

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***

**XV. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE SKLÁŘSKÉ STROJE**  
***15<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON GLASS PRODUCING MACHINES***

**A**  
***AND***

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

13. ZÁŘÍ 2018, LIBEREC, ČESKÁ REPUBLIKA  
*13<sup>rd</sup> SEPTEMBER 2018, 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>

© 2018

**Technická univerzita v Liberci**

Studentská 1402/2, 461 17 Liberec, Česká republika

**Česká sklářská společnost**

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

ISBN 978-80-7494-425-3

## Obsah (Content)

### **Sklářské stroje (Glass Producing Machines)**

*Gesslein Joachim*

*Horn Glass Industries AG, Germany*

What are the future requirements for glass conditioning systems? ..... 7

*Hotař Vlastimil*

*Technická univerzita v Liberci, Katedra sklářských strojů a robotiky*

Průmysl 4.0 ve sklářském průmyslu a technologie 3D tisku ze skla  
Industry 4.0 in Glass Industry and 3D Glass Printing Technologies ..... 9

*Jirman Pavel*

*Institut kreativity a inovací*

Pojem ideálnosti v konstrukci sklářských strojů  
The Notion of Ideality in Design of Glass Machines ..... 14

*Jirman Miloš*

*Institut průmyslového inženýrství*

Využití internetu věcí ve sklářství  
The Introduction of Internet of Things into the Glass Industry ..... 17

*Starý Michal*

*Technická univerzita v Liberci, Katedra sklářských strojů a robotiky*

Nová technologie opracování povrchu skla kompozitním kartáčem s diamantovým brusivem  
New technology for surface treatment with a composite brush with diamond abrasive .... 20

*Horák Marcel*

*Technická univerzita v Liberci, Katedra sklářských strojů a robotiky*

Optimalizace konstrukce sonotrody pro vrtání skla ultrazvukem  
Computer Modeling of Sonotrode Design for Ultrasonic Glass Drilling ..... 25

*Matúšek Ondřej*

*Technická univerzita v Liberci, Katedra sklářských strojů a robotiky*

Možnosti detekce bortů plaveného skla na výrobní lince  
Detecting Borders of Float Glass on the Production Line Using Reflected Laser Beam ... 29

*Matoušek Ivo*

*Jablonec nad Nisou*

Příspěvek k problematice reologického chování skloviny  
*Point to Issue of Reological Behavior of Glass Melt During Forming* ..... 35

*Jiří Kořenský*

*Jablonec nad Nisou*

Je užitkový křišťál (PbO-LCG) pro spotřebitele rizikový?  
*Is crystal glass (PbO-LCG) for consumers risky?* ..... 44

*Marek Kovář*

*Benteler Maschinenbau*

Vývoj sekce myčky pro odstranění antireflexní vrstvy  
Development Of Washing Machine Section For Removing Of Antireflex Coating ..... 48

***Kovy ve sklářských technologiích (Metals in Glass technologies)***

*Jiří Zýka*

*UJP PRAHA a.s.*

Vlastnosti nové Ni-Cr-W-C slitiny vhodné pro použití v prostředí tekuté skloviny  
Properties of a New Ni-Cr-W-C Alloy Suitable for Use in Molten Glass ..... 52

*Václav Sklenička*

*ÚFM AV ČR v.v.i*

Creep properties of selected cast superalloys for glass industry ..... 58

*Adam Hotař*

*Technická univerzita v Liberci, Katedra materiálu*

Korozní odolnost slitin na bázi niklu a slitin na bázi kobaltu v sodnovápenaté sklovině  
Corrosion Resistance of Nickel-Based Alloys and Cobalt-Based Alloys in Molten Soda-Lime  
Glass ..... 62

## 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 XV. Mezinárodní konferenci Sklářské stroje a seminář Kovy ve sklářských technologiích, přičemž tato tradiční konference a seminář 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 13 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 15<sup>th</sup> International Conference on Glass Producing Machines and seminar Metals in Glass Technologies, during this traditional conference and seminar which have been already organised in three year period.

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 13 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



## **What are the future requirements for glass conditioning systems?**

*Joachim Gesslein*

In my presentation I will give you an overview about current demands, developments and future requirements for glass conditioning systems. Glass conditioning is a very important precondition for the forming process and has a not inconsiderable influence on the production results. Within the last decades of glass production the demands on glass conditioning systems increased drastically, for example if the pull goes up to 200 tpd, the pull range and FH flexibility is much higher, multi gob production for light weight articles is widespread with high thermal homogeneity requirements, high job change frequency and color changes in the furnace, increasing changes in the heating gas composition and at the same time customers expect less energy consumption and low maintenance.

In order to meet the demands of glass producers FH suppliers worked very hard on the improvement of highly efficient distributor and FH systems as well as on the equipment and additional tools like stirrer systems and drains to improve the glass quality. However, now a state is reached which doesn't allow any big steps forward. A complete change of the existing solutions is pretty much excluded because the investment budget is mostly limited. However, in this context the glass producers should also consider, that the investment in a glass conditioning system is in most cases less than 1 % of the later production value.

Some additional tools like intelligent control systems speed up systems make it more stable in order to avoid operating errors and save energy. In some cases it is also possible to reach some advantages with additional or full electrical heating systems. But the most important factor is still a good engineering of the glass conditioning systems with right dimensions of the glass bath, heating and cooling systems. This is the most important precondition to achieve successful production results and low operation costs as the outcome. For this reason the glass producer should define realistically production conditions to put the FH designer in a position which allows him to use the available know how and technical solutions in a right way.

Furthermore there is additional potential to improve the glass conditioning systems because the glass conditioning doesn't end in front of the spout. Strictly speaking the glass conditioning only ends when the glass has reached the forming process in a mold. The spout area and gob distribution systems are also parts of the glass condition system because the temperature- and viscosity profile is changing here again. Especially the knowledge about the optimal temperature and respectively the glass viscosity, the optimal gob shape and location when the gobs are entering the forming process is an important precondition to achieve an optimal forming result. Most customers have no exact information about the real conditions in this area and what is the necessary optimum before the forming process starts. With new developed high speed camera systems it is possible nowadays to measure and control partially the conditions exactly on this point. This allows the FH and machine operators to optimize the gob shaping and distribution and helps to find out some deviations and mistakes and correct it during the ongoing production very early.

Another optimization potential is the spout area, because it is also a very important part of glass conditioning and it can't be considered separately. The correct selection of spout type including the spare parts suitable to the planned production and the correct adjustments during the operation is very important precondition in order to ensure, that all available

adjusting wheels are in inside a good control range and allow very accurate and reproducible fine adjustments. Within a new approach the glass producers can check and optimize all this things within a new developed software tool for spout adjustment and calculation.

The main task of the calculation is to find out, under which conditions it is possible to reach a stable equilibrium between the available glass level in front of the spout and the hydrostatic pressure drop including a heat balance. The following parameters can be varied freely:

- gob weight, cutting speed and number of gobs
- main glass properties like viscosity, density and specific heat
- temperature distribution in front of the spout
- spout dimensions, firing adjustments and insulation
- tube height, velocity and direction
- plunger height, stroke and diameter
- orifice ring dimensions
- distance between scissors and orifice ring

The calculation software can be used for optimization of existing installations in case of a need when gob dimensions,- weight,- and temperature must be optimized or if some machine parameters or glass properties are changed or to find out the optimal start up conditions for new installations or articles without reliable experience and to consider the necessary spout equipment and adjustments together with the associated starting conditions.

Even today, gob feeders are often designed and operated only on the basis of experience values and are optimized according to the "trial and error method" during operation, without knowledge of a possible optimum. Glass technological influences and other boundary conditions are mostly less noticed or interpreted incorrectly. With this spout adjustment and gob shaping software, designers and glass manufacturers have the possibility to analyze systematically various settings and their effects in the selection of the spout and the associated equipment in advance of a planned production or to further optimize the gob shaping during operation.

One of the next future steps is to link all the information with FH and spout control adjusting wheels together and to grapple actively in the conditioning process to control not only solely the temperature in the equalizing section or corrected the gob weight. However, this task can't be resolved by the FH supplier alone. He can only contribute his knowledge, technical skills and tools in a team of glass producers and machine suppliers.

Joachim Gesslein, HORN Glass Industries AG, Bergstrasse 2, 95703 Ploessberg, Germany  
e-mail: joachim.gesslein@hornglas.de, phone: +49(0)9636 9204 -114



*Vlastimil Hotař, Ondřej Matúšek, Jiří Šafka*

### **Čtvrtá průmyslová revoluce**

Pojmem čtvrtá průmyslová revoluce jsou označovány změny, ke kterým pozvolna dochází v průmyslové výrobě. Vzhledem k pozvolnému zavádění různých novodobých přístupů se jedná spíše o evoluci. Čtvrtá průmyslová (r)evoluce je především vizí toho, co by mohlo a vlastně i mělo nastat. V jádru čtvrté průmyslové (r)evoluce má stát spojení virtuálního kybernetického světa se světem fyzické reality [1]. Tato revoluce by měla být charakterizována masovým rozšířením internetu a jeho průnikem i do té průmyslové výroby. To, co nyní využíváme pro svoji zábavu, by mělo v budoucnosti najít své uplatnění přímo v průmyslu. Jedná se o internet věcí, sensor fusion, umělou inteligenci, virtuální realitu,... [2]. Díky vestavěným miniaturním senzorům, procesorům, paměťovým jednotkám a transpondérům (přijímačům a vysílačům) bude umožněna situace, kdy spolu zařízení a okolní stroje komunikují a vyměňují si příkazy vedoucí k optimálním postupům. Každý výrobek se již od okamžiku svého vzniku při výrobním procesu sám stane „inteligentním“ kyber-fyzikálním systémem propojujícím reálný a virtuální svět v okolí. Měla by to být (r)evoluce, kdy nejen v průmyslu, ale i ve službách se bude postupně přecházet od užívání izolovaných počítačů a strojů k integrovaným řešením. Je to úplná integrace za pomoci nejnovějších technologií a čtvrtá průmyslová (r)evoluce by mohla zásadním způsobem změnit povahu průmyslu, energetiky, obchodu, logistiky a dalších částí hospodářství i celé společnosti.

Chápání výkonu práce a zábavy se může značně změnit, stejně tak její místo a čas. Lze předpokládat, že výkon práce bude mnohem více spojen s našimi domovy, čas výkonu práce může být mnohem volnější a rozdíl mezi prací a zábavou mnohem menší. To vše samozřejmě může přinést a také přinese negativní důsledky, na které bude muset společnost umět reagovat. Nutnost rekvalifikací pro většinu zaměstnanců může být tím menším problémem.

S tímto trendem jsou již nyní spojeny hrozby v kyberprostoru, jako jsou krádeže a zneužívání dat, lokální i globální útoky na připojené zařízení s cílem vyřadit je z provozu nebo je zneužít a další, na které bude nutno připravit a vybudovat kvalitní ochranu a mechanismy minimalizace případného útoku/zneužití.

Stejně jako revoluce předchozí, by měla i tato (r)evoluce mít i sociální a kulturní dopad. Zcela určitě některé profese zaniknou. Mohli by to být profesionální řidič, skladník a asistentka právníka, u kterých se předpokládá plné nahrazení počítači/stroji. K zániku bude postupně směřovat i sekretářská a účetnická práce, podobně práce u pásu, u přepážky nebo na pokladně, poštovní doručovatelky, úředníci, administrativní pracovníci, lesníci, nástrojaři, montážní dělníci, ... Naopak by se na trhu práce měly stále častěji objevovat profese jako specialista na kybernetickou bezpečnost, operátor 3D tiskárny, manažer zpracování dat a informací, vývojář a designér chytrých, tedy robotizovaných domácností, opravář robotů, ale i specialista na medicínu na dálku, bioanalytik, on-line pedagog nebo designér implantovaných orgánů.

Je velmi pravděpodobné, že řemesla budou v této době na vzestupu. Vedle vyrobených produktů prakticky jen stroji a tedy precizních a replikovatelných, by měla vzrůstat i poptávka po výrobcích, které budou vyrobeny lidskou rukou, budou jedinečné a neopakovatelné.

## **Průmysl 4.0**

Z definice čtvrté průmyslové revoluce vychází pojem Průmysl 4.0 (*Industrie 4.0: Smart Manufacturing for the Future*), který oficiálně prezentovala před německou společností kancléřka Angela Merkelová na veletrhu v Hannoveru v roce 2013. Průmysl 4.0 [1] je iniciativou na podporu 4. průmyslové revoluce. Přestože lze o pojmu 4. průmyslová revoluce polemizovat, v případě Průmyslu 4.0 se jedná o ucelenou iniciativu, která zahrnuje současné trendy v průmyslu, společnosti a politice. Jedná se o proces digitalizace a automatizace, který probíhá a má potenciál zefektivnit průmyslovou výrobu. Tato iniciativa vcelku podrobně shrnuje současný stav průmyslu v ČR a jeho možnosti při očekávaných následujících změnách. Národní iniciativa vychází z podobných iniciativ dalších států. Asi nejvíce se blíží verzi německé, a to i s odkazem na 4. průmyslovou revoluci. Česká republika má zmíněnou Iniciativu průmysl 4.0, která shrnuje základní charakteristiky inteligentních továren následovně:

- výrobní procesy jsou optimalizované v rámci celého hodnotového řetězce díky vertikálně i horizontálně integrovaným IT systémům;
- izolované výrobní jednotky jsou nahrazeny plně automatizovanými a vzájemně propojenými výrobními linkami;
- fyzické prototypy jsou nahrazeny virtuálními návrhy výrobků, výrobních prostředků a výrobních procesů, jejich uvedení do provozu probíhá v rámci jednoho integrovaného procesu zapojujícího jak výrobce samotného, tak i jeho dodavatele;
- flexibilní výrobní procesy umožňují efektivní výrobu i malých výrobních dávek přizpůsobených individuálním požadavkům jednotlivých zákazníků;
- vzájemně komunikující roboty, výrobní zařízení a výrobky činí do jisté míry autonomní rozhodnutí v reálném čase a tím zvyšují flexibilitu a efektivitu výrobního procesu;
- výrobní zařízení se samo optimalizuje a konfiguruje v závislosti na parametrech zpracovávaného produktu;
- automatizované logistické zázemí využívající autonomních vozíků a robotů se automaticky přizpůsobuje potřebám výroby. Logistické zázemí se týká více subjektů v rámci kooperace, které nemusí být lokalizovány na jednom místě, a proto se logistický řetězec bude týkat i koordinace dopravního spojení mezi výrobními subjekty. Totéž se týká i koordinace distribučního procesu samotného výrobku.

## **3D tisk**

Velmi progresivní a flexibilní technologií, která je plně spojována se čtvrtou průmyslovou revolucí a tedy s Průmyslem 4.0, je 3D tisk. Ten je komerčně využíván od konce 80. let minulého století. Od té doby se velmi zdokonalil a rozšířil. Jen pro zajímavost, v roce 2018 je odhadován celosvětový prodej 3D tiskáren, materiálů pro tisk, software a náhradních dílů za 12 miliard dolarů a v roce 2021 se předpokládá prodej za 20 miliard dolarů. Odhaduje se, že v roce 2018 bude celosvětově dodáno 6,7 milionů různých jednotek 3D tiskáren [3]. Optimistické prognózy pak hovoří o 100 milionech prodaných 3D tiskáren ve světě za rok v roce 2030.

Současně se také rozšiřuje portfolio zpracovávaných materiálů, které jsou k tisku využívány. Od výhradního použití plastů se škála použitých surovin rozšířila jak o kovové a keramické materiály, tak i o další netradiční materiály jako jsou materiály pro tisk potravin (dortů, těstovin, sušenek). V současné době je již 3D tisk využíván v průmyslové výrobě, pro tisk

náhradních dílů, ale jeho dominantní nasazení v současné době především v designu, výrobě přípravků, měřidel či upínačů a vývoji nových zařízení [2].

### **Současný stav 3D tisku ze skla**

O 3D tisku ze skla se v posledních letech hodně mluví. Jedná se o lákavé využití tohoto oblíbeného materiálu pro zakázkovou, ale časem i pro hromadnou výrobu především s ohledem na tzv. mass customisation (masová výroba na zakázku) [2]. 3D tisku je také věnován podrobněji text v časopise Sklář a keramik [4].

Nejedná se o první využití skla pro 3D tisk, ale nejznámější technologií je tzv. **G3DP** (Glass 3D Printing), která byla představena v roce 2015 výzkumnou institucí **Massachusetts Institute of Technology** (MIT) [5]. Jedná se o technologii, která svým principem odpovídá technologii tisku pomocí tavné struny (FFF, (Fused Filament Fabrication), kde vytékající sklovina nahrazuje nahřívanou plastovou strunu – filament. Projekt z roku 2015 směřoval k rozměrnějším architektonickým objektům ze skla a v roce 2017 byly prezentovány výsledky zařízení **GLASS II** [6]. Toto zařízení se skládá z vyhřívané komory, kam je ručně přenášena sklovina, temperovaná na požadovanou teplotu, která odpovídá potřebné viskozitě a volně vytéká přes trysku na pohyblivou plošinu ve třech osách (v osách – x, y, z), Zde dochází k nanášení „housenky“ a postupnému vytváření výrobku. To je mnohem lépe využitelné v průmyslové výrobě, kde tryska může být navázána na hlavu dávkovače kontinuální tavicího agregátu. Podle všeho je výtok samovolný, tedy jedná se o relativně zdoluhavý proces. Výsledky 3D tisku provedené touto technologií jsou na první odhled odlišné od jiných technologií sklářské výroby. Jsou především charakteristické svojí „housenkovou“ strukturou, mají vysoký designérský přínos a světelné efekty jsou po průchodu sklem unikátní a velmi působivé. Technologie v tomto případě nenahrazuje žádnou jinou dnes běžně používanou strojní výrobu.

Další existující technologie, která je zatím dostupná jen v laboratořích, je založena na principu stereo litografie. V nádobě s tiskovým materiálem, což je tekutý polymer, je umístěna tisková deska, jejíž úroveň proti hladině polymeru určuje výšku požadované tiskové vrstvy. Světelný paprsek (laser nebo DLP - Digital Light Processing projektor) vykreslí požadovaný tvar vrstvy a tím dojde k vytvrzení polymeru v příslušném tvaru. Následně se tisková deska posune a světelný paprsek vykreslí a vytvrdí další požadovaný tvar. S touto technologií pro výrobu skleněných výrobků přišli vědci z **Karlsruhe Institute of Technology** (KIT) [7]. Technologie nevyžaduje při tisku vysokých teplot, namísto toho se skleněné nano částice velikosti 40 nm rozptýlí jako suspenze ve speciálním polymeru. Materiál s poměrem křemičitých nano částic k polymeru 60:40 je nazýván „Glassomer“, ten se chová při 3D tisku jako polymer, ale konečné výrobky mají vlastnosti skla. Polymer je vytvrzen teplem a světlem a vytváří dokonalou konzistenci s vysoce detailní strukturou. U vysoce čistých konstrukcí z křemenného skla musí být odstraněn polymer tak, že je zahřátý na teplotu mezi 500 – 600 °C (tomuto procesu se říká debinding, odstraňování pojiva) a poté se výrobek slinuje při teplotě 1 300 °C. Tato technologie vede k výrobě čirých skleněných materiálů vhodných pro aplikace v optickém, biotechnologickém, mikroelektronickém a lékařském průmyslu.

Třetí technologie, se kterou se lze setkat, je založena na pojení laserem materiálu ve formě prášku. Tato technologie je vyvíjena na **Ernst-Abbe-Hochschule v Jeně** (Německo) [8]. Prášek z taveného oxidu křemičitého je nanesen vrstvou po vrstvě na stavební plošinu, která se pohybuje dolů. Každá vrstva je fixována pomocí laseru, v tomto případě pomocí CO<sub>2</sub> laseru. Po sintraci v místech dopadu laseru se plošina posouvá níže a laser fixuje další vrstvu. Postupně jsou nanášeny všechny vrstvy, které tvoří celý 3D výrobek. V tomto případě je ale výrobek neprůhledný, neboť obsahuje drobné bublinky a pravděpodobně i keramickou fázi.

Pro HT-SLS byla vyvinuta 3D tiskárna se specifickými požadavky na proces. Důležitým požadavkem 3D tiskárny je schopnost ohřát pracovní prostor na vysoké teploty (až 1 000 °C), aby se dosáhlo zvýšení hustoty a zkrácení doby zpracování. Pro efektivní ohřev 3D tiskárny na požadovanou teplotu je nutná malá komora pracovního prostoru, proto je zásobník prášku umístěn externě. Pro udržení potřebné pracovní teploty musí být celá komora pece tepelně izolovaná a vodou chlazená.

### **Závěr**

Přestože pojem 4. průmyslová revoluce má své příznivce a odpůrce, přináší současná doba mnoho potenciálu na změny. Navíc již probíhající implementace internetu věcí (industriálního internetu), pokročilé sensoriky, adaptivní výroby, pokročilé analýzy dat do průmyslových podniků znamená změny, která nás ve sklářském průmyslu neminou. Při potenciálním využití masové výroby na zakázku, umělé inteligence a úplného využití industriálního internetu a internetu věcí může dojít k evoluci, která za několik desetiletí naprosto změní nejen výrobu, ale i služby, společnost i naše návyky.

V současné době, není široce využívána žádná komerčně dostupná technologie 3D tisku ze skla. Především se jedná o výzkum a je otázkou, jak dlouhý čas bude třeba k odstranění technologických problémů, vad výrobků a hlavně k zajištění rozumné rentability 3D tisku ze skla. Je také zřejmé, že představa, kdy 3D tisk nahradí produkci běžných výrobků ze skla, je těžko naplnitelná v horizontu několika let. Skleněné výrobky ze skla si tak nejdříve budou hledat nové aplikace a využívat svých specifických výhod. Jsou to například individuální design, proměnné optické vlastnosti, specifické vnitřní struktury, atd.

### **Poděkování**

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže Technické univerzity v Liberci č. SGS 21128/115, využívající účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum a je financovaná Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2018.

### **Literatura**

- [1] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Iniciativa průmysl 4.0, (online), [www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/prumysl-4-0-ma-v-cesku-sve-misto-176055/](http://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/prumysl-4-0-ma-v-cesku-sve-misto-176055/) (cit. 25. 09. 2017).
- [2] HOTAŘ V. Jak může změnit sklářský průmysl 4. průmyslová (r)evoluce? Sklář a keramik 67 (9–10) (2017), p. 191 – 198.
- [3] STATISTA. Spending on 3D printing worldwide in 2018 and 2021 (in billion U.S. dollars) (online), <https://www.statista.com/statistics/590113/worldwide-market-for-3d-printing/> (cit. 18. 07. 2018).
- [4] HOTAŘ V. Současné trendy 3D tisku ze skla. Sklář a keramik 68 (8–7) (2018), p. 147 – 151.
- [5] KLEIN J., et al. Methods and apparatus for additive manufacturing of glass, IPC: AC03B1900FI, Číslo přihlášky patentu: 20150307385, 29. 10. 2018, USA, (online), Patentdocs, <http://www.patentsencyclopedia.com/app/20150307385#ixzz5LaykE8IT> (cit. 18. 07. 2018).
- [6] Inamura Ch., et al.: 2017 Glass 3D printing, Mediated Matter Group, (online), <http://matter.media.mit.edu/environments/details/glass-ii> (cit. 18. 07. 2018).

- [7] Oney F.: Newest glass material 'Glassomer' is used to fabricate small glass structures, The American Ceramic Society, 29. 06. 2018, (online), <http://ceramics.org/ceramic-tech-today/biomaterials/newest-glass-material-glassomer-is-used-to-fabricate-small-glass-structures> (cit. 18. 07. 2018).
- [8] Bruder A., et al.: Development of a 3D-Printer for HT-SLS of Fused Silica Powder , Joint Meeting of DGG, ČSS & SSS, Proceeding of 92nd Annual Meeting of the German Society of Glass Technology in Conjunction with the Annual Meetings of the Czech Glass Society & the Slovak Glass Society, 28 – 30 May 2018, Bayreut (2018), p. 110.

**Anotace:**

*Pojem 4. průmyslové revoluce se pomalu začíná zabydlovat v našich životech. S ním souvisí i další pojmy jako je Průmysl 4.0, internet věcí, kyberprostor, mass customization, big data, umělá inteligence a další. I tyto pojmy se postupně objevují ve sklářské výrobě.*

*3D tisk je v současné době právem považován za velmi perspektivní trend a progresivní technologii, která se již ve značné míře uplatňuje v průmyslové praxi. 3D tisk ze skla je nyní ve fázi výzkumu, ale technologie, které se vyvíjejí, jsou slibné.*

**Summary:**

INDUSTRY 4.0 IN GLASS INDUSTRY AND 3D GLASS PRINTING TECHNOLOGIES

*Concept of 4<sup>th</sup> Industrial Revolution is slowly settling in our lives. It is closely connected to ideas of Industry 4.0, Internet of Things, Cyberspace, Mass Customization, Big Data, Artificial Intelligence, etc. These concepts are gradually appear in glass production.*

*3D Printing is currently deservedly considered as a very perspective trend, which begins to be applied in an industry. 3D glass printing is now in the research phase, but the technologies that are being developed are promising.*

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

Ing. Ondřej Matúšek, Katedra sklářských strojů a robotiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17, e-mail: [ondrej.matusek@tul.cz](mailto:ondrej.matusek@tul.cz), tel.:485 352 905

Ing. Jiří Šafka, Oddělení průmyslových technologií, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17 Liberec, [jiri.safka@tul.cz](mailto:jiri.safka@tul.cz)

## Pojem ideálnosti v konstrukci sklářských strojů

*Pavel Jirman*

### **Zákonitosti rozvoje technických systémů**

Zákonitosti rozvoje technických systémů (ZRTS) jsou podstatné, stabilní, opakující se vztahy mezi komponenty uvnitř systému a vztahy s vnějším prostředím v procesu rozvoje, tj. přechodu systému od jednoho stavu k druhému s cílem zlepšení jeho hlavní funkce. Tyto zákonitosti byly odhaleny rozбором velkého množství vynálezů z oblastí techniky, jsou objektivní a jsou využitelné pro vývoj systémů v různých oblastech techniky [1].

Toto odhalování není u konce a není možné vyloučit subjektivní faktory pro úzkou oblast techniky. Proto jediným všeobecným kvalitativním kritériem pokrokovosti změn v rozvoji libovolného technického systému (TS) je ideálnost. Vůdčí role zákonitosti zvyšování ideálnosti TS je zřejmá ve všech nástrojích metody TRIZ a především tato zákonitost určuje nejobecnější tendence rozvoje techniky.

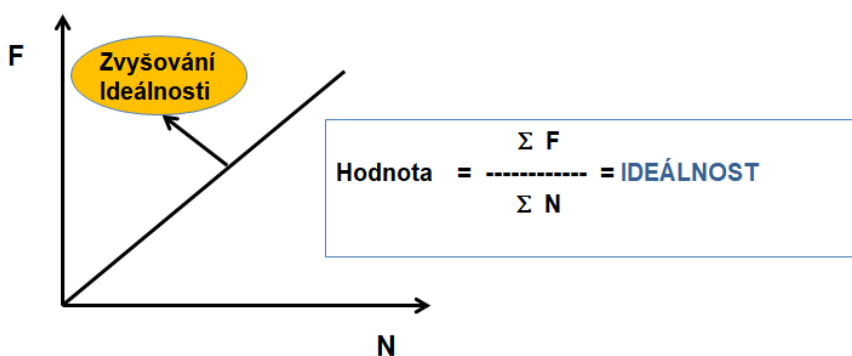
### **Zákonitost zvyšování stupně ideálnosti**

Rozvoj všech systémů postupuje ve směru zvyšování stupně ideálnosti. Ideální TS je systém, jehož hmotnost, rozměry a energetická spotřeba se blíží k nule, ale jeho způsobilost plnit funkce se nezmenšuje. V krajním případě: ideální systém je ten, který není, ale jeho funkce se uskutečňuje. Protože funkci může vykonávat jen materiální objekt, znamená to, že za zmizelý systém musí vykonávat funkci jiné systémy, látky a pole nacházející se v okolí.

