) za vysokých teplot (1400-1600 °C), takže se stačily ustavit všechny rovnováhy (redox, krystalizační, asociační, odpařovací...). Zatímco ve vaně byl volný povrch skla $1\text{m}^2/1,2\text{ m}^3$, tedy $3,3\text{ cm}^2/\text{kg}$, pak 0,5-1 kg kapka má povrch 10-20x větší, tažená tabule až 1000x větší. Na tento čerstvě vzniklý povrch začíná okamžitě působit

- nízká teplota okolí, povrch chladne rychlostí 10-20 K/sec, tím vznikne gradient teploty a tedy indexu lomu, povrch opalizuje;
- s teplotou se mění poloha UV absorpční hrany, mezi 1100-1400 °C se nasouvá do viditelné oblasti, proto zejména kapka olovnatého skla je neprůhledná [1];
- povrch mnohdy okamžitě poklesne pod T_{liq} , tj. povrch zůstává nejdéle pod liquidem, přitom krystalizační rychlost některých sklovin je až $1\text{ }\mu\text{m}/\text{sec}$ [2];
- okolní atmosféra obsahuje kyslík a vodní páru, obě složky stačí nadifundovat do hloubky 10-20 μm ;
- naopak těkavé složky (Na_2O , B_2O_3 , PbO) z povrchu odtékají (PbO při 1200 °C odtěká $0,01\mu\text{m}/\text{sec}$), těkání urychluje stoupající rychlost pádu kapky [3].



Obr. 1 Nahoře snímek výtoku ze dna při různé expozici (1/480 a 1/2000 sec). Dole výtok z misky bez stříhání při různé poloze plunžru. Při změně poloměru se zruší vnitřní odraz.

Sledování povrchu kapky fotografickou metodou

Dokonale hladký povrch kapky roztavené skloviny ovšem vyvolává i přechodné jevy geometrické optiky. Dávkovač s plunžrem způsobuje, že vytékající sklovina nabývá postupně polokulový, vydutý, kónický, válcový a vypuklý tvar. Podle toho se mění vnitřní odraz vlastního objemového záření kapky, což se na fotografii projeví poměrem tmavé (červené) vnitřní plochy ku světlé okrajové. V záření této tmavší části chybí modrá, krátkovlnná složka. Na obr. 1 je zřetelně vidět, že při přechodu z konkávní do konvexní plochy se vnitřní odraz vyruší.

Infračervené snímky infrakamerou s rozsahem 8-12 μm vidí jen záření povrchové vrstvy do 300 μm . To umožňuje sledovat chování povrchu ovlivněné nejen změnou teploty, ale i změnou zářivých vlastností povrchu, tj. emisivity. Tento druh infrakamery tedy vidí celou kapku jako teplotně homogenní, tj. celý povrch má stejnou teplotu. Starší typy infrakamer (které pracovaly při 1,6 μm), viděly vždy na okrajích kapky gradient vyjadřovaný barevnou "duhou", protože slabý okraj kapky dával menší signál.

Závěr

Prosté fotografování kapky podá mnoho informací nejen o jejím tvaru, ale i o jejím chladnutí.

Literatura

- [1] Smrček, J., Endrýs, J., Míka, M. Rozptyl světla v roztaveném skle. Proč to praská? Proč se to kalí? Sklář a keramik 62 (2012) 5-65. s. 123-127
- [2] Hlaváč, J. Základy technologie silikátů. SNTL Praha 1981, str. 148
- [3] Matoušek, J., in.: Tavení skla, Česká sklářská společnost, Jablonec n/N, 2008, str. 130
- [4] Viscanta, R., Lim, J.: Transient cooling a cylindrical glass gob. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 73, 2002, 481-490

Anotace:

Povrch roztaveného skla je velmi reaktivní a řádově 1-10 μm vrstvička stačí během tvarování změnit obsah –OH skupin či redox poměr, 0,01-0,1 μm vrstvička může odtékat. Odvod tepla je řízen převážně zářením, takže se uplatňují zákony geometrické optiky (vnitřní totální odraz, disperse), což ovlivňuje místní rychlost chladnutí.

Summary:

BEHAVIOR OF MOLTEN GLASS DURING COOLING AND HEATING

The molten glass surface is very reactive and the film of the order of 1 to 10 μm enough during molding can alter the content of –OH groups or redox ratio, 0,01-0,1 μm thin layer can volatile. Heat transport is controlled mainly by radiation, so apply laws of geometrical optics (internal total reflection, dispersion), which affects the local cooling rate.

Ing. Josef Smrček, CSc., ELECTROHEAT, s.v.p.d., Na bojišti 12, 120 02 Praha 2, e-mail: j.smrcek@volny.cz

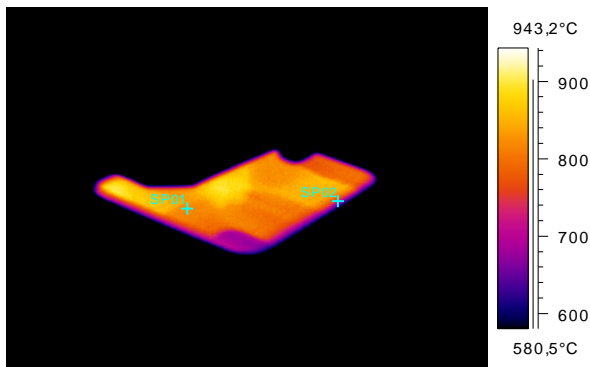
Ing. Václav Kulas, KAVALIERRGLASS, a.s., Sklářská 359, 285 06 Sázava, e-mail: vaclav.kulas@kavalier.cz

Sledování chladnutí skloviny při tvarování pomocí infrakamery

Václav Kulas, Josef Smrček

Úvod

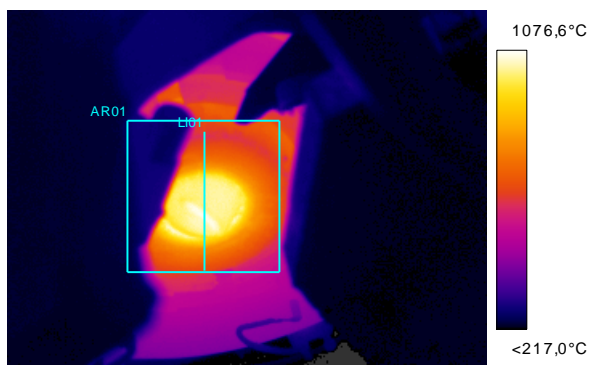
Moderní infrakamery, které pracují obvykle ve spektrálním rozsahu 8-13 μm , tedy v oblasti, kde sklovina propouští toto záření do hloubky max. 0,3 mm a kde se současně velmi mění její index lomu, (což zvyšuje její odrazivost), podávají informaci o teplotě povrchu a z řady následných měření stejného bodu i o tepelném toku z povrchu. Infrakamerou lze prokázat existenci tenké o 40 K chladnější vrstvičky na povrchu kapky, stejně jako existenci takové vrstvičky na povrchu dávky skloviny již ve formě, avšak studenější již o 150 K. I v infraoblasti lze vidět větší sálání z vydutého povrchu kapky či výrobku než z vypuklého.



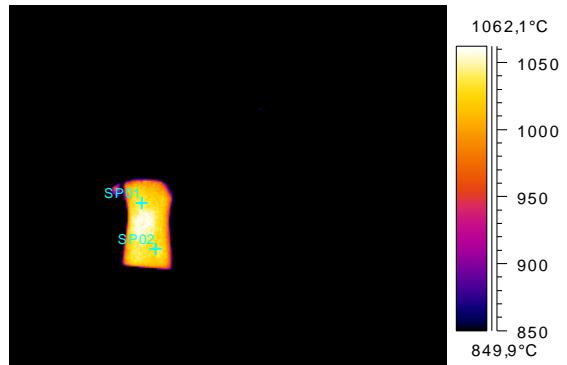
Obr. 1 Povrch skloviny ve formě těsně po zdvihu razníku. Gradient na povrchu až 150 K



Obr. 2 Hotové výrobky na foukacím stroji po otevření formy. Ve vyduté části povrchu je větší infračervené záření, odpovídající větší teplotě



Obr. 3 Kapka v misce těsně po stříhu. Stopa po odstříhu sálá více, jakkoliv je povrch studenější, vysvětlení snad v nerovném povrchu.



Obr. 4 Visící kapka z misky. Opět patrně větší sálání z vyduté oblasti povrchu.

Závěr

Infrakamerou lze sledovat nejen okamžitou teplotu povrchu skloviny, ale i tepelný tok. Ten lze porovnávat s modelovými výpočty chladnutí v celém spektrálním rozsahu [1]. Bílá sklovina chladne zřetelně pomaleji než černé těleso.

Literatura

- [1] Viscanta, R., Lim, J. Transient cooling of a cylindrical glass gob. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transport 73, 2002, 481-490

Anotace:

Infračervenou pyrometrií lze určovat nejen teplotu povrchu tvarovaného skla, ale i tepelný tok. Vzhledem k vyššímu indexu lomu skloviny ve spektrálním pásmu infrakamery 8 – 12 μm má toto měření větší chybu v přítomnosti jiných zářičů. Vyduté plochy povrchu sálají více, což může být způsobeno jak vzájemným osáláním vnějšího povrchu, tak vnitřním odrazem.

Summary:

OBSERVATION OF COOLING GLASS WITHIN MOULDING BY INFRACAMERA

Infrared pyrometry can determine not only the surface temperature of the shaped glass, but also the heat flow. Due to the higher refractive index of the glass in the spectrum band infrared camera 8 – 12 μm has this greater measurement error in the presence of other emitters. Concave surface area radiates more, which may be caused both by mutual irradiation of, the external surfaces and internal reflection.

Ing. Václav Kulas, KAVALIERGLASS, a.s., Sklářská 359, 285 06 Sázava, e-mail: vaclav.kulas@kavalier.cz

Ing. Josef Smrček, CSc., ELECTROHEAT, s.v.p.d., Na bojišti 12, 120 02 Praha 2, e-mail: j.smrcek@volny.cz

Oxidace povrchu skla při tvarování sledovaná ramanovou mikrospektrometrií

Karel Šec, Josef Štrojsa, Josef Smrček

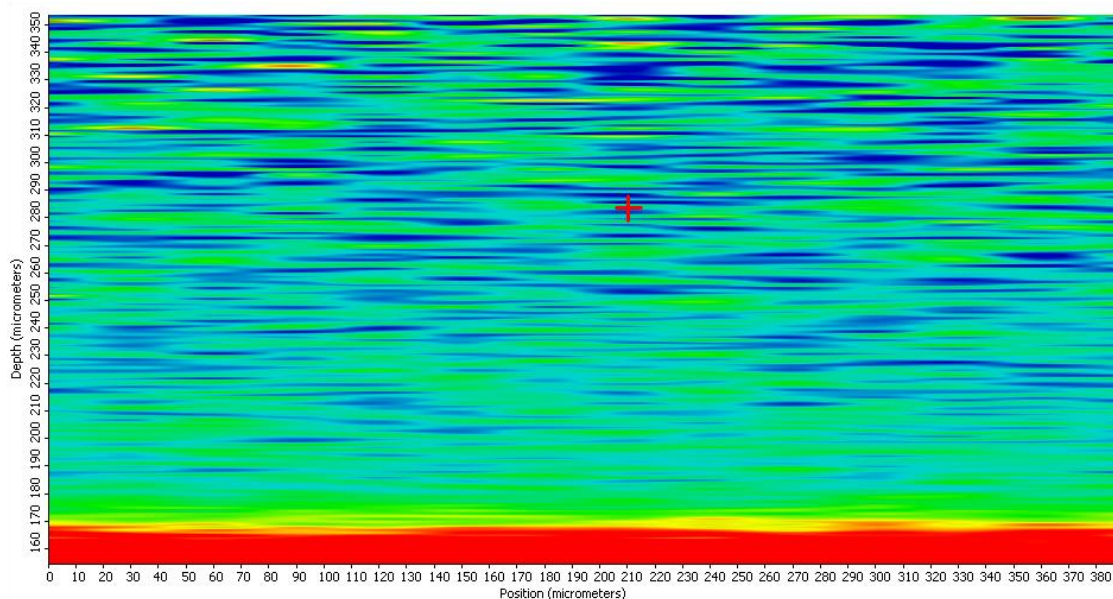
Úvod

Při tvarování reaguje povrch skloviny s okolní atmosférou a mění se jeho vlastnosti. To má vliv na odrazivost světla, chemickou odolnost a především pevnost. Studium těchto rychlých dějů je proto důležité.

Sledování prostorového složení výrobků Ramanovou mikrospektrometrií

Pro studium chování povrchu skla se ukazuje jako vhodná Ramanova mikrospektrometrie v konfokálním provedení. Tato metoda umožňuje mapování struktury skla (přesněji řečeno: měření Ramanových spekter skla) do hloubky několika set mikrometrů s velmi vysokým prostorovým rozlišením (zde okolo jednoho mikrometru). Bez nutnosti jakékoliv úpravy vzorku lze tedy měřit spektra z různých hloubek vzorků. Výsledkem Ramanovy spektrometrie jsou spektra vzorku, kde lze pomocí polohy charakteristických vibrací přesně sledovat chemické složení a jeho změny a dle intenzit vibrací pak toto složení i kvantifikovat. V této práci byly měřeny hloubkové profily několik vzorků skla s různým složením, zejména s ohledem na různý obsah $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ kationtů (určujících tzv. redox potenciál skla). Cílem měření bylo proměření stability obsahu kationtů železa ve skle a dále vliv technologie výroby skla na tento hloubkový profil kationtů železa.

Dle dostupné literatury a praktických zkušeností byla analýzou získaných hloubkových profilů zjištěna (u vzorků tzv. sklářských skel s obsahem $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 10 % a méně) diference mezi svrchní částí skla (cca 20 mikrometrů) a zbytkem profilu skla (20 mikrometrů a hlouběji, až stovky mikrometrů). Dle našich analýz dochází k tvorbě profilu, kdy sledujeme kvantitativní změny obsahu kationtů železa na povrchu. Viz následující obrázek (obr. 1).



Obr. 1 Konturová mapa zaznamenávající vývoj poměru pásů vibrací v Ramanově spektru $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ a vibrace matrice skla Si – O

Cílem našich experimentů je dále určení přesných profilů u vzorků s různým obsahem železa, ale i u skel vyráběných různými postupy. Dále budou ukázány možnosti Ramanovy mikrospektroskopie pro analýzu rozdílů různých typů skel, ale i nehomogenit ve sklech (např. bublinky apod.). V této práci byl použit Ramanův mikrospektrometr DXR Microscope společnosti Nicolet CZ, s.r.o. s excitací 532 nm.



