

Jan Madejski

Warszawa

ROLA PRZEGRZANIA CIAŁA STAŁEGO W PROCESACH TOPNIENIA

W pracy rozpatrzono zagadnienie wpływu przegrzania ciała stałego ponad temperaturę równowagową na szybkość topnienia ciała stałego. Zaproponowano metodę umożliwiającą pośrednie określenie stopnia przegrzania opartą o pomiar opóźnień procesu topnienia w miejscach gdzie wartość współczynnika przewodzenia ciepła jest mała.

Problem tutaj przedstawiony może wystąpić w różnych dziedzinach, jednak w zasadzie zajęto się elementami akumulującymi w urządzeniach magazynowania energii wewnętrznej, czyli w swego rodzaju regeneratorach. Elementy te podlegają zmianom fazowym, a substancja robocza, np. parafina, na przemian to krzepnie, to topnieje. Substancja ta zamknięta jest w zbiornikach cienkościennych, których ścianki określamy w skrócie jako koszulkę przez analogię do elementów paliwowych reaktorów jądrowych.

Substancja robocza doznaje zmian gęstości, która zmienia się skokowo podczas zmian fazowych, przy czym przeważnie gęstość fazy stałej jest większa od gęstości fazy ciekłej.

Ogólną cechą dynamiki zmian fazowych jest występowanie stanów nierównowagowych, zwykle nietrwałych. Tak więc w przypadkach kondensacji lub krzepnięcia, alias krystalizacji, mamy do czynienia z przechłodzeniem lub przesyceciem, a w przypadkach wrzenia lub topnienia pojawi się przegrzanie stałej fazy.

W warunkach powstawania systemu dwufazowego, złożonego z cieczy i ciała stałego, problem krzepnięcia był badany przez pomiar liniowej prędkości krystalizacji w zależności od przechłodzenia. Otrzymane linie wykazywały maksimum, ostre dla pewnych substancji, a rozległe dla innych.

Dla zjawiska odwrotnego, tj. topnienia, analogicznych zależności nie można było ustalić z powodu trudności natury pomiarowej, chodzi tu bowiem o pomiar przegrzania ciała stałego, którego nie udaje się zmierzyć bezpośrednio (vide:

M. Volmer: Kinetik der Phasenbildung. Steinkopff, 1939). Przedstawiona tu teoria umożliwia pośredni pomiar tej wielkości.

Zwykle przyjmowany model mechanizmu topnienia przy ogrzewaniu substancji roboczej za pośrednictwem ścianki koszulki jest taki, że z chwilą, gdy temperatura na wewnętrznej powierzchni ścianki osiągnie wartość temperatury topnienia, tj. temperatury równowagi faz ciekłej i stałej, ciało stałe zaczyna topnieć. Oznacza to – jeśli posłużyć się ogólną teorią zmian fazowych – że na wspomnianej powierzchni są aktywne zarodki nowej fazy, tj. cieczy.

Możliwość przegrzania wskazuje, że na początku ogrzewania zarodki owe muszą dopiero powstać, co powoduje opóźnienie procesu topnienia, zamiast którego w warstwie ciała stałego, stykającej się ze ścianką, zaobserwuje się wzrost temperatury ponad równowagową temperaturę topnienia. Proces ten będzie trwał aż do chwili, w której na powierzchni styku zostanie osiągnięta pewna charakterystyczna wartość przegrzania i pojawi się ciecz o pewnej temperaturze równowagi lokalnej. Stwierdzenie tego faktu może być podstawą do oszacowania wartości wymienionej temperatury, zbliżonej zapewne do temperatury równowagowej topnienia. W analizie wykonanej w przygotowanej do druku w Archives of Thermodynamics pracy pt. „The role of superheat of solid in processes of melting” przyjęto, że owa temperatura równa się temperaturze równowagowej topnienia.

Z powyższego wywodu wynika, że omawiane zjawisko zależy od strumienia doprowadzonego ciepła, a więc od lokalnego współczynnika przejmowania ciepła na powierzchni koszulki. Skądinąd niemożliwe jest zrealizowanie takiego zjawiska, w którym współczynnik przejmowania ciepła miałby tę samą wartość na całej powierzchni koszulki. Innymi słowy, na powierzchni koszulki istnieje zawsze pewien rozkład współczynnika przejmowania ciepła a to powoduje, że w miejscach, gdzie ten współczynnik jest duży, topnienie zacznie się wcześniej niż tam, gdzie jego wartości są małe.