### **Ideálnost versus Hodnota**

Hodnota systému odráží poměr funkčních charakteristik systému a nákladů na realizaci těchto charakteristik. Hodnotu v uvedeném smyslu lze vyjádřit vztahem  $H = \sum F / \sum N$ .

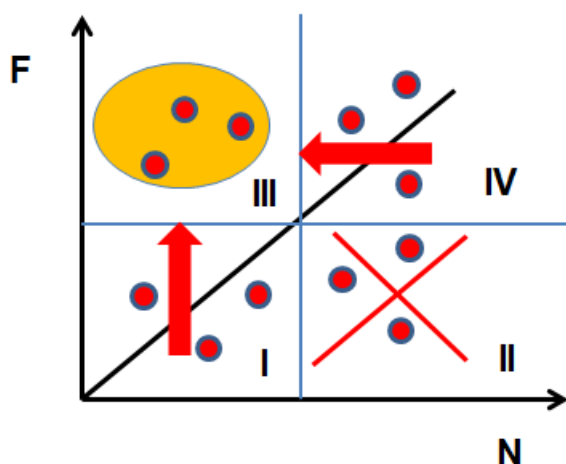
V konstrukci strojů je běžné zaplatit za realizovanou funkci určitý náklad, které úměrně stoupají s počtem funkcí. Graf vztahu hodnot  $F$  a  $N$  lze zobrazit přímkou úměrnosti - viz. obr. 1. Ideálnost pak je dosažena, jestliže  $\sum N$  se blíží k 0. V tom případě  $H = I$  (Ideálnost).



**Obr. 1** - Graf Vztahu Hodnoty a Ideálnosti

### Zvyšování ideálnosti v praktické konstrukci strojů

Technický systém se skládá z komponent, jejichž hodnota nemusí být vždy ve směru růstu hlavních charakteristik F/N. Komponenty mají buď vyšší úroveň plnění funkce za nižší náklady, nebo i nižší úroveň plnění funkce za vyšší náklady. Toto rozdělení lze znázornit červenými body – viz obr. 2 – nacházejícími se na obou stranách přímky úměrnosti. Celý graf lze rozdělit 2 přímkami na 4 kvadranty označené římskými číslicemi I – IV. V každém kvadrantu se vyskytují komponenty s různým poměrem F/N. Jejich umístěním v kvadrantu lze také předurčit postup jejich zdokonalování.



**Obr. 2** - Zdokonalování komponent ve směru ideálnosti

Ve „III kvadrantu“ jsou komponenty s vysokou úrovní plnění funkcí za malé náklady, které se blíží ideálnosti a tím pádem jejich zdokonalování není víceméně potřebné.

Ve „II kvadrantu“ jsou naopak komponenty s malým plněním funkcí za vysoké náklady. Cílem je zbavit se takových komponent v TS, neboť výrazně omezují jeho zdokonalení.

V „I kvadrantu“ jsou komponenty s nízkou úrovní plnění funkcí ale i za nízké náklady. U takových komponent stojí za to zatížit je větší funkcí při zachování nákladů, aby se dostali do III. kvadrantu, blízko ideálnosti.

Ve „IV kvadrantu“ jsou komponenty s vysokou úrovní funkce ale i za vysoké náklady. U takových komponent je třeba snižovat jejich náklady při zachování úrovně plnění funkcí, aby se také dostali do III. kvadrantu, blízko ideálnosti.

Nástroje ke strategii řešení komponent v jednotlivých kvadrantech jsou naplní metody TRIZ, která jich obsahuje velkou nabídku. Cílem všech nástrojů je přibližovat se ideálnosti. Například nástrojem odstranění komponent v II kvadrantu při zachování plnění jejich funkcí je nástroj trimming.

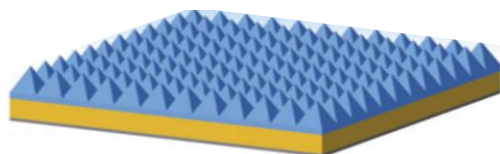
### Příklady zvyšování stupně ideálnosti v konstrukci sklářských strojů

- Zvyšování stupně ideálnosti při tvarování plochého skla bylo postupné zvyšování funkčnosti (rovinnosti) podpěrné komponenty při zachování nákladů (od desky přes válečky k roztavenému cínu) Další krok rozvoje je ve snižování nákladů komponent cínové lázně.

- Zvyšování stupně ideálnosti zařízení homogenizace – míchadel - probíhalo zvyšováním funkčnosti/účinnosti komponenty rotoru až se dostalo na fyzikální mez. Další možný krok je fyzikální změna rotoru a tím snížení nákladů.

- Novým povlakem křemičitého skla ve tvaru pyramid na povrch solárních článků, který nahradí chladicí kapaliny nebo větrání bylo dosaženo zvýšení stupně ideálnosti výrazným způsobem, neboť komponenty chlazení jsou ze systému odstraněny – viz obr. 3. [2]

-  
-



**Obr. 3** - Povlak solárního článku zvyšující stupeň ideálnosti

#### **Literatura:**

[1] Mašín I, Jirman P.: Metody systematické kreativity, skripta, Liberec 2012, ISBN: 978-80-7372-853-3

[2] <http://www.moreinspiration.com/article/6020/self-cooling-solar-cells?q=glass>

#### **Anotace:**

*Technické systémy, jejichž součástí jsou i sklářské stroje, se rozvíjejí ve směru nárůstu ideálnosti. Její hodnota je vyjádřena poměrem úrovně plnění funkcí a nákladů k jejich zajištění. Ideální systém plní funkce s minimálními náklady. Zvyšování ideálnosti je jedním ze základních trendů rozvoje techniky. Uvedení tohoto trendu a jeho využití ve sklářských strojích je náplní tohoto příspěvku.*

#### **Summary:**

THE NOTION OF IDEALITY IN DESIGN OF GLASS MACHINES

*Technical systems, which glass machines are part of, are constantly developing in terms of idealilty. Such state of ideality is defined by ratio between level of its funtionality and costs to fulfil it. Ideal system fulfill its functions with minimal costs. Increase of ideality is one of the main trends of technical systems development. Introduction and identification of these trends in glass machines are purpose of this article.*

Ing. Pavel Jirman, Institut kreativity a inovací Liberec, Klášterní 131/14, 460 01 Liberec,  
e-mail: pavel.jirman@gmail.com



## Využití internetu věcí ve sklářství

*Miloš Jirman, Pavel Jirman*

### Úvod

Automatizované procesy ve sklářství jsou relativně na vysoké úrovni automatizace, přesto ucelený přístup k informacím z těchto procesů může být pro jejich management velmi omezený. Velké problémy se získáváním úplného a neustále aktualizovaného přehledu o pohybu polotovarů jsou často způsobeny zejména získáváním dat z diskrétních médií anebo nutnosti ručního zadávání dat z nedigitalizovaných procesů sklářské výroby (např. z vyplněné průvodky). Střední a vyšší management z výše uvedených důvodů tedy často nemá absolutní přehled o všech úrovních výroby a je postaven spíše do role čekajícího na „nějaké“ problémy zjištěných až ze stavu hotových výrobků před finálním zabalením a expedicí. To se velmi podepisuje na efektivnosti výroby a přitom v řadě jiných průmyslů se začíná v této oblasti již plně využívat výhod Internetu věcí (Internet of Things - IoT), který efektivitu procesů zvyšuje zejména díky online sdílení dat z klíčových částí výroby a napříč celou firmou.

### Internet věcí (IoT)

**Definice:** *“Internet věcí” znamená: síť propojených objektů (věcí), které jsou jednoznačně adresovatelné s tím, že tato síť je založena na standardizovaných komunikačních protokolech umožňující výměnu a sdílení dat a informací, jejichž analýzou bude možné docílit vyšší přidané hodnoty.[1]*

**Síť v IoT:** může představovat internet, propojení počítačů, lokální síť, v rámci kterých mohou věci komunikovat, aby mohly sdílet data

**Věc v IoT:** Věc z pohledu IoT představuje neživý objekt (fyzický nebo virtuální) obsahující elektroniku, software a senzory, pomocí kterých snímá určitou veličinu nebo veličiny a poskytuje schopnost sloužit k danému účelu. Jedná se tedy o zařízení (systém), které autonomně poskytuje data.

Počítač stejně jako např. automatická sklářská vana v IoT terminologii nemusí být „věcí“ pokud neposkytují data do sdíleného uložště. Naopak senzor v IoT terminologii je „věcí“ v případě že je schopný komunikovat a data do sdíleného uložště předávat.

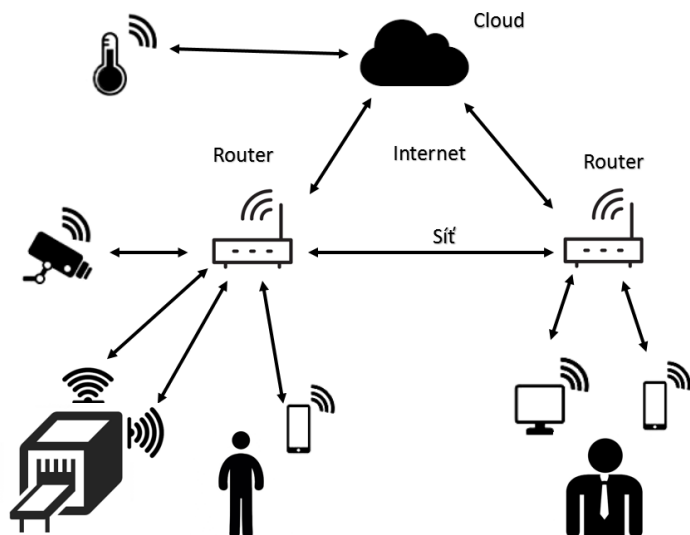
**Cílem IoT je propojení zařízení, systémů a služeb za účelem sdílení více dat,** která mohou být převedena na informace a informace na znalosti, které lze následně aplikovat, tj. vytvářet rozhodnutí i případně autonomně provádět činnosti.

**Vyšší přidaná hodnota** znamená, že management získává relevantní informace přímo z výroby a může nad těmito informace vytvářet vlastní analýzy a tím vytvářet podněty pro zefektivnění vlastních procesů výroby, které pak mohou být zpětně předávány přímo konkrétním pracovníkům výroby. V analýze mohou být kombinovány jak přímé informace z výroby tak i nepřímé faktory výroby (např. meteorologické z okolí) nebo i z úplně jiných odborností (např. marketingu). K těmto výzvám poslouží nové nástroje analýzy dat dostupné na trhu.

**IoT představuje obrovský potenciál v hledání nových příležitostí.**

**Propojení věcí v IoT systému** je vždy závislé na určení systému. Je několik způsobů, jakým mohou být prvky propojeny a jakým způsobem tedy mezi nimi probíhá komunikace. Komunikace tak může probíhat většinou spoluprací více technologií - Mezi zařízeními navzájem (Fog Computing, Mesh) - od zařízení do Cloudu (lokálně a nebo po internetu) - mezi Cloudy - viz obr. 1.

Způsob propojení pro jednotlivé firmy také závisí na požadované úrovni zabezpečení i finančních možnostech. Např. propojení do Cloudu vyžaduje větší zabezpečení zejména kvůli přenosu dat po internetu.



**Obr. 1** Příklad IoT řešení ve firmě

### ***Vybrané možnosti využití IoT ve sklářství***

- Sběr a předávání relevantních dat z automatizovaných procesů (kmenárny, tavení, chlazení atd) do jednoho centralizovaného úložiště pro ucelenou analýzu
- Získávání dat z ručních operací (lisování, dekorování, třídění, balení atd) vedoucí ke zvýšení kvality procesu
- Možnost nastavení upozornění na odchylky od měřených parametrů ve výrobě (kmenárna, chlazení, počty průchodů výrobku atd) přímo do mobilních zařízení operátorů a managementu
- Automatické plnění průvodek polotovarů (skupin) a jejich sdílení vedoucí k úspoře pracovníků a odstranění chybovosti v ručně sbíraných datech.
- Nastavení automatizovaného procesu sledování a ukládání dat pro plnění norem ISO
- Možnost nacházet nové souvislosti mezi kvalitou výroby a potřebami marketingu pomocí analýzy dat
- Stanovení standardních modelů chování stroje a jeho odchylek a tím i možnost nastavení prediktivní údržby daného stroje

### **Omezení IoT ve sklářství**

- Vliv tepelných procesů na použití čidel
- Dodávání přesných dat z pohledu kalibrace a korekce čidel
- Zaručení provozu (např. vysokofrekvenční ohřev)
- Složitost sledování dávky i jednotlivých výrobků v určitých částech procesu

## **Závěr**

Využití IoT může pro sklářský průmysl přinést mnoho nových podnětů především:

- V oblasti zvýšení efektivnosti rozhodovacích procesů středního a vyššího managementu
- Pomocí analýzy dat odhalení nových souvislosti přispívajících ke zvýšení znalosti procesů
- Nastartování potenciálu v hledání nových příležitostí

Nasazení IoT vyžaduje však také přípravu pracovníků jak v oblasti instalace senzorů a prostředků komunikace, tak především ve zvládnutí pokročilých nástrojů analýzy dat a predikce nových příležitostí.

## **Literatura:**

- [1] <http://i2ot.eu/internet-of-things/>

## **Anotace:**

*Sklářský průmysl ovládá celá řada automatizovaných procesů, je zde však řada míst, ve kterých není dostatečný přehled o klíčových parametrech výroby. Pryč je doba, kdy stačilo, že zkušený technolog /manager prošel výrobu a ze svých zkušeností pak řídil. Dnešní požadavky na zvýšení kvality, úspory, nové produkty atd. vyžadují přesnější rozhodování v kratším čase. K tomu může přispět Internet věcí (IoT), který umožňuje sběr a sdílení dat pro managery a tím otevírá nové nástroje analýzy těchto dat. Tyto funkce dokáže internet věcí zajistit za zlomek ceny automatizace hlavních procesů včetně vyškolení odpovídajícího personálu.*

## **Summary:**

### THE INTRODUCTION OF INTERNET OF THINGS INTO THE GLASS INDUSTRY

*Glass industry is controled by a whole range of automated processes, however there are still many places where there is insufficient oversight over parameters of production. In the past, experienced managers used to walk through the production and directed the processes based solely on their previous experience. Today's requirements to improve quality, savings, new products and etc. require much faster decision-making. Internet of things (IoT) offers easy collection and sharing of data accross the whole organization which opens the new possibility of analysing of the data. IoT is able to fulfill those tasks at a fraction of usual cost of automatizaton.*

Miloš Jirman MSc., Institut průmyslového inženýrství Liberec, Klášterní 131/14, 460 01 Liberec, e-mail: milos.jirman@gmail.com

Ing. Pavel Jirman, Institut kreativity a inovací Liberec, Klášterní 131/14, 460 01 Liberec, e-mail: pavel.jirman@gmail.com

## Nová technologie opracování povrchu skla kompozitním kartáčem s diamantovým brusivem

*Michal Starý, František Novotný, Marcel Horák, Marie Stará*

### **Úvod**

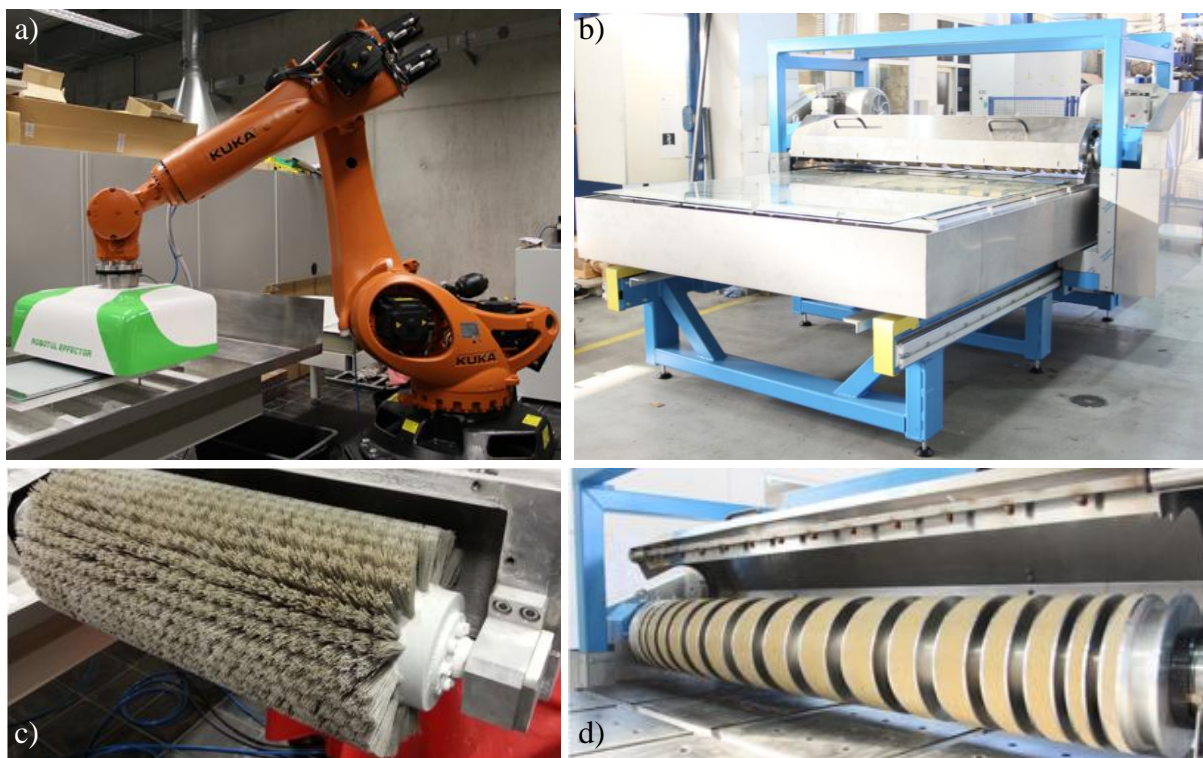
Ploché sklo představuje díky svým charakteristickým vlastnostem tradiční materiál, který má uplatnění v řadě odvětví. V mnoha aplikačních případech je vyžadována celková nebo jen lokální redukce průhlednosti, popř. modifikace rozptylu světla, a to buď z důvodu vytvoření diskrétní zóny, nebo čistě estetického. Daného efektu je na skle běžně dosaženo chemickou cestou za pomoci působení kyseliny [1,2] nebo mechanicky, prostřednictvím tryskání povrchu abrazivními částicemi [3,4]. Uvedené technologie provází specifické nevýhody, zejména z oblasti ekologické zátěže a zdravotních rizik spjatých s výrobním procesem [5,6,7]. Alternativně je dále možné aplikovat přístupy v podobě nástřiků nebo celoplošných či lokálních polepů. Jedná se obvykle o nízkonákladové metody, které se vyznačují náchylností aplikovaných vrstev na otěr, případně jejich zhoršenou přilnavostí apod.

K výše uvedeným postupům vytváření matovaných skel lze přiřadit i nový unikátní princip mechanického opracování povrchu prostřednictvím působení abrazivních částic fixovaných v kompozitních vláknech kartáče. Uvedená patentovaná technologie přináší řadu výhod v porovnání s jednotlivými výše jmenovanými technologiemi. Je produktivní, nízkonákladová, umožňuje vytvářet celomatovaná skla stejně tak jako lokální dekory. Bezprašnost a zároveň chlazení skla zajišťuje aplikovaný vodní film. Je možné volit mezi širokou škálou intenzity a vzhledu výsledné originální struktury. Technologii lze uplatnit jak v sériové výrobě na velkých výrobních linkách, tak i v kusové a malosériové výrobě dílenských pracovišť. Její hlavní předností je vysoká šetrnost k životnímu prostředí, od níž je rovněž odvozen název finálního produktu – ECO SPHERE®.

### **Matovací proces**

Proces mechanického matování skla je založen na abrazivním působení kartáče na příslušný povrch. Podstatou je navození stavu, kdy jednotlivá vlákna kartáče mají dostatečnou energii k nastartování mikrodefektů způsobených kombinací rázového efektu v okamžiku prvotního kontaktu vlákna s rovinou skla a následným smykovým působením brusného zrna během jeho pohybu v záběrovém poli [8]. Působení kartáče musí být přitom šetrné k povrchu skla tak, aby textura matu byla sice zřetelná, ale jemná a rovnoměrná. Vlastní vývoj dané technologie, zaměřený zejména na podobu výrobního nástroje a aplikované procesní parametry, představoval komplexní proces, jehož teoretické základy jsou doloženy v [9].

Základ pro realizaci daného procesu tvoří matovací pracoviště, které je možné řešit buď užitím průmyslového robotu s příslušným efektozem (obr. 1a, c), nebo formou kompletního stroje (obr. 1b, d). Předložené detaily nástrojů rovněž dokládají vývoj dané technologie, kdy se postupně přešlo od kartáčů s vlepovanými svazky (obr. 1c) ke kartáčům s rovnoměrně rozmístěnými vlákny po obvodu kartáče (obr. 1d).



**Obr. 1** Příklady pracoviště – a) průmyslový robot s matovacím efektoem, b) matovací stroj na ½ DLF formáty skla, c) detail kartáče matovacího efektoru, d) detail nástroje matovacího stroje

### **Experimenty**

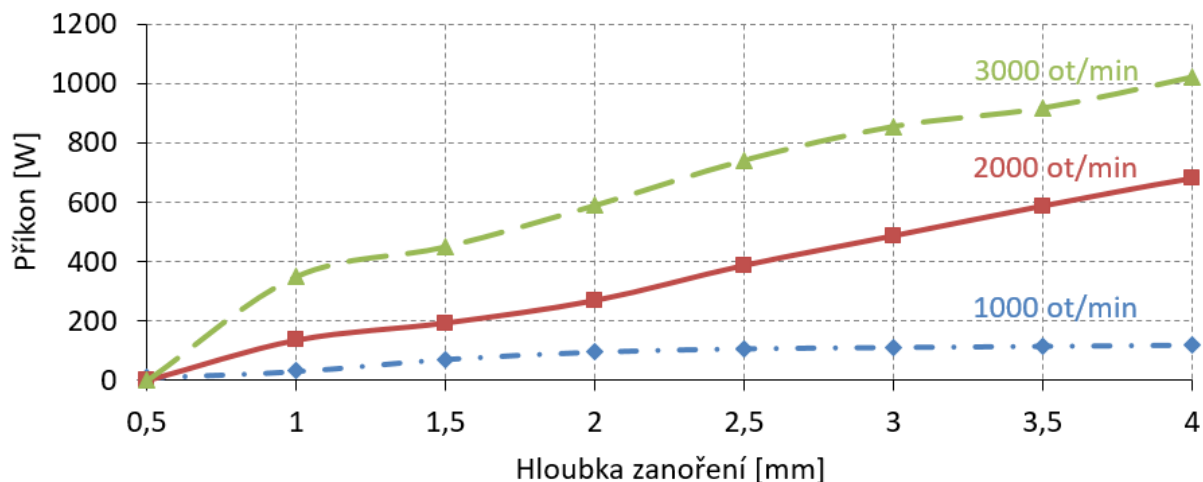
V rámci rozsáhlých experimentálních zkoušek založených na ortogonálních experimentech a doplněných dílčími zpřesňujícími experimenty byla postupně prověřena široká škála provozních parametrů, které byly měněny za účelem nalezení okrajových podmínek matovacího procesu s kvalitní úrovní matu. Hlavním identifikačním rozdílem mezi jednotlivými vzorky byla hrubost struktury povrchu. S ohledem na značný rozsah zkoušek zde budou nastíněny v podobě vybraných testů jen základní trendy a poznatky.

Jedním z primárních faktorů je požadovaný příkon kartáče, který byl sledován z pohledu vlivu hloubky zanoření a úrovně otáček nástroje (obr. 2). Šířka testovacího kartáče byla v daném případě 100 mm. Výsledky pak slouží ke správnému dimenzování pohonů. Nastavení otáček vychází z výzkumu chování vláken kartáče v záběrovém poli [9], kterým byla objasněna nestabilita matovacího procesu. Bylo doloženo, že rozdílné frekvence deformačního pole vláken a frekvence otáčení způsobují nerovnoměrný chod a pulzující silové působení filamentů v záběrovém poli. Vhodným nastavením musí být docílena minimalizace četnosti kolizí vláken v záběru.

Výsledná pevnost skla byla testována dvouosými zkouškami Ball-on-Ring-of-Balls (BRB), ukázka viz tab. 1. Oproti průměrným hodnotám čirého skla float má mechanicky matované sklo výrazně nižší pevnost (cca 40 %). Je však nezbytné si uvědomit, že běžně používané ploché sklo obsahuje škrábance, které výslednou pevnost dále výrazně snižují. Zkoušky potvrdily, že hloubka zanoření kartáče ( $h$ ), ani počet průchodů ( $n$ ) nemají zásadní vliv na výslednou pevnost skla.

V rámci zkoušek vlivu zrnitosti kartáče byla vytipována vhodná zrnitost diamantu na rozmezí 80M až 120M. S jemnější zrnitostí (tj. 100M a 120M) lze získat jemnější strukturu povrchu.

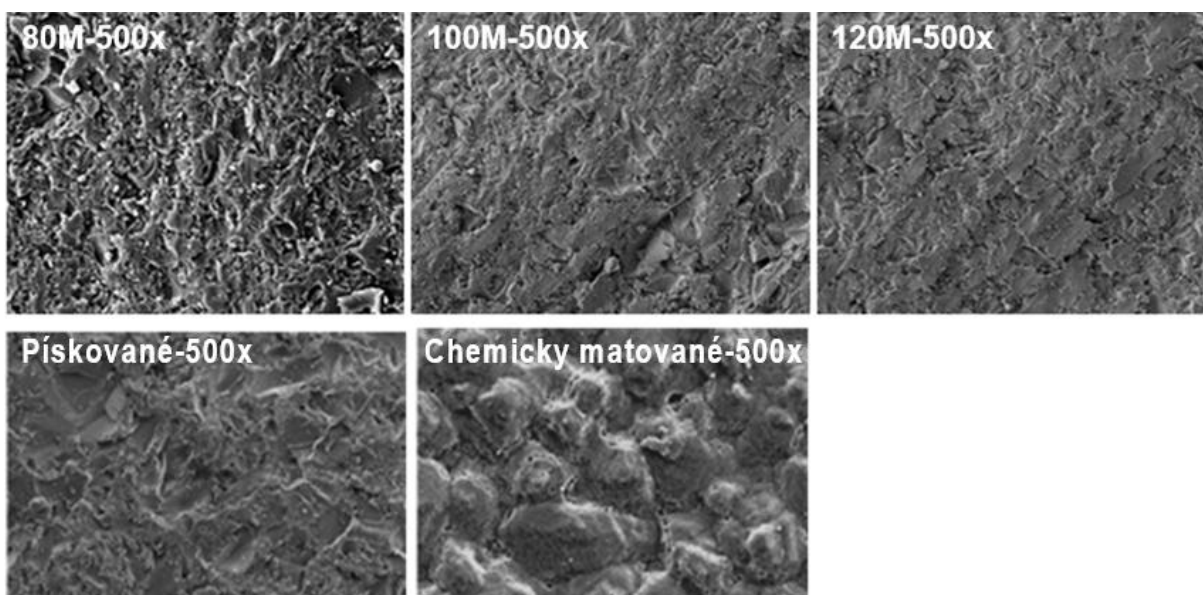
Srovnání zobrazení struktury od jednotlivých zrnitostí kartáče v mikroskopickém měřítku dokládá obr. 3. Pro doplnění je přiložena i struktura získaná pískováním a chemickým matováním. Povrch pískovaného skla má podobné povrchové charakteristiky jako mechanicky matované sklo. Rozdíl je především ve směrovosti struktury mechanicky matovaného skla. Naproti tomu struktura chemicky zušlechťeného skla je od předešlých dvou výrazně odlišná.



**Obr. 2** Průběh příkonu v závislosti na úrovni zanoření a otáčkách

**Tab. 1** Pevnostní zkoušky BRB

Vzorek ( $n \times h$ )	Maximální ohybové napětí [MPa]
Kartáčované sklo (1x1)	$52 \pm 4$
Kartáčované sklo (1x1,5)	$53 \pm 3$
Kartáčované sklo (1x2)	$52 \pm 4$
Kartáčované sklo (3x2)	$51 \pm 4$
Chemicky matované sklo	$96 \pm 1$
Čirý float	$140 \pm 20$



**Obr. 3** Porovnání struktury matu při zvětšení 500x

## **Diskuze**

V rámci souhrnu poznatků lze konstatovat, že zcela zásadní vliv na jakost matovaného povrchu má konstrukce a geometrie kartáče, která ovlivňuje průběh kontaktních sil v záběrovém poli.

