

GABRIEL FILIPCZAK

Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

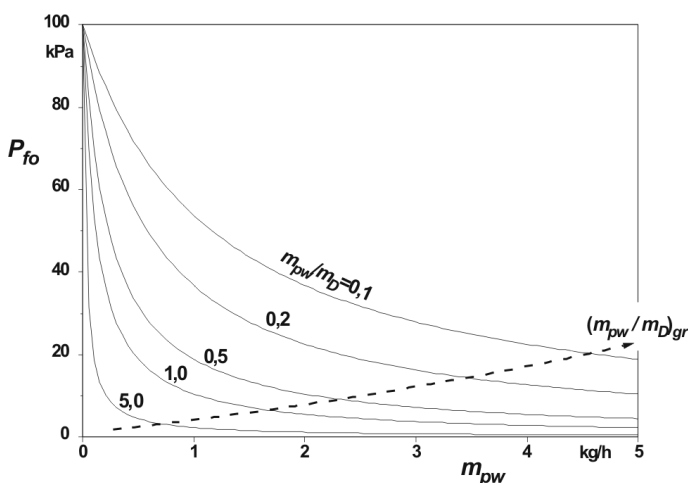
Wnikanie ciepła z warstewki smoły w przepływie dwufazowym z parą wodną

Wprowadzenie

Wspomaganie procesu odparowania smoły udziałem w układzie pary wodnej, jako czynnika pośredniczącego, jest jednym z korzystniejszych sposobów prowadzenia tego procesu, wykorzystywanym zarówno w skali laboratoryjnej jak i przemysłowej. Przyczynia się to bowiem do obniżenia ciśnienia cząstkowego pozostałych składników układu, co prowadzi do obniżenia, często w znacznym stopniu, temperatury przemiany fazowej cieczy w parę (Rys. 1). Ma to jeszcze tę zaletę, że para wodna spełnia w takim przypadku rolę dodatkowego nośnika ciepła, a ponadto – co jest szczególnie dogodnym w procesach termicznego rozdziału smół – z oddestylowanymi olejami smołowymi tworzy w stanie ciekłym łatwe do rozdzielania, np. przez dekantacje, układy niejednorodnej cieczy-ciecz.

Niestety, pomimo wykazywanych korzyści wynikających z rozdziału w obecności pary wodnej smół i ich pochodnych, w literaturze rzadko można spotkać prace zawierające omówienie tego sposobu prowadzenia procesu [1]. Ogólnie powoduje to, że w stanie wiedzy dotyczącej oceny ilościowej procesu odparowania smoły w obecności pary wodnej występują duże luki, co przy jednoczesnym braku znaczącego postępu w zakresie opracowania utylitarnych sposobów prowadzenia tego procesu w sposób ciągły powoduje, że odparowanie smoły w obecności pary wodnej nie znajduje wciąż adekwatnego do zalet zastosowania w technologii przerobu smół.

W niniejszej pracy wskazano na warunki procesowe wynikające z odparowania smoły w przepływie z parą wodną. Dokonano oceny wpływu parametrów cieplno-przepływowych na warunki wnikania ciepła, zarówno w zakresie odwadniania smoły jak i odparowania z niej frakcji olejowych. Wyniki badań i obliczeń odniesiono do pierścieniowego (warstewkowego) przepływu dwufazowego smoła-para wodna.



Rys. 1. Zmiana prężności par smoły (P_{fo}) w zależności od rozchodu pary wodnej względem destylatu (m_{pw}/m_D), $P = 10^5$ Pa

Interpretacja i ocena parametrów procesowych

Sposób wyznaczania współczynnika wnikania ciepła oparto na założeniu, że w zakresie odparowania konwekcyjnego, z jakim ma się na ogół do czynienia w przepływie pierścieniowym, charakter wymiany ciepła jest zdeterminowany przez opór cieplny w warstwie cieczy. Umożliwia to określenie związku pomiędzy współczynnikami wnikania ciepła odpowiednio w przepływie dwufazowym (α_{2F}) i w samej tylko cieczy (α_{Lk}), gdyby płynęła ona samodzielnie kanałem w tej samej ilości, co przy tym przepływie. Dla układu ciecz-para tej cieczy związek ten ujmuje się zazwyczaj za pomocą relacji

