

TEHNOLOGIJA 3D GRAVIRANJA UNUTAR KRISTALA

TECHNOLOGY OF 3D ENGRAVING INSIDE THE CRYSTAL

Zvonimir Sabati¹, Andrija Bernik², Nenad Breslauer³

¹Fakultet organizacije i informatike Varaždin

²Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin

³Međimursko veleučilište u Čakovcu

Sažetak

Lasersko graviranje unutar kristala (Sub-Surface Laser Engraving) dokazuje da je moguće spojiti u harmoniji umjetnost i tehnologiju, oživjeti blistavi kristal i istovremeno stvoriti jedinstveni dar, te je moguće zauvijek zabilježiti važan trenutak vremena u kristalu. Za tu namjenu danas se koriste laseri koji rade na 532nm s brzinom graviranja od najmanje 120.000 točkica po minuti. Za dobivanje konačnog proizvoda važna je priprema modela ili tehnikom 3d modeliranja, obradom slika, teksturiranjem ili skeniranjem. Nije identična priprema za 3d ispis ili neku drugu namjenu kao i za lasersko graviranje. Tehnikom graviranja unutar kristala spaljuju se točkice promjera 0,02 do 0,08 mm na temperaturi od oko 20.000oC i lako se može dogoditi pucanje kristala zbog preklapanja ploha ili linija. Koriste se različiti algoritmi za horizontalno i vertikalno graviranje jer se točke graviranja razlikuju po obliku ovisno o prostornom smještaju unutar kristala. Posebno velike mogućnosti mogu biti kod rada s modelima koji unutar kristala nose niz skrivenih informacija koje se dobivaju različitim prostornim položajem elemenata istog modela ili različitih modela. U ovom radu će se pokazati upravo takve tehnike koje su nastale kao rezultat višegodišnjeg istraživanja i koje daju egzaktnu rezultate.

Ključne riječi: 3d modeliranje, lasersko graviranje, skrivene informacije u kristalu

Abstract

Laser engraving inside a crystal (Sub-Surface Laser Engraving) proves that it is possible to combine the harmony of art and technology, to revive the glittering crystal and simultaneously create a unique gift, as well as capture the

important moment of time inside the crystal shape. Today, for this purpose, a lasers with 532nm precision are used with the speed of at least 120.000 dots per minute. Hi quality preparation of 3D model and its texture, existing 2D image or new scanning is required for creating and obtaining the very best quality of the final product. 3D printing and laser engraving process doesn't share identical preparation techniques. The process of engraving inside a crystal is based on burning dots with a diameter from 0.02 to 0.08 mm at a temperature of about 20.000°C. It is highly possible to get cracks or even break the crystal because of overlapping surfaces or lines in the preparation process. Various algorithms for both horizontally and vertically engraving were used because, the engraved point has a different shape depending on the physical position within the crystal. Great possibilities are available while working with the models that carries out a variety of hidden information, which are obtained by different spatial position of its own elements or even with the support of different models. This paper will show precisely these kinds of techniques that have emerged as a result of years of research and provides us with the exact results.

Key words: 3D modeling, Laser engraving, Final animation, Hidden information inside a crystal

1. Uvod

1. Introduction

Lasери se danas nalaze u širokome spektru proizvoda koji se koriste iz dana u dan. Za razliku od običnih svjetiljki kod kojih se emitirana svjetlost raspršuje, laser je građen tako da je snop

koji se propušta vrlo uzak. Upravo stoga je ta zraka svjetlosti izrazito koncentrirana i jaka te se laseri koriste tamo gdje je potrebno "osvijetliti" izrazito male površine. Na temelju navedenoga mogu se izdvojiti osnovna svojstva koja razlikuju lasersku svjetlost od normalne svjetlosti [1], [9]:

- Laserska svjetlost je **monokromatska** - sadrži samo jednu specifičnu valnu duljinu (jednu boju)
- Laserska svjetlost je **koherentna** - gibanje svih fotona je usklađeno (organizirano)
- Laserska svjetlost je **direktna** - laserska zraka je jako uska, jaka i koncentrirana

