

УДК 620.22

**Д. Н. Абдуллина**

УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина,

г. Екатеринбург

*danya.harris@mail.ru*

Научный руководитель – канд. техн. наук *Н. И. Кардонина*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТПУСКА ЗАКАЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ Fe-N**

### **АННОТАЦИЯ**

В работе исследован фазовый и структурный состав закаленных порошковых материалов системы Fe–N после низкотемпературного отпуска. Образцы были получены методом искрового плазменного спекания (ИПС) азотированного порошка технического железа и подвергнуты закалке в воду с температуры 900 °С. Отпуск при температурах: 120, 140, 160 и 180 °С проводили в течение 14 дней. Установлено, что распад мартенсита с образованием метастабильной фазы  $\alpha''$ -Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub> начинается с температур отпуска 120 °С, а с образованием равновесной  $\gamma'$ -фазы с 160...180 °С.

*Ключевые слова:* фазовый состав, структура, отпуск, Fe-N-сплавы

### **ABSTRACT**

The phase composition and structure of Fe–N quenched materials after tempering at low temperature has been investigated. Samples were prepared by spark plasma sintering (SPS) of technical iron nitride powder and quenched in water from 900 °C. Tempering at temperatures of 120, 140, 160 and 180 °C was carried out for 14 days. It was found that martensite decomposition with metastable  $\alpha''$ -Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub> formation began at temperatures 120° C, but equilibrium  $\gamma'$ -phase formed at 160...180° C.

*Keywords:* phase composition, structure, tempering, Fe-N-alloys

В данной работе были изучены фазовые и структурные превращение закаленных объемных материалов системы Fe–N после отпуска при температурах: 120, 140, 160 и 180 °С в течение 14 дней. Исходным материалом для получения объемных компактов служил восстановленный порошок технического железа. Порошок был подвергнут азотированию в установке с виброкипящем слоем при температуре 650 °С в течение 5 часов в среде диссоциированного аммиака. Искровое плазменное спекание

компактов проводилось при температуре 650 °С и давлении 50 МПа в течении 60 мин. Образцы закаливались с температуры 900 °С в воду.

Исходно, образцы после закалки с температуры 900 °С в воду имели в структуре 98 % речного мартенсита и 2 % метастабильной фазы  $\alpha''$ -Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub>. Анализ фазового состава образцов после отпуска при температурах 120 и 140 °С в течении 14 дней единую картину фазовых превращений. Реализовался только один вариант распада  $\alpha' \rightarrow \alpha''$ -Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub> (рис. 1). С повышением температуры отпуска увеличилась доля Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub> в структуре.

Расчет параметров решеток фаз показал, что для  $\alpha''$ -фазы наблюдалось хорошее совпадение с литературными данными [1]. Для всех образцов периоды решетки  $\alpha''$ -Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub> составил:  $a = 5,769 \text{ \AA}$ ,  $c = 6,180 \text{ \AA}$ . С повышением температуры отпуска степень тетрагональности решетки  $\alpha'$ -фазы снижалась. При температуре отпуска 120 °С параметры решетки мартенсита составили:  $a = 2,8734 \text{ \AA}$ ,  $c = 2,8606 \text{ \AA}$ , при температуре отпуска 140 °С:  $a = 2,875 \text{ \AA}$ ,  $c = 2,859 \text{ \AA}$ .