Za dominantní procesní parametry lze označit hloubku zanoření, rychlost posuvu a otáčky, resp. obvodovou rychlost. Z pohledu zanoření kartáče se jeví jako nejvhodnější hloubka mezi 1 až 2 mm. Pod danou úrovní narůstá citlivost procesu na dílčí nepřesnosti. Naopak překročení dané hranice vede ke zvýraznění struktury matu a rovněž navýšení pravděpodobnosti vzniku defektů. Rychlost posuvu nástroje je vhodné z pohledu produkce volit co nejvyšší, přičemž za limitní mez lze považovat cca 100 mm/s. Nad touto hranicí se začíná objevovat výrazná nehomogenita matu. Obvodovou rychlost je žádoucí volit v rozmezí 26 – 32 m/s.

Dále je podstatný počet průchodů kartáče, směr průchodů a zrnitost kartáče. Počet průchodů kartáče snižuje pravděpodobnost výskytu nehomogenit matovaného povrchu, resp. snižuje citlivost procesu na výrobní a technologické nepřesnosti. Uplatnění křížové struktury je designovou záležitostí, vede k výraznému snížení směrovosti struktury matu. Dalším stěžejním parametrem je množství a distribuce chladicí kapaliny v místě řezu. Bylo prokázáno, že diskontinuální a nerovnoměrné dávkování kapaliny zvyšuje riziko nehomogenní optické jakosti povrchu projevující se světlými a tmavými oblastmi. Z hlediska průtoku se jako optimální jeví hodnota na úrovni 6 – 8 l/min na 1 m kartáče. Vyšší průtoky nevyhazovaly známky výrazných změn matu a naopak nižší průtok se projevoval zvýšením lokální teploty v místě kontaktu.

## **Závěr**

V článku je stručně představena moderní environmentální technologie opracování povrchu plochého skla abrazivním kartáčem. Jsou zde prezentovány výrobní možnosti nasazení dané technologie v kusové i sériové výrobě. Dále jsou doloženy experimentálně verifikované základní výrobní parametry a výstupní vlastnosti matovaného skla.

## **Poděkování**

Výsledek práce vznikl s finanční podporou 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 registračním číslem TH01031152.

## **Literatura**

- [1] P. Barboux, A. Laghizil, Y. Bessoles, H. Deroulhac, G. Trouve, Paradoxical crystalline morphology of frosted glass, *J. Non-Cryst. Solids* 345–346 (2004) 137–141.
- [2] G.A.C.M. Spierings, Wet chemical etching of silicate glasses in hydrofluoric acid based solutions, *J. Mater. Sci.* 28 (1993) 6261–6273.
- [3] P.J. Slikkerveer, P.C.P. Bouten, F.H. in't Veld, H. Scholten, Erosion and damage by sharp particles, *Wear* 217 (1998) 237–250.
- [4] E. Belloy, A. Sayah, M.A.M. Gijs, Powder blasting for three-dimensional microstructuring of glass, *Sens. Actuator.* 86 (2000) 231–237.

- [5] J.S. Wing, L.M. Sanderson, J.D. Brender, D.M. Perrotta, R.A. Beauchamp, Acute Health Effects in a Community after a Release of Hydrofluoric Acid, *J. Arch. Env. Health.* 46 (1991) 155–160.
- [6] Y. Zhang, X. Wang, K. Sharma, X. Mao, X. Qiu, L. Ni, C. Han, Injuries following a serious hydrofluoric acid leak: first aid and lessons, *Burns* 41 (2015) 1593–1598.
- [7] L. Greenburg, C.-E.A. Winslow, The dust hazard in air-pressure abrasive blasting (sandblasting), *Arch. Gewerbepathol. Gewerbehyg.* 3 (1932) 577–599.
- [8] R.J. Stango, Filamentary brushing tools for surface finishing applications, *Metal Finish* 97 (1999) 83–92.
- [9] F. Novotný, M. Horák, M. Starý, Abrasive cylindrical brush behaviour in surface processing, *Int. J. Mach. Tool. Manuf.* 118–119 (2017) 61–72.

**Anotace:**

*Redukce průhlednosti čirého sodno-vápenatého skla patří mezi běžné procesy, využívané zejména ve stavebnictví a bytové architektuře. Obvykle je za tímto účelem využívána chemická technologie acid-etching, případně mechanická technologie sandblasting. Aplikace obou uvedených metod má své opodstatnění, ale rovněž je provázena řadou negativních aspektů. Díky moderním vývojovým metodám a materiálům byla vyvinuta nová progresivní a především ekologická technologie mechanického matování povrchu skla prostřednictvím abrazivního válcového kartáče s kompozitními vlákny, která je v předloženém článku blíže popsána.*

**Summary:**

NEW TECHNOLOGY FOR SURFACE TREATMENT WITH A COMPOSITE BRUSH WITH DIAMOND ABRASIVE

*Reducing the transparency of clear soda-lime glass is one of the common processes, used in the building industry and housing architecture, especially. Typically, the chemical technology of acid-etching or the mechanical technology of sandblasting are used for this purpose. The application of both of these methods has its advantages, but it is also accompanied by a number of negative aspects. Due to the development of modern methods and materials, a new, advanced and above all ecological technology of mechanical glass frosting has been developed using an abrasive roller brush with composite filaments, which is described in detail in this article.*

Ing. Michal Starý, Ph.D., Katedra sklářských strojů a robotiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17, e-mail: michal.stary@tul.cz, tel.: 485 352 942

doc. Ing. František Novotný, CSc., Katedra sklářských strojů a robotiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17, e-mail: frantisek.novotny@tul.cz, tel.: 485 352 903

Ing. Marcel Horák, Ph.D., Katedra sklářských strojů a robotiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17, e-mail: marcel.horak@tul.cz, tel.: 485 352 943

Ing. Marie Stará, Ph.D., Katedra sklářských strojů a robotiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17, e-mail: marie.stara@tul.cz, tel.: 485 352 842



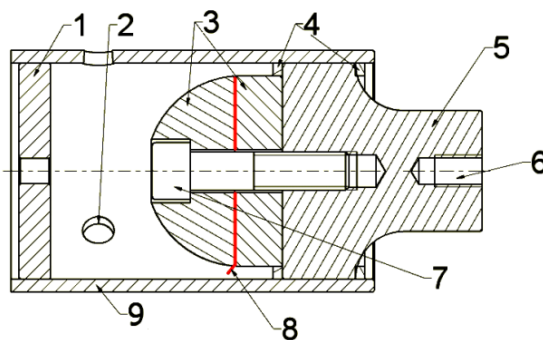
Marcel Horák, František Novotný, Petr Henyš

## Úvod

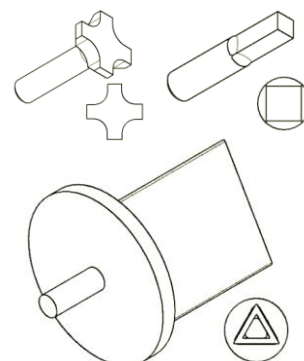
Vrtání skla ultrazvukem představuje nekonvenční technologii obrábění skla, kterou lze aplikovat ve výrobě specifických tvarových dutin, speciálních reliéfů, drážek, drobných otvorů apod. Vrtací zařízení se skládá z výkonového ultrazvukového generátoru s možností regulace výstupního výkonu se stabilizovanou pracovní frekvencí standardně na úrovni 20 kHz s funkcí plynulého doladování v řádech několika procent. Na generátor navazuje pracovní člen na principu piezoelektrického jevu, tzv. sonotroda, dále koncentrátor a vlastní vrtací nástroj [1, 2, 3]. Obecným problémem je nastavení celého systému tak, aby výstupní frekvence generátoru odpovídala požadovaným vlastním tvarům kmitů pracovního členu s příslušným konstrukčním provedením a byl tak zajištěn optimální vrtací efekt.

## Konstrukce pracovního členu

Typicky se jedná o sériové uspořádání sonotrody, koncentrátoru a nástroje. **Sonotroda** na obr. 1 je tvořena piezokrystalem (3), který je šroubem (7) propojen se zářičem (5) se závitovým zakončením (6) pro připojení koncentrátoru. Napájení krystalu je realizováno soustavou elektrody (8) a pouzdrem (9) s pojistnými kroužky (4), které spolu s víkem (1) a otvory (2) zajišťuje systém chlazení. **Koncentrátor** distribuuje mechanickou energii do prostoru nástroje a podle geometrie existují koncentrátor exponenciální, kuželové a stupňovité s válcovým průřezem, které se vyznačují největším zesílením. Na koncentrátor navazuje specifický **nástroj** odpovídající charakteru vrtaného otvoru. Vzhledem k tomu, že nástroj významným způsobem ovlivňuje řezné podmínky a při nevhodně zvolené geometrii rozladuje celou soustavu výkonového členu, je třeba provádět návrh konstrukce koncentrátoru v závislosti na geometrii nástroje a naopak, aby byla dosažena maximální účinnost obráběcího procesu. Nástroje (obr. 2) je možné koncepčně řešit jako systémy s vnější nebo vnitřní cirkulací abraziva a chladiva s ohledem na jejich tuhost a minimální délku.



Obr. 1 Sonotroda



Obr. 2 Příklady nástrojů

## Počítačová simulace

Z hlediska optimálního nastavení frekvence generátoru byly navržené pracovní členy analyzovány z pohledu vlastních tvarů kmitů a jim odpovídajících vlastních frekvencí [4].

Ukázalo se, že u soustavy tvořené sonotrodou – koncentrátorem – nástrojem, lze ve frekvenčním pásmu od 18,5 kHz do 25 kHz docílit tří zásadních vlastních tvarů, které by bylo možné využít při ultrazvukovém obrábění skla. Jedná se zejména o příčné (tab. 1), torzní (tab. 2) a podélné vlnění (tab. 3), přičemž za neoptimálnější tvar kmitů s maximální možnou měrou využitelnosti při vrtání lze považovat podélné tvary kmitů, kdy je amplituda výchylek rovnoběžná s osou sonotrody (pracovního členu). Hodnoty vlastních frekvencí uvedené v tabulkách 1 až 3 odpovídají jednomu typu geometrie sonotrody (pouze pro duralové pouzdro sonotrody) v závislosti na materiálových vlastnostech nástroje a koncentrátoru.

**Tab. 1** Příčné vlnění (zvýrazněná hodnota odpovídá obr. 3)

Frekvence [kHz]		KONCENTRÁTOR					
		Dural (D)		Mosaz (M)		Ocel (O)	
NÁSTROJ	D	21,24		20,20	24,22	18,37	21,88
	M	20,86		20,03	24,05	18,24	21,72
	O	18,06	21,28	20,27	24,22	<b>18,46</b>	21,89

**Tab. 2** Torzní vlnění (zvýrazněná hodnota odpovídá obr. 4)

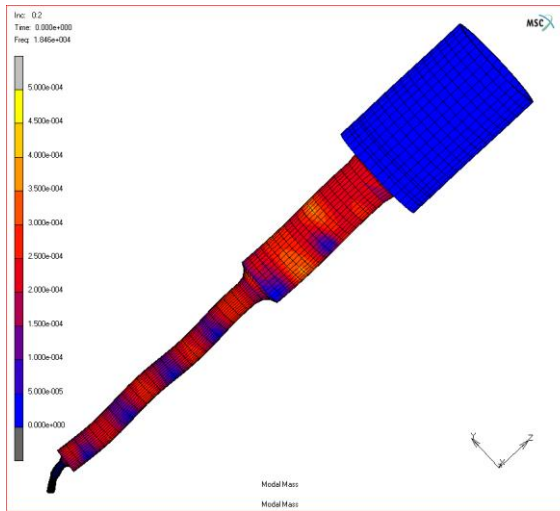
Frekvence [kHz]		KONCENTRÁTOR					
		Dural (D)		Mosaz (M)		Ocel (O)	
NÁSTROJ	D	19,15	21,66	21,73	20,65	22,82	
	M	19,14	21,60	21,71	20,64	22,80	
	O	19,15	21,61	21,72	<b>20,64</b>	22,80	

**Tab. 3** Podélné vlnění (zvýrazněná hodnota odpovídá obr. 5)

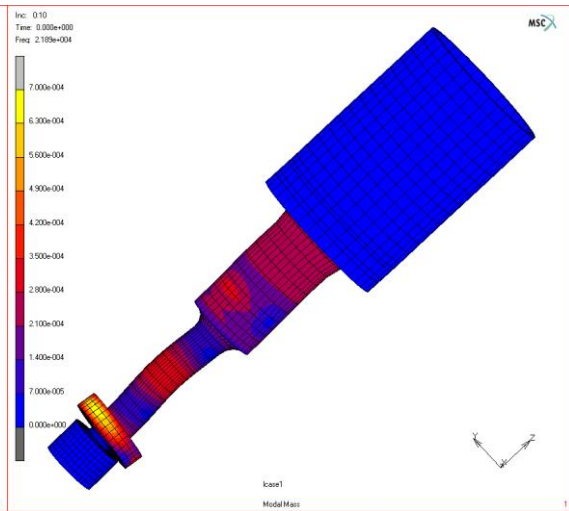
Frekvence [kHz]		KONCENTRÁTOR				
		Dural (D)		Mosaz (M)		Ocel (O)
NÁSTROJ	D	20,34		22,58		20,77
	M	19,87		22,45		20,59
	O	19,97		22,48		<b>20,63</b>

Na obr. 3 až 5 jsou vlastní tvary soustavy pro materiálovou kombinaci koncentrátoru a vrtacího nástroje ocel – ocel, která byla použita při laboratorním testování navrženého zařízení s nastavením frekvence generátoru na hodnotu **20,63 kHz** odpovídající vlastní frekvenci podélných tvarů kmitů, čímž bylo dosaženo maximální efektivity vrtání.

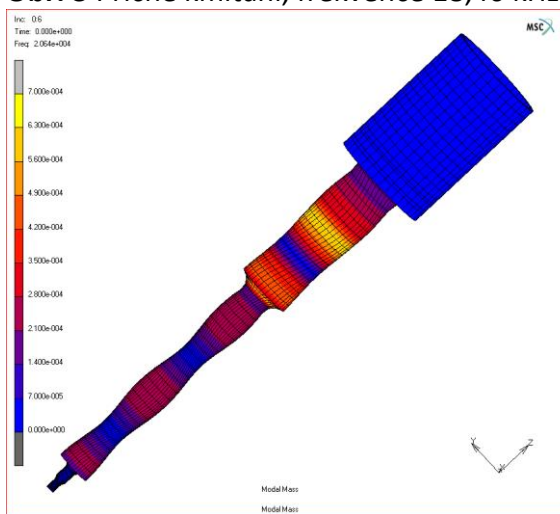
Obrázek 6 – 8 ukazuje na změnu hodnot vlastních frekvencí danou modifikací geometrie koncentrátoru a tvaru nástroje tvořící kruhový segment. Výsledky počítačové simulace výrazným způsobem přispěly k zefektivnění procesu ladění generátoru a je možné je plně využít při návrzích a konstrukčním řešení geometrie koncentrátoru a nástroje s ohledem na pevně nastavenou frekvenci piezokrystalu danou jeho konstrukcí.



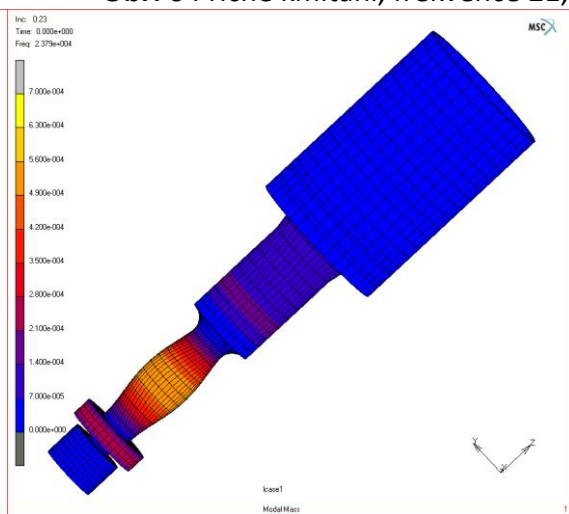
**Obr. 3** Příčné kmitání, frekvence 18,46 kHz



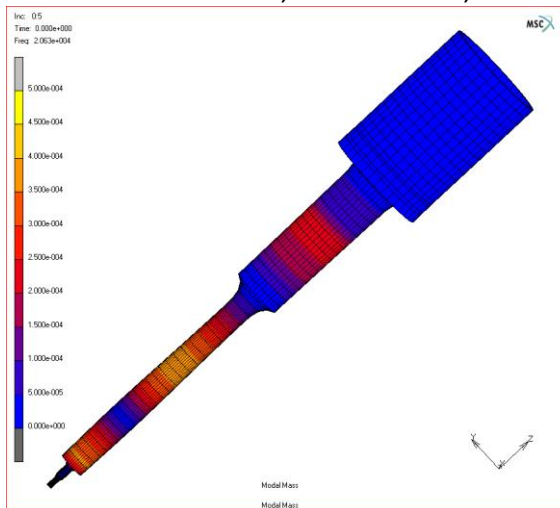
**Obr. 6** Příčné kmitání, frekvence 21,89 kHz



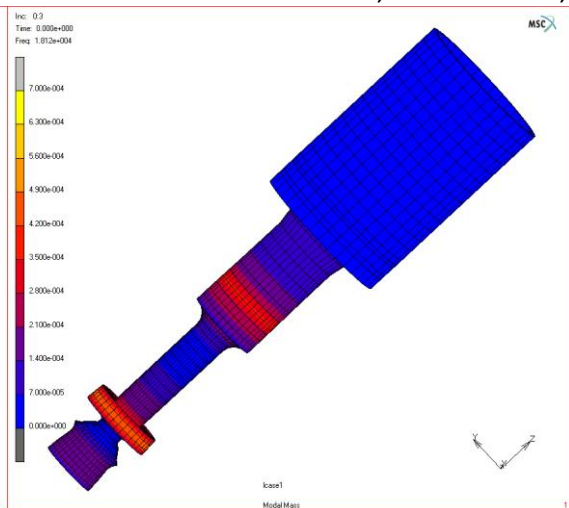
**Obr. 4** Torzní kmitání, frekvence 20,64 kHz



**Obr. 7** Torzní kmitání, frekvence 23,79 kHz



**Obr. 5** Podélné kmitání, frekvence 20,63 kHz



**Obr. 8** Podélné kmitání, frekvence 18,12 kHz

### **Závěr**

V příspěvku jsou popsány funkční principy výkonového členu zařízení pro vrtání skla ultrazvukem. Byla navržena vrtací soustava (pracovní člen), tj. sonotroda, koncentrátor a nástroj s využitím počítačové simulace v závislosti na geometrii a materiálových vlastnostech

jednotlivých komponent s analýzou vlastních tvarů kmitů soustavy a jim příslušných rezonančních frekvencí. Výsledky simulace lze s výhodou uplatnit při nastavování optimální pracovní frekvence generátoru nebo naopak během konstrukce pracovního členu.

### **Poděkování**

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže Technické univerzity v Liberci č. SGS 21128/115, využívající účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum a je financovaná Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2018.

### **Literatura**

- [1] ŠVEHLA, Štefan a Zdenko FUGURA. Ultrazvuk v technologii. Bratislava: Alfa, 1984.
- [2] HENYŠ, Petr. Zařízení pro vrtání skla ultrazvukem: Device for ultrasonic drilling of glass. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008.
- [3] SHARMA, Ankit, Vivek JAIN a Dheeraj GUPTA. Characterization of chipping and tool wear during drilling of float glass using rotary ultrasonic machining. Measurement. 2018, 2018(128), 254-263. DOI: doi.org/10.1016/j.measurement.2018.06.040. ISSN 0263-2241.
- [4] MSC Software Corporation. MSC.Marc - Volume A: Theory and User Information, Version 2016.

### **Anotace:**

*V příspěvku jsou prezentovány možnosti počítačové simulace během optimalizace konstrukčního řešení pracovního členu zařízení pro vrtání skla ultrazvukem. Výsledky simulace ukazují vlastní tvary kmitů pracovního členu odpovídající vlastním frekvencím, které jsou následně laděny jako výstupní pracovní frekvence ultrazvukového generátoru.*

### **Summary:**

#### COMPUTER MODELING OF SONOTRODE DESIGN FOR ULTRASONIC GLASS DRILLING

The paper presents possibilities of a computer simulation during the design optimization of the working component for the ultrasonic glass drilling device. The simulation results show the working component natural waveforms with the natural frequencies, which are adjusted as an output operating frequency of the ultrasonic generator.

Ing. Marcel Horák, Ph.D., Katedra sklářských strojů a robotiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17, e-mail: marcel.horak@tul.cz, tel.: 485 352 943

## Detekce bortů plaveného skla na výrobní lince pomocí odraženého laserového paprsku

*Ondřej Matúšek, Vlastimil Hotař*

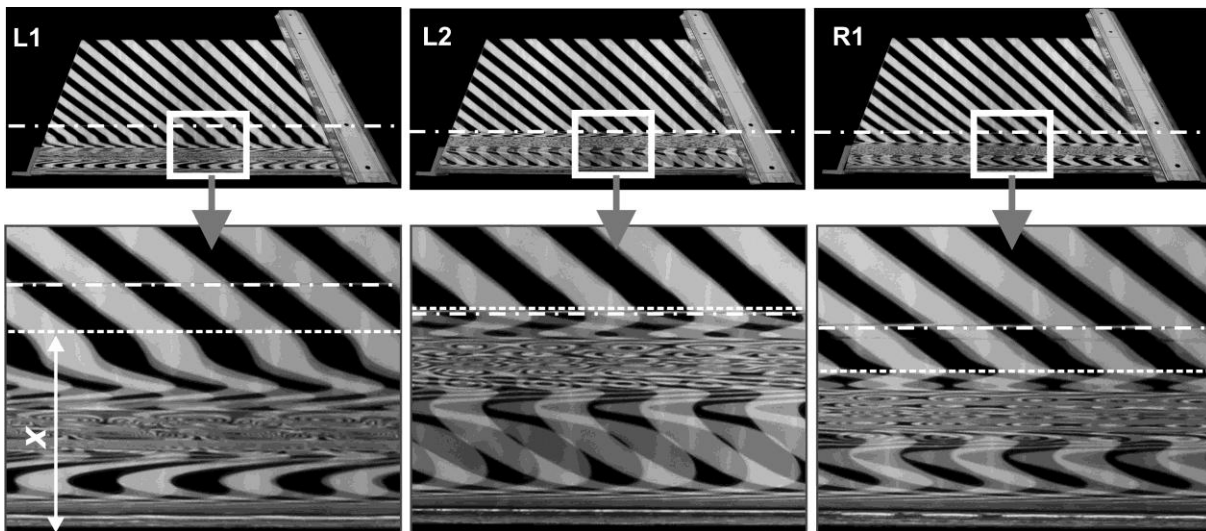
### **Úvod**

Výroba plochého skla technologií FLOAT je velice komplexní záležitostí. Tvarování pásu skla probíhá na cínové lázni, ale jeho tloušťka je ovlivňována vodou chlazenými otočnými kovovými rolnami s drážkovanými okraji, které pás skla na cínové lázni roztahují (menší tloušťka pásu) nebo shrnují (větší tloušťka pásu). Po vychlazení skla, případně jeho mytí, detekci vad, následuje dělení skla, při kterém je prováděn „podélný řez“ [1]. Ten od tabule odděluje okraje, tzv. borty, kde jsou otisky rolen a není zde zajištěn požadavek konstantní tloušťky. V průběhu výroby dochází ke změnám v absolutní pozici počátku bortů (sklo mění svoji tloušťku) a je nutné ji i několikrát denně stanovit pro nastavení podélného řezu. Pozice naškrábnutí pro podélné dělení je v současné době nastavována manuálně operátorem, na základě průběžně odebraných a off-line vyhodnocených odřezů okraje pásu skla. Samozřejmě šíře pásu musí být zachována, posunutí naškrábnutí musí být proto prováděnou z obou stran. Cílem testů bylo navrhnout možnosti on-line detekce těchto bortů.

### **Detekce pomocí odrazu světelné zbradesky od povrchu skla**

Optická kvalita plochého skla je dnes běžně stanovena operátorem off-line v temné místnosti přímo u linky. Znamená to, že na lince je vzorek skla napříč pásem vyříznut, přenesen do provozní laboratoře vedle linky a v temné místnosti testován. Čas odběru vzorků je dán plánem, v případě problémů s jakostí je kontrola prováděna častěji. Analýza je zaměřena především na světelnou propustnost, distorzi skla (zkreslení geometrie sledovaného objektu po průchodu sklem) a reflexi skla. Současná off-line kontrola okrajů (počátků bortů) probíhá pomocí odrazu světelné zbradesky s černými pruhy o šíři 25 mm svírajícími úhel 45°. Zvlněný okraj skla se projeví distorzí promítaného obrazu. Pro testování v rámci projektu byly použity tři vzorky o rozměrech 300x300 mm, tloušťky 4 mm. Ukázky deformace jsou uvedeny na obr. 1, naškrábnutí pro následné podélné odlomení je označeno čerchovaně, pozice počátku deformace je označena čárkovaně. U vzorku L2 je naškrábnutí již za hranicí deformace a bylo nutné řez posunout směrem ke středu pásu. Písmenem  $x$  je označena požadovaná vzdálenost pro detekci počátku deformace od okraje skla. Specifikace a základní ověření možnosti stanovení vzdálenosti  $x$  byly cílem této práce.

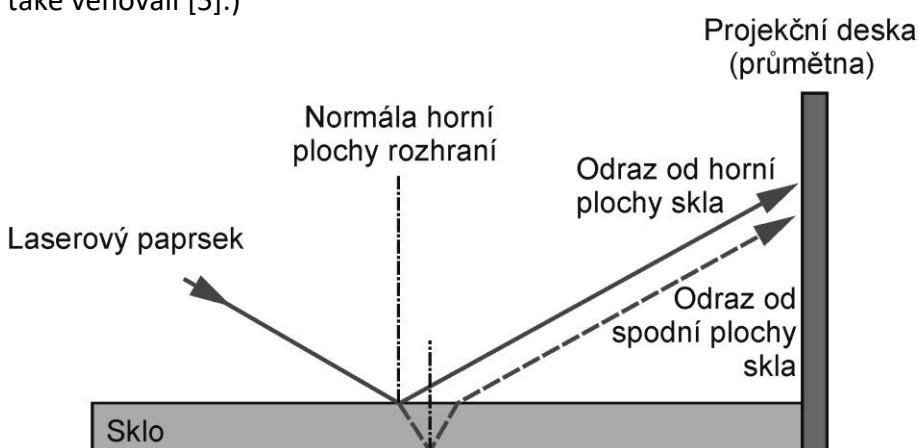
Počátek deformace je možné také určit na základě automatické detekce zvlnění odrazu zbradesky pomocí analýzy obrazu. Mohlo by jít o úpravu algoritmu tzv. corrugation testu [2], který se také standardně provádí off-line v provozní laboratoři. Analýzu by bylo možné přenést na linku a provádět hodnocení okraje on-line. Dalším řešením je použití konfokálních snímačů [3].



**Obr. 1** Odraz zebredesky od přířezu okraje skla s borty, čerchovaně je vyznačeno místo naškrábnutí pro podélné dělení, čárkovaně je vyznačen počátek deformace (snímky nebyly pořizeny přesně v souladu s používanou metodikou v provozních laboratořích)

### **Detekce pomocí projekce odraženého laserového paprsku**

V současné době existují metody pořízení 3D modelu, které využívají promítání laserového paprsku ve formě linie. Jedná se o profilové laserové skenery, které jsou založeny na generaci profilů. Profily se získávají pomocí triangulační metody, kdy se měří vzdálenost mezi laserovou čarou, kterou tvoří laserový projektor, a kamerou. 3D obraz je poté složen z takto nasnímaných profilů [4]. Objekt nebo kamera se musí pohybovat v jednom směru a pohyb musí být svázán s pořizováním jednotlivých snímků. Popsané standardní metody získání 3D obrazu jsou ovšem založené na detekci profilu, který se odráží od povrchu sledovaného objektu, ideálně se jedná o difuzní povrch. Pro zrcadlové nebo lesklé povrchy jsou metody mnohem komplikovanější a pro transparentní materiály již popsané metody nelze použít. Možností je u materiálů s odrazivým povrchem, jako je sklo, využít odrazu laserového paprsku promítnutého na projekční desku, obr. 5. (Využití odrazu světla od povrchu skla se již autoři také věnovali [5].)

