



Il 75% del riempimento di un paraurti anteriore stampato ad iniezione, rispecchia il risultato della simulazione (vedi sotto) (foto: Simpa Tec, BASF Polyurethans)

## Simulare i processi di stampaggio a iniezione con materiali reattivi (Reaction Injection Molding)

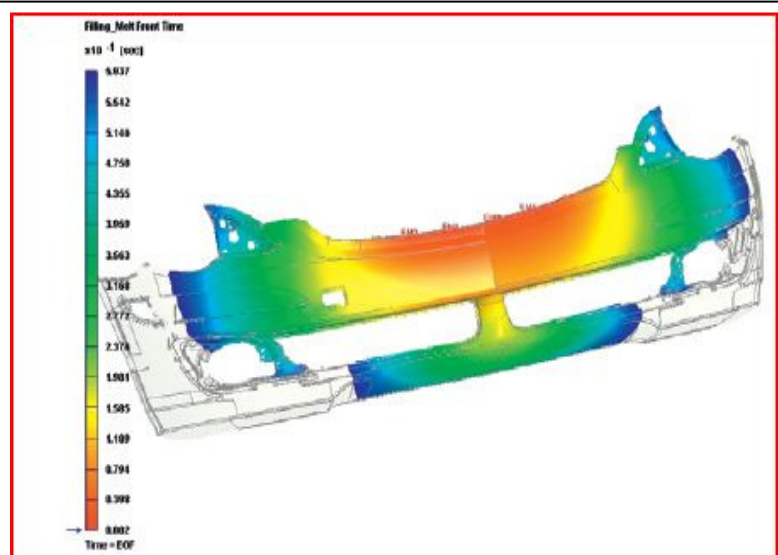
**Simulazione RIM.** Fino ad oggi si è sentita la mancanza di strumenti di simulazione adatti per normalizzare i processi di stampaggio a iniezione con poliuretani. Potremmo essere giunti ad una svolta: lo strumento qui presentato ha brillantemente superato gli ostacoli dei primi tests.

Molti dei problemi riscontrabili nello stampaggio ad iniezione possono essere evitati simulando preventivamente il riempimento dello stampo. Gli attuali strumenti software in commercio sono principalmente orientati alla simulazione con materiali termoplastici. La simulazione di iniezione con materiali termo reattivi (RIM) è invece molto più complicata, è questo è probabilmente il motivo per cui ad oggi sul mercato non esistevano soluzioni soddisfacenti. In considerazione di ciò, BASF Polyurethans GmbH di Lemfoerde, Germany, e la SimpaTec GmbH di Aachen, hanno deciso di collaborare allo sviluppo di uno strumento di simulazione per sistemi RIM con Poliuretano.

L'obiettivo era quello di riuscire a prevedere il comportamento in fase di riempimento, comprendendo l'orientamento delle fibre, il ritiro e la deformazione sul pezzo finito, pur considerando le reazioni chimiche di reticolazione. Ci si è focalizzati principalmente sulla simulazione di materiali a solidificazione rapida, quasi compatti. Il lavoro di sviluppo si è basato sul software MOLDEX3D (prodotto da CORE-TECH System Co. Ltd) software commerciale per il calcolo fluidodinamico.

### Descrizione del metodo di simulazione

La simulazione è stata effettuata su una parte in produzione e su altri due piatti perforati utilizzati in fase di sperimentazione. La simulazione comprende le fasi di riempimento, indurimento del materiale, e di deformazione.



Per essere in grado di prevedere accuratamente ogni aspetto di quel che accade nella realtà, sono state effettuate solamente simulazioni in 3D.