Obr. 2 Ramanův mikrospektrometr DXR

Závěr

Ramanova spektrometrie umožňuje sledovat profil koncentrace vhodných vibrací ve struktuře různých typů skel (Si-O, Si-Si, Fe vazby, organické a anorganické nečistoty atd.) až do hloubky okolo 800 mikrometrů, při rozlišení pohybu mikroskopického stolku 1 mikrometr až 0,05 mikrometrů. Hlavním cílem této studie je sledování tzv. redox potenciálu, tj. profilu vibrací $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ kationtů v závislosti na hloubce od povrchu vzorku. A to pro různé obsahy železa a různé typy výroby.

Summary:

OXIDATION OF GLASS SURFACE DURING FORMING MONITORED BY RAMAN MICROSCOPY

Raman micro-spectroscopy allows studying concentration depth profiles of proper vibrations in Raman spectra in glass matrix (Si-O, Si-Si, Fe bonds, organic and inorganic impurities etc.) to depth at least 800 micros from the surface and with the space resolution (1 – 0,05 micrometres, depends on the system configuration). Main goal of this study is to monitor changes in redox potential, profile of vibrations of $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ in dependency on depth in samples of glass (for different glasses with different amount of glass in matrix and for different types of manufacturing).

Ing Karel Šec, Ph.D., Nicolet CZ s.r.o., Křelovická 970, 104 00 Praha 10, e-mail: sec@nicoletcz.cz

Josef Štrojsa, Kamenický Šenov, e-mail: jstrojsa@volny.cz

Ing. Josef Smrček, CSc., ELECTROHEAT, s.v.p.d., Na bojišti 12, 120 02 Praha 2, e-mail: j.smrcek@volny.cz

Netradiční metody chlazení tvarovacích nástrojů

Ivo Matoušek

Úvod

Chlazení tvarovacích nástrojů je ve sklářské výrobě stěžejním problémem, který výrazně ovlivňuje jak kvalitu vyráběné produkce, tak i efektivitu tvarovacího procesu. Pro chlazení tvarovacích nástrojů se v současnosti stále používá konvenčních metod. Sklářské formy jsou obvykle chlazeny vzduchem, razníky vodou nebo vodní mlhou. Regulace intenzity chlazení je prováděna obvykle kontinuální změnou průtoku a rychlosti proudícího chladicího media. Konvenční metody jsou efektivní při tvarování výrobků poměrně jednoduchých tvarů. Při výrobě tvarově složitějšího nebo netradičního výrobního sortimentu však mohou nastat problémy spojené s omezenými možnostmi chlazení kritických míst, ve kterých může docházet k lokálnímu přehřátí povrchu tvarovacích nástrojů, které může následně iniciovat lepení skloviny. Vedlejším negativním efektem může být také zkrácení životnosti tvarovacích nástrojů.

Uvedené nedostatky mohou být odstraněny lokální intenzifikací chlazení přičemž jedním z možných technických řešení je využití zkapalněných technických plynů. Tento progresivní systém chlazení může být zaveden buď jako doplněk standardního chlazení, nebo v případě menších výrobků také (teoreticky) jako hlavní systém chlazení. Nasazení chlazení založeného na využití zkapalněných technických plynů nabízí široký potenciál včetně možnosti dosažení vysoké variability procesu chlazení, zvýšení flexibility chlazení a eliminace přehřívání tvarovacích nástrojů v hůře přístupných místech.

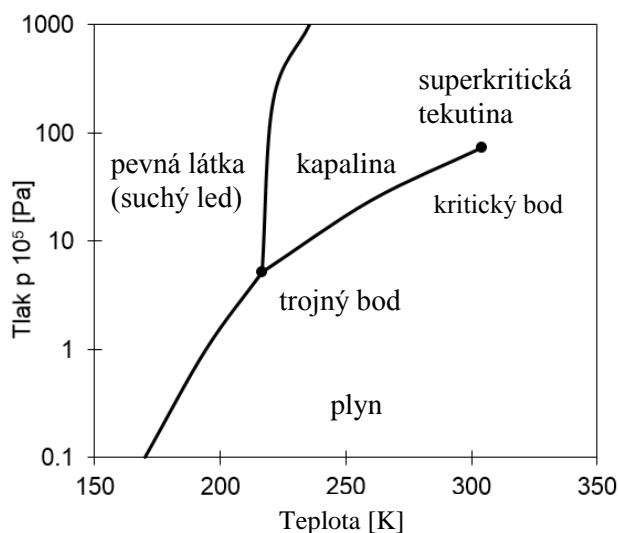
Teoretická východiska

V rámci vědeckovýzkumných aktivit se naše pracoviště zapojilo do řešení projektu multioborového výzkumu a vývoje progresivních způsobů chlazení. Cílem řešení projektu v oblasti tvarování skloviny bylo vyhodnocení možností využití zkapalněných technických plynů, konkrétně CO₂, pro chlazení tvarovacích nástrojů a jejich provozní ověření.

Chlazení prostřednictvím zkapalněných technických plynů je založeno na využití jejich specifických vlastností. Oxid uhličitý (CO₂) je nehořlavý bezbarvý plyn, plyn s omezenou reaktivitou. Měrná hmotnost v plynném skupenství je 1,98 kg.m⁻³ (cca 1,5x těžší než vzduch). Při ochlazení na teplotu -78,9 °C přechází do tuhého skupenství (tzv. suchý led). V kapalném stavu existuje jen při tlaku vyšším než cca 0,5 MPa. CO₂ má trojný bod při teplotě - 56,6 °C a tlaku 5,185 bar (cca 0,5 MPa). Při atmosférickém tlaku (0,1 MPa) přechází přímo z pevného skupenství do plynného (sublimace). Za atmosférického tlaku tedy oxid uhličitý neexistuje v kapalném stavu. (obr. 1, tab. 1).

Oxid uhličitý je dodáván jako zkapalněný plyn, při teplotě okolí tlak plynu musí být vyšší než 5,185 10⁵ Pa. Při chlazení tvarovacích nástrojů je tekutý CO₂ dopravován do chlazené oblasti kapilárou. Při výstupu z kapiláry dochází k velmi rychlé expanzi. Tlak klesne na hodnotu tlaku atmosférického a v důsledku Joule-Thomsonova jevu se CO₂ ochladí až na teplotu -78,9 °C. V tomto stavu bude přítomno určité množství CO₂ v tuhé fázi (tzv. suchý led) a část v plynné. Vzájemný poměr fází závisí na tlaku resp. teplotě kapalně fáze v tlakové láhvi a lze jej určit z příslušného T-s diagramu. Při teplotě 20 °C množství plynné fáze činí cca. 58 % a množství pevné fáze (suchý led) cca. 42 %. Tyto údaje lze použít pro stanovení teoretického chladicího

účinku jednotkového množství (1g) CO₂. Sublimací 0,42 g (předpokládané množství pevné fáze) CO₂ je teoreticky odebráno cca. 240 J, přičemž teoretické množství tepla odebrané při ohřevu 1 g plynu z počáteční teploty -78,9 °C na 20 °C činí cca. 84 J. Celkový teoretický ochlazovací potenciál 1 g tekutého CO₂ odebraného z tlakové láhve při 20 °C a při uvažovaném ohřevu plynných produktů na 20 °C činí cca. 325 J. Pro chladicí účinek CO₂ je rozhodující sublimační teplo a teplota okolí [1].



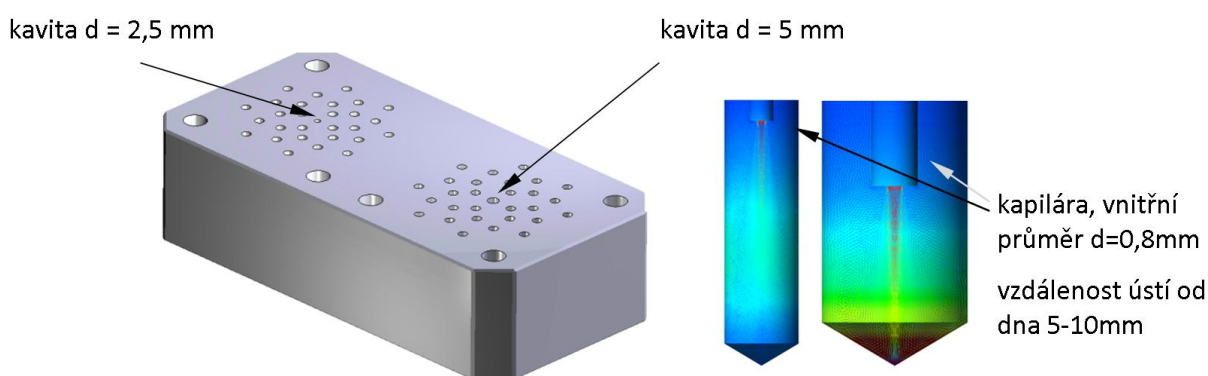
Obr. 1 Fázový diagram CO₂

Tab. 1 Charakteristiky CO₂

Trojný bod	Teplota [°C]	-56,6
	Tlak [Pa]	5,185.10 ⁵
Kritický bod	Teplota [°C]	31°C
	Tlak [Pa]	73,825.10 ⁵
	Hustota [kg.m ⁻³]	464

Experimentální měření

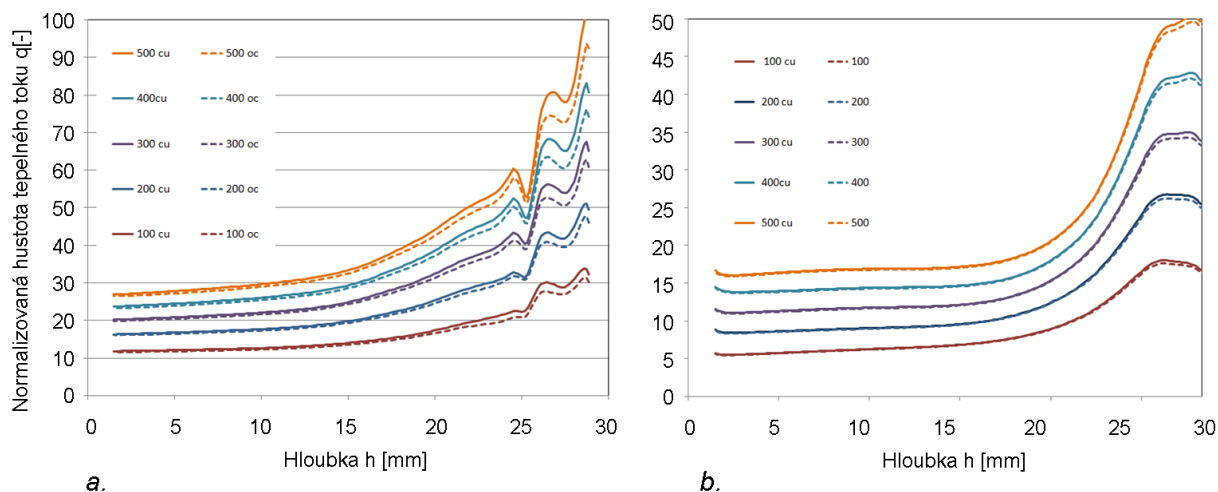
Pro ověření chladicích účinků CO₂ proběhla v první etapě experimentální měření v laboratorních podmínkách na testovacím zařízení, které bylo pro tyto účely postaveno. Na tomto zařízení byl hodnocen vliv změn základních geometrických charakteristik, konkrétně průměru chladicích otvorů, vzdálenosti ústí kavity od dna vývrtu, atd.



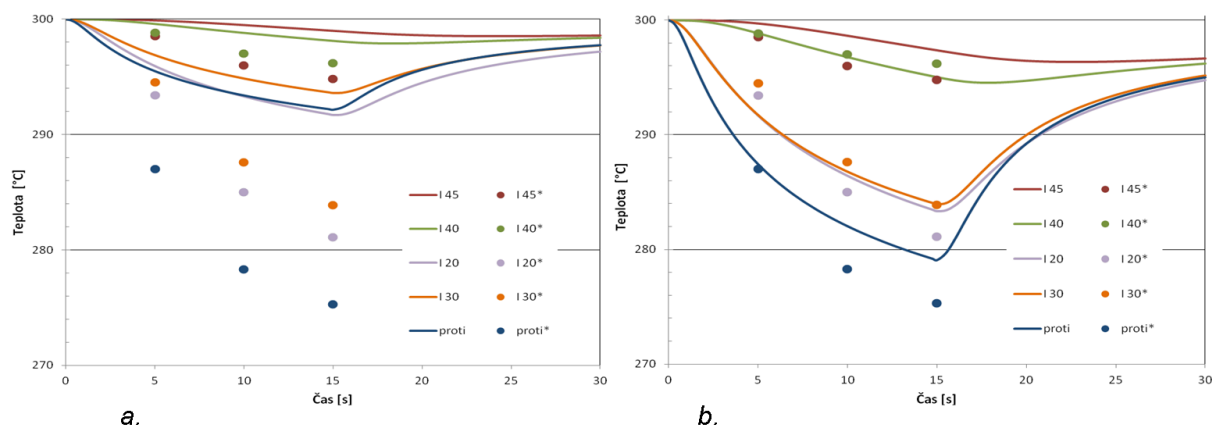
Obr. 2 Experimentální přípravek (vpravo zakončení chladicí dutiny d = 5mm s kapilárou)

Měřicí přípravek (obr. 2) s chladicí kavitou (resp. expanzní komorou) umístěnou ve středu horní plochy přípravku (díra s osou rovnoběžnou s vertikální osou a průměry 2,5, 5) byl v laboratorním zařízení ohřát na stanovenou teplotu (v rozsahu 100 až 500 °C). Po homogenizaci teplotních polí v těle přípravku bylo do kapiláry s vnitřním průměrem d = 0,8

mm umístěné uvnitř dané chladicí kavity (vzdálenost ústí kapiláry ode dna chladicího otvoru 5-10/15 mm - obr. 2) přivedeno chladicí medium (CO_2). Po dobu ochlazování byly na termočláncích umístěných v definovaných bodech přípravku měřeny teploty. Výstupy z laboratorních měření byly následně použity také k definici okrajových podmínek pro počítačové modely. Hmotnostní průtok CO_2 v průběhu všech realizovaných experimentů odpovídal hodnotě $2,1 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 3 Průběh hustoty tepelného toku podél osy chladicí kavity pro průměr $d=2,5$ (a.) a $d=5$ mm (b.) a teplotní interval 100 – 500 °C (Cu, AK2 Ni) – poč. model

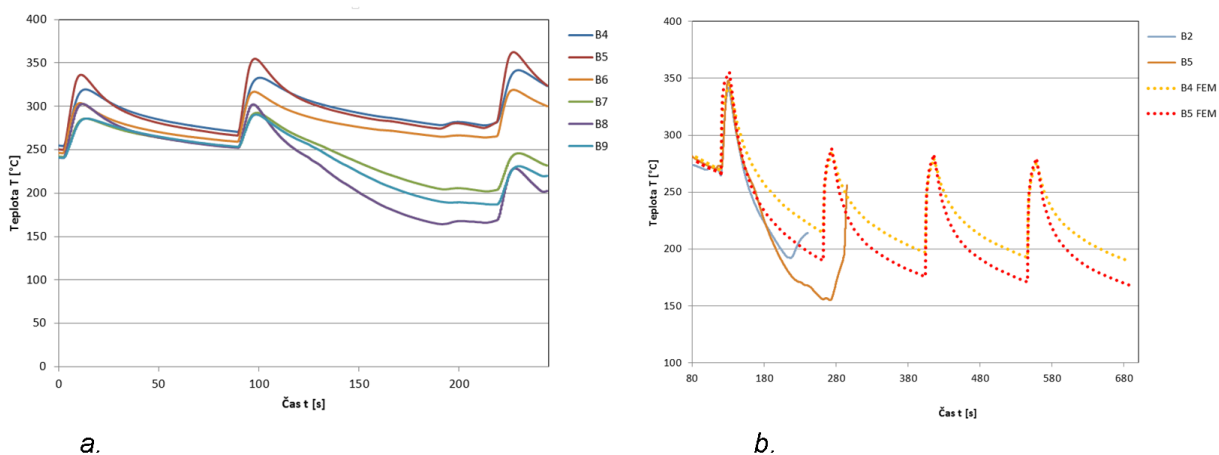


Obr. 4 Porovnání vývoje teplot v definovaných bodech (komora $d=5$ mm, AK2 Ni - plná čára výstup z virtuálního modelu, body - střední hodnoty naměřené během experimentů, bez uvažování vlivu sublimace (a.), 30% využití sublimačního tepla při hmotnostním průtoku $2,1 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ – okolí dna kavity.