Postoji puno različitih tipova lasera. Tako se laseri dijele s obzirom na vrstu medija, pa mogu biti s krutim medijima (rubinski laseri), s plinovitim medijima (helij, helij-neon, ugljični dioksid), excimer laseri (engl. excited dimes - fluor, klor pomiješani sa plinovima poput argona, kriptonu ili ksenona), obojeni laser (koriste organske boje), te diodni laseri (koriste se u CD playerima i laserskim pisačima). Mediji za lasere mogu se birati s obzirom na željenu valnu duljinu emitirane svjetlosti, zahtjevima snage i trajnošću pulsa, te je stoga spektar lasera je vrlo širok, pa se pojavljuju laseri više i manje opasni. Ako se gleda stupanj opasnosti, odnosno potencijalna biološka šteta, laseri se dijele u četiri skupine (Klasa I, Klasa Ia, Klasa II, Klasa IIIa, Klasa IIIb, Klasa IV) [8], [9].

Za potrebe ovog rada razmatrat će se plinski laseri. Plinski laseri imaju laserski medij u plinovitom stanju, a sastoje od cijevi ispunjene plinom ili smjesom plinova pod određenim tlakom. Najčešće korišteni plinski laseri su helij-neonski laser, argonski laser i CO₂ laser. Helij-neonski se sastoji od cijevi ispunjene helijem i neonom u omjeru 5:1 pod tlakom od oko 300 Pa. Na krajevima cijevi nalaze se dva paralelna zrcala koja svu svjetlost koja pada iz smjera cijevi reflektiraju natrag u cijev. Na taj način svjetlost koja putuje duž osi lasera je zarobljena unutar lasera, tvoreći lasersku šupljinu (optički rezonator). Procesom stimulirane emisije atomi neona emitiraju fotone koji tvore lasersku zraku valne duljine 632,8 nm, što odgovara crvenoj svjetlosti ili valnih duljina 543,5 nm (zeleno)

ili 611,8 nm (žuto) ili 635,2 nm (crveno), 640,1 nm (crveno), 730,5 nm (crveno), 3,39 μm (infracrveno). He-Ne laseri su relativno jeftini, daju izvanredno monokromatičnu liniju, a koriste se za precizno mjerenje udaljenosti i položaja [4], [8], [9].

2. Lasersko graviranje unutar kristala (Sub-Surface Laser Engraving)

2. Laser Engraving Inside the Crystal (Sub-Surface Laser Engraving)

Osim niza drugih područja primjene laserska zraka se koristi za dubinsko graviranje transparentnih kristala, površinsko graviranje različitih materijala, obilježavanje, rezanje i sl. Lasersko dubinsko graviranje 2D/3D modela koristi laserske zrake koje stvaraju fenomen poznat kao "Multi-fotonska apsorpcija" unutar optički savršenog transparentnog kristala stvarajući električno polje već od 10 milijuna volti po centimetru. Kad je laserska zraka fokusirana unutar kristala, ta energija stvara slobodne elektrone. Ti slobodni elektroni, ubrzani električnim poljem sudaraju se s atomima i ionima u fokusiranom području. Kako proces traje izaziva se lančana reakcija koja proizvodi 10¹⁸ (trilijun) slobodnih elektrona po kubičnom centimetru u otprilike 10⁻¹² (bilijuntom) dijelu sekundi. [2] Nakon toga laser stvara kratki impuls koji traje nekoliko milijardita sekunde i proizvodi mikro pukotinu unutar kristala. I tako se ponavlja nekoliko stotina tisuća puta na različitim lokacijama stvarajući mikro pukotine, odnosno stvarajući "oblak točkica" i 2D/3D sliku unutar kristala. [2], [7], [8]

Te točkice su jednakih veličina i ovisno o njihovoj gustoći, dobiva se veća ili manja gustoća tih točkica, odnosno, dobivaju se različite nijanse pojedinih dijelova modela. Veća gustoća točkica stvara veću bjelinu unutar kristala, a manja gustoća točkica ili manji broj na istom prostoru stvara utisak tamnije nijanse modela. Te točkice imaju jajoliki oblik i potrebno je posebno voditi brigu o njihovom razmještanju unutar graviranog područja kristala.

