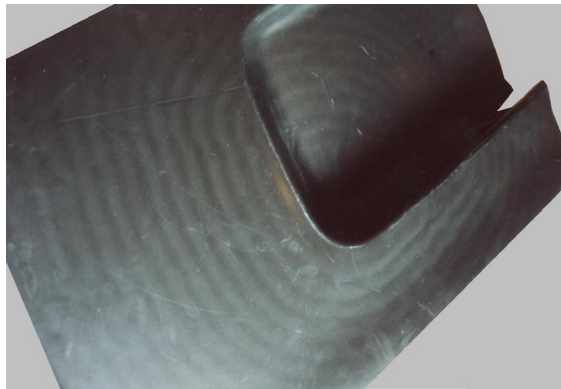


Hvordan oppstår “tigerstriper”?

Margrethe Skattum (Plastal, Raufoss) og Erik Andreassen (SINTEF, Oslo)

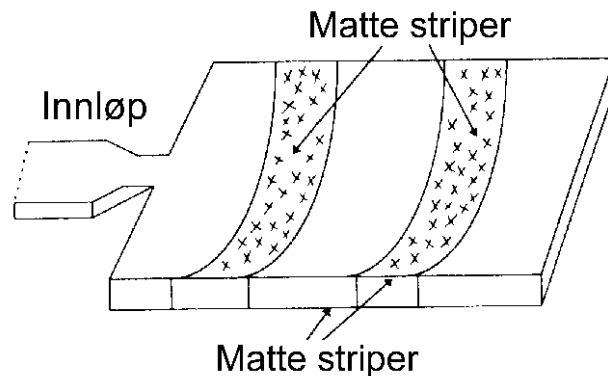
Hvordan kan to polypropylen-materialer som i utgangspunktet virker ganske like oppføre seg helt forskjellig m.h.t. dannelse av tigerstriper? Plastal og Forum for sprøytestøping gjennomførte et lite prosjekt for å se nærmere på dette. Resultatene tyder på at den såkalte strekkviskositeten er en viktig parameter.

Tigerstriper er en overflatedefekt som kan opptre på sprøytestøpte produkter. Det finnes en rekke andre overflatedefekter og noen av disse er presentert i en rapport som medlemmer av Forum for sprøytestøping (www.sintef.no/ffs) har tilgang til. Tigerstriper skyldes som regel variasjoner i overflateruhet som vi ser som variasjoner i glans, se figur 1.



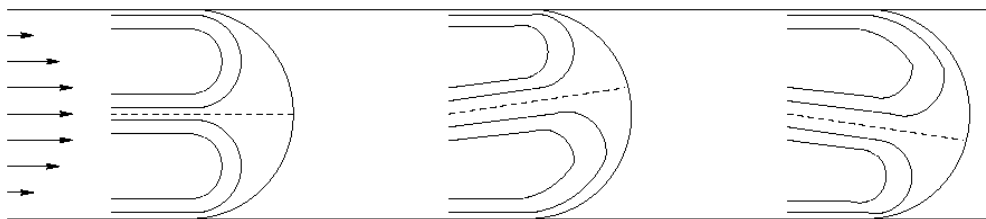
Figur 1. Sprøytestøpt produkt med tigerstriper (Foto: Christian Syversen, Plastforum)

Stripene er orientert parallelt med flytfronten og dannes i innsprøytningsfasen, d.v.s. idet flytfronten avsettes mot veggen. Med materialer som polypropylen (PP) er tigerstripene vanligvis asymmetriske i forhold til midtplanet: Hvis en stikker en syl rett gjennom produktet i et blankt område vil den komme ut igjen i et matt område, se figur 2.



Figur 2. Skjematisk framstilling av asymmetrisk stripemønster.

Hvordan oppstår så slike asymmetriske tigerstriper? Simuleringer og forsøk tyder på at flytfronten i visse tilfeller kan være ustabil. Istedenfor å gå rett fram mellom de to verktøyveggene (i produktets tverrsnitt) kan den bukte seg som vist i figur 3. Overflatens blankhet vil da kunne avhenge av hvor “hardt” plastsmelten traff veggen idet flytfronten passerte.



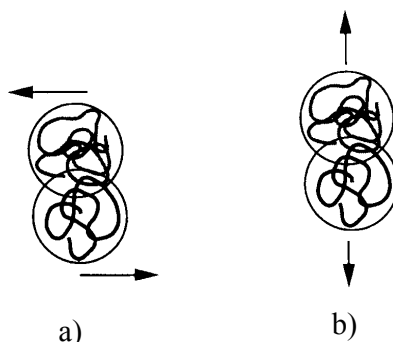
Figur 3. Skjematisk framstilling av en ustabil flytfront i tverrsnittet av et sprøytetøpt produkt.

Slike ustabiliteter kan ha flere årsaker, men i dette prosjektet var det helt tydelig at materialeegenskapene var avgjørende, fordi man bare fikk tigerstriper med ett av materialene. Siden tigerstripene er strømningsindusert, må en derfor se nærmere på materialenes flytegenskaper (det en på fagspråket kaller reologiske egenskaper).

Den viktigste reologiske egenskapen til en plastsmelte som skal sprøytetøpes er **skjærviskositeten**. MI-verdien ($MI = \text{melt index}$) er et mål på dette: Høy skjærviskositet gir lav MI-verdi. Når skjærviskositeten er høy trenger man et høyt trykk for å fylle verktøyet. Årsaken til at skjærviskositeten er så viktig i sprøytetøping er at en hovedsaklig har skjærstrømning: Hastigheten varierer gjennom tverrsnittet; den har et maksimum i midten og er tilnærmet null langs verktøyveggen. Et lite element inne i strømmingen opplever en såkalt skjærdeformasjon, fordi siden som vender mot midten opplever en høyere hastighet enn siden som vender mot verktøyveggen.

