

4 Další důležité reologické veličiny

4.1 Elongační (tahová) viskozita

Doposud jsme pracovali se smykovým namáháním polymerních tavenin, ale během zpracování (např. vyfukováním) mohou být polymerní taveniny namáhány i tahově.

Odpor polymerní taveniny proti namáhání v tahu vyjadřuje **elongační (tahová) viskozita**:

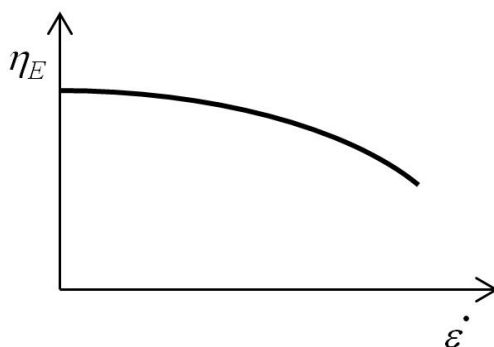
$$\eta_E = \frac{\sigma_{11}}{\dot{\varepsilon}} = \frac{F/A}{\dot{\varepsilon}} \quad (4.1)$$

kde:

η_E – elongační viskozita

σ_{11} – tahové napětí (síla F působící na kolmo na plochu A)

$\dot{\varepsilon}$ – rychlost tahové deformace.



Obr. 4.1: Toková křivka pro namáhání v tahu

Elongační viskozita newtonských látek se nazývá **Troutonská** a lze ji vyjádřit vztahem:

$$\eta_E = 3\eta_0 \quad (4.2)$$

kde:

η_0 – newtonská smyková viskozita

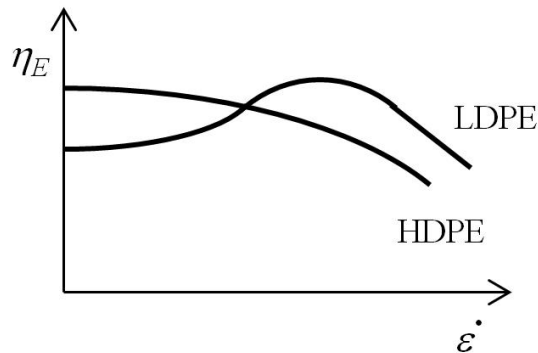
η_E – elongační viskozita (Troutonská).

Pro polymerní taveniny elongační viskozita obvykle dosahuje hodnot $\eta_E = 10-100\eta_0$.

Přestože elongační viskozita dosahuje mnohem vyšších hodnot než viskozita smyková, není často uvažována při modelování deformačního chování polymerních tavenin. Tato skutečnost je způsobena především nesnadným experimentálním stanovením tokové křivky pro namáhání v tahu.

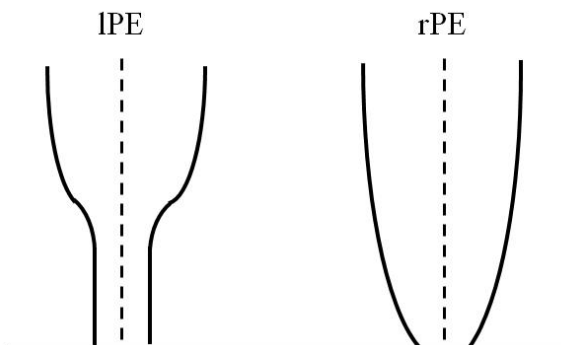
Elongační viskozita roste s molekulární hmotností. Závislost elongační viskozity na teplotě dobře vystihuje Arrheniův vztah.

Jedná se o reologickou veličinu důležitou zejména pro technologii vytlačování s vyfukováním, kde je polymerní tavenina značně namáhána na tah. Touto technologií jsou nejčastěji zpracovávány polyolefiny. Obr. 4.2 znázorňuje průběh závislosti elongační viskozity na rychlosti tahové deformace pro LDPE (rozvětvený polyetylén) a HDPE (lineární polyetylén).



Obr. 4.2: Závislost elongační viskozity na rychlosti tahové deformace

Z obrázku je patrné, že v oblasti nízkých rychlostí tahové deformace má HDPE mnohem vyšší viskozitu než LDPE, což vysvětluje rozdílný tvar tubusu vyfukovaných polyolefinů (Obr. 4.3). HDPE vytváří tzv. krček, protože je nutno zvýšit rychlost tahové deformace natolik, aby viskozita začala klesat a taveninu bylo možné deformovat, tzn. rozfouknout.



Obr. 4.3: Vyfukování polyolefinů

Další zajímavá informace, kterou lze ze závislosti elongační viskozity na rychlosti tahové deformace získat, je tzv. zpevňování LDPE vlivem tahového namáhání, které je pravděpodobně způsobeno přítomností větvení.

Elongační viskozitu lze též vypočítat ze smykové viskozity a rychlosti smykové deformace dle Cogswellova vztahu:

$$\eta_E = \frac{9(n+1)^2 \Delta p}{32\eta\dot{\gamma}^2} \quad (4.3)$$

4.2 První a druhý rozdíl normálového napětí

Při toku tavenin polymerů se kromě smykových napětí generují i napětí normálová. Fyzikální význam mají pouze rozdíly normálových napětí, protože polymerní taveniny považujeme za nestlačitelné.

Definujeme tak dvě další reologické veličiny – **1. rozdíl normálových napětí** N_1 a **2. rozdíl normálových napětí** N_2 :

$$N_1 = \sigma_{xx} - \sigma_{yy} \quad (4.4)$$

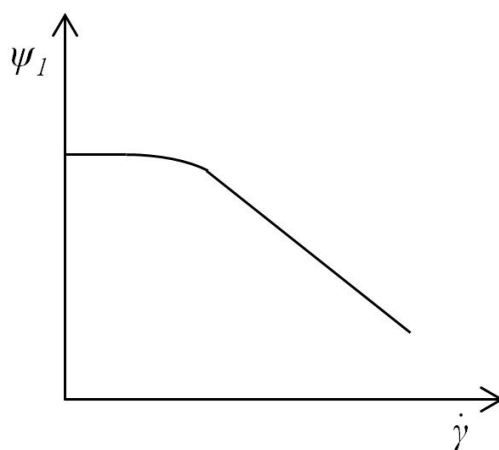
$$N_2 = \sigma_{yy} - \sigma_{zz} \quad (4.5)$$

Stejně jako smykové napětí, tak i rozdíly normálových napětí, jsou závislé na rychlosti smykové deformace.

První rozdíl normálových napětí dosahuje mnohem vyšších hodnot (a tedy i významu) než 2. rozdíl normálových napětí, proto se měří pouze N_1 . Dle obecného konsensu je N_2 záporné a dosahuje hodnot $(0,1-0,25)N_1$.

A obdobně jako jsme pro newtonské látky definovali viskozitu jako míru úměrnosti mezi smykovým napětím a rychlostí smykové deformace, definujeme nyní tzv. **koeficient 1. rozdílu normálových napětí**:

$$\psi_1 = \frac{N_1}{\dot{\gamma}^2} \quad (4.6)$$



Obr. 4.4: Závislost koeficientu 1. rozdílu normálových napětí na rychlosti smykové deformace