Slika, 2d bitmap je jedna od najčešćih

modela laserskog graviranja i u dubinskom i u površinskom graviranju. Slike se pretvaraju u "polutonove". To su ustvari točkice raspoređene na način da stvaraju osjećaj tona u različitom intenzitetu slike. Što je područje svjetlije (bjelije), točke su bliže jedna drugoj. Područja s manje gustim točkama djeluje manje svjetlo i time se stvaraju promjene tona u slici. [5], [6]

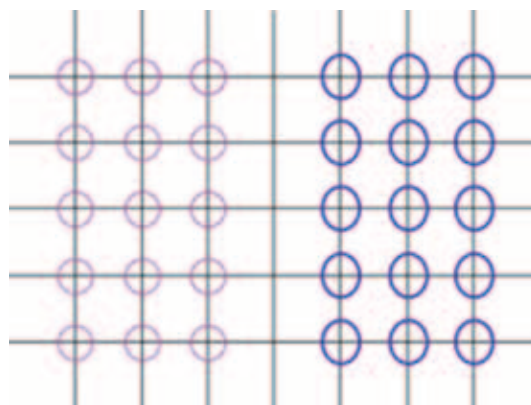
Za potrebe ovog rada koristi se laserski stroj ELD 3000 C-H, klase IIIb, koji ima maksimalno moguću površinu graviranja 400*300*100mm, izlazne snage 3.7W, a laserska zraka je zelena, valne duljine 532 nm. Njegov izgled je prikazan na slici 1. [3], [4]



Slika 1. Laserski stroj za graviranje ELD 3000 C-H

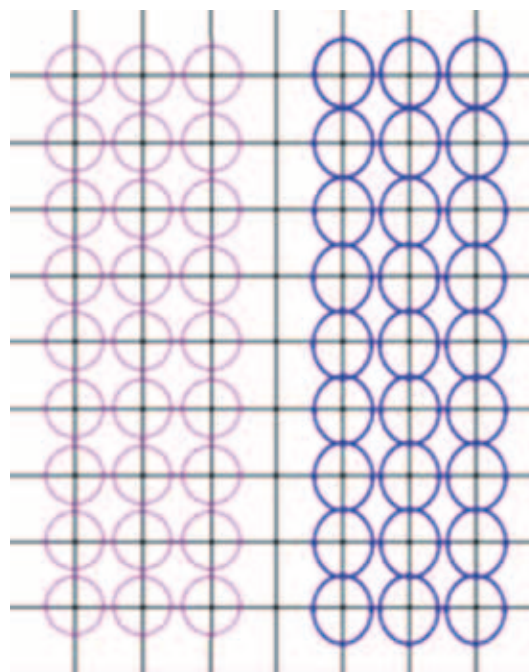
Figure 1. Laser Engraving Machine ELD 3000 C-H

Veličina mikropukotine ili jajolike gravirane točkice je promjera 0,05mm. Ta vrijednost se odnosi na njezinu širinu, a visina je veća zbog jajolikog oblika. Istraživanja na predstavljenom stroju pokazuju da je visina veća za 15-20%. Ta informacija je važna kod postavljanja razmaka između susjednih točkica. Naime, od središta točkice do susjedne točkice potrebno je da taj razmak bude minimalno 0,07mm u horizontalnoj ravnini, a minimalno 0,09mm po vertikalnoj ravnini [7], [8]. Ukoliko se taj razmak smanjuje dolazi do maksimalnog približavanja točkica i pucanja kristala na tim mjestima. Ispravan razmak između točkica za vertikalni i horizontalni razmak je prikazan na slici 2, a premalen razmak za horizontalni i vertikalni razmak između točkica prikazan je na slici 3, nakon čega dolazi do pucanja kristala na tim mjestima što je prikazano slikom 4.



