

(1. del)

# » Optimizacija hladilnega sistema orodja z uporabo tehnologije 3D DMLS

**Matic Vogrin,  
Aleš Adamlje**

Optimizacija procesov z namenom ohranjanja konkurenčnosti na globalnem trgu je za dobavitelje izdelkov iz polimernih materialov postala stalna naloga. Eden izmed ključnih elementov pri proizvodnji omenjenih izdelkov je orodje, še posebej oblikovni deli orodja. Zaradi vedno kompleksnejših izdelkov se za izdelavo oblikovnih delov orodja uporabljajo nove tehnologije, ki omogočajo izdelavo optimalnih funkcionalnih sestavnih delov orodja.

Ena izmed pomembnejših novih tehnologij je aditivna tehnologija, ki se vse pogosteje uporablja za izdelavo oblikovnih delov orodij s tridimenzionalnimi hladilnimi kanali, ki sledijo obliki izdelka in jih s konvencionalnimi tehnologijami ne moremo izdelati.

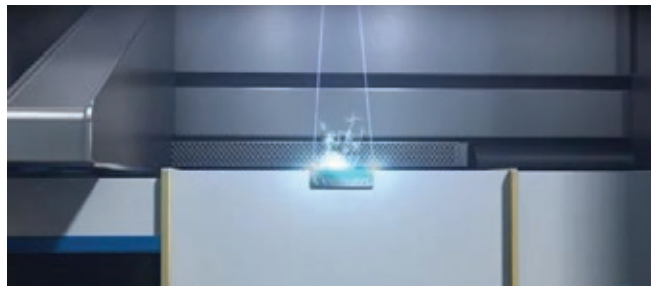
Najbolj razširjena aditivna tehnologija, ki se uporablja za izdelavo oblikovnih delov orodja, je tehnologija »laserskega spajanja slojev praškastega materiala« (angl. Laser Powder Bed Fusion) – LPBF.

V članku bo predstavljen primer kompleksne geometrije oblikovnega trna orodja za izdelavo plastičnega pokrova, pri katerem se je z uporabo aditivne tehnologije »neposrednega laserskega taljenja kovin« (nem. Direkt Metall Laser Schmelzen) – DMLS precej skrajšal proizvodni čas izdelave, hkrati pa se je povečala dimenzijska natančnost izdelka.

## 1 Uvod

Na trgu plastičnih izdelkov in v orodjarski industriji so zahteve vse višje. Orodja pri procesu injekcijskega brizganja termoplastičnih izdelkov predstavljajo ključni del procesa injekcijskega brizganja. Najpomembnejši del predstavljajo oblikovni deli orodij, ki določajo obliko izdelka. Zaradi tehnoloških omejitev pri konvencionalnih obdelavah oblikovni deli niso izdelani optimalno in tako ne zagotavljajo idealnih pogojev procesa izdelave izdelka.

Oblikovni deli orodij nam v procesu izdelave temperirnih kanalov po klasični tehnologiji ne morejo zagotavljati optimalnega temperiranja. V tem strokovnem članku bomo na konkretnem primeru predstavili optimizacijo oblikovnega trna orodja, namenjenega za izdelavo dekorativnega plastičnega pokrova s postopkom injekcijskega brizganja. V serijski proizvodnji zaradi neučinkovitega hlajenja oblikovnega trna nismo dosegli zelenega časa cikla brizganja in zahtevane kakovosti. V proizvodnem procesu je prihajalo do nenehnih zaustavitev, povečanega izmeta in prevelike porabe energije. Ker nismo dosegli zahtevane kakovosti izdelka, je



» Slika 1: Prikaz postopka selektivnega laserskega taljenja s tehnologijo DMLS [2]

bilo treba dodatno optimizirati orodje, kar je povečalo stroške.