$$\frac{\alpha_{2F}}{\alpha_{Lk}} = f(\Psi_{2F}) \quad (1)$$

której szczegółowa postać, a ściślej postać funkcji $f(\Psi_{2F})$, wynika z przyjętej procedury modelowania procesu. Przyjmując dla obu występujących w powyższym związku współczynników identyczność wszystkich parametrów przepływu (przy tej samej średnicy rury D), dla pierścieniowej formy przepływu o średniej grubości warstewki cieczy $\bar{\delta}_{TL}$ można zapisać [2, 3], że

$$\frac{\alpha_{2F}}{\alpha_{Lk}} = \frac{D}{4\bar{\delta}_{TL}} \quad (2)$$

Powiązanie oporu cieplnego w warstewce cieczy ($\bar{\delta}_{TL}/\lambda_L$) z warunkami wyrażonymi wzorami (1) i (2), prowadzi dla odparowania smoły do związku [1]

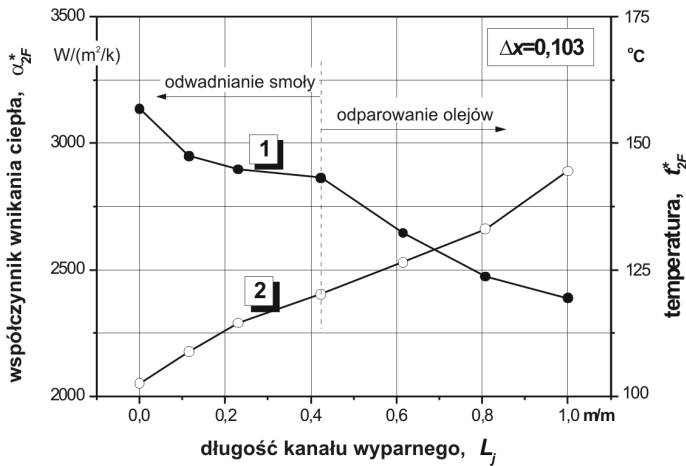
$$\alpha_L = \alpha_{L-2F} = \frac{4\lambda_L}{D} \Psi_{2F}^* \quad (3)$$

przy

$$\Psi_{2F}^* = f\left(\frac{\alpha_{2F}}{\alpha_{Lk}}\right) \quad (4)$$

Tak określony współczynnik wnikania ciepła ($\alpha_L = \alpha_{L-2F}$) ujmuje, za pośrednictwem parametru Ψ_{2F}^* , wszystkie charakterystyczne dla odparowania smoły w przepływie z parą wodną zjawiska (w tym związane z ruchem masy), poprzez powiązanie wartości tego parametru z charakterystycznym dla takiego procesu uogólnionym współczynnikiem wnikania ciepła α_{2F}^* .

Uwzględniając specyficzne dla odparowania w przepływie z parą wodną warunki, wynikające z jednej strony z heteroazeotropowych cech układu smoła-woda, a z drugiej – z silnie zmiennych warunków wymiany ciepła w zakresie odwadniania smoły surowej oraz odparowania z niej frakcji olejowych (rys. 2), na podstawie rachunku wyrównawczego przyjęto



Rys. 2. Przebieg procesu odparowania smoly koksowniczej ($q = 45,8 \text{ kW/m}^2$); 1 - współczynnik wnikańia ciepła, 2 - temperatura

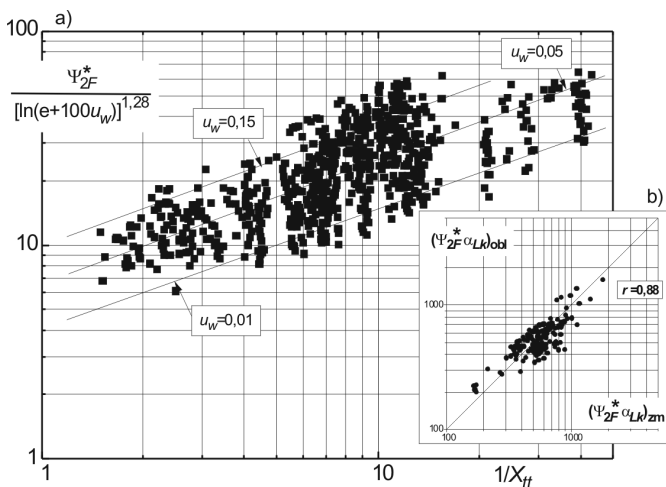
$$\Psi_{2F}^* = A \left(\frac{1}{X_{tt}} \right)^a \left[\ln \left(e + \frac{\Delta u_w}{\Delta L_j} \right) \right]^b \quad (5)$$

