

RZECZYWISTY UKŁAD SIŁ DZIAŁAJĄCYCH U PODSTAWY PĘCHERZYKA PAROWEGO

BOGUMIŁ BIENIASZ (RZESZÓW)

1. Oznaczenia

a stała w równaniu Van der Waalsa,

b jak wyżej,

B_1 współczynnik wirialny w termicznym równaniu stanu gazu Van der Waalsa,

T temperatura,

T_s temperatura nasycenia,

β średni kąt przylegania,

δ_s napięcie powierzchniowe na granicy fazy ciekłej i gazowej substancji wrzącej w temperaturze T_s ,

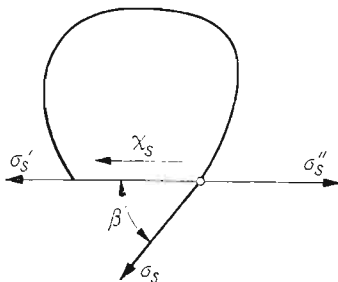
δ'_s napięcie powierzchniowe na granicy cieczy wyżej wrzącej i niżej wrzącej w temperaturze T_s ,

δ''_s napięcie powierzchniowe na granicy cieczy wyżej wrzącej i pary cieczy niżej wrzącej w temperaturze T_s ,

κ_s naprężenie zwilżające w temperaturze T_s .

2. Sformułowanie problemu

W pracy zajęto się układem sił działających u podstawy pęcherzyka parowego w czasie nasyczonego wrzenia w zbiorniku cieczy niżej wrzącej na powierzchni cieczy wyżej wrzącej. Rysunek 1 przedstawia pęcherzyk parowy w momencie wzrostu przy powierzchni grzejnej



Rys. 1

z zaznaczeniem sił działających na jednostkę długości obwodu styku trzech faz. Prócz napięć powierzchniowych σ_s , σ'_s , σ''_s w grę wchodzi jeszcze naprężenie zwilżające κ_s .

Pojęcie naprężenia zwilżającego występuje po raz pierwszy u RUCKENSTEINA [1], który posłużył się nim celem wyjaśnienia ruchu cienkiej warstwy cieczy przy powierzchni grzejnej pod kolumnami pary, które tworzą się przy dużych strumieniach ciepłych. Ruch ten ma miejsce dzięki naprężeniom stycznym wywołanym działaniem międzycząsteczkowych sił

zwilżania powierzchniowego w warunkach istnienia «suchego» miejsca na powierzchni grzejnej pod kolumną pary. Jakkolwiek geometria wrzenia pęcherzykowego odbiega od geometrii wrzenia przy występowaniu kolumn pary, to z punktu widzenia działania sił międzycząsteczkowych przypadek jest analogiczny, co pozwala na użycie pojęcia naprężenia zwilżającego i w tym przypadku. Przyjmując, że naprężenie zwilżające działa w kierunku i ze zwrotem jak na rysunku otrzymuje się

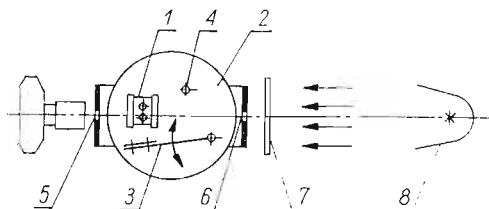
$$(1) \quad \chi_s = \sigma'_s - \sigma'_s - \sigma_s \cos \beta.$$

W poprzedniej pracy [2] autor wyznaczył przybliżone wartości χ dla cykloheksanu, n-heksanu, 1-ehloroku butylu i cis-2-pentenu wrzących na wodnym roztworze CaCl_2 o gęstości 1390 kg/m^3 w temperaturze 20°C oraz dla n-pentanu wrzącego na wodzie destylowanej. Obliczenia przeprowadzono w oparciu o wartości σ , σ' i σ'' w temperaturze 20°C , podczas gdy kąty przylegania dotyczyły konkretnych przypadków wrzenia. Otrzymane w ten sposób wyniki poddano w obecnej pracy weryfikacji, wyznaczając doświadczalnie wartości σ oraz σ'_s . Wartości σ_s oraz β wzięto z pracy [2], gdzie między innymi zamieszczono opis instalacji do realizacji wrzenia jak również opisano pomiary kątów przylegania.

