

JANUSZ T. CIEŚLIŃSKI:

MODELOWANIE WRZENIA PĘCHERZYKOWEGO

Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2005.

Stron 148, rysunków 83, bibliografia: 239 pozycji.

Proces wrzenia, z uwagi na dużą intensywność odbierania ciepła, jest chętnie wykorzystywany w wielu gałęziach techniki, w tym powszechnie w parowych urządzeniach chłodniczych. Jednocześnie, niezwykła złożoność i niepowtarzalność towarzyszących mu zjawisk niweczy podejmowane do tej pory próby sformułowania ogólnego modelu wrzenia, a w konsekwencji utrudnia, a wręcz uniemożliwia oszacowanie wartości tak istotnych wielkości fizycznych, jak współczynnik przejmowania ciepła, czy krytyczna gęstość strumienia ciepła dla zadanych warunków procesu. Dlatego obecnie, z jednej strony wykonuje się eksperymenty zmierzające do opisu wrzenia w konkretnych aparatach i urządzeniach, a z drugiej prowadzi się teoretyczne i praktyczne badania podstawowe, mające na celu identyfikację i modelowanie mechanizmów przenoszenia ciepła w poszczególnych przypadkach i zakresach parametrów.

Prezentowana publikacja traktuje o modelowaniu nasyconego wrzenia pęcherzykowego w dużej objętości, na powierzchniach technicznie gładkich. Uwzględniła zatem przypadki przekazywania ciepła w objętości na tyle dużej, że pomijalny jest wpływ ścianek zbiornika na proces, któremu towarzyszy powstawanie pęcherzyków parowych w cieczy posiadającej przy najmniej temperaturę nasycenia. Na tle ugruntowanej wiedzy Autor prezentuje najnowsze hipotezy, modele i metody badawcze w tej dziedzinie.

Treść monografii podzielono na cztery rozdziały. W pierwszym z nich Autor zestawia podstawowe pojęcia, nakreślając zakres tematyczny swojej pracy. Centralne miejsce zajmują tu struktury tworzone przez powstające podczas wrzenia pęcherzyki pary. Uważa się powszechnie, że owe struktury parowe determinują mechanizmy przenoszenia ciepła podczas wrzenia i z tego względu na ich systematyce opiera się większość uznanych obecnie modeli tego procesu. Następnie, posiłkując się krzywą wrzenia, czyli zależnością gęstości strumienia ciepła od przegrzania ścianki grzejnej ponad temperaturę nasycenia cieczy, Autor charakteryzuje poszczególne reżimy wrzenia, w tym szczególnie zakresy wrzenia pęcherzykowego – począwszy od strefy pojedynczych centrów nukleacji, przez obszary kolumn i grzybów parowych, aż po pierwszy kryzys wrzenia, grożący w określonych warunkach nawet zniszczeniem powierzchni grzejnej. W rozdziale drugim omówiono zagadnienia związane z dynamiką pęcherzyków parowych. Warunkiem powstania pęcherzyka jest aktywacja zarodka parowego w postaci zagłębienia na powierzchni grzejnej, w którym uwięziony jest gaz. Pokazano, jaki jest wpływ geometrii, zwilżalności i defektów powierzchni na powstanie zarodków, wyjaśniono konieczność istnienia przegrzania cieczy w sąsiedztwie generującego się pęcherzyka oraz przedstawiono wybrane modele aktywacji zarodków parowych. Następnie scharakteryzowano cykl nukleacji, na który składa się czas jałowy, okres wzrostu i oderwanie pęcherzyka. Przedyskutowano czynniki wpływające na czas wzrostu i średnicę oderwania, prezentując wybrane modele, opisujące także częstotliwość powstawania pęcherzyków z pojedynczego zarodka oraz prędkość ich wznoszenia. Zwrócono uwagę na deformowanie się pęcherzyków w tej ostatniej fazie.

Dalsza część rozdziału drugiego rozszerza tą problematykę na wiele sąsiadujących i wzajemnie oddziałujących centrów nukleacji. Prezentuje zagadnienia związane z określeniem gęstości występowania centrów nukleacji, gdyż ilość tych centrów na jednostce powierzchni jest jednym z podstawowych parametrów w modelowaniu procesu wrzenia. Zwrócono uwagę, że w miarę wzrostu przegrzania powierzchni, na której zachodzi wrzenie, dochodzi do aktywacji zarodków o coraz mniejszej średnicy, dzięki czemu rośnie ich ilość; jednocześnie maleje czas jałowy, wpływając na zwiększenie częstotliwości odrywania się pęcherzyków. Zjawiska te stopniowo prowadzą do łączenia się sąsiadujących pęcherzyków, czyli koalescencji – zarówno pionowej, poziomej, jak i skośnej.