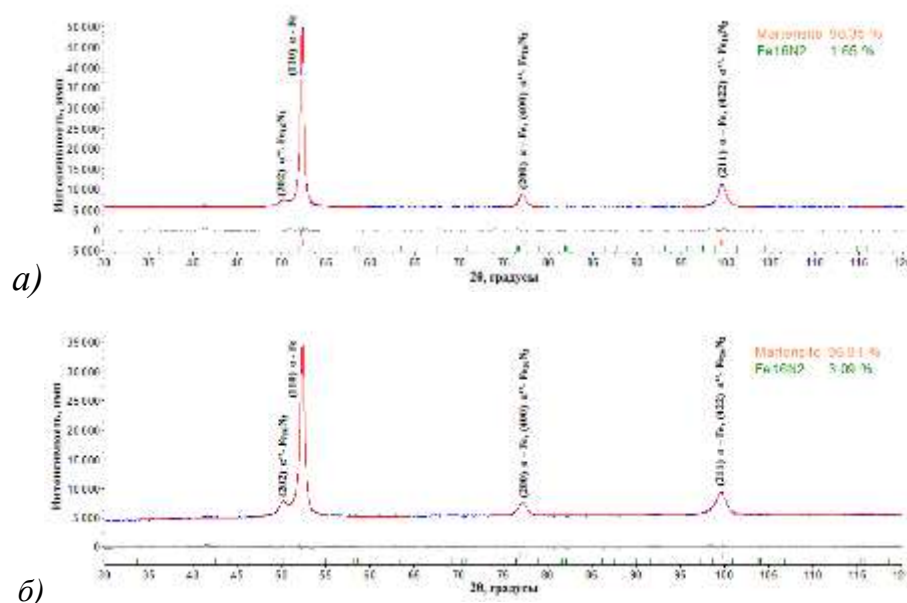
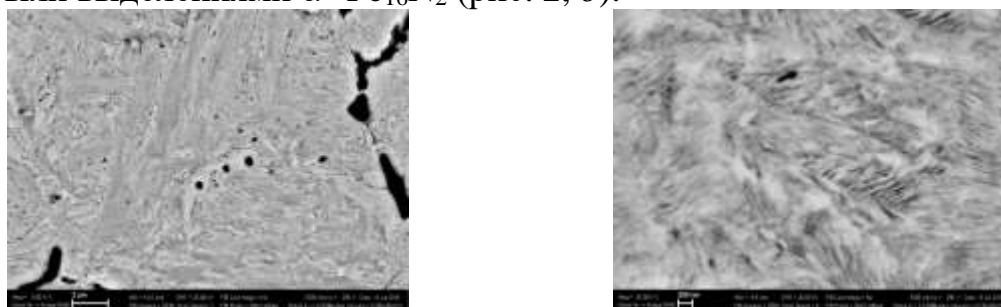


Рис. 1. Дифрактограммы компактов после отпуска: а) 120 °С; б) 140 °С

Анализ компактов методами РЭМ показал, что структура после отпуска 120 и 140 °С близка к структуре закаленного состояния (рис. 2, а). Однако внутри реек мартенсита наблюдались кристаллографически ориентированные выделения с размерами менее 200 нм, которые вероятнее всего были выделениями  $\alpha''$ -Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub> (рис. 2, б).



а) б)

Рис. 2. Микроструктура компактов после отпуска: а) 120 °С; б) 140 °С

Повышение температуры отпуска до 160 и 180 °С привело к образованию равновесной  $\gamma'$ -фазы (рис. 3). При этом с повышением температуры отпуска доля  $\gamma'$ -нитрида практически не изменилась и составила около 6 %, что связано с низким содержанием азота в материале (~ 2 ат. %). Однако, как и случае отпуска 120, 140 °С, параметр решетки  $\alpha$ -фазы не соответствовал равновесному составу и составлял 2,873 Å. Период решетки  $\gamma'$ -нитрида был равен 3,794 Å и соответствовал равновесным значениям [1]