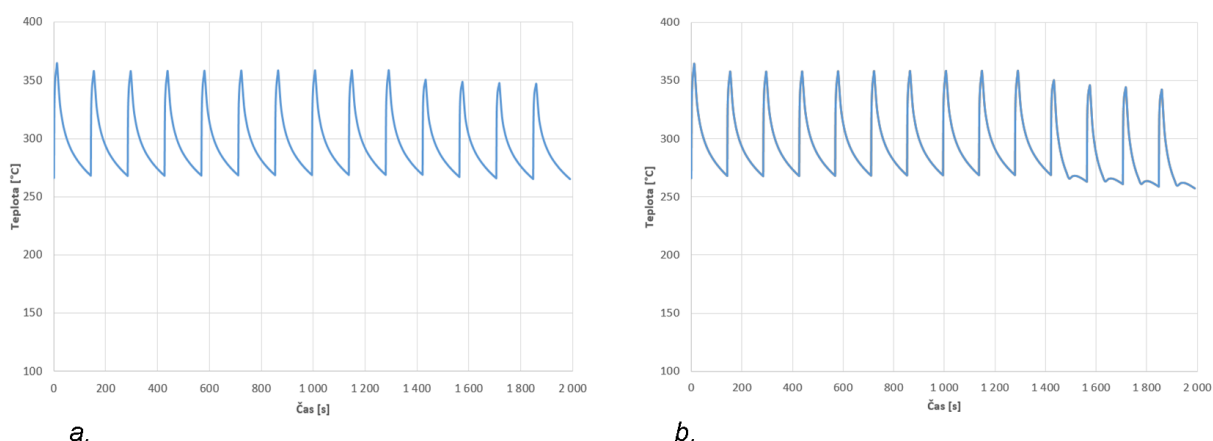
S využitím CFD simulace byly pro dané okrajové podmínky určeny například předpokládané průběhy intenzity chlazení podél chlazené kavity hloubky 30 mm (obr. 3), ovšem bez zohlednění sublimace pevných částí. Při popisu okrajových podmínek chladicí dutiny v souladu s obr. 3 však model (realizovaného experimentu – obr. 2) vykázal značné (ale očekávané) odchylky. Relativně dobré shody bylo dosaženo po zohlednění procesu sublimace podél chladicí kavity při **30% využití předpokládaného sublimačního tepla při hmotnostním průtoku $2,1 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$** (obr. 4b) – distribuce byla popsána v souladu s obr. 3.

Experimenty pod sklovinou

Experimenty pod sklovinou byly realizovány na speciálně navržené modelové formě odvozené od modelového výrobku s půdorysem dna 120x70 mm. Lisování probíhalo bez lisovacího kroužku, s manuálním zakládáním skloviny (tyče obdélníkového průřezu 60x40 mm) na hydraulickém lise. Chladicí kavity byly umístěny v rozích razníku, termočlánky pak v okolí zakončení chladicí kavity (do vzdálenosti 3 mm). V průběhu experimentů byly kromě geometrických charakteristik (vliv průměru chladicí kavity, efektivní délka chlazení, atd.) analyzovány také časové charakteristiky tvarovacího cyklu (modelový tvarovací cyklus byl extrémně dlouhý, pohyboval se v rozmezí 100 – 140 s dle možností obsluhy). Průběh teplot na vybraných termočláncích při kontinuálním chlazení chladicí kavity průměru 6 mm (začátek chlazení odpovídá okamžiku počátku lisování na začátku 2. zobrazeného cyklu) je uveden na obr. 5a.



Obr. 5 Naměřené průběhy teplot na vybraných termočláncích při chlazení chladicí dutiny průměr 6mm (a.), počítačová simulace procesu chlazení – porovnání s vývojem teplot naměřeným na termočláncích B2 a B5 (kavity $d = 2,5$ a 5 mm (b.)



Obr. 6 Modifikované tvarovací cykly (počítačová simulace): zkrácená efektivní délka chladicí kavity, zkrácená doba chlazení (od začátku lisování) – 5s (a.), 40 s (b.)

Z průběhu naměřených teplot na termočláncích B7 - B9 je zřejmý velký potenciál CO_2 a dalších zkapalněných technických plynů pro chlazení tvarovacích nástrojů. Při realizovaných

experimentech byla v průběhu kontinuálního chlazení identifikována rychlost poklesu teploty na termočláncích nejbližší chladicí dutině 1 Ks^{-1} , přičemž tato rychlost zůstává po celou dobu chlazení téměř konstantní. Na základě analýzy realizovaných měření byly identifikovány okrajové podmínky pro počítačový model. Porovnání průběhu virtuální teploty na počítačovém modelu s experimentálně naměřenými teplotami je uvedeno na obr. 5b.

Identifikace okrajových podmínek umožnila komplexněji vyhodnotit možnosti využití CO_2 v oblasti chlazení tvarovacích nástrojů s následnou možností lokální optimalizace průběhu teplotních polí. Na obr. 6 jsou uvedeny 2 příklady možné modifikace tvarovacího cyklu (v obou případech je efektivní délka chlazení zkrácena na 10 mm). V prvním případě (obr. 6a) probíhá chlazení pouze na počátku tvarovacího cyklu, konkrétně po dobu 5 s od okamžiku začátku lisování skloviny. Krátké chlazení na počátku tvarovacího cyklu se projeví snížením rozdílu mezi maximální a minimální teplotou v cyklu, střední teplota se téměř nezmění. Ve druhém případě (obr. 6b) je doba chlazení prodloužena na 40 s, i v tomto případě počátek chlazení odpovídá okamžiku začátku lisování. Prodloužené chlazení se v tomto konkrétním případě projeví rychlejším ochlazením po zalisování následovaným lokální homogenizací teplotního pole v okolí chladicí kavity (obr. 6b).

Závěr

Realizované experimenty prokázaly velký potenciál zkapalněných technických plynů pro využití v oblasti chlazení tvarovacích nástrojů. Při kontinuálním chlazení teplota v okolí vyústění kapiláry výrazně klesá, rychlost chlazení identifikovaná na modelovém razníku dosáhla hodnoty 1 Ks^{-1} . Využití sublimačního tepla pro chlazení se pohybuje nad 30% teoretického chladicího účinku.

Intenzita chlazení založeného na využití CO_2 závisí na umístění chladicí kavity, významný vliv má také umístění kapiláry v chladicí kavitě (optimální vzdálenost mezi ústím kapiláry a dnem chladicí dutiny se pohybuje v rozmezí 5 – 10 mm). Intenzita chlazení je výrazně ovlivněna dobou chlazení a efektivní délkou chladicí dutiny. Přetržité chlazení aktivované pouze po dobu lisování snižuje rozdíl mezi maximální a minimální teplotou v rámci 1 tvarovacího cyklu.

Poděkování

Tento příspěvek (vznikl za finanční podpory Technologické agentury České republiky TAČR v rámci řešení projektu "Aplikovaný multioborový výzkum a vývoj progresivních způsobů chlazení u technologických procesů" (TA 03010492).

Literatura

- [1] NEUMANN, H. a kol. Tepelně-fyzikální vlastnosti CO_2 a jeho ochlazovací schopnost, dílčí technická zpráva: Aplikovaný multioborový výzkum a vývoj progresivních způsobů chlazení u technologických procesů (TA 03010492), TUL, Liberec, 2013
- [2] MATOUŠEK, I. Ověření výsledků v provozních podmínkách, technická zpráva TS 2015 1: Aplikovaný multioborový výzkum a vývoj progresivních způsobů chlazení u technologických procesů (TA 03010492), TUL, Liberec, 2015

Anotace:

Chlazení tvarovacích nástrojů je ve sklářské výrobě stěžejním problémem, který výrazně ovlivňuje jak kvalitu vyráběné produkce, tak i efektivitu výroby. Dosud jsou tvarovací nástroje používané ve sklářské výrobě chlazeny konvenčními metodami. Při tvarování výrobků tvarově složitých nebo netradičních tvarů však mohou nastat problémy spojené s omezenými možnostmi chlazení kritických míst, ve kterých může docházet k lokálnímu přehřátí povrchu tvarovacích nástrojů, které může následně iniciovat lepení skloviny. Jednou z možností intenzifikace chlazení nástrojů pro tvarování skloviny je aplikace zkapalněného oxidu uhličitého (CO₂). V příspěvku jsou ve stručnosti prezentovány vybrané výsledky projektu: Aplikovaný multioborový výzkum a vývoj progresivních způsobů chlazení u technologických procesů.

Summary:**NON-TRADITIONAL METHODS FOR COOLING OF GLASS FORMING TOOLS**

Cooling of glass forming tools is a crucial issue that significantly affects not only final products quality but also efficiency of the glass forming process. Forming tools are cooled by conventional methods so far. During the forming of products with complex and/or unusual shapes problems associated with local overheating in critical areas may occur, which can initiate glass sticking process subsequently. One of the possibilities for intensification of glass forming tools cooling is an application of liquefied carbon dioxide (CO₂).

In the paper selected outputs obtained during the solution of project: Applied multidisciplinary research and development of advanced cooling methods for technological processes are presented briefly.

Pokročilé snímání transparentních materiálů

Ondřej Matúšek, Vlastimil Hotař

Úvod

Strojové vidění a kamerové systémy představují nové odvětví v oblasti automatizace průmyslových linek a stává se velice populárním zejména proto, že představuje nemalou úsporu ve výrobních nákladech firmy. Nejčastější nasazení představuje kontrola kvality, kde kamerové systémy zajišťují bezchybnost expedovaných výrobků. Další častou aplikací je použití systému „oko-ruka“, kdy je robot průmyslovou kamerou přímo naváděn [1].

Vysoce aktuálním problémem jsou však aplikační úlohy robot vision pro snímání transparentních materiálů (např. sklářské aplikace). Tyto materiály jsou transparentní a zatíženy výskytem parazitních reflexí a proto je většinou jejich snímání velice obtížné. Často je nutné volit složitou kombinaci několika typů osvětlení a vhodné polohy jednotlivých prvků systému.

Možné přístupy

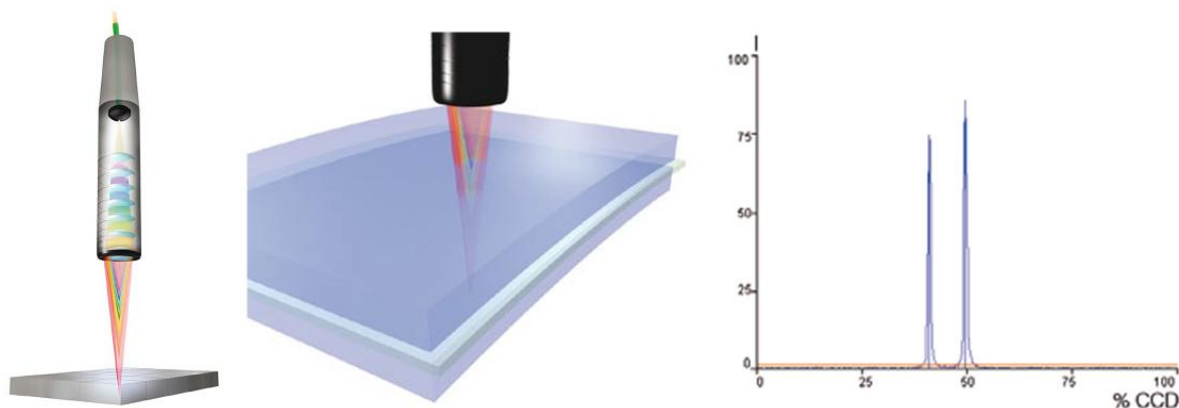
Cílem tohoto příspěvku je detailnější rozbor nových přístupů a následné ověření možností použití robotického vidění pro snímání transparentních materiálů. Budou ověřeny nové přístupy ke snímání těchto materiálů:

- použitím konfokálních snímačů,
- použitím ultrafialových kamer,
- použitím infračervených kamer pro materiály s různou teplotou,
- využitím odlesků na optickém rozhraní.

Použití konfokálních snímačů pro snímání transparentních materiálů

Princip technologie konfokálního snímače spočívá v zaměření polychromatického bílého světla na cílovou plochu pomocí soustavy optických čoček. Čočky jsou uspořádány takovým způsobem, že je bílé světlo rozptýleno do světla monochromatického pomocí řízené chromatické odchylky (obr. 1). Určitá odchylka je přiřazena ke každé vlnové délce při tovární kalibraci. Pro měření je použita pouze vlnová délka, která je přesně zaměřena na cílový povrch nebo materiál.