Skjærviskositeten sier noe om plastsmeltens motstand mot skjærdeformasjon. En kan f.eks. lett tenke seg at skjærviskositeten øker når polymerkjedene blir lengre og dermed mer sammenfiltret, se figur 4a. Skjærviskositeten er imidlertid et relativt mål på flytmotstand. Hvis en tenker seg strømning gjennom et rør er skjærviskositeten proporsjonal med trykktapet dividert på volumstrømmen (væskevolum som strømmer gjennom røret per tidsenhet): $\eta \sim \Delta P/Q$. Øker man volumstrømmen vil trykktapet øke, men skjærviskositeten vil gå ned for en polymer. Dette kalles **skjærtynning**.

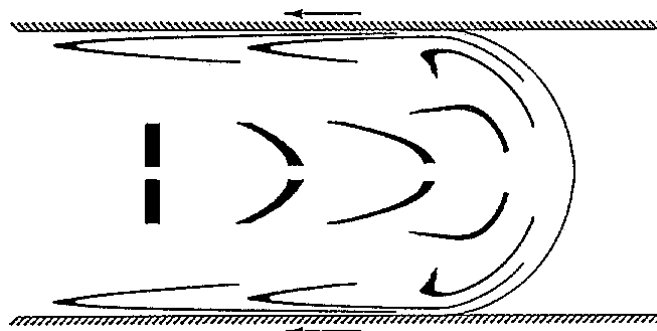
Når volumstrømmen øker vil også maksimalhastigheten midt i røret øke og dermed vil hastighetsforskjellen over et lite element et sted i strømmingen (jfr. figur 4a) øke. Den såkalte **skjærraten** er definert som hastighetsforskjellen dividert på elementets utstrekning når elementets utstrekningen går mot null. Skjærtynning er ofte vist i plot av skjærviskositet som funksjon av skjærrate.



Figur 4. Skjematisk framstilling av skjærdeformasjon (a) og strekkdeformasjon (b) på molekylær skala. To sammenflettede polymerkjeder er vist i hvert tilfelle. Sirklene illustrerer utstrekningen til hvert "polymernøste".

Skjærtynningseffekten kan enkelt forklares slik: Når hastighetsgradienten over et lite element øker (høyere skjærrate) vil polymerkjedene strekkes mer ut og fler "opphakingspunkter" mellom kjeder (se figur 4a) vil "gres ut". Dermed blir det mindre motstand mot skjærdeformasjon og skjærviskositeten vil avta.

De to materialene vi så på i dette prosjektet hadde imidlertid svært like skjærviskositeter som funksjon av skjærrate. Siden tigerstriper dannes idet flytfronten passerer verktøyoverflaten, må en se nærmere på hva som skjer i nærheten av flytfronten. Den såkalte **fontenestrømningen** i flytfronten er illustrert i figur 5. Når flytfronten har man ikke bare skjærdeformasjon, men også **strekkdeformasjon** (figur 4b). Strekkdeformasjon oppleves som mer dramatisk enn skjærdeformasjon for polymerkjedene. Blir strekkspenningen for høy kan man få smeltebrudd.



Figur 5. Simulert fontenestrømning i tverrsnittet av et sprøytetøpt produkt. Deformasjonshistorien til et fluidelement (markert med sort) er vist. Deformasjonene er vist relativt til en referanseramme som beveger seg med strømmingen, d.v.s. vi har sittet "på flytfronten" og tatt bilder av det samme fluidelementet til forskjellige tider. (Figuren er hentet fra www.polydynamics.com/paper.htm).

Hvordan kan ustabiliteter som illustrert i figur 3 oppstå? Hvis vi holder oss til materialeffekter viser det seg at strekkviskositeten er med på å bestemme om en liten forstyrrelse forsterkes eller dempes. Det er ikke strekkviskositeten i seg selv som er viktig, men hvordan den varierer med strekkraten (akkurat som skjærviskositeten avhenger av skjærraten). For de fleste polymerer uten forgreninger avtar strekkviskositeten med økende strekkhastighet. Dette kalles av og til **strekktykning**.

De to PP-materialene vi så på i dette prosjektet hadde forskjellig grad av strekktykning. Strekkviskositeten avtok mest med økende strekkrate for materialet som ga tigerstriper. Hvis en ser på flytfronten til høyre i figur 3 vil strekkraten være høyest på nedsiden. (Grov forenklet kan en si at strekkraten er lik hastighetsforskjellen dividert på veilengden. I strømmingen til høyre i figur 3 er veilengden mindre på nedsiden, men hastighetsforskjellen fra fontenens "topp" til verktøyveggen er omtrent den samme som på oversiden). Dermed vil strekkviskositeten avta på den siden fronten "bøyer seg" mot, og flytfrontforstyrrelsen vil forsterkes. **Strekktykning gir altså en ustabil flytfront.**

Utifra dette er altså begge materialene ustabile (strekktynnende), men materialet som gir tigerstriper er mer ustabil enn det andre. Forsøk har vist at innblanding av en liten mengde materiale med svært høy molekylvekt (veldig lange molekyler) reduserer graden av strekktykning og dermed får man et materiale som omtrent ikke gir tigerstriper. Det finnes også polymertyper som er strekkherdende, d.v.s. strekkviskositeten øker med økende strekkrate. Polymerkjeder med forgreninger kan være strekkherdende fordi forgreningene gir mange "opphakingspunkter".

For Plastal har dette prosjektet ført til økt bevissthet m.h.t. materialvalg. Overflatedefekter er ofte et samspill mellom materiale, prosess og verktøy, og Plastal har også etablert rutiner og regler for prosessparametre og verktøygeometri (f.eks. portdimensjoner).