

Термодвойка

Васил Николов
(Dated: 08.03.2022)

I. Цел на упражнението

Да се наблюдава втвърдяването на смес на Вуд, и да се изследва и калибрира термодвойка, потопена в сместа.

II. Експериментална установка

Едната част на диференциална термодвойка е потопена в термос с вода и лед, а другата - в колба съдържаща сплав на Вуд. Върху сплавта е изсипан глицерин, за да се избегне окисляване, и цялата колба е потопена във вода, която може да се нагрява от котлон. Термодвойката е свързана към усилвател на напрежението, който го превръща в сигнал от порядъка на десетки милivolти, който може да се измери с мултицет с точност $\delta U_0 = 0.1 \text{ mV}$. Тъй като единият край на термодвойката е потопен в среда с температура $T_0 = 0^\circ\text{C}$, то напрежението от усилвателя отговаря на температурата на сместа в целзиеви градуси. След като колбата със сместа се нагрее до $T_{max} = 92^\circ\text{C}$ котлонът се премахва и сместа се охлажда. Правят се измервания докато се стигне до $T_{min} = 52^\circ\text{C}$, като в този температурен интервал е и температурата на фазовия преход на сместа на Вуд, около $T_{ph} = 69^\circ\text{C}$. За калибрация на термодвойката се използва живачен термометър, който също е потопен в сплавта.

III. Теоретична обосновка

A. Градуиране на термодвойката

Заради неидеалност на усилвателя и ефекта на Зийбек не може да очакваме идеална зависимост на термоелектродвижещото напрежение от разликата в температурите.

$$U_{ideal} = K\Delta T$$
$$U_{real} = a\Delta T^2 + b\Delta T + c$$

Измереното термоелектродвижещото напрежение се приближава с полином от втора степен защото по-високи степени не добавят точност в модела.

B. Фазов преход на сплав на Вуд

При охлаждането на сместа очакваме експоненциално намаляване на температурата до достигането на фазовия преход, плато на температурата при температурата на фазовия преход и отново експоненциално намаляване след него. Следователно очакваме функцията на температурата от времето да е следната

$$T(t) = \begin{cases} T_r + (T_0 - T_r)e^{-\lambda t} & \text{for } t < t_1 \\ T_{ph} & \text{for } t_1 < t < t_2 \\ T_r + (T_{ph} - T_r)e^{-\lambda(t-t_2)} & \text{for } t > t_2 \end{cases} \quad (1)$$

Тук T_r е стаината температура. Фитираме такава крива по метода на най-малките квадрати, за да намерим оптималните стойности на параметрите λ, t_1, t_2 и T_r . Трябва да отчетем, че

$$T_{ph} = T_r + (T_0 - T_r)e^{-\lambda t_1}$$

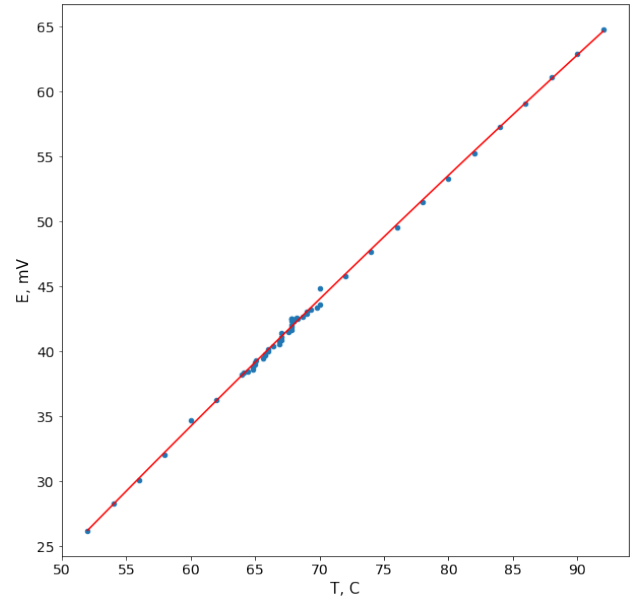
Така можем да определим точно кога започва и приключва фазовият преход, и при каква температура се случва той.

IV. Експериментални данни и резултати

A. Градуиране на термодвойката

На графиката са представени измерените стойности за термоелектродвижещото напрежение като функция на температурата, както и най-добре описващата ги параболата.

Фигура 1. Термоелектродвижещо напрежение като функция на температура



Параметрите на калибровъчната крива са

$$a = -1.296 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mV}}{\text{K}^2}, \quad b = 1.147 \frac{\text{mV}}{\text{K}}, \quad c = -29.89 \text{ mV}$$

Съобразявайки в коя част на параболата е интервалът на измервания можем да пресметнем офратната функция

$$T = T(E) = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4a(c - E)}}{2a} \quad (2)$$

Грешката при определяне на температурата по този начин е

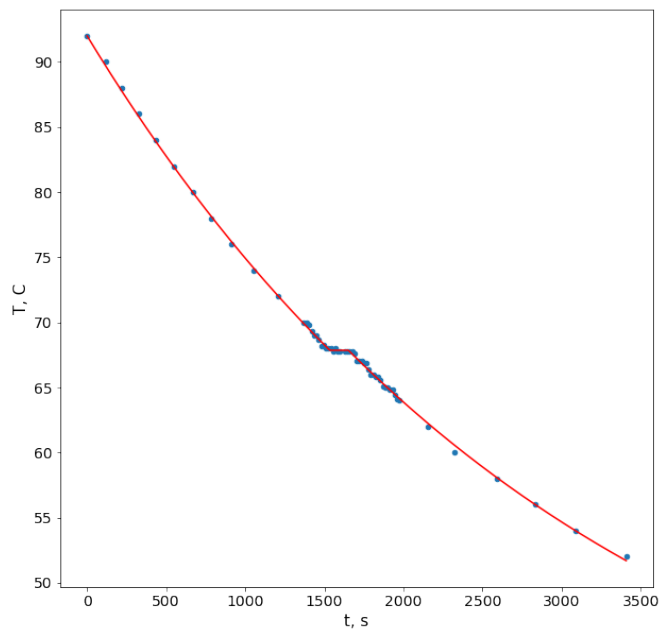
$$\delta T = \sqrt{T_{mse}^2 + \left(\frac{\delta U_0}{b}\right)^2} = 0.3 \text{ K}$$

Тук T_{mse} е средната квадратична грешка на пресметнатата температура.

B. Фазов преход на сплав на Вуд

На фигура 2 е представена графика на температурата на сплавта като функция на времето, и най-добрата функция от вид (1)

Фигура 2. Температура на сплавта като функция на времето



Платото на температурата се получава при $T_{ph} = 67.9^{\circ}C$. Това е температурата на фазовия преход за тази смес на Вуд. Средата на платото е около $t_{mid} = 1600s$. В този момент напрежението е $E_{mid} = 42.4mV$. Това отговаря на температура $T_{th} = 68.3^{\circ}C$, пресметнато по (2). Ако термодвойката е калибрирана правилно то

$$|T_{th} - T_{mid}| < \delta T_{term} + \delta T$$

$$|T_{th} - T_{mid}| = 0.4^{\circ}C$$

$$\delta T_{term} + \delta T = 0.8^{\circ}C$$

Следователно калибрацията е точна.