

## Predviđanje konačne površine plastičnih dijelova s visokim sjajem

# » Visoki sjaj bez bojenja

**Cristoph Hinse,  
Paula Hohoff**

Spretna primjena mogućnosti vrednovanja i analiziranja, koje nude simulacije procesa, uključujući razvoj najboljeg sustava za regulaciju temperature i izvođenje usporedbi s alternativnim proizvodnim procesima, pojednostavljuje učinkoviti razvoj i proizvodnju otpresaka. Ukoliko se to izvodi od početka projekta, investicije je moguće odgovarajuće vrednovati, dok se tehnički, ekonomski ili ekološki aspekti uzimaju u obzir na način, kako je to prikazano na primjeru otpreska s visokim sjajem površine.

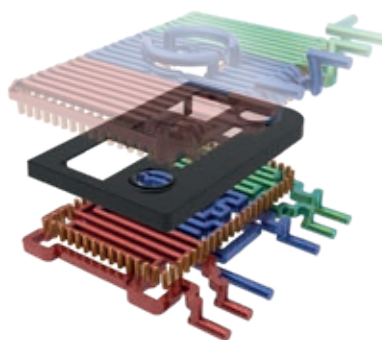
Na brojnim područjima, kao što je automobilsko inženjerstvo, industrija namještaja ili potrošačke elektronike, postoji velika potražnja za proizvodima s visokim sjajem, jer privlače pozornost kupaca i tako si osiguravaju svoj tržišni udio. Općenito poimanje plastike kao jeftinog materijala se mijenja i sada oni postaju materijal, koji određuju način života, pri čemu su vrlo visoki zahtjevi glede izgleda, a uz to proizvodi od plastike moraju neprekidno udovoljavati novim zahtjevima. Na taj proces promijenjenog poimanja plastičnih proizvoda utječu i drugi čimbenici, koje je potrebno uzeti u obzir, kao što je primjerice ekonomija i mjere za smanjivanje ugljičnog otiska.

Za osiguravanje proizvoda s određenom razinom kvalitete ključna je koordinacija različitih mogućnosti analiziranja i vrednovanja, koje omogućuju simulacije procesa te uzimanje u obzir i primjena rezultata simulacije za postizanje boljeg procesa inženjerstva. Primjena takvog pristupa omogućuje brzo vrednovanje proizvodnih procesa i određivanje najprimjerenijeg opsega aplikacija.

Postizanje visokog sjaja proizvoda postupkom injekcijskog prešanja plastike vrlo je zahtjevno. Već kalupni umetak s lošom površinom, neodgovarajući materijal ili pogrešni parametri injekcijskog prešanja mogu dovesti do proizvoda s lošijom kvalitetom površine [1, 2]. U određenim slučajevima se visoki sjaj površine proizvoda može postići s naknadnim bojenjem [3], no potrošnja energije pri bojenju predstavlja 5 do 15 posto svih troškova proizvodnje otpreska [4]. U pozadini rastuće potražnje za većom učinkovitošću proizvodnje i potrebom za što nižim proizvodnim troškovima uz visoku kvalitetu proizvoda, potrebno je potražiti alternativne procese [3].

### Vrednovanje troškova i koristi variotermalne regulacije temperature

Kvaliteta površina s visokim sjajem na plastičnim komponentama načinjenim injekcijskim prešanjem ovisi o tri važna čimbenika, a to su brzina injekcijskog prešanja, naknadni tlak u kalupnoj šupljini i temperatura stijenke kalupne šupljine, pri čemu ovaj posljednji parametar ima najveći utjecaj [5]. Pri tome se preporu-



» Pogled 3D CAD konformalnog sustava za regulaciju temperature pri injekcijskom prešanju proizvoda s visokim sjajem površine. | Izvor: SimpaTec, Contura MTC

čuje primjena simulacija za predviđanje kvalitete proizvoda u ranoj fazi razvoja već pri samom projektiranju proizvoda, jer se mogu spriječiti neplanirani troškovi i greške na proizvodima [6].

U okviru tijesne suradnje pri razvoju proizvodnog procesa za plastični proizvod s visokim sjajem, tvrtke Contura MTC GmbH i SimpaTec GmbH uspoređivali su primjenu konvencionalnog i variotermalne regulacije temperature, pri čemu su primijenili isti kalup za injekcijsko prešanje s konformalnim temperiranjem. Pri razvoju i izradi tog alata važnu ulogu su imale tvrtke Premec S.p.A., Toolax i Contura MTC. Sustav za regulaciju temperature, izrađen po mjeri, ima vrlo veliki utjecaj na temperaturu stijenke kalupne šupljine.