Světlo, které se odráží od cílového povrchu, přechází přes konfokální clonu do přijímače, který detekuje a zpracovává spektrální změny. Tento jedinečný princip umožňuje provádět velmi přesné měření posunutí a vzdálenosti. Konfokální technologie nabízí rozlišení v řádech nanometrů a pracuje prakticky nezávisle na materiálu měřeného objektu. Je možné docílit také velmi malého a konstantního bodu.



Obr. 1 Princip konfokálního snímače

Tuto metodu lze navíc použít k měření difúzních i zrcadlových povrchů u transparentních materiálů, jako je sklo, je možné jednostranné měření tloušťky společně s měřením vzdálenosti. Při měření nedochází ke stínování, protože vysílač a přijímač jsou uspořádány v jedné ose. [2, 3]

Použití této technologie je vhodné pro veškeré transparentní materiály. V praxi je omezuje především malý rozsah měřených vzdáleností, přesné měření musí být provedeno kolmo na měřený objekt (jen s relativně malou odchylkou), vysoká cena zařízení, dále pak limitovaná vzdálenost mezi snímačem a cílem a také čisté prostředí pro průchod paprsku.

Použití ultrafialových kamer pro snímání transparentních materiálů

UV kamery (někdy též korónové kamery) jsou speciální přístroje určené pro detekci a vizualizaci procesů, které se projevují v UV části spektra tj. v oblasti vlnových délek 240 nm až 380 nm. Díky kratším vlnovým délkám lze pod ultrafialovým světlem sejmout větší detaily než ve viditelném spektru.

Použití této metody se jeví vhodné ve sklářství. Při snímání čirého bezbarvého skla se nabízí využití jiných vlnových délek, než ve kterých je definované viditelné spektrum (vlnová délka 380 až 750 nm). Sklo není transparentní v celém spektru vlnových délek. Rozsah transparence ve vlnových délkách je dán složením skla. U běžného okenního čirého bezbarvého skla bez povrchových úprav jsou sklem úplně pohlcovány vlnové délky zhruba pod 300 až 280 nm. U příměsových skel končí propustnost kolem vlnové délky 400 nm. UV kamera je tedy bude vnímat jako neprůhledné objekty [4, 5].

Použití infračervených kamer pro snímání transparentních materiálů

IR kamery jsou speciální přístroje pro detekci a vizualizaci procesů, které se projevují v infračervené části spektra, tj. v oblasti vlnových délek zhruba od 700 nm do 900 nm. V praxi je obvykle použit IR filtr, který umožňuje průchod infračervenému světlu, ale blokuje většinu viditelného světelného spektra.

V případě delších vlnových délek, než je viditelné spektrum, je sklo při běžné teplotě transparentní prakticky v celé oblasti blízkého infračerveného záření (NIR), krátkých vlnových délek infračerveného záření (SWIR, 1400 až 3000 nm) až do vlnových délek 4000 až 5000 nm, které spadají do středních vlnových délek infračerveného záření (MWIR, 3000 až 8000 nm). Teoreticky využitelné jsou tedy kamery, které umožní zaznamenat elektromagnetické záření

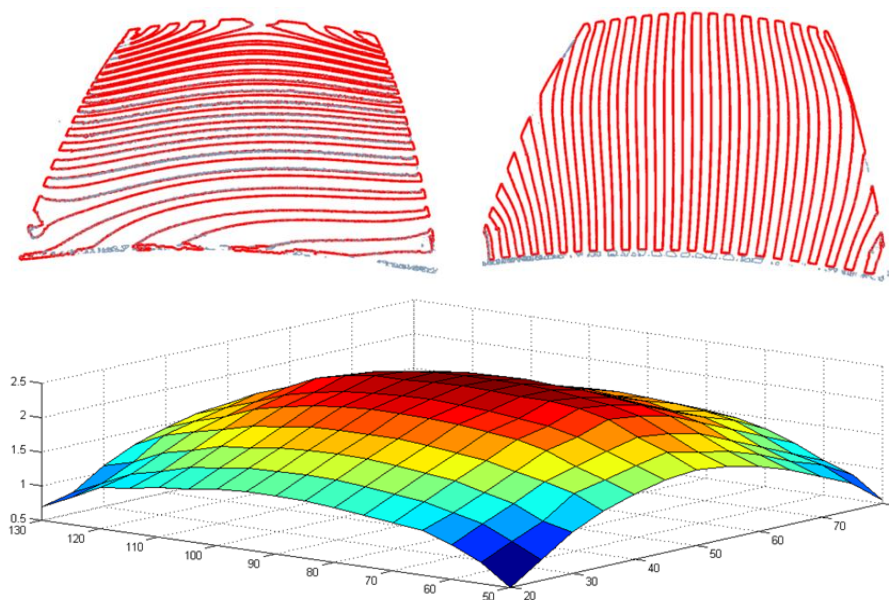
vyšší než je zhruba 4500 nm. Další možností je snímání výrobků ze skla při zvýšené teplotě, kdy dochází již k emisi záření v NIR oblasti [4, 5].

Použití této metody má velký potenciál zejména ve sklářství, kde finální výrobky jsou transparentní a už z procesu výroby přicházejí s vyšší teplotou.

Využití odlesků na optickém rozhraní

Odrazu světla lze využít také pro získání počítačového modelu snímaného objektu ve 3D. Jedná se o získání dat, které umožní virtuální rekonstrukci objektu a jeho bezdotykové měření. V první fázi výzkumu je proveden teoretický rozbor a analýza možností získání modelu 2D objektu. Teoretické aspekty s využitím Fresnelových rovnic ukazují na možnost využití odrazu při relativně velkých úhlech odrazu, zhruba nad $\theta_i = 50^\circ$ a s využitím polarizovaného světla [6].

Tato metoda je založena na promítání vzorů na tvarovaný prostorový objekt. Je využito odrazu a z deformace promítaného vzoru je spočten 3D model. Zde se ukazuje aplikační potenciál pro využití při snímání 3D objektů a vytváření modelů tvarovaných výrobků ze skla, jako jsou například gravitačně tvarovaná autoskla.



Obr. 2 Rekonstrukce 3D modelu na základě odlesků promítaného vzoru

Závěr

Předkládaný příspěvek popisuje inovativní metody snímání transparentních materiálů. Jsou popsány nové cesty přístupu ke snímání těchto materiálů a to použitím konfokálních snímačů, použitím UV (ultrafialových) kamer, použitím IR (infračervených) kamer pro materiály s rozdílnou teplotou a využitím odlesků na optickém rozhraní.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže Technické univerzity v Liberci č. SGS 115/28006, využívající účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum a je financovaná Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] MATÚŠEK, O. Rear-view mirror holder position determination by an industrial camera. In: *Sborník příspěvků Mezinárodní Masarykovy konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky 2011*. Hradec Králové: Magnanimitas, 2011, s. 647-654. ISBN 978-80-904877-7-2
- [2] Automatizace HW [online]. [cit. 2015-08-14]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/komponenty>
- [3] Průmyslová automatizace Omron [online]. [cit. 2015-08-11]. Dostupné z: <http://www.micro-epsilon.cz/displacement-position-sensors/confocal-sensor>
- [4] OSORIO, M. F., A. SALAZAR, F. PRIETO, P. BOULANGER a P. FIGUEROA. *Three-dimensional digitization of highly reflective and transparent objects using multi-wavelength range sensing*. *Machine Vision and Applications*. 2012, 23(4): 761-772. DOI: 10.1007/s00138-010-0308-6. ISSN 0932-8092
- [5] Ihrke I., K. Kutulakos, H. Lensch, M. Magnor, and W. Heidrich, State of the art in transparent and specular object reconstruction, *Computer Graphics forum* Volume 29 (2010), number 8 pp. 2400–2426, DOI: 10.1111/j.1467-8659.2010.01753.x
- [6] HOTAŘ, V., MATÚŠEK, O. Využití reflexe plochého skla pro jeho detekci. *Sklář a keramik*, 62 [2012], č. 7 -8, s. 170-173, ISSN 0037-637

Anotace:

Cílem předkládaného článku je rozbor možností použití robotického vidění pro ztížené aplikace. Je řešena obecná problematika aplikace robotického vidění v praxi. Podrobněji se práce zabývá problematikou snímání transparentních materiálů. Jsou popsány nové cesty přístupu ke snímání těchto materiálů a to: použití konfokálních snímačů, použití UV (ultrafialových) kamer, použití IR (infračervených) kamer pro materiály s rozdílnou teplotou a využití odlesků na optickém rozhraní.

Summary:

NEW APPROACH OF TRANSPARENT MATERIAL ACQUISITION

The aim of the paper is to describe possibilities of robot vision used in difficult application. General problematic of application of robot vision is discussed. The work deals in detail with acquisition of transparent materials. New approaches, such as use of confocal sensors, use of ultraviolet cameras, use of infrared cameras and use of surface reflections are considered in the main section.

Ing. Ondřej Matúšek, Katedra sklářských strojů a robotiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17, e-mail: ondrej.matusek@tul.cz, tel.: 485 354 105

Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D., Katedra sklářských strojů a robotiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17, e-mail: vlastimil.hotar@tul.cz, tel.: 485 352 929

Některé z trendů sklářských strojů a zařízení

Vlastimil Hotař

Úvod

Sklo nebylo nikdy tak rozšířeným běžným materiálem v takové ceně a s takovou nálepkou obyčejnosti jako je dnes. Za toto rozšíření vděčí technologiím, které jsou dnes většinou velmi drahé, ale díky vysokým objemům dosahují relativně nízké jednotkové ceny. V historii došlo k několika zásadním technologickým inovacím, které buď vyplynuly z postupného vývoje a zdokonalování starších zařízení, ale častěji se jednalo o vcelku radikální změny v principu výroby, které vyžadují velké investice, řadu dílčích klíčových změn a v neposlední řadě trpělivost investorů [1, 2, 3].

Kde jsou dnes zásadní inovace?

Otázka, na kterou dokážeme spolehlivě odpovědět až s odstupem několika desítek let. Přesto, existuje tvarovací nebo zušlechťovací technologie, která je očekávaná, soustavně vyvíjená a měla by přinést zásadní změny v kvalitě i v objemech? Je současný vývoj v rámci sklářských strojů směřován v soustavném zdokonalování nebo jsou rozvíjeny skokové inovace technologií?

Současné trendy

Obecné trendy strojů pro sklářský průmysl lze shrnout do těchto bodů [4].

- **Flexibilita**
Stroje i zařízení jsou konstruovány jako lépe přizpůsobivé změně sortimentu v daném výrobním programu, zkracuje se nutná doba pro přestavbu, rozšiřují možnosti přestaveb, je umožněna instalace nových doplňujících zařízení za provozu, ale také změnu objemu výrobků, tedy rychlé linky s relativně širokým rozsahem změny výkonu. Znamená to, že zařízení dokážou vyrábět v režimu snížených objemů při snížené poptávce a naopak při zvýšené dosahovat vyšších výkonů. Trendem je tento rozsah zvyšovat. Kritické je řízení objemu produkce u tavicích agregátů, které jsou v současné době stavěny s touto filozofií. Trendem také je vyrábět na jedné lince současně více typů výrobků. Dobrým příkladem je výroba lahví různých objemů a tvarů současně na jedné lince u řadových strojů. Dávka je tak měněna pro každou sekci, která je vybavena potřebnými formami a nastavena na daný sortiment. Hlavní inovací je plunžrový dávkovač se servopohony, což umožňuje měnit parametry dávky v průběhu výroby.
- **Konkrétní linky pro daný výrobní program**
Jedná se o specializaci, která ve své podstatě nejde proti flexibilitě, protože ta je na dané úrovni zachována jak v sortimentu, tak objemu a případném následném zpracování a zušlechťení. Evidentní je tento trend například u plochého skla (stavební

sklo, surovina pro automobilová skla, skla pro solární panely, speciální tenká skla tloušťky pod 1 mm, skla s tloušťkou nad 15 mm).

- ***Využití odpadního tepla***

Současným dlouhodobým trendem je využití veškeré energie, která je během výroby skleněného produktu použita. Jedná se především o teplo, které je využíváno nejen z procesů tavení a chlazení, ale je také využíváno teplo odváděné při tvarování, následných operacích zpracování a zušlechťení.

- ***Efektivní použití nových nebo vylepšených pohonů***

Většina pohonů, které jsou používány ve sklářské výrobě, prochází neustálým vývojem. Velmi časté je použití servopohonů, které umožňují rychlé přestavení jednotlivých parametrů zařízení a celkově celé linky. Například řadové stroje mohou být prakticky celé osazeny servopohony. Propojení pohonů se senzory, s řídicí jednotkou, s PLC nebo s dalšími zařízeními přes sběrnice dává nové možnosti pro efektivní, spolehlivou a flexibilní výrobu s minimalizací časů při změně sortimentu.

- ***Kontrola a řízení***

Jednoznačným dlouhodobým trendem je využití nových prvků kontroly výroby a hotových výrobků. Osazení linek různými senzory vede k cíli 100 % kontroly výrobků. Vedle klasického měření teplot, rychlostí, vzdáleností, rozměrů se stále ve větší míře uplatňují senzory optické. Jedná se o pořizování obrazů ve viditelném spektru optického elektromagnetického záření. Perspektivní je i neustálé sledování termovizní kamerou a automatické vyhodnocování obrazu, ale také v UV spektru a pomocí konfokálních snímačů. Je třeba si ovšem uvědomit, že senzory jsou nákladovou položkou sklářských linek a samy o sobě nepřinášejí přidanou hodnotu. Trendem je vyhodnocování velkého množství dat pomocí expertních systémů, které umožní předvídat stav výrobního systému a včas provést patřičné opatření. Tato data jsou také vhodná pro výrobce strojů a zařízení, pro jejich následné zlepšení.

