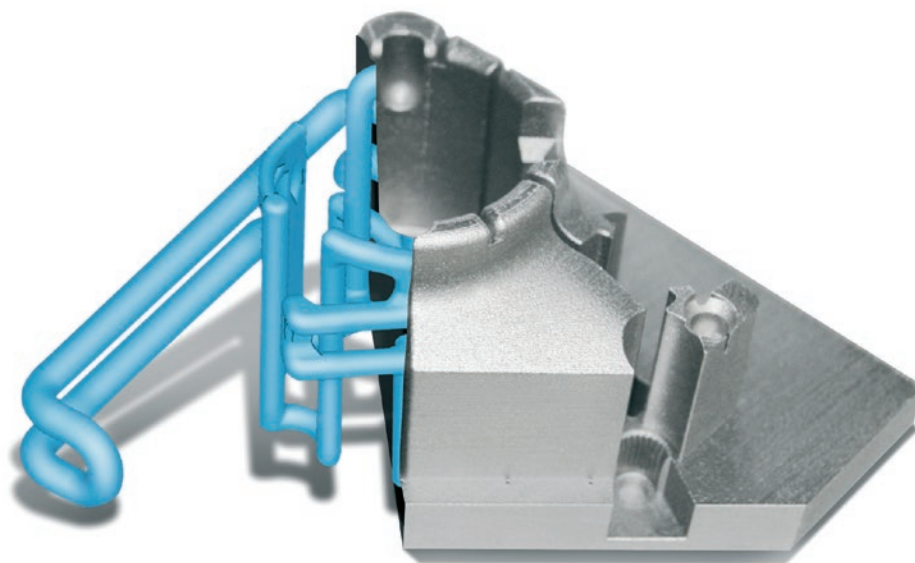


Proizvođač strojeva za zemljane radove naručuje 90 jedinica

Ubrzo nakon dolaska rješenja VacuFil na tržište, odmah je osvojila više međunarodnih proizvođača strojeva. Tako je primjerice jedan od najvećih svjetskih proizvođača strojeva za zemljane radove naručio prvih 90 VacuFil 125i uređaja i uspješno ih primjenjuje u

svojem proizvodnom pogonu u Velikoj Britaniji. Od tada neprekidno stižu nove narudžbe. »Tvrtnice obično imaju gorionike različitih proizvođača za promjenu primjene zavarivanja. Jedinstveni sustav im omogućuje, da pri uporabi različitih gorionika dosegnu visoki stupanj sigurnosti na radu,« kaže Marc Crawford, voditelj prodaje u Velikoj Britaniji pri tvrtki KEMPER.

» www.kemper.eu

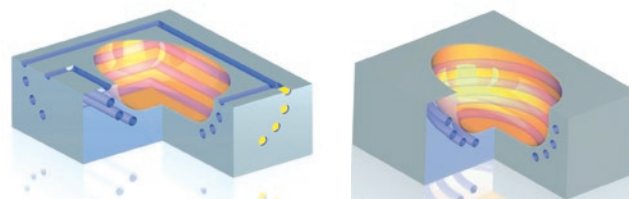


» Optimirana kontrola temperature kalupa primjenom DMLS postupka

Siegfried Mayer

Sustavi EOSINT M omogućuju izradu metalnih proizvoda sloj-po-sloj lokalnim taljenjem metalnog praha s pomoću fokusirane laserske zrake, čime se stvara konačna geometrija proizvoda na temelju 3D CAD podataka. Taj proizvodni postupak je poznat kao izravno lasersko srašćivanje metala (eng. Direct Metal Laser-Sintering – DMLS).

