

Zdzisław Kiedrzyński

**BADANIA ULTRADŹWIĘKOWE
WPŁYWU ŚRODOWISKA CERAMICZNEGO
LUB WĘGLOWEGO NA STOPIONE METALE
Al, Cu i Zn**

33/1986

P. 269



WARSZAWA 1986

ISSN 0208-5658

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 11 grudnia 1985 r.



56889



Na prawach rękopisu

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 140 egz. Ark.wyd. 1,3 Ark.druk. 2

Oddano do drukarni w lipcu 1986 r.

Nr zamówienia 436/86.

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,
ul. Śniadeckich 8

<http://rcin.org.pl>

Zdzisław Kiedrzyński
Zakład Akustyki Fizycznej

BADANIA ULTRADŹWIĘKOWE WPŁYWU
ŚRODOWISKA CERAMICZNEGO LUB WĘGLOWEGO
NA STOPIONE METALE Al, Cu i Zn

1. Streszczenie

Omówiono ultradźwiękowe badania wpływu środowiska ceramicznego lub węglowego na czyste metale Al, Cu i Zn w warunkach ich topienia.

Opisano w zarysie stosowane dotychczas, w pracach autora, środowiska ochronne próbek oraz sposoby umożliwiające propagację przez nie impulsów ultradźwiękowych.

Podano rozważania teoretyczne odnośnie prowadzonych w pracy badań nad małymi próbkami metali Al, Cu i Zn.

Omówiono zastosowane metody doświadczalne i otrzymane wyniki oraz przedstawiono odpowiednie przykłady zarejestrowanych wykresów topnienia i krzepnięcia tych metali.

Przedstawiono wnioski z przeprowadzonych badań w zestawieniu ich z danymi bibliograficznymi.

Ogólnie można stwierdzić, że otrzymane wyniki pozostają w dobrej zgodności, w zakresie wpływu ośrodków: ceramicznych lub węglowego na badane stopione metale z wyjątkiem nielicznych zastrzeżeń w odniesieniu do niektórych danych bibliograficznych.

2. Wstęp

Znajomość wpływu materiału tygla na topiony metal jest niezbędna dla prawidłowego przeprowadzenia topienia czystych metali metodą tyglową.

Przedstawiona praca opisuje badania przeprowadzone ultradźwiękowo dla spektralnie czystych metali: Al, Cu i Zn, topionych w różnych środowiskach ceramicznych, a także w środowisku węglowym.

Jak wiadomo, niewłaściwy materiał tygla może oddziaływać fizycznie na metal przez rozpuszczanie się w nim lub chemicznie przez reakcję z metalem. Niewłaściwy materiał tygla może zatem występować w odniesieniu do metalu jako składnik stopowy lub nawet jako zbiór składników stopowych.

Zjawiska te dotyczą głównie metali w stanie stopionym, w nieznacznym natomiast stopniu w stanie stałym, przed stopieniem na skutek gorszego zetknięcia, powolniejszej dyfuzji i braku ruchu przepływowego cieczy metalicznej.

Na ogół obserwuje się oddziaływanie większości środowisk tyglowych na większość topionych metali. Tylko w niektórych metalach stykających się z niektórymi, specjalnie dobranymi materiałami tyglowymi oddziaływania się nie pojawiają.

Oddziaływania tak fizyczne jak i chemiczne powodują, że ustalona, określona i właściwa dla określonego czystego metalu temperatura krzepnięcia lub topnienia przestaje być zachowana.

Dla otrzymywania stopów metali potrzebny jest zazwyczaj także tyglowy materiał ochronny. Można przypuszczać, że może być przydatny do tego celu taki materiał tyglowy, który nadaje się dla każdego ze składników stopu z osobna. Można spodziewać się niekiedy, że w przypadkach małych stężeń domieszek stopowych wystarczy zastosować materiał tyglowy, właściwy dla podstawowego składnika. Przypuszczenia powyższe potwierdzić mogą dodatkowe badania, a pośród nich również badania ultradźwiękowe. Przy doborze otoczenia właściwego dla wykonania stopu metali dobrze jest zatem znać wcześniej wpływ tego środowiska na poszczególne składniki stopu.

Oczywiście, że wpływ środowiska przetopu ma szczególne znaczenie w badaniach bardzo czystych metali jak i stopów wykony-

wanych ze składników spektralnie czystych. W badaniach tych, ze względu na znaczny koszt stosowanych materiałów jako składników stopu, poszukuje się zazwyczaj metody z użyciem próbek zminiaturyzowanych. Dla próbek tych stosunek powierzchni do masy jest znacznie zwiększony. Sprzyja to dodatkowo zjawiskom dyfuzji otoczenia w głąb próbki. Zjawiska te zachodzą szczególnie łatwo w wysokich temperaturach w stopionych małych próbkach metali lub stopów metali. W takich okolicznościach nie można niekiedy liczyć na pomijalnie mały wpływ stosowanego tradycyjnie materiału tyglowego.

Badania ultradźwiękowo - termiczne, przeprowadzone w odniesieniu do podstawowych metali: Al, Cu i Zn okazały się szczególnie interesujące. Wobec zastosowania mikropróbek wykazały dużą czułość. Opisują je wyniki niniejszej pracy oraz uzasadniają wnioski płynące z porównania tych wyników z danymi z literatury światowej [1,2,3].

Autor prezentowanej pracy przeprowadził wiele innych ultradźwiękowo - termicznych badań [6 do 11] w swych poprzednich pracach, dotyczących krzepnięcia i topnienia metali i stopów metali i stosował specjalnie dobrane materiały dla ochrony badanych próbek. Badania były prowadzone przy częstotliwości podstawowej impulsu: około 1 MHz i przy częstotliwości powtarzania około 1000 impulsów na sekundę, w próbkach o małej masie - około 200 mg lub podobnego rzędu, odpowiadającego masie kropli metalu.

Próbki w pracach dotychczasowych były nagrzewane w najrozmaitszy sposób: bezpośrednim przepływem prądu elektrycznego, przez przewodzenie ciepła od środowiska otaczającego oraz radiacyjnie.

Pomiar temperatury próbek był przeprowadzany projekcyjnie i fotoelektrycznie - dla stopów szczególnie wysokotopliwych [10,11] oraz termoelektrycznie - zazwyczaj w układzie zaciskowym [6,7,8,9].

Układ taki składał się z wielu termoogniw rozmieszczonych naprzemiennie i zaciskowo wokół rurki ochronnej, osłaniającej próbkę [9].

Przenoszenie impulsów ultradźwiękowych przez badaną próbkę stanowi osobne, interesujące zagadnienie.

W przypadku zwilżania, przez ciecz metaliczną próbki, sond lub warstw pośrednich stykających się z próbką występuje na ogół wystarczająco dobra propagacja impulsów ultradźwiękowych. Zwilżanie jednak często bywa związane z intensywnym rozpuszczaniem się substancji zwilżanej w materiale próbki, szczególnie w wysokich temperaturach, co prowadzi do zniekształcenia wyników pomiarów. Wystarczającą praktycznie ochronę próbki w warunkach propagacji zwilżeniowej daje się zachować tylko wyjątkowo i to najczęściej dla metali i stopów łatwotopliwych.

W przypadku braku zwilżania, natomiast, występuje odpychanie pomiędzy cieczą metaliczną i otoczeniem. W tych warunkach, bez wywierania dodatkowego ciśnienia na próbkę /o dużej długości w stosunku do średnicy/, propagacja impulsów ultradźwiękowych przez stopioną próbkę nie wystąpi [6,9]. W takim przypadku prowadzenie badań umożliwione zostało przez zastosowanie warstw kompozytowych na końcach próbki. Warstwy takie wykonuje się ze sproszkowanego stopu zmieszanego z ceramicznym, proszkowym środowiskiem ochronnym i w specjalny sposób sprasowanym. W ten sposób można badać dowolne stopy, jeśli tylko udaje się dobrać do nich metalurgicznie właściwe środowisko.

W niniejszej pracy podano jeszcze jedną możliwość prowadzenia ultradźwiękowo termicznych badań, przy braku zwilżania ale bez zastosowania warstw kompozytowych, a mianowicie w bardzo cienkich próbkach w porównaniu do średnicy, co niżej obszerniej omówiono.

Autor w swoich dawniejszych pracach przekonał się, na przykład, że w badaniach pierwiastków o cechach półprzewodników: krzemu i boru oraz ich stopów [10], wszelkie materiały ceramiczne typu tlenkowego ulegały bardzo łatwemu rozpuszczaniu się w płynnych stopach tych pierwiastków. Uniemożliwiało to prowadzenie termicznych badań tych stopów we wspomnianych środowiskach. Badania te udało się zrealizować dopiero przy użyciu azotku boru jako środowiska przetopu.

Przekonano się w innych ultradźwiękowo - termicznych badaniach, że w odniesieniu do niektórych metali łatwotopliwych i ich stopów daje się stosować węgiel.