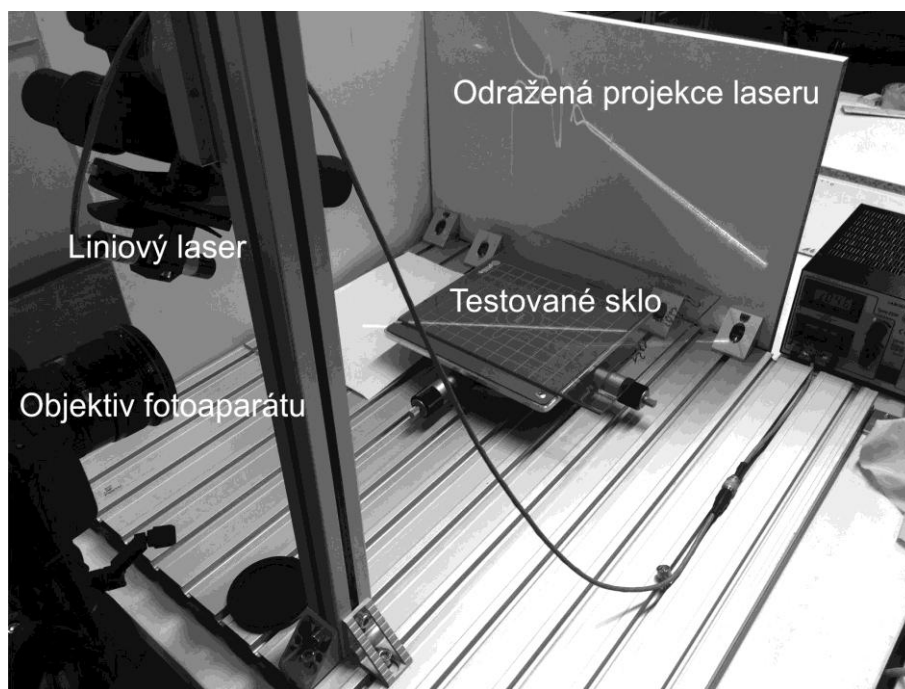


**Obr. 2** Zjednodušený princip detekce pomocí odrazu

Tento princip je jednoduchý, ale vede ke komplikovaným vztahům sloužícím k přepočtu na 3D virtuální model (třírozměrný získaný obraz). Metoda je také velmi citlivá na přesné uspořádání všech prvků v tomto optickém systému (kamera, laser, projekční desky,

sledovaný objekt ze skla), dále je citlivá na vibrace a v současném stavu také na okolní světelné rušení. To vše je otázkou dalšího výzkumu. Nicméně, metodu lze relativně snadno využít v uvedené problematice detekce bortu pro detekci změny tvaru (případně i tloušťky) skla. Lze totiž předpokládat, že získaná informace o počátku změny požadovaného tvaru (tloušťky), je pro dané řešení postačující, tedy bez nároků na přesné změření tvaru bortu. Důležitou informací tak zůstává pozice počátků změn a na tuto problematiku je tato práce zaměřena.

V tomto článku je uvedeno vyhodnocení deformace horní plochy strany skla. Pro statické testování metody bylo postaveno jednoduché stacionární experimentální pracoviště, obr. 3.



**Obr. 3** Stacionární testy odrazu liniového laseru od povrchu skla, první přibližné testy

Vzhledem k tomu, že se ukázalo jako komplikované pomocí přepočtů exaktně stanovit ideální tvar, a to i s ohledem na obtížně udržitelnou přesnost konstrukce celého zařízení, bylo použito kalibračního vzorku (etalonu).

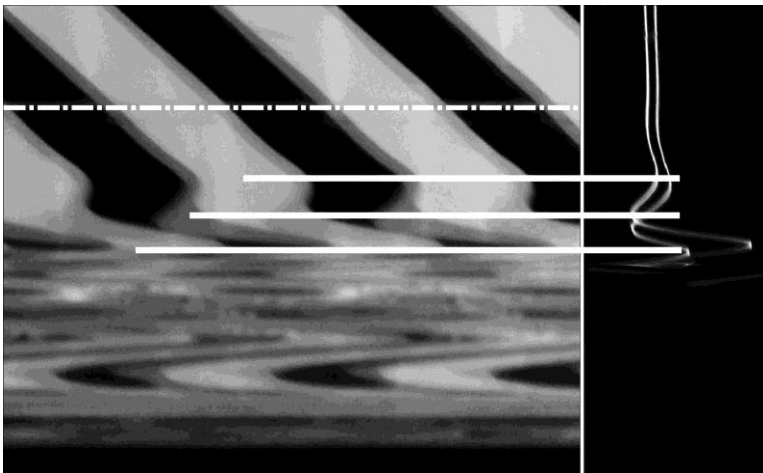
Promítnuté odražené křivky jsou spolu s detekcí počátku deformace od okraje vzorku zobrazeny na obr. 4.

### **Porovnání výsledků**

Na obr. 5 je uvedeno obrazové srovnání metody se světelnou zbradeskou a laserem. Na obr. 6 je pak uvedeno porovnání projekce odraženého laserového paprsku a měření konfokálním snímačem. Na základě obou porovnání lze konstatovat velmi dobrou vizuální shodu mezi těmito metodami. Číselně jsou výsledky měření uvedeny v tab. 1. Výsledky z konfokálního snímače jsou, vzhledem k vysoké přesnosti, brány za etalony. Dobrá číselná shoda je patrná mezi projekcí laserového paprsku a konfokálním snímačem. V případě odrazu zbradesky lze chybu přičíst subjektivnímu posouzení vzdálenosti.

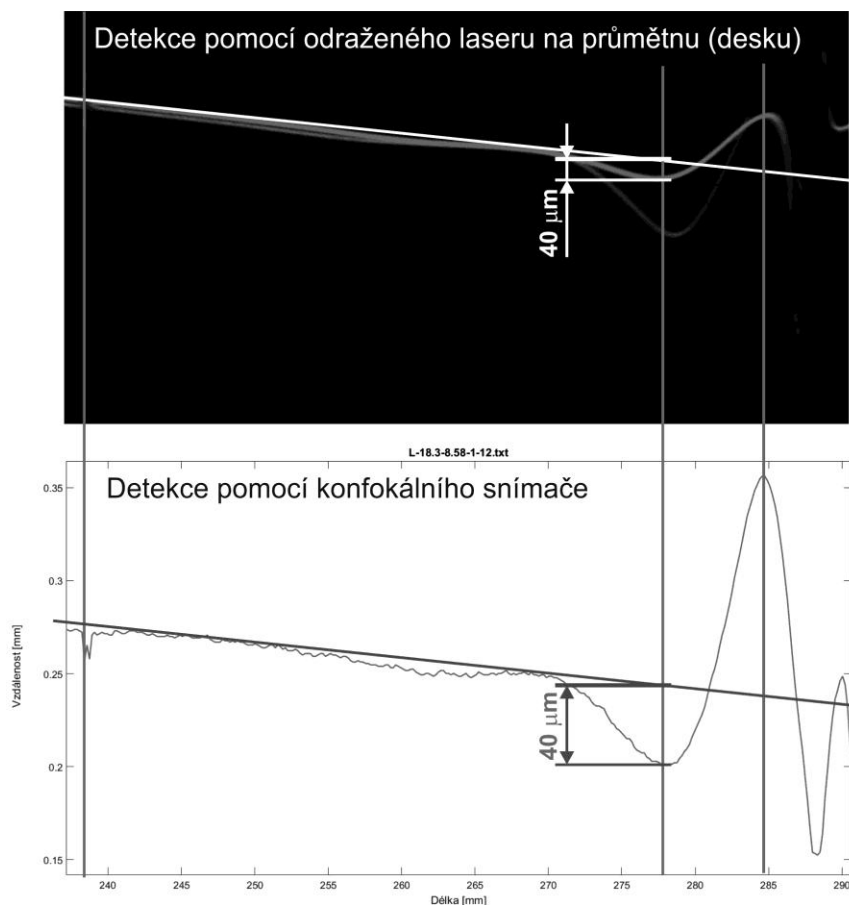


**Obr. 4** Odražené křivky spolu s detekcí počátku deformace pro vzorky L1, L2, R1



**Obr. 5** Porovnání metody odrazu světelné zebraedsky od povrchu skla a projekce odraženého laserového paprsku pro vzorek L1





**Obr. 6** Porovnání projekce odraženého laserového paprsku a měření konfokálním snímačem pro vzorek L1

**Tab. 1** Vzdálenosti deformovaného okraje od hrany pásu získané třemi použitými přístupy

Vzorek	Laserová projekce [mm]	Zebra test [mm]	Konfokální senzor [mm]
L1	60,7	63	61,1
L2	69,5	70	69,6
R1	46,7	50	47,1

### Závěr

Uvažovaný přístup má potenciál na automatické vyhodnocení počátku bortů. Vzhledem k nárokům na kontrolu pouze několikrát během dne nejsou rozhodující ani časy potřebné k získání dat a následně jejich interpretaci. Informace o poloze bortu bude možné získat v řádech sekund. Nutné bude vyřešit samotné technické provedení.

Při využití detekce laserové projekce je důležité uvažovat s minimalizací vzdáleností pro zmenšení zařízení a komplikovanou zástavbou. Bude zároveň nezbytné řešit tloušťku skla, která při větších rozdílech bude měnit vzorec pro přepočítání z pixelů na mm, dále je nezbytné vyřešit minimalizaci vibrací a stínění celého zařízení od okolního světelného rušení. text vychází z článku [6].

### **Poděkování**

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže Technické univerzity v Liberci č. SGS 21128/115, využívající účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum a je financovaná Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2018.

### **Literatura**

- [1] POPOVIČ, Š. Výroba a zpracování plochého skla, Grada Publishing, a. s., Praha (2009).
- [2] HOTAŘ, V., NOVOTNÝ, F., REINISCHOVÁ, H. Objective evaluation of corrugation test. Glass Technology: European Journal of Glass Science and Technology Part A., Volume 52, No. 9, (2011).
- [3] HOTAŘ, V., MATÚŠEK, O. Konfokální chromatické snímače pro aplikaci ve sklářském průmyslu, Sklář a keramik 67 (3-4) (2017), s. 62–63.
- [4] WOHLER, Ch.: 3d computer vision: efficient methods and applications, 2nd ed. Springer, London (2013).
- [5] HOTAŘ, V., MATÚŠEK, O. Využití reflexe plochého skla pro jeho detekci, Sklář a keramik, 62 (7-8), (2012), s. 170-173.
- [6] MATÚŠEK, O. HOTAŘ, V., Možnosti detekce bortů plaveného skla na výrobní lince, Sklář a keramik, 68 (7-8), (2017), s. 143-147.

### **Anotace:**

*Práce se zabývá možnostmi vyhodnocením povrchu okraje pásu plaveného skla technologií FLOAT. V textu je uvedena jedna z testovaných možností detekce deformace odražené laserové linie na projekční desku.*

### **Summary:**

DETECTING BORDERS OF FLOAT GLASS ON THE PRODUCTION LINE USING REFLECTED LASER BEAM

*The work deals with surface shape evaluation for a float glass rim. The text shows one of the test options: a detection of deformed reflexed laser line projection.*

Ing. Ondřej Matúšek, Katedra sklářských strojů a robotiky, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17, e-mail: [ondrej.matusek@tul.cz](mailto:ondrej.matusek@tul.cz), tel.:485 352 905

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

## **Příspěvek k problematice reologického chování skloviny**

*Matoušek Ivo, Stará Marie, Vaniš Jakub*

### **Úvod**

Jakost tvarované sklářské produkce a efektivita výroby v oblasti tvarování skloviny jsou řízeny interakcí materiálových vlastností skloviny (včetně jejich teplotní závislosti), limity používané technologie a provozních zařízení (včetně nastavení parametrů tvarovacího cyklu a chlazení).

Z fyzikálního pohledu je tvarování skloviny relativně složitým nestacionárním (po „stabilizaci“ tvarovacího cyklu pak kvazistacionárním) silně nelineárním (nelineární materiál, velká přetvoření, kontakt, navíc výrazně časově proměnný) problémem, který je komplikován komplexními okrajovými podmínkami, které musí zohledňovat např. časově proměnné přestupy tepla na rozhraní mezi sklovinou a tvarovacími nástroji nebo časově a prostorově variabilní ochlazování skloviny a tvarovacích nástrojů v průběhu jednotlivých fází tvarovacího cyklu).

V současnosti, v době, kdy se počítačové simulace technologických problémů stávají standardem už také ve sklářské výrobě, není problémem výběr vhodného výpočetního řešiče. Na trhu existuje celá řada produktů, namátkou mohu jmenovat např. MSC MARC, Abaqus, ANSYS, nebo také programy od největšího dodavatele CAX řešení společnosti Autodesk, konkrétně Autodesk CFD a Autodesk NASTRAN (které jsou mj. také distribuovány naší společností a pro které můžeme zájemcům nebo uživatelům nabídnout školení, další podporu a informace). Zásadním problémem pro získání kvalitních výstupů využitelných pro optimalizaci tvarovacího cyklu, chlazení a konstrukci tvarovacích nástrojů je definice materiálového modelu a popis okrajových a počátečních podmínek.

### **Reologické vlastnosti skloviny a silová odezva vzorku skloviny na tlakové zatížení**

V technologické praxi se obvykle předpokládá, že sklovina (tj. sklo nad transformační teplotou  $T_g$ ) je viskozitní (Newtonovskou) kapalinou. Konstitutivní chování skloviny je však ve skutečnosti podstatně složitější, neboť i nad horní hranicí transformačního intervalu vykazuje vlastnosti viskoelastické substance (stranou necháme, že např. podle [2,3] při překročení kritické rychlosti deformace sklovina vykazuje chování ne-Newtonovské, konkrétně pseudoplastické kapaliny).

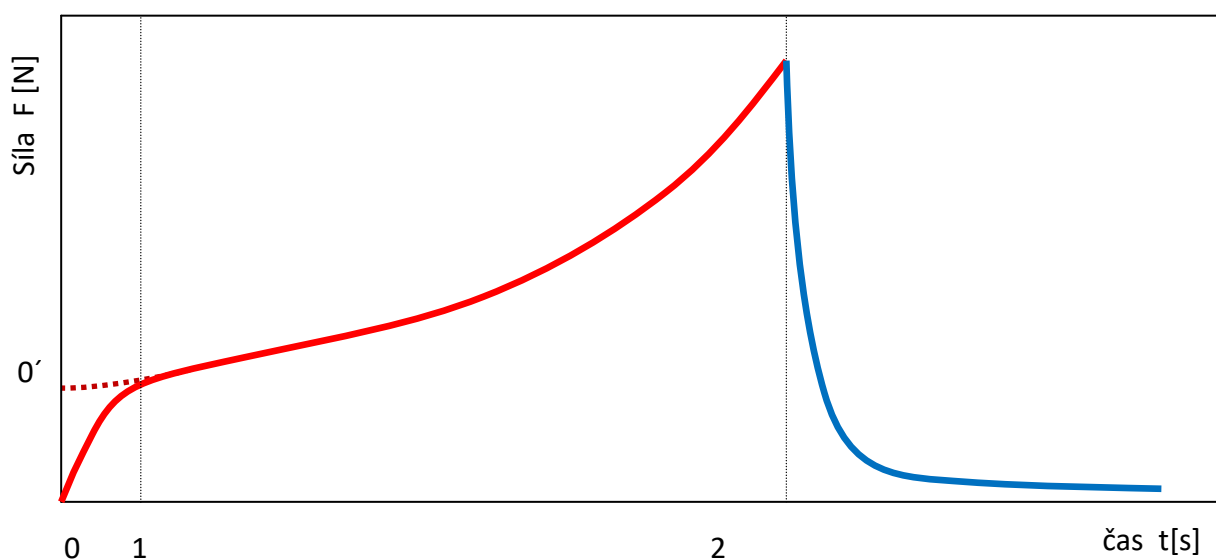
Pro názornost lze průběh procesu tvarování skloviny demonstrovat na jednoduchém a jednoznačném příkladu stlačování válcového vzorku skloviny mezi dvěma tvarovacími čelistmi (obr. 1), navíc za izotermických podmínek.

Na obr. 2 je červenou křivkou popsán průběh silové odezvy na vnější tlakové zatížení pro válcový vzorek skloviny. Na této křivce je možné identifikovat 2 různé fáze. Na počátku stlačování vzorku skloviny je řízený pohyb razníku doprovázen relativně prudkým nárůstem tvarovací síly, v této fázi tvarování je dominantní elastická složka přetvoření. V okamžiku dosažení bodu 1 se charakter silové odezvy mění a další průběh je již řízen čistě viskozitním tokem skloviny (bod 0' odpovídá počátečnímu bodu silové odezvy za předpokladu, že by sklovina byla čistě viskozitní kapalinou). V bodě 2 je dosaženo finálního stavu lisování, pohyb

lisovací čelisti je ukončen. Tvarovací síla v tomto bodě dosáhla maximální hodnoty a v následující fázi dochází ve sklovině k relaxaci napětí (modrá křivka).



**Obr. 1** Proces tvarování skloviny

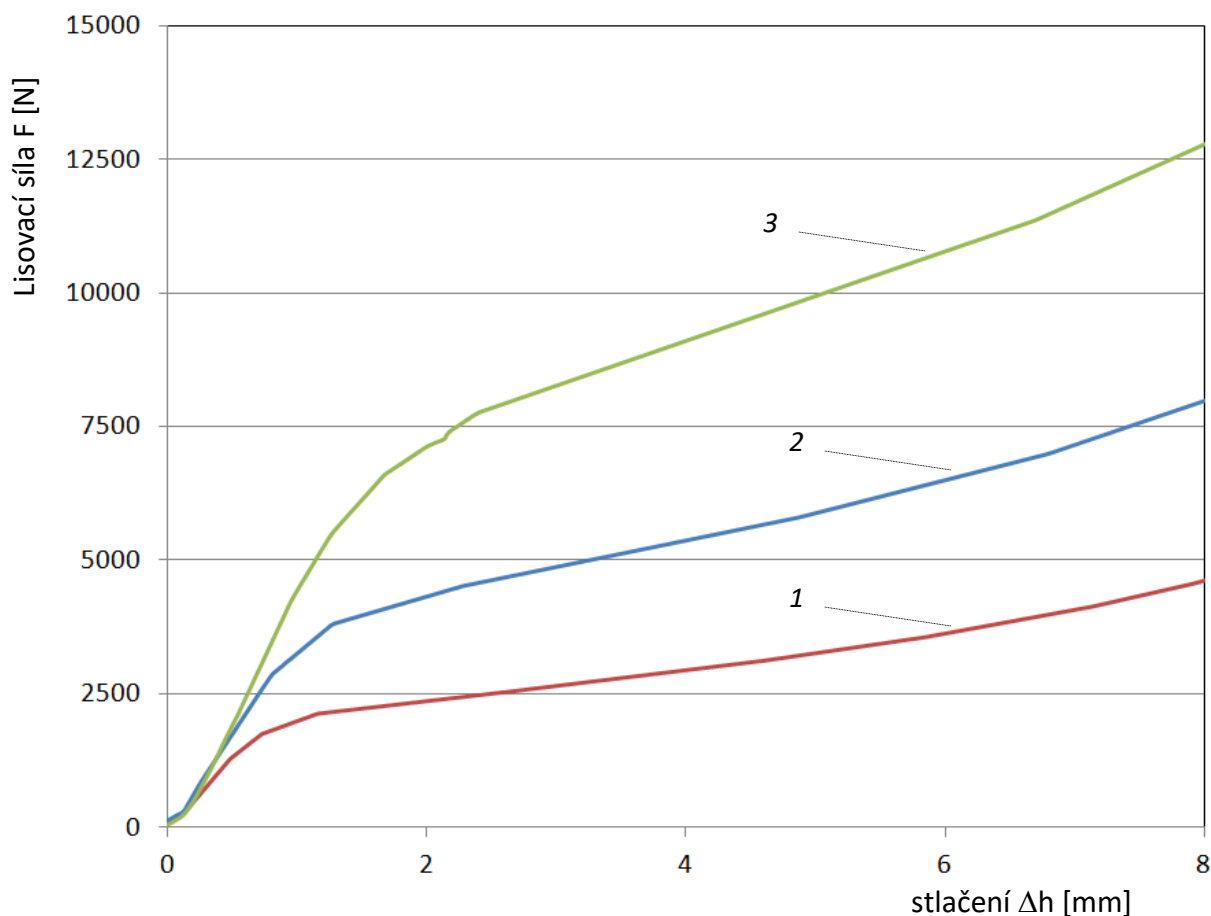


**Obr. 2** Proces tvarování skloviny

Průběh silové odezvy závisí na viskozitě, tj. počáteční (v našem případě homogenní) teplotě vzorku a rychlosti stlačování. Vliv rozdílné rychlosti stlačování je zřejmý z grafů uvedených na obr. 3, na kterých jsou vykresleny naměřené průběhy silové odezvy při stlačování vzorků rychlostí 1 (1), 2 (2) a 4 (3)  $\text{mms}^{-1}$  a viskozitě  $\eta = 10^{7,8}$  Pas (sodnodraselná sklovina pro výrobu užitkového sortimentu). S rostoucí rychlostí stlačování vzorků se křivka silové odezvy posouvá k vyšším hodnotám lisovací síly, rozšiřuje se oblast s dominantním vlivem elastické deformace a roste hodnota okamžitého modulu pružnosti.

Z praktického pohledu je zajímavé porovnání viskoelastických odezev silikátových sklovin vzájemně odlišného chemického složení při stejných podmínkách experimentu, tj. při stejné viskozitě a rychlosti stlačování (a v souladu s předchozím samozřejmě také při izotermických podmínkách)<sup>1</sup>.

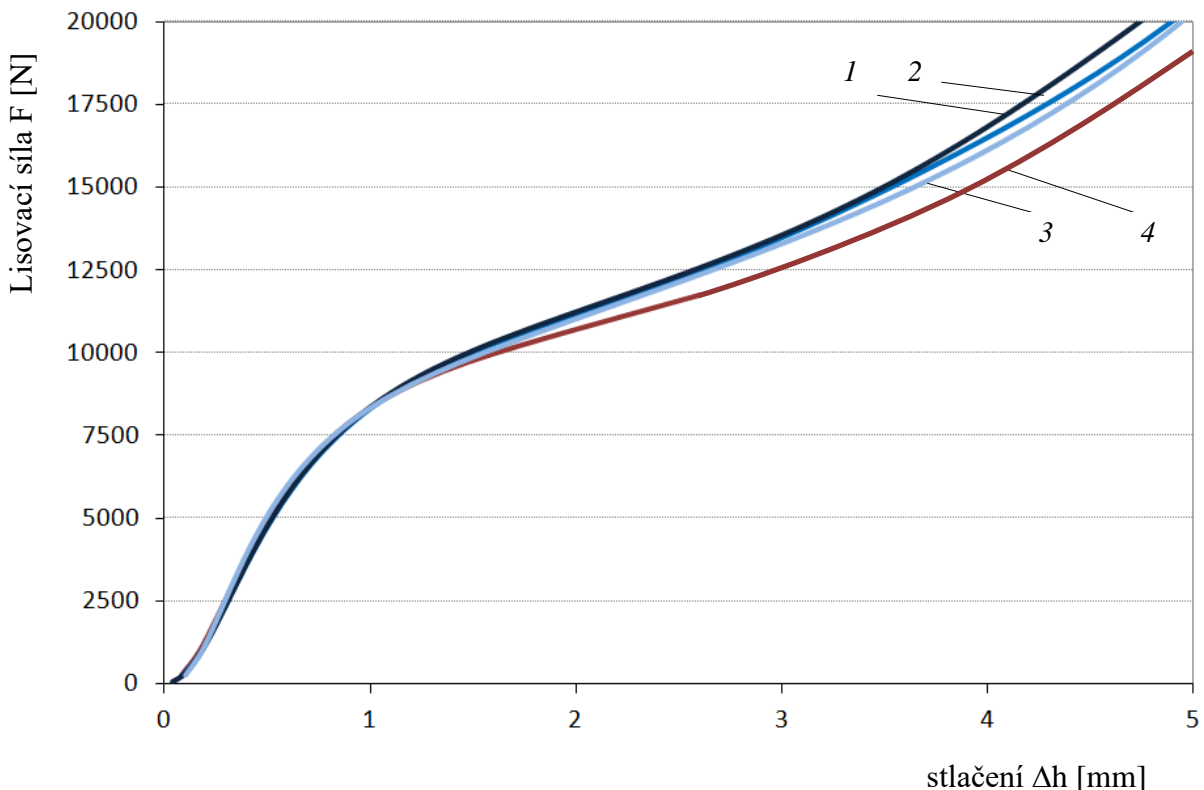
<sup>1</sup> Poznámka k metodě izotermického stlačování válečku: Měření viskoelastické odezvy na vnější tlakové zatížení válcového vzorku skloviny je relativně jednoduché, ovšem značně časově náročné [11]. Metoda umožňuje zpřesnit viskozitní křivku (vychází z normy ASTM C1351 [1] pro měření viskozity v intervalu  $10^4 - 10^{10}$  Pas) a vyhodnocovat průběhy okamžitých modulů pružnosti v závislosti na rychlosti deformace skloviny.



**Obr. 3** Naměřená viskoelastická odezva sodnodraselné skloviny pro výrobu užitkového sortimentu pro různé rychlosti stlačování při viskozitě  $\eta=10^{7,8}$  Pas [12]

Na obr. 4 jsou vykresleny průběhy silových odezev čtyř sklovin odlišného chemického složení při počáteční viskozitě  $\eta = 10^{7,45}$  Pas a rychlosti stlačování  $4 \text{ mms}^{-1}$ . Z porovnání jednotlivých grafů je zjevné, že průběhy viskoelastických odezev skloviny Float (tabulové sklo), sodnodraselné skloviny pro výrobu užitkového sortimentu a obalové skloviny jsou v podstatě identické. Vzájemné odchylky lze přičíst odlišným teplotním závislostem měrného tepla, viskozitní křivky a rozdílné hustotě jednotlivých sklovin (při stlačování dochází k disipaci deformační energie a tedy k ohřevu vzorku). Podobné výsledky byly při stejné viskozitě získány také pro rychlosti pohybu razníku  $0,5; 1; 2; \text{ a } 8 \text{ mms}^{-1}$ .

Výraznější odchylky v průběhu silové odezvy byly zjištěny pouze u olovnatého křišťálu (při všech rychlostech stlačování). Příčinou v tomto případě však zřejmě byla odlišná počáteční výška vzorků a s tím spojená nutnost přepočtu naměřených výstupů.