- ***Tenčí výrobky - výroba tenkostěnného skla***

Logickým trendem u výrobků ze skla je snižování jejich hmotnosti. Trend je zřejmý u plochého a obalového skla. V případě obalového skla lze odlehčením dosáhnout hned několika cílů, a to především: snížení energetické a surovinové náročnosti na výrobu jedné láhve, snížení fixních nákladů na jednu láhev, snížení nákladů na dopravu surovin, naplněných obalů a střepů k recyklaci (hmotnost ovlivňuje 50 až 60 % nákladů). Současná technologie úzkohrdlého lisofouku má své limity a je třeba přijít s novou technologií tvarování. Jedním z projektů, řešících tuto problematiku je zaměření na jednostupňové tvarování, které by tloušťku stěny z dnešních 1,1 mm (u nejmodernějších linek) měly snížit na 0,7 až 0,8 mm. Snižování hmotnosti plochého skla především u automobilového skla je realitou a to při zvyšujícím podílu zasklení. Při porovnání modelů, jako je VW Golf, GM Astra a Ford Fiesta je u nových modelů používáno o 20 % více autoskel než před 20 lety. Dnes běžně používané technologie propadových (gravitačních) forem mají své fyzikální limity, ke kterým se ohýbaná autoskla velmi přiblížila. AGC v květnu 2011 oznámila, že vyrobila nejtenčí ploché sklo pomocí technologie plavení a to tloušťky 0,1 mm. Sklo je ohebné a dá se navinout, je vyrobené z bezalkalického skla. Využití se předpokládá v nové generaci osvětlení, TFT LCD a OLED displejů, dotykových obrazovek a high-tech aplikacích jako jsou lékařské přístroje [5].

- **Technologie zpracování a zušlechťení**

Technologie dělení tenkého skla laserem se v praxi uplatňuje u nových výrobků, jako jsou sklíčka pro mobilní zařízení (telefony, tablety,...), ale lze se s ním setkat i v případech užitkového skla a dalších typech výrobků. Technologie je v tomto případě tzv. bezodpadová, tedy nevzniká při ní žádný odpad (např. střípinky při dělení vodním paprskem nebo rozbrušování skla). Oproti dělení lámáním má řez vyšší kvalitu a nemusí se většinou již dále opracovávat, řez má nízkou drsnost, což vede k vyšším ohybovým pevnostem a lze řezat i sklo tvrzené. Celkově lze dosáhnout vysokých rychlostí řezu a s tím spojenou vysokou produktivitou. Laserem lze spojovat skleněné trubky, a to i o rozdílných průměrech, sklo s kovem, uzavírat skleněné ampulky a provádět leštění skla, zvláště pak skla optického.

Rozvíjí se také technologie dělení skla pomocí vodního paprsku, která prodělala v posledních letech velký vývoj. Rychlost proudu se pak podle údajů výrobců blíží k rychlostem Mach 4 (1 300 m/s). Sklo může být běžné nebo lepené, řez je čistý, bez tepelného ovlivnění a vzniku pnutí, proces je bezprašný a bez vývinu škodlivých plynů. Výhodou je možnost výroby prakticky jakéhokoliv tvaru a to i částečně ve 3D. Vodní paprsek může být vůči řezanému materiálu přiváděn pod úhlem až 60°, což umožňuje například srážet hrany.

Mechanické matování plochého skla je ekologickou variantou chemického matování a umožňuje výrobu i směrové struktury. Jedná se o kartáčování povrchu plastovými vlákny s diamantovými zrny [6].

- **Další trendy**

Mezi další trendy je možné zařadit eliminaci komplikovaných mechanismů, nové typy chlazení forem (umožňující vyšší rychlosti tvarování), nové typy mazadel, v následném zpracování a zušlechťení a samozřejmě mnoho dalších.

Vize a spekulace

Může se zdát, že s něčím převratným nelze přijít. Podobně se museli cítit vývojáři před 100 lety, a přesto si stěží někdo dokázal představit objemy produkce plochého skla vyráběného na jedné vaně při, v té době, nedosažitelné kvalitě. Jednotková cena obalového skla musela být spíše z říše snů. Objemy užitkového skla v dostupných cenách byly jen snem tehdejších obchodníků. Využití vláken v běžných aplikacích bylo jen vizí. Proto i dnes si stěží dokážeme přestavit technologie, kterými bude disponovat sklářství za 100 let. Nicméně zkusme to.

- **Nové způsoby tvarování**

Některé ze současných technologií tvarování se ukazují být na hranici svých fyzikálních možností jak ve vztahu ke kvalitě, tak i objemu. Tvarování skloviny pomocí kovového nástroje v pevném stavu je běžně používáno ve velkém. Technologie tvarování pomocí otisku kovové formy se blíží ke svým limitům a to jak z pohledu výsledné kvality povrchu, tak i požadavku na snižování tloušťky výrobků ze skla. Lze spekulovat, že při uvážení analogie z jiných tvarovacích technologií, bude trendem tvarování ve „fyzikálních polích“. V případě výroby plochého skla, lze vedle ruční výroby z válců a měsíčního skla uvážit technologii lití mezi kovové válce. Následovala technologie tažení skla z volné hladiny skloviny směrem vzhůru (Fourcault, Libbey-Owens, ...), kde tvarovací silou bylo mimo jiné povrchové napětí. Následovala technologie plavení skla na cínové lázni. Pokud uvážíme takovouto analogii na vývoj

tvárovacích postupů například pro tvarování šatonové suroviny, lze dojít k zajímavým předpovědím. Nejstarším automatickým strojem na mačkání nepíchaného zboží je rotační mačkadlo, které bylo známé od 20. let 20. století. Tvarovací technologie se pomalu blíží k limitům kvality a objemů. Po zvážení analogie se nabízí zdokonalená technologie výroby balotiny fluidním způsobem kulacení (tvarování povrchovým napětím při nadnášení v horkých spalinách). Následovat by mohla technologie probublávání v některé z vhodných kapalin. Nabízí se cín, galium a indium, ale spíše by to mohly být jiné vhodné kapaliny.

Vizí může být také 3D tisk skla, a to jak za účelem získat výrobky neprůhledné (kde je reálnější si technologii představit) nebo rovnou průhledného amorfního materiálu. Je velmi pravděpodobné, že se nebude jednat o složení skla v té podobě, která je dnes běžná.

- **Nové výrobky potřebují nové stroje**

Nové výrobky ze skla nabízejí nové aplikace. Příkladem může být ploché sklo o tloušťce pod 0,5 mm. Sklo je již v této podobě velmi ohebné a nabízí se možnosti využití pro architekturu budoucnosti, která může měnit svůj tvar. Také zasklení budoucnosti nemusí být limitováno na dvojskla nebo trojskla, ale počet skel může být v desítkách i stovkách. Pro nové aplikace bude nutné vyřešit konstrukční technologie a také výrobní technologie (dělení, vrstvení, manipulaci,...). Lepených mnohavrstvých skel by bylo možné využít v architektuře, automobilovém průmyslu, ... Nové postupy tvarování obalového skla budou vyžadovat nová zařízení. Lze očekávat i nové aplikace skla v IT výrobcích, pro jejichž výrobu budou zapotřebí nové stroje.

- **Servisní robotika**

Velmi nadějnou oblastí je servisní robotika, která může být určena pro výrobky ze skla (jako je čištění skleněných fasád), ale také ve formě užití skla pro servisní robotiku.

- **Další vize**

Existují a jsou především doménou odborníků, kteří se specializují na danou oblast sklářské výroby. Mezi tyto vize patří i zvyšování pevnosti skla, které pravděpodobně povede k nutnosti vyvinout nová zařízení i stroje.

Závěr

Sklářské stroje a zařízení budou nejspíš dále flexibilnější, rychlejší, „chytřejší“, komplikovanější, ale snadněji říditelné, propojené v celé komplexy, budou navzájem komunikovat, expertní systémy budou dokonalejší a budou schopny lépe předvídat. To vše bude dražší, ale jednotková cena výrobků bude relativně nízká.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže Technické univerzity v Liberci č. SGS 115/28006, využívající účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum a je financovaná Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] KIRSCH, R. a kol. Historie sklářské výroby v českých zemích, II. díl/1. Praha: Academia. 2003.
- [2] KIRSCH, R. a kol. Historie sklářské výroby v českých zemích, II. díl/2. Praha: Academia. 2003.
- [3] BROUL, J., GISA M., SMRČEK A. Sága rodu Mühlighů: vznik moderního sklářského průmyslu v severních Čechách. Teplice: Glaverbel Czech, a. s. 2005.
- [4] HOTAŘ V. Vize ve vybraných aplikacích skla. Sklář a keramik, 62 (5-6) (2012), s. 111-116.
- [5] AGC: AGC Develops World's Thinnest Sheet Float Glass at Just 0.1 MM. Tokyo: AGC. 2011 [online], [cit. 2011-12-15] <<http://www.agc.com/english/news/2011/0516e.pdf>>
- [6] NOVOTNÝ, F., STARÝ, M., HORÁK, M., PECHAR, J. Nové trendy v oblasti mechanického opracování povrchu plochého skla. Sklář a keramik, 65 (5-6) (2015), s. 91-95.

Anotace:

Sklářské stroje a zařízení prodělaly v minulosti velký rozvoj, který byl umožněn díky novým poznatkům, novým technologiím a vyřešení dílčích klíčových problémů. Vývoj probíhá dále. Autor se v příspěvku zabývá některými z trendů v současných strojích a zařízeních a také některými vizemi v této oblasti.

Summary:

SOME TRENDS OF GLASS PRODUCING MACHINES AND DEVICES

Glass producing machines made great progress, which was allowed thanks to new knowledge, new technologies and solving of key problems. The development is still in progress. Author deals with selected trends and he evaluates chosen visions in a field of current machines and devices.

Aplikace přechodu na mikroúroveň v problémech skla

Pavel Jirman

Úvod - Co je přechod na mikroúroveň

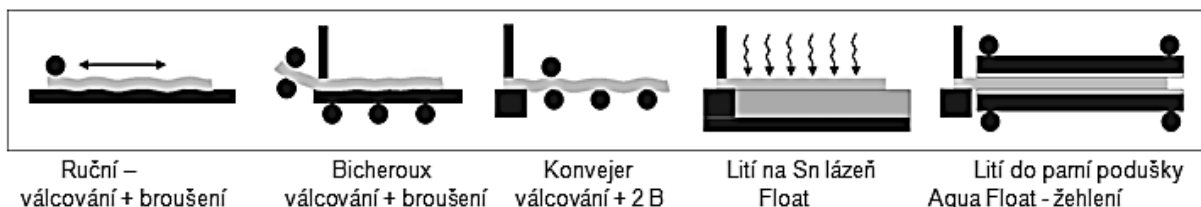
Přechod na mikroúroveň je jedna ze Zákonitostí vývoje technických systémů formulovaných G.S.Altshullerem [1] v polovině 70. let. Více o zákonitostech viz [2].

Formulace zákonitosti přechodu na mikroúroveň zní:

Technický systém vytvořený na mechanické úrovni (makroúrovni), při svém dalším rozvoji přechází k využívání možností systému na mikroúrovni, tj. realizují se možnosti skupenských přeměn látek, jejich molekulárních a atomárních vlastností. Rozvoj pracovních orgánů postupuje od makroúrovně k mikroúrovni ve 3 liniích:

- zvyšováním stupně segmentace látky, tj. „celistvé – vláknité – částice – molekuly – atomy“,
- zvyšováním stupně segmentace „směsi“ látky s prázdnou, tj. „celistvé – celistvé s dutinou – perforované – kapilárně pórovité – kapilárně pórovité s látkou – pěny a gely“,
- záměnou látkové části systému nějakým polem.

Univerzálnost této zákonitosti lze ukázat na příkladu vývoje podložky při zpracování a chlazení plochého skla. Ploché sklo bylo nejdříve podpíráno válečky, a proto jej bylo nutné oboustranně brousit pro dosažení rovinnosti. Potom se přešlo na cínovou lázeň (Float), kde vznikal dokonalý rovný tvar. Ale cínová lázeň má také své problémy se znečišťováním skla, proto lze predikovat další krok řešení využívající tzv. parní podušku, kdy teplo skloviny samo generuje pole tlakové páry, které sklovinu podpírá - viz obr. 1.



Obr. 1 Vývoj výroby plochého skla, vč. predikce

Při aplikaci zákonitosti se využívá přechodu k používání "hlubokých" podsystémů. Tento přístup znamená, že přechod na mikroúroveň řeší zcela specifický účel - najít nové zdroje pro řešení problémů. **Přechod na mikroúroveň je ve skutečnosti způsob vyhledávání zdrojů.**

Instrumentem k uplatnění přístupu je vhodná Funkční analýza, která umožňuje specifikovat různé úrovně technického systému. Pro přechod na mikroúroveň je potřeba zejména analýza podsystémů a to až do úrovně, která je možná, tj. na úroveň molekul a atomů. Funkční analýza může zahrnovat i analýzu polí.

A konečně - kdy má smysl použít přechod na mikroúroveň? Vzhledem k výše uvedenému vymezení je odpověď zřejmá - přejít na mikroúroveň je vhodné v případě, že na aktuální úrovni systému vzniká problém nedostatku zdrojů potřebných k překonání rozporu a přechod do nadsystému nedovolující omezení problému.

Příklad použití přechodu při popisu problémů pevnosti desky skla

Jako předmět analýzy byla vybrána skleněná deska. Jejím hlavním problémem je nízká pevnost v ohybu (příklad byl zvolen proto, že je dobře známý). V příkladu se předpokládá, omezení, že není dovoleno zvýšení hmotnosti nebo podstatná změna složení skla.

Pro analýzu možností přechodu na mikroúroveň byla použita tabulka, kde svise byly uspořádány "klíčové problémy" a vodorovně "Zdroje" použité k řešení klíčových problémů.

Tab. 1 Analýza možností přechodu na mikroúroveň

Systémová úroveň	1 Makro úroveň - Parametry desky	2 Mikroúroveň 1 - Parametry vrstvy desky	3 Mikroúroveň 2 - Parametry oblasti s Griffith. trhlinami	4 Mikroúroveň 3 - složení a struktura v běžném rozložení
Klíčové problémy	1.1 Změna tvaru desky			
1 Makroúroveň (desky). Jak zvýšit pevnost desky				
2 Mikroúroveň 1 (vrstva desky) . Jak vytvořit tlakové napětí ve vnějších vrstvách		2.2 Tvrzení		2.4 Výměna iontů
3 Mikroúroveň 2 (vnější vrstva - oblast s Griffith. trhlinami a bez nich). Jak oslabit / odstranit efekt Griffith. trhlin?		3.2 Leptání vnější vrstvy a různé způsoby leštění	3.3 zatahování/vyhlazování defektních oblastí	
4 Mikroúroveň 3 (vzdálenosti několika atomů). Jak zvýšit pevnost mikro domén?				4.4 Zvýšení pevnosti změnou mikrostruktury v magnetickém poli

Uvedená tabulka (tab. 1) ukazuje zařazení používaných postupů k odstranění defektů a vytváří prostor pro odhalení nových postupů.