Dobrym otoczeniem w zastosowaniu do ultradźwiękowo - ter-

micznych badań stopów żelaza z węglem lub innymi domieszkami stopowymi, o małym stężeniu, okazał się tlenek glinu [6,7,8,9].

Wzorcowanie temperaturowe aparatury pomiarowej prowadzono na punktach topnienia i niekiedy, krzepnięcia czystych metali.

Właściwe środowisko nie zmienia ustalonej temperatury topnienia czystego metalu, która okazuje się zgodna z uscaloną temperaturą jego następnego krzepnięcia.[§]

Istnienie szkodliwego wpływu środowiska na czysty metal daje się zaobserwować następująco:

Jeśli kolejne krzepnięcia i topnienia próbek /o wyrównanej temperaturze/ nie wykazują stałotemperaturowych przebiegów, zgodnych temperaturowo[§] z początkiem pierwszego topnienia, /podczas początkowego nadtopiania próbki, która nie zdążyła jeszcze zanieczyścić/, to ośrodek jest niewłaściwy i oddziałuje na stopiony metal.

Powyższe zjawiska dają się obserwować ultradźwiękowo.

Można oczywiście przytoczyć inne znane metody, również pozwalające na wykrycie zanieczyszczenia przetopionej próbki przez otaczające ją środowisko. Wśród nich można wymienić metody chemiczne, rentgenowskie, elektronowe czy mikroskopowe. Dlatego w pracy niniejszej przeprowadzono porównania otrzymanych wyników z danymi literaturowymi, pochodzącymi z innych badań, nieultradźwiękowych [1,2,3].

Ultradźwięki nie wywierają zauważalnego wpływu na temperaturę punktów przemiany na pograniczu cieczy i ciała stałego, z przyczyny słabej mocy krótkiego impulsu i wysokiej częstotliwości podstawowej /1 MHz/ oraz stosunkowo wysokiej częstotliwości powtarzania /około 1000 impulsów na sekundę/ z którymi przemiana nie może tak nagle zachodzić, szczególnie przy nieznacznym zmianach temperatury wobec znikomego efektu termosprężystego czy też praktycznie niemierzalnej straty energii akustycznej zamienianej w ciepło. Powyższe potwierdzono również już w pracach [10,11], dzięki zastosowaniu równoległej obserwacji projekcyjnej i optycznej albo samej takiej obserwacji bez udziału ultradźwięków.

[§]z dokładnością do mogącego wystąpić nieznacznego ochłodzenia przy krzepnięciu

3. Rozważania teoretyczne

W przemianach fazowych na pograniczu cieczy i ciała stałego, przy krzepnięciu, występuje przemiana cieczy metalicznej w kryształy, związana z pojawieniem się nowych, innych własności powstającej nowej fazy metalurgicznej.

Wobec budowy kryształu z wielu warstw atomowych, początek krystalizacji jest związany z nagłym wydzieleniem się pewnej porcji ilościowej /kwantu/ nowej fazy krystalicznej. Faza ta powstaje z cieczy metalicznej w chwilowo ustalonej temperaturze z przyczyny wydzielenia się adekwatnej porcji utajonego ciepła przemiany.

Porcję fazy nagle skryształizowanej jak i porcję ciepła utajonego powiększa odpowiednio przechłodzenie.

Rozpad resztek cieczy metalicznej z końcem krystalizacji bywa również związany z nagłą, skwantyzowaną krystalizacją, jeśli porcja cieczy jest już tak mała, że ulega nagłemu uporządkowaniu sieciowemu przez otaczające ją kryształy. Może jednak być to porcja tak bardzo mała, że własności materiału zmieniają się niedostrzegalnie z zakończeniem krzepnięcia, chociaż dążenie do jego końca, w miarę zmian własności w wyniku postępującej krystalizacji bywa dobrze obserwowalne.

Ogólnie zatem z początkiem, a nawet z końcem krystalizacji występujące nagłe i stałotemperaturowe zmiany własności próbki mogą być wykrywalne w drodze obserwacji wpływu tych zmian na propagację impulsu ultradźwiękowego, przebiegającego poprzez próbkę za pośrednictwem odpowiednio dobranej pod względem metalurgicznym i akustycznym, linii ultradźwiękowej, w której nagłe zmiany nie zachodzą.

Odpowiednio również intensywnie zmieniające się w zakresie krystalizacji własności próbki wyróżniają ten zakres z obszaru temperaturowego istnienia samej cieczy metalicznej o prawie niezmiennych własnościach wraz z temperaturą lub obszaru istnienia tylko kryształów, oczywiście przed wystąpieniem w nich przemian fazowych w stanie stałym. Związane z tym zakresem, pojawiające się intensywne zmiany propagacji impulsu ultradźwiękowego przez próbkę pozwalają na zarejestrowanie w funkcji temperatury tych zmian jakościowo, przy czym odpowiednie punkty

osobliwe wykresu będą określały punkty likwidusu i solidusu /tj początku i końca krzepnięcia/ zaś inne zmiany stałotemperaturowe własności próbki - jej przemiany stałotemperaturowe jak na przykład krzepnięcie /lub topnienie/ czystego metalu albo w stopach przemianę eutektyczną lub, w szczególności, perytektyczną. Do takich badań stosuje się fale podłużne.

Próbka jest badana w linii ultradźwiękowej, przedstawionej na odpowiednim rysunku / w rubryce: rodzaj linii / tabeli 1 do 5, przy pomocy aparatury ultradźwiękowo - termicznej, pokazanej na fot. 1 i 2 /na końcu pracy/.

Temperatura próbki jest mierzona przy pomocy zaciśniętego wokół rurki z próbką układu pomiaru temperatury, składającego się z sześciu termoelementów węglowo - wolframowych, umieszczonych wewnątrz bryłki węglowej. Bryłka ta jest nagrzewana we wnętrzu elektrycznego, węglowego pieca radiacyjnego wraz z próbką i elementami linii, znajdującymi się w rurce ochronnej [9]. Urządzenie opisuje również pat. 97774 U.P. PRL oraz jest przedstawione na fot. 3 i 4 /na końcu pracy/.

Jeśli temperatura w próbce stosunkowo krótkiej i równomiernie ogrzewanej jest na tyle wyrównana, że krzepnięcie odbywa się w sposób rozproszony ale o skupieniach faz metalurgicznych porównywalnie małych do długości fali, to wzory przedstawiające napięcie odpowiednie do amplitudy przybierają postać następującą:

Dla linii symetrycznej, z próbką, przy wstępnym napięciu ustawienia $V_0=0$ mamy zależność przybliżoną:

$$1. V \sim kh (C_T C e^2 w)^{\frac{1}{2}}$$

gdzie e i w są funkcjami napięcia T , zależnego od temperatury próbki /napięcia układu pomiarowego temperatury próbki/ oraz pochodną tej funkcji określoną wzorem:

$$2. V' \sim \frac{1}{2} kh (C_T C e^2 w)^{\frac{1}{2}} \left(2 \frac{e'}{e} + \frac{w'}{w} \right)$$

Dla samej linii, bez próbki, mamy zależność uproszczoną:

$$3. V_1 \sim kh (C_T C)^{\frac{1}{2}}$$

Zatem dla linii z próbką można wzór 1. przedstawić w uproszczonej postaci:

$$4. V \sim V_1 e^{\sqrt{W}}$$

Zmiany $e^{\sqrt{W}}$ w punktach likwidusu a także i solidusu mogą być obserwowalne jako skokowe. Jeśli skokowe zmiany e oraz \sqrt{W} są jednokierunkowe w wyniku odpowiednio dobranej impedancji zakończeń sond, to się wzajemnie wspomagają uwidoczniając punkty osobliwe nieciągłej zmiany funkcji szczególnie kontrastowo. Wyjaśnienie bliższe jest następujące:

Z wystąpieniem przemiany zmienia się intensywnie współczynnik W w określonym kierunku. Również impedancja próbki zmienia się intensywnie - z przyczyny dużej zmiany prędkości fali impulsu i w określonym kierunku. Jeśli kolejne wartości impedancji próbki zbliżają się do impedancji sondy to współczynnik e rośnie, gdy się oddalają - wtedy e maleje.

Ponieważ impedancję sondy można dobrać na zasadzie "niedopasowania" do impedancji próbki - jako mniejszą lub "naddopasowania" jako większą przeto można znaleźć warunki pomiarowe w których nastąpi wspomaganie się zmian w iloczynie $e^{\sqrt{W}}$. Oczywiście punkty osobliwe mogą się zaznaczyć również różnicowo - przy odwrotnym dopasowaniu próbki i sondy, z mniejszą zmianą amplitudy ale zawsze w odpowiednio zgodnych temperaturach, właściwych dla przemiany i niezależnych od kontrastowości zaznaczenia punktów na wykresie przez mniejsze czy większe zmiany amplitudy mające w zasadzie tylko jakościowe znaczenie dla rejestracji charakterystycznych punktów temperaturowych przemiany.

