

Simulering av sprøytestøping og sprøytestøpte komponenters mekaniske respons

1 Prosjektdeltakere

BIOBE, Borealis, Dynoplast Stjørdal, Iplast, Plasto, Hydro Raufoss Automotive, Raufoss Technology, Teknologisk Institutt og SINTEF deltar i dette prosjektet. De forskjellige delprosjektene har noe forskjellige deltakerkonstellasjoner. Et delprosjekt er lagt til NTNU i form av en doktorgradsoppgave innenfor styrkeberegning. Prosjektet ledes og koordineres av Plasto og SINTEF.

2 Innledning

Målet med dette prosjektet er at det norske sprøytestøpemiljøet skal være i teten av utviklingen når det gjelder bruk av simuleringsprogrammer. Dette vil oppnås gjennom avanserte *case*-studier og kritisk evaluering av kommersielle programmers styrker og svakheter.

Prosjektet har to koblede delprosjekter:

- Simulering av sprøytestøpeprosessen ("flytsimulering")
- Styrkeberegning for sprøytestøpte komponenter

Prosjektet vil fokusere på en helhetsforståelse der kunnskaper om materialer og bearbeiding inngår som viktige faktorer. Resultater fra prosjektet vil oppsummeres i rapporter og presenteres i en allment tilgjengelig form på møter i forum for sprøytestøping og i andre relevante fora. Prosjektet avsluttes i år 2000.

3 Bakgrunn

For noen år siden tok en gruppe med norske bedrifter (i samarbeid med SINTEF) i bruk programmer for å simulere visse deler av sprøytestøpeprosessen. Dette prosjektet er en videreføring av disse aktivitetene ved å simulere hele prosessen, samt beregne hvor mye de sprøytestøpte produktene vil krympe og eventuelt vri seg. Simulering av sprøytestøping er et hjelpemiddel for å optimalisere prosessparametre, produktets form og godstykkelser, samt formverktøyets innløpssystem og kjølekanaler. I tillegg vil simulering av produkters respons på ytre belastninger ("styrkeberegning") vil være en deloppgave. Denne typen beregninger kan i en viss grad integreres med simuleringen av sprøytestøpesyklusen.

4 Prosjektsammendrag

4.1 Simulering av sprøytestøpeprosessen

En vil her gjennomføre avanserte *case*-studier og sammenlikne resultater fra simuleringer (f.eks. strømningsforhold, trykk, temperaturer, krymp og vridninger) med sprøytestøpeforsøk. Disse studiene har to formål. For det første vil en analysere programmenes styrker og svakheter, og hvorvidt prediksjonsevnen varierer med

prosessparametre og materialtype. En vil med dette bygge et solid fundament for bruk av simulering i den daglige produktutviklingen. Kommersielle programmer blir stadig forbedret og utvidet og det er viktig å være oppdatert på programmenes styrker og svakheter, slik at en kan være i dialog med programleverandører og andre avanserte brukere om framtidige utviklingsmuligheter. *Case*-studiene skal også ha et forskningsinnhold. Anerkjente forskningsmiljøer i Europa, Japan og Nord-Amerika arbeider med å få en dypere forståelse av sprøytstøpeprosessen ved å kombinere simuleringer med kunnskaper om materialer og bearbeiding.

I forhold til tidligere prosjekter vil en her se på hele sprøytstøpeprosessen. Når en skal simulere hele prosessen må polymersmelten representeres med en kompressibel modell, d.v.s. sammenhenger mellom tetthet, trykk og temperatur er påkrevet. Det er som oftest også nødvendig å ta hensyn til kjølesystemets utforming. I tillegg til de mulighetene en har med en innsprøytningssimulering, kan en med en slik fullstendig simulering optimalisere ettertrykksprofil og produktgeometri for å oppnå jevn volumetrisk krymp. Dessuten kan kjølesystem og produktgeometri optimaliseres for å få en mest mulig jevn og effektiv kjøling av platen. Disse optimaliseringene vil redusere muligheten for vridninger og lokalt nedsatte mekaniske egenskaper. Et effektivt kjølesystem er også svært viktig for syklustiden, d.v.s. produktets inntjening. Slik simuleringsprogrammene fungerer idag er optimaliseringen manuell, d.v.s. brukeren må prøve og feile ved å variere materiale, geometri og prosessparametre. Vi mener det vil være gunstig å kombinere simuleringer med statistiske metoder eller optimaliseringsalgoritmer for å effektivisere optimaliseringen av f.eks. kjølekanalenes dimensjoner og plassering.