Slika 2. Ispravan razmak između točkica graviranja

Figure 2. The correct distance between The Engraving Dots



Slika 3. Premalen razmak između točkica

Figure 3. Too small distance between the dots

U procesu priprema za graviranje, u nekom od korištenih programa za obradu modela za graviranje, 3D Vision, 3D Crystal ili sl., važno je napomenuti da se koriste termini XY distance i Z Distance. Ako se želi postići veća gustoća graviranja, odnosno veća gustoća točkica ili bijeliji oblak točkica, nužno je uvijek postaviti najmanji mogući dozvoljeni razmak, odnosno XY Distance = 0,07mm, a Z Distance = 0,09mm. Za potrebe graviranja s manjom gustoćom točkica, odnosno prozirniji dio unutar modela u kristalu, treba voditi brigu o XY Distance, a Z Distance je dovoljno da bude samo 0,02mm veći razmak

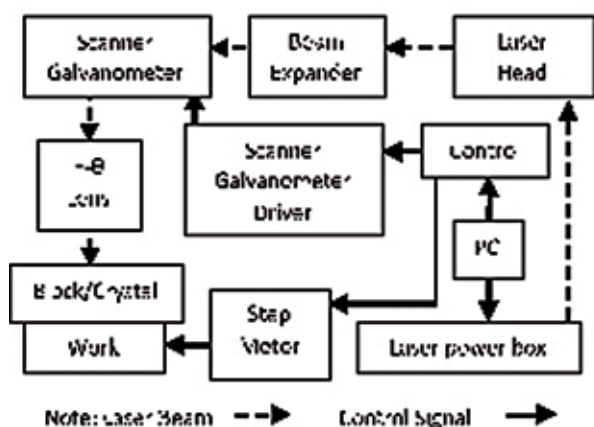


Slika 4. Rezultat graviranja za premalen razmak između točkica- ispucani dijelovi kristala

Figure 4. The result of too small distance between the engraving dots - Cracked Crystal Portions

u odnosu na XY razmak, kako bi se dobio podjednako dobro izgraviran model. [4], [7], [8]

Kontrola i upravljanje laserskim strojem za graviranje unutar transparentnog kristala prikazano je slijedećom shemom na slici 5.



Slika 5. Shematski prikaz rada laserskog stroja za graviranje ELD 3000 C-H

Figure 5. Schematic diagram of the laser engraving machine ELD 3000 C-H operations

U ovom radu se neće razmatrati detaljan princip rada laserskog stroja za graviranje, već se kroz ovu shemu želi samo pokazati jednostavnost logike ovog kompleksnog sustava laserskog graviranja. Modeli mogu biti trodimenzionalni

i njihovo modeliranje se provodi u nekom od poznatih komercijalnih alata (3ds max, Maya, ZBrush, ili sl.). Dvodimenzionalni modeli 2D bitmap ili slika, zapravo su jednostavniji i brže se dobivaju modeli za graviranje, ali zahtijevaju poznavanje ponašanja oblaka točaka kod različitih tonova boja. U bilo kojem slučaju graviranje se provodi po slojevima od najniže (najdublje) točke po XY ravnini (sve točkice u tom sloju) i pomoću koračnog (step) motora se pomiče galvanometer po Z osi po potrebi i nekoliko stotinki mm, ovisno gdje se nalaze točkice za graviranje u toj prvoj slijedećoj od najniže XY ravnine.

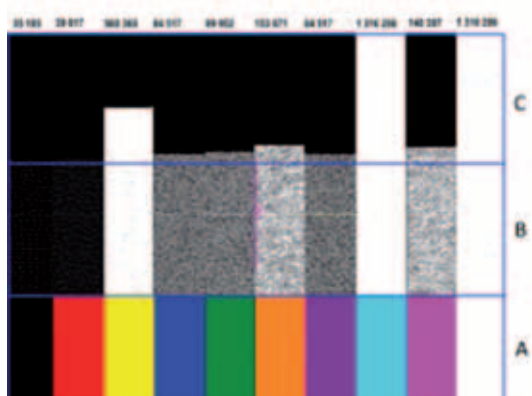
Iz ove sheme je uočljivo da Laser power box, Laser head i Beam expander služe za generiranje laserske zrake, a Scanner galvanometer i Control box upravljaju pomicanjem radne površine (Work table) i graviranjem točkica koje se nalaze u istoj XY ravnini.