Zaradi vedno kompleksnejših izdelkov in njihovih zahtev se v orodjarski industriji vse več uporablja tudi t. i. dodajalna ali aditivna tehnologija. Omenjene tehnologije se v orodjarstvu uporabljajo predvsem pri izdelavi ali optimizaciji oblikovnih delov orodij s hladilnimi sistemi, ki sledijo obliki izdelka. Najkakovostnejša in najbolj uporabljena aditivna tehnologija za izdelavo oblikovnih delov orodij je tehnologija »laserskega spajanja slojev praškastega materiala« (angl. Laser Powder Bed Fusion) – LPBF (slika 1), znana pod različnimi komercialnimi imeni, kot so npr. DMLS®, SLM®, DMLM®, ipd. [1].

S tehnologijo 3D DMLS-tiska je mogoče natisniti kovinske izdelke neposredno iz CAD-modelov izdelka. Primarna komponenta za izdelavo takšnega dela je prah kovinske zlitine. Pri omenjenih 3D-tiskalnikih kovine se po gradbeni ploščadi razporedi izredno fina plast kovinskega prahu, ki ga z izjemno močnim laserjem talimo na točno določenih točkah, ki jih definira CAD-model. Na tak način je izdelan en sloj 3D-natisnjene delca. Opisani postopek taljenja sloja se ponavlja, dokler del ni izdelan [3].

Z uporabo principov sočasnega inženiringa bomo na dejanskem primeru optimizacije in izdelave oblikovnega dela orodja za izdelek s kompleksno geometrijo ter ozkimi tolerancami prikazali konkurenčno prednost konformno hlajenih oblikovnih vložkov in jih primerjali s konvencionalno izdelanimi.



Matic Vogrin • MARSi group, d.o.o., Slovenija  
Aleš Adamlje • Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto, Slovenija

## 2 Metode

V nadaljevanju bomo predstavili postopek optimizacije hladilnega sistema oblikovnega vložka orodja za brizganje dekorativnega pokrova (slika 2). Pri tem se bomo dotaknili analize klasičnih in konformno hlajenih oblikovnih delov, ki jih bomo s pomočjo aditivne tehnologije implementirali v naš oblikovni trn. Ta nam bo omogočil optimalnejši odvod toplote pri procesu brizganja. Za izdelavo oblikovnega orodnega trna bomo uporabili tehnologijo »neposrednega laserskega sintranja kovin« – DMLS v kombinaciji s prašnim materialom orodnega jekla in konvencionalnimi tehnologijami odzemanja, s katerimi bomo dosegli zahtevane tolerance 3D-natisnjenih oblikovnih delov orodij. Na koncu sledi primerjava rezultatov pred optimizacijo in po njej.



» Slika 2: Promocijski izdelek – pokrov

### 2.1 Razvoj in konstrukcija konformnega hladilnega sistema oblikovnega trna pokrova

Za doseganje dimenzijsko ustreznih izdelkov je ključen optimalni nadzor temperature orodja. V ciklu brizganja je najpomembnejši čas hlajenja, saj zajema približno dve tretjini celotnega cikla. Predhodno smo za brizganje plastičnega pokrova (slika 2) uporabljali



» Slika 3: Virtualni (levo) in dejanski (desno) prikaz obstoječega oblikovnega vložka pokrova