Literatura

- [1] АЛЪТШУЛЛЕР Г.С. О законах развития технических систем. – Баку 1977
- [2] MAŠÍN, I., JIRMAN, P. Metody systematické kreativity, Liberec 2012

Anotace:

Při zdokonalování výrobku, procesu je snaha o dosažení řešení problémů s minimálními náklady. K tomu je nutné využívat zdroje v systému. A právě přechod na mikroúroveň je efektivní způsob pochopení a využívání vnitřních zdrojů systému. Přechod na mikroúroveň je jedna ze zákonitostí rozvoje technických systémů.

Pro aplikace přechodu na mikroúroveň je třeba analyzovat systém, definovat systémové úrovně a zdroje, které jsou k dispozici. Článek ukazuje aplikaci přechodu na mikroúroveň na problému pevnosti skleněné desky.

Summary:**APPLICATION OF A TRANSITION TO THE MICROLEVEL ON A CASE OF GLASS PROBLEMS**

During an improvement of a product or a process there is an effort to find a solution with minimal cost. At the same time it is necessary to use resources within the system. Transition to the microlevel is an effective way of understanding and using inner resources of a system. Transition to the microlevel is one of the laws of the technical systems development.

For application of the transition to the microlevel it is necessary to analyze the system, define system levels and resources which are available. This article presents an application of a transition to the microlevel on a case of a problem with the strength of the glass plate.

Ni-Cr-W-C slitiny vhodné pro použití v prostředí tekuté skloviny

Jiří Zýka, Irena Andršová, Karel Hrbáček, Adam Hotař

Úvod

Při dlouholeté spolupráci mezi PBS Velká Bíteš a.s a UJP PRAHA a.s. je řešena problematika studia žárovečných materiálů, které jsou součástí výrobního programu slévárny přesného lití. V rámci vývoje nových slitin byly vyvinuty niklové slitiny vytvrzené karbidy stabilními do velmi vysokých teplot. Tento typ niklových slitin může být použit v prostředí tekuté skloviny při teplotách 950-1000 °C. V UJP PRAHA a.s. byl proveden výzkum materiálových vlastností nově vyvíjených slitin a získané výsledky byly porovnány s vlastnostmi slitiny 141I, která je nejčastěji používána pro danou průmyslovou aplikaci.

Nové slitiny

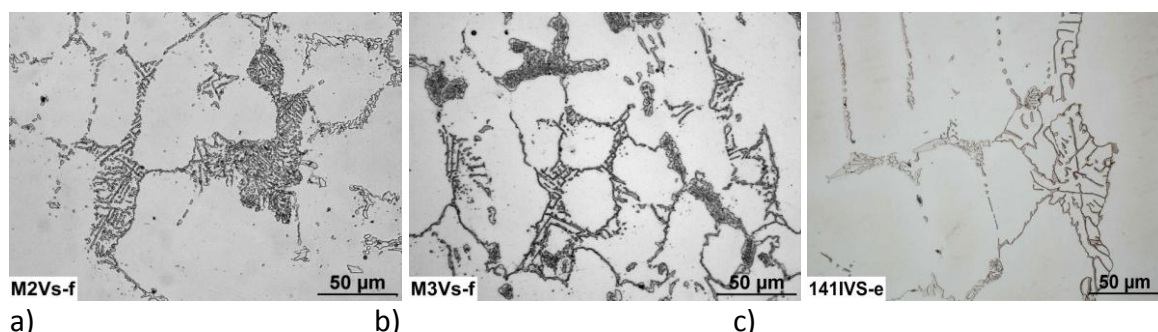
Tavby modelových slitin, pracovních označených M2 a M3, byly odlity v PBS Velká Bíteš a.s. – divize přesného lití. Slitiny byly taveny v indukční peci a odlévány na vzduchu do ingotů. Chemické složení odlitých taveb a slitiny 141I je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 Chemické složení experimentální taveb studovaných slitin

Koncentrace prvků v % hm											
slitina	C	Mn	Si	Cr	Fe	Nb	W	Co	Ta	Zr	Ni
M2	0,37	0,37	1,00	27,09	6,87	2,50	6,04	5,83	-	-	zb.
M3	0,36	0,34	0,89	29,61	7,24	2,79	7,28	8,92	-	-	zb.
141I	0,34	0,58	0,55	26,5	7,97	0,99	4,94	4,47	0,93	0,05	zb.

Strukturní stabilita

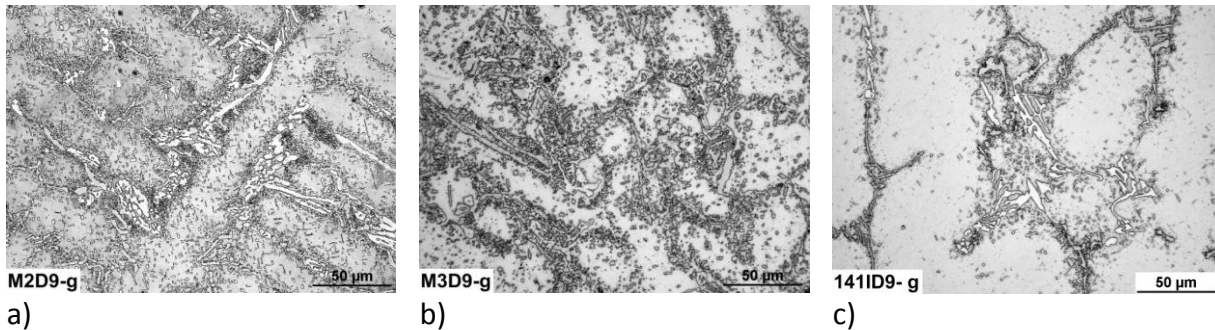
Mikrostruktura slitin M2, M3 a 141I je ukázána ve stavu po odlití na obr. 1. Jedná se o typickou lící strukturu, kde je základní matrice tvořena tuhým roztokem niklu a na rozhraní buněk lící struktury jsou vyloučeny hrubé částice karbidů legujících kovových prvků, které mohou vytvářet i karbidické eutektikum.



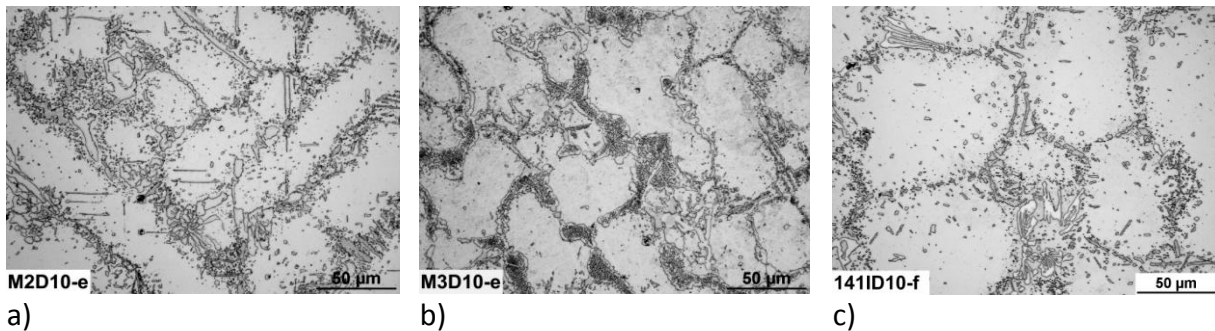
Obr. 1 Mikrostruktury slitin – a) M2, b) M3, c) 141I - stav po odlití

Teplotní stabilita vytvrzujících částic byla ověřena izotermickým žíháním při teplotách 900 °C, 1000 °C, 1100 °C po dobu odstupňovanou od 5 až do 100 hodin. Průběh žíhání byl kontrolován měřením tvrdosti HV 10. Ukázalo se, že při teplotě 900 °C dochází k největšímu

vytvrzení slitin. Metalografickou kontrolou změn mikrostruktury během žihání bylo zjištěno, že během žihání při všech teplotách dochází k precipitaci jemných sekundárních karbidů v okolí karbidického skeletu vyloučeného na rozhraní buněk licí struktury. S vyšší teplotou a prodloužící se dobou žihání dochází k hrubnutí vyloučených částic (obr. 2).



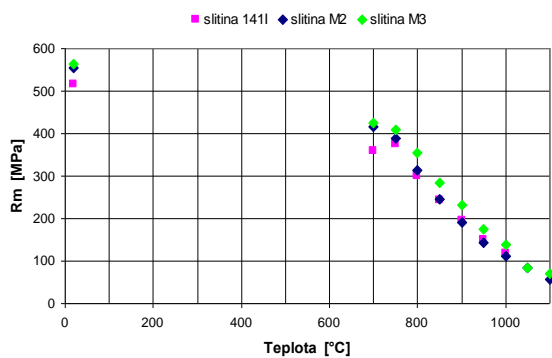
Obr. 2 Mikrostruktury slitin – a) M2, b) M3, c) 141I - žiháno 900 °C/100 h



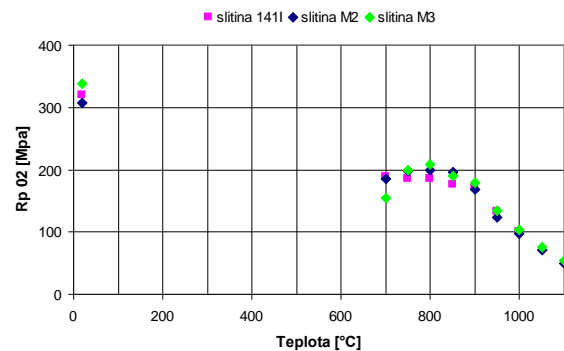
Obr. 3 Mikrostruktury slitin – a) M2, b) M3, c) 141I - žiháno 1100 °C/100 h

Mechanické vlastnosti

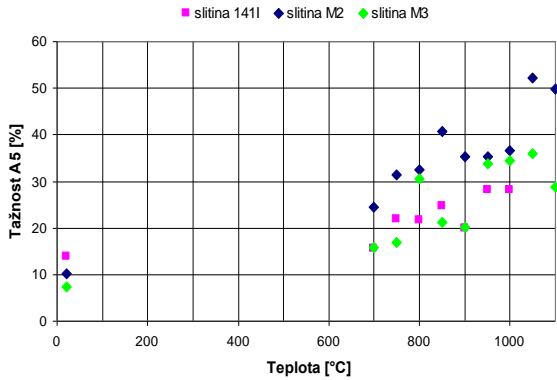
Mechanické vlastnosti byly ověřovány zkouškou tahem a zkouškou rázem v ohybu jak ve stavu po odlití, tak i po exploataci za vysokých teplot (obr. 4-7). Z grafických závislostí vyplývá, že slitina M2 dosahuje prakticky shodných pevnostních vlastností jako slitina 141I. Porovnáním naměřených hodnot tažnosti všech slitin se ukazuje jako nejlepší slitina M2. Hodnoty vrubové houževnatosti jsou relativně nižší, což je dáno charakterem struktury slitin tohoto typu. Naměřené hodnoty jsou u modelových slitin nižší než hodnoty slitiny 141I. Příčinou mohou být licí vady dané sady vzorků.



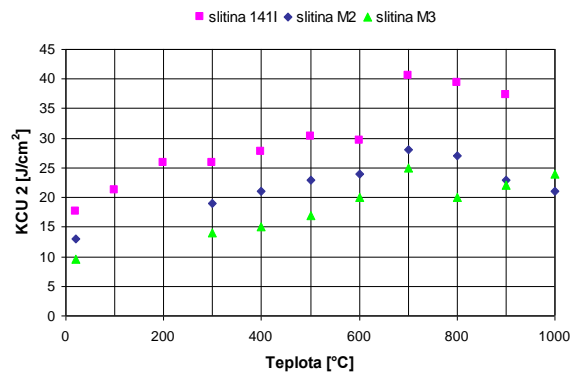
Obr. 4 Teplotní závislost meze pevnosti



Obr. 5 Teplotní závislost meze kluzu



Obr. 6 Teplotní závislost tažnosti



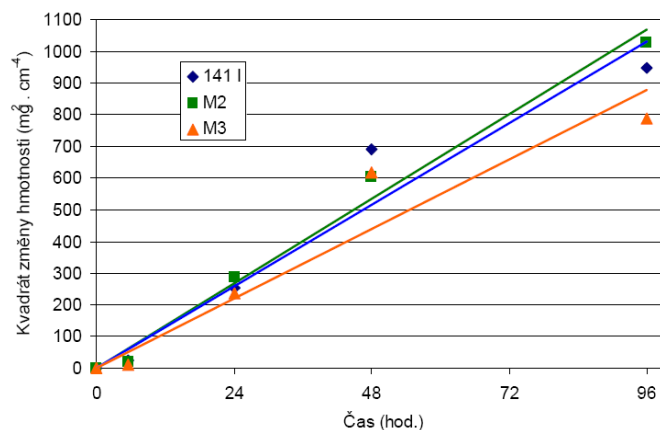
Obr. 7 Teplotní závislost KCU

Výdrž na teplotě během izotermického žíhání významně neovlivnila pevnost slitin. Při teplotě zkoušky 20 °C se hodnoty pevnosti pohybují v rozmezí 530-580 MPa pro všechny teploty žíhání. Pro praktické použití jsou důležité hodnoty tažnosti při vysokých teplotách a ty jsou u těchto slitin příznivé. Lze konstatovat, že nebyly zjištěny významné rozdíly mezi sledovanými hodnotami krátkodobých pevnostních vlastností u nových slitin a srovnávací slitinou 1411.

Koroze slitin v roztavené sklovině

U studovaných slitin bylo ověřováno jejich chování v přímém styku s roztavenou sklovinou. Na Katedře materiálů Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci byly provedeny laboratorní testy slitin 1411, M2 a M3 v roztavené sodnovápenaté sklovině po dobu 96 hodin. Po ochlazení byla na vzorcích provedena analýza korozního napadení. Jednalo se o stanovení změn hmotnosti v závislosti na čase, kvantifikaci změn drsnosti povrchu vzorků vlivem chemických účinků skloviny a rozsah zbarvení skla vlivem interakce se slitinou. Změna hmotnosti byla stanovena zvážením vzorků před a po korozním testu. Z naměřených hodnot vyplývá, že kinetika koroze všech sledovaných niklových slitin je prakticky totožná a odpovídá přibližně parabolickému zákonu (obr. 8).

Korozní testy v roztavené sodnovápenaté sklovině nevykázaly odlišné chování modelových slitin a slitiny 1411. Kinetika koroze se u všech slitin řídí přibližně parabolickým zákonem a nebyly zaznamenány výrazné rozdíly při analýze drsnosti povrchu po korozním testu, ani při metalografickém hodnocení.



