

In search of a metastable phase of Fe-Ga alloy

Interest in Fe-Ga alloys arose in the early 2000s after the discovery of the giant magnetostriction effect in them. It is now well known that the Fe-Ga system is characterized by the presence of two peaks of magnetostriction corresponding to the content of 19–20 at.% and 27–29 at.% Ga. A minimum is observed between these regions, and at a gallium content of >30 at.% magnetostriction decreases quite sharply. From the point of view of the practical use of Fe-Ga alloys, the region with a relatively low content of gallium (<30 at.%) is of greatest interest. Accordingly, the main efforts were directed to its study, while alloys with a high Ga content fell out of sight. Nevertheless, there is a need to study them, since at high concentrations of gal-

lium the precipitation of the metastable $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ phase is possible. According to theoretical estimates [1], this phase can be observed in Fe-Ga alloys with a decrease in the concentration of Ga down to 25 at.%. Its formation can affect the behavior of the magnetostriction constant (rapid decrease at a gallium content of >30 at.%). A series of diffraction experiments were carried out at the IBR-2 reactor at FLNP JINR, the purpose of which was to determine the concentration ranges and conditions under which $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ phases can be observed.

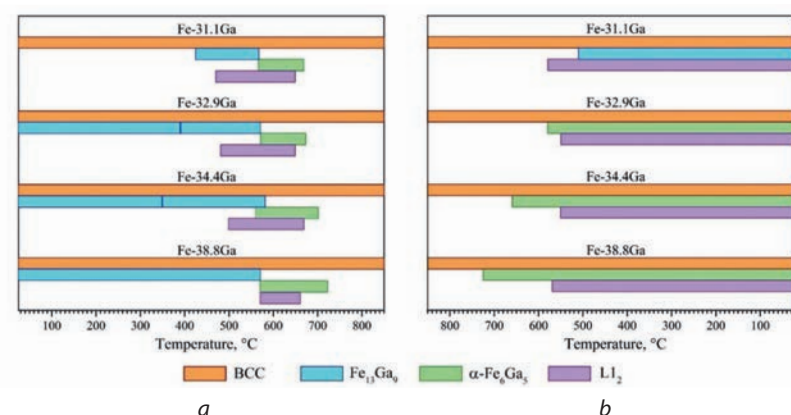
For a long time there was no information about the crystal structure of the $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ intermetallic compound, which was designated as the M-phase in early works devoted to the study of the

Fig. 1

Temperature ranges for the existence of phases during heating to 850°C (a) and subsequent cooling (b).

Рис. 1

Температурные интервалы существования фаз в процессе нагрева до 850°C (a) и последующего охлаждения (b).



В поисках метастабильной фазы Fe-Ga сплава

Интерес к Fe-Ga сплавам возник в начале 2000-х гг. после открытия в них эффекта гигантской магнитострикции. Сейчас хорошо известно, что для системы Fe-Ga характерно наличие двух пиковых значений магнитострикции, соответствующих содержанию 19–20 ат.% и 27–29 ат.% Ga с глубоким провалом между этими областями и довольно резким спадом при содержании галлия >30 ат.%. С точки зрения перспективы практического использования Fe-Ga сплавов наибольший интерес представляет область с относительно малым содержанием галлия (<30 ат.%), соответственно, основные усилия были направлены на ее изучение, в то время как сплавы с большим содержанием Ga несколько выпали из поля зрения. Тем не менее, в их изучении есть необходимость, так как при высоких concentra-

циях галлия возможно выделение метастабильной фазы $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$, которая согласно теоретическим оценкам [1], может наблюдаться в этих сплавах при понижении концентрации Ga вплоть до 25 ат.%. Ее формирование может влиять на поведение константы магнитострикции (быстрое уменьшение при содержании галлия >30 ат.%). В ЛНФ ОИЯИ на реакторе ИБР-2 была выполнена серия дифракционных экспериментов, целью которых было определение того, в каких диапазонах концентраций и при каких условиях в принципе возможно выделение фазы $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$.

Стоит отметить, что долгое время не было вообще никакой информации о кристаллической структуре интерметаллида $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$, который в ранних работах, посвященных изучению диаграммы состояния Fe-Ga, обозначался как M-

Fe-Ga state diagram. The necessary structural data were obtained recently in joint studies in cooperation with the group of Prof. Leineweber [1].