Sustavi EOSINT M omogućuju izradu metalnih proizvoda sloj-po-sloj lokalnim taljenjem metalnog praha s pomoću fokusirane laserske zrake, čime se stvara konačna geometrija proizvoda na temelju 3D CAD podataka. Taj proizvodni postupak je poznat kao izravno lasersko srašćivanje metala (eng. Direct Metal Laser-Sintering – DMLS). Postupak omogućuje izradu komponenata različitih svojstava obzirom na primijenjeni materijal i parametre procesa. Izrada sloj-po-sloj omogućuje proizvodnju iznimno kompleksnih geometrija izravno na temelju digitalnih podataka, što osigurava jedinstvenu slobodu pri konstruiranju. U brojnim primjerima su postupci obrade elektroerozijom EDM i glodanjem zastarjeli u



» Slika 1. Konvencionalni kanali za temperiranje kalupa (lijevo) i konformalni kanali za temperiranje kalupa izrađeni s pomoću DMLS postupka (desno).
| Izvor: EOS

usporedbi s DMLS postupkom, posebice pri kompleksnim geometrijama proizvoda, kao što su jezgre, klizači i druge komponente kalupa, koji imaju visoke zahtjeve obzirom na njihove značajke.

Još od 1995. godine, alatničarstvo je glavno područje primjene EOSINT M tehnologije. Ta aplikacija poznata kao DirectTool omogućuje izradu kalupnim umetaka i komponenata na vremenski prihvatljiv način zbog tijesnog procesnog lanca. Stalna poboljšanja tehnologije i prodaje čelika maraging MS1 tvrtke EOS, koji udovoljava visokim zahtjevima serijske proizvodnje na području alatničarstva, omogućuje serijsku izradu kalupa te primjenu za tlačno lijevanje. Pored prednosti kratkih vremena izrade, dodatna vrijednost postupka je jedinstvena geometrijska sloboda pri planiranju, koja omogućuje izradu naprednih kalupa.

Kod naprednih kalupa integrirani kanali za temperiranje predstavljaju jedno od najvažnijih značajki. To pomaže poboljšati i kvalitetu, kao i troškovnu učinkovitost injekcijski prešanih plastičnih proizvoda. Kalupi izrađeni s pomoću EOSINT M tehnologije primjenjuju se za izradu na milijune proizvoda na području injekcijskog prešanja plastike ili više tisuća metalnih proizvoda pri tlačnom lijevanju.

Postupak DMLS omogućuje izradu praktično bilo kojeg oblika kanala za temperiranje kalupa te tako omogućuje poboljšanu učinkovitost hlađenja ili zagrijavanja

Konformalno hlađenje izrađeno s pomoću DMLS postupka pomaže pri postizanju bitnih poboljšanja i prednosti:

» Obzirom na geometriju kalupa

- Mogućnosti izvedbe kanala za temperiranje u kalupu gotovo su beskonačne. To omogućuje izradu kanala za temperiranje na dobro definiranoj udaljenosti od površine kalupa. Takvo nešto konvencionalno bušeni kanali za temperiranje ne omogućuju, kao što je prikazano na Slici 1.
- Poprečni presjeci kanala za temperiranje mogu biti gotovo bilo kojeg oblika, kao primjerice ovalnog, što je prikazano na Slikama 7 i 8. Turbulentno strujanje medija za temperiranje (visoki Reynoldsov broj) se tako u sustavu može kontrolirati aktivnim izborom različitih poprečnih presjeka te prelazima između različitih poprečnih presjeka kanala za temperiranje. Zbog toga nastaju turbulencije u mediju za temperiranje uzduž čitave duljine kanala. Zavijeni tok kanala može u većini slučajeva poboljšati taj učinak.
- Izrada kanala za temperiranje s promjenjivim poprečnim presjekom ili cijepanje kanala vrlo su jednostavni bez potrebe za podjelom alata, što prikazuje Slika 8. A to osigurava dodatne prednosti pri hlađenju ili zagrijavanju na područjima koje nije moguće doseći s konvencionalnim postupcima obrade.