Najobszerniejszą część publikacji stanowi rozdział trzeci, opisujący mechanizmy przekazywania ciepła podczas wrzenia pęcherzykowego i modele tego zjawiska. Autor wskazuje, że całkowity strumień ciepła jest rezulta-

tem działania kilku, działających jednocześnie mechanizmów, takich jak: mieszanie cieczy przez pęcherzyki, przenoszenie ciepła w śladzie unoszących się pęcherzyków, wzmoczona konwekcja w pobliżu pęcherzyka, konwekcja Marangoniego, nieustalone przewodzenie ciepła, czy parowanie na granicy faz. Znaczenie poszczególnych mechanizmów zależy od parametrów procesu, w tym od przegrzania powierzchni i jej geometrii. Szczegółowo przedstawia wybrane modele poszczególnych zakresów wrzenia pęcherzykowego, zbudowane w oparciu o wspomniane mechanizmy przekazywania ciepła. Pośród najważniejszych opisów wrzenia w zakresie pojedynczych centrów nukleacji swoje miejsce znalazł model Madejskiego, uwzględniający parowanie cieczy do pęcherzyka, przewodzenie ciepła w cieczy oraz jej mieszanie przez wznoszące się pęcherzyki.

Dopełnienie treści rozdziału trzeciego stanowi omówienie nielicznych modeli nie opartych na systematyce struktur parowych, usiłujących za to uwzględnić nieliniowy i nieustalony charakter wrzenia pęcherzykowego. Autor zauważa, że różnorodność zaprezentowanych opisów, a zarazem brak jednego, ogólnego modelu wrzenia wynika z niezwyklego skomplikowania zjawiska; z tego, że ma ono zarazem charakter deterministyczny, czyli da się opisać klasycznymi równaniami zachowania masy, pędu i energii, a jednocześnie wykazuje charakter stochastyczny, nie dając pewności, czy i kiedy wystąpi generacja, zanik lub koalescencja pęcherzyków. Rozdział ten Autor kończy stwierdzeniem, że do lepszego poznania procesu wrzenia przyczyni się zarówno rozwój technik pomiarowych, jak i odgrywających coraz większą rolę technik numerycznych.

Przejęciu od wrzenia pęcherzykowego do wrzenia błonowego w warunkach stałej gęstości strumienia ciepła towarzyszy nagły wzrost przegrzania powierzchni grzejnej, który może doprowadzić nawet do jej zniszczenia. Zjawisku temu, noszącemu nazwę pierwszego kryzysu wrzenia, poświęcono ostatni, czwarty rozdział omawianej monografii. Umiejętność określenia krytycznej gęstości strumienia ciepła ma doniosłe znaczenie praktyczne, toteż zagadnieniu temu poświęcono wiele badań. Brakuje jednak wyczerpującego opisu kryzysu wrzenia. Autor przedstawia więc hipotezy tego zjawiska, upatrujące przyczyn kryzysu w utracie stabilności powierzchni rozdziału faz, rozprzestrzenianiu się suchych plam, bądź propagacji fali temperatury, towarzyszącej rozprzestrzenianiu się błony parowej. Konkluduje, że przydatność tych hipotez zależy od zwilżalności powierzchni przez ciecz oraz że krytyczna gęstość strumienia ciepła jest funkcją gęstości centrów nukleacji.

Monografia w skondensowanej formie przedstawia szczegółowo modele wrzenia pęcherzykowego w objętości, wraz z ich opisem matematycznym. Czytelnik zainteresowany tą tematyką zyskuje możliwość pogłębienia i uszczegółowienia swojej wiedzy. Książkę należy także polecić osobom chcącym dopiero zapoznać się z problemami modelowania wrzenia pęcherzykowego, gdyż Autor za każdym razem w sposób przejrzysty precyzuje przyjęte założenia i wynikające z nich zależności pomiędzy poszczególnymi wielkościami fizycznymi, kończąc każdy rozdział krótkim podsumowaniem. W odbiorze treści pomaga również staranny dobór ilustracji.

Niezwykle cenną zaletą publikacji jest jej aktualność. Pośród 239 pozycji bibliograficznych Autor, sam zajmujący się badaniami procesu wrzenia, umieścił zarówno najważniejsze pozycje z dorobku tej dziedziny wiedzy, jak i najnowsze publikacje z renomowanych czasopism i konferencji naukowych.

Waldemar TARGAŃSKI