Przybliżone zależności rachunkowe są następujące:

$$5. e \sim \frac{4 z z_1}{(z+z_1)^2}$$

$$6. z \sim \sqrt{E g}$$

$$7. z_1 \sim \sqrt{E_1 g_1}$$

$$8. w \sim 2,72^{-4l}$$

Przy czym znaczenie symboli we wzorach 1. do 8. jest podane przez następujące zestawienie:

Zestawienie znaczenia symboli

- V - napięcie odpowiednie do szczytowej amplitudy impulsu elektrycznego, który powstaje przez odbiór i przetworzenie impulsu ultradźwiękowego okresowo przebiegającego przez badaną próbkę, umieszczoną w linii ultradźwiękowej, [V]
- T - napięcie układu pomiarowego zależne od temperatury próbki, [mV]
- V₀ - wstępne napięcie ustawienia, [V]
- k - stała monitora, $\left[\frac{V}{V}\right]$
- h - współczynnik wzmocnienia odbiorczego, $\left[\frac{V}{V}\right]$
- C_T - stała linii ultradźwiękowej, w zakresie pomiarowym, [W]
 $C_T \sim N q_{nT} q_{oT}$
- N - moc szczytowa impulsowej fali ultradźwiękowej na początku sondy nadawczej, [W]
- q_{nT} - średni współczynnik ilorazowy osłabienia mocy w części nadawczej linii ultradźwiękowej, przed próbką, $\left[\frac{W}{W}\right]$
 /dla zakresu pomiarowego w otoczeniu mierzonej temperatury topnienia lub krzepnięcia metalu/
- q_{oT} - średni współczynnik ilorazowy osłabienia mocy w części odbiorczej linii ultradźwiękowej, za próbką, $\left[\frac{W}{W}\right]$
 /dla zakresu pomiarowego w otoczeniu mierzonej temperatury topnienia lub krzepnięcia metalu/
- C - stała aparaturowa, $\left[\frac{V^2}{W}\right]$
 $C \sim \frac{2 q_o c_o a^2}{S_o}$
- ρ_o - gęstość sondy odbiorczej w temperaturze otoczenia, $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
- c_o - prędkość grupowa fali impulsu w przybliżeniu równa prędkości fazowej, w sondzie odbiorczej w temperaturze otoczenia, $\left[\frac{m}{s}\right]$
- a - stała przetwornika odbiorczego, $\left[\frac{Vs^2 m}{kg}\right]$
 $a \sim \frac{U}{G}$
- U - szczytowa amplituda impulsu elektrycznego, [V]
- G - szczytowa amplituda naprężenia działającego na przetwornik, $\left[\frac{kg}{ms^2}\right]$
- S_o - powierzchnia czołowa końca sondy odbiorczej, [m²]
 /od strony przetwornika odbiorczego
 o jednakowej powierzchni czołowej/

- e - średni współczynnik ilorazowy przejścia mocy na granicy próbka - sonda, $\left[\frac{W}{W}\right]$
 w - średni współczynnik ilorazowy osłabienia mocy w próbce, $\left[\frac{W}{W}\right]$
 V_1 - napięcie odpowiednie do amplitudy dla samej linii, bez prądu, [V]
 Z - średnia impedancja próbki, $\left[\frac{kg}{m^2 s}\right]$
 Z_1 - średnia - oddziaływująca na próbkę impedancja zakończenia sondy, $\left[\frac{kg}{m^2 s}\right]$
 E - średni dla próbki moduł ściśliwości lub sprężystości podłużnej, $\left[\frac{kg}{m s^2}\right]$
 ρ - średnia gęstość dla próbki, $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
 E_1 - średni - oddziaływujący na próbkę moduł sprężystości podłużnej zakończenia sondy, $\left[\frac{kg}{m s^2}\right]$
 ρ_1 - średnia gęstość zakończenia sondy, $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
 Ψ - średni współczynnik pochłaniania mocy na jednostkę długości próbki o określonej średnicy, $\left[\frac{1}{m}\right]$
 l - długość próbki, [m]

Współczynnik C oraz ρ_0 , C_0 , a i S_0 stanowią stałe.

Współczynnik C_T można uznać praktycznie za stałą w zakresie pomiarowym podobnie jak q_{nT} i q_{oT} oraz V_1 , bowiem N jest stałą. Inne współczynniki są w zasadzie pewnymi funkcjami napięcia T zależnego od temperatury próbki /czyli napięcia układu pomiarowego/ ale poza zakresem przemiany ulegają stosunkowo niewielkim zmianom w funkcji T .

Obserwowane w granicznych oraz innych charakterystycznych punktach przemian /jak na przykład przebieg topnienia czystego metalu/ nagle i stałotemperaturowe zmiany napięcia V , rejestrującego krzywą w funkcji T , pochodzą od odpowiednio nagłych i stałotemperaturowych zmian E i Ψ , w nieznanym natomiast stopniu od takich zmian ρ i l jako pomijalnie małych. Duże zmiany E i Ψ są spowodowane znacznymi różnicami tych własności w cieczy metalicznej i kryształach metali oraz w ich mieszaninach.

Kontrastowość i wyrazistość wyznaczania charakterystycznych punktów temperaturowych przemian może być, jak już wspomniano, optymalizowana, chociaż praktycznie nie bywa to konieczne, ponieważ już pewne fluktuacje własności próbki w charakterystycznych punktach przemiany, związane z pewną różnorodnością konfiguracji ziarn w próbce zapewniają zaobserwowanie punktów osobliwych w kilku kolejnych pomiarach na tej samej próbce nawet przy przypadkowo i niekorzystnie dobranej impedancji zakończeń sond. Rozdzielczość amplitudowa zależy również od N, q, a, k i h .

Występowanie krzepnięcia rozproszonego - dla modelu raczej idealnego, wymaga nadzwyczaj dokładnego wyrównania temperatury w badanej próbce i odnosi się raczej do stosunkowo krótkich próbek czystych metali, stosowanych jako wzorce temperaturowe, zwykle przy topnieniu i następnie krzepniętych.

W wydłużonej próbce jest bardziej prawdopodobne występowanie krzepnięcia warstwowego, bowiem na jej zakończeniach, podobnie jak przy ściankach krzepnącego wlewka, temperatura jest nieco obniżona. Ten model krzepnięcia omówiono dokładniej w pracy [9].

Bez względu jednak na przebieg procesu krzepnięcia /czy topnienia/ wewnątrz próbki, a więc niezależnie od rodzaju rozważanego modelu krzepnięcia /czy topnienia/, punkty osobliwe i inne przystanki stałotemperaturowe uwiadcniają charakterystyczne temperatury przemian od których pochodzą wobec nagłych zmian średnich własności małej próbki.

4. Prace doświadczalne

Na opisanej aparaturze przebadano szereg próbek czystych metali Al, Cu i Zn w różnych środowiskach i różnych liniach ultradźwiękowych.

Próbka w linii ultradźwiękowej zbudowanej w rurce ochronnej w sposób przedstawiony tabelami 1 do 5, została umieszczona w centralnej części pieca grzewczego. Ta część pieca stanowi możliwie izotemperaturowy obszar dzięki specjalnej konstrukcji muflki grzewczej, węglowej, nagrzewanej elektrycznie. Próbkę odizolowaną od otoczenia w rurce ochronnej alundowej lub węglowej bada się na wpływ najbliższego i stykającego się z jej po-

wierzchnią środowiska.

Bliższe szczegóły odnośnie budowy i działania aparatury pokazanej na fot. 1 do 4 /na końcu pracy/ omówiono w rozważaniach teoretycznych i podano w pracy [9].

Badana próbka była nagrzewana aż do stopienia. Była ona przetrzymywana następnie przez pewien czas /rzędu minut/ w stanie stopionym a potem temperatura próbki była obniżana z prędkością rzędu stopni C na minutę do całkowitego skrzepnięcia, a także z taką prędkością próbka była ponownie topiona.

Przebiegi topnienia i krzepnięcia były rejestrowane automatycznie, w sposób opisany w rozdziale 3.

Tabele 1 do 5 przedstawiają ilość kolejnych cykli pomiarowych: topnienia i krzepnięcia, zarejestrowanych podczas badania próbki.

W związku z różną budową linii, stosowaną dla: uniknięcia niepropagacji impulsu /wobec wstępnego braku danych odnośnie zwilżania/, a niejednokrotnie dla potwierdzenia wyników w nieco odmiennych warunkach pomiaru lub dla rozszerzenia metodyki badań, były stosowane różne warunki propagacji impulsu.

W tabelach oznaczono przypadki, kiedy występowała propagacja zwilżeniowa /to znaczy: w wyniku zwilżania warstw sąsiadujących przez stopioną próbkę/ lub inna.