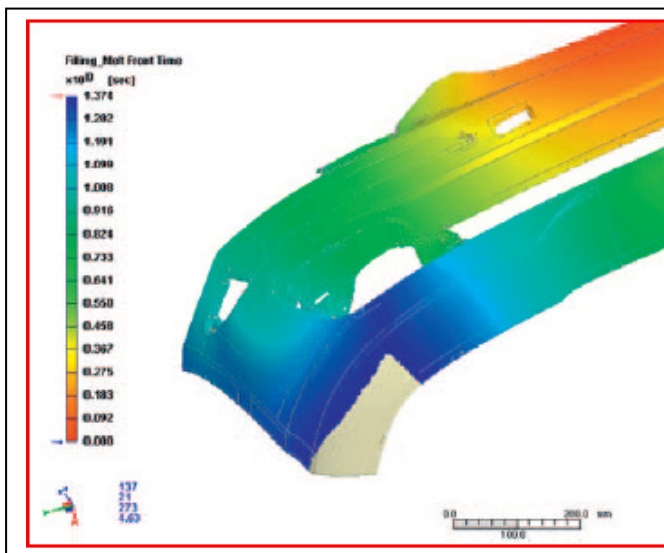
Il comportamento della miscela PU, che diventa sempre più viscosa al passare del tempo, può essere descritto matematicamente in conformità con le leggi di conservazione di massa, momento ed energia. E' importante a questo riguardo mettere in relazione fra loro gli effetti della viscosità e della cinetica di reticolazione delle fibre, così da poter ottenere un'immagine più accurata del comportamento in fase di riempimento.

La discretizzazione delle leggi di conservazione è effettuata tramite il metodo dei volumi finiti (FVM), oggi utilizzato con successo in ogni area della simulazione dei fluidi. Il fronte di flusso è calcolato sulla base del metodo del Volume di flusso (VOF).



**Fig.2. Spoiler anteriore parzialmente riempito ottenuto iniettando materiale reticolante dopo 1,4 s di riempimento.**

reazione cinetica in condizioni adiabatiche. Il metodo dell'aumento di temperatura adiabatica [1] è utilizzato per sistemi molto rapidi.



**Fig.3. Simulazione di riempimenti dello spoiler anteriore. Dopo 1,37 s. il riempimenti ristagna – un risultato identico all'esperienza pratica.**

### Studio Tempo – Riempimento

Per una simulazione dettagliata del riempimento, è necessaria la conoscenza dei seguenti parametri del materiale:

- la reazione di reticolazione in funzione di tempo e temperatura,
- la viscosità,
- la termo-conduttività
- la capacità di calore

ognuna in funzione del grado di intersezione e temperatura. Due metodi differenti ma consolidati vengono utilizzati per caratterizzare la cinetica del RIM-PU: 1) uno spettrometro a infrarossi appositamente convertito per tracciare la reazione poliuretanica in condizioni isoterma. 2), l'aumento di temperatura del poliuretano è misurato in funzione del tempo, ed i risultati sono utilizzati per determinare i parametri di

implementazione dello stesso nel software.

Il primo esperimento consiste in una simulazione Elastolit R 8719/105LT, un poliuretano che solidifica in circa 2 s. Uno spoiler anteriore auto-motive riempito al 75% è comparato coi risultati della simulazione corrispondente. La parte reale ed il modello simulato, coincidono in tutti i criteri più importanti (**tiolo e fig.1**).

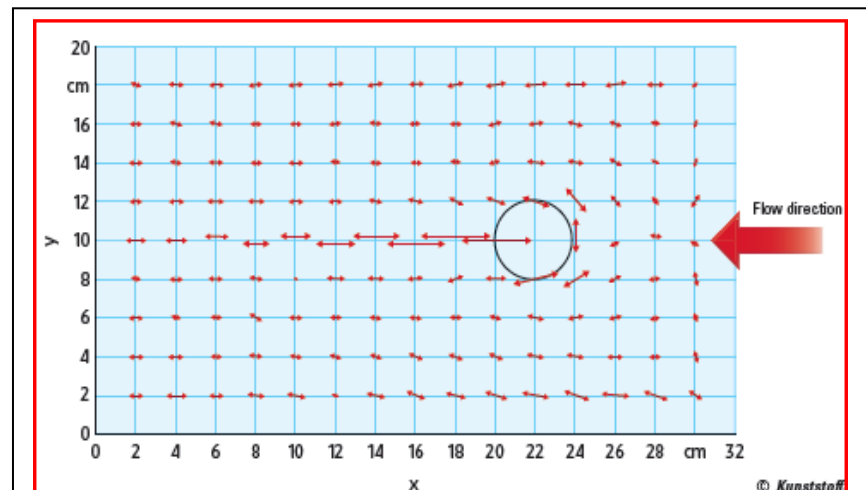
Per verificare se la simulazione descrive la reazione di reticolazione con sufficiente accuratezza, "l'iniezione entro materiale reticolante" è effettuata sia nell'esperimento che nella simulazione. In altre parole l'iniezione ha luogo così lentamente che il materiale si solidifica prima che lo stampo sia completamente riempito. La parte reale viene rimossa dopo 1,4 s. di riempimento. Nella simulazione, il riempimento stagna dopo 1,37 s. a causa della reazione reticolante e del conseguente forte aumento di viscosità. La simulazione è perciò molto affidabile nel riprodurre la solidificazione del materiale in fase di iniezione. (**fig.2/3**).

