

Automatická detekce vad v monokrystalech

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

Technická univerzita v Liberci, Fakulta Mechatroniky, Aplikované vědy v inženýrství;

Centrum TOPTEC – Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i.

Crytur spol. s.r.o.

Abstrakt

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 nebo částice kovu. 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 a obraz je následně softwarově zpracován. Díky postupnému prosvícení celého objemu, je možné vytvořit 3D model monokrystalu s přesnou polohou defektů.

Úvod

V optice je jedním z nejpoužívanějších materiálů sklo, jehož vlastnosti přímo určují kvalitu zobrazení pomocí optických soustav. Dalším materiálem jsou syntetické monokrystaly (YAG:Ce, Nd:YAG, Er atd.), pěstované např. pomocí Czochralského metody, které nalézají díky svým unikátním vlastnostem využití v elektronové mikroskopii, pevnolátkových laserech nebo rentgenech. Jednou z nežádoucích vad těchto materiálů jsou tzv. „bublinky“ - inkluze obsahující plyn či jiné příměsi.

Díky rozvoji strojového vidění se v posledních letech objevují metody pro automatickou detekci inkluzí, ovšem v již zpracovaném skle [1]. Oproti tomu inspekce nezpracovaných objemných bloků je nejčastěji prováděna laborantem, který materiál v temné místnosti prosvítí a kolmo na osu paprsku světelného zdroje sleduje, jak se na bublinkách rozptyluje světlo [2]. To sebou nese určité nevýhody jako je subjektivita interpretace výsledků a velmi přibližná data o poloze bublinek. Pokud navíc nedojde ke včasnému odhalení inkluzí, projde znehodnocený materiál celým výrobním řetězcem, což je velmi neefektivní a finančně nevýhodné. Automatická inspekce tedy 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.

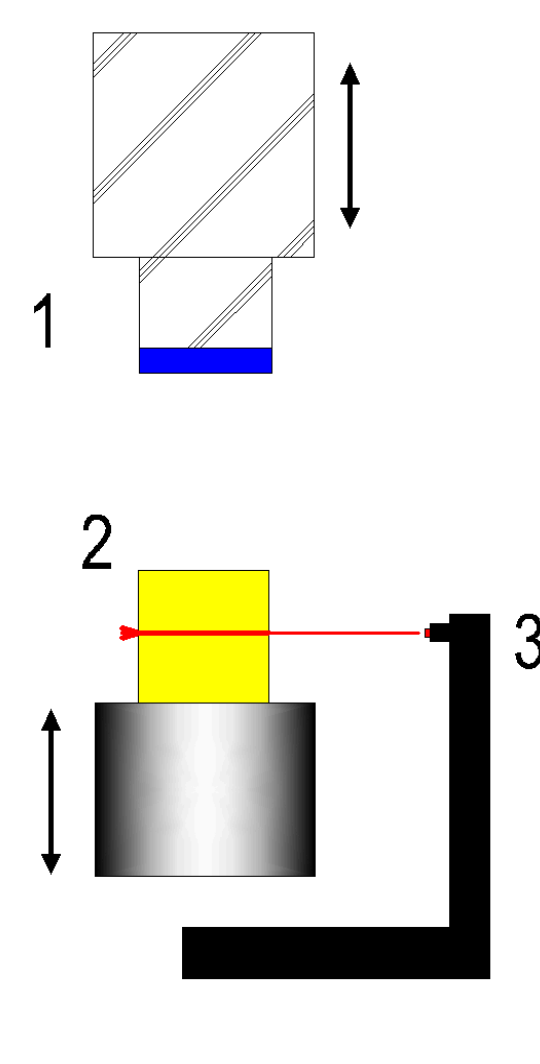
- [1] *Advanced Optics - Bubbles and Inclusions in Optical Glass*. Schott.com [online]. 2016.
[2] GROTH S. et.al. *Glass Defect Detection Techniques using Digital Image Processing – A Review*. 2013.
[3] ZHOU B. et. al. *Detection of defects in optics based on scanning*. Proceedings of SPIE, 9623. 2015.

Metodika

Automatickou optickou inspekcí 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 válce dosahující délky a průměru čel v řádech desítek cm. Jejich okraje jsou často neleštěné a rozptylují světlo. Je tedy nutné použít bodový laserový paprsek, který zajišťuje dostatečnou intenzitu. Mezi další výzvy patří zvolení vhodného algoritmu pro zpracování obrazu, totální odraz způsobující parazitní jevy, zkreslení obrazu optikou nebo správné zaostření kamery.

Schéma na obrázku představuje vyvinutou aparaturu. Ta se skládá 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 v softwaru vyprahovány, tedy pixely pod určenou hodnotu jasu, jsou nastavené na černou.

