

CARACTERUL TENSIUNILOR ANIZOTROPICE ÎN PROBE CU SUPT LATERAL SUPUSE COMPRIMĂRII DE VOLUM

Virgil Cheptea

(Universitatea de Stat "Alecu Russo", Republica Moldova)

Sunt determinate tensiunile anizotropice, care apar în probe din bismut, supuse comprimării de volum, la răcirea lor. Aceste tensiuni au o natură de comprimare și ating valori de $65-70\text{ MPa}$ când proba este supusă unei presiuni hidrostatice de 0.2 GPa . La creșterea ulterioară a presiunii, ele rămân constante și se adaugă presiunii din bomba în care este situată proba.

Metoda inelului de obținere a deformațiilor uniaxiale (anizotropice) presupune că sistemul probă-inel este supus unei comprimări hidrostatice. Deformația sistemului probă-inel va fi cu atât mai omogenă, cu cât comprimarea de volum va fi mai uniformă. Pentru obținerea presiunilor hidrostatice, în practică, se utilizează mai frecvent metoda "presiunii fixate" [1]. Presiunea este creată într-un cilindru (al cărui diametru interior este de ordinul a 3-6 mm) cu piston, apoi se fixează mecanic. Acest sistem se mai numește bombă.

Metoda presupune crearea presiunii la temperatura camerei, temperatură la care plasticitatea mediilor ce transmit presiunea către probă este înaltă, asigurând o comprimare hidrostatică a probei.

Pentru măsurări la temperaturi joase, de obicei, se folosește un amestec de gaz lampat-ulei, sau pentan-ulei (50% ulei). În acest caz, pentru mărirea ulterioară a presiunii, este necesară încălzirea, de fiecare dată, a bombei pînă la temperatura camerei. În procesul răcirii, mediul care transmite presiunea către probă se solidifică. Majoritatea lichidelor trec în fază solidă la temperaturi mari, cu excepția amestecului ulei-pentan, care la presiune normală se solidifică la temperatura de $\approx -$

140 °C și a amestecului gaz lampat-ulei care se solidifică la ≈ -80 °C. Cu cât este mai joasă temperatura de solidificare a mediului și cu cât mai încet are loc răcirea, cu atât mai mare va fi gradul de uniformitate a comprimării de volum.

Menționăm că, chiar dacă măsurările se efectuează la temperatura camerei, la care plasticitatea mediilor ce transmit presiunea spre probă este mare, cu creșterea presiunii aceste medii devin mai puțin plastice și se solidifică. De exemplu, gazul lampat la temperatura camerei se solidifică la presiunea de ≈ 2 MPa, iar pentanul la ≈ 3 MPa. Gradul de omogenitate al presiunilor obținute prin această metoda depinde de mecanismul solidificării (la răcire și la creșterea presiunii) și de variația volumului legat de el. Datorită acestor procese, presiunea nu se transmite uniform în toate direcțiile (nu mai este hidrostatică), fapt ce condiționează apariția unor tensiuni anizotropice suplimentare, de care trebuie să se țină cont, deoarece ele influențează caracterul deformației probei. În [1], s-a constatat că, la temperatura camerei, apar salturi apreciabile ale presiunii din bombă (apariția tensiunilor anizotropice) la presiuni $p \geq 1.6$ GPa. De asemenea, se cunoaște [2] că aceste tensiuni apar datorită procesului neuniform de solidificare a mediului în procesul răcirii și diferenței mari dintre valorile coeficienților dilatării termice a mediului și a materialului din care este confecționată bomba. Neuniformitatea presiunii în bombă este influențată și de alți factori: amenajarea probei în canalul bombei, diametrul canalului bombei, viteza de răcire etc. Pentru mărirea gradului de omogenitate a presiunii se utilizează medii de transmitere a presiunii către probă care au o temperatură de solidificare mai joasă, se micșorează viteza de răcire, se utilizează bombe cu diametrul mai mare al canalului, se micșorează dimensiunile probei. Scopul prezentei lucrări constă în analiza calitativă a mărimii și a caracterului acestor tensiuni suplimentare, în special, a tensiunilor cauzate de forma, dimensiunile și felul de amenajare a probelor în bombă.