Sušilniki plastike, sesalniki,  
dozirniki za barvila, centralni sistemi

Transporterji in  
ločevalniki

Temperirne naprave na vodo  
ali olje, hladilniki vode

Odlični počasno  
vrteči drobilni mlini

**TOOLTEMP**

Temperirne naprave  
**MATIC**

Inteligentno upravljanje  
namenjeno za komunikacijo

**NOVO**



Univerzalne naprave z vodo  
ali oljem do 90/150 °C



Vodne naprave do 90 °C



Tlačne vodne naprave do  
160 °C



Oljne naprave do 360 °C



**Lesnik** 30 LET  
www.lesnik.si

Podreber 4a, 4202 Naklo  
T: 04 231 53 30, office@lesnik.si

MORETO

MB  
Conveyors

TT  
TOOLTEMP

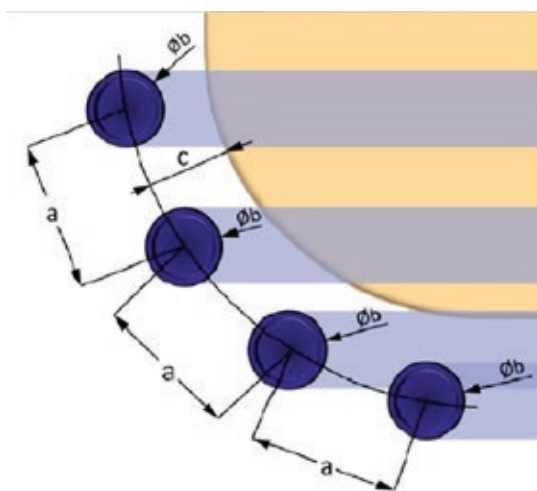
MOORETEC  
INDUSTRIVE LOW SPEED SIMULATOR



štirignezno orodje s konvencionalno izdelanimi oblikovnimi vložki, ki so bili izdelani po principu »vložek v vložku« (slika 3) [4].

Konvencionalno izdelani oblikovni vložki nam niso omogočali izdelave izdelkov v planiranem času cikla. Kakovost izdelkov, odbri-zganih v planiranem času cikla, ni dosegala zahtevane ravni, proiz-vodnja z daljšim časom cikla pa je bila ekonomsko nesprejemljiva. Posledica predolgh ciklov je bila nekonkurenčnost na trgu [4].

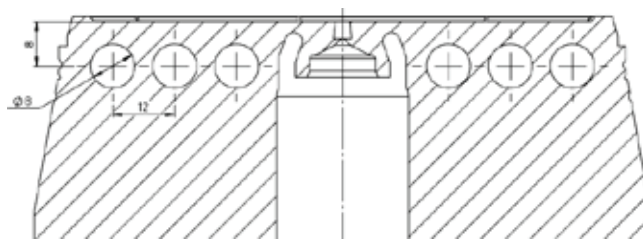
Nadzor temperature orodja in hlajenje taline med postopkom injekcijskega brizganja sta ključnega pomena. Pri razvoju kon-formnega hladilnega sistema za vložek na sliki 3 smo uporabili smernice in priporočila strokovnjaka iz podjetja EOS GmbH na področju 3D DMLS-tiska, S. Mayerja. Poleg tega smo se zanašali na večletne izkušnje optimizacije oblikovnih delov orodja s konformnimi hladilnimi kanali. Omenjena priporočila se v osnovi ne razlikujejo od predpisanih pravil konstruiranja standardnih hladilnih kanalov, ki se izdelujejo s konvencionalnimi tehnologijami odzemanja. Za doseganje optimalnih razmer hlajenja kalupa orodja je treba izbrati optimalen premer hladilnega kanala. Če je oblikovni vložek pravilno zasnovan, bo stopnja kristalizacije izdelka iz polipropilena (PP) med hlajenjem v orodju optimalna.



DEBELINA STENE BRIZGANEGA IZDELKA [mm]	PREMER LUKNJE [mm]	CENTRIČNA RAZDALJA MED LUKNJAMI	RAZDALJA MED SREDIŠČEM LUKENJ IN FORMO ORODJA
	b	a	c
0–2	4–8	$2 - 3 \times b$	$1,5 - 2 \times b$
2–4	8–12	$2 - 3 \times b$	$1,5 - 2 \times b$
4–6	12–14	$2 - 3 \times b$	$1,5 - 2 \times b$

» Slika 4: Konstrukcijska priporočila pri oblikovanju konformnega hladilnega sistema [5]