Comparative studies of the evolution of the phase composition of Fe-(31–38)Ga alloys in the as-cast state were carried out using the HRFD diffractometer during continuous heating to 850°C and subsequent cooling. The results obtained for the temperature ranges of the existence of various structural phases are shown in Fig. 1. Phase transformations in these metastable alloys proceed in a similar way and consist of several stages characterized by a certain set of features.

It was found that the $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ phase is present in the initial as-cast state of alloys with high gallium concentrations of 32.9–38.4 at.%, and the region of

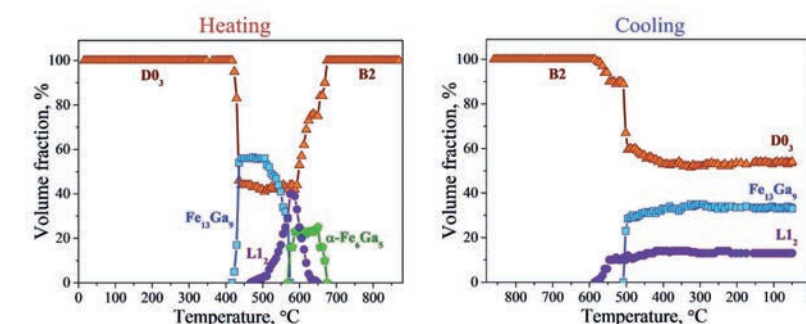
its existence is limited to a maximum temperature of ~570°C. An interesting fact is that a preliminary decrease in the iron content in $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ is necessary for the $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9 \rightarrow \alpha\text{-Fe}_6\text{Ga}_5$ transition to occur. Therefore, this phase transformation occurs after preliminary precipitation of the iron-rich L12 phase (Fig. 2). $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ is not detected during further cooling. $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ is absent in the as-cast state when the gallium content decreases to 31.1 at.%, but it precipitates during heating at ~425°C and is present up to 570°C, as in other alloys. In contrast to alloys with a higher Ga concentration, intermetallic $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ precipitates in the Fe-31.1 at.% Ga alloy during cooling at ~510°C, thus preventing the emergence of another monoclinic phase, $\alpha\text{-Fe}_6\text{Ga}_5$. These results are presented in [2, 3].

Fig. 2

The evolution of the phase composition of Fe-31Ga alloys during heating and subsequent cooling.

Рис. 2

Эволюция фазового состава сплавов Fe-31Ga в процессе нагрева и последующего охлаждения.



фаза. Лишь недавно в совместной работе с группой проф. Ляйневейбера удалось получить необходимые структурные данные [1].

На дифрактометре HRFD были проведены сравнительные исследования эволюции фазового состава сплавов Fe-(31–38)Ga в as cast состоянии при непрерывном нагреве до 850°C и последующем охлаждении. Полученные результаты по температурным интервалам существования различных структурных фаз показаны на рис. 1. Из них следует, что фазовые превращения в этих метастабильных сплавах протекают похожим образом и состоят из нескольких стадий, характеризующихся определенным набором признаков.

Было обнаружено, что в сплавах с большими концентрациями галлия 32.9–38.4 ат.% фаза $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ имеется в исходном as cast состоянии и

область ее существования ограничивается максимальной температурой ~570°C. Интересен тот факт, что для того, чтобы произошел переход $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9 \rightarrow \alpha\text{-Fe}_6\text{Ga}_5$, необходимо предварительное уменьшение содержания железа в $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$. Именно по этой причине это фазовое превращение происходит после предварительного выделения богатой железом фазы L12 (рис. 2). При охлаждении сплавов с 32.9–38.4 ат.%Ga фаза $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ не образуется. При уменьшении содержания галлия до 31.1 ат.% в as cast состоянии $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ отсутствует, но выделяется в процессе нагрева при ~425°C и существует, как и в других сплавах, вплоть до 570°C. В отличие от сплавов с большей концентрацией в сплаве Fe-31.1Ga интерметаллид $\text{Fe}_{13}\text{Ga}_9$ выделяется в процессе охлаждения при ~510°C, предотвращая выделение $\alpha\text{-Fe}_6\text{Ga}_5$. Эти результаты представлены в статьях [2, 3].