Metodica experimentului

S-a studiat regimul de lucru în bombe confecționate din aliaj bronză-beriliu BRB-2 cu diametrul canalului $d = 4$ mm. Ca mediu de transmitere a presiunii s-a utilizat un amestec de ulei-pentan (50% ulei), iar răcirea bombei pînă la temperatura de 80 K a avut loc în decurs de 2-3 ore. Acest regim asigură gradul de omogenitate necesar studiului efectelor cuantice și galvanomagnetice. În calitate de captoare pentru măsurarea presiunii au fost folosite manometre din manganin, precum și manometre supraconductoare din staniu. Datorită dimensiunilor mici ale probelor și, în general, ale sistemului probă-inel (de ordinul 2-3 mm), măsurarea directă a mărimii deformației reprezintă o problemă complicată. Din această cauză, s-au utilizat metode indirecte. În această lucrare, caracterul și mărimea deformațiilor probelor se determina prin analiza modificării secțiunii suprafeței Fermi în funcție de mărimea deformației probei. Calculele efectuate în cadrul modelului McClure (legea dispersiei) permit obținerea informației despre mărimea deplasării granițelor zonelor energetice la aceste deformații. În acest scop au fost studiate probe monocristaline din bismut, ale căror proprietăți fizice sunt bine

cunoscute atât la comprimarea hidrostatică [3], cât și la deformarea lor uniaxială [4]. Utilizînd potențialele de deformare, cunoscute pentru bismut, putem analiza atât calitativ cât și cantitativ caracterul tensiunilor suplimentare ce apar în probă. Variația relativă a secțiunilor minimale ale suprafeței Fermi $\frac{\Delta s}{s}$ în funcție de mărimea efortului axial s-a determinat după metoda descrisă în [5]. S-au cercetat trei tipuri de probe, avînd forma de paralelipiped. Amenajarea lor în canalul bombei este prezentată în fig. 1.

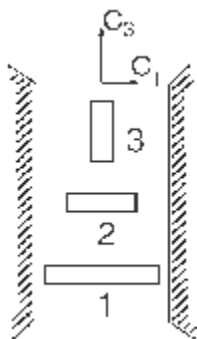


Fig. 1. Amenajarea schematică a probelor în canalul bombei.

Probele 1 și 2, pentru care raportul dintre lungimea lor l și diametrul canalului bombei d este egal, respectiv, cu 0.9 și 0.5, au fost amenajate în bombă perpendicular pe axa ei. Probele 3, pentru care $\frac{l}{d}=0.2$ au fost amenajate de-a lungul axei bombei, la mijlocul canalului, unde omogenitatea presiunii este maximală. Axa bisectoare C_1 , în toate cazurile, a fost orientată perpendicular pe axa bombei, iar axa trigonală C_3 - de-a lungul ei. Pentru înregistrarea oscilațiilor Shubnikov-de Haas în câmpul magnetic, s-a folosit metoda de modulație descrisă în [6]; câmpul magnetic este modulată de un semnal cu frecvența de 22 Hz și amplitudinea de 90 Oe cu ajutorul unor bobine alimentate de la un generator sonor.

Rezultatele experimentale și analiza lor

Rezultatele experimentale sunt prezentate în fig. 2 și fig. 3. Se observă o deosebire cantitativă în dependența $\frac{\Delta s}{s}(p)$ pentru probe de diferite tipuri; la o presiune în bombă $p \approx 0.1 \text{ GPa}$, variația secțiunii suprafeței Fermi la probele de tipul 1 este de aceeași natură ca și în cazul comprimării uniaxiale în lungul axei C_1 [4]: secțiunea elipsoidului electronic S_1 crește cu 60%, iar secțiunile celorlalți doi elipsoizi (S_2 și S_3) se micșorează.

La creșterea de mai departe a presiunii în bombă, efectul de comprimare uniaxială a probelor de tipul 1 rămîne constant și se suprapune efectului caracteristic comprimării hidrostactice (micșorarea echivalentă a secțiunilor celor trei elipsoizi electronici). În probe de tipul 2, efectul comprimării uniaxiale este

pronunțat mai puțin: creșterea secțiunii S_1 la presiunea în bombă de $p \approx 0.1 \text{ GPa}$ este de numai $\sim 10\%$.