**Obr. 4** Naměřená viskoelastická odezva silikátových sklovin odlišného chemického složení při stejné viskozitě  $\eta=10^{7,45}$  Pas, 1 - Float (685°C), 2 – sodnodraselný sklovina, užitková sklovina (655°C), obalová sklovina (697°C), olovnatý křišťál (611°C)

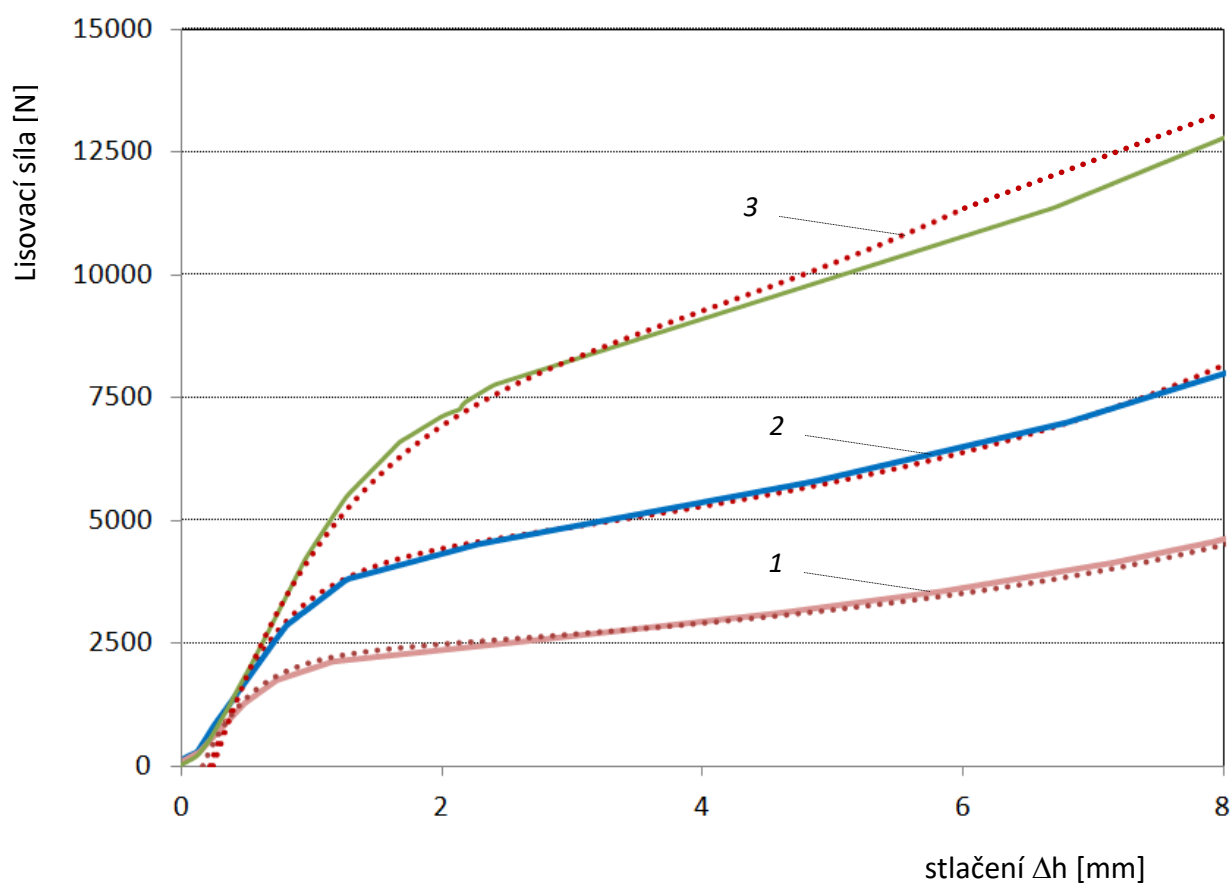
#### **Identifikace okamžitého modulu pružnosti**

Moduly pružnosti u skloviny závisí na rychlosti přetvoření, proto se pro jejich popis obvykle používá pojmu okamžitý modul pružnosti. Pro jeho identifikaci lze použít jednoduchého a často používaného analytického vztahu [4,5]:

$$E(t) = \frac{d\sigma(t)}{d\varepsilon(t)} = d\left(\frac{F(t)}{A(t)}\right) / d\left(\frac{\Delta h(t)}{h(t)}\right), \quad (1)$$

*kde:  $F(t)$  je lisovací síla,  $A(t)$  průřez vzorku skloviny,  $\Delta h(t)$  okamžité stlačení a  $h(t)$  aktuální výška stlačovaného vzorku skloviny.*

Druhou možností identifikace okamžitého modulu pružnosti je využití počítačového modelu s implementovaným viskoelastickým materiálovým modelem Maxwellova typu. Výstupy počítačového modelu jsou uvedeny na obr. 5 [12]. Z průběhu jednotlivých křivek je zjevná relativně velmi dobrá shoda počítačového modelu s experimentem.



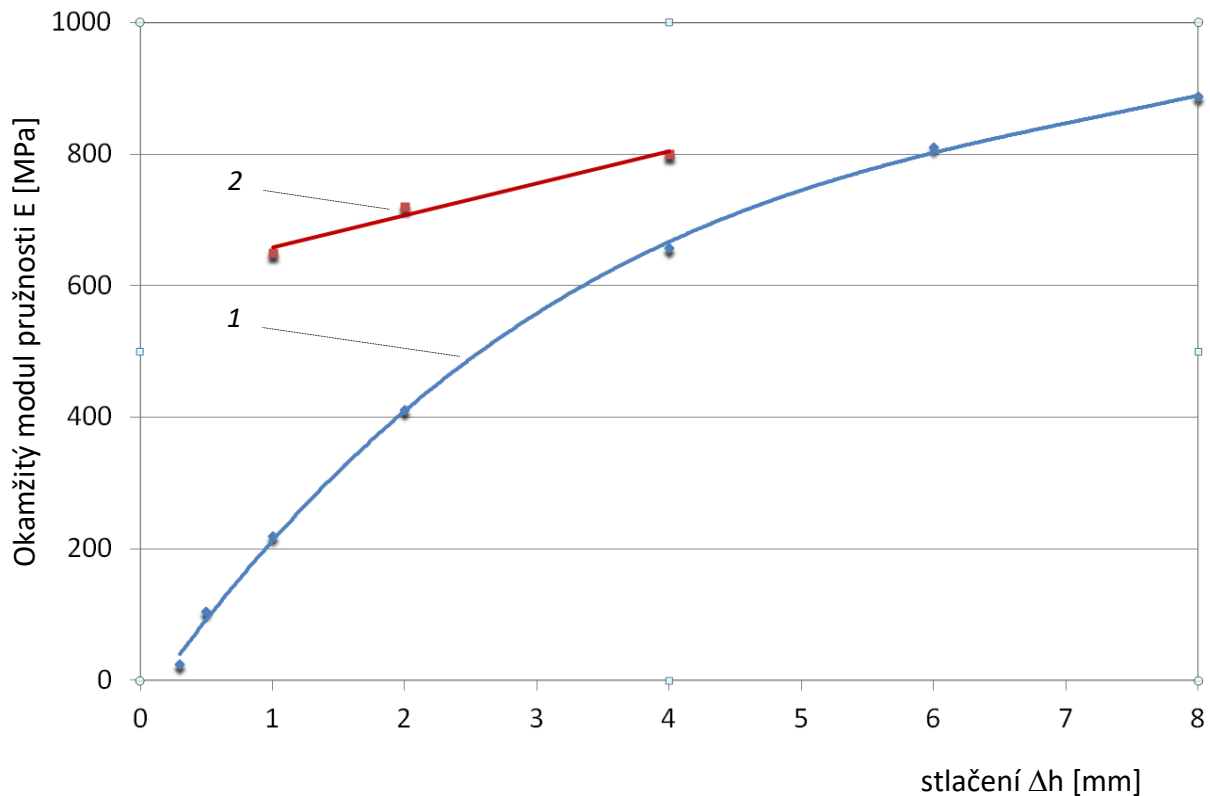
**Obr. 5** Naměřené (plné křivky) a vypočtené (tečkované křivky) průběhy viskoelastická odezvy sodnodraselné skloviny pro výrobu užitkového sortimentu pro různé rychlosti stlačování při viskozitě  $\eta=10^{7,8}$  Pas

Alternativou k oběma předešlým možnostem je modifikace Gentova vztahu [6] odvozeného autorem [13]:

$$F = 3 \cdot \eta \cdot \dot{h} \cdot \frac{1}{h^2} \left( 1 + \frac{R^2}{2 \cdot h^2} \right) \left( 1 - e^{\frac{E \cdot \tau}{3 \cdot \eta}} \right), \quad (2)$$

kde:  $\eta$  je viskozita,  $dh/dt$  rychlost stlačování,  $h$  aktuální výška vzorku,  $R$  aktuální poloměr průmětu vzorku do horizontální roviny,  $E$  modul pružnosti.

Průběhy závislostí okamžitých modulů pružnosti při viskozitě  $\eta=10^{7,45}$  Pas (1) a  $\eta=10^{7,8}$  Pas (2) jsou uvedeny na obr. 6.



**Obr. 6** Průběh okamžitých modulů pružnosti při viskozitě  $\eta=10^{7,45}$  Pas (1) a  $\eta=10^{7,8}$  Pas (2)

### Relaxační moduly

V bodě 2 (obr. 2) je dosaženo finálního stavu lisování, razník je v klidu. Napětí ve vzorku skloviny začíná relaxovat. Pokles napětí ve sklovině probíhá podle zobecněného Maxwellova modelu a pokles napětí s časem můžeme vyjádřit vztahem:

$$\sigma(t) = \sigma_{Max} \cdot \left( A \cdot e^{-\frac{t}{t_{01}}} + B \cdot e^{-\frac{t}{t_{02}}} \right), \quad (3)$$

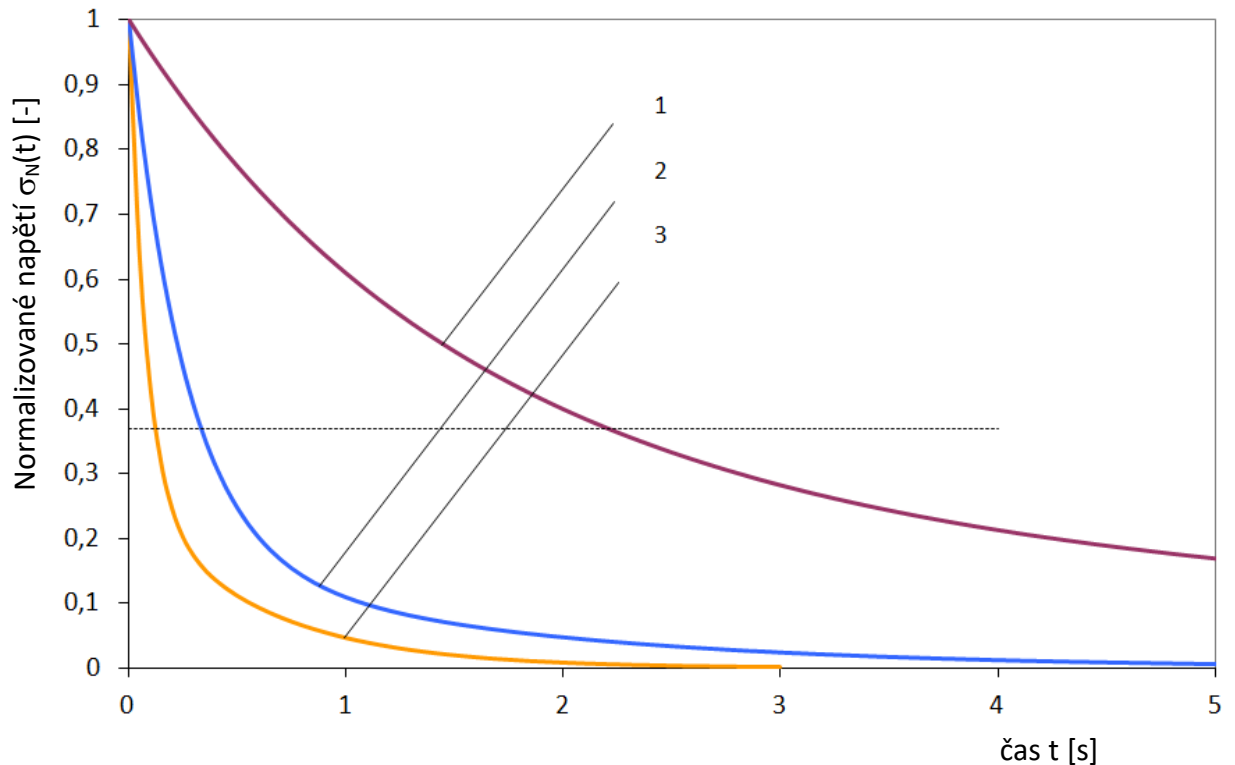
kde:  $\sigma(t)$  je relaxační napětí,  $\sigma_{Max}$  napětí na konci lisování,  $A, B, t_{01}, t_{02}$  konstanty,  $t$  čas.

Na obr. 6 jsou vykresleny průběhy relaxace normalizovaného napětí (vzhledem k maximální hodnotě) pro výchozí viskozity válcového vzorku skloviny  $\eta = 10^9$  (1),  $10^8$  (2) a  $10^{7,45}$  (3) Pas a rychlost stlačování  $1 \text{ mms}^{-1}$ . Napětí bude samozřejmě rychleji relaxovat ve vzorcích s vyšší teplotou, tj. v následujících případech:

- při stejném stlačení - ve vzorcích s nižší viskozitou (vyšší teplotou) na počátku experimentu (obr. 7),
- při stejné výchozí teplotě - ve vzorcích s vyšší mírou deformace (větším stlačení)



- při stejné výchozí teplotě - ve vzorcích, které byly stlačovány vyšší rychlostí.



**Obr. 7** Průběh relaxace napětí v deformovaných vzorcích při celkovém stlačení 4 mm a rychlosti stlačování  $1 \text{ mms}^{-1}$ .

1 – vzorek s výchozí viskozitou  $10^9 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  (aproximace relaxace napětí:  $A = 0.29$ ;  $B = 0.71$ ;  $t_{01} = 7.29$ ;  $t_{02} = 1.44$ ),

2 - vzorek s výchozí viskozitou  $10^8 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  (aproximace relaxace napětí:  $A = 0.82$ ,  $B = 0.18$ ;  $t_{01} = 7.26$ ;  $t_{02} = 1.49$ ,

3 - vzorek s výchozí viskozitou  $10^{7,45} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  (aproximace relaxace napětí:  $A = 0.26$ ,  $B = 0.74$ ;  $t_{01} = 0.58$ ;  $t_{02} = 0.08$ ).

### Závěr

Moderní počítačové systémy (FEM, CFD) poskytují nástroje pro reálné simulace technologických procesů, a to včetně procesů tvarování skloviny. Zásadním problémem pro získávání kvalitnějších výstupů využitelných pro další optimalizaci tvarovacího cyklu, chlazení a konstrukci tvarovacích nástrojů je definice materiálového modelu a popis okrajových a počátečních podmínek.

Integrace konstitutivních vztahů viskoelastického chování Maxwellova typu do počítačových modelů umožní další zpřesnění výpočetních simulací (především v místech s lokálním propadem teploty). Limitujícím faktorem je v současné době omezená znalost průběhů okamžitých modelů pružnosti pro širší spektrum viskozit a rychlostí deformace. Vhodnou metodou pro získání těchto charakteristik je metoda izotermického stlačování válečku.

Realizované experimenty ukázaly na možnost přenositelnosti výsledků mezi sklovinami různého chemického složení. Otázkou zůstává pouze přenositelnost na olovnatý křišťál.

Okamžité moduly pružnosti lze určit z naměřné silové odezvy na vnější tlakové zatížení buď klasickým výpočtem (1), počítačovou simulací prostřednictvím výpočetního programu (MKP, CFD), nebo přímo prostřednictvím nově navrženého vztahu (2).

### **Literatura**

- [1] ASTM C1351M-96: Standard Test Method for Measurement of Viscosity of Glass Between  $10^4$  Pas and  $10^8$  Pas by Viscous Compression of a Solid Right Cylinder, reapproved 2002.
- [2] SIMMONS, J. H. - SIMMONS, C. J., Non-Newtonian viscous flow in glass forming, Bulletin Am. Ceram. Soc. 68 (1989), s. 1949-55.
- [3] BRÜCKNER, R., MANNS, P. Non-newtonian flow behaviour of soda-lime silica glass at high deformation rates. Glastechn. Ber. 61, 1988, no. 2, p. 46-56.
- [4] HESSENKEMPER, H., BRÜCKNER, R., *Relaxation behaviour, high-temperature tensile strength and brittleness of glass melts, Glastechnische Berichte, Vol.62 No.12, 1989, pp. 399 – 409.*
- [5] HESSENKEMPER, H., BRÜCKNER, R., *Load-dependent relaxation behaviour of various glass melts with different structural configurations, Glastechnische Berichte, Vol.63 No.1, 1990, pp 1-6.*
- [6] GENT, A., N., Theory of the Parallel Plate Viscometer, Br. J. Appl. Phys. 11 (1960), 85-88
- [7] MATOUŠEK, I., VÍTOVÁ, M. Metodika hodnocení reologického chování silikátových sklovin. Sklář a keramik, vol. 59, 2009, č. 10-12, p. 217-223. ISSN 0037-637X
- [8] VÍTOVÁ, M., MATOUŠEK, I. Rheological Response of Glass Melts. Ceramics – Silikáty, roč. 53 [2009], č. 1, s. 59-62. ISSN 0862-5468
- [9] MATOUŠEK, I., VÍTOVÁ, M., Metodika hodnocení reologického chování silikátových sklovin. Sklář a keramik, vol. 59 [2009], č. 10-12, p. 217-223. ISSN 0037-637X
- [10] MATOUŠEK, I., VÍTOVÁ, M., Analýza viskozitní odezvy skloviny na vnější tlakové zatížení, 1. Aplikovatelnost analytického popisu, Sklář a keramik, 63 [2013], č. 9 -10, s. 209-213, ISSN 0037-637X
- [11] VÍTOVÁ, M., Vztah reologických parametrů a modelů tvarování skla, disertační práce, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2008
- [12] VANIŠ, J., Analýza reologických vlastností skloviny, bakalářská práce, TUL, Liberec, 2018
- [13] MATOUŠEK, I., dosud nepublikované materiály.

### **Anotace:**

*Příspěvek se stručně, spíše encyklopedicky zabývá problematikou reologického chování skloviny během tvarování. Na jednoduchém příkladu stlačování válcového vzorku je*

prezentována silová odezva skloviny na tlakové zatížení. Jsou porovnány průběhy silové odezvy čtyř sklovin různého chemického složení.

V práci jsou stručně ukázány možnosti získání průběhů okamžitých modulů pružnosti. Kromě známých postupů (analytický výpočet, počítačová simulace FEM) je pro výpočet okamžitého modul pružnosti navržena nová rovnice, která vychází z obecně známého Gentova vztahu. V závěru jsou vykresleny průběhy vypočtených okamžitých modulů pružnosti v závislosti na rychlosti stlačování pro viskozity  $\eta = 10^{7,45}$  Pas a  $\eta = 10^{7,8}$  Pas.

### **Summary:**

#### POINT TO ISSUE OF REOLOGICAL BEHAVIOR OF GLASS MELT DURING FORMING

*This paper handles the issue of rheological behaviour of glass melt during forming, briefly. Force response of glass to pressure loads is presented on a simple example of cylindrical sample compression. There are the courses of force responses for four glass melts of different chemical composition compared.*

*There are briefly shown possibilities of identifying instantaneous modulus of elasticity in the paper. Besides the known approaches (analytical calculation and computer simulation with FEM) there is a new equation for determination of instantaneous modulus of elasticity based on known Gent calculation proposed.*

*At the end, the curves of calculated instantaneous moduli of elasticity in dependence on the compression rate are drawn, particularly for viscosities  $\eta = 10^{7,45}$  Pas and  $\eta = 10^{7,8}$  Pas.*

## Je užitkový křišťál (PbO - LCG) pro spotřebitele rizikový?

Jiří Kořenský

**Klíčová slova:** ochrana před Pb<sup>2+</sup> v nápojích, vyluhování skel, povrchové úpravy na skle.

### **Úvodní část:**

16. 12. 2019 uplyne padesát let od vydání ED č. 69/493/EEC , která definuje základní parametry křišťálových skel /odkazy 1,2/. Tato direktiva říká, že první a druhou třídu křišťálových skel tvoří olovnaté křišťály „**zlatá pečeť**“. Direktiva ED č. 69/493/ECC se vztahuje pro sklo užitkové tj. výrobky ze skla č.70.13 společného celního sazebníku. Norma je natolik propracovaná, že se dosud využívá všeobecně. Všeobecná spokojenost pro LCG trvala v EU do konce 20. století.

Jiná situace nastala v USA, kde začala od roku 1980 působit (zejména ve státě Kalifornie) „**antiolovnatá lobby**“. Prvním krokem proti distribuci olovnatých užitkových skel bylo vydání VAROVÁNÍ – Warning! (FDA of California, Food and Drug Administration - Policy guide). Každá akce velmi často vyvolá reakci. Reakcí na opatření státu Kalifornie bylo založení ICF v roce 1991 (International Crystal Federation). Tato organizace výrobců a distributorů olovnatých užitkových křišťálů propaguje a podporuje výrobu olovnatého skla dodnes /odkaz 3/.

Změna v přístupu EU k olovnatým křišťálům se dala očekávat. Evropská komise ji zahájila vydáním dvou restriktivních opatření. První opatření ED č.2002/95/EEC **RoHS** (Restrictions of the use of certain Hazardous Substances) /odkaz 4/, druhé opatření ED č. 2002/96/EEC **WEEE** (Waste Electrical and Electronic Equipment) /odkaz 4/. Vrcholem restrikcí vůči olovnatým užitkovým sklům bylo vydání další direktivy ED č.2006/1907/ECC **REACH** (The Registration, Evaluation, Autorisation of Chemicals) /odkaz 5/. Pro ověřování nových i starých chemických látek byla založena **ECHA** = Evropská chemická agentura, se sídlem v Helsinkách. Takto se enviromentální politika EU a USA v oboru užitkových olovnatých skel propojila a dále se globalizuje.

### **Uvolňování iontů modifikátorů v LCG (lead crystal glass):**

Podle direktivy ED č.2006/1907/ECC je olovnaté sklo vícesložková látka **UVCB** ( Unknown and Variable composition, complex reaction products or Biological materials). Její vlastnosti určují oxid křemičitý (40-60%) a oxid olovnatý (40-20%). Chemické a strukturní poměry skelné sítě olovnatých křišťálů jsou určeny vysokou atomovou hmotností a deformabilitou iontů Pb<sup>2+</sup> /odkazy 6 a 7/. Velký objem iontů Pb ovlivňuje chemickou stabilitu olovnatých křišťálových skel. /odkaz 8/.

Hlavní důvod pro restrikci k olovnatým užitkovým sklům je toxicita vyluhovaných iontů Pb<sup>2+</sup>. Tento enviromentální důvod smazal všechny ostatní výhody pro výrobu užitkových olovnatých skel (opticko-estetické vlastnosti, viskozitní body, dobré fyzikální vlastnosti).

Veřejný zdravotní výbor EU kodifikoval následující max. akceptovatelné limity pro koncentrace Pb<sup>2+</sup> ve výluhu /odkaz 9/.

Tabulka č. 1 podle /odkaz 9/:

Typ a název výrobku z LCG	Max, přípustný limit Pb <sup>2+</sup>	
Miska, talíř - ploché výrobky	3,0 ppm	Flatware
Malá baňka - karafa	1,5 ppm	Small Hollowware
Velká baňka - džbán	0,75 ppm	Large Hollowwar

Pro testování výrobků ze skla platí normy ISO 7086-1 a ISO 7086-2 (limity).

Ve státě Kalifornie **MUSÍ** výrobky (distribuce) z užitkového LCG vyhovovat Kalifornské normě pro pitnou vodu a Nařízení o nebezpečnosti z roku 1986 „ PROPOSITION 65“ (připojilo se 65 aktérů). Podle této normy jsou maximálně přípustné limity pro výluhy modifikujících iontů Pb<sup>2+</sup> a Cd<sup>2+</sup> následující /odkaz 10/.

Tabulka č. 2 /odkaz č.10/:

Typ a název výrobku z LCG	Max, přípustný limit Pb <sup>2+</sup>	Max, přípustný limit Cd <sup>2+</sup>	
Miska, talíř	3,16 ppm	0,5 ppm	Flatware
Malá baňka	0,32 ppm	0,5 ppm	Small Hollowware
Velká baňka	0,08 ppm	0,25 ppm	Lange Hollowware

Výrobky, které při testování překročí povolený limit, jsou klasifikovány jako **nebezpečné**. Takové výrobky musí nést jasné a zřetelné označení „RISK - LEAD HAZARD“, které je připojeno k výrobku při předání zboží do distribuce.

Samostatnou kapitolu tvoří enviromentální tlak na módní výrobky a bižuterii. Podle instrukce FHSA (Federal Hazardous Substance Act) nesmí být módní výrobky a bižuterie kontaminovány olovem. Dětské bižuterní a oděvní výrobky musí být zcela (?) NETOXICKÉ!!! FHSA vydává federální seznam, který uvádí všechny rizikové módní a bižuterní položky. Bižuterní a oděvní fy jsou zapsány do registru a přihlašují své výrobky k testování včetně průvodní dokumentace. Podle rozhodnutí FHSA č. 15 U.S.C. 1261 z 1,12,2008 **NENÍ** domácí produkce USA dětských bižuterních výrobků při splnění maximálního povoleného limitu koncentrace Pb<sup>2+</sup> 50 ppb (part per bilion) označena jako **RIZIKOVÁ** /odkaz 11/.

#### **Technicko-technologické možnosti snižování obsahu Pb<sup>2+</sup> ve výluhu:**

Technicko-technologických možností jak snížit vyluhování Pb<sup>2+</sup> do potravin a nápojů je značné množství. V principu lze vnitřní povrch výrobku předupravit loužením nebo leptáním. Tento způsob se v našich sklárnách běžně používá /odkaz 12/. Rybaříková et al. /odkaz 13/ prokázala, že olafování, mytí, broušení a chemické leštění /odkaz 14/ výrobků snižuje množství extrahovaného Pb<sup>2+</sup>, které působí na spotřebitele. Povrchy výrobků byly upravovány dvěma způsoby: 1. předběžné loužení ve zředěných kyselinách (vodné roztoky), 2. působení produktů rozkladu NH<sub>4</sub>Cl za zvýšené teploty. Olafování je účinnější způsob úpravy povrchu než vyluhování kyselinami.

Komplexní pohled na loužení olovnatých skel (24% PbO) vypracovali egyptští autoři Ahmed, A.A, s Youssof, I.M. /odkaz 15/. V této práci jsou velmi dobře popsána úskalí pro stanovení koncentrace Pb<sup>2+</sup> ve výluhu popřípadě stanovení váhového úbytku Si<sup>4+</sup>. Autoři prokázali, že statistické testování výrobků z LCG v kyselině octové (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>) umožňuje makroskopický

popis reakčního mechanismu. Výměna iontů mezi povrchem výrobku LCG a roztokem C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub> závisí na složení skla, formě vzorku, změně pH, teplotě, čase. Výsledky zkoušek ukázaly, že 4% vodný roztok C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub> má mnohem výraznější korozní účinek na povrch než 40% vodný roztok etanolu. Extrakt v alkoholu obsahuje přibližně 1/10 (0,3ppm) obsahu Pb<sup>2+</sup> proti výluhu acetátovému (3ppm). Druhou významnou cestou ochrany povrchu výrobků z LCG proti extrakci modifikujících iontů je povlakování ochranou vrstvou. Jedná se o možnost aplikace různých nanomateriálů, silanizaci, teflonování, vakuové napařování, naprašování, plasmatické metod /odkazy 16,17,18,19 /.

Povlakování vnitřních povrchů výrobků se využívá mnohem méně a to z následujících důvodů: Technicko-technologické (zejména nutnost vyhřívání povrchů před aplikací PÚ) dále ekologické a ekonomické důvody == jsou to vícenásledky s rizikem ekonomického propadu do hospodaření společnosti.

Nabízí se také zásadní otázka? „**Proč** investovat do úprav vnitřních povrchů výrobků z LCG, když lze relativně snadno změnit složení skla na **NEOLOVO**? Takto reagovala nakonec i fa RIEDEL z Kufsteinu, když v roce 2015 prakticky po 50-ti letech opustila LCG /odkaz 20 / a přešla na barnatý krystalin.

### **Závěry a doporučení:**

1/ V enviromentálním sporu celkem s přehledem **vítězí antiolovnatá loby.**

2/ Přes toto konstatování lze prokázat, že restrikce vůči výrobkům z užitkového olovnatého skla nejsou oprávněné. (Ikdyž maximální přípustné limity koncentrací Pb<sup>2+</sup> ve výluhu jsou neustále snižovány!). Vhodnými povrchovými úpravami skla lze postavit proti vyluhování modifikujících kationtů ze skla do roztoků a nápojů účinnou bariéru.

