

## Fantastyczne wady powierzchni i jak się ich pozbyć?

Przemek Narowski :: 5.11.2023

Nie jestem fanem Harrego Pottera i zupełnie nie znam się na czarach, ale wielokrotnie miałem odczucie stojąc przy wtryskarce, że dzieje się jakaś magia. Zwłaszcza gdy dotyczyło to wad powierzchni wyprasek. Zmatowienia, wybłyszczenia, wybłyszczenia i zmatowienia.., ale w przeciwieństwie do [Pana Premiera](#), ja nie znałem na to recepty. 😊

### Tygrys i rekin

Pewnie gdyby prowadzono tego typu statystyki, to okazało by się, że [Baby Shark](#) jest najczęściej nuconym kawałkiem przez technologów wytłaczania. Efekt Rekiniej Skóry jest nagminnie spotykanym problemem przy produkcji wszelkiej maści wytłoczyn (rur, profili, płyt itd.).

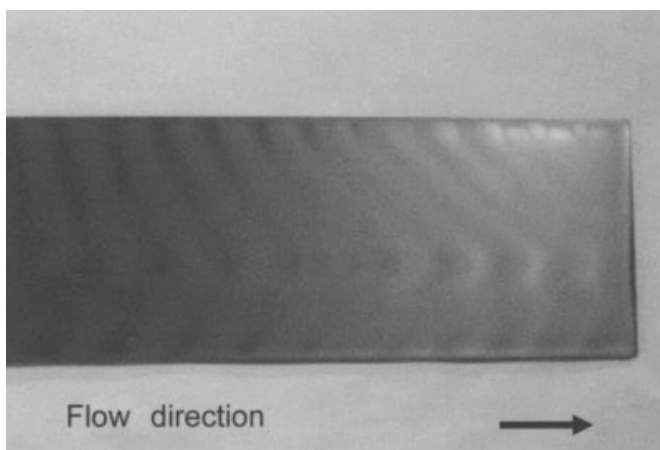


<https://youtu.be/2j3phVcXhUM>

Efekt Rekiniej Skóry przy wytłaczaniu polimerów

Jako gdyż jestem raczej "ekstruzjonistą teoretykiem", na tym poprzestanę i przejdę od razu do bardziej znanego mi problemu, czyli do tzw. Tygryśnych Pasów. Tygrys jest kolejnym z fantastycznych zwierząt w naszym "magicznym zoo" i okazuje się, że jest mocno spokrewniony z rekinem. 😊

Pasy tygrysa składają się z połyskujących i matowych pasm, które na przemian pojawiają się na powierzchni wyrobu. Są mniej więcej prostopadłe do kierunku przepływu. Tygryśne pasy pojawiają się zazwyczaj na wypraskach o dużym stosunku drogi płynięcia do grubości ścianki.

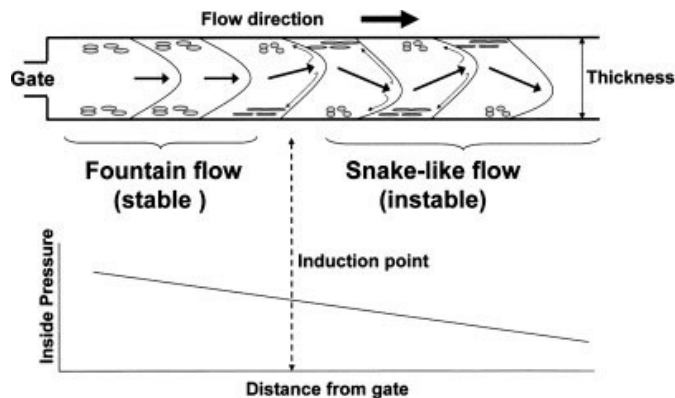


Przykład tygryśnych pasów ([źródło](#))

### Jakie są przyczyny tego typu wad powierzchni?

Zarówno w przypadku skóry rekina jak i tygrysiich pasów przyczyną pojawiania się tych "zwierzaków" jest niestabilność przepływu tworzywa (w głowicy wytaczarskiej przypadku "rekina" lub w formie wtryskowej dla "tygrysa").

Schematycznie można pokazać to tak, jak na rysunku poniżej. Widzimy, że po przekroczeniu pewnej krytycznej wartości naprężenia ścinającego, stabilny przepływ fontannowy zmienia się w niestabilny przepływ "węzowy" (to już kolejne fantastyczne zwierzę w naszej kolekcji 😊). Ta niestabilność przepływu powoduje z kolei niestabilną orientację makrocząsteczek (kreski i kropki przy ścianie formy na rysunku), która to objawia się czujnym oczom jakościowca jako tygrysie pasy.



Schemat powstawania niestabilności przepływu (źródło)

Reologia bada przyczyny tej niestabilności przepływu już co najmniej od 40 lat. Do tej pory nie ma pełnej zgodności z czego tak na prawdę ona wynika. Póki co wiadomo, że jest to pewna kombinacja zjawisk lepkosprężystych i poślizgu, ale to dalej stanowczo za mało, żeby zbudować jakiś model matematyczny, który by można wykorzystać w programach do symulacji.