» Kvaliteta pri postupku injekcijskog prešanja plastike

- Učinkovitiji sustav za kontrolu temperature u kalupu omogućuje vremenske i troškovne uštede pri injekcijskom prešanju plastike.
- Kvaliteta injekcijski prešanih plastičnih proizvoda je poboljšana zbog bolje kontrole postupka injekcijskog prešanja. Smanjeni su vitoperenje odljevaka i površinske nepravilnosti zbog ujednačenog hlađenja proizvoda, što smanjuje naprezanja u materijalu. Otpad je bitno smanjen ili čak u cijelosti uklonjen. Sprječavanje unutrašnjih naprezanja pomaže pri izradi boljih proizvoda s jednakom količinom materijala. Proizvodi s određenim geometrijskim oblicima mogu se izraditi u skladu sa zahtijevanim standardima kvalitete samo primjenom ujednačenog hlađenja.
- Postupkom DMLS moguće je izrađivati čak i kombinirane

sustave s odvojenim kanalima za hlađenje i zagrijavanje ili razvođe između glavnih sustava za kontrolu ukupne temperature i sa specifičnim sustavima za upravljanjem kritičnim temperaturama uz površinu stijenke kalupne šupljine, što otvara mnogo mogućnosti primjene u budućnosti.

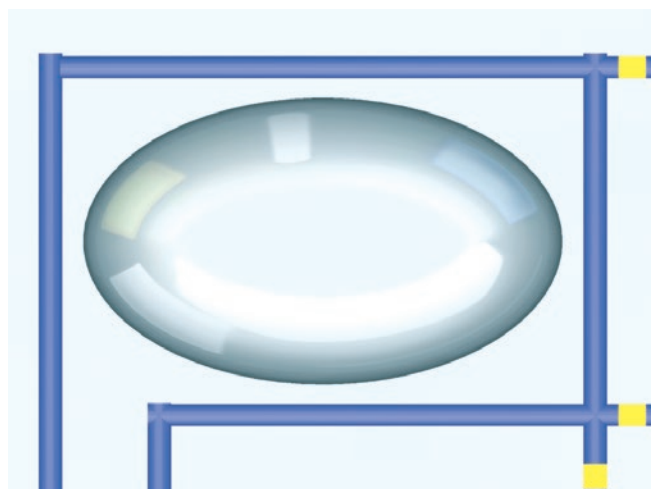
» Troškovi postupka

- Grijanje i hlađenje kritičnih dijelova kalupa, kao što su duge i vitke jezgre, male izvlačne jezgre te područja oko uljevaka, koji su teško dostupni ili ih nije moguće doseći konvencionalnim metodama, s ovom tehnologijom to je moguće. Primjena posebnih bakrenih vodiča topline ili drugi kompleksni zahvati tako postaju prošlost.
- Ukoliko je potrebno, površinu stijenke kalupne šupljine moguće je pothladiti i tako postići optimalna vremena ciklusa zbog skraćanih vremena hlađenja površine stijenke kalupne šupljine.
- Ujednačena razina vanjske temperature može produljiti vijek trajanja kalupa. A to je posebno važno pri kalupima za tlačno lijevanje, koji su izloženi ekstremno velikim temperaturnim promjenama.

Nedostaci konvencionalnog hlađenja kalupa:

Pri uporabi ravnih kanala za temperiranje, koji su izrađeni bušenjem, njihova udaljenost od površine stijenke kalupne šupljine se mijenja, što je prikazano na Slici 2. A to ne omogućuje ujednačeno odvođenje topline iz materijala otpreska, što se odražava u:

- Neujednačenoj temperaturi na površini stijenke kalupne šupljine.
- Neujednačenom procesu hlađenja, što uzrokuje unutrašnja naprezanja i ima negativan utjecaj na kvalitetu proizvoda, kao što je primjerice vitoperenje proizvoda.
- Često se u rastaljenom materijalu ne postiže aktivni proces hlađenja.
- Na završecima izbušenih kanala kod njihovih prespoja, stvaraju se područja sa smanjenim protokom medija za temperiranje te tako uzrokuju nakupljanje nečistoća. I sam postupak bušenja nije bez rizika, jer pri dubokom bušenju uvijek postaje opasnost od bušenja kroz provrt izbacivala ili može doći do loma svrdla tijekom bušenja. Posljedice toga su neupotrebljivost čitavog dijela kalupa.