3/ Právním způsobem lze formulovat odpověď na otázku v názvu tohoto příspěvku: **Výrobky z užitkového olovnatého křišťálu jsou po úpravách vnitřních povrchů pro spotřebitele prakticky BEZPEČNÉ.** Míra toxikologického rizika je pro spotřebitele minimální.

4/ Zdůvodnění: Spor Propagace / Restrikce užitkových LCG skel se mnoha spotřebitelům může jevit jako absurdní. To však platí pouze v případě, že nevznikne ztráta v obchodní činnosti v řádu desítek milionů dolarů. Užitekářské, módní a bižuterní firmy v posledním desetiletí přestaly buď existovat, nebo utrpěly hospodářské ztráty. Hlavní důvod je v tom, že většina zavedených firem, nedokázala odolat tlaku „antiolovnaté loby USA i EU“ a nakonec přesmykla produkci užitkových skel na **neolovo.**

### Seznam použité literatury:

- [1] EC Directive 69/493 z 15/12-1969 o sblížení právních předpisů členských států týkající se křišťálových skel.
- [2] Vyhláška MPO z 10/10-2000 č.379/2000 (česká právní verze).
- [3] <https://WWW.internationalcrystal federation.org>
- [4] Technická informace SCHOTT : TIE 34 , EC-Direktive RoHS,optické +barevné+speciální sklo. [http:// WWW.schott.com/optics devies/english/download/index.html/](http://WWW.schott.com/optics devies/english/download/index.html/).
- [5] Official journal of the EU, No.1907/2006. <http://eur-lex.ueropa.eu/LexUriServ/>
- [6] Volf, M.B.: Chemie skla, SNTL Pha 1978 s.334 – 350.
- [7] Vogel, W.: Glas-chemie, Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie, Leipzig 1979, s.165-171.
- [8] Hynes, M.J. and Jonson,B.: Lead, glass and the enviroment. Chem.Soc. Rewies 1977, s.133-146.
- [9] Public Healt Committe EU 22,09.2004 – 1. verse – Lead leaching from Glass TableWare into foodstuffs.

- [10] Stát Kalifornie, ekologická ochranná agentura. Bezpečnost pitné vody a její ochrana. Významný toxikologický počin roku 1986 „ PROPOSITION 65“  
[https:// www.internationalcrystal federation.org/proposition-65-information](https://www.internationalcrystal federation.org/proposition-65-information)
- [11] [https:// cpsc.gov/s3fs- public/files/infoma.org/en/legislation/federal -hazardous-substances-act -15- usc 1261/](https://cpsc.gov/s3fs-public/files/infoma.org/en/legislation/federal-hazardous-substances-act-15-usc-1261/)
- [12] Bárta, S. et al: soukromé sdělení
- [13] Rybaříková, L et al: Úprava povrchu olovnatých skel ke snížení výluhů olova, *Ceramics-Silikáty 45(2001)*, s.31-34.
- [14] Rybaříková, L. a Hradecká, H.: Snížení výluhu olova u výrobků z LCG, loužením povrchu v kyselinách a chemickým leštěním. *Sklář a Keramik 48 (1998)*, č,11,s. 233 – 236.
- [15] Ahmed, A.A. and Youssof, I.M.: Interaction between lead crystal glass (24% PbO) and acetic acid.  
*Blastech. Ber. Glass Sci. Technol.70 (1997)*,no. 6 , s.173 – 185.
- [16] Abušínov, A.: Povlakování skla a plastů, *Sklo a průmyslový trh – obraz IV*, [www.glassrevue.com](http://www.glassrevue.com)  
 14/2007.
- [17] Čech, V. et al: Vakuové a plazmové techniky k provádění povrchových úprav materiálu.  
[https:// mmspektrum.com/.../ vakuové\\_a \\_plasmochemické\\_techiky\\_povrchových\\_úprav/](https://mmspektrum.com/.../vakuove_a_plasmochemicke_techiky_povrchovyh_uprav/)
- [18] Čejka, M.: Optimalizace tvorby tenkých vrstev kovových materiálů (diplomová práce - VUT Brno) [https://www.vutbr.cz/www\\_baze/](https://www.vutbr.cz/www_baze/)
- [19] Kolektiv VŠCHT – ústav skla a keramiky: Příprava vrstev metodou sol-gel (VŠCHT Praha 2002) [www.vscht.cz](http://www.vscht.cz) [thesen.vscht.cz/.../LOTR%20III%20-%20priprava%20vrstev%20metodou%20 sol-gel](http://thesen.vscht.cz/.../LOTR%20III%20-%20priprava%20vrstev%20metodou%20sol-gel) nebo [www.solgel.com](http://www.solgel.com) nebo [www.gettz.edu](http://www.gettz.edu)
- [20] Miehs, E.: obchodní sdělení.

**Anotace:**

*V roce 2019 uplyne padesát let od vydání "křišťálové" direktivy EHS č.69/493/EEC. Toto nařízení je dodnes platné a využíváno. Od roku 2002 se uplatňují v EHS environmentální omezení pro používání výrobků z olovnatého skla (užitkové sklo). Výrobci olovnatého křišťálu provádí chemickou nebo fyzikální úpravu povrchu PbO skel tak, že jsou tyto výrobky pro spotřebitele bezpečné.*

**Summary:**

IS CRYSTAL GLASS (PbO-LCG) FOR CONSUMERS RISKY?

*In 2019, fifty years after the publication of the "Crystal" EEC Directive No. 69/493 / EEC will expire. This regulation is still valid and used. Since 2002, the environmental restrictions on the use of leaded glass products (domestic glass) have been applied in the EEC.*

*Lead crystal producers make a chemical or physical treatment of the surface of PbO glass so that they are safe for the consumer.*

Jiří Kořenský, člen ČSS, Jablonec nad Nisou, [honza.korensky@seznam.cz](mailto:honza.korensky@seznam.cz)

## Vývoj sekce myčky pro odstranění antireflexní vrstvy

*Marek Kovář*

### **Úvod**

Sklářský průmysl má za sebou dlouhou historii v lidských životech. Objevení skla se datuje do roku 3000 před naším letopočtem na Blízkém východě nebo v Egyptě. Od dávných dob se sklářství výrazně změnilo. Na počátku byly vyráběny drobné korále nebo šperky. V dnešní době je sklářství velmi komplexním odvětvím, které zasahuje do mnoha výrobních sektorů. Mnohdy sklo už ani nevnímáme a bereme jej jako samozřejmost a nedílnou součást našich životů. Mobilní telefony s dotykovým displejem jsou pro nás stejně všední jako čistá tekoucí voda z vodovodního kohoutku. Dotykové displeje stále více pronikají do našich životů v podobě tabletu, velkoplošných výukových obrazovek ve školách nebo dotykového displeje v osobním automobilu. Zde palubní počítač plní mnoho řídicích funkcí, ale i funkcí zvyšujících naše pohodlí. Kontroluje vstřikování paliva do motoru nebo správnou funkčnost brzd, stejně tak s ním můžeme ovládat rádio, připojit mobilní telefon, ovládat klimatizaci, využít ho jako navigaci nebo parkovací kameru. Dotykový displej se stává nedílnou součástí automobilu a je důkazem luxusu, který dnešní doba přináší, aniž bychom si to uvědomovali.

### **Pozadí**

V současnosti je na prvním místě bezpečnost posádky. S tím jsou spojené vysoké nároky na tento typ displejů. Displej musí být odolný proti poškození při nehodě – je vysoce nežádoucí, aby roztržštěné ostré kousky poranily posádku. Dále musí být i dostatečně odolný proti otřesům při běžném provozu. Neméně důležitou vlastností je viditelnost funkcí na displeji za každé denní doby. Nemůžeme používat displej, který za denního světla připomíná spíše zrcadlo. Proto jsou na povrch nanášeny antireflexní vrstvy, jež dokážou eliminovat nežádoucí odlesky a zlepšit tak viditelnost funkcí na displeji. Antireflexní vrstvy hrají zásadní roli také v optice. Nemohli bychom bez nich vytvořit hvězdářské dalekohledy, které vidí do hlubokého vesmíru. Dalším zásadním požadavkem je čistota povrchu. Během dne máme na ruku mnoho mastnoty a nečistot, které přenášíme na naše dotykové displeje. Ať už se jedná o mobilní telefony nebo dotykové displeje v automobilu, musí být chráněny olejořádnou vrstvou. Na takto chráněném sklu se jen velmi těžko zachytává mastnota a viditelnost otisků prstů je minimální. Další z důležitých vlastností je odolnost skla proti poškrábání. To zajišťuje chemické vytvrzování skla, tzv. IOX.

### **Metodika**

Vyrobení dotykového displeje do automobilu je velmi sofistikovaný proces s velkým důrazem na kvalitu zpracování a především čistotu. Firma Benteler Maschinenbau je výrobcem myček pro displejovou techniku na světové úrovni. Vyrábí se zde myčky pro takto náročné aplikace. Procesy výroby displejů jsou převážně přesunuty do čistého prostoru. Nejedná se zde tedy jen o vysoké nároky na čistotu skla, ale také na precizní zhotovení stroje, v tomto případě myčky. Proto tento článek bude popisovat část vývoje myčky pro odstranění antireflexní



vrstvy ze skla. Požadavek na tuto myčku přišel od předního výrobce skel pro dotykové přístroje.

Výroba dotykového displeje pro automobilový průmysl je složena z 5 rozdílných procedur. Na samotném počátku výroby je velká skleněná tabule, jež musí být rozdělena pomocí řezání na požadovaný rozměr displeje. V této fázi také dojde k zaoblení hran pomocí broušení. Po procesu řezání je sklo pokryto vrstvou řezného oleje a drobnými částicemi po broušení. Sklo musí být důkladně omyto před jeho dalším použitím, jelikož nečistoty nesmí kontaminovat následující procesy.

Dalším procesem je chemické vytvrzování, při němž se sklo stane mnohem odolnějším proti vysokému tlakovému napětí, a to až 1000 MPa v hloubce 40  $\mu\text{m}$ . Sklo zachovává své vlastnosti po dlouhou dobu používání a získá velmi dobrou chemickou odolnost. Vytvrzené sklo má také nadstandardní kvalitu povrchu. Je velmi hladké. Nejvíce ceněnou vlastností je však jeho odolnost proti poškrábání. Škrábance nemají tendenci se šířit v kolmém směru a roztáhnout se tak do okolí kolem vrypu. Jsou proto méně viditelné než na obyčejném sklu. Po chemickém vytvrzení zůstávají zbytky chemikálií, které musí být před dalším procesem opět odstraněny.

Dalším procesem je potisk skla motivem, který odpovídá středovému panelu. Na sklo je nanášena vrstva inkoustu. Před dalším procesem se sklo opět musí zbavit nečistot.

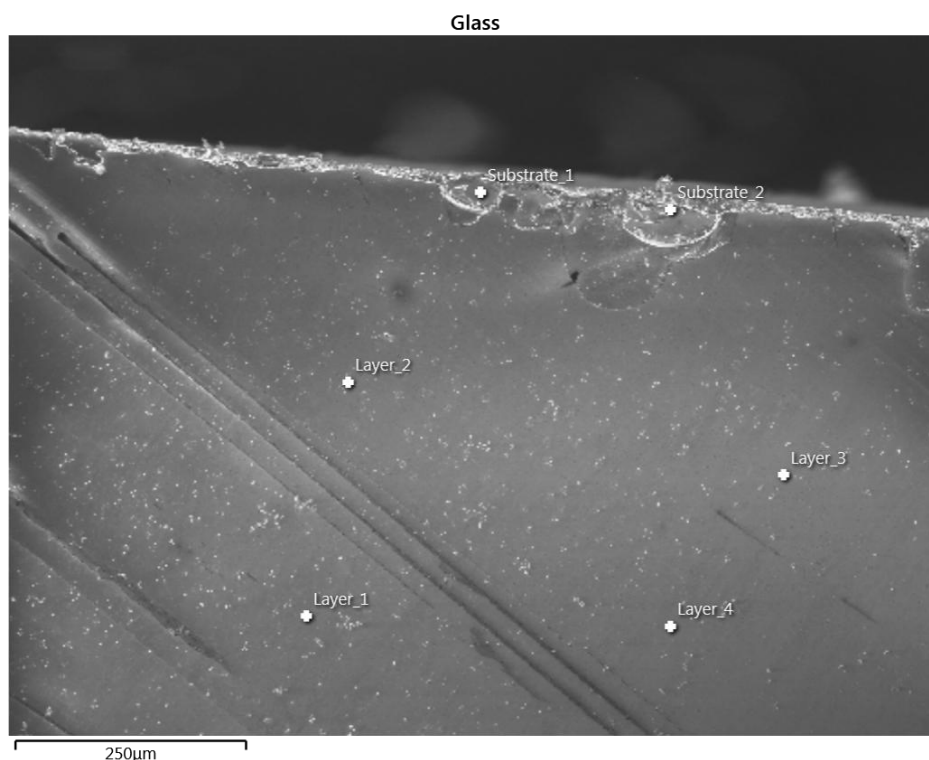
Předposledním procesem v pořadí výroby je aplikace antireflexní vrstvy. Každé sklo má tu vlastnost, že část světla propustí skrz a část odrazí zpátky. Odražené světlo snižuje viditelnost na displeji. Nikdo nechce displej, který bude svým vzhledem spíše připomínat zrcadlo, a proto je světovým trendem snížit odrazivost povrchu na hodnotu blízkou nule. V dnešní době firmy umí díky antireflexním vrstvám vyrobit sklo, které okem nevnímáme a musí na něj být upozorněno, jelikož s ním hrozí střet vedoucí k následnému poranění. Proces nanášení antireflexní vrstvy je velmi náročný. Dochází k němu za vysoké teploty, kdy je velmi tenká kovová vrstva napařována na povrch skla. Tato vrstva dosahuje tloušťky od několika nanometrů až několik stovek nanometrů. Pro antireflexní vrstvy se využívá oxidů, karbidů nebo nitridů různých prvků. Každá taková vrstva však umí redukovat odrazivost pouze určitého barevného spektra. Proto se používá více různých vrstev. V pokračování článku bude řeč o jednovrstvé antireflexní vrstvě. Zákazník měl požadavek na odstranění antireflexní vrstvy z rámu, do kterého umisťuje displejová skla určená k napaření, jenž společně se sklem prochází zařízením na tvorbu antireflexní vrstvy. Po ukončení procesu je sklo vyjmuto a rám se použije pro další sklo. Po několika opětovných použitích se na rámu vytvoří nanos povlaků a ty dle informací přímo ohrožují výrobu. Zákazník chce proto stroj, který by dokázal odstranit tento nežádoucí nanos.

### ***Experiment***

Pro odstranění antireflexních vrstev lze použít dvou cest. První je cesta chemická. Je to cesta velmi nebezpečná, protože antireflexní vrstvy tvoří ušlechtilé prvky, jež jsou velmi odolné, a musí se použít silné kyseliny jako například kyselina fluorovodíková. Druhou možností je odstranění mechanické, které je bezpečné a nehrozí při něm přímé ohrožení života.

Firma Benteler má s odstraňováním kovových vrstev na skle mechanickou cestou zkušenosti. Antireflexní vrstva je však odolnější proti otěru vzhledem k tomu, že ji tvoří například oxid hlinitý. Můžeme se domnívat, o jakou vrstvu se vlastně jedná a co ji tvoří. Zákazník si chrání své know-how a jen velmi neochotně prozradí jakékoliv informace o své vrstvě. Proto pro zjištění vlastností povrchu bylo použito mikroskopie atomárních sil (AFM). Nejdříve se však provedl jednoduchý experiment.

Do testovacího stroje se upnul talířový kartáč od firmy C.Hilzinger-Thum Typ T10/S. Kartáč je vybaven štětinami s povlakem karbidu křemíku, který má uvedenou tvrdost 90° Shore A. Průměr kartáče je 150 mm se standardní délkou štětin 25 mm se zrnitostí 500 a tloušťkou štětin 0.5 mm. Otáčky byly zvoleny na 480 za minutu – to odpovídá přibližně polovině maximálních otáček kartáče. Kartáče nadále oscilují v rozmezí  $\pm 30$  mm, což napomáhá mytí. Dále byl nastaven přítlak kartáče na povrch skla v hodnotě 1.5 mm. Sklo i kartáč byly zkrápěny vodou kvůli odstranění nečistot z místa čištění a voda také plnila funkci chlazení. Vzhledem k tloušťce vrstvy v řádech stovek nanometrů se mohl pouze kontrolovat vizuální stav skla. Byly proto zvoleny intervaly kontroly po 30 sekundách. Test se opakoval na 5 vzorcích, u nichž byla zvolena doba kontaktu s kartáčem 30, 60, 90, 120 a 150 sekund. Na základě omytých vzorků bylo rozhodnuto, že k výraznému odstranění vrstvy došlo již po 60 sekundách. Tento vzorek se poslal na AFM rozbor. Byl vznesen požadavek na určení chemického rozboru antireflexní vrstvy a její tloušťky. Místa měření jsou zobrazena na obrázku 1. Jako „Substrate“ jsou pojmenována ta místa, na kterých došlo k viditelnému odštípnutí skla a bylo tak možné zjistit jeho chemické složení. Měřená místa pojmenovaná „Layer“ jsou místa s antireflexní vrstvou. Její chemické složení je s výrazným podílem niobu. Tento chemický rozbor byl zaslán zákazníkovi, který potvrdil jeho správnost. Výsledky chemické analýzy jsou uvedeny v tabulce 1. Dále bylo zjištěno, že tloušťka vrstvy je 250 nanometrů.



**Obr. 1** Pozice měřených oblastí na skle

**Tab. 1** Chemické složení antireflexní vrstvy v porovnání se sklem v hmotnostním podílu

Spectrum Label [wt%]	O	Na	Mg	Si	Cl	Ar	K	Ca	Ti	Nb
Substrate_1	52.23	5.30	2.28	34.55				5.65		
Substrate_2	52.65	3.48	2.00	31.42	0.66		1.19	8.59		
Layer_1	40.28	1.78	0.89	22.48		0.65	0.19	2.24	1.33	30.15
Layer_2	41.81	2.35	0.77	20.55		0.55		1.67	1.19	31.09
Layer_3	39.49	1.60	0.92	23.50		0.63	0.15	2.39	1.50	29.83
Layer_4	39.55	1.52	0.88	23.72		0.60	0.16	2.34	1.43	29.80

### **Závěr a diskuze**

V článku byl popsán proces výroby dotykového displeje do automobilu a jedné z klíčových vrstev, kterou je vrstva antireflexní. Na přání zákazníka byl poté vyvinut stroj na její odstranění. Bylo nutné podrobit sklo analýze a experimentu, protože zákazník nebyl ochotný sdělit informace o antireflexní vrstvě. Ze získaných dat je možné sestavit hlavní část myčky na odstranění antireflexní vrstvy. Myčka se vybaví 10 řadami talířových kartáčů, přičemž pracovní délka celé sekce jsou přibližně 3 metry. Pracovní rychlost je 1 m/min. Ke kontaktu skla s kartáčem dojde v celkové době tří minut, což je dostatečná doba pro odstranění tří vrstev antireflexního povlaku.

### **Anotace:**

*Článek popisuje výrobu dotykového displeje středového panelu automobilu. Jsou zde stručně popsány jednotlivé procesy výroby. Na základě dotazu zákazníka na stroj, který je schopný odstranit antireflexní vrstvu, byl udělán experiment. Výsledkem experimentu byly hodnoty, na jejichž základu se stanovila velikost mycí sekce vzhledem k požadovanému taktu.*

### **Summary:**

DEVELOPMENT OF WASHING MACHINE SECTION FOR REMOVING OF ANTIREFLEX COATING  
*Article describes manufacturing of touch central panel display in car. There is brief describe of manufacturing process. Experiment was made at based on the request of customer. Customer want remove the antireflex coating. Results of experiment helped in developing of washing section.*

Marek Kovář, Benteler Maschinenbau GmbH, Hodkovická 42, 46006 Liberec, Česká republika,  
e-mail: marek.kovar@benteler.com, tel.:+420 482 465 213

## Vlastnosti nové Ni-Cr-W-C slitiny vhodné pro použití v prostředí tekuté skloviny?

*Jiří Zýka, Božena Podhorná, Irena Andršová, Václav Sklenička, Marie Kvapilová, Karel Hrbáček, Petr Král, Jiří Dvořák, Petr Ňuksa, Antonín Joch*

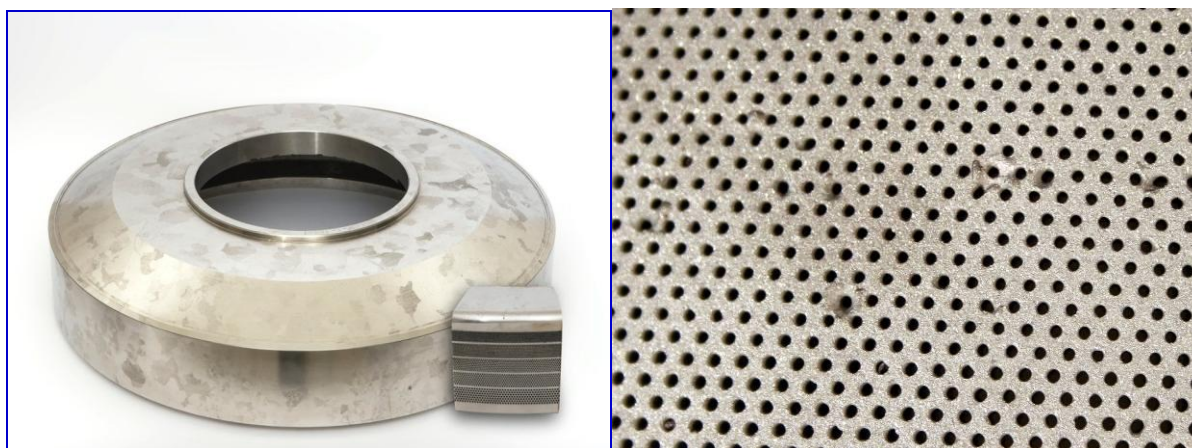
### Úvod

Jedním z odvětví sklářského průmyslu je výroba skelných vláken pro tepelné izolace, např. budov. Vlákna jsou obvykle vyráběna pomocí tzv. rozvlákňovacích hlav, viz obr. 1. Tyto hlavy mají perforované boční stěny. Do rotující hlavy je shora lita tekutá sklovina, která vlivem odstředivé síly točící se hlavy vytéká postranními otvory a tuhnutím vytékající skloviny vznikají skelná vlákna. Vzhledem k povaze tekuté skloviny jsou pracovní podmínky rozvlákňovací hlavy dosti náročné. Kombinaci vysoké teploty, vysokých mechanických napětí, koroze a abraze jsou schopné vydržet pouze některé materiály. Nejčastěji jsou používány lité niklové či kobaltové slitiny s vysokým obsahem chrómu a vytvrzené skeletem nejčastěji karbidických částic. Otvory po obvodu jsou vyráběny elektronovým paprskem. Ve stěně po obvodu jsou dle velikosti odlitku a požadavků zákazníka tisíce až desetitisíce vypálených otvorů.

V České republice se výrobou odlitků rozvlákňovacích hlav zabývá Divize přesného lití První brněnské strojírny Velká Bíteš a.s., kde vyrábí tyto typy odlitků s průměrem 280-520mm a hmotností 9-30kg. Kromě výroby probíhá i výzkum a vývoj nových slitin a odlitků ve spolupráci PBS VB a.s., UJP PRAHA a.s. a ÚFM AV ČR v.v.i. [1], [2], [3].

Nová slitina, kterou se zabývá tento příspěvek, je niklová slitina, která se oproti ostatním niklovým slitinám na bázi systému Ni-Cr-W-C odlišuje zejména vyšším obsahem uhlíku. Tento obsah je nižší než u používaných kobaltových slitin, ale kobalt je v posledních letech dosti drahý, čili zkoumaná slitina by mohla být zajímavá poměrem ceny a vlastností.

Cílem příspěvku je prezentovat základní mechanické vlastnosti a mikrostrukturu niklové slitiny označené jako slitina 141J.



**Obr. 1** Odlitek rozvlákňovací hlavy (vlevo), detail otvorů v obvodové stěně (vpravo)

### ***Materiál a experiment***

Slitina 141J je koncipovaná jako žáruvzdorný materiál odolný vysokoteplotní oxidaci se zlepšenými pevnostními charakteristikami. Vysoké odolnosti proti oxidaci je dosahováno legováním chromem na úrovni přes 25%hm. a zvýšení pevnosti za vysokých teplot pak legováním wolframem a uhlíkem.

V tomto příspěvku jsou uvedeny mechanické vlastnosti ve stavu po odlití v závislosti na teplotě zkoušky a rozbor mikrostruktury včetně kvantitativního vyhodnocení podílu zpevňujících fází slitiny po odlití a ve stavu po dlouhodobém žihání. Provedené izotermické žihání má za cíl simulovat pracovní podmínky odlitku s ohledem na teplotu a délku expozice a zkontrolovat tak stabilitu mikrostruktury slitiny 141J.

Chemické složení slitiny a odlité tavby slitiny 141J je uvedeno v tabulce 1.

**Tab. 1** Chemické složení slitiny 141J a zkoumané tavby ze slitiny 141J v %hm.

<b>Koncentrace prvků v %hm.</b>										
<b>C</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>W</b>	<b>Mn</b>	<b>Co</b>	<b>Nb</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Ni</b>
0,40 – 0,50	28,0 – 30,0	2,00 – 3,00	6,00 – 9,00	Max. 0,50	Max. 1,00	1,25 – 1,75	1,30 – 1,70	-	-	Zb.
0,47	29,20	2,44	7,49	0,05	0,33	1,45	1,34	0,005	0,006	Zb.

### ***Mechanické vlastnosti ve stavu po odlití***

Použití slitiny v technické praxi požaduje ověření mechanických vlastností. Ve výchozím stavu po odlití byly zjišťovány základní vlastnosti, jako je tvrdost, pevnost a vrubová houževnatost. Tvrdost slitiny podle Vickerse ve stavu po odlití byla stanovena z deseti měření. Střední hodnota HV 30 je 205.

V tabulce 2 jsou uvedeny výsledky zkoušek pevnosti a vrubové houževnatosti KCU.

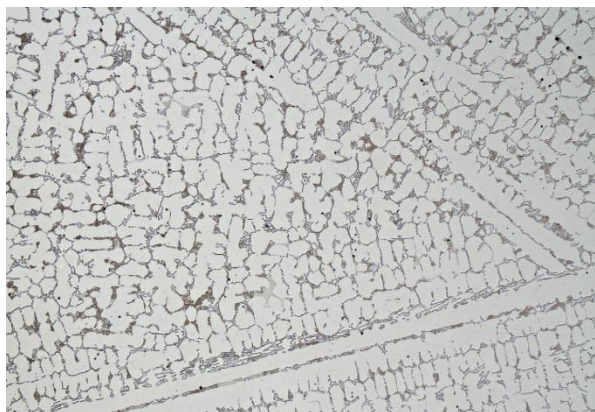
**Tab. 2** Výsledky zkoušek mechanických vlastností ve stavu po odlití

<b>Teplota zkoušky [°C]</b>	<b>Rp02 [MPa]</b>	<b>Rm [MPa]</b>	<b>A [%]</b>	<b>Z [%]</b>	<b>KCU [J/cm<sup>2</sup>]</b>
700	217,7	429,5	15,4	14,2	12,8
800	205,5	303,9	30,8	33	14,2
850	199,3	236,6	40,2	35,7	
900	157,6	128,9	33,1	36,3	12,6
950	120,4	142,4	32,3	38,9	
1000	88,9	103,1	39,4	44,8	12,7
1050	71,1	80,9	36,8	45,8	11,2

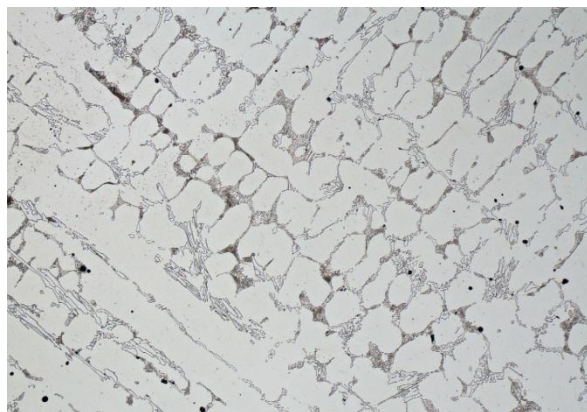
### ***Mikrostruktura ve stavu po odlití a tepelné expozici***

Pro pozorování mikrostruktury byly připraveny metalografické výbrusy a struktura byla zviditelněna elektrolytickým leptáním ve vodném roztoku kyseliny šťavelové. Mikrostruktura ve výchozím stavu po odlití je ukázána na obr. 2 až 5. V základní hmotě, tvořené

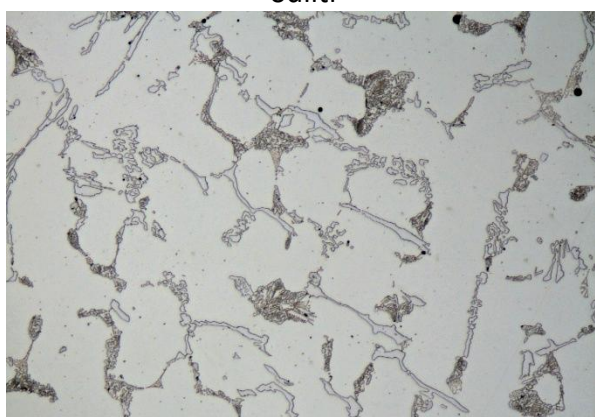
austenitickým tuhým roztokem niklu, jsou po hranicích buněk licí struktury vyloučeny hrubé částice primárních karbidů. Tyto karbidy tvoří skelet na rozhraní buněk licí struktury nebo jsou vyloučeny ve formě karbidického eutektika. Na obrázcích č. 2 až 5, pořízených na optickém mikroskopu Nikon MA 200 Eclipse, je ukázána morfologie mikrostruktury při různých zvětšeních.