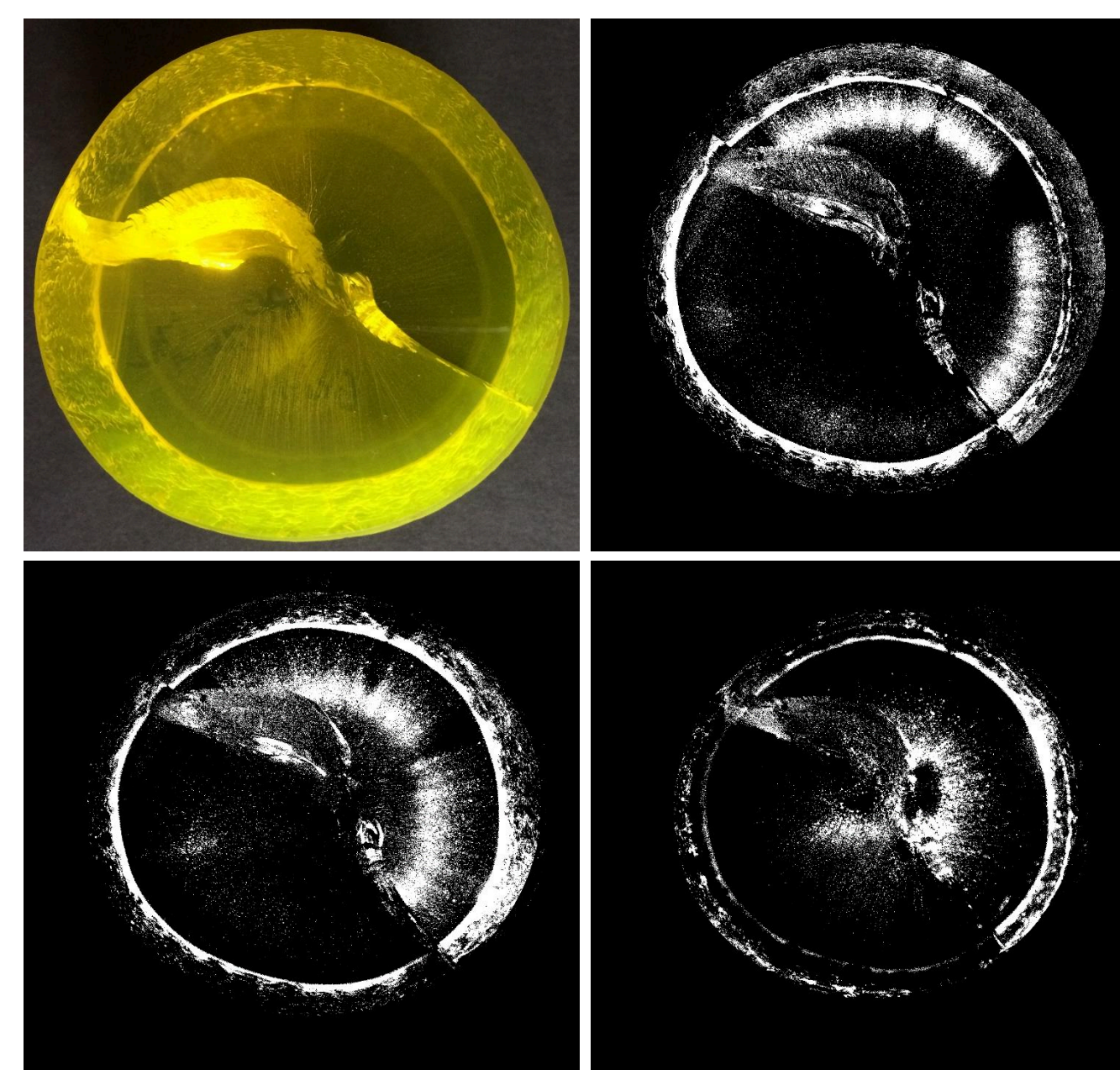
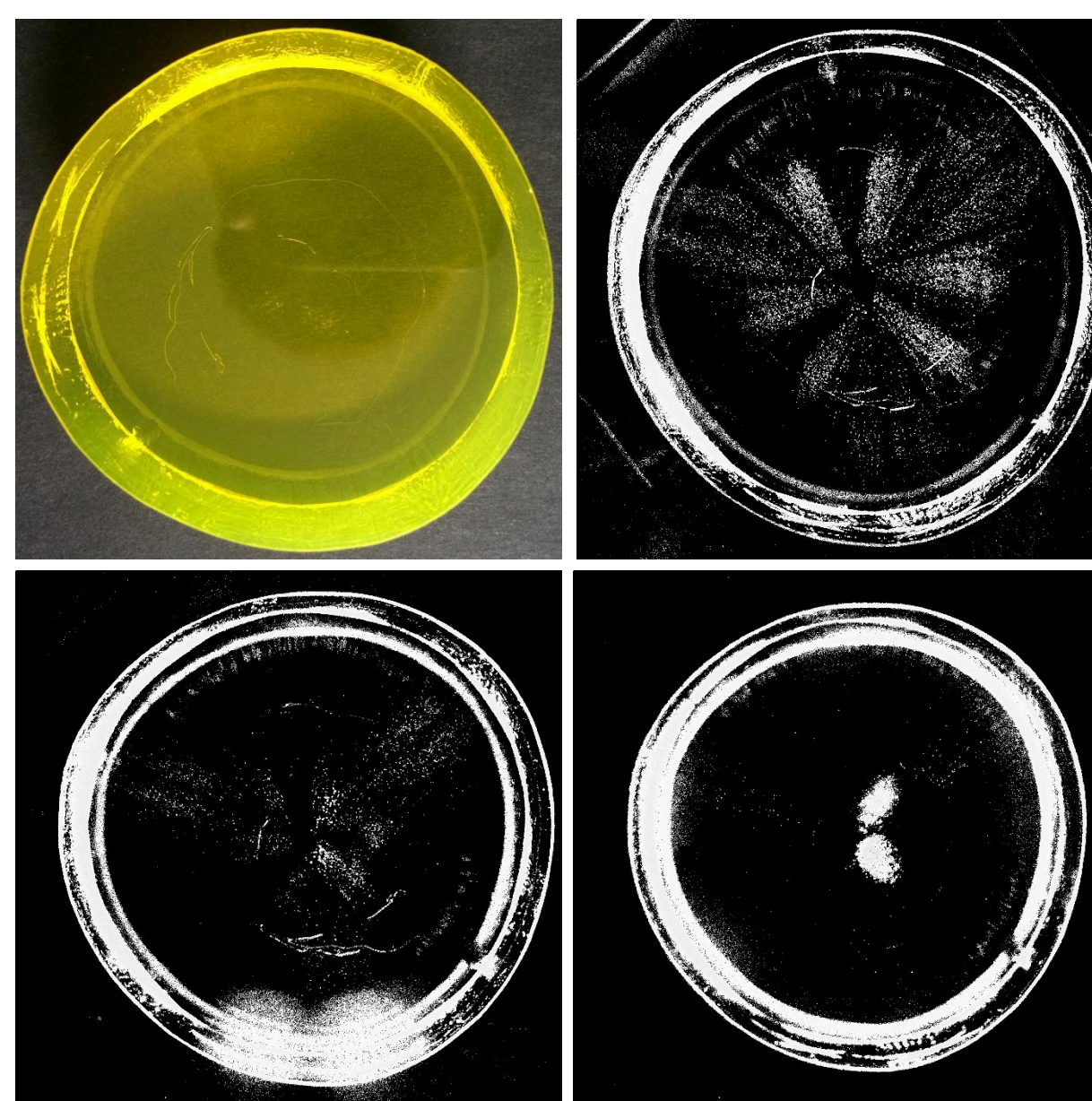
Bublinky jsou v obrazu zachovány, díky vysokému jasů způsobenému rozptylem světla. Binární snímky jsou poté sečteny do jednotlivých řezů a díky posunu v ose Z je možné jejich složením vytvořit 3D model. Zkreslení obrazu bylo eliminováno pomocí telecentrického objektivu. Zaostření na správný řez je realizováno díky posunu kamery v ose Z.



Výsledky a diskuze

Na obrázcích vpravo jsou vidět snímky monokrystalu YAG:Ce s výraznou prasklinou. Na první fotografii je vidět horní leštěné čelo a dále řezy zpracované softwarem ve 2 mm, 15,5 mm a 29 mm od podstavy. Z výsledků je viditelné, že čím výš se v monokrystalu posouváme, tím více se inkluze přibližují od stěn ke středu osy.

Na obrázcích pod textem vidíme odlišný monokrystal YAG:Ce v řezech 1,5 mm, 12 mm a 24 mm od podstavy. Opět je zřejmý trend přibližujících se bublinek ke středu osy se vzdáleností od podstavy a dále je možné pozorovat symetrickou oblast bublinek ve spodním řezu.



Zařízení je schopné přesně zmapovat výskyt bublinek v celém objemu monokrystalu. Výsledky byly vždy konzultovány s laboranty, kteří nyní provádějí inspekci, 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.