Innym rodzajem propagacji określonym jako: kompozytowa jest przekazywanie impulsów ultradźwiękowych przez próbkę dzięki warstwom kompozytowym, o których wspomniano w rozważaniach wstępnych.

Trzecim rodzajem propagacji, nowym i zbadanym w niniejszej pracy jest propagacja cienkowarstwowa. Polega ona na wykorzystaniu sił napięcia powierzchniowego oraz ciśnienia molekularnego w cienkiej warstwie dla uzyskania kontaktu ultradźwiękowego, niezbędnego dla propagacji sygnałów impulsowych przez badaną próbkę. Cienka warstwa stopionego metalu, dążąc do przyjęcia kształtu kulistego, wywiera siły na powierzchnie zakończeń sond niezwilżanych przez metal i przeciwdziała siłom odpychania międzycząsteczkowego zbliżając powierzchnie dostatecznie do siebie dla wzajemnego oddziaływania cząsteczek, niezbędnego dla propagacji impulsów ultradźwiękowych.

W odniesieniu do badań metali lub ich stopów należy ogólnie stwierdzić, że:

Otrzymane na wykresach punkty osobliwe pod postacią skokowej /nieciągłej/ zmiany funkcji lub skokowej /nieciągłej/ zmiany pochodnej funkcji pozwalają na odczytanie z wykresów, punktów granicznych przemian: ciecz - ciało stałe /czyli pozwalają na określenie temperatur likwidusu i solidusu/. Również z wykresów można ustalić punkty przemian stałotemperaturowych jak na przykład przebieg topnienia lub krzepnięcia czystego metalu /dla którego punkty likwidusu i solidusu są zgodne z punktem krzepnięcia stałotemperaturowego i stanowią początek i koniec przebiegu tego krzepnięcia/.

Wyniki badań serii stopów o nieznanym jeszcze układzie krzepnięcia, a więc w przypadku uogólnionym, pojawiają się jako charakterystyczne ciągi temperaturowe w miarę zmiany składu, a potwierdzenie daje obserwacja metalograficzna otrzymanych próbek, a także, równoległa do badań ultradźwiękowych, obserwacja optyczna powierzchni przetapianej i krzepnącej próbki [10, 11] h_b też obserwacja nagłych zmian prędkości fali impulsu w próbce, obserwowalna na ekranie aparatury ultradźwiękowej /niestety, trudna do automatycznego zarejestrowania/.

Wyniki badań są temperaturowo powtarzalne w granicach niewielkich fluktuacji samego zjawiska /w tym histerezy przy topieniu i krzepnięciu stopów/ oraz w zależności od dokładności składu chemicznego badanych stopów.

W pomiarach unikano szumów i zakłóceń sporadycznych. W tym celu aparaturę dobrze odekranowano i starano się, w miarę możliwości nie za silnie wzmacniać. Nie dopuszczano również do rozerwania kontaktu w linii ultradźwiękowej z próbką przez pęknięcie mas, przed czym zabezpiecza wstępny docisk przed zgrzewaniem warstw linii.

W zasadzie, dla wyrazistości i ułatwienia interpretacji wykresów korzystne jest unikanie interferencji, które w opisanych liniach na ogół się nie pojawiają z przyczyny dobrego dopasowania akustycznego warstw linii, nikłych i różnofazowych odbić w warstwach proszkowych, silnego tłumienia w płynie metalicznym próbki i odbić praktycznie synchronicznie -

fazowych w próbkach cienkowarstwowych /lub pojawiających się albo zanikających warstwach krystalicznych [9] /. Zjawiska interferencyjne dają się kontrolować przez obserwację ekranu aparatury ultradźwiękowej. Jeśli jednak takie zjawiska interferencyjne się pojawią, to ich początek obserwuje się wyraźnie z początkiem krzepnięcia /lub topnienia/ i w jego zakresie aż do zakończenia, po którym przestają one występować jako szum informacyjny, co tłumaczyć można zakończeniem ziarnistej/lub warstwowej [9]/ przebudowy materiału i w dwóch stanach skupienia we współistnieniu: ciekłym i stałym.

Zważywszy powyższe, we wspomnianych tabelach 1 do 5 podano również zaobserwowany wpływ środowiska na badany metal.

Wpływ ten określono jako ujemny /szkodliwy/ i oznaczono znakiem - w przypadku zaobserwowanego oddziaływania środowiska na metal związanego z tworzeniem się stopu./Należy tu wykluczyć wpływ środowiska gazowego, gdyż badania prowadzono w atmosferze czystego argonu/

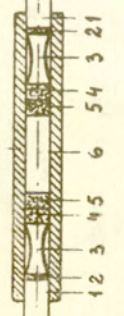

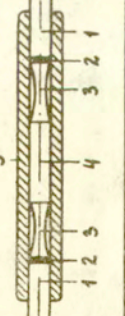

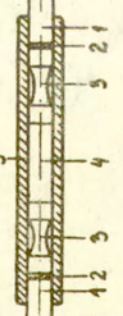

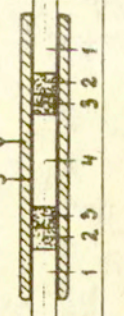

Wpływ środowiska określono jako niezbyt ujemny i oznaczono znakiem - + w przypadku przebiegów krzywej, wskazujących na nieznaczące odchylenia od prawidłowego przystanku temperaturowego dla przemiany, nie powiększające się jednak dostrzegalnie w dalszych badaniach, w kolejnych pomiarach na tej samej próbce. /w miarę stopnia nasycania metalu przez składniki środowiska/

Wpływ środowiska był określony jako dodatni i oznaczony znakiem + wyłącznie w przypadku niezaobserwowania żadnych odchyżeń od prawidłowego przetopu czystego metalu. Urządzenie rejestrujące było przy tym kontrolowane dodatkowo przy pomocy woltomierza cyfrowego przez znaczniki kontrolne według wskazań woltomierza. Znak + określa przydatność wymienionego środowiska do przetopu określonego, czystego metalu.

Uzasadnienie odnośnie rodzaju wpływu środowiska na metal podano w osobnej rubryce omówionych tabel 1 do 5 .

Zestawienie zbiorcze i porównawcze obejmuje tabela 6 . W pracy niniejszej przedstawiono również wybrane przykłady wykresów otrzymanych w drodze ich automatycznej rejestracji.

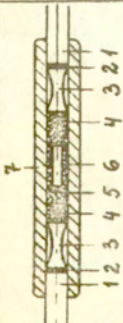

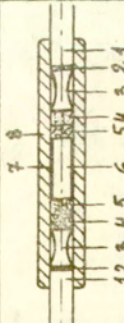

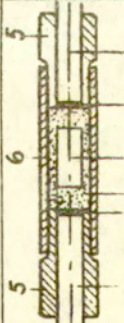

Wykres 1 pokazuje pewien niewielki zakres temperaturowy / VI cyklu / topnienia i krzepnięcia aluminium w azotku boru

Nr kolumny	Metal	Rodzaj linii	Rodzaj warstw	Ilość czynników	Wpływ	Przebieg	Ważniejsze
kol.	średnio-wisko	linii	warstw	czynników	Wpływ	Przebieg	Ważniejsze
1	Al W Al ₂ O ₃ + SiO ₂		1 - W (sonda wolframowa) 2 - 50% (SiO ₂ , Al ₂ O ₃) + 50% C 3 - (Al ₂ O ₃) _m (masa alum. zeszkl.) 4 - 50% SiO ₂ + 50% Al ₂ O ₃ 5 - 50% (SiO ₂ , Al ₂ O ₃) + 50% Al 6 - Al (problek) 7 - (Al ₂ O ₃) _m (niska ochr. z mag. zszkl.)	9	—		Przebieg przyłącznie dla kruszenia I o ΔT = -30 K, Zakresy temperat. turnej top. i temp. w dalszych cyklach pomiarowych.
2	Al W Al ₂ O ₃		1 - W 2 - 50% (SiO ₂ , Al ₂ O ₃) + 50% C 3 - (Al ₂ O ₃) _m 4 - Al 5 - (Al ₂ O ₃) _m	2	—		Zakres temperatury kruszenia II ΔT > 25 K
3	Al W W + Al ₂ O ₃		1 - W 2 - 70% Al ₂ O ₃ + 30% C 3 - W (pozdzielacze wolfram. sond) 4 - Al 5 - (Al ₂ O ₃) _m	2	—		Brak stałotemperat. turnej kruszenia II (zakres temperatury kruszenia II ΔT = 25 K) Zakres temperatury kruszenia II ΔT = 30 K
4	Al W C (+Al ₂ O ₃)		1 - W 2 - C 3 - C + Al 4 - Al 5 - C (warstwa cienka) 6 - (Al ₂ O ₃) _m	6	—		Zakres temperatury top. II, ΔT = 45 K, dalsze obserwacje reżymu zakreślenia

Tab. 1

Nr kol.	Metal i środowisko	Rodzaj linii	Rodzaj warstw	Łość kolejnych linii	Wpływ środowiska	Preparacja	Uzasadnienie uwagi
5	Al w BN		1 - W 2 - 70% Al ₂ O ₃ + 30% C 3 - (Al ₂ O ₃) _m 4 - BN + Al 5 - Al 6 - (Al ₂ O ₃) _m	6	+		Zakres przystanku krzepnieć $\Delta T_{kr} \approx 10$ K. Zakresy krzepnieć (przebieg II) $\Delta T_{kr} \approx 0$ (I) $\Delta T_{kr} \approx 10$ K (II) (oświetlenie techniczne)
6	Al w C		1 - W 2 - C 3 - Al 4 - C	3	—		Zakres krzepnieć $\Delta T_{kr} = 30$ K
7	Al w Al ₂ O ₃		1 - W 2 - Al ₂ O ₃ + C 3 - Al ₂ O ₃ 4 - Al 0,1 mm 5 - (Al ₂ O ₃) _m 6 - (Al ₂ O ₃) _m	3	—		Zakres przystanku przystanku topa I względem projekt. krzepnieć $\Delta T_{kr} \approx 15$ K. Początkowe zjawisko wystąpiło w cyklu 2 i 3 pomimo powolnego schładzania powolnym nagrz.