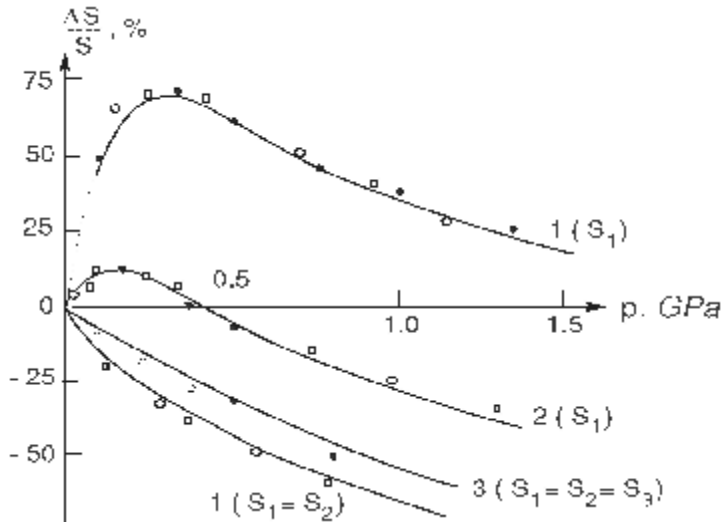


Fig. 2. Variația secțiunilor suprafeței Fermi la bismut în dependență de presiunea din bombă pentru diferite amenajări ale probelor în canalul bombei.

La probele de tipul 3, cum era de așteptat (acestea sunt amenajate în regiunea unde presiunea este mai omogenă - centrul canalului bombei), are loc o micșorare echivalentă a secțiunilor tuturor celor trei elipsoizi electronici cu viteza

$$\frac{1}{S} \frac{\partial S}{\partial p} = -0.06 (\text{GPa})^{-1}.$$

Felul de amenajare a probelor în canalul bombei nu influențează amplitudinea oscilațiilor.

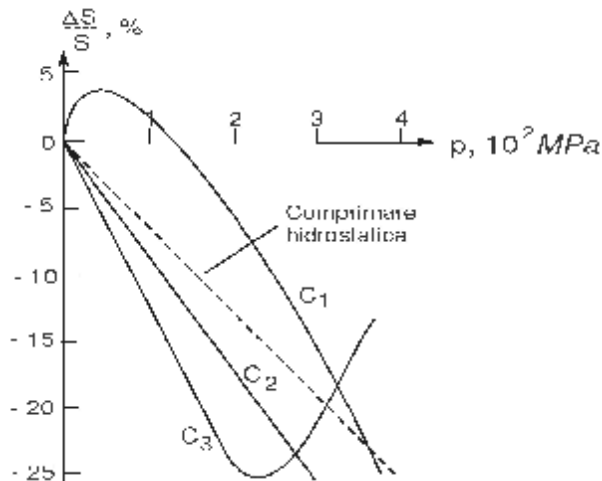


Fig. 3. Dependența variației relative a secțiunii suprafeței Fermi de efortul aplicat de-a lungul axelor C_1 , C_2 și C_3 [7].

Calculul tensiunilor care acționează asupra probelor s-a efectuat presupunându-se că ele sunt rezultatul acțiunii sumare a comprimării de volum și a celei uniaxiale în direcția C_1 . Pentru celelalte direcții, de-a lungul cărora proba este amenajată la o distanță relativ mare față de pereții canalului bombei, efectele comprimării uniaxiale sunt mici.

Aceste calcule ale tensiunilor uniaxiale σ de comprimare, care acționează în lungul probei, au fost efectuate în baza datelor experimentale prezentate în fig. 2 și fig. 3 și a potențialelor de deformare pentru bismut [5]. Dependența acestor tensiuni de presiunea din bombă este prezentată în fig. 4.

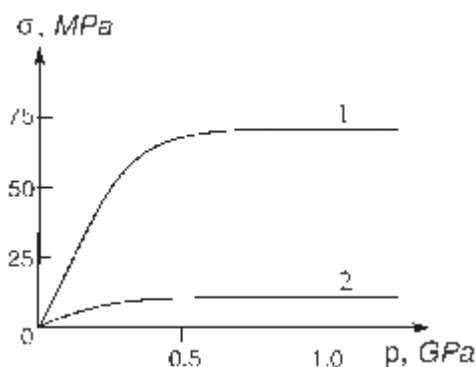


Fig. 4. Dependența tensiunii uniaxiale în lungul probelor de presiunea în bombă pentru probele de tipul 1 și 2.