S pomočjo programa SolidWorks, ki je namenjen računalniško podprtemu konstruiranju, smo najprej rekonstruirali standardni hladilni sistem na obstoječem 3D-modelu oblikovnega vložka. Po priporočilih S. Mayerja, ki so prikazana na sliki 4, in s pomočjo naših večletnih izkušenj smo za hladilne kanale izbirali med premeroma  $\varnothing 4$ – $\varnothing 8$  mm, saj je debelina izdelka manjša od 2 mm. Izbrali smo največji in najoptimalnejši premer kanala (b)  $\varnothing 8$  mm, saj nam je ta omogočil najoptimalnejši odvod toplote. Za varnostni količnik razdalje med hladilnimi kanali (a) smo določili vrednost 1,5, za količnik oddaljenosti središča hladilnega kanala od forme izdelka (c) pa smo izbrali vrednost 1. Vrednosti količnikov za določitev razdalje med hladilnimi kanali in oddaljenosti hladilnih kanalov od površine izdelka sta bili izbrani na podlagi internih standardov za izdelavo konformno hlajenih trnov.



» Slika 5: Prikaz prereza (levo) in konstrukcije konformnega sistema v oblikovnem trnu (desno)

Pri konstruiranju smo upoštevali omejitve tehnološkega procesa DMLS-tiskanja. Najprej smo izračunali medsebojno centrično oddaljenost konformnih kanalov (a).

$$a = 1,5 \times b = 1,5 \times 8 = 12 \text{ mm} \quad (1)$$

V nadaljevanju smo izračunali centrično oddaljenost konformnih kanalov od oblikovne stene trna.

$$c = 1 \times b = 1 \times 8 = 8 \text{ mm} \quad (2)$$

Po izračunu vseh potrebnih konstrukcijskih podatkov konformnega hladilnega sistema smo začeli oblikovanje hladilnih kanalov v programu SolidWorks.

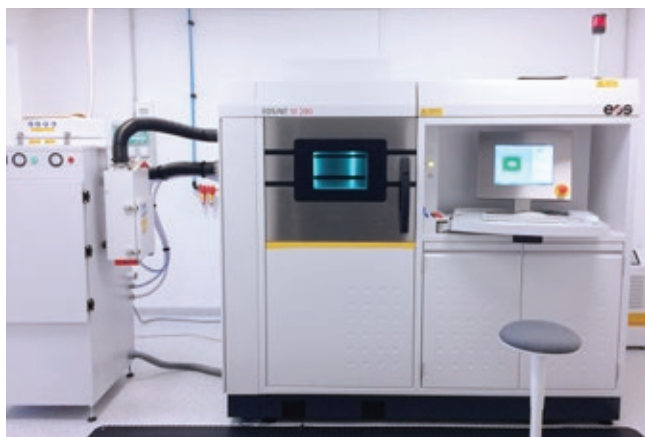
Po priporočilih O. Tuteskija in A. Kočova [6] smo oblikovali t. i. spiralni enonivojski konformni hladilni sistem, pri katerem smo upoštevali vse izračunane vrednosti in zasnovali popolnoma skladen konformni kanal. Sledil je izris tehnične dokumentacije, določanje geometrijskih toleranc, izbira materiala in tehnologij. Prerez in oblika hladilnega kanala sta prikazana na sliki 5.

## 2.2 Izdelava oblikovnega vložka s postopkom tehnologije DMLS

Za izdelavo konformno hlajenega oblikovnega trna pokrova smo izbrali tehnologijo neposrednega laserskega taljenja »DMLS« na industrijskem 3D-tiskalniku EOS M280 proizvajalca EOS GmbH (Tabela 1). Dimenzije delovnega območja stroja merijo 250 x 250 x 325 mm.