### Visoki sjaj površine s ograničenjima

Tijekom usporedbe različitih načina temperiranja kalupa, vrednovala se površina otpreska te su se procjenjivali troškovi i potrošnja energije pri oba postupka, pri čemu se uzimala u obzir mogućnost potrebnog dodatnog bojenja. Simulacija procesa se primijenila za određivanje mogućnosti predviđanja površine injekcijski prešanog proizvoda već u ranoj fazi razvoja, što je omogućilo

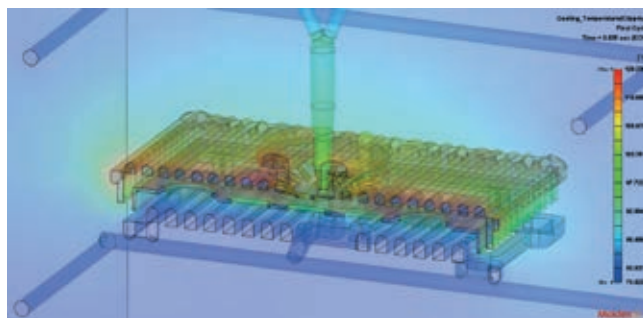
vrednovanje troškova, koji bi mogli nastati pri postupku injekcijskog prešanja. Pored toga je bila analizirana i primjena različitih materijala, pri čemu je referentni proizvod u jednom slučaju od materijala PC+ABS, dok je u drugom slučaju od poliamida 6 s 30 posto sadržaja staklenih vlakana (PA6-GF30).

Referentni proizvod od PC+ABS je kod obje inačice procesa injekcijskog prešanja postizao visoki sjaj površine. Dinamički izmjenjiva regulacije temperature je osiguralo idealno crnu površinu s visokim sjajem, kao kod klavira, bez tragova linija hladnih spojeva i sličnih grešaka te bez potrebe za naknadnim bojenjem. Konvencionalna regulacija temperature kalupa je na prvi pogled osigurala površinu bez tragova, međutim, pri temeljitom pregledu su bile vidljive linije hladnih spojeva, što zahtijeva bojenje za postizanje željene crne površine s visokim sjajem.

### Usporedba potrošnje energije tijekom injekcijskog prešanja s variotermalnim temperiranjem i bojenjem

Pored toga, da uključivanje naknadnih obrada, kao što je bojenje, zahtijeva više organizacije, transporta, pakiranja i rukovanja proizvodima tijekom naknadne obrade, zahtijeva i veću potrošnju energije, što uzrokuje više troškove, koje je potrebno uzeti u obzir u proizvodnji. Pri tome je potrebno naglasiti, da i variotermalna regulacija temperature kalupa troši više energije.

Mjerenja glede potrošnje energije za temperiranje kalupa su bila provedena na ubrizgavalici Si-180-6s proizvođača Toyo Machinery & Metal Co., pri čemu je u obzir bila uzeta i potrošnja svih dodatnih jedinica za regulaciju temperature u kalupu. Mjerenje je bilo provedeno za 40 referentnih proizvoda izrađenih s oba načina



» Pogled u unutrašnjost kalupa u simulacijskom modelu prikazuje temperaturne razlike na kraju faze ubrizgavanja. Variotermalna regulacija temperature na gornjem dijelu osigurava višu temperaturu površine stijenke kalupne šupljine u usporedbi s konvencionalnom regulacijom temperature na donjem dijelu kalupa. | Izvor: SimpaTec

regulacije temperature kalupa. Konvencionalni način je rezultirao potrošnjom 2,882 kWh energije za 40 ciklusa injekcijskog prešanja, dok je potrošnja energije za isti broj ciklusa injekcijskog prešanja primjenom dodatne dinamičke regulacije temperature iznosila 7,856 kWh, što predstavlja 2,7 puta veću potrošnju energije. Uz uzimanje u obzir cijene energije 20 centi po kWh (podatak iz 2020. godine), dodatni trošak iznosi nešto manje od 2,5 centa po otpresku [7], što je manje povećanje u odnosu na troškove naknadnog bojenja, koje je potrebno za otpreske injekcijski prešane s konvencionalnom regulacijom temperature kalupa. U takvom slučaju, dodatni trošak pri seriji od 25.000 otpesaka iznosi više od 45 centi po otpresku pri jednokratnom nanošenju boje. U tu cijenu nisu