Et formverktøy må lages litt større enn det endelige produktets dimensjoner, da plastmaterialer alltid krymper endel, d.v.s. etterfyllingen i ettertrykksfasen er aldri perfekt. Krympen er ikke lik i alle retninger. Det ville vært til stor hjelp om en kunne forutsi krympingen før en gikk i gang med å lage formverktøyet. Vridninger er ofte et problem for komponenter produsert i delkrystallinske plaster. Problemet med vridninger kan analyseres og minimaliseres v.h.a. simuleringer. Ved å simulere hele sprøytstøpesyklusen har en i prinsippet muligheten til å forutsi hvordan komponenten krymper og eventuelt vrir seg. Krymp og vridning er bestemt av kinetikk og temperaturfordelinger ved størkning, orientering av polymerkjeder, samt prosessinduserte lokale mekaniske egenskaper. Programmer for simulering av krymp og kast er ennå på et forholdsvis tidlig stadium i utviklingen. En vanlig måte er å basere seg på termiske (indre) spenninger via en anisotrop elastisk materialmodell. For fire år siden deltok SINTEF i et norsk-britisk samarbeid som så på kommersielle programmer av denne typen. Status dengang var at simuleringer stort sett stemte overens med målinger kvalitativt, men at det kvantitativt var et stykke igjen. Selv om det har skjedd endel etter dette, erkjenner vi at modellene nok fortsatt er forholdsvis naive. Vi tror imidlertid at et slikt program, kombinert med erfaring og justeringer av materialparametre (for en gitt kombinasjon av materiale, prosessparametre og produkttype), kan være et effektivt verktøy for en sprøytstøper. Med et slikt program kan en også på en helt ny måte få innsikt i årsaker og mekanismer som fører til vridninger, samt hvordan disse problemene kan unngås.

Sprøytstøpte komponenter for tekniske anvendelser er ofte produsert i kortfiberarmerte materialer, f.eks. polyamid (nylon) med 30% glassfiber. De mekaniske egenskapene er i dette tilfellet dominert av fibrenes orientering, og dermed

svært anisotrope (forskjellige egenskaper i forskjellige retninger). Fiberorienteringen der flytfronter møtes er kritisk for styrken til sammenflytningslinjene i det ferdige produktet. Noe av utfordringen ved å sprøytestøpe fiberfylte materialer er derfor å få styrken der en trenger den, samt, i den grad det er mulig, å unngå svake soner (eventuelt flytte dem til de områdene som er minst belastet). Det finnes "fibersimuleringsmoduler" som er integrert med simuleringen av sprøytestøpeprosessen beskrevet ovenfor. V.h.a. slike programmer kan en beregne (lokal) fiberorientering og den resulterende variasjon i stivhet. Slike "fibersimuleringsmoduler" vekselvirker også med moduler som beregner krymp og kast.

4.2 Styrkeberegning

Etterhvert som plastmaterialer får mer innpass i tekniske anvendelser, f.eks. innen bilsektoren, blir det stadig mer viktig å dimensjonere slike plastprodukter for mekaniske belastninger (med "dimensjonering" menes her også valg av materiale). Styrkeberegning for metallkomponenter er veletablert og det finnes bred kompetanse på dette området i industrien, konsulentfirmaer og forskningsinstitutter. Når det gjelder termoplaster er det imidlertid et klart behov for mer kunnskap. Disse materialene har en rekke særegenheter som f.eks. viskoelastisitet og anisotropi. Også når det gjelder styrkeberegning er fiberorientering en interessant parameter.

Samsillet mellom materiale, struktur, lokale mekaniske egenskaper og styrkeberegning er et område som universitetsmiljøer, råvareprodusenter og store produsenter av ferdigvarer forsker på. Vi vil forsøke og legge noen deloppgaver på et "internasjonalt" forskningsnivå, men slik at resultatene likevel er relevante for industrien. Eksperimentell bestemmelse av adekvate materialdata vil være en viktig deloppgave.

Idag brukes som regel bare en isotrop elastisk materialmodell i styrkeberegninger for termoplaster. Endel programpakker for simulering av sprøytestøping har egne styrkeberegningsprogrammer som tar indre spenninger (generert i sprøytestøpeprosessen) og ytre belastninger som inngangsdata. Disse programpakkene kan også kommunisere med de mest utbredte kommersielle styrkeberegningsprogrammene. Med denne koblingen kan man få en anisotrop elastisk materialbeskrivelse inn i styrkeberegningsprogrammet. M.a.o. kan en beregne en stivhetsmatrise som varierer over produktgeometrien, basert på orientering av molekyler eller fibre beregnet av sprøytestøpesimulatoren,

Flere typer mekaniske belastninger kan komme i betraktning, som f.eks. punktlaster, momenter og indre trykk. En kan videre skille mellom korttidseffekter og langtidseffekter (f.eks. siging og brudd under statiske eller dynamiske belastninger). Simulerte spenninger og tøyninger i disse forskjellige lastsituasjonene vil sammenliknes med eksperimentelle tester. Det kan også være interessant å sammenlikne simulerte spenninger (indre spenninger fra prosessen såvel som spenninger p.g.a. ytre belastninger) med målinger v.h.a. mikroskopi og polarisert lys. En annen mulighet er å relatere spenninger til styrke og slagfasthet. Flere eksperimentelle teknikker kan være aktuelle for å karakterisere spenninger, molekyllær orientering, bruddflater etc.

4.3 Simuleringsprogrammer

Prosjektarbeidet vil være sentrert rundt utvalgte materialer og produkter.

Sprøyttestøpeprosessen vil hovedsaklig simuleres med *C-Mold* og *Moldflow*. *Polyflow* (et mer generelt program for simulering av polymerstrømning, med viskoelastiske beregninger som spesialitet) vil kunne brukes for å studere spesielle strømningsfenomener. Av styrkeberegningsprogrammer vil *Abaqus*, *Ansys* og *Marc* være mest aktuelle.