### Orientamento fibre e deformazione

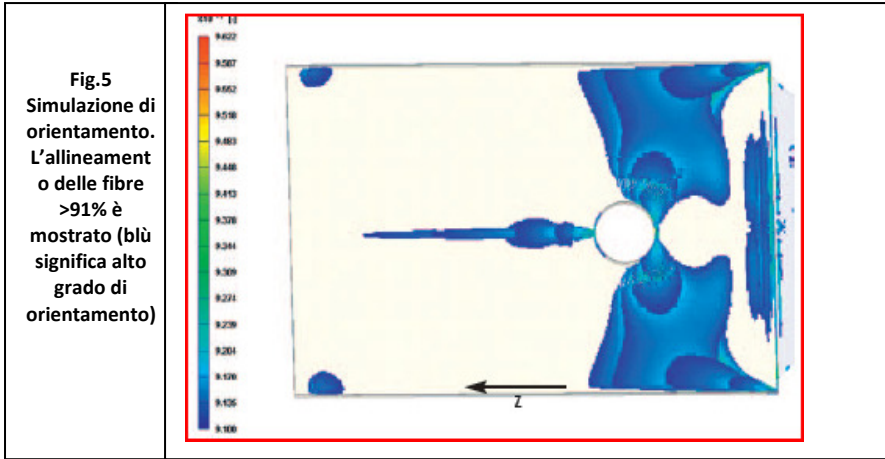
Nella simulazione, l'orientamento delle fibre è descritto dall'equazione di Folgar e Tucker, mentre il cambio di orientamento è descritto col metodo di Advani e Tucker.

Per poter validare la simulazione dell'orientamento delle fibre, sono stati condotti esperimenti con un piatto perforato. Il materiale utilizzato (grade: Elastolit R 4503) ha fibre in frazione volumetrica del 15%. La **figura 4** mostra l'orientamento delle fibre nel piatto perforato a reazione completata, così come misurata dagli ultrasuoni (attraverso lo spessore del piatto) [2]. La lunghezza della freccia è indicativa del grado di orientamento.

Fa parte della collaborazione BASF Polyurethans-SimpaTec, la realizzazione di un modello di reticolazione e la



**Fig.4 Orientamento fibre determinato con esperimento su piatto perforato con 15% di fibre**



**Fig.5**  
**Simulazione di orientamento.**  
 L'allineamento delle fibre >91% è mostrato (blù significa alto grado di orientamento)

La figura 5 mostra l'orientamento delle fibre simulato su un piatto perforato alla fine del riempimento. Solo le aree di orientamento esteso di grado > 0.9 (dove 1 è l'orientamento ottimale) vengono evidenziate. La comparazione rivela una buona corrispondenza tra simulazione ed esperimento.

La deformazione nello stampaggio ad iniezione termoplastica è causato non solo dall'orientamento delle fibre ma anche dalla variazione volumetrica della matrice in funzione della temperatura. Nelle reazioni poliuretaniche ciò dipende anche dal grado di reticolazione c. Il modello pvT deve perciò tener conto del grado di reticolazione per generare un modello pvTc. Qui si è assunto che il volume decresce, al crescere della reticolazione. Si stanno sviluppando metodi sperimentali corrispondenti per poter descrivere i parametri di ritiro rilevanti, a prescindere dall'effetto termico. Il modello pvTc è validato dai campioni di stampo su piatto, con, e senza fibre. Le misurazioni sono poi comparate con la simulazione (fig.6 e 7). La simulazione mostra un ritiro volumetrico del 0,45% perpendicolarmente alla fibra, e dello 0,25% lungo la fibra. Questi valori sono in linea con le misurazioni ottenute di 0,48% e 0,27%.

## Conclusione

Come mostrato, il nuovo modello nel pacchetto software Moldex3D è un utile strumento per la simulazione dei sistemi PU-RIM a reazione rapida. Le comparazioni tra simulazione e stampi a iniezione concordano molto bene. Il programma può aiutare l'utente a disegnare componenti adatti ai sistemi PU, e può essere utilizzato con tutti i sistemi compatti PU. Permette inoltre di rispondere rapidamente e senza costi aggiunti ai problemi di design e di riempimento parti.