## Recepta

Parafrazując Pana Premiera, mogę powiedzieć, że ja nie znam recepty i recepta nie jest prosta. 😊

Wyżej wspomniałem, że "przepływ węza" pojawia się po przekroczeniu pewnej granicznej wartości naprężenia ścinającego. Można by więc próbować tej granicy nie osiągnąć poprzez obniżenie lepkości płynącego tworzywa lub szybkości samego przepływu. Lepkość można obniżyć wzrostem temperatury lub wzrostem szybkości przepływu (pisałem o tym [tutaj](#)).

Jeśli  $\tau$  to naprężenie ścinające,  $\eta$  – lepkość,  $\dot{\gamma}$  – szybkość ścinania, a  $T$  i  $Q'$  to odpowiednio temperatura i przyrost ciepła w czasie i w jednostce objętości, to

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

$$Q' = \eta(T, \dot{\gamma}) \dot{\gamma}^2$$

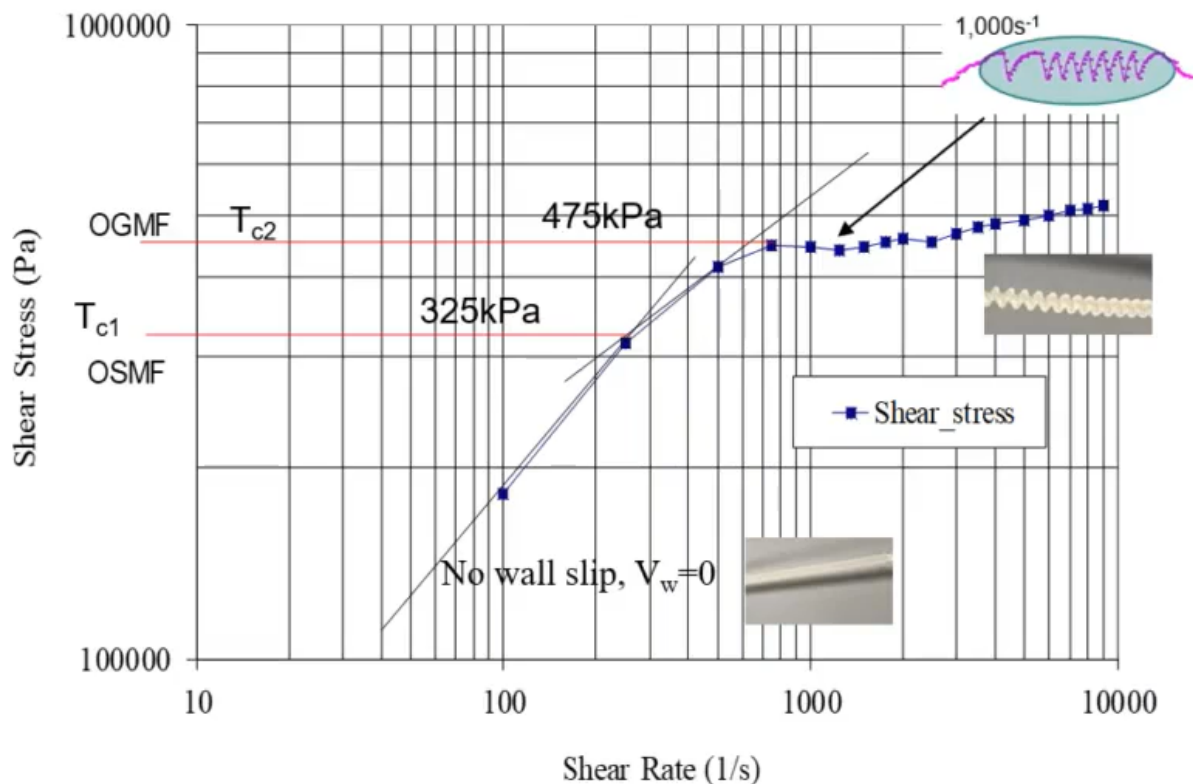
To zwiększamy, czy zmniejszamy szybkość wtrysku? 😊 Sprawa komplikuje się jeszcze bardziej gdy nasze okno przetwórcze przypomina bardziej łufcik w toalecie niż prawdziwe okno i nie ma za bardzo miejsca na zmiany.

Zawsze jest lepiej zapobiegać niż leczyć i nie zrzucać na barki ustawiacza problemu tygrysiich pasów, ufając że jakoś sobie przecież poradzi. Jakoś da radę, ale jaka to będzie jakość?

No ale jak zapobiegać, skoro powiedziałem, że symulować tego się nie da?

## Czy na te wady nie ma rady?

Bezpośrednio jeszcze nie da się odwzorować w symulacji niestabilności przepływu, ale można policzyć naprężenia ścinające. Trzeba tylko wiedzieć jakie wartości naprężeń są już niebezpieczne i powodują niestabilność. To już trzeba po prostu reometrycznie zmierzyć.