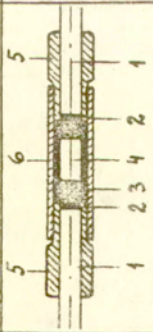

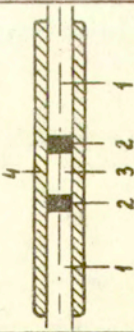
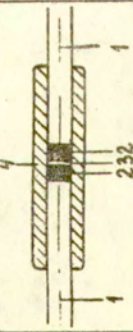

Tab. 2

Nr kol.	Metali Srodowiska	Rodzaj linii	Rodzaj warstw	Ilość kolejnych cykli	Wplyw Srodowiska	Przebieg zuzycia kompozycji	Uzasadnienie uwagi
8	Cu W BN		1-W 2-Al ₂ O ₃ +C 3-(Al ₂ O ₃) _m 4-BN 5-BN+Cu 6-Cu 7-(Al ₂ O ₃) _m	9	—		Zakres temp. T, ΔT _T ≈ 50 K Dalej zapobiegawczo rozszerz zakresy temp. raturowe
9	Cu W Al ₂ O ₃		1-W 2-Al ₂ O ₃ +C 3-(Al ₂ O ₃) _m 4-Al ₂ O ₃ 5-Al ₂ O ₃ +Cu 6-Cu 7-Al ₂ O ₃ -cienka warstwa 8-(Al ₂ O ₃) _m	3	—		Zakres krzepnięcia I, ΔT _T ≈ 20 K. Dalej zapobiegawczo rozszerz zakresy temp. raturowe
10	Cu W Al ₂ O ₃		1-W 2-Al ₂ O ₃ +C 3-Al ₂ O ₃ 4-Cu 5-(Al ₂ O ₃) _m 6-(Al ₂ O ₃) _m	2	—		Zakres krzepnięcia I, ΔT _T > 10 K. Dalej zapobiegawczo rozszerz zakresy temp. raturowe

Tab.3

Nr kol.	Metal i środowisko	Rodzaj linii	Rodzaj warstw	Ilość kolejnych cykli pomiaru	Wpływ środowiska	Przebieg zwiędnięcia kompozycyjno-cienko-membranowego	Uzasadnienie i uwagi
11	Cu W C		1-W 2-C 3-Cu 4-C	4	+		4-4 jednokowo-pofazowane przysłaniki kraznypolale nie przysłaniku Cu przysłaniku IV topnienia $\Delta T_{kr} \approx 10 K$ (zmiennemu temp. przysłanicy)
12	Zn W Al ₂ O ₃ + SiO ₂		1-W 2-50% (50% Al ₂ O ₃ + 50% SiO ₂) + 50% Zn 3-(Al ₂ O ₃) _m 4-50% Al ₂ O ₃ + 50% SiO ₂ 5-50% (50% Al ₂ O ₃ + 50% SiO ₂) + 50% Zn 6-Zn 7-(Al ₂ O ₃) _m	7	+		Przejajmiasy 6 pomiarow o przysłanicy topnienia i kraznypolale zawiazanych w granicach kilku K i min. maleje przysłanicy (o kilka K) temp. Cu, bice mowic 22 zmiennemu przysłanicy przysłanicy w celach przysłanicy
13	Zn W BN		1-W 2-Al ₂ O ₃ +C 3-(Al ₂ O ₃) _m 4-BN 5-BN+Zn 6-Zn 7-(Al ₂ O ₃) _m	6	-		Zakres kraznypolale $T_{kr} = 25 K$ Dalsze topnienia i kraznypolale przysłanicy rozwiiz w Zakladowych i kraznypolale

Tab. 4

Nr kol.	Metali i środki wiskio	Rodzaj linii	Rodzaj warstw	Ilość kolejnych cyfry pomiaru	Wpływ środowiska	Przebieg i charakterystyka	Uzasadnienie uwagi
14	Zn W Al ₂ O ₃		1-W 2-Al ₂ O ₃ +C 3-Al ₂ O ₃ 4-Zn 5-(Al ₂ O ₃) _m 6-(Al ₂ O ₃) _m	2	—		Zakres temperaturowy kraspuscia T $\Delta T_{kr} \approx 20 \text{ K}$ Dalej zabierano również zakresy
15	Zn W C		1-W 2-C 3-Zn 4-C	3	+		Zabierano zakresy temperatury kraspuscia i brak propagacji dla kraspuscia
16	Zn W C		1-W 2-C 3-Zn - warstwa 0,1 mm 4-C	5	+		Zabierano zakresy temperatury kraspuscia i brak propagacji dla kraspuscia Zabierano zakresy temperatury kraspuscia i brak propagacji dla kraspuscia

TAB. 5

Metal	Holland [1]	Chopra [2]	Maissel - Glang [3]	Autor	
				Rodzaj środkowiska	Wpływ środkowiska
Al sp.cz.	X	material tyglowy ceramiczny lub węgłowy wskazany	material tyglowy ceramiczny lub węgłowy wskazany	C sp.cz. C(+Al ₂ O ₃) Al ₂ O ₃ sp.cz. Al ₂ O ₃ +H BN 70%Al ₂ O ₃ +50%SiO ₂	=
		C graficit Al ₂ O ₃ (BN + + 50%TiB ₂)	C BN, TiB ₂ BN (tygla ni tyglowe profesjonalne)		
Cu sp.cz.	X	X	X	C sp.cz. Al ₂ O ₃ sp.cz. BN	=
Zn sp.cz.	X	X	X	C sp.cz. 50%Al ₂ O ₃ +50%SiO ₂ Al ₂ O ₃ sp.cz. BN	+

Tab. 6

/przy obserwowaniu jednak stosunkowo dobrej zgodności przebiegów z punktem topnienia Al /.

Wykres 2 przedstawia topnienie i krzepnięcie miedzi w węglu, dość prawidłowe.

Wykres 3 pokazuje II cykl topnienia i krzepnięcia próbki miedzi, pochodzącej z materiału spektralnie czystego, a wyraźnie zanieczyszczonej przez spektralnie czysty tlenek glinu, stanowiący środowisko przetopu. Widać to z braku prawidłowych przystanków temperaturowych dla topnienia i krzepnięcia i obecności zakresów temperaturowych, przesuniętych w miarę nasycania się metalu składnikiem środowiska.

Wykres 4 pokazuje prawidłowy przetop cynku w spektralnie czystym węglu, dla próbki cienkwarstwowej. W odniesieniu do przebiegu przetopu nie znajduje się zastrzeżeń. Dlatego też wpływ węgla na cynk w warunkach przetopu oznaczono jako + .

Wyjaśnia się, że górne krzywe na opisanych wykresach odnoszą się do topnienia próbki, zaś dolne krzywe do jej krzepnięcia.

Zastosowane materiały mają następujący stopień czystości:

Aluminium /pochodzące z Zakładu Doświadczalnego przy Hucie Aluminium w Skawinie/ posiada Al min. 99,999% oraz max.: Fe 2 ppm, Mg 2 ppm; Cu, Mn, Cd, Pb, Na po 1 ppm.

Miedź /pochodząca z firmy Johnson Matthey - Anglia/, posiada skład: Ag do 10 ppm, Si 1 ppm; Cd, Cr, Fe, Mg mniej niż po 1 ppm.

