

## ЗАВИСИМОСТЬ ИЗБЫТОЧНОЙ ЭНТРОПИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕКОЛ ОТ ИХ ИЗБЫТОЧНОЙ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

<sup>1</sup>Макаров А.С., <sup>1</sup>Кретьева М.А., <sup>1</sup>Афонин Г.В., <sup>2</sup>Qiao J.C., <sup>1,3</sup>Глезер А.М.,  
<sup>4</sup>Кобелев Н.П., <sup>1</sup>Хоник В.А.

<sup>1</sup>Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж, Россия

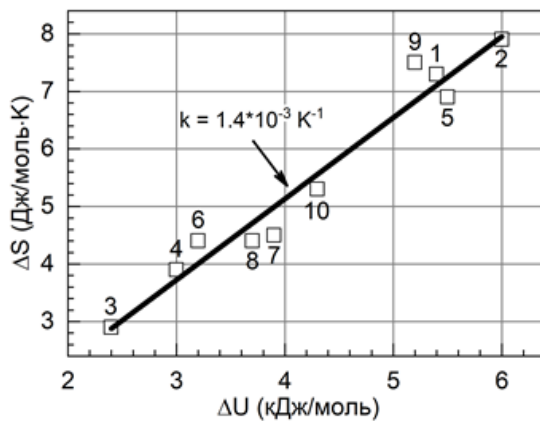
<sup>2</sup>Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China

<sup>3</sup>Национальный исследовательский университет МИСиС, Москва, Россия

<sup>4</sup>Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Россия

[a.s.makarov.vrn@gmail.com](mailto:a.s.makarov.vrn@gmail.com)

Термодинамические потенциалы (ТП) металлических стекол (МС) отличаются от таковых для материнских кристаллов, которые получаются в результате полной кристаллизации МС без последующих фазовых превращений. В работе [1] предложен оригинальный способ определения избыточных (т.е. связанных собственно с некристаллическим состоянием) ТП МС в сравнении с их материнскими кристаллами. Избыточная молярная внутренняя энергия  $\Delta U$  и избыточная молярная энтропия  $\Delta S$  МС может быть определена по данным дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) с помощью соотношений (1) и (2) соответственно:



**Рис.** Зависимость избыточной энтропии  $\Delta S$  (формула (2)) от избыточной внутренней энергии  $\Delta U$  (формула (1)). Линия дает среднеквадратичную линейную аппроксимацию

$$\Delta U(T) = \frac{1}{T} \int_T^{T_{cr}} \Delta W(T) dT \quad (1),$$

$$\Delta S(T) = \frac{1}{T} \int_T^{T_{cr}} \frac{\Delta W(T)}{T} dT \quad (2),$$

где  $\dot{T}$  – скорость нагрева,  $\Delta W$  – дифференциальный молярный тепловой поток,  $T$ ,  $T_{cr}$  – пределы интегрирования, которые выбираются так, чтобы избыточная внутренняя энергия обращалась в нуль при температуре полной кристаллизации  $T_{cr}$ .

На рис. приведена зависимость избыточной энтропии  $\Delta S$  (формула (2)) от избыточной внутренней энергии  $\Delta U$  (формула (1)). Линия показывает среднеквадратичную линейную аппроксимацию с угловым коэффициентом

$d\Delta S/d\Delta U = k = (1.4 \pm 0.1) \cdot 10^{-3} K^{-1}$  и коэффициентом Пирсона 0.974. Цифры обозначают составы исследуемых МС: 1 –  $Zr_{47.5}Cu_{47.5}Al_5$ ; 2 –  $Zr_{48}Cu_{48}Al_4$ ; 3 –  $Zr_{50}Cu_{40}Al_{10}$ ; 4 –  $Zr_{47}Cu_{45}Al_7Fe_1$ ; 5 –  $Zr_{46}(Cu_{4/5}Ag_{1/5})_{46}Al_8$ ; 6 –  $Zr_{52.5}Ti_5Cu_{17.9}Ni_{14.6}Al_{10}$ ; 7 –  $Zr_{55}Co_{25}Al_{20}$ ; 8 –  $Cu_{49}Hf_{42}Al_9$ ; 9 –  $Pd_{40}Ni_{40}P_{20}$ ; 10 –  $Ti_{16.7}Zr_{16.7}Hf_{16.7}Cu_{16.7}Ni_{16.7}V_{16.7}$ . Из рис. видно, что избыточная энтропия  $\Delta S$  исследованных МС линейно растет с их избыточной внутренней энергией  $\Delta U$ . Величины  $\Delta S$  и  $\Delta U$  существенным образом зависят от химического состава МС. Можно ожидать, что релаксация физических свойств МС при термообработке будет также зависеть от этих величин.

*Работа поддержана грантом Российского научного фонда №20-62-46003.*

1. A.S. Makarov, G.V. Afonin, J.C. Qiao, A.M. Glezer, N.P. Kobelev, and V.A. Khonik, J. Phys. Cond. Matter. 33, 435701 (2021).