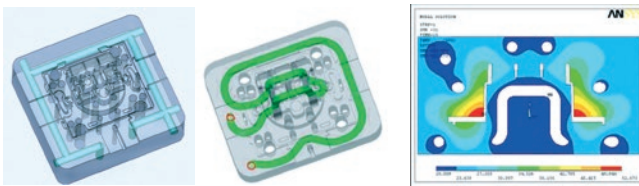


» Slika 2. Konvencionalni sustav za kontrolu temperature u kalupu, gdje dolazi do očitog neujednačenog odvođenja topline. U slijepim područjima ispred navojnog čepa označenih zelenom bojom, nakuplja se nečistoća, koja postepeno smanjuje ukupni protok, jer uzrokuje nepotrebne padove tlaka u sustavu za temperiranje kalupa. | Izvor: EOS

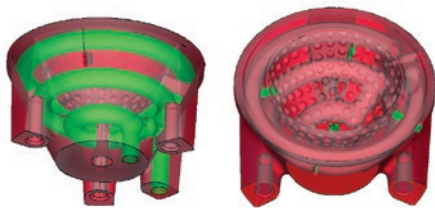
Praktični primjeri [1]

Aplikacija DirectTool omogućuje optimiranje kanala za temperiranje i posljedično upravljanje temperaturom kalupa, što omogućuje ujednačenu razinu temperature u kalupu. Na tu razinu temperature se može utjecati i tako s jedne strane postići niže temperature za brže hlađenje, ili s druge strane više temperature za bolju kvalitetu površine proizvoda. To znači, da je potrebno u svakom pojedinačnom slučaju odlučiti između prednosti koje donose skraćena vremena ciklusa preko povećane brzine hlađenja i kvalitete proizvoda u obliku bolje površine. Taj kompromis je potrebno uzeti u obzir pri razvoju kalupa i sustava za kontrolu temperature u kalupima. Konvencionalni kanali za temperiranje su bušeni u kalupu, što ograničava konstrukciju na ravne kanale izrađene bušenjem. Oblici proizvoda mogu ograničiti položaj i putanju konvencionalnih kanala za temperiranje kalupa. S kanalima za temperiranje izrađenim DMLS postupkom mogu biti jednostavno raspoređeni, dok sa poprečni presjeci tih kanala optimiraju obzirom na zahtjeve kontrole temperature kalupa.

Različite studije i primjeri su pokazali prednosti optimiranog hlađenja. Teorijska i praktična istraživanja izvedena u PEP (Pôle Européen de la Plasturgie) iz francuskog grada Oyonnax pokazali su, da pad temperature stijenke kalupne šupljine za 20 °C skraćuje vrijeme ciklusa za 20 sekundi. U LBC (LaserBearbeitungsCenter) iz Kornwestheima su u jednom slučaju skratili vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja do 60 posto te smanjili otpad s 50 posto na nulu, s op-



» Slika 3. Kalup za električni poklopac s konvencionalnim bušenim kanalima (lijevo), optimirano konformalno hlađenje (na sredini) i simulacija razdiobe temperature u kalupu (desno). | Izvor: PEP, Legrand

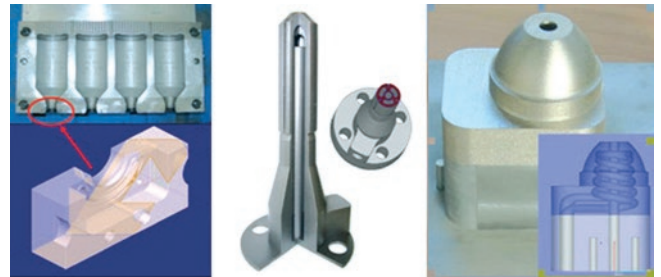


timiranjem temperature kalupa primjenom DirectTool tehnologije.