# KMS



www.kms.si



**MEĐUNARODNI  
INDUSTRIJSKI SAJAM**

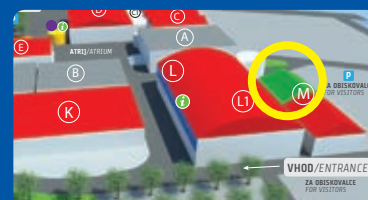
**Preselili smo se**

Posjetite nas  
na novoj sajamskoj lokaciji!  
Celje | 18. - 21. travanj

**Hala M**  
**Izložbeni prostor 15**



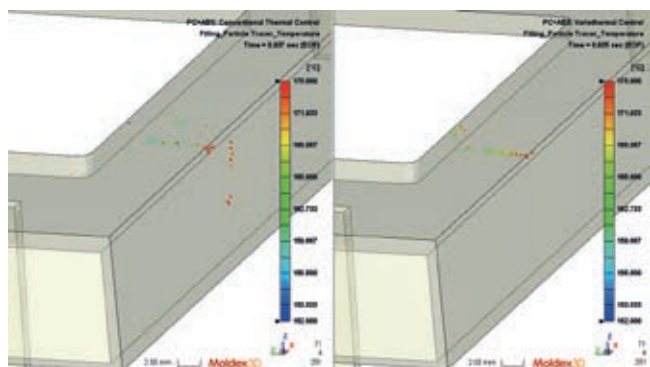
Scan me!



uključeni rukovanje otpreskom, jednokratni troškovi i otpad pri bojanju, koji iznosi približno 2 posto. Sve to znači, da je injekcijsko prešanje s variotermalnom regulacijom temperature kalupa barem 18 puta troškovno učinkovitiji nego li injekcijsko prešanje s konvencionalnom regulacijom temperature kalupa i naknadnim bojenjem otpresaka.

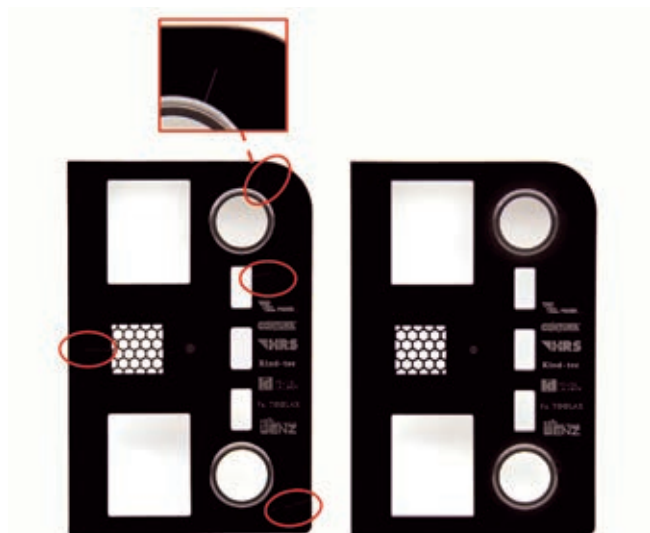
## Procjena troškova s pomoću simulacije procesa

Crnu površinu s visokim sjajem, kao kod klavira, može se postići različitim proizvodnim postupcima obrade, pri čemu troškovi mogu biti vrlo različiti. Vrlo je važno vrednovanje utjecaja primjene variotermalne regulacije temperature kalupa te dodane vrijednosti, koju ta tehnologija doprinosi proizvedenom otpresku.



» Praćenje čestica materijala prikazuje temperaturu linija hladnih spojeva. Pri variotermalnoj regulaciji temperature kalupa (desno) temperatura linije hladnih spojeva je na vidljivoj površini otpreska toliko visoka, da hladni spojevi nisu vidljivi. | Izvor: SimpaTec

Simulacije postupka injekcijskog prešanja nisu primjenjive samo za procjenu kvalitete površine otpresaka. Za simulaciju procesa injekcijskog prešanja bila je primijenjena programska oprema Moldex3D, kako u slučaju konvencionalne, tako i dinamičke regulacije temperature kalupa, koja je pored uobičajenih rezultata, kao što su značajke toka taljevine, temperatura, tlakova i deformacija, dala i informacije o linijama hladnog spoja i smičnim naprezanjima, što između ostalog služi za predviđanje površinskih svojstava otpreska.