Szczegółowa postać tego ostatniego równania uzależniona jest od rodzaju smoly, stopnia jej zawodnienia (u_w), a ściślej jego zmiany wzdłuż kanału wyparnego ($\Delta u_w/\Delta L_j$), oraz charakterystycznego dla strugi dwufazowej gaz-ciecz parametru Lockharta-Marinellogo (X_{tt}). Na przykład, dla smoly koksowniczej:

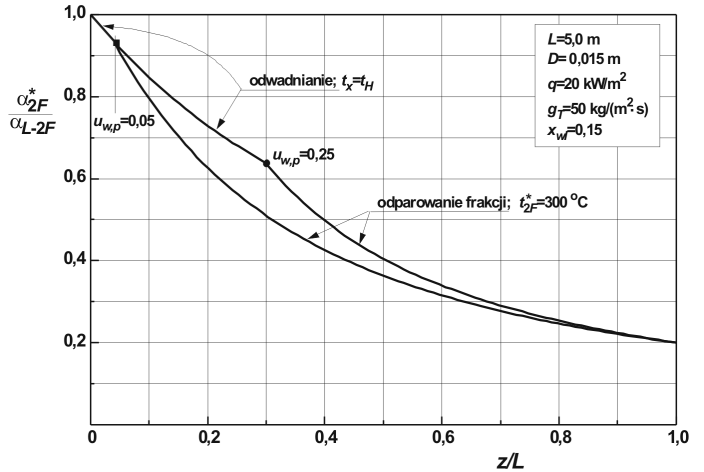
$$\Psi_{2F}^* = 2,82 \left(\frac{1}{X_{tt}} \right)^{0,56} \left[\ln(e + 100u_w) \right]^{1,28} \quad (6)$$

Wyniki obliczeń porównawczych dla tego przykładu przedstawiono na rys. 3, na którym, celem ukazania wpływu stopnia zawodnienia na wartość ocenianej funkcji korelacyjnej, podano również jej przebieg.

Z kolei na rys. 4, także dla smoly koksowniczej, przedstawiono wyniki obliczeń opisujące warunki wymiany ciepła, za-



Rys. 3. Ocena wartości funkcji korelacyjnej dla smoly koksowniczej: a) współzależność parametrów procesowych; b) obliczenia porównawcze



Rys. 4. Zmiana warunków wymiany ciepła przy odwadnianiu i odparowaniu smoly koksowniczej

równy w odniesieniu do odwadniania jak i odparowania ze smoly frakcji olejowych. W obu przypadkach, a potwierdzają to wyniki badań przedstawione na rys. 2, w zakresie tych warunków stwierdza się wyraźne zmniejszenie wartości współczynnika wnikańia ciepła w odniesieniu do jego wartości, jaka wynika z oporu cieplnego w samej tylko warstewce cieczy. Z obliczeń wynika przy tym, że już w zakresie odwadniania smoly, a więc przy udziale w tej warstewce dwu faz ciekłych, obniżenie efektywności wymiany ciepła jest dość znaczące, a tzw. efekt tłumienia współczynnika wnikańia ciepła jest jeszcze bardziej widoczny w zakresie odparowania olejów smołowych. Wskazuje to na potrzebę wyraźnego odróżnienia w praktycznych obliczeniach wartości lokalnej współczynnika wnikańia ciepła od jego średniej wartości, przynajmniej rozgraniczając od siebie etapy odwadniania smoly i głębszego jej rozdziału.

Podsumowanie

Dokonana ocena wpływu parametrów cieplno-przepływowych na warunki wnikańia ciepła w przepływie pierścieniowym smola-para wodna wskazuje, że w opisie tych warunków konieczne jest rozdzielanie charakterystycznych dla technologii przerobu smół etapów odwadniania i głębszego ich rozdziału (odparowanie frakcji olejowych). W obu przypadkach warunki wnikańia ciepła mogą być opisane stosunkowo łatwym do stosowania modelem, uwzględniającym w swym opisie także warunki wynikające z jednego tylko cyklu procesowo-przepływowego (odwadnianie z jednoczesnym odparowaniem olejów).

LITERATURA

1. G. Filipczak: Teoretyczna i eksperymentalna ocena odparowania smoly w przepływie dwufazowym z parą wodną, Studia i Monografie z. 206, Politechnika Opolska (2007).
2. J.G. Collier, J.R. Thome: Convective boiling and condensation, Clarendon Press, Oxford, 1994.
3. L. Troniewski: Aparaty z hydraulicznie wytwarzanym filmem cieczy, ZN WSI w Opolu, Studia i Monografie z. 14, Opole (1989).