Pri projektu prikazanom na Slici 4 je uklonjeno vitoperenje sferičnih proizvoda izrađenih postupkom injekcijskog prešanja. Proizvod, darovna loptica za golf, koja se proizvodi u velikim količinama s niskim troškovima, obuhvaća postupak puhanja PP materijala u kalupu u kombinaciji s injekcijskim prešanjem elastomera. U taj postupak se jednostavno integrira dodatna tehnička prednost primjenom DMLS procesa. Pri takvim proizvodima obično je najveći izazov odzračivanje kalupne šupljine, te ukoliko nije dovoljno može dovesti do deformacije loptice za golf. U ovom slučaju je rješenje bilo izrada kanala za odzračivanje s gotovo nevidljivim otvorima na površini stijenke kalupne šupljine. Izbor parametara procesa je omogućio postizanje dvaju glavnih ciljeva i to izbacivanje zraka iz kalupne šupljine, a kanali za odzračivanje se ujedno nisu začepili.

Primjena postupka DMLS omogućuje smanjivanje veličine kalupa, što omogućuje kraća vremena izrade i niže troškove izrade kalupa. U ovom slučaju je riječ o kalupu sa četiri kalupne šupljine i osigurava proizvodnju više od 20 milijuna loptica za golf. Pri tome su kalupni umetci bili izrađeni u svega 50 sati. U tom kalupu su konformalni kanali za temperiranje povećali produktivnost za 20 %.

Slika 5 prikazuje tri primjera primjene konformalnih kanala za temperiranje kalupa. Lijevo je prikazan kalup za puhanje PE plastičnih boca. Vrijeme ciklusa i produktivnost kod takvih kalupa je ograničena radi vremena hlađenja vrata plastične boce, jer je na tom dijelu debljina stijenke proizvoda najveća. U ovom slučaju je s pomoću DirectTool postupka bio izrađen mali umetak s konformalnim kanalima te integriran u konvencionalni proizvodni kalup, što omogućuje brže izravno odvođenje topline iz tog dijela kalupa. Taj kalupni umetak je skratio vrijeme ciklusa s 15 na 9 sekundi, što omogućuje 75-postotno povećanje produktivnosti kalupa za izradu plastičnih boca, bez smanjivanja kvalitete proizvoda.



» Slika 5. Rashladni umetci u kalupima. Kalup za puhanje s rashladnim umetkom za hlađenje vrata boce (lijevo). Rashladna jezgra za hlađenje točke ubrizgavanja (u sredini). Hibridna jezgra koja sadrži konformalne kanale za hlađenje na glodanoj podlozi (desno). | Izvor: SIG Blowtec, Es-Tec, DemoCenter, LBC



» Slika 4. Kalup za puhanje s prikazanim kanalima za temperiranje i kanalima za odzračivanje kalupne šupljine. | Izvor: Es-Tec, DemoCenter

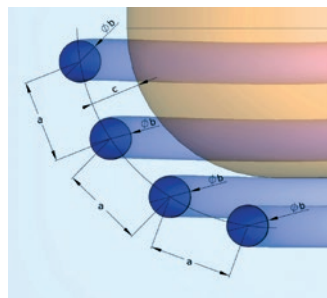
Na sredini Slike 5 je prikazana rashladna jezgra, koja je klasična vruća točka u kalupu. U ovom slučaju konformalno hlađenje skraćuje vrijeme ciklusa za dvije trećine. Desno na Slici 5 je prikazana jezgra sa spiralnim kanalom za konformalno hlađenje u kupoli. S konvencionalnim glodanjem donjeg dijela jezgre te izradi dijela s konformalnim hlađenjem DMLS postupkom, snizili su se troškovi izrade kalupa. Na dijelu kalupa izrađenom DMLS postupkom bilo je ostavljeno svega 0,3 mm dodatnog materijala za završnu obradu.