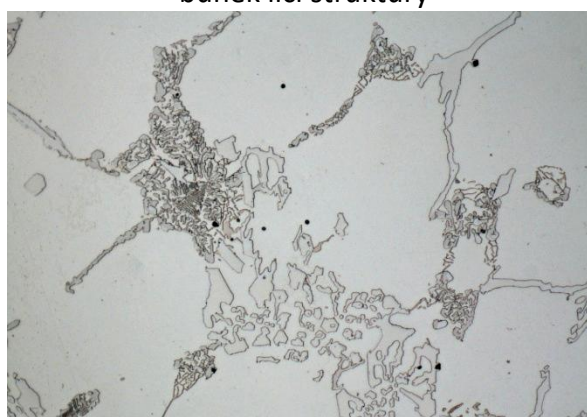
**141J-VS-a**  
**Obr. 2** Mikrostruktura slitiny 141J ve stavu po odlití



**141J-VS-c**  
**Obr. 3** Karbidy tvořící skelet na hranicích buněk licí struktury



**141J-VS-d**  
**Obr. 4** Detail karbidů a karbidického eutektika



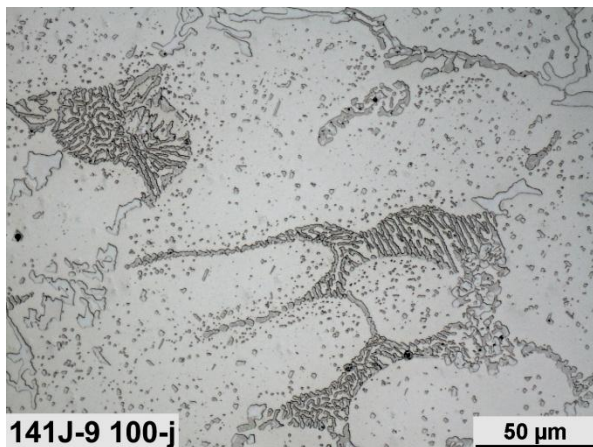
**141J-VS-k**  
**Obr. 5** Detail karbidů a karbidického eutektika

Strukturní stabilita dané slitiny za vysokých teplot je určující pro její použití v technické praxi. Strukturní stabilita slitiny 141J byla ověřována podle programu uvedeného v tabulce 3. Izotermické žhání vzorků bylo provedeno v elektrické odporové peci. Poté byly z vyžháných vzorků připraveny běžnými metalografickými postupy broušení a leptání výbrusy.

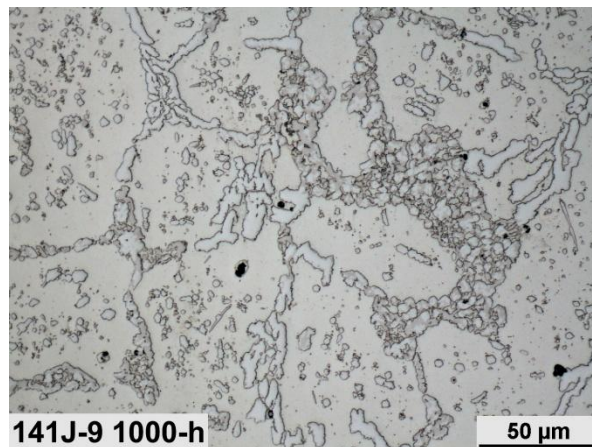
**Tab. 3** Program izotermického žhání slitiny 141J a výsledky měření tvrdosti HV 30

		Doba žhání [h]						
		0	5	10	50	100	500	1000
Teplota žhání [°C]	900	205	220	213	242	234	241	246
	1000	205	226	230	234	235	246	
	1100	205	228	223	239	239	239	242

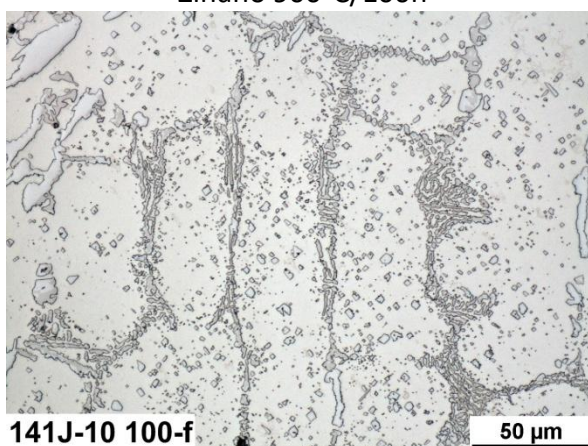
Na všech metalografických výbrusech byla měřena tvrdost podle Vickerse HV30. U každého vzorku bylo provedeno 5 měření a stanovena střední hodnota tvrdosti, zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3. Z výsledků je patrné, že již po krátkých dobách expozice dochází k vytvrzení o cca. 20 HV30. Maximálního vytvrzení bylo dosaženo 50 hodinách žihání. Výsledky ukazují, že vytvrzení je obdobné při všech zkoumaných teplotách žihání.



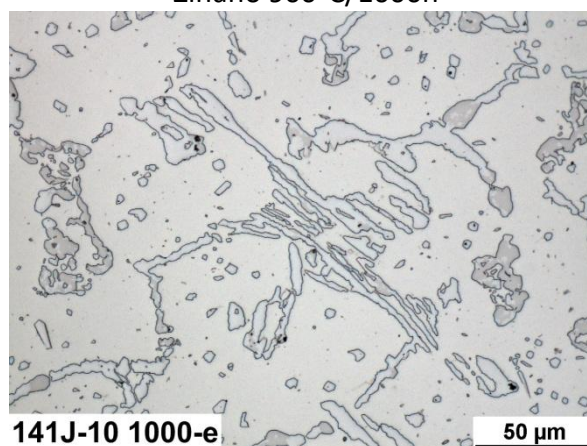
**Obr. 6** Mikrostruktura slitiny 141J  
Žiháno 900°C/100h



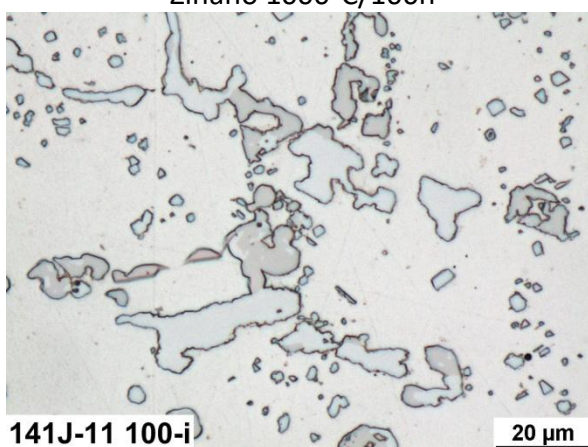
**Obr. 7** Mikrostruktura slitiny 141J  
Žiháno 900°C/1000h



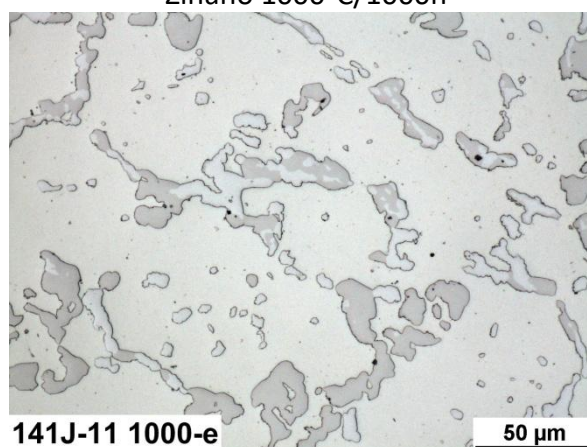
**Obr. 8** Mikrostruktura slitiny 141J  
Žiháno 1000°C/100h



**Obr. 9** Mikrostruktura slitiny 141J  
Žiháno 1000°C/1000h



**Obr. 10** Mikrostruktura slitiny 141J  
Žiháno 1100°C/100h

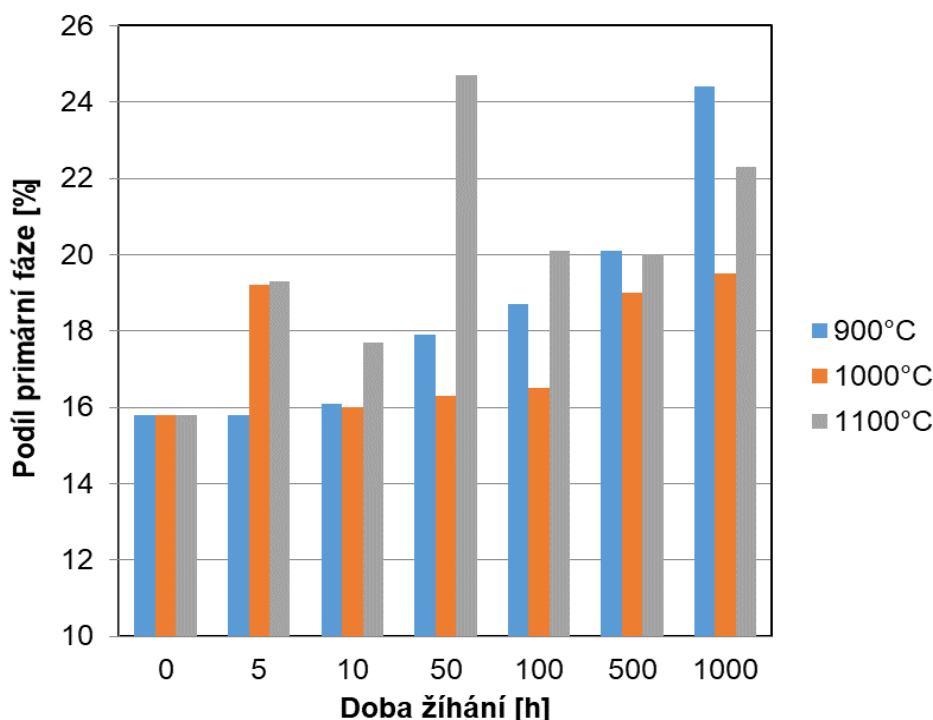


**Obr. 11** Mikrostruktura slitiny 141J  
Žiháno 1100°C/1000h

Již po 50 hodinách žhání při teplotě 900 °C se struktura významně mění (obr. 6 a 7). Dochází k částečnému rozpouštění a globularizaci hrubých, primárně vyloučených částic a k intenzivnímu vylučování drobných globulárních karbidů. Tyto drobné karbidy se vylučují podél hranic buněk licí struktury, uvnitř buněk jen zřídka.

I během žhání na vyšších teplotách, viz obr. 8 až 11, dochází k dalšímu rozpouštění primárně vyloučených karbidů a jejich nahrazování drobnými částicemi v okolí rozhraní buněk licí struktury. Do středu buněk se precipitace rozšiřuje jen pomalu.

Kvantitativní strukturální analýzou byly hodnoceny změny objemového podílu primárních fází během izotermického žhání při 900, 1000 a 1100°C a odstupňovaně po době až 1000h. Výsledky měření jsou uvedeny na obr. 12.



**Obr. 12:** Vývoj podílu primárních fází

### ***Shrnutí a diskuze výsledků***

Byly uvedeny výsledky zkoušek mechanických vlastností a podrobného rozboru mikrostruktury nové slitiny na bázi systému Ni-Cr-W-C. Pevnost a tvrdost nové slitiny je vyšší než u nyní používané slitiny 141I a naopak nižší než kobaltových slitin na bázi stelitu [1], [2], [3], což je v korelaci s podílem primární fáze v mikrostruktuře, který závisí na obsahu uhlíku jednotlivých slitin.

### ***Poděkování***

Práce vznikla za finanční podpory MPO ČR v rámci programu TRIO, projekt FV10699



## **Použitá literatura**

- [1] Podhorná, B. et al: MECHANICKÉ VLASTNOSTI A VYSOKOTEPLTNÍ STABILITA LITÝCH Ni-Cr-W-C SLITIN POUŽÍVANÝCH VE SKLÁŘSKÝCH TECHNOLOGIÍCH, PROCEEDINGS of Kovy ve sklářství, Liberec, 2012
- [2] Zýka. et al: Vlastnosti Ni-Cr-W-C slitin vhodných pro použití v prostředí tekuté skloviny, PROCEEDINGS of Kovy ve sklářství, Liberec, 2015
- [3] Podhorná, B. et al: METALOGRAFICKÉ HODNOCENÍ STRUKTURNÍ STABILITY LITÝCH ŽÁROPEVNÝCH KOBALTOVÝCH SLITIN, PROCEEDINGS of Přínos metalografie pro řešení výrobních problémů, Mariánské Lázně, 2017

### **Summary:**

PROPERTIES OF A NEW NI-CR-W-C ALLOY SUITABLE FOR USE IN MOLTEN GLASS

*Cast nickel alloys of Ni-Cr-W-C type are used for manufacturing of spinner discs which are used for glass wool production. 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.*

*The microstructure and mechanical properties of a new nickel alloy were investigated. Strength and hardness of this alloy is higher than of currently used 141I nickel alloy, but is lower than in the case of Stellite type cobalt alloys. This fact is in correspondence of primary carbides portion of the alloys, which is correlated with carbon content of respective alloys.*

Ing. Jiří Zýka, Ph.D., UJP PRAHA a.s., Nad Kamínkou 1345, 156 10 Praha-Zbraslav, e-mail: [zyka@ujp.cz](mailto:zyka@ujp.cz), tel.: 227 180 364.

Ing. Božena Podhorná, UJP PRAHA a.s., e-mail: [podhorna@ujp.cz](mailto:podhorna@ujp.cz), tel.: 227 180 365.

Ing. Irena Andršová, UJP PRAHA a.s., e-mail: [andrsova@ujp.cz](mailto:andrsova@ujp.cz), tel.: 227 180 365.

prof. Ing. Václav Sklenička, DrSc, Ústav fyziky materiálů Akademie věd České republiky v.v.i. (ÚFM AV ČR), e-mail.: [sklen@ipm.cz](mailto:sklen@ipm.cz), tel.: 532 290 454

Mgr. Marie Kvapilová, Ph.D., ÚFM AV ČR, e-mail: [kvapilova@ipm.cz](mailto:kvapilova@ipm.cz), tel.: 532 290 374

Prof. Ing. Karel Hrbáček, DrSc., ÚFM AV ČR, e-mail: [hrbacek.karel@centrum.cz](mailto:hrbacek.karel@centrum.cz), tel.: 532 290 494

Ing. Petr Král, Ph.D., ÚFM AV ČR, e-mail: [pkral@ipm.cz](mailto:pkral@ipm.cz), tel.: 532 290 368

Ing. Jiří Dvořák, Ph.D., ÚFM AV ČR, e-mail: [dvorak@ipm.cz](mailto:dvorak@ipm.cz), tel.: 532 290 397

Ing. Petr Ňuksa, Ph.D., PBS Velká Bíteš a.s., Vlkovská 279, 595 01 Velká Bíteš, e-mail: [nuksa.p@pbsvb.cz](mailto:nuksa.p@pbsvb.cz), tel.: 566 822 470.

Ing. Antonín Joch, Ph.D., PBS VB a.s., e-mail: [joch.a@pbsvb.cz](mailto:joch.a@pbsvb.cz), tel.: 566 822 470.

## Creep properties of selected cast superalloys for glass industry

*Václav Sklenička, Marie Kvapilová, Karel Hrbáček, Petr Král, Jiří Dvořák, Jiří Zýka,  
Božena Podhorná, Antonín Joch*

### **Introduction**

Nickel- and cobalt-base superalloys [1-3] have already found various applications in industrial facilities, especially those working at high temperatures, such as turbine blades in industrial and aircraft turbines, but also in glass industry to construct the glass shaping tools [4]. Significant effort is being carried out for the development of advanced technology for investment casting of spinner discs for glass industry and high temperature applications up to 1050°C. Traditionally, nickel-base cast superalloys have been used for such components. However, cobalt-base superalloys exhibit higher melting temperatures and correspondingly flatter stress rupture curves, providing useful stress capability to a higher absolute temperature than nickel-base superalloys. Furthermore, cobalt superalloys offer superior hot-corrosion resistance to a severe corrosium medium like molten glass. Therefore, the present work was initiated to provide a comparative evaluation of creep behaviour and creep properties of one cast nickel-base and two cast cobalt-base superalloys used for glass industry and tested under the same loading conditions.

### **Materials and Procedures**

The chemical compositions and abbreviated names of the tested investment cast superalloys are listed in Table 1. To ensure high resistance to oxidation and hot corrosion, an amount of chromium content in the superalloys overreaches the limit of 25%. Furthermore, chromium plays an important role through the formation of a series of complex chromium-carbon carbides. Tungsten is generally effective in strengthening of the matrix and carbides. The individual strengthening effect is caused by niobium and/or tantalum carbides. The superalloys were elaborated in PBS Velká Bíteš, a.s., Czech Republic. The superalloys were melted in an induction furnace and cast using an open furnace. Finally, the ingots were subjected to a homogenization annealing at 1150°C for 90 minutes followed by air cooling.

**Tab. 1.** Chemical compositions (in wt. %) and abbreviations of the superalloys.

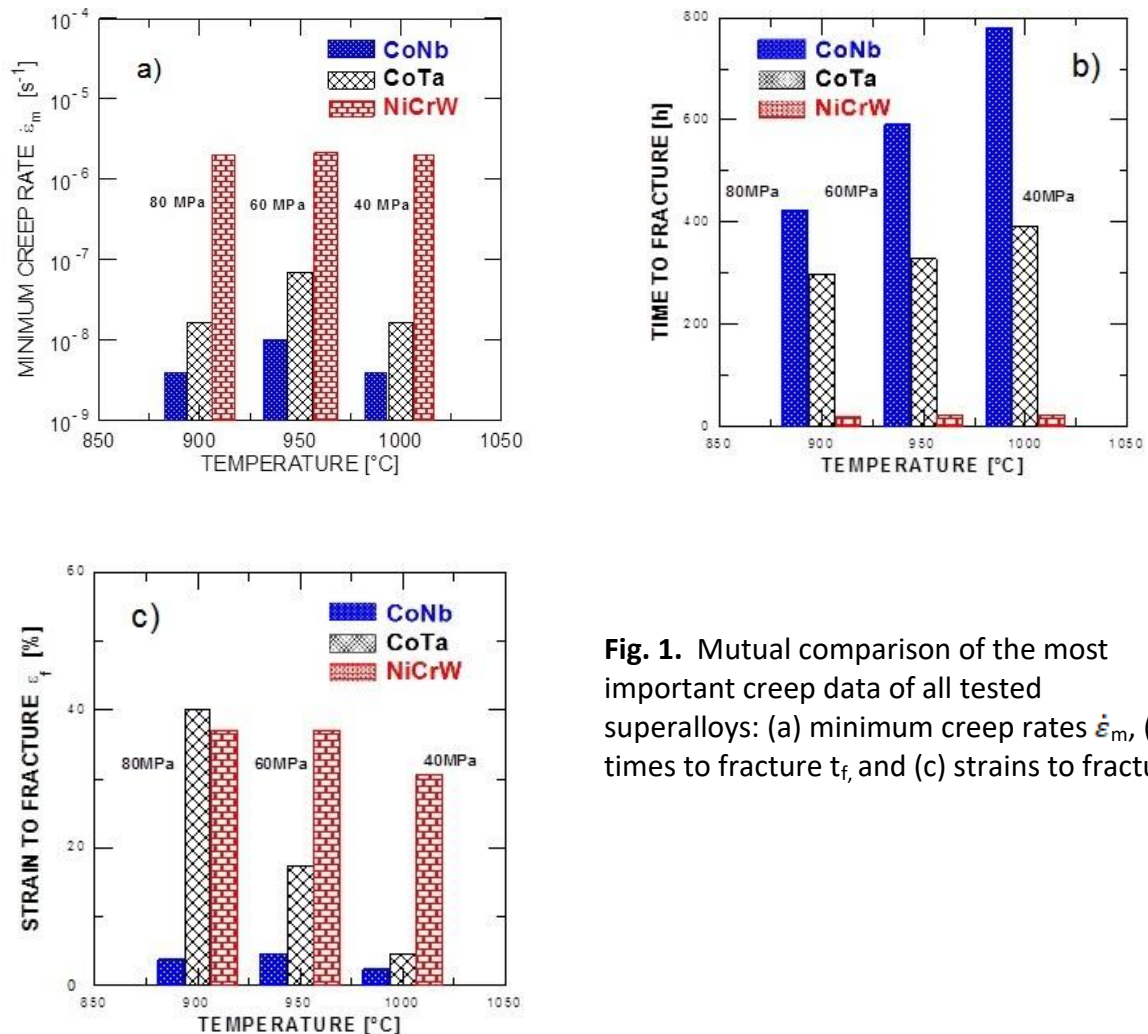
Superalloy	Cr	Ni	W	C	Nb	Ta	Si	Mn	Fe	Co
NiCrW	31.0	bal.	7.5	0.45	1.5	-	0.75	0.30	2.5	1.0
CoNb	30.5	10.8	8.0	0.65	2.48	-	0.39	0.23	0.28	bal.
CoTa	29.3	23.0	7.0	0.60	-	2.30	1.0	0.22	4.9	bal.

Constant load creep tests in tension were carried out in an argon atmosphere until the final fracture of the specimens [4]. Cylindrical creep specimens with a gauge of 50 mm in length and 3.5 mm in diameter were used in this study. The creep testing was conducted at 900, 950 and 1000°C. The three initial applied stresses  $\sigma$  levels were employed to understand deformation and fracture modes during creep exposures with a different duration. The creep

elongations were continuously measured during the whole creep exposure, recorded digitally and then computer processes.

### Results and Discussion

The results of creep tests carried out at three testing temperatures on all superalloys are summarized in Fig. 1. Comparing the temperature and stress dependences of the most important creep parameters, namely the minimum creep rate  $\dot{\epsilon}_m$ , the time to fracture (creep life)  $t_f$  and the strain to fracture (creep fracture ductility)  $\epsilon_f$  for all superalloys substantial differences and/or trends were generally noticed.



**Fig. 1.** Mutual comparison of the most important creep data of all tested superalloys: (a) minimum creep rates  $\dot{\epsilon}_m$ , (b) times to fracture  $t_f$ , and (c) strains to fracture.

Inspection of Fig. 1 leads to three observations. First, both the cobalt-base superalloys exhibit significantly better creep resistance than the nickel-base NiCrW superalloy over the entire loading conditions used. The minimum creep rate  $\dot{\epsilon}_m$  of the NiCrW superalloy is about two orders of magnitude higher than that of the cobalt-base counterparts (Fig. 1(a)). Second, as depicted in Fig. 1(b) and in an agreement with previous result, the times to fracture  $t_f$  of the cobalt-base superalloys are fundamentally longer than that of the NiCrW superalloy. The longer creep lives of the cobalt superalloys are derived from their arrangement of dislocations, stable microstructure, dispersed carbides and eutectics morphology and the supersaturated matrix [5].

The fine secondary carbides pin up effectively dislocations that strengthen the matrix. Obviously, the morphology, distribution and size of the secondary carbides affect precipitation hardening effect. Very recently, Dvorak *et al.* [4] studied creep behaviour of the same cobalt-base superalloys under the same loading conditions. They reported high value of the stress exponent of the minimum creep rate  $n = (\partial \ln \dot{\epsilon}_m / \partial \ln \sigma)_T \approx 7$  indicating that all present creep testing were carried out in the power-law or dislocation creep, where creep behaviour is controlled by climb of mobile dislocations. Third, as depicted in Fig. 1(c), the values of the fracture strains  $\epsilon_f$  for superalloys under investigation are different in trend. The strains to fracture  $\epsilon_f$  of the NiCrW and CoTa superalloys are significantly higher than that of the CoNb superalloy at 900°C but in contrast to the NiCrW the values  $\epsilon_f$  of the CoTa dramatically decrease with increasing temperature towards a small difference between both investigated cobalt –base superalloys, Fig. 1(c).

By contrast, the strains to fracture of the CoNb superalloy indicate no clear effect of temperature and the values of  $\epsilon_f$  are only ~2-5%. Thus, the creep lives of the CoNb are longest, but the fracture strains show the opposite order of the creep lives. Similarly, the fracture strains of the NiCrW superalloy seems to be independent of temperature, however, this superalloy is showing the shortest creep life and the highest fracture ductility. Therefore, a decisive question is which processes are responsible for such controversial behaviour.

The fractography of creep-fractured specimens revealed two different modes of creep fracture [4]. First, transgranular ductile creep fracture, which is relevant to damage by local loss of internal section of the specimen (necking) due to instability of plastic deformation. For such creep mode are typical values of  $\epsilon_f \geq 20\%$ . Second, intergranular and/or interdendritic brittle fracture, in which the critical state of creep cavitation and cracking of primary carbides and eutectics plays a paramount role. In this case the fracture strain  $\epsilon_f \leq 5\%$ . Under such condition an inherent creep ductility of the matrix is not exhausted due to a „premature“ fracture caused by an achievement of the ultimate state of creep damage. Generally, we can conclude that creep fracture mode is determined by chemical composition and heat treatment of the material, microstructure and in particular, by creep loading conditions (stress, temperature, environment, etc.).

### **Summary**

Creep testing of cast nickel-base (NiCrW) and cobalt-base (CoNb and CoTa) superalloys hardened by complex carbides has been carried out to compare their creep behaviour and properties. All superalloys can be used for an investment casting of the spinner discs. It was found that both cobalt-base superalloys exhibit significantly better creep resistance than the nickel-base NiCrW one over the entire loading conditions used. Under the same loading conditions the creep life of the CoNb superalloy is the longest, however, its fracture ductility shows the opposite order of the creep life due to a premature intergranular fracture resulting from critical accumulation of creep damage. Generally, the resulted fracture ductility is controlled by creep fracture mode. The nickel-base NiCrW superalloy possesses the shortest creep life and the highest fracture ductility.

**Acknowledgement.** The authors acknowledge financial support for this study provided by the Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic within the Framework programme MPO ČR Trio under the grant project No. FV10699.

