

Automatická detekce vad v monokrystalech

Bc. Martin Dušek martin.dusek@tul.cz, Ing. Pavel Psota Ph.D.

Práce se zabývá automatickou detekcí vad v syntetických monokrystalech, které vznikají při jejich pěstování a znehodnocují materiál pro další využití. Konkrétně se jedná o detekci inkluzí, které obsahují plyn či úlomky kovů. Čelo krystalu je snímáno kamerou, zatímco v kolmém směru k optické ose je vzorek osvětlován laserovou diodou, dokud nedojde k prosvícení celého objemu. Na vadách se rozptyluje světlo, které je zaznamenáno kamerou a obraz je následně softwarově zpracován. Díky postupnému prosvícení celého objemu, je možné vytvořit 3D model monokrystalu s přesnou polohou defektů.

Klíčová slova: Průmyslová automatizace, bublinky a inkluze v monokrystalech, zpracování obrazu

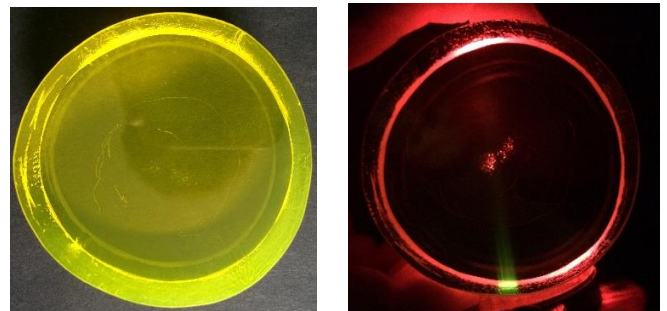
Úvod

S postupným vývojem technologií dochází přirozeně ke zvyšování nároků na kvalitu použitých materiálů. V optice je jedním z nejrozšířenějších materiálů sklo, jehož vlastnosti přímo určují kvalitu zobrazení pomocí optických soustav. Dalším materiálem jsou syntetické monokrystaly (např. YAG:Ce, Nd:YAG, Er), pěstované např. pomocí Czochralského metody, které nalézají díky svým unikátním vlastnostem využití v elektronové mikroskopii, pevnolátkových laserech, rentgenových nebo osvětlovacích systémech.

Zmíněné materiály znehodnocují defekty, kterými jsou např. lokální změny index lomu nebo mechanické napětí. Nežádoucí jsou také tzv. „bublinky“ - inkluze obsahující plyn či jiné příměsi. Díky rozvoji strojového vidění se v posledních letech objevují metody pro automatickou detekci inkluzí ve skle [1], které přinášejí mnoho výhod jako je zrychlení procesu, nebo odstranění chyb způsobených člověkem. Tyto metody ovšem většinou pracují s již předem zpracovanými výrobky, nebo zjišťují pouze povrchové defekty.

Oproti tomu inspekci nezpracovaných objemných bloků skla provádí laborant, který v temné místnosti prosvítí materiál a kolmo na osu paprsku světelného zdroje sleduje, jak se na bublinkách rozptyluje světlo [2]. To stejné platí i u monokrystalů, kdy se sledují naleštěná čela a jako zdroj světla je použit laser (obr. 1). Následně se přibližně označí poloha vad ve výkresu. Nevýhoda zmíněného způsobu inspekce je subjektivita interpretace výsledků a velmi přibližná data o poloze bublinek. Pokud navíc nedojde ke včasnému odhalení inkluzí, což může být způsobeno lidskou chybou, projde znehodnocený materiál celým

výrobním řetězcem, a to je velmi neefektivní a finančně nevýhodné.



Obrázek 1: Laboratorní inspekce monokrystalu pomocí laseru

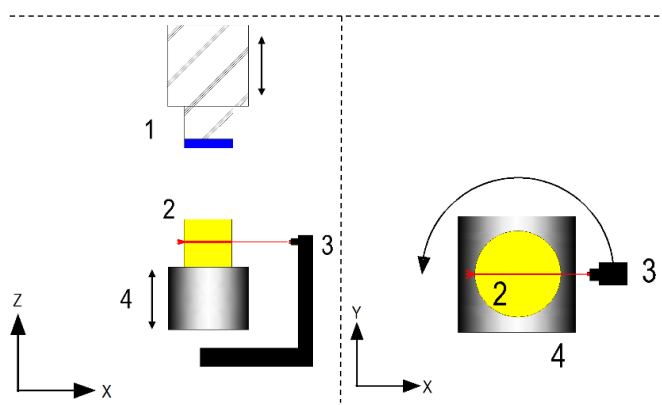
Tato práce se zabývá automatickou detekcí defektů v monokrystalech, což jsou objemné válce dosahující délky a průměru čel v řádech desítek cm. To sebou přináší určitá úskalí, kterými jsou softwarové zpracování obrazu, totální odraz způsobující parazitní jevy, správné zaostření kamery a další. Automatická detekce ovšem zvyšuje přesnost, zjednodušuje orientaci ve vzorku díky digitálnímu 3D modelu a poskytuje přesná data o poloze a velikosti bublinek, která mohou sloužit jako zpětná vazba při pěstování a zefektivnit celý výrobní proces.