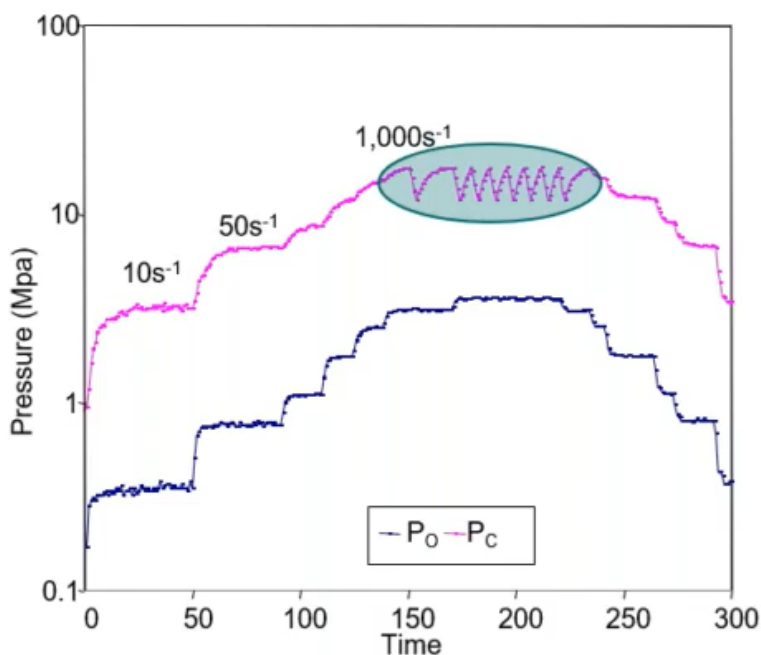
Pomiar naprężenia krytycznego na krzywej płynięcia LLDPE (źródło)

Na rysunku powyżej widać jak taki pomiar wygląda. Na podstawie otrzymanej z reometru kapilarnego krzywej płynięcia możemy (metodą wykreślenia stycznych) wyznaczyć wartości naprężenia ścinającego w punktach  $T_{c1}$  i  $T_{c2}$ . Punkty te odpowiadają progom naprężenia, dla których zaczynają zachodzić zjawiska poślizgu ( $T_{c1}$ ) i zjawiska lepkosprężyste ( $T_{c2}$ ). Odległość między tymi punktami i współrzędne punktów są różne dla różnych tworzyw, ale niezależne od:

- temperatury pomiaru,
- rozkładu masy cząsteczkowej,
- średniej masy cząsteczkowej.

Co oznacza, że możemy taki pomiar wykonać tylko raz dla danego tworzywa. Nie musimy badać każdej partii.

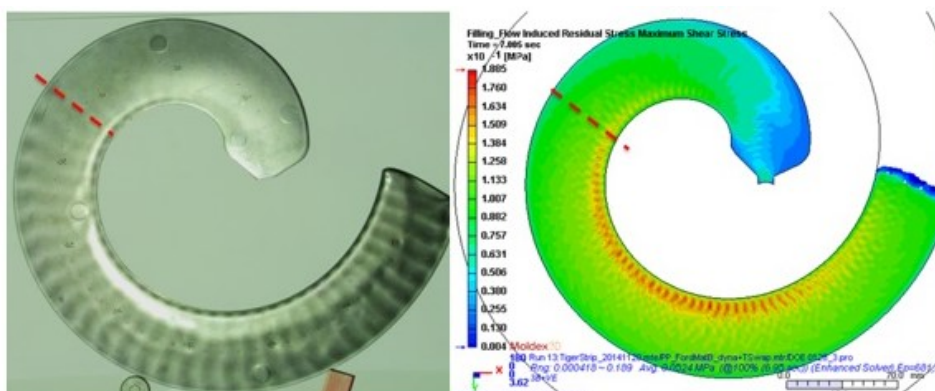
Na wykresie powyżej umieszczono też zdjęcia wytłoczyny (w tym przypadku pręcika z kapilary) i oscylującą krzywą ciśnienia na tłoku reometru. Tego typu oscylacje możemy zobaczyć też na wykresie ciśnienia wtrysku.



Oscylacja ciśnienia na reometrze kapilarnym przy niestabilnym przepływie  
(źródło)

## Kurczaki i ziemniaki

Mamy “kurczaki” (wartość krytycznego naprężenia ścinającego z reometru) i mamy “ziemniaki” (rozkład naprężenia ścinającego z symulacji wtryskiwania). To są fakty. Teraz tylko trzeba je połączyć. 😊



Przykład przewidywania niestabilności przepływu w [Moldex3D](#)

Jak widać na załączonym obrazku można pośrednio, symulując rozkład naprężenia ścinającego, przewidzieć występowanie tygryskich pasów, a potem starać się jeszcze na etapie projektowania wypraski i formy ten problem wyeliminować, albo... dać ustawiaczowi magiczną różdżkę, żeby ganiał po hali magiczne zwierzęta 😊



# diagram

**diagnozy wady wypraski  
w systemie CAE  
i sposoby jej usunięcia**

**POBIERAM**