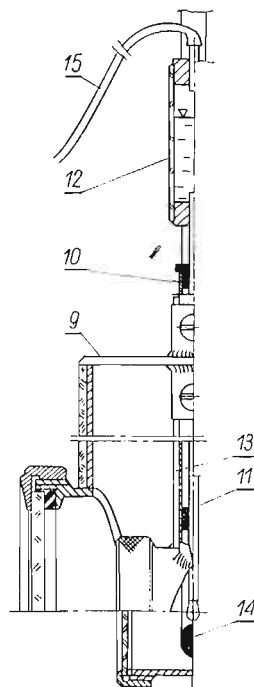
3. Przebieg i wyniki pomiarów napięć powierzchniowych

Celem określenia σ'_s i σ'_s wyznaczono doświadczalnie korelacje $\sigma'(T)$ i $\sigma''(T)$, stosując metodę zwisającej kropli i procedurę opisaną w [2]. W skład układu pomiarowego wchodził zbiorniczek pomiarowy 1 (rys. 2) umieszczony w cieczy naczynia termostatowego 2 z grzejnikiem, mieszałem 3 i termometrem 4. Obraz wiszącej kropli fotografowano przez otwory wziernikowe 5 i 6 na tle matowej szyby 7, podświetlonej prostopadłą wiązką światła z lampy paraboloidalnej 8. Użyto aparatu fotograficznego Zenit 3M z pierścieniami dystansowymi.

Niektóre szczegóły zbiorniczka pomiarowego przedstawiono na rys. 3. Zbiorniczek o kształcie poziomego cylindryka był zawieszony u pokrywy 9 za pośrednictwem wlotowanej doń rurki 10 i wkrętów dociskowych. Rurka ta służyła jednocześnie do wprowadzenia do zbiorniczka rurki kapilarnej 11 o średnicy $2,56 \text{ mm}$, która swym górnym końcem wchodziła do zasobnika 12 cieczy wyżej wrzącej. Celem przeprowadzenia pomiarów σ' , zbiorniczek pomiarowy był napełniany za pomocą drugiej rurki 13 cieczą niżej wrzącą kilka milimetrów