Obr. 8 Závislost kvadrátu změn hmotnosti niklových slitin na čase po interakci se sodnovápenatou sklovinou při teplotě 1200°C

Závěr

Při detailním porovnání výsledků mechanických zkoušek při teplotách 20 - 1 000 °C a zkoušek koroze v roztavené sklovině nově navrhovaných slitin s běžně používaným materiálem 141I se jeví velice perspektivní materiál označovaný jako M2. Také změny mechanických vlastností po dlouhodobém účinku vysokých teplot jsou u slitiny M2 malé. Slitinu M2 lze doporučit jako další možnou materiálovou variantu pro odlitky využívané ve sklářském průmyslu.

Poděkování

Práce vznikla za finanční podpory MPO v rámci programu MPO TIP-FR-TI1/095.

Literatura

- [1] STICKLER, R., Phase Stability in Superalloys in High-Temperature Materials in Gas Turbines, Ed. Sahn P.R., Speidel M.J., Elsevier, Amstrdam, 1974
- [2] KUDRMAN, J., ČMAKAL, J., NEDBAL, I., SIEGL, J., KUNZ, J., LAUSCHMAN, H., KARLÍK, M., Úloha uhlíku při tvorbě vysokoteplotních fází ve slitinách nikl-chrom-těžkotavitelný kov. Zpráva č. 852/99, Grantový projekt GAČR reg.č. 106/96/0150
- [3] PODHORNÁ, B., KUDRMAN, J., ČMAKAL, J., Centrum vývoje litých niklových superslitin určených pro extrémní podmínky při vysokých teplotách, Zpráva č. 1046, UJP Praha a.s., 2003
- [4] PODHORNÁ, B., ZÝKA, J., ANDRŠOVÁ, I., Výzkum a vývoj materiálů vhodných pro použití v prostředí tekuté skloviny, vývoj technologií přesného lití nových typů odlitek vysoce tepelně a mechanicky namáhaných. Projekt MPO ev.č. FR-TI1/095,Zpráva UJP č. 1500, UJP PRAHA a.s., 2012
- [5] KIRSCH, R. a kol. Kovy ve sklářství. Informatorium Praha, 1992
- [6] Mandelbrot, BB. The fractal geometry of nature, Freeman WH AND CO. New York,1982
- [7] HOTAŘ, A., Výzkumná zpráva – Laboratorní korozní testy vybraných niklových slitin v sodnovápenaté sklovině, TU Katedra materiálu FS, Liberec, 2010
- [8] Nickel, Cobalt and Their Alloys, ASM SPECIALITY HANDBOOK, ASM International Materials Park, OH 44073-0002, December 2000

Summary:

PROPERTIES OF Ni-Cr-W-C ALLOYS SUITABLE FOR USE IN LIQUID MELT

Cast nickel alloys of Ni-Cr-W-C type are under development in mutual cooperation of UJP PRAHA a.s. and PBS Velká Bíteš a.s. Cast Ni-Cr-W alloys are resistant to high-temperature corrosion and oxidation, due to high chromium content. Their heat resistance is caused by presence of carbides, which are stable at very high temperatures. High corrosion resistance and abrasion resistance of the alloy can be exploited in wear applications. One such particular application is spinner discs casting used for glass fibres production. These castings are used in molten glass environment at temperature range 950 – 1000 °C.

Currently, our company performs development new variants of Ni-Cr-W-C alloys. Their structure and mechanical properties are investigated. Comparison of two newly developed alloys with currently 141I alloy used for spinner discs production is given in presented article.

Ing. Jiří Zýka, Ph.D., UJP Praha a.s., Nad Kamínkou 1345, Praha 5 – Zbraslav, 156 10, e-mail: zyka@ujp.cz

Ing. Irena Andršová, UJP Praha a.s., Nad Kamínkou 1345, Praha 5 – Zbraslav, 156 10, e-mail: podhorna@ujp.cz

prof. Ing. Karel Hrbáček, DrSc., PBS Velká Bíteš a.s, Vlkovská 279, 595 12 Velká Bíteš, e-mail: hrbacek.karel@pbsvb.cz

Ing. Adam Hotař, Ph.D., Katedra materiálu, Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17 Liberec, e-mail: adam.hotar@tul.cz, tel.: 485 353 136

Wolframové pseudoslitiny ve sklářském průmyslu ?

Jiří Zýka, Michal Hájíček

Úvod

Wolframové pseudoslitiny (**Wolfram Heavy Alloys**) jsou vyráběny práškovou metalurgií zaměřenou na požadované vlastnosti finálního výrobku. Ve společnosti UJP PRAHA a.s. se vývojem wolframových pseudoslitin a výrobou polotovarů či konečných výrobků z WHA slitin zabýváme již více než deset let. Tento příspěvek se zabývá základním shrnutím vlastností WHA slitin a jejich použitím. Zabývá se i perspektivou využití WHA ve sklářském průmyslu.

Wolframové pseudoslitiny (Wolfram Heavy Alloys)



Wolframové pseudoslitiny (**Wolfram Heavy Alloys**) jsou vyráběny práškovou metalurgií zaměřenou na požadované vlastnosti finálního výrobku. Základní složkou je wolfram, jehož obsah se obvykle pohybuje od 90 do 98 hm. %. Zbytek směsi pak může tvořit nikl, železo, kobalt, měď a molybden v různých poměrech. Postup práškové metalurgie se skládá z mísení prášků, lisování za studena, sintrace a případně dalšího tepelného a mechanického zpracování. Obvykle se využívá slinování za přítomnosti kapalných fází, což zajistí dosažení plné hustoty materiálu a požadované mechanické vlastnosti. Během tohoto procesu dojde k vytvoření typické dvousložkové struktury, skládající se z kulovitých částic téměř čistého wolframu a matrice tvořené směsí všech použitých kovů. Matrice zajišťuje vyšší plasticitu výsledného materiálu, vysoký podíl wolframu pak vysokou hustotu a modul pružnosti. Specifická hmotnost pseudoslitin se pohybuje v rozmezí 17,1 a 18,8 g/cm³ v závislosti na složení. Volbou chemického složení a tepelného a mechanického zpracování lze cíleně ovlivnit finální vlastnosti výrobku.

Příklad vlastností materiálů WHA vyráběných na pracovišti UJP PRAHA jsou v tabulce 1 včetně odpovídajících struktur.

Slitiny pro penetrátory

Slitiny pro penetrátory také využívají vysokou hustotu wolframu. Vzhledem k vyšším požadavkům na mechanické vlastnosti jsou pro výrobu penetrátorů používány slitiny s vyšším podílem matrice. Dle požadavků zákazníka na hustotu a výsledné mechanické vlastnosti se do slitiny přidává 90-96 % wolframu. Matrice je na bázi niklu, železa a kobaltu. Mechanické vlastnosti jsou výsledkem termomechanického zpracování, které je prováděno po sintraci.

Tab. 1 Přehled vlastností a struktur WHA materiálů vyráběných na pracovišti UJP PRAHA a.s.

Mechanické vlastnosti a struktura WHA materiálů po slinutí a tepelném zpracování		
tvrdost HV 10	290 - 320	 struktura slinutého materiálu
mez kluzu R_{p02}	> 600 MPa	
mez pevnosti R_m	> 900 MPa	
tažnost A₅	> 15 %	
Mechanické vlastnosti a struktura WHA materiálů po tváření s celkovou redukcí 30-40%		
tvrdost HV 10	400 - 600	 struktura tvářeného materiálu
mez kluzu R_{p02}	1000 - 1700 MPa	
mez pevnosti R_m	1200 - 1700 MPa	
tažnost A₅	> 5 %	
modul pružnosti v tahu E	330 - 380 GPa	

Slitiny pro radiační stínění

Hlavním požadavkem na tyto slitiny je co nejvyšší hustota. Teoretická hustota wolframu je 19,3 g/cm³. Čistý wolfram je však obtížně vyrobitelný a opracovatelný, proto se pro tyto aplikace s výhodou využívá pseudoslitin wolframu s co nejnižším podílem matrice. Obsah wolframu se u těchto aplikací pohybuje kolem 95-98%. S vyšším podílem wolframu jsou ale spojené technologické komplikace při lisování i slinování. Nároky na mechanické vlastnosti jsou zde podstatně nižší než u materiálů určených pro průbojnou municí. Vlastnosti ale musí být dostatečné k tomu, aby šel materiál snadno opracovat a vydržel zacházení při výrobě a poté ve výrobku.

Dalším speciálním požadavkem mohou být magnetické vlastnosti. Materiály používané pro stínění v přístrojích magnetické rezonance musí být diamagnetické, aby nerušily funkci přístroje. Pro tyto aplikace se používá wolframová pseudoslitina s matricí z niklu a mědi.

Možnost úspory rozměrů, zejména příčných, radiačního stínění v sobě nese další komplikaci. Polotovary s velkým podílem délky ku tloušťce se současnou technologií vyrábí velice obtížně. Často dochází k praskání polotovarů zejména při lisování.

Výrobky z wolframových pseudoslitin

Pracoviště wolframových materiálů v UJP PRAHA a.s. v současné době vyrábí součásti pro radiační stínění a onkologické ozařovače. V oboru muniční aplikace pak penetrátory pro ráže (9 mm; 12,7 mm; 20 mm a 30 mm). Maximální rozměry slinutých polotovarů jsou dané průměrem 360 mm a výškou 250 mm (hmotnost ~ 250 kg).

WHA materiály v současnosti v různých oborech plně nahrazují užívání uranových slitin. Jejich předností je vynikající korozní odolnost, jsou dobře opracovatelné, nejsou ekologickou zátěží.

Využití je velmi variabilní, zahrnuje řadu průmyslových odvětví:

- výroba radiačního stínění, kontejnery pro přepravu radioizotopů, kolimační systémy pro onkologické ozařovače
- penetrátory probíjející vysoce pevné pancíře
- vyvažovací závaží v letectví
- vysoce tuhé držáky nástrojů s nízkou vibrací a vrtací tyče

Slitiny pro sklářství

Vzhledem k tomu, že čistý wolfram se ve sklářství používá, nabízí se otázka, zda by šly použít i wolframové pseudoslitiny. Výhodou by mohly být mechanické vlastnosti – hustota, tažnost, modul pružnosti, obrobitelnost, odolnost proti abrazi. Nejistotou je doposud chování za vyšší teploty, z pohledu koroze či oxidace a mechanických vlastností za vysoké teploty. Lze vyzkoušet, či upravit složení a technologický postup výroby pro vybranou aplikaci.

Dle knihy *Kovy ve sklářství* se wolfram používá pro konstrukční součásti sklářských pecí, podobně jako molybden, důležitá je však ochranná atmosféra, např. vodíku či dusíku. Wolfram se používá i ve formě sloučenin či slitin, jako jsou slinuté karbidy, či slitiny wolframu a mědi nebo wolframu a niklu. Wolfram se také používá v bižuterním průmyslu pro výrobu sklářských jehel. Dále se wolfram používá jako zátavový kov se sklem, k přípravě tenkých vrstev na skle, k výrobě sklářských forem.

Tato paleta použití wolframu se pro wolframové pseudoslitiny zúží použitím matrice s nižším bodem tání. Patrně by však mohlo být možné zkusit vyrobit z WHA slitin sklářské jehly či kompozit wolfram měď. Ověření těchto možností bude následovat.

Závěr

Byly představeny wolframové pseudoslitiny, jejich struktura a typické vlastnosti. Byl prezentován výrobní program výrobků a polotovarů z WHA společnosti UJP PRAHA a.s. Byla nastolena otázka použití WHA ve sklářském průmyslu.

Literatura

- [1] LASSNER, E., SCHUBERT, W. D. Tungsten. Kluwer 1999, New York
- [2] KIRSCH, R. Kovy ve sklářství. Informatorium 1992, Praha, s. 202

Anotace:

Wolframové pseudoslitiny (**Wolfram Heavy Alloys**) jsou slitiny wolframu přes 90%hm a prvků jako je železo, nikl, kobalt, měď. Tyto prvky spolu s příměsí wolframu tvoří matici, ve které jsou wolframové částice. WHA jsou vyráběny práškovou metalurgií z prášků jednotlivých prvků.

Výhodou WHA jsou výborné mechanické vlastnosti – hustota, pevnost, tvrdost, tažnost, modul pružnosti, obrobiteľnosť, odolnosť proti abrazi. Specifická hmotnosť pseudoslitin se pohybuje v rozmezí 17,1 a 18,8 g/cm³ v závislosti na složení. Volbou chemického složení a tepelného zpracování lze cíleně ovlivnit finální vlastnosti výrobku.

V UJP PRAHA a.s. jsou z wolframových pseudoslitin vyráběny zejména polotovary pro radiační stínění a penetrátory pro průbojnou munici. Dále jsou z WHA vyráběna závaží a vysoce tuhé držáky obráběcích nástrojů. V současné době je zkoumána možnost použití WHA ve sklářství.

Summary:**WOLFRAM HEAVY ALLOYS IN THE GLASS INDUSTRY?**

Wolfram heavy alloys are based on high tungsten content (over 90 wt.%) mixed with other elements e.g. iron, nickel, cobalt, copper. These alloying elements form matrix in which tungsten particles are embedded. WHA are produced by powder metallurgy process from single element powders.

Wolfram heavy alloys perform excellent mechanical properties – high density, high Young modulus, strength, hardness, ductility, machinability, wear resistance. Mechanical properties, as well as density, are result of chemical composition and thermomechanical treatment.

UJP PRAHA a.s. is mainly engaged in the manufacture of components for radiation shielding and armour-piercing subcalibre penetrators. Counterweights in the aircraft industry and high-stiffness tool holders are produced as well. Currently, possibilities of WHA in glass making industry are under investigation.

Ing. Jiří Zýka, Ph.D., UJP PRAHA a.s., Nad Kamínkou 1345, Praha 5 – Zbraslav, e-mail: zyka@ujp.cz, tel.: 227 180 364

Ing. Michal Hájíček, UJP PRAHA a.s., Nad Kamínkou 1345, Praha 5 – Zbraslav

Korozní odolnost wolframových pseudoslitin ve sklovinách

Adam Hotař, Jiří Zýka, Michal Hájiček

Úvod

Korozní odolnost kovových materiálů výrazně závisí na chemickém složení skel. Jestliže dojde ke změně skla například zavedením nových ekologických požadavků, často nastává situace, že dosud používané materiály v nových podmínkách selhávají. Například klesá životnost tvarovacích nástrojů a tím rostou náklady na výrobu. Proto je nutné nalézt nové materiály, které budou těmto vysokým požadavkům vyhovovat lépe. Takovými materiály by mohly být pseudoslitiny na bázi wolframu. Proto byly provedeny úvodní korozní testy těchto materiálů a byla zkoumána korozní odolnost v sodnovápenaté sklovině a v bezolovnatém křišťálu LIBA.