» Referentni otpresak od PC+ABS ima površinu s visokim sjajem pri oba načina regulacije temperature kalupa, no u slučaju primjene variotermalne regulacije se ne javljaju linije hladnih spojeva na površini otpreska. | Izvor: SimpaTec

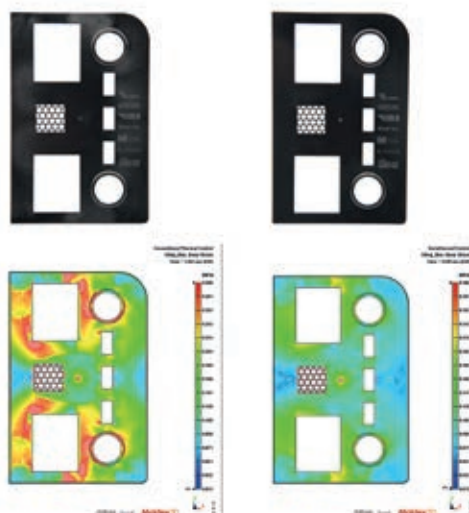
Na temelju temperature linija hladnih spojeva u trenutku njihovog nastanka, moguće je zaključiti o njihovom intenzitetu – vidljivosti. Kada se fronte materijala objedine pri visokim temperaturama, miješanje je temeljitije zbog niže viskoznosti materijala, tako da su linije hladnih spojeva manje izražene. Kod variotermalne regulacije temperature, koja se primjenjuje za vidljive dijelove proizvoda, to je posebno očito. Na tom dijelu kalupa su temperature stijenke kalupne šupljine toliko visoke, da se na površini ne vide tragove hladnih spojeva.

Simulacija procesa pokazuje različite temperature linija hladnih spojeva. Kod variotermalne regulacije temperature površine stijenke kalupne šupljine na vidljivom dijelu otpreska temperatura na potencijalnim mjestima nastanka linija hladnih spojeva je toliko visoka, da se na površini otpreska one ne vide. Ukoliko se na tim dijelovima površine ne bi primjenjivala variotermalna regulacija temperature, nastaju linije hladnih spojeva pri nižim temperaturama, koje su vidljive na površini otpreska. Pored linija hladnih spojeva, vrlo je važna i usporedba smičnih naprezanja, koja nastaju na površini otpreska pri različitim načinima regulacije temperature kalupa.

Usporedna rezultata simulacije oba načina regulacije temperature kalupa pokazuje razlike u kvaliteti površine otpresaka. Unatoč tome u primjeru variotermalne regulacije temperature, to još nije osiguralo postizanje savršene površine ili u cijelosti uklonilo potrebu za bojanjem otpreska. Potrebni su i dodatni testovi, koji daju uvid u dodatne varijable procesa, koje utječu na površinu otpreska, kao što je primjerice kvaliteta površine stijenke kalupne šupljine. No svejedno rezultati simulacije pokazuju važno poboljšanje izgleda površine otpresaka kod primjene variotermalne regulacije temperature kalupa, što bitno utječe na izbor odgovarajućeg postupka izrade.

## Visok sjaj kod proizvoda ojačanih staklenim vlaknima

Otpresci od poliamida 6 s 30-postotnim sadržajem staklenih vlakana (PA6-GF30) zorno pokazuju zahtjevnost postizanja visokog sjaja površine bez naknadnog bojenja. Kvaliteta površine kod konvencionalne regulacije temperature kalupa bila je u nekim slučajevima toliko loša, da za postizanje visokog sjaja niti bojenje otpresaka ne bi pomoglo, što u stvarnom proizvodnom okruženju nije prihvatljivo. U takvim slučajevima dinamička regulacija temperature kalupa osigurava zadovoljavajuću površinu, koja omogućuje postizanje visokog sjaja nakon naknadnog bojenja otpreska.



» Simulacija smičnih naprezanja (dolje) predviđa kvalitetu površine otpreska od PA6-GF30. Primjena variotermalne regulacije temperature kalupa (desno) osigurava postizanje bolje kvalitete površine otpreska. | Izvor: SimpaTec

Usporedba rezultata simulacije sa stvarnom površinom otpresaka je pokazala, da je moguće predvidjeti probleme pri postizanju visokog sjaja na otprescima, koji sadrže staklena vlakna. Simulacija je pokazala maksimalna smična naprezanja na kraju ubrizgavanja kod oba načina regulacije temperature kalupa. Gradijenti smičnih naprezanja ukazuju na nehomogenu površinu otpreska, što je izraženo prije svega u primjeru konvencionalne regulacije temperature kalupa.