### REFERENCES

- 1 Macosko, C. W.: RIM: Fundamentals of Reaction Injection Molding. Hanser Publishers, New York (1989), pp. 139-145
- 2 Predak, S. et al.: Faserorientierungsmessung an kurzfaserverstärkten PUR-RIM-Bauteilen: Kombination zerstörungsfreier Prüfmethoden zur Optimierung von Simulation und Herstellungsprozess. Technisches Messen 73 (2006) 11, pp. 617-628

### THE AUTHORS

BERT NEUHAUS, born in 1967, has been project manager in the Development Compact Systems department (AD/C) at BASF Polyurethanes GmbH, Lemförde, Germany, since 2005 and is responsible for PU-RIM development.

DR. MAX RÖLLMANN, born in 1972, was in charge of BASF's Polymer Physics Unit in the Global Polyurethane Specialties Research Department at BASF Elastogran GmbH from 2005 to 2008 and has worked in polymer research at BASF SE, Ludwigshafen, Germany, since 2008.

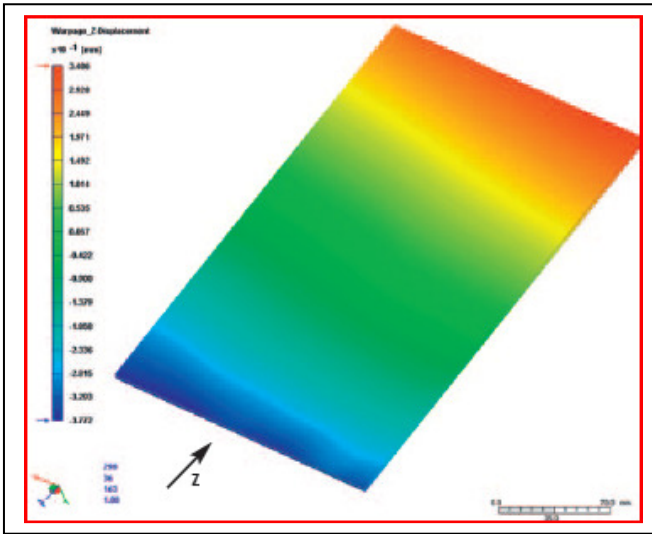
CRISTOPH HINSE, born in 1977, is CEO of SimpaTec GmbH, Aachen, Germany.

DR. REINHARD HAAG, born in 1960 is managing director of SimpaTec GmbH, Bangkok, Thailand.

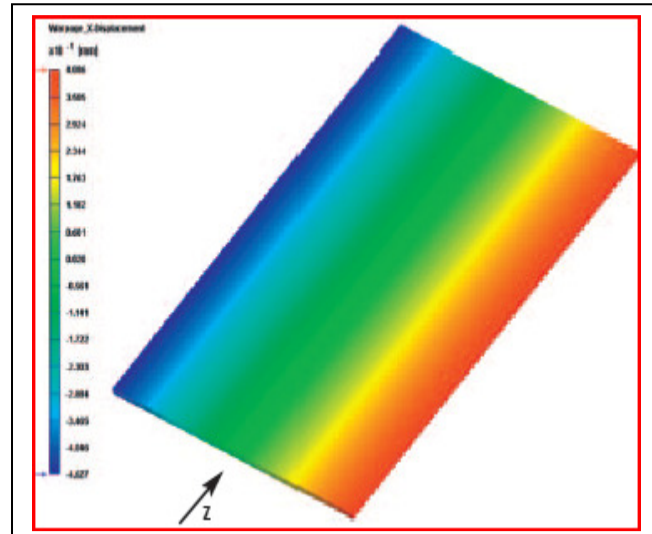
**Contact**

**BASF Polyurethanes GmbH**  
 D-49448 Lemförde  
 Germany  
 TEL +49 5443 12-0  
 www.pu.basf.de

**SimpaTec Simulation & Technology Consulting GmbH**  
 D-52072 Aachen  
 Germany  
 TEL +49 241 9367-1500  
 www.simpatec.com



**Fig.6** Simulazione di deformazione in direzione di flusso (z)



**Fig.7** Simulazione di deformazione perpendicolare al flusso (z)