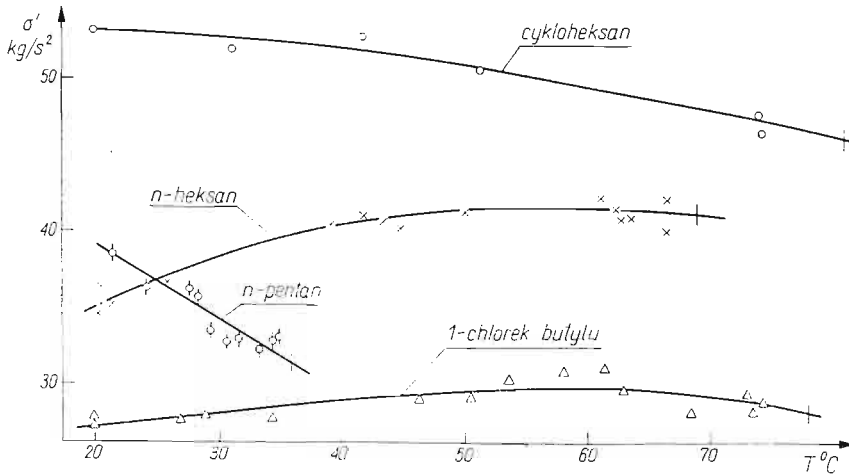
Rys. 2



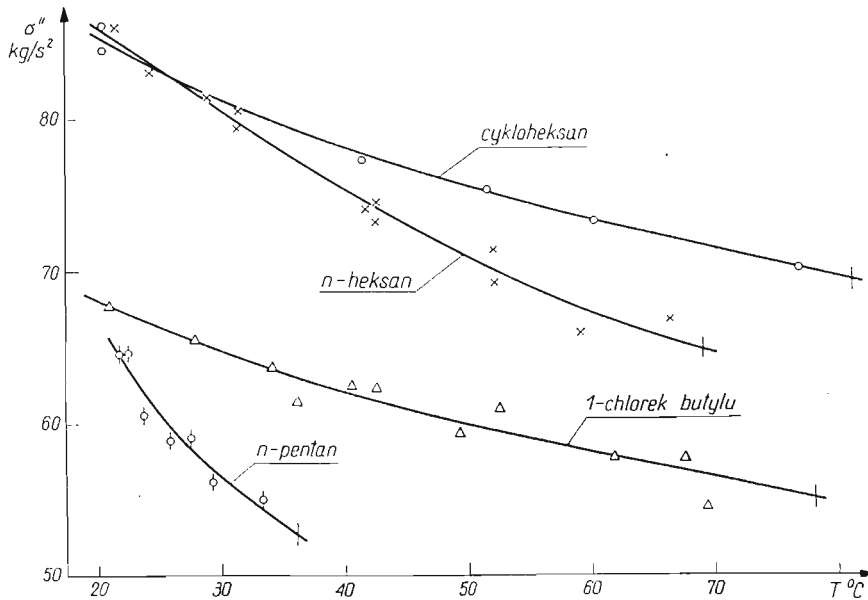
Rys. 3

powyżej dolnego końca kapilary. W czasie pomiarów σ'' ciecz niżej wrząca wypełniała jedynie część przydenną zbiorniczka pomiarowego. Rurka 13 służyła też do umieszczenia termometru 14 w zbiorniczku pomiarowym.

Zdjęcia kropli wykonywano po ustaleniu się temperatury odczytywanej za pomocą termometru 14 oraz po osiągnięciu przez kroplę kształtu umożliwiającego wykorzystanie zdjęcia we wspomnianej metodzie. Szybkość tworzenia się kropli regulowano za pomocą zacisku na gumowej rurce 15. Czas tworzenia się kropli wynosił około 1 min.

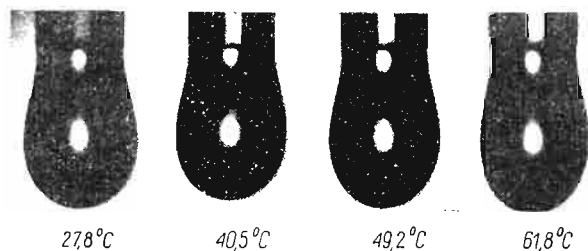


Rys. 4

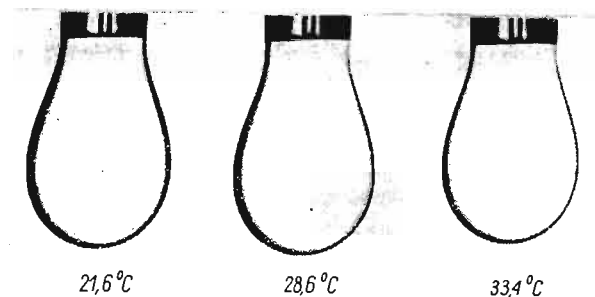


Rys. 5

Rysunek 4 przedstawia wyniki pomiarów $\sigma'(T)$ rys. 5 zaś wyniki pomiarów $\sigma''(T)$. Wartości dla temperatury nasycenia otrzymano przez ekstrapolację. Dla cis-2-pentenu obliczono σ'_s i σ''_s na podstawie σ' i σ'' przy temperaturze 20°C (por. [2]) przy założeniu $d\sigma'/dT$ oraz $d\sigma''/dT$ jak dla n-pentanu. Dla ilustracji przeprowadzonych pomiarów na rys. 6 zestawiono kilka zdjęć przedstawiających krople roztworu CaCl₂ zwisające u końca kapilary w powietrzu nasyconym parą 1-chloroku butylu, na rys. 7 zaś krople wody destylowanej w n-pentanie przy różnych temperaturach.