Se observă că pînă la presiunea $p \approx 0.25 \text{ GPa}$, tensiunea crește, practic, proporțional cu presiunea, dar în mod diferit (în dependența de felul amenajării probelor în canalul bombei): pentru probele de tipul 1, raportul $\frac{\sigma}{p} = 0.2$, iar pentru cele de tipul 2 - $\frac{\sigma}{p} = 0.04$. Pentru probele de tipul 2, această creștere încetează începînd cu $p \approx 0.4 \text{ GPa}$, atingînd o valoare maximală $5.5 - 6.5 \text{ MPa}$ și rămîne constantă la mărirea ulterioară a presiunii în bombă. Pentru probele de tipul 1, creșterea tensiunii σ are loc pînă la presiuni $p = 0.55 \text{ GPa}$ și atinge valoarea maximală de $65 - 70 \text{ MPa}$; la creșterea de mai departe a presiunii din bombă, mărirea tensiunii rămîne constantă [8] și se adaugă presiunii hidrostatice.

Concluzii

Rezultatele obținute permit de a concluziona că în procesul răcirii probelor din Bi pînă la temperatura de 4.2 K , în probe apar tensiuni uniaxiale cu caracter de comprimare. Valoarea acestor tensiuni poate fi destul de mare ($65 - 70 \text{ MPa}$), dacă proba este plasată în apropierea pereților canalului bombei. La valori ale presiunii din bombă de pînă la $p \approx 0.25 - 0.3 \text{ GPa}$, probele de tipul 1 și 2 sunt supuse unei comprimări uniaxiale, în timp ce în probele de tipul 3 aceste tensiuni lipsesc. În intervalul $0 - 0.25 \text{ GPa}$ a presiunii din bombă, dependența $\sigma = f(p)$ este liniară. La creșterea în continuare a presiunii hidrostatice din bombă, tensiunile de

comprimare, care apar în probele de tipul 1 și 2, rămân constante și se adaugă presiunii hidrostatice. Rezultatele prezentate în lucrare permit determinarea caracterului deformației obținute cu ajutorul metodei inelului, și, de asemenea, facilitează interpretarea efectelor datorate acestor deformații, permițând separarea efectelor legate de comprimarea uniaxială de cele legate de comprimarea de volum.

Bibliografie

1. Е.С.Ицкевич, *Физические исследования при высоких давлениях*, т.1, Таллинн (1977), с 146
2. Н.Б.Брандт, С.В.Кувшинников, Н.Я.Минина, Е.П.Скипетров, *Приборы и техника эксперимента*, 1973, №6, с 160.
3. Н.Б.Брандт, Е.С.Ицкевич, Н.Я.Минина, *Влияние давления на поверхность Ферми металлов*, Успехи Физических наук, т.104, №3, (1971), с.459
4. Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский, Н.Я.Минина, В.Д.Широких *Изменение зонной структуры и электронные фазовые переходы у $Bi_{1-x}Sb_x$ при деформациях типа одноосного растяжения*, Журнал Экспериментальной и теоретической физики, т.78 (3), 1980, с 1114
5. М.Ю.Лавренюк, Н.Я.Минина *Полный расчет констант деформационного потенциала в висмуте по данным об изменении энергетического спектра при всестороннем и анизотропном сжатии*, Физика низких температур, т 14 (1), 1988, с.53
6. С.М.Чудинов, *Кандидатская диссертация*, МГУ (1972), с. 180
7. В.Кептя, *Новый метод создания сильных анизотропных упругих деформаций монокристаллов и его применение для исследования энергетического спектра висмута*, Кандидатская диссертация, МГУ, 1973, с.143
8. В.Кептя, М.Ю.Лавренюк, Н.Я.Минина, *Оценка негидростатичности сжатия в бомбах фиксированного давления при низких температурах/ Приборы и техника эксперимента*, 1987, №5, с 174.

CHARACTER OF ANISOTROPIC TENSIONS IN PROBES WITH LATERAL SUPPORT SUBJECT TO VOLUME COMPRESSION

Virgil Cheptea

(„Alec Russo” State University, Republic of Moldova)

Anisotropic tensions, that appear in probes made of Bi , subjected to volume compression, during cooling, are determined. These tensions are of a compressive nature, and reach values of 65-70 MPa, when a probe is subjected to a hydrostatic pressure of 0.2 GPa. With further growth of pressure, the tensions remain constant, and are added to the pressure inside the bomb that contains the probe.

Prezentat la redacție la 22.09.07