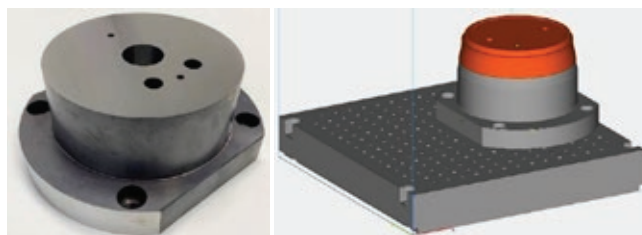
Za izdelavo oblikovnega trna smo CAD-model izvozili v datoteko STL, ki je služila za pripravo programa in procesa DMLS-tiska. Za pripravo DMLS-tiska se najpogosteje uporablja program Materialise Magics, ki je namenjen pripravi 3D-podatkov v aditivni proizvodnji. Prvotna programska oprema je urejevalnik 3D-modelov (datotek STL), ki nam omogoča popravilo napak, urejanje ter rekonstrukcijo modelov STL in pripravo vseh vrst 3D-tiska. Najpomembnejša funkcija priprave 3D-tiska temelji na področju avtomatizirane ali ročne konstrukcije podpor izdelka [7]. V programu smo izdelku definirali postavitev in položaj na delovni platformi. Postavitev in pozicioniranje izdelka na delovno platformo smo izvedli v skladu s priporočili ter po praktičnih izkušnjah.

Zaradi velikosti izdelka in oblike hladilnih kanalov, ki se nahajajo tik pod oblikovnim delom, smo se odločili za delni, t. i. hibridni DMLS-tisk. Na spodnji sliki je prikazan razrez oblikovnega trna na dva dela, ki se razlikujeta v tehniki izdelave. Ločimo osnovni del, t. i. bazo, in 3D-tiskani del s konformnimi kanali, ki je natisnjen neposredno na osnovo. Model smo pripravili v programu Materialise Magics (slika 6 – desno).



Proizvajalec	EOS (Electro Optical Systems)
Serijski model	EOSINT M 280
Programska oprema	PSW 3.8; RP-Tools 6.2; EOSTATE 1.5; Materialise Magics Metal package
Serijska številka	SI2271
Leto izdelave	2016
Tehnologija	PBF > SLM / DMLS
Kategorija	Industrijski tiskalnik SLM
Tip/moč laserja	Yb-fiber laser; 400 W
Hitrost laserja	Do 7,0 m/s
Material	Kovina – jeklo Maraging MS1
Delovna površina	250 x 250 x 325 mm

» Tabela 1: Specifikacije industrijskega DMLS-tiskalnika EOSINT M 280



» Slika 6: Baza oblikovnega trna (levo) in prikaz priprave CAD modela na DMLS-tisk (desno)

Hibridno bazo smo izdelali iz materiala H11 (W.Nr. 1.2343) s konvencionalnimi CNC-tehnologijami, medtem ko smo zgornji del izdelali s postopkom aditivne tehnologije DMLS in visokokovostnim prašnim jeklom Maraging MS1 (W.Nr. 1.2709). Jeklo Maraging je izdelano v skladu s predpisanimi standardi, ki so klasificirani in ustrezajo evropskemu standardu 1.2709 ter nemškemu standardu X3NiCoMoTi 18-9-5. Za to vrsto jekla je značilno, da ima dobre mehanske lastnosti in ga je enostavno toplotno obdelati. S postopkom starostnega utrjevanja lahko dosežemo maksimalno trdoto 54 -2 HRC.

Ne glede na različno kemično sestavo se orodni jekli med postopkom toplotne obdelave kompatibilno povežeta in enakomerno raztezata, zaradi česar ne pride do razkrojitve materiala ali razpok. Pri izdelavi smo upoštevali dodatek za naknadno strojno obdelavo, ki je znašal 0,5 mm/steno. Baza trna je bila pred postopkom DMLS toplotno obdelana – popuščena (slika 6 – levo).

[ Članek se nadaljuje v prihodnji številki revije. ]

**Wittmann**



Your One-Stop-Shop

It's all WITTMANN.