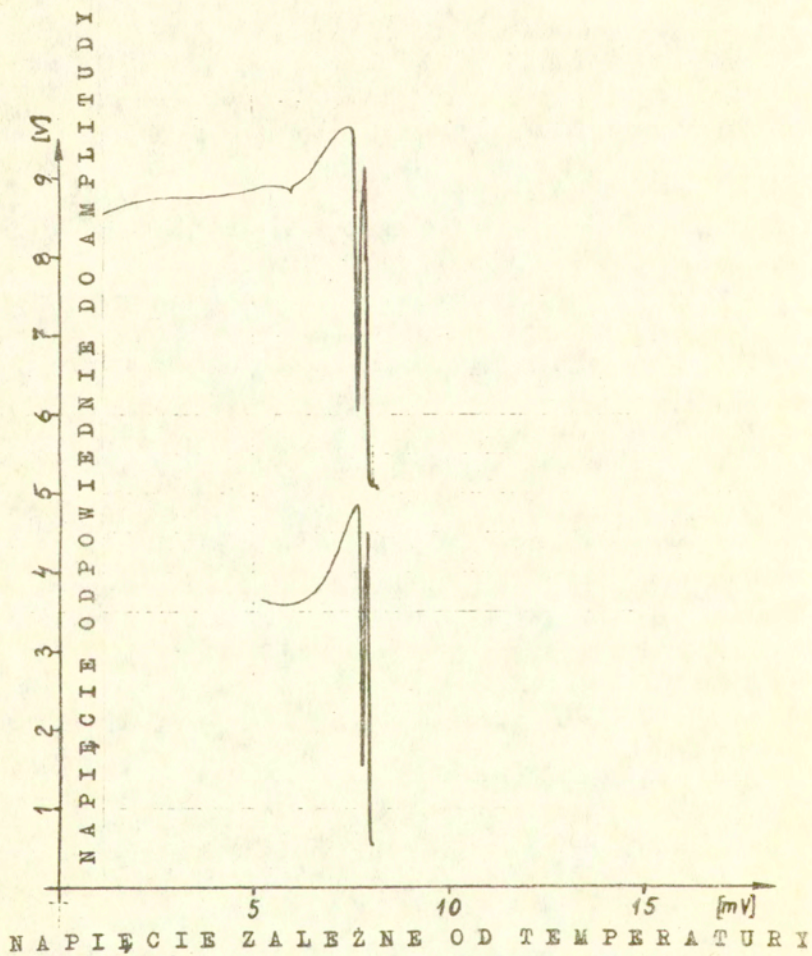
Cynk /pochodzący z Zakładu Doświadczalnego przy Hucie Aluminium w Skawinie/ posiada czystość określoną jako 6N .

Tlenek glinu /pochodzący z Instytutu Chemii przy Politechnice w Gliwicach/ posiada: Si $3 \cdot 10^{-4}\%$, Mg $1 \cdot 10^{-4}\%$ i Cu mniej niż $1 \cdot 10^{-5}\%$.

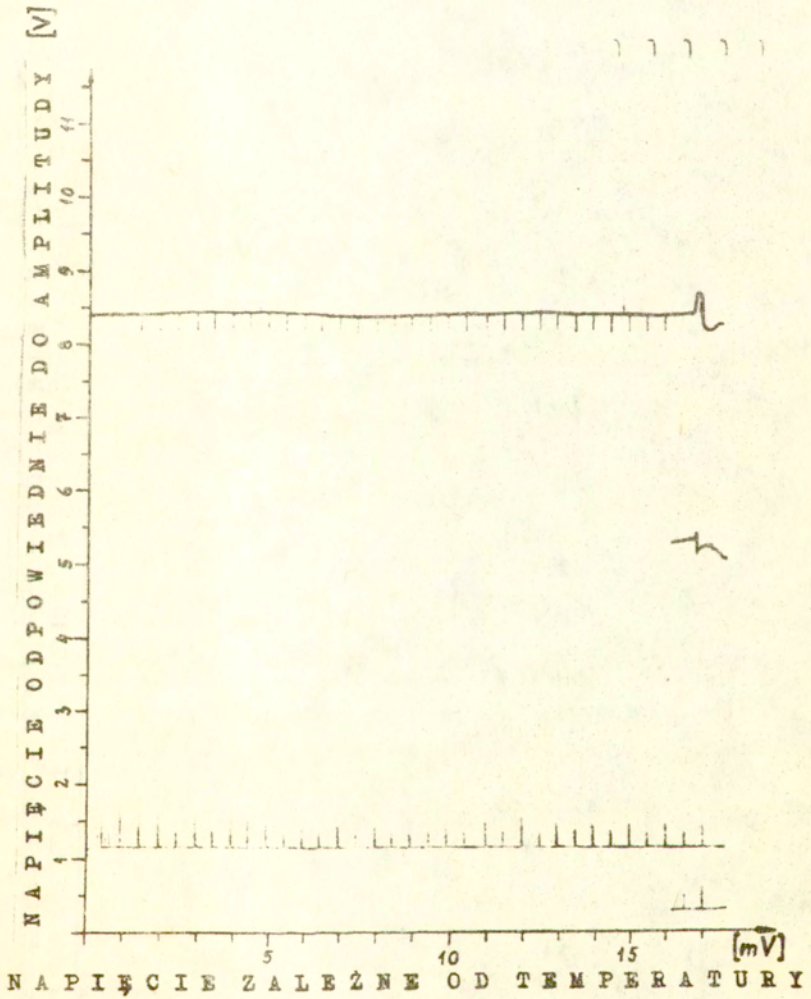
Węgiel z elektrod spektralnych /firmy Elektrokarbon Topolcany - Czechosłowacja/ posiada śladowe ilości Al, Fe i Si.

5. Wnioski

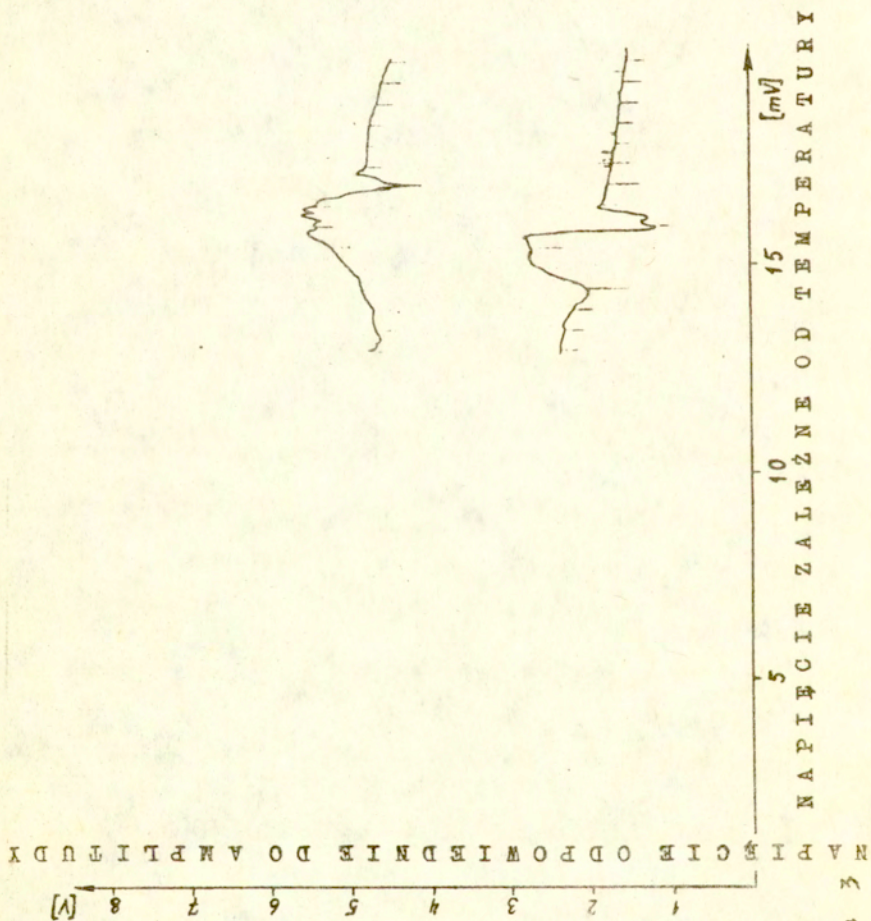
Przedstawione w tablicy 6 wyniki badań w zestawieniu i porównaniu z innymi danymi, odnośnie stosowania materiałów