3. Konačno rješenje za vidljivi dio spektra

3. Final solution for the visible part of the spectrum

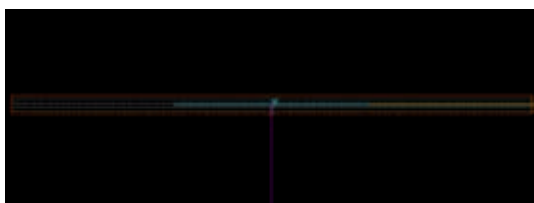
Za razumijevanje odnosa ton boje i gustoća točkica, uzete su primarne i sekundarne boje, kao i dva modela – RGB i CMYK. Predviđena dimenzija slike odgovara dimenziji kristala u koju će se laserski gravirati (30*60*80mm). Za bolju raspodjelu točkica i za dobivanje većeg broja točkica postavlja se XY Distance = 0,10 mm i graviranje u 6 slojeva između kojih je razmak od 0,4mm. [5], [6] Rad u slojevima je nužan zbog potrebe da se dobije što veća popunjenost i ravnomjerniji (bolji) razmještaj točkica kako bi se dobila što manja uočljivost prijelaza tonova. Rezultati za test boja se mogu vidjeti na slici 6, a izgled slojeva u pripremi graviranja na slici 7, a laserski graviran kristal dimenzije u XY ravnini u 6 slojeva na slici 8.

Što se vidi iz ovih slika? Ako je boja svjetlija, to je i gustoća točkica veća. Pod A su prikazane boje koje su se koristile za pripremu i za graviranje. Područje slike označeno sa B, predstavlja pripremljenu raspodjelu i gustoću točkica za graviranje, dok je pod područjem C pokazan odnos u količini, odnosu broju točkica



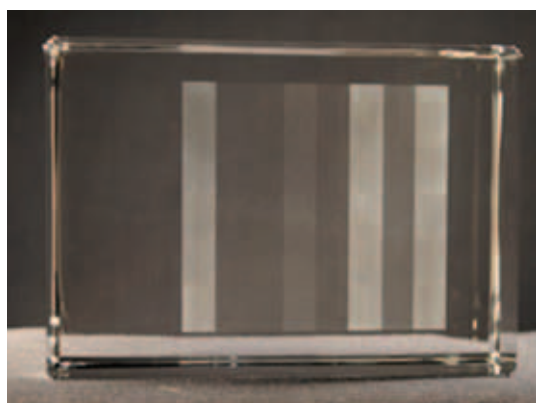
Slika 6. Prikaz gustoće točkica pod jednakim uvjetima za različite boje

Figure 6. Density of the dots under the same conditions for different colors



Slika 7. Prikaz 6 slojeva graviranih točkica

Figure 7. The display of six layers of engraved dots



Slika 8. Izgled graviranog kristala s modelom test boja

Figure 8. The appearance of engraved crystal with the color test model

za svaku boju kroz 6 slojeva. Ukupna količina točkica je navedena iznad dijagrama, a dimenzije kristala su 80*60mm u XY ravnini. Za uočiti je da su razlike u gustoći točkica osjetno velike, posebno za cijan, dok je žuta s većom gustoćom od ostalih boja ali ipak značajno manjom od bijele i cijan. Kako se to odražava na samo

graviranje? Tamne slike imaju mali broj točkica i slika ili obrisi slike su gotovo nezamjetni na tim dijelovima graviranja. To su slučajevi kada je potrebno stvoriti i umjetni contrast ili putem dodatne pozadine ili na samoj slici tehnikama podešavanja tonova boja ili stvaranjem prijelaznih rastera.