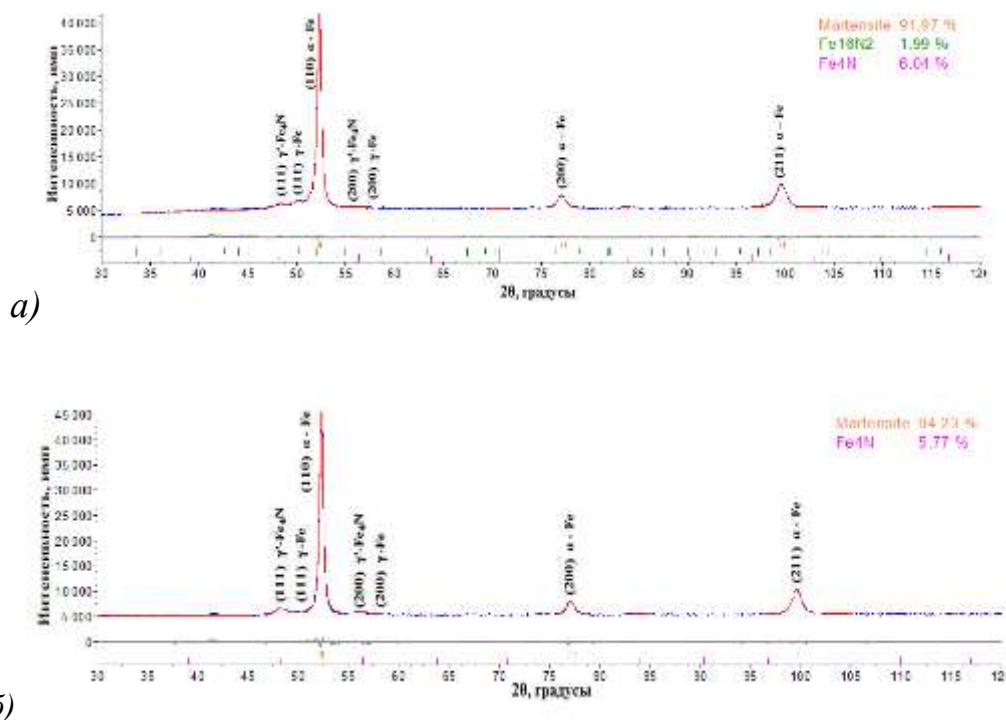


Рис. 3. Дифрактограммы компактов после отпуска: а) 160 °С; б) 180 °С

Исследование структуры компактов после отпусков при температурах 160, 180 °С методами РЭМ было выявлено наличие субструктуры внутри реек мартенсита, которая возникла в процессе полигонизации (рис. 4, а). Кроме того были обнаружены линзовидные выделения по границам реек с ярко выраженным химическим контрастом по сравнению объемами  $\alpha$ -азы, что позволило предположить, что это  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N.

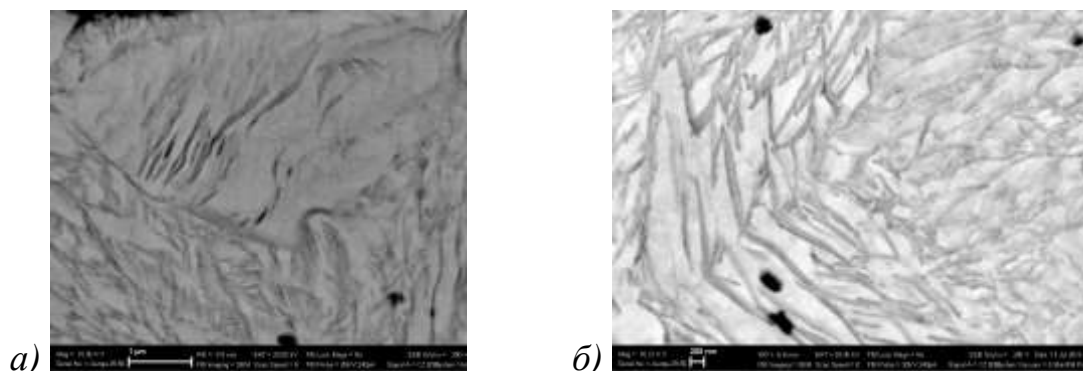


Рис. 4. Микроструктура компактов после отпуска: а) 160 °С; б) 180 °С

Таким образом было установлено, что только в процессе отпуска при температурах 120 и 140 °С происходит путем распада мартенсита  $\alpha' \rightarrow \alpha''$ - $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$ . Начиная с температур 160 °С был зафиксирован распад  $\alpha' \rightarrow \gamma'$ - $\text{Fe}_4\text{N}$ , что хорошо согласуется с данными [2]. Образование равновесной  $\gamma'$ - фазы привело практически полному выходу азота из решетки  $\alpha$ -фазы, что позволило развиваться процессам полигонизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wriedt H. A. The Fe–N (iron-nitrogen) system / H. A. Wriedt, N. A. Gokcen, R. H. Nafziger // *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*. 1987. Vol. 8. P. 235–246.
2. Malinov S. Phase transformations and phase equilibria in the Fe – N system at temperatures below 573 K / S. Malinov et al. // *Metall. Mater. Trans. A* 32A , 2001. P. 59–73.