Rys. 6



Rys. 7

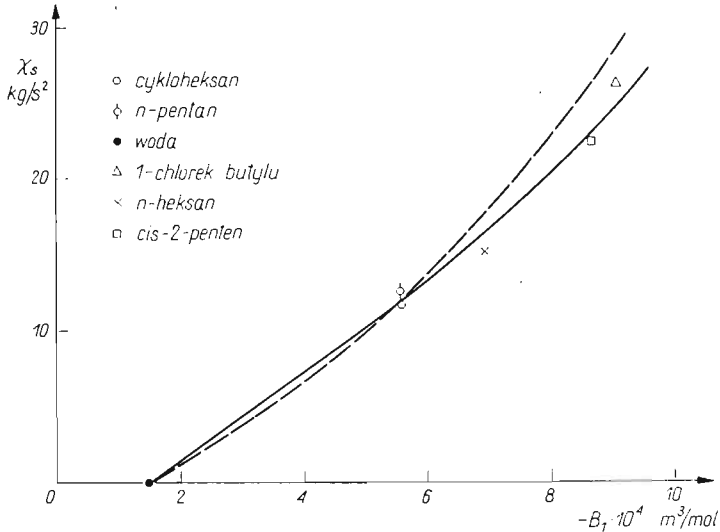
4. Korelacja naprężenia zwilżającego

Naprężenie zwilżające, związane z siłami międzycząsteczkowymi, jest wspólną własnością cieczy wrzącej i substancji powierzchni grzejnej. Dla doświadczeń z tą samą powierzchnią grzejną wartość χ_s musi zależeć od własności samej cieczy wrzącej i dlatego w tym przypadku musi istnieć zależność χ_s od pewnych własności fizycznych cieczy. Ponieważ natura sił międzycząsteczkowych jest reprezentowana przez współczynnik wirialny w równaniu stanu, może on być wzięty jako miara. Dlatego na próbę sporządzono korelację na-

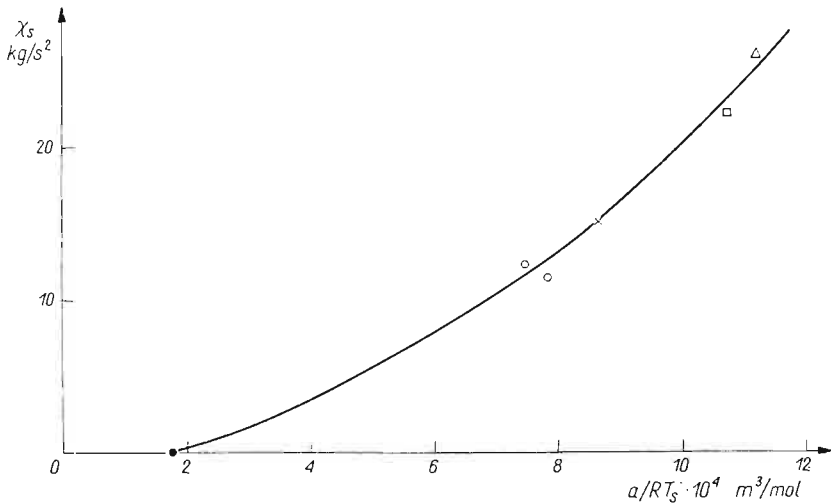
prężenia zwilżającego w stosunku do współczynnika wirialnego $B_1(T)$ z najprostszego przypadku równania Van der Waalsa, przy czym

$$(2) \quad B_1 = b - \frac{a}{RT_s}$$

Korelacja ta jest przedstawiona na rys. 8. Linia kreskowana reprezentuje wyniki otrzymane przy użyciu wartości napięć powierzchniowych dla 20°C (por. [2]). Na rys. 9 przedstawiono



Rys. 8



Rys. 9

zależność χ_s od $a/(RT_s)$. W obu przypadkach założono, że χ_s zanika dla zwilżania substancji przez samą siebie, tak że dla wody na wodzie $\chi_s = 0$. Pozostaje jeszcze otwarta kwestia jaką jest zależność naprężenia zwilżającego od B_1 dla cieczy wrzącej i B_1 dla powierzchni grzejnej.

Literatura cytowana w tekście

1. E. RUCKENSTEIN, *Remarks on nucleate boiling heat transfer from a horizontal surface*, Int. J. Heat and Mass Transfer, 3, 9 (1966).
2. B. BIENIASZ, *Napężenie zwilżające działające na pęcherzyk parowy w czasie wrzenia*, Mech. Teoret. i Stos. 4, 9 (1971).

Резюме

ДЕЙСТВИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА СИЛ ДЕЙСТВУЮЩИХ
НА ОСНОВАНИЕ ПАРОВОГО ПУЗЫРКА

В работе проверена модель сил, действующих на основание парового пузырька во время насыщенного кипения в сосуде. Обнаружено, что в силовом балансе следует учитывать так называемое увлажняющее напряжение. Для пяти жидкостей, кипящих на жидкой нагревающей поверхности, измерены значения увлажняющих напряжений. Установлена зависимость между увлажняющим напряжением и первым вириальным коэффициентом.

Summary

ACTUAL SYSTEM OF FORCES ACTING AT THE BASE OF A VAPOUR BUBBLE

The paper presents a verification of a certain model of forces acting on the base of vapour bubble in saturated pool boiling. It is established that the so-called wetting tension must be taken into account in the balance of forces acting on the bubble. The values of the wetting forces are measured for five liquids boiling on the heating surface. The relationship between the wetting tension and the virial coefficient is established.

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA, RZESZÓW

Praca została złożona w Redakcji dnia 20 listopada 1972 r.