Manje izraziti gradijenti smičnih naprezanja pri simulaciji injekcijskog prešanja s variotermalnom regulacijom temperature kalupa poklapa se s boljom kvalitetom površine stvarnog otpreska. Slično kao u slučaju linije hladnih spojeva, i simulacija smičnih naprezanja predviđa kvalitetu površine injekcijski prešanog proizvoda. Pokusi s materijalom PA6-GF30 pokazuju na značajan doprinos simulacije postupka injekcijskog prešanja pri predviđanju izvedivosti udovoljavanja zahtjevima kod proizvodnje otpresaka.

### Kada je bojenje potrebno i kada je uopće moguće?

Platforma iSLM programske opreme za simulaciju Moldex3D osigurava bolju interpolaciju apsolutnih vrijednosti smičnih naprezanja i temperatura linija hladnih spojeva. Ta interaktivna platforma za upravljanje podacima u tvrtkama, koje se bave injekcijskim prešanjem plastike, između ostalog omogućuje pohranjivanje sakupljenog znanja glede veličina pojedinih elemenata na modelima, veličina i vrsta uljernih sustava, sustava za temperiranje kalupa, parametara uzorkovanja i rezultata CAE simulacija, tako da se može primjenjivati za usporedbu kod novih projekata.

Opisani pristup je tako prenosiv na procese razvoja drugih proizvoda, kao primjerice pri proizvodnji proizvoda od pjene. Iako

u tom slučaju postizanje optimalne regulacije temperature kalupa predstavlja poseban izazov, takav pristup nudi veliki potencijal za optimiranje procesa.

### Izvori

- [1] Kerkstra, R.: Solving Issues with Gloss. *Plastics Technology* (2016): <https://www.ptonline.com/news/solving-issues-with-gloss>.
- [2] Berger, G.; Friesenbichler, W.; Reitter, M.; Jutz, S.; Langecker, G.: Hochglanzoberflächen beim Spritzgießen. *Materials Testing* 52 (2010) 4, p. 211–221.
- [3] Schulz, D.: Ausschussarmes Lackieren von Kunststoffen. *plastverarbeiter*. (2021): <https://www.plastverarbeiter.de/markt/ausschussarmes-lackieren-von-kunststoffen.html>, (2021-10-05)
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Luftstromregelung und Wärmerückgewinnung im Lackierprozess. (2021), <https://www.wettbewerb-energieeffizienz.de/WENEFF/Redaktion/DE/Artikel/Projekte/Projektideen/energieeffizienz-in-lackieranlagen.html>
- [5] Gim, J.; Han, E.; Rhee, B.; Friesenbichler, W.; Gruber, D.: Causes of the Gloss Transition Defect on High-Gloss Injection-Molded Surfaces. *Polymers* 12 (2020) 9, p. 1–16
- [6] Sánchez, R.; Martínez, A.; Mercado, D.; Carbonel, A.; Aisa, J.: Rapid heating injection moulding: An experimental surface temperature study. *Polymer Testing* 93 (2021) 106928, p. 1–7
- [7] Homann, J.; Mundt, A.: Monitoringbericht Energie 2020. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. Bonn. (2021), p. 27–28

[ Objavljeno u: *Kunststoffe international* 4 (2022) ]

› [www.simpatec.com](http://www.simpatec.com)  
› [contura-mtc.de](http://contura-mtc.de)

# ENGEL

## Digitalna rješenja za pametnu tvornicu

Nudimo vam digitalna rješenja koja će vam pomoći da:

- iskoristite puni potencijal vaših ubrizgavalica za injekcijsko prešanje,
- smanjite troškove
- povećate energijsku učinkovitost i
- da na održiv način smanjite svoj CO<sub>2</sub> otisak.



Za više  
informacija:

**ENGEL**  
be the first



Neofyton – Strojevi i oprema  
za industriju plastike  
[www.neofyton.com](http://www.neofyton.com) | [info@neofyton.com](mailto:info@neofyton.com)  
Zagreb, Novi Sad, Skoplje