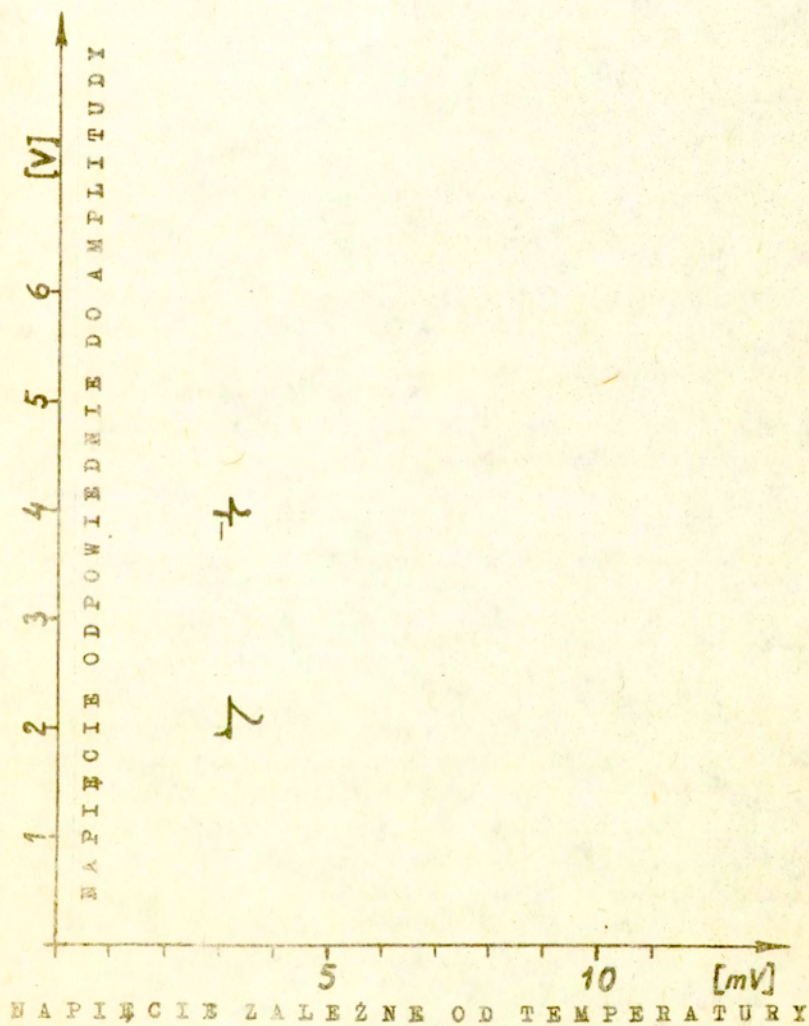
Wykres 1



Wykres 2



Wykres 3



Wykres 4

tyglowych [1,2,3], opracowanymi na podstawie licznych badań /nieultradźwiękowych/ pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Jako otoczenie dla przetopu aluminium /o czystości spektralnej/:

a. nie nadaje się węgiel /spektralnie czysty/,

Istnieje zgodne potwierdzenie literaturowe [1,2,3], że węgiel oddziałuje na aluminium.

b. nie nadaje się tlenek glinu /o czystości spektralnej/, Występuje tu również zgodność z literaturą [1,2], która potwierdza oddziaływanie tlenków. W źródle [3] brak jest danych.

c. nie nadaje się w pełni sam azotek boru, W literaturze [2,3] wymienia się możliwość użycia tygli nitrydowych /wykonywanych z azotku boru i dwuborku tytanu/. W źródle [1] brak jest danych.

d. nie nadają się zbadane mieszaniny /według tabeli 1 /, w skład których wchodzi wymienione w tabeli składniki; /azotku boru w mieszaninach nie stosowano/.

2. Jako otoczenie dla przetopu miedzi /o czystości spektralnej/:

a. nie nadaje się w pełni węgiel /spektralnie czysty/,

Obserwowane oddziaływanie jest raczej niewielkie. W tym zakresie brak jest danych literaturowych w źródłach [1,2]. Źródło [3] wskazuje możliwość stosowania tygla węglowego.

b. nie nadaje się tlenek glinu /o czystości spektralnej/, W danych literaturowych [2,3] jest on wskazany jako materiał tyglowy. W źródle [1] danych jest brak. Autor niniejszej pracy nie przeczy, że wspomniany materiał tyglowy może nadawać się dla zastosowania przy odparowywaniu miedzi i napyłaniu w próżni ale stwierdza, że nie nadaje się on dla celów prawidłowego przetopu miedzi.

c. azotek boru nie nadaje się do przetopu miedzi,

W tym zakresie brak jest danych porównawczych w literaturze [1,2,3].

3. Jako środowisko dla przetopu cynku /o czystości spektralnej/:

a. nadaje się węgiel /spektralnie czysty/,

W tym zakresie istnieje potwierdzenie literaturowe w źródłach [2,3]. W źródle [1] brak jest danych.

b. nie nadaje się tlenek glinu /o czystości spektralnej/, Tlenek glinu jest wskazany jako materiał tyglowy w źródłach [2,3]. Autor niniejszej pracy nie przeczy, że wymieniony materiał tyglowy może nadawać się dla zastosowania przy odparowywaniu cynku w próżni i napyłaniu ale stwierdza, że nie nadaje się on dla celów prawidłowego przetopu cynku.

c. nie nadaje się w pełni mieszanina tlenku glinu i dwutlenku krzemu w proporcji wagowej 1:1 ale oddziaływanie jej jest raczej niewielkie,

d. nie nadaje się azotek boru.

Na ten temat źródła literaturowe [1,2,3] nie zawierają danych porównawczych.

Jak to wynika ogólnie z przeprowadzonych badań oraz z literatury, najbardziej trudny jest dobór ceramicznego materiału tyglowego dla spektralnie czystego aluminium, a w dalszej kolejności dla miedzi. Mogą istnieć również poważne trudności w doborze środowiska innego, typu metalicznego dla spektralnie czystego aluminium, a w konsekwencji również dla jego stopów wykonywanych ze spektralnie czystych składników. Z literatury [1,2,4] wynika, że aluminium może być składnikiem stopów nawet z metalami trudno topnymi. Według pracy [4] metale łatwo topliwe: sód, potas, rubid i cez stopów z aluminium nie tworzą. Ale również te metale, ze względu na niską temperaturę topnienia, nie mogą stanowić materiału tyglowego dla aluminium.

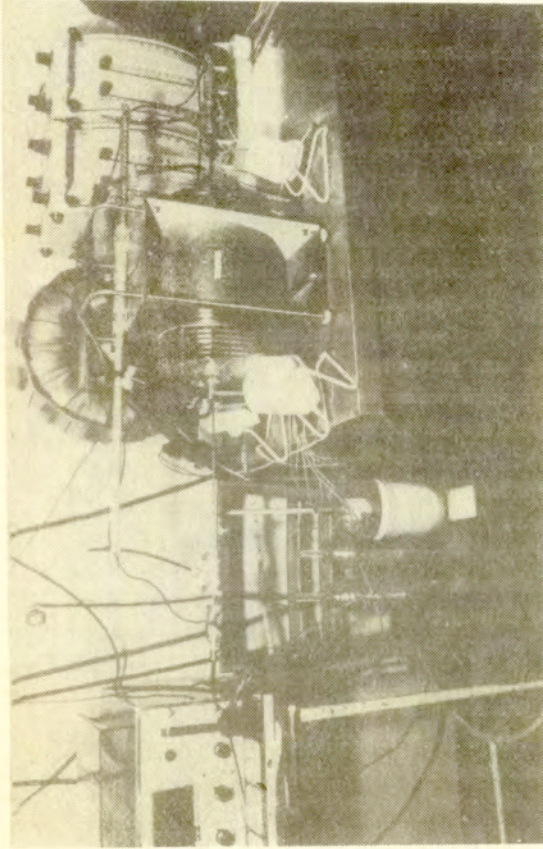
W pracy [5], na przykład, dla przygotowania stopów aluminium i niobu topiono te stopy w piecu łukowym, wolframowym, na dnie miedzianym, chłodzonym wodą, a więc możliwie bez oddziaływania miedzi ze stopionym materiałem.

Zaproponowana w niniejszej pracy metoda ultradźwiękowa jest czuła i bardzo oszczędna, z przyczyny stosowania bardzo małych próbek o masie części grama.

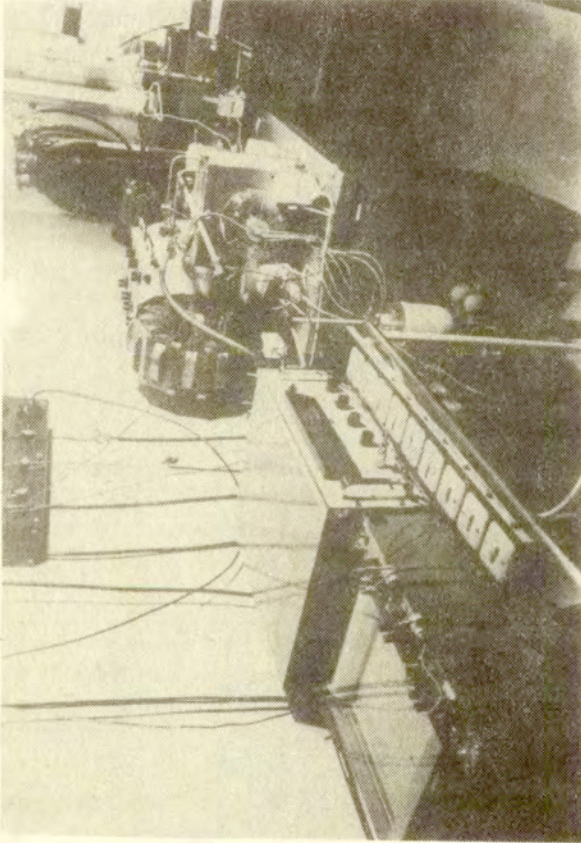
W związku z ogólnie występującymi problemami w doborze materiału tyglowego ta metoda badawcza może być pożyteczna również w szerszym zakresie badań metali: poznawczych a także przemysłowo - technicznych.