## References

- [1] ROSS, E.W., SIMS, C.T., Nickel-base alloys, Superalloys II. J. Wiley & Sons, Inc., New York 1987, Chapter 4, pp. 97-135.
- [2] BELTRAN, A.M., Cobalt-base alloys, Superalloys II. J. Wiley & Sons, Inc., New York 1987, Chapter 5, pp. 135- 163.
- [3] GUI, W., ZHANG, H., YANG, M., JIN, T., SUN, X., ZHENG, Q., Influence of type and morphology of carbides on stress-rupture behavior of a cast cobalt-base superalloy. J. Alloys Compd. 695 (2017), pp. 1271-1278.
- [4] DVORAK, J., KVAPILOVA, M., KUCHAROVA, M., HRBACEK, K., KRAL, P., SKLENICKA, V., Creep properties of cast superalloys for application in glass industry, Proceedings of the 14th Conference on Creep & Fracture. The European Creep Collaborative Committee. Düsseldorf 2017, Paper ID 54. ISBN: 978-1-84569-726-6.
- [5] PODHORNÁ, B., ANDRŠOVÁ, I., DOBROVSKÁ, J., VODÁREK, V., HRBÁČEK, K., Structure stability of Ni-base and Co-base Alloys. The Proc. 15<sup>th</sup> Int. Symposium on Metallography “ Metallography 2013”, Academia Congress Centre, Stará Lesná, Slovakia, 2013.

## Anotace:

*Creepové vlastnosti vybraných litých superslitin pro sklářský průmysl.*

*Byly provedeny vysokoteplotní creepové zkoušky lité niklové (NiCrW) superslitiny a kobaltových (CoNb a CoTa) superslitin zpevněných komplexními karbidy s cílem vzájemného porovnání creepového chování a vlastností těchto superslitin. Zkoušené superslitiny jsou určeny pro výrobu rozvlákňovacích hlav ve sklářském průmyslu. Za stejných podmínek creepového namáhání vykazují kobaltové superslitiny podstatně vyšší creepovou odolnost než niklová superslitina. Nejvyšší creepovou odolnost poskytuje superslitina na bázi CoNb, která však za zvolených zkušebních podmínek má nejnižší tažnost při lomu díky předčasnému mezikrystalovému lomu v důsledku kritické kumulace creepového porušení. Nejvyšší creepovou tažnost při lomu vykazuje niklová superslitina v důsledku realizace tvárného creepového lomu.*

prof. Ing. Václav Sklenička, DrSc, Institute of Physics of Materials, Academy of Sciences of the Czech Republic (IPM AS CR), Žitkova 22, 616 62 Brno, e-mail: [sklen@ipm.cz](mailto:sklen@ipm.cz), tel.: 532 290 454

Mgr. Marie Kvapilová, Ph.D., IPM AS CR, e-mail: [kvapilova@ipm.cz](mailto:kvapilova@ipm.cz), tel.: 532 290 374

Prof. Ing. Karel Hrbáček, DrSc., IPM AS CR, e-mail: [hrbacek.karel@centrum.cz](mailto:hrbacek.karel@centrum.cz), tel.: 532 290 494

Ing. Petr Král, Ph.D., IPM AS CR, e-mail: [pkral@ipm.cz](mailto:pkral@ipm.cz), tel.: 532 290 368

Ing. Jiří Dvořák, Ph.D., IPM AS CR, e-mail: [dvorak@ipm.cz](mailto:dvorak@ipm.cz), tel.: 532 290 397

Ing. Jiří Zýka, Ph.D., UJP PRAHA a.s., Nad Kamínkou 1345, 156 10 Praha-Zbraslav, e-mail: [zyka@ujp.cz](mailto:zyka@ujp.cz), tel.: 227 180 364.

Ing. Božena Podhorná, UJP PRAHA a.s., e-mail: [podhorna@ujp.cz](mailto:podhorna@ujp.cz), tel.: 227 180 365.

Ing. Antonín Joch, Ph.D., PBS Velká Bíteš a.s., Vlkovská 279, 595 01 Velká Bíteš, e-mail: [joch.a@pbsvb.cz](mailto:joch.a@pbsvb.cz), tel.: 566 822 470.

## Korozní odolnost slitin na bázi niklu a slitin na bázi kobaltu v sodnovápenaté sklovině

*Adam Hotař, Jiří Zýka, Vlastimil Hotař, Vojtěch Keller*

### 1. Úvod

Slitiny na bázi niklu nebo kobaltu se vyznačují vysokou žáruvzdorností, žárupevností a vysokou strukturní stabilitou a to až do teploty 1200°C [1, 2]. A proto se používají všude tam, kde již tradiční vysoce legované oceli svými mechanickými vlastnostmi a korozní odolností za vysokých teplot neobstojí.

Jelikož se požadavky na kovové materiály pracující v extrémních podmínkách stále mění nebo dokonce zvyšují, je třeba vyvíjet stále nové slitiny. Vyvíjené slitiny je nejprve nutné testovat z hlediska mechanických vlastností za vysokých teplot a také z hlediska korozní odolnosti v daném prostředí. V tomto článku jsou prezentovány výsledky laboratorních korozních testů slitin Ni-Cr-Fe-W, Ni-Cr-W-C, Co-Nb a Co-Ta v sodnovápenaté sklovině.

### 2. Experiment

V laboratorních podmínkách proběhly korozní testy čtyř slitin na bázi niklu a kobaltu (**tab. 1**) v sodnovápenaté sklovině. Vzorky ve formě hranolků byly ze všech stran postupně broušeny pomocí SiC papírů o zrnitosti 80, 220, 400, 800 a 1200. Následně byly vzorky změřeny a zváženy.

Takto upravené vzorky byly vystaveny korozním účinkům roztavené sodnovápenaté skloviny (**tab. 2**) při teplotě 1200°C a délka korozních testů byla 24, 48 a 96 h. Vzorky slitin byly nejprve vloženy do korundových kelímků a obsypány drobnými střepky skla. Následně kelímky byly vloženy do studené pece. Doba korozního testu byla měřena od dosažení teploty 1200°C až do vypnutí pece. Jakmile uplynula doba korozních testů, začaly kelímky pomalu chladnout v peci na teplotu okolí. Po ochlazení byly kelímky se sklem rozbity a na vzorcích byla následně provedena analýza korozního napadení.

**Tab. 1** – Chemické složení testovaných slitin

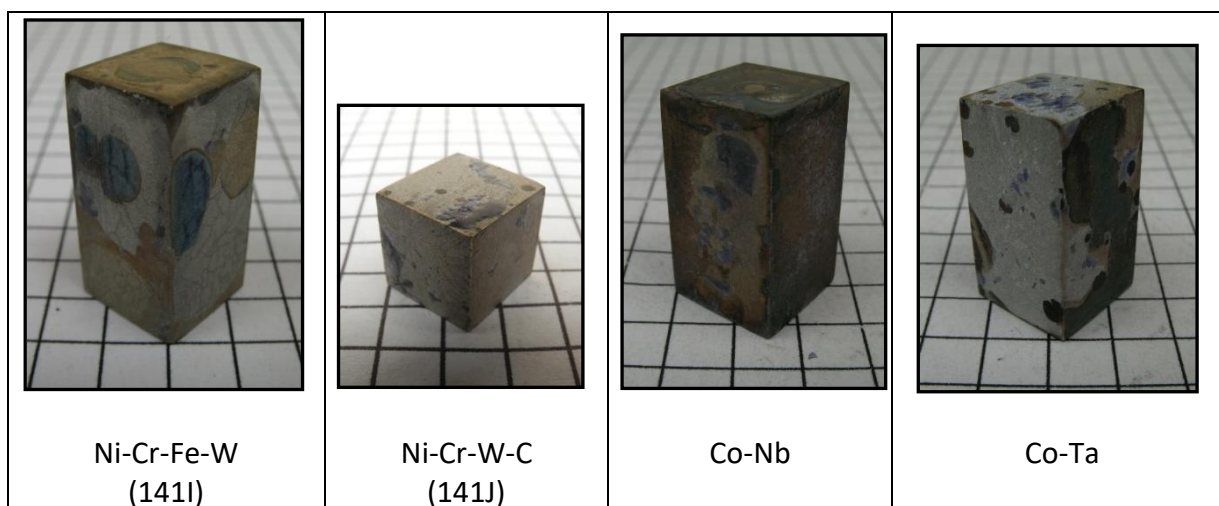
Materiál	Chemické složení [hm.%]										
	C	Mn	Si	Cr	Fe	Nb	Ta	W	Co	Cu	Ni
Ni-Cr-Fe-W (141I)	0.34	0.58	0.55	26.9	7.97	0.99	0.93	4.94	4.47	0.05	zbytek
Ni-Cr-W-C (141J)	0.45	0.30	0.75	31.0	2.5	1.5	-	7.5	1.0	-	zbytek
Co-Nb	0.65	0.23	0.39	30.5	0.28	2.48	-	8.0	zbytek	-	10.8
Co-Ta	0.60	0.22	1.0	29.3	4.9	-	2.30	7.0	zbytek	-	23.0

**Tab. 2** – Chemické složení sodnovápenaté skloviny

[hm%]	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
	71.7	0.739	9.11	4.13	0.075	13.57	0.139	0.263	0.063

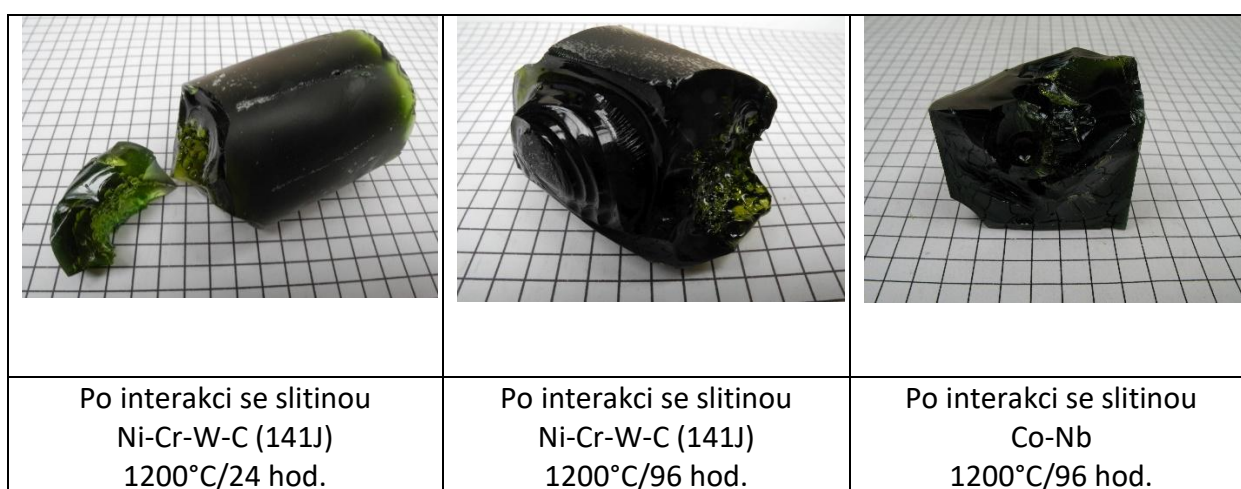
### 3. Výsledky

Po korozních testech byly zdokumentovány povrchy vzorků a také zbarvení skla. Korozní napadení bylo kvantifikováno na základě změn hmotnosti vzorků a změn drsnosti povrchu vlivem interakce slitin se sklovinou.



**Obr. 1** Vzhled vzorků po korozním testu v sodnovápenaté sklovině při 1200°C/96 hod., velikost čtverců podložky je 5x5 mm

Z **obrázku 1** je patrné, že všechny vzorky si zachovávají původní tvar a rozměry. Zdokumentovány byly také střepty skla po korozním testu v sodnovápenaté sklovině, viz **obr. 2**. Všechny testované slitiny sklovinu zbarvují do tmavě zelené, v blízkosti vzorků se nachází sklo zbarvené do tmavě fialové. V blízkosti vzorků byl také pozorován vznik bublin. Z **obrázku 2** je také zřejmé, že intenzivně se zbarvuje sklovina již po 24 hod., toto bylo pozorováno u všech testovaných slitin. Pro detailnější nalezení příčin zbarvení by bylo nutné provést chemickou analýzu střeptů skla a povrchových partií vzorků.



**Obr. 2** Zbarvení střeptů sodnovápenatého skla po korozním testu, velikost čtverců podložky je 5x5 mm

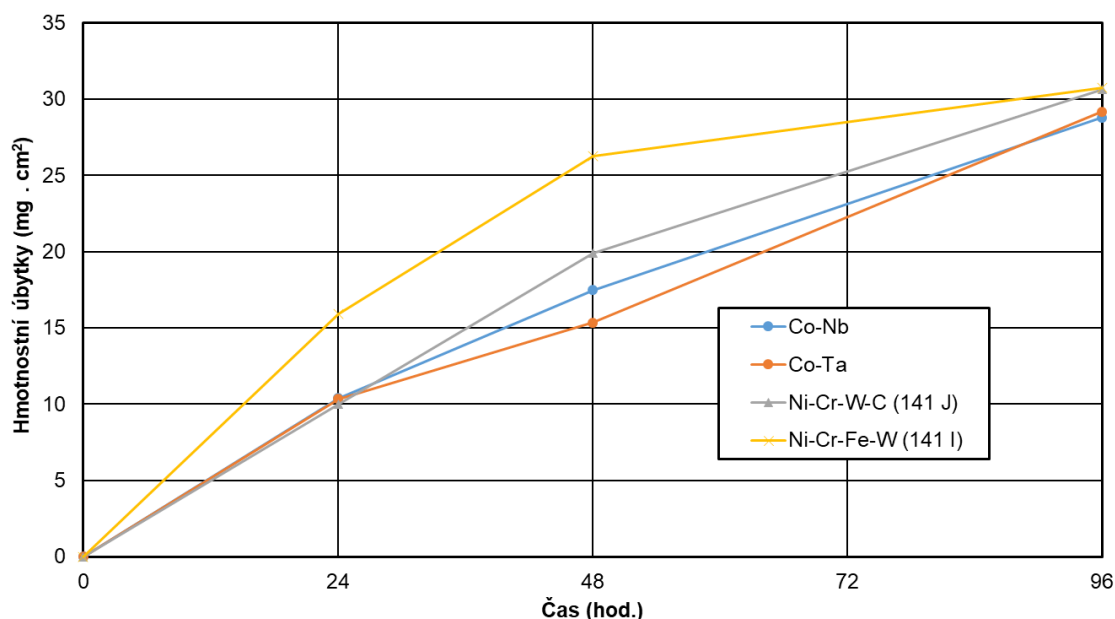
### 3.1 Změna hmotnosti

Změna hmotnosti byla stanovena zvážením vzorků před a po korozním testu. Následně byla změna hmotnosti přepočítána na jednotku plochy, viz **tab. 3**.

**Tab. 3** – Úbytky hmotnosti vzorků po korozním testu v sodnovápenaté sklovině při teplotě 1200°C

čas[hod.]	Ni-Cr-Fe-W (141 I) [mg/cm <sup>2</sup> ]	Ni-Cr-W-C (141 J) [mg/cm <sup>2</sup> ]	Co-Nb [mg/cm <sup>2</sup> ]	Co-Ta [mg/cm <sup>2</sup> ]
0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	-15.9	-10.0	-10.4	-10.3
48	-26.3	-19.9	-17.5	-15.4
96	-30.8	-30.7	-28.8	-29.2

Z **tab. 3** a **obr. 3** vyplývá, že korozní úbytky slitiny Ni-Cr-Fe-W (141 I) rostou rychleji než zbylé testované slitiny, po 96 hod. jsou však korozní úbytky všech slitin prakticky stejné. Z výsledků je také zřejmé, že niklová slitina Ni-Cr-W-C (141 J) má podobnou kinetiku koroze jako obě kobaltové slitiny.



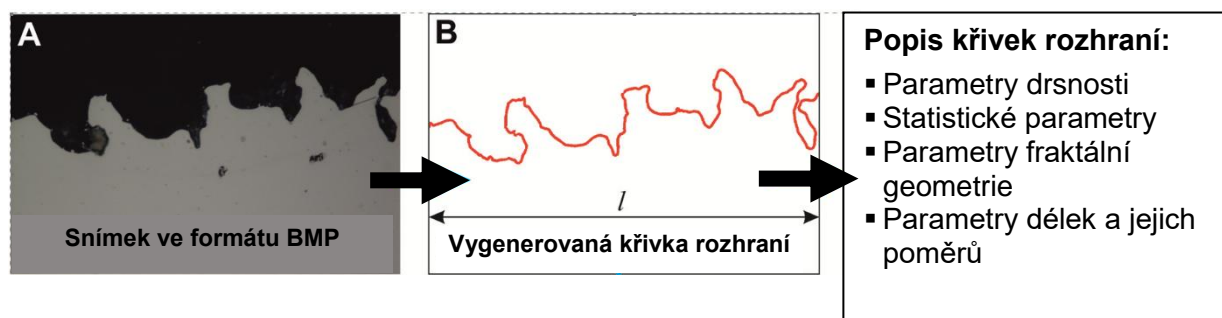
**Obr. 3** Závislost úbytků hmotnosti na čase testovaných slitin po interakci se sodnovápenatou sklovinou při teplotě 1200°C

### 3.2 Změna drsnosti povrchu vlivem korozních účinků skloviny

Korozní odolnost slitin v roztavené sklovině byla také definována změnou drsnosti povrchu vzorků v řezu kolmém k povrchu, který přišel do kontaktu se sklovinou. Drsnost byla kvantifikována pomocí obvodové metody (využívající fraktální geometrii, jedná se o odhad fraktální dimenze) a statistickými nástroji. Nejprve byly vytvořeny metalografické výbrusy. Poté bylo nasnímáno rozhraní povrchů (min. 10 snímků na vzorek) na metalografickém



mikroskopu v 500násobném zvětšení. Z fotografií v BMP formátu byly vygenerována pomocí softwaru linie rozhraní mezi vzorkem a okolím (**obr. 4**). Na této křivce byly stanoveny všechny sledované parametry – obvodová dimenze ( $D_C$ ), směrodatná odchylka (STD) a maximální nerovnost profilu ( $R_t$ ). Obvodová dimenze (vynásobená 1000,  $D_{C1000}$ ) popisuje jedním číslem stupeň složitosti rozhraní mezi vzorkem a okolím v malém měřítku. Cílem užití více parametrů je popsat kvalitativně a objektivně změny povrchů materiálů, které nastaly vlivem korozních účinků skloviny. Další detaily o metodice naleznete v [3, 4].



**Obr. 4** Metodika zpracování snímků

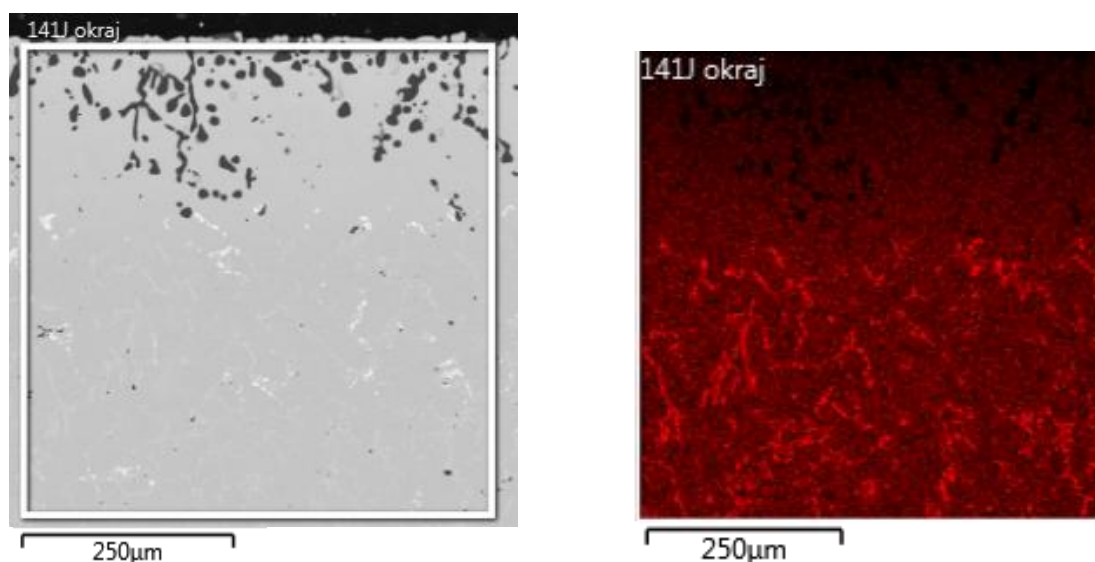
**Tab. 4** – Vybrané hodnoty parametrů drsnosti rozhraní mezi slitinou a sklem před a po korozním testu; v 500násobném zvětšení; obvodová dimenze (průměr,  $D_{C1000}$ ), směrodatná odchylka (průměr, STD) a průměr maximální nerovnosti profilu ( $R_t$ )

Červená - největší hodnota parametru, oranžová, zelená, modrá - nejmenší hodnota parametru

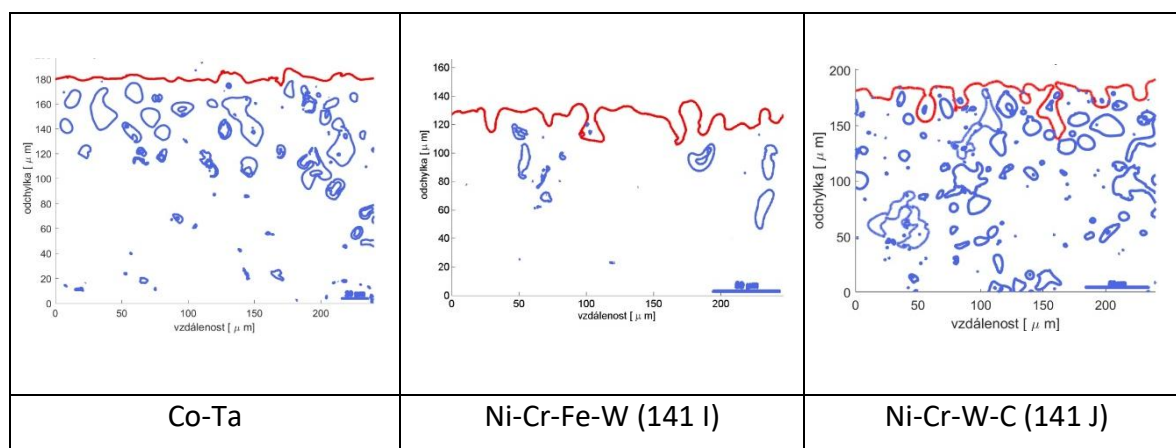
	Co-Nb			Co-Ta		
	$D_{C1000}$ [-]	STD [ $\mu\text{m}$ ]	$R_t$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{C1000}$ [-]	STD [ $\mu\text{m}$ ]	$R_t$ [ $\mu\text{m}$ ]
Před testem	1037	2.07	9.46	1037	1.95	9.82
Sodnovápenatá sklovina po 96 h.	1159	13.04	56.88	1159	11.43	52.19

	Ni-Cr-Fe-W (141I)			Ni-Cr-W-C (141J)		
	$D_{C1000}$ [-]	STD [ $\mu\text{m}$ ]	$R_t$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{C1000}$ [-]	STD [ $\mu\text{m}$ ]	$R_t$ [ $\mu\text{m}$ ]
Před testem	1007	0.35	2.15	1009	0.80	4.1
Sodnovápenatá sklovina po 96 h.	1027	10.91	48.07	1167	17.89	71.35

**Tabulka 4** shrnuje výsledné hodnoty parametrů drsnosti. Korozní výstupky u všech slitin souvisí s přednostním korozním napadením karbidů obsahující vysoké množství chromu, viz **obr. 5**. Proto všechny sledované parametry u všech slitin vůči stavu před korozním testem vzrostly. Po 96 hod. byly nejmenší korozní výstupky (nejnižší STD a  $R_t$ ) zjištěny u niklové slitiny Ni-Cr-Fe-W (141I) a navíc povrch je po korozním napadení nejhladší tj. málo strukturovaný (nízké  $D_{C1000}$ ), viz **tab. 4** a **obr. 6**. Naopak nejhloběji pronikaly korozní výstupky u slitiny 141J, která se také vyznačuje nejsložitějším povrchem. Kobaltové slitiny mají střední hodnoty všech sledovaných parametrů a charakter porušení obou kobaltových slitin je velmi podobný.



**Obr. 5** Povrch vzorku Ni-Cr-W-C (141 J); vlevo měřená oblast pomocí EDS, vpravo rozložení Cr



**Obr. 6** Vygenerovaná křivka (červená) rozhraní vybraných slitin

#### 4. Závěr

Z provedených korozních testů lze zformulovat následující závěry:

1. Korozní úbytky niklové slitiny Ni-Cr-Fe-W (141I) rostou rychleji než u ostatních slitin, ale po 96 hod. jsou u všech slitin úbytky stejné.
2. Po 96 hod. interakce se sodnovápenatou sklovinou byly zjištěny nejmenší korozní výstupky (nejnižší STD a  $R_t$ ) u slitiny Ni-Cr-Fe-W (141I) a navíc povrch této slitiny je po korozním napadení nejhladší tj. málo strukturovaný (nízké  $D_{C1000}$ )

3. Korozní mechanismus je obdobný u všech slitin. Korozní pod povrch proniká podél karbidů obsahují vysoký obsah chromu, který intenzivně zbarvuje sklo do tmavě zelené barvy.

#### **Poděkování:**

Autoři děkují za podporu SGS projektu řešeného na Technické univerzitě v Liberci s názvem „Studium a hodnocení struktur a vlastností materiálů“, který poskytuje Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR v roce 2018. Autoři děkují také za podporu Ministerstvu průmyslu a obchodu ČR v rámci programu Trio, projekt FV10699.

#### **Literatura:**

- [1] Kirsch, R. a kol., Kovy ve sklářství, INFORMATORIUM Praha, 1992
- [2] K. Hrbáček, A. Joch, B. Podhorná, I. Andršová, A. Hotař, Nové niklové slitiny vhodné pro použití v prostředí tekuté skloviny, Slévárenství 9-10 (2013) 341
- [3] A.Hotař, V. Hotař, Fractal geometry used for evaluation of corrosion resistance of Fe-14Al-6Cr wt. % against molten glass, Manufacturing Technology15 (2015) 534-541.
- [4] V. Hotař, A. Hotař: Fractal dimension used for evaluation of oxidation behaviour of Fe-Al-Cr-Zr-C alloys, Corros. Sci. 133 (2018) 141-149.

#### **Anotace:**

*Korozní odolnost niklových a kobaltových slitin byla testována v sodnovápenaté sklovině při teplotě 1200°C. Korozní odolnost byla stanovena měřením změn hmotnosti a strukturních změn povrchu. Navíc poškození povrchu vzorků korozí bylo kvantifikováno v řezu pomocí fraktální geometrie (obvodové metody) a statistických nástrojů (směrodatná odchylka a maximální nerovnost profilu).*

#### **Summary:**

CORROSION RESISTANCE OF NICKEL-BASED ALLOYS AND COBALT-BASED ALLOYS IN MOLTEN SODA-LIME GLASS

*The corrosion resistance of nickel and cobalt alloys was tested in soda-lime glass at 1200°C. The corrosion resistance against molten glass was determined by measuring of weight changes and structural changes of sample surface. In addition, a damage of samples surface by corrosion was quantified in cross section by fractal geometry (Compass Dimension) and statistic tools (Standard Deviation and Maximum Roughness).*

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. 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

Ing. Vojtěch Keller, katedra materiálu, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, 461 17, e-mail: vojtech.keller@tul.cz, tel.:485 353 081











# SKLÁŘSKÉ STROJE KOVY VE SKLÁŘSKÝCH TECHNOLOGIÍCH

Liberec, 13. září 2018



Název Sborník abstraktů XV. mezinárodní konference sklářské stroje a semináře kovy ve sklářských technologiích

Autoři Kolektiv autorů (obsah)

Editor Marie Stará

Vydavatel **Technická univerzita v Liberci**, Studentská 1402/2, 461 17 Liberec, ČR  
**Česká sklářská společnost**, Arbesova 4501/66a, Mšeno nad Nisou,  
466 04 Jablonec nad Nisou, ČR

Schváleno Rektoriátem TUL dne 5.9.2018

čj.RE 37/18

Vyšlo v září 2018

Počet stran 72

Vydání 1.

Tiskárna Vysokoškolský podnik, s. r. o., Studentská 2, 461 17 Liberec, ČR

Číslo publikace 55-049-15

ISBN ISBN 978-80-7494-425-3

---

Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou.