Experiment

Korozní odolnost byla určována u čtyř pseudoslitin na bázi W o chemickém složení, které je uvedeno v tab. 1. Z těchto materiálů byly vyrobeny vzorky ve formě krychliček o hraně 10 mm, povrch vzorků byl před korozním testem broušen SiC papíry až do zrnitosti P1200. Zvážené a opláchnuté vzorky lihem byly vloženy do korundových kelímků a následně obsypány drtí příslušného skla (tab. 2). Následně byly kelímky vloženy do studené pece. Teplota byla zvolena tak, aby odpovídala viskozitě $\log \eta=4,3$. Proto teplota korozního testu v sodnovápenaté sklovině byla 920 °C a ve sklovině LIBA 960 °C. Po vyhřátí pece na požadovanou teplotu byla měřena doba korozního testu. Po 48 hodinách byla pec vypnuta a kelímky pomalu chladly v peci na teplotu okolí. Po ochlazení byly kelímky se sklem šetrně rozbity a na vzorcích byla provedena analýza korozního napadení.

Tab. 1 Chemické složení wolframových pseudoslitin, měřeno XRF spektrometrem Delta

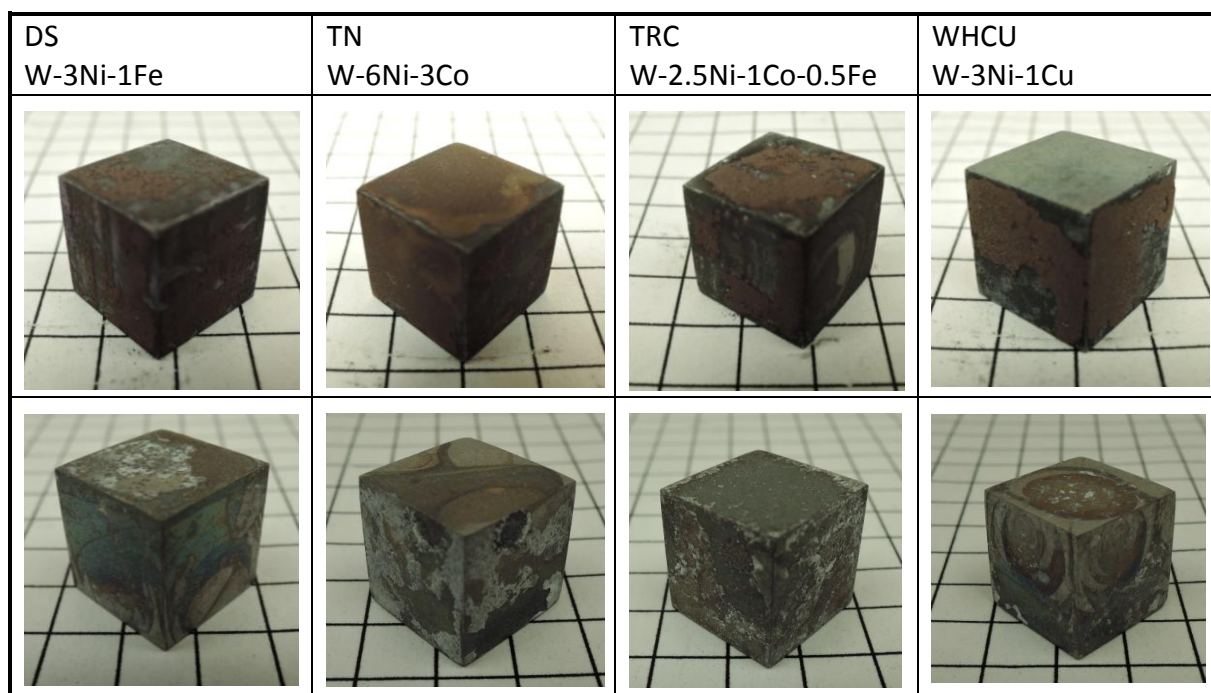
Chemické složení (hm.%)	Ni	Fe	Co	Cu	W
DS W-3Ni-1Fe	3.65 ± 0.04	1.45 ± 0.03	-	-	94.9 ± 0.05
TN W-6Ni-3Co	7.62 ± 0.05	-	3.5 ± 0.04	-	88.89 ± 0.06
TRC W-2.5Ni-1Co- 0.5Fe	3.47 ± 0.04	0.77 ± 0.02	1.32 ± 0.02	-	94.44 ± 0.05
WHCU W-3Ni-1Cu	4.46 ± 0.04	-	-	1.34 ± 0.03	94.21 ± 0.05

Tab. 2 Chemické složení skel (dodané výrobcem)

Chemické složení (hm. %)	Sodnovápenatá sklovina Float	Bezolovnatý křišťál LIBA
SiO ₂	71,7	68
Al ₂ O ₃	0,739	-
CaO	9,11	6
MgO	4,13	-
Fe ₂ O ₃	0,075	-
Na ₂ O	13,57	11
K ₂ O	0,139	6
SO ₃	0,263	-
TiO ₂	0,063	-
BaO	-	4
ZnO	-	3

Výsledky

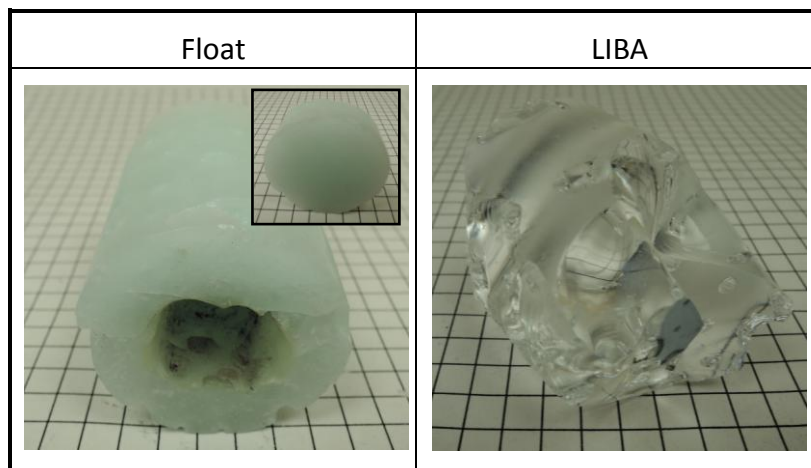
Po korozních testech bylo zdokumentováno zbarvení skla a povrchy vzorků. Korozní napadení bylo kvantifikováno na základě změn hmotnosti vzorků.



Obr. 1 Vzhled vzorků po korozním testu v sodnovápenaté sklovině při 920 °C/48 hod. (první řádek) a ve sklovině LIBA při 960 °C/48 hod. (druhý řádek)

Z obr. 1 vyplývá, že vzorky po interakci se sklovinou Float si zachovávají tvar a ostré hrany. Povrch je více, či méně pokryt vrstvičkou oxidů hnědé barvy. Souvislá vrstva oxidů je na vzorku TN. V případě korozních testů ve sklovině LIBA, se tvar ani rozměr vzorků také nezměnily. Vzorky mají na povrchu barevné skvrny a pravděpodobně zbytky oxidů.

Wolframové pseudoslitiny v průběhu interakce se sklovinami Float i LIBA nezpůsobují nežádoucí zbarvení (obr. 2). Sklo LIBA je po korozním testu čiré. Mléčné zbarvení skloviny Float není způsobeno interakcí s wolframových pseudoslitinami, ale pravděpodobně přítomností velkého množství bublinek. To dokazuje stejné zbarvení skla, které nebylo v kontaktu se žádným kovovým materiálem.



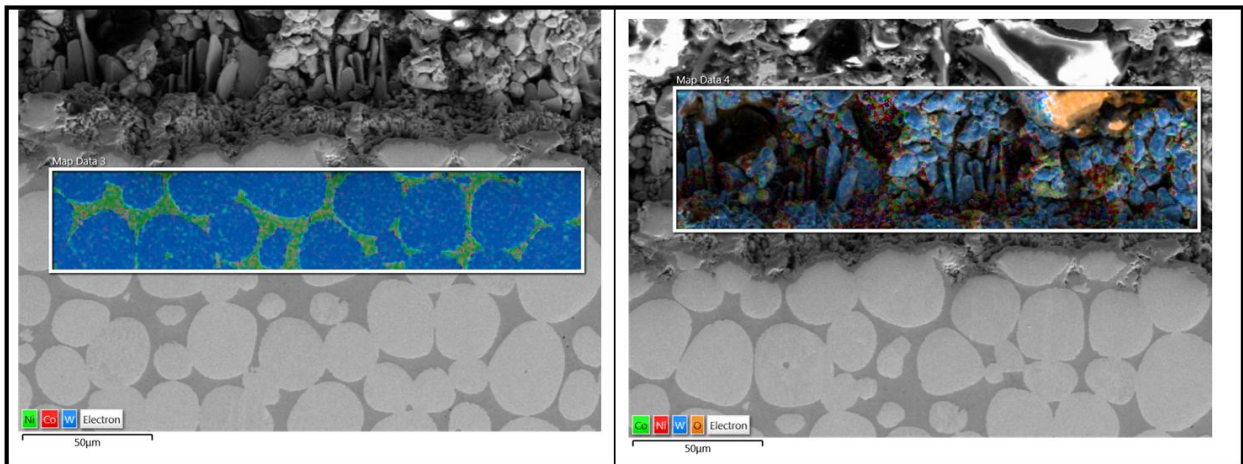
Obr. 2 Střepy skel po interakci s pseudoslitinou TN; vlevo je navíc obrázek skla Float, které nebylo v kontaktu se žádným kovovým materiálem

Na základě rozdílu hmotnosti vzorků před a po korozním testu byla stanovena změna hmotnosti na jednotku plochy, viz tab. 3. Po interakci se sklovinou LIBA byly u všech sledovaných materiálů naměřeny větší změny hmotnosti než po korozním testu v sodnovápenaté sklovině. Nižší úbytky po interakci se sklovinou Float jsou pravděpodobně způsobeny oxidy ulpívajícími na povrchu. Nejvíce je pokryt oxidy vzorek z TN, proto byl dokonce naměřen přírůstek hmotnosti (obr. 1 a 3). Z tab. 3. je také zřejmé, že po korozních testech v obou sklovinách je stejné pořadí materiálů z hlediska úbytků. Nejmenší změny hmotnosti má TN pak následují TRC, DS a WHCU. Z tohoto pohledu je tedy nejvíce odolná pseudoslitina TN v obou sklovinách.

Tab. 3 Hmotnostní úbytky/přírůstky po korozním testu ve sklovinách, při stejné viskozitě sklovin

Úbytky/přírůstky hmotnosti (mg . cm ⁻²)	DS W-3Ni-1Fe	TN W-6Ni-3Co	TRC W-2.5Ni-1Co-0.5Fe	WHCU W-3Ni-1Cu
Ploché sklo – Float 920 °C/48 hod.	-5.42	+1.28	-3.22	-5.64
LIBA 960 °C/48 hod.	-8.46	-5.14	-5.26	-9.30

Oxidická vrstva a povrchové partie vzorků byly proměřeny z hlediska chemického složení pomocí EDS analýzy. Z výsledků je patrné, že povrchy vzorků oxidují rovnoměrně a není patrná selektivní oxidace komponent spékaného materiálu, viz obr. 3. Z obrázku je také zřejmé, že oxidická vrstva je převážně složená z oxidů wolframu.



Obr. 3 Chemické složení pseudoslitiny TN pod oxidickou vrstvou (vlevo), složení oxidické vrstvy (vpravo); po korozním testu ve sklovině Float 920°C/48 hod.

Závěr

Z naměřených výsledků lze učinit následující závěry:

1. Korozní odolnost wolframových pseudoslitin je vyšší ve sklovině Float než ve sklovině LIBA.
2. Z hlediska korozních úbytků je pseudoslitina TN (W-6Ni-3Co) nejvíce odolná vůči korozním účinkům obou sklovin.
3. V průběhu korozních testů všech pseudoslitin nedocházelo k barevnému znehodnocení obou sklovin.

Anotace:

Korozní odolnost wolframových pseudoslitin byla zkoumána v sodnovápenaté sklovině a bezolovnatém křišťálu (LIBA). Stanovení korozní odolnosti v roztavené sklovině bylo provedeno měřením změn hmotnosti a chemických změn povrchu. Výsledky ukazují, že TN (W-6Ni-3Co) má nejlepší korozní odolnost vůči oběma sklovinám.

Summary:

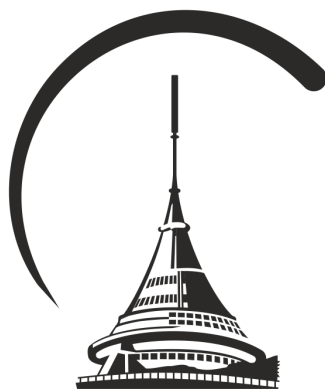
CORROSION RESISTANCE OF WOLFRAM HEAVY ALLOYS IN MOLTEN GLASSES

The corrosion resistance of wolfram heavy alloys was investigated in soda-lime glass and crystal glass without lead (LIBA). Corrosion resistance against molten glass was determined by measuring of weight changes and chemical changes of sample surface. The results show that TN (W-6Ni-3Co) has the best corrosion resistance against both molten glasses.

Ing. Adam Hotař, Ph.D., Katedra materiálu, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17, e-mail: adam.hotar@tul.cz, tel.: 485 353 136

Ing. Jiří Zýka, Ph.D., UJP PRAHA a.s., Nad Kamínkou 1345, Praha 5 – Zbraslav

Ing. Michal Hájíček, UJP PRAHA a.s., Nad Kamínkou 1345, Praha 5 – Zbraslav



SKLÁŘSKÉ STROJE KOVY VE SKLÁŘSKÝCH TECHNOLOGIÍCH

Liberec, 17. září 2015



Název	Sborník abstraktů XIV. mezinárodní konference sklářské stroje a semináře kovy ve sklářských technologiích
Autoři	Kolektiv autorů (obsah)
Editor	Marie Stará
Vydavatel	Technická univerzita v Liberci , Studentská 2, 461 17 Liberec, ČR Česká sklářská společnost , Arbesova 4501/66a, Mšeno nad Nisou, 466 04 Jablonec nad Nisou, ČR
Schváleno	Rektorátem TUL dne 3.9.2015 čj.RE 49/15
Vyšlo	v září 2015
Počet stran	56
Vydání	1.
Tiskárna	Vysokoškolský podnik, s. r. o., Studentská 2, 461 17 Liberec, ČR
Číslo publikace	55-049-15
ISBN	978-80-7494-226-6

Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou.



9 788074 194226