Metodika

Automatickou optickou inspekci objemných bloků skla se zabývá například [3], kdy je laserový paprsek roztažen do čáry a celý objekt je postupně prosvícen.

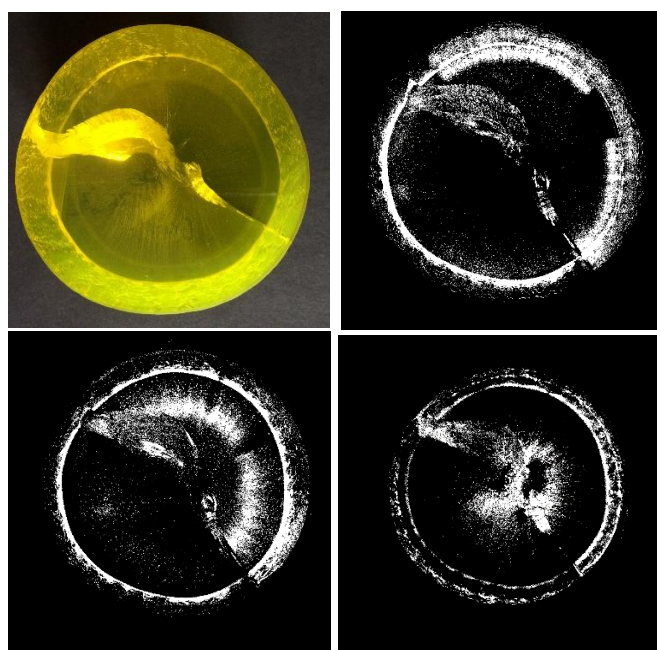
Monokrystaly jsou ovšem válcového tvaru a jejich okraje jsou často neleštěné a rozptylují světlo. Je tedy nutné použít bodový laserový paprsek, který zajišťuje dostatečnou intenzitu. Schéma na obrázku 2 představuje vyvinutou aparaturu. Skládá se

z lineárního motoru (4), který posouvá monokrystal (2) o definovaný krok v ose Z. Po každém posunutí se kolem monokrystalu otočí laserová dioda (3) o 180° a prosvítí postupně celý kruhový průřez, zatímco kamera (1) pořizuje snímky s dostatečným vzorkováním. Ty jsou následně pomocí softwaru vyprahovány, tedy pixely pod určenou hodnotu jasu, jsou nastavené na černou. Bublinky jsou v obrazu zachovány, díky vysokému jasu způsobenému rozptylem světla. Binární snímky jsou poté sečteny do jednotlivých řezů a díky posunu v ose Z je možné jejich složením vytvořit 3D model.



Obrázek 2: Navržená aparatura pro detekci vad. Vlevo pohled ze strany, vpravo pohled shora

Do aparatury zařazen telecentrický objektiv, který zajistí zobrazení bez zkreslení, zpřesní informace o velikosti defektů. V souvislosti s tím bylo nutné zajistit pohyb kamery v ose Z, aby po posunu monokrystalu zůstal prosvícený řez zaostřený.



Obrázek 3: Výsledky měření monokrystalu YAG:Ce

Výsledky a diskuze

Pro ilustraci výsledků jsou na obrázku č. 3 vidět snímky monokrystalu YAG:Ce s výraznou prasklinou. Na první fotografii je vidět horní leštěné čelo a dále řezy zpracované softwarem v 29 mm, 15,5 mm a 2 mm od podstavy monokrystalu. Z výsledků je viditelné, že jsou inkluze přítomny nejprve u stěn a čím výš se posouváme, tím více se bublinky přibližují ke středu osy.

Závěr

Zařízení je schopné přesně zmapovat výskyt bublinek v celém objemu monokrystalu. Výsledky byly vždy konzultovány s laboranty, kteří inspekci provádějí okem, a můžeme konstatovat, že se shodují s jejich poznatky. Automatické měření je ovšem přesnější, přináší lepší představu o rozložení inkluzí a poskytuje data, která se mohou využít jako zpětná vazba pro zlepšení procesu růstu.

Aparatura bude zařazena do výrobního procesu, je ovšem nutné vyřešit problém parazitních odrazů, které se u některých krystalů objevují. Do zařízení se dále bude přidávat zdroj strukturovaných svazků, díky kterému bude možné určit lokální změny index lomu v monokrystalu.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Janu Kredbovi, Ing. Pavlu Psoťovi Ph.D. a celému týmu metrologie ve výzkumném centru Akademie věd TOPTEC za cenné rady a pomoc při vývoji zařízení. Dále všem spolupracovníkům ve firmě Crytur spol. s.r.o. za poskytnutí vzorků a konzultace. Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2020.

Reference

- [1] *Advanced Optics - Bubbles and Inclusions in Optical Glass*. Schott.com [online]. 2016 Dostupné z: Schott.com
- [2] GROTH S. a ZHONGFEI R. *Glass Defect Detection Techniques using Digital Image Processing – A Review*. Panjab University, 2013. Dostupné z: Researchgate.net
- [3] ZHOU B. et. al. *Detection of defects in optics based on scanning*. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 9623. 2015. doi: 10.1117/12.2193745.