Konstruiranje sustava za kontrolu temperature kalupa izrađenih DMLS postupkom

Preporuke za konstruiranje rasporeda kanala za hlađenje i zagrijavanje kalupa DMLS postupkom su jednake kao i kod konvencionalnih konstrukcija kanala i temelje se na rekristalizaciji plastike i teoriji prijenosa topline [2] s potrebnim prilagodbama za sustav

konformalne kontrole temperature i prednostima DMLS postupka, koji omogućuje izradu kanala za hlađenje s promjenjivim poprečnim presjekom. Pri tome je konačni cilj izrada sustava za kontrolu temperature u kalupu, koji omogućuje konstantno prilagodljivu razinu temperature materijala tijekom procesa injekcijskog prešanja plastike na čitavoj površini stijenke kalupne šupljine u skladu

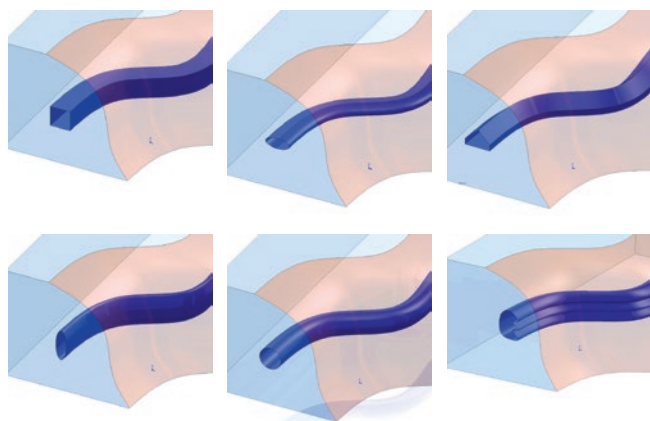
Debljina stijenke injekcijski prešanog proizvoda [mm]	Promjer provrta [mm]	Udaljenost između središta provrta	Udaljenost između središta provrta i površine stijenke kalupne šupljine
	b	a	c
0-2	4-8	2-3 x b	1,5 - 2 x b
2-4	8-12	2-3 x b	1,5 - 2 x b
4-6	12-14	2-3 x b	1,5 - 2 x b



» Slika 6. Optimalna konstrukcija trodimenzionalnog sustava kanala za hlađenje. | Izvor: EOS

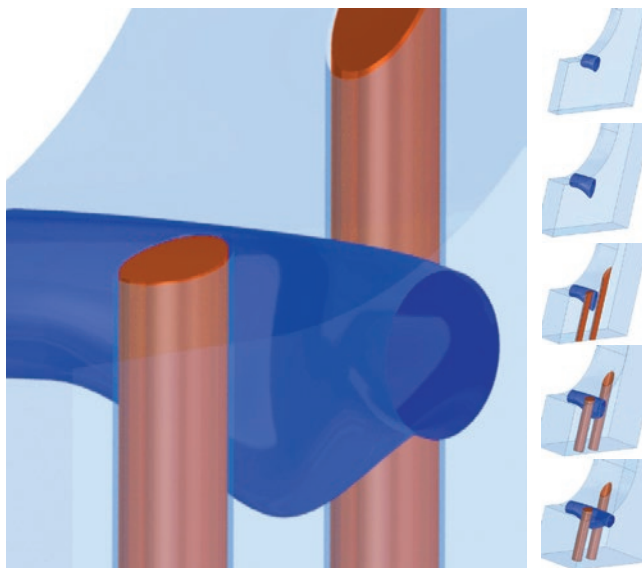
s preporukama proizvođača materijala. Za postizanje tog cilja, potrebno je promjere kanala za hlađenje definirati obzirom na udaljenost od površine stijenke kalupne šupljine. Uz pretpostavku, da je konstrukcija kalupa pravilna, očvršćivanje materijala nakon ubrizgavanja u kalupnu šupljinu je ujednačeno i učinkovito, što poboljšava kvalitetu, jer u proizvodu nema naprezanja, koja uzrokuju vitoperenje proizvoda, dok su vremena ciklusa skraćena.