6. Literatura

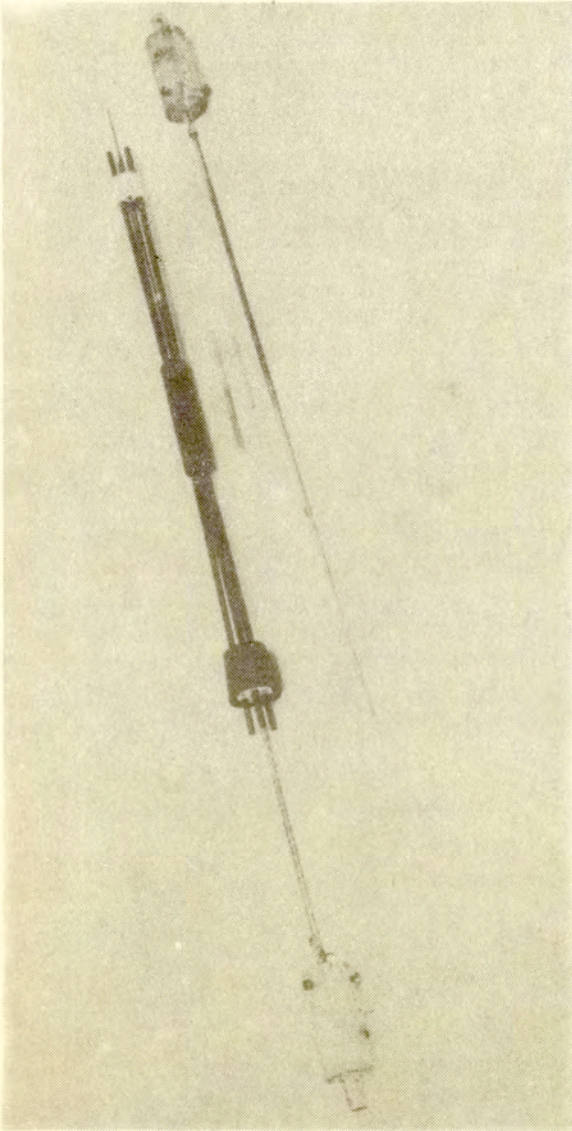
- 1 L. HOLLAND, Vacuum Deposition of Thin Films, London 1960
- 2 KASTURI L. CHOPRA, Thin Film Phenomena, New York-London 1969
- 3 LEON I. MAISSKEL, REINHARD GIANG, Handbook of Thin Film Technology, New York - London 1970
- 4 P.F. SZULENOK, O rastworimosti tugoplawkich metallow pri powierchnostom legirowanii w raspławach na osnovie aluminija, Faz. prewr., Kijew 1970
- 5 W.N. SWIECZNIKOW, W.M. PAN, W.I. LATYSZEWA, Diagramma sostojanij sistemy niobij - aluminij, Faz. prewr., Kijew 1968
- 6 Z. KIEDRZYŃSKI, Badania ultradźwiękowe temperaturowych zakresów przemian w technicznych i czystych stopach żelaza, Prace IPPT, Warszawa 1977
- 7 - , Ultrasonic-Thermal Studies of Changes in Fe+C Alloys with Compositions within the Hyperperitectic-Hypoeutectic Range for Conditions Tending to Equilibrium, BULL. DE L'ACAD. POL. DES SC., Vol. XXVIII, No 9-10, Varsovie 1980
- 8 - , Ultrasonic-Thermal Studies of Fe+C Alloys for the Eutectic Surroundings and for Hypereutectic Compositions of the Fe-C System, BULL. DE L'ACAD. POL. DES SC., Vol. XXVIII, No 9-10, Varsovie 1980
- 9 - , Ultradźwiękowe badania krzepnięcia i topnienia stopów Fe+C, Prace IPPT, Warszawa 1986
- 10 - , K. WESOŁOWSKI, Eine Ultraschallmethode für die Prüfung von Umwandlungen auf der Feststoff- und Flüssigkeitsgrenze in Tropfenröhrchen von Metallen und Legierungen, Proc. Conf. on Acoustics of Solid Media Warszawa 1964
- 11 - , Układy krzepnięcia stopów a możliwości ich wyznaczania przy zastosowaniu ultradźwięków, Arch. Akust. 4, 2, Warszawa 1967



Fot. 1 Aparatura ultradźwiękowo - termiczna do temperaturowych pomiarów przemian. Na zdjęciu pokazano piec grzewczy węglowo - radiacyjny z transformatorem i autotransformatorem do regulacji temperatury, z wentylatorami chłodzącymi doprowadzenia silnopiętowej, z długą linią ultradźwiękową wyposażoną w sondy wolframowe zakończone odpowiednio: koncentratorem i dekoncentratorem a także posiadające głowice umocowane na stałe do sond. z układem pomiaru temperatury badanej próbki znajdującej się wewnątrz pieca oraz doprowadzeniami do układu termostatuującego temperaturę odniesienia termooptów pomiarowych układu, połączonych z woltmierzem cyfrowym /widoznym częściowo/ przez wyłącznik wiełopozycyjowy i z urządzeniem doprowadzającym argon do wnętrza pieca przy możliwości obustronnej regulacji strumienia gazu.



Fot. 2 Aparatura ultradźwiękowo - termiczna do temperaturowych pomiarów przemian. Na pierwszym planie widać rejestrator wykreślający przebiegi krzywych i dalej woltomierz cyfrowy umożliwiający pomiar temperatury, a obok zestaw wyłączników chłodzenia urządzeń. W głębi widać pionowy piec węglowy - radiacyjny dla celów mikrometalurgicznych z widocznym nad piecem /częściowo/ układem projekcyjnym do obserwacji przetopu wykonywanych próbek /odlewanych następnie wewnątrz pieca metodą dynamiczną/.



Fot. 3. Zaciskowy układ pomiaru temperatury na sondzie nadawczej. Obcok widoczna sonda odbiorcza, próbka i rurka ochronna.

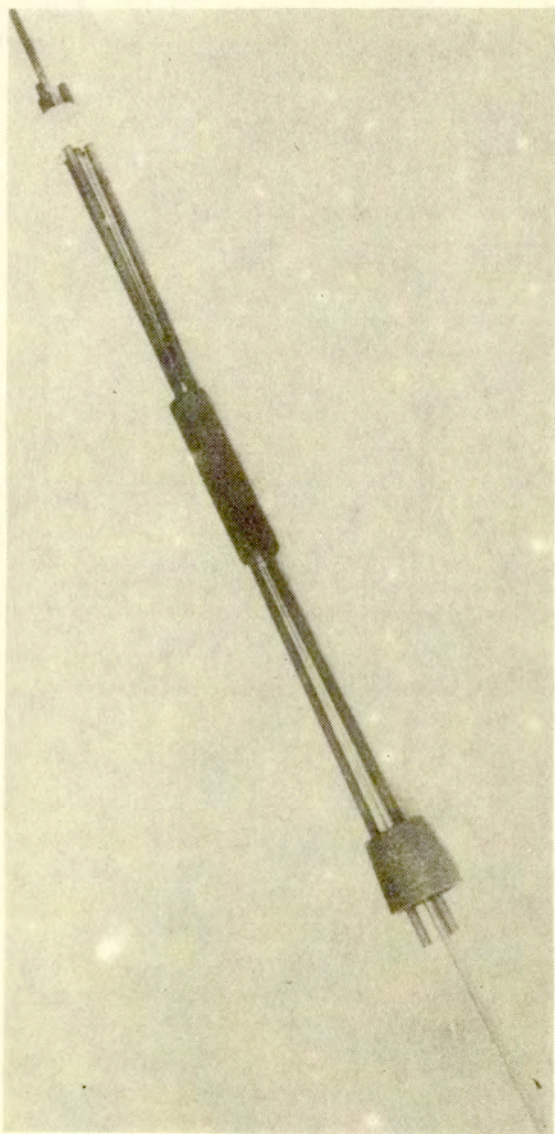


Fig. 4 Zdjęcie przedstawia końcową fazę montażu układu pomiarowego z zaciśniętą, wewnątrz bryłki układu, rurką zawierającą próbkę badaną. Przedstawiony na zdjęciach montaż odbywa się w rzeczywistości w układzie pomiarowym umieszczonym wcześniej wewnątrz pomiarowego pieca do badań ultradźwiękowo - termicznych.