Rozpatrzmy dla przykładu elementy akumulujące w kształcie walca o izolowanych dnach przy ogrzewaniu konwekcyjnym w prądzie krzyżowym. Z powyższych wywodów wynika, że substancja robocza w stanie stałym, która przylegała do tych den, będzie do nich przylegać podczas całego procesu topnienia odbywającego się na obwodzie walca. W ten sposób ciało stałe będzie nieruchome. Natomiast na obwodzie walca powstanie taki rozkład współczynnika przejmowania ciepła, że jego minimum wystąpi w punktach separacji, gdzie będzie największe opóźnienie procesu topnienia. Proces ten zacznie się najwcześniej w przednim punkcie stagnacji, a nieco później w punkcie tylnym.

Innym przykładem może być pionowy element akumulujący ogrzewany w warunkach konwekcji swobodnej. W tym przypadku element ów chłodzi ogrzewający płyn, wobec czego w warstwie przyściennej jest ruch w dół, co daje najwyższe współczynniki przejmowania ciepła na górnym końcu elementu, gdzie opóźnienie topnienia będzie najmniejsze.

Pomiar tych opóźnień w miejscach, gdzie znane są, tj. zmierzone, lokalne współczynniki przejmowania ciepła, stanowi właśnie wspomniany poprzednio sposób pośredniego pomiaru przegrzania ciała stałego.

Aby wyrobić sobie pogląd na wpływ przegrzania, należałoby rozpatrzyć możliwie prosty model, np. model pionowego walca o rozkładzie współczynnika przejmowania ciepła danym przez trzy wartości, pierwszą dla dolnego dna, drugą dla płaszcza, a trzecią dla górnego dna. Zostało to zrobione we wzmiankowanej pracy, gdzie rozpatrzono przede wszystkim przypadek, gdy współczynnik przejmowania ciepła ma największą wartość na dnie dolnym, a najmniejszą na dnie górnym. W ten sposób topnienie zaczyna się najpierw na dole, a ponieważ stopiona ciecz zajmuje w warunkach izobarycznych większą objętość, więc w obszarze stopionym musi wzrosnąć ciśnienie; to zaś powoduje obciążenie dna i ugięcie owej płyty, skutkiem czego objętość cieczy nieco wzrasta, obniżając tym samym ciśnienie, którego wartość można obliczyć znając ściśliwość cieczy i sztywność płyty.

Im cieńsza koszulka, tym niższe będzie ciśnienie. Ponadto wpływ ma kształt dna i warunki brzegowe dla płyty. Rozpatrzono zarówno brzeg swobodnie podparty, jak i utwierdzony, przy czym ten ostatni jest modelem bardziej realistycznym ze względu na fabrykację koszulek. Co do kształtu, to we wzmiankowanej pracy zamieszczono dane dla płyty w kształcie pasma, kwadratu i tarczy okrągłej. Rozpatrzono dna płaskie w stanie nieodkształconym, ale – ogólnie rzecz biorąc – korzystne jest, aby były to elementy sprężynujące, co realizuje się przez odpowiednie pofałdowania.

ROLE OF SOLID OVERHEATING IN MELTING PROCESSES

Summary

The problem of influence of solid overheating over the equilibrium phase change temperature on the rate of solid melting was discussed in the paper. A method enabling indirect determination of the overheating degree was proposed. The method is based on the measurement of a delay in the melting process in sites where value of the heat transfer coefficient is low.

РОЛЬ ПЕРЕГРЕВА ТВЕРДОГО ТЕЛА В ПРОЦЕССАХ ПЛАВЛЕНИЯ

Краткое содержание

В работе рассматривались вопросы влияния перегрева твердого тела свыше равновесной температуры на быстроту плавления твердого тела. Предложен метод, дающий возможность косвенного определения степени перегрева, основанный на измерении замедлений процесса плавления в местах, где величина коэффициента теплоусвоения мала.