Obzirom na iskustva, optimalni promjer kanala mora biti između 4 i 12 mm, što ovisi o konstrukciji proizvoda. To su vrijednosti u idealnim slučajevima, jer u praksi kalupni umetci mogu biti preuski da bi se pridržavalo tih smjernica, kao u slučajevima položaja izbacivala na malim udaljenostima ili pri tankim stijenka umetka i slično. U slučajevima takvih kompleksnih geometrija, potrebno je konstruirati kanale s manjim promjerima, kako bi se uklonile vruće točke u kalupu. Postupak DMLS omogućuje izradu kanala promjera sve do 1 mm, no potrebno je imati na umu činjenicu, da se pri tako malim promjerima kanala, mogu primjenjivati



» Slika 7. Proces DMLS omogućuje izradu kanala za temperiranje u kalupnim umetcima s promjenjivim oblikom poprečnog presjeka. Pored okruglih oblika, mogu se izabrati i drugi kompleksni oblici. Kriterij izvedivosti pretpostavlja poprečni presjek, koji tijekom izrade zadržava oblik, što znači da kut prevjesa mora biti veći od 40°. Na posljednjoj slici moguće je vidjeti povećanje učinkovitosti hlađenja zbog rebrastog oblika kanala, čime se povećava turbulencija medija za temperiranje u kanalu (veći Reynoldsov broj). | Izvor: EOS

samo oni mediji za temperiranje koji sprječavaju začepljenje. Kod takvih kritičnih primjera, za traženje pravilnog postavljanja sustava za temperiranje uvelike je od pomoći programska oprema za simulaciju procesa injekcijskog prešanja.



» Slika 8. Sloboda promjene poprečnog presjeka kanala omogućuje korisnicima DMLS postupka primjenu novih rješenja. U ovom slučaju je prikazana željena konstrukcija, koja ne zahtijeva nove kanale za temperiranje, jer kanal ide oko dva izbacivala bez kritičnog smanjivanja debljine stijenke kalupa. Pri tome je uzet u obzir uvjet, da je veličina poprečnog presjeka kanala nepromijenjena, što sprječava učinke prekida toka medija za temperiranje. | Izvor: EOS

Zaključci

Postupak DMLS otvara nove mogućnosti pri uporabi vrlo učinkovitih sustava za hlađenje i zagrijavanje kalupa te konstruktorima kalupa nudi proširene mogućnosti pri izradi visokoučinkovitih kalupa, bez uzimanja u obzir brojnih ograničenja konvencionalnih sustava temperiranja kalupa. Pri tome je najveći izazov odrediti pravilnu konstrukciju kanala. Kompleksnost izabranog sustava za temperiranje ne utječe na proces izrade kalupnih umetaka, jer DMLS postupak omogućuje istodobnu izradu kanala, što ne utječe na vrijeme izrade. Obzirom na sve prednosti te tehnologije, one su toliko velike, da više nije smisleno izrađivati kalupe s konvencionalnim sustavima za temperiranje, jer to ima veliki utjecaj na serijsku proizvodnju otpresaka. Za postizanje maksimalne učinkovitosti i za predviđanje svih učinaka kontrole temperature u kalupu već tijekom konstruiranja kalupa, vrlo se preporuča primjena odgovarajuće programske opreme za simulaciju postupaka prerade, za koje se primjenjuju takvi kalupi. Obzirom na raspoložive podatke, za sada ne postoji programska oprema za analizu i simulaciju trodimenzijskog sustava za hlađenje i zagrijavanje kalupa s kanalima koji imaju promjenjivi oblik poprečnog presjeka. Međutim, obzirom na kompleksnost zahtjeva pri kontroli temperature u kalupima, rezultati simulacija, gdje se primjenjuju okrugli oblici kanala, dovoljno je dobra aproksimacija.

Reference

- [1] Mike Shellabear, Joseph Weilhammer: Tooling Applications with EOSINT M. v: EOS Whitepaper, Krailling, September 2007.
- [2] Olaf Zöllner, Optimised mould temperature control. v: ATI 1104 d (Application Technology Information), Plastics Business Group, Bayer AG, Leverkusen, 31.01.1999.

» www.tehnoprogres.hr
» www.eos.info