5. Zaključak

5. Conclusion

Primjena lasera za potrebe graviranja na različitim materijalima poznata je preko 50 godina, ali za graviranje unutar kristalnog stakla je svoju primjenu pronašlo tek posljednjih 20 godina. Kao material za dubinsko graviranje kristala se uzima optički čisto K9 staklo zbog svoje transparentnosti i kompaktnosti, pa ne dolazi uslijed graviranja do pucanja materijala, a primjena zbog sjajnosti može pronaći u suvenirnicama ili kao novo rješenje za niz diploma, zahvalnica, priznanja gdje osim formalne vrijednosti dobiva i trajnost i umjetničku komponentu.

Graviranje unutar kristala zahtijeva dobro poznavanje mogućnosti i ograničenja laserskih strojeva, jer se u protivnom mogu očekivati pucanja kristala na dijelovima gdje su razmaci između najbližih graviranih točkica manji od dopuštenih i samim time se deformira i model unutar kristala i sam kristal koji su tada neupotrebljivi.

Potreba za graviranjem autentičnih 2D slika i korištenje originalnih boja u pripremi predstavljaju novi izazov za pripremu takve vrste modela za graviranje. Naime, bilo koja boja u stvarnosti, posebno na papiru, ne stvara isti učinak unutar kristala. Na bijelom papiru je "crna" boja iznimno uočljiva, ali unutar kristala ona predstavlja područje bez točkica, a bijela boja ima najintenzivniju gustoću oblaka točkica. Zbog toga je važno imati i realnu predodžbu kakav će biti rezultat graviranja unutar kristala i prema tome pripremiti sliku za graviranje.

6. Reference

6. References

- [1] <http://science.howstuffworks.com/laser1.htm>
<http://www.lasertech.com/howlaserswork.html>
- [2] http://www.enravinglaser.net/Sub_Surface_Laser_Engraving.html
- [3] Hangzhou Shining 3D Tech Co.,Ltd, LASER ENGRAVING MACHINE, User Manual, Hangzhou, 2009.
- [4] Hangzhou Shining 3D Tech Co.,Ltd, USER MANUAL FOR 3D VISION SYSTEM, 3D VISION SOFTWARE, Hangzhou, 2009.
- [5] Z. Sabati, A. Bernik, J. Žiljak Vujić: LASERSKO GRAVIRANJE 3D MODELA UNUTAR KRISTALNOG STAKLA, Tiskarstvo & Dizajn, 2014. Tuheljske Toplice 2014.
- [6] A. Bernik, Z. Sabati: Generating Terrain And Hi Details Using Texture Maps, Tiskarstvo & Dizajn 2013, Tuheljske Toplice 2013.
- [7] Z. Sabati, A. Bernik: HDR FOTOGRAFIJA KORIŠTENA KAO IZVOR PRIMARNOG SVJETLA U RAČUNALNOJ GRAFICI, TISKARSTVO 2012 & DESIGN, Tuheljske Toplice 2012.
- [8] Z. Sabati, A. Bernik: HDR fotografija korištena kao izvor primarnog svjetla u računalnoj grafici, Digitalni sustavi u tiskarstvu, Tiskarstvo 2012, Tuheljske Toplice 2012.
- [9] Z. Sabati, A. Bernik: Implementation of Textures Inside of the Laser engraving Environment, Proceedings of 22st Central European Conference on Information and Intelligent Systems, CECIIS 2011, Varaždin 2011.
- [10] Z. Sabati, A. Bernik, M. Radovac: Lasersko graviranje računalnih modela, Digitalni sustavi u tiskarstvu, Tiskarstvo 2011, Tuheljske Toplice 2011.

AUTORI · AUTHORS

Zvonimir Sabati– nepromijenjena biografija malazi se u časopisu P & D Vol.2, No.2, 2014.

Andrija Bernik– nepromijenjena biografija malazi se u časopisu P & D Vol.2, No.2, 2014.

Korespondencija:

andrija.bernik@gmail.com

Nenad Breslauer

Međimursko veleučilište u Čakovcu