

**Термодинамические характеристики многокомпонентных  
аморфно-кристаллических сплавов на основе железа:  
эксперимент и теория**

<sup>1</sup>Горанский Г. Г., <sup>2</sup>Хина Б. Б.

<sup>1</sup>Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

<sup>2</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси

Аморфные металлические сплавы обладают уникальным сочетанием механических и физических свойств и широко применяются в качестве материалов и покрытий, а также как прекурсоры для получения нано- и субмикроркристаллических материалов. Для анализа термической устойчивости многокомпонентных аморфных сплавов необходимо знать их термодинамические характеристики: интегральные (энергия Гиббса, энтальпия) и парциальные (химические потенциалы компонентов), которые в настоящее время исследованы недостаточно.

В данной работе с использованием электрохимического метода мгновенного фиксирования электродвижущей силы (МФЭДС) измерены разности химического потенциала элемента-основы (Fe)  $\Delta\mu_{\text{Fe}}$  между чистым железом и многокомпонентными сплавами систем Fe-Si-B-Ni и Fe-Si-B-Ni-Co-Cr-Mo. Сплавы были получены закалкой из жидкого состояния (ЗЖС) и содержали дисперсные включения кристаллических фаз (интерметаллидов и боридов) в аморфной матрице. После ЗЖС сплавы подвергали атриторной обработке (АО) длительностью до 60 мин, при этом доля аморфной фазы возрастала от  $\approx 80$  до 98%. Для определения химического потенциала железа в многокомпонентной аморфной фазе  $\mu_{\text{Fe}}^{(am)}$  из экспериментальных значений  $\Delta\mu_{\text{Fe}}$ , относящихся к многофазному аморфно-кристаллическому сплаву, разработана термодинамическая модель, которая основана на CALPHAD-подходе. Для оценки парциальной молярной энтальпии железа  $h_{\text{Fe}}^{(am)}$  рассчитана интегральная энтропия аморфной фазы, которая, в отличие от кристаллических фаз, включает не только идеальную энтропию смешения, но и так называемую энтропию несоответствия по теории Mansoori et al.

В результате установлено, что с увеличением времени АО химический потенциал и парциальная молярная энтальпия железа в аморфной фазе снижаются, т.е. повышается ее термодинамическая устойчивость, что согласуется с данными дифференциального термического анализа. На основе современных теорий аморфного состояния сделан вывод о том, что полученные закономерности связаны с изменением атомно-кластерной структуры аморфной фазы под действием периодической пластической деформации при АО.