

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУР И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Nb-Si, ПОЛУЧЕННЫХ ГИП

Строганова Т. С.*, Прохоров Д. В.*, Карпов М. И.*, Внуков В. И.*, Гнесин Б. А.*, Гнесин И. Б.*, Желтякова И. С.*, Самохин А. В.**, Логачев И. А.***

*Институт физики твердого тела РАН, г. Черноголовка, *stroganova@issp.ac.ru*

**Институт металлургии и материаловедения РАН, г. Москва

***ОАО Композит, г. Королев

В качестве высокотемпературных сплавов нового поколения рассматриваются эвтектические сплавы на основе диаграммы Nb-Si с комплексным упрочнением силицидами. Исходным материалом для исследования были слитки сплава состава Nb-9Mo-13Ti-4Hf-4Zr-4Al-4Cr-15Si (ат. %), полученные методом бестигельной индукционной плавки во взвешенном состоянии (левитационная плавка). Данные слитки подвергались дроблению сначала в стальной прессформе до частиц, размеры которых не превышали 350-400 мкм, и последующему размолу в планетарной шаровой мельнице в среде аргона. Полученные таким методом порошки были разделены с помощью вибросита на три фракции до 25 мкм, 25-50 мкм и более 50 мкм. Порошки 25-50 мкм и 50+ мкм подверглись ГИП в титановых гильзах при температуре $\sim 1400 \pm 10^\circ\text{C}$. После извлечения из капсулы, слитки сплавов имели диаметр 12 мм и длину 45-50 мм.

Кратковременные механические испытания проводили по схеме трех-точечного изгиба в температурном диапазоне от комнатной до 1300°C в вакуумной камере установки INSTRON 1195 со скоростью нагружения 0,5 мм/мин. Образцы для проведения испытаний с размерами $2 \times 3 \times 20$ мм вырезали из слитков электроэрозионным способом. Ползучесть сплавов исследовали при трех-точечном изгибе в температурном интервале $1150-1200^\circ\text{C}$ в атмосфере аргона.

На рисунке 1 представлены структуры образцов сплавов, приготовленных из смеси дисперсностью 25-50 мкм (далее NbSi(25-50)) и более 50 мкм (далее NbSi(50+)), после ГИП. По данным рентгеноспектрального микроанализа структуры образцов состояли из дисперсных выделений оксидов гафния HfO_2 размером до 10 мкм (область белого контраста), преимущественно распределенных вдоль границ зерен и размеры которых сравнимы с дисперсностью порошковой смеси, твердого раствора на основе ниобия Nb_{тв.р.р.} (область серого контраста) и силицидной составляющей Nb_5Si_3 (область темно-серого контраста). Соотношения структурных составляющих HfO_2 /Nb_{тв.р.р.} / Nb_5Si_3 составили 2/40/58 и 6/45/49 об. % для сплавов NbSi(25-50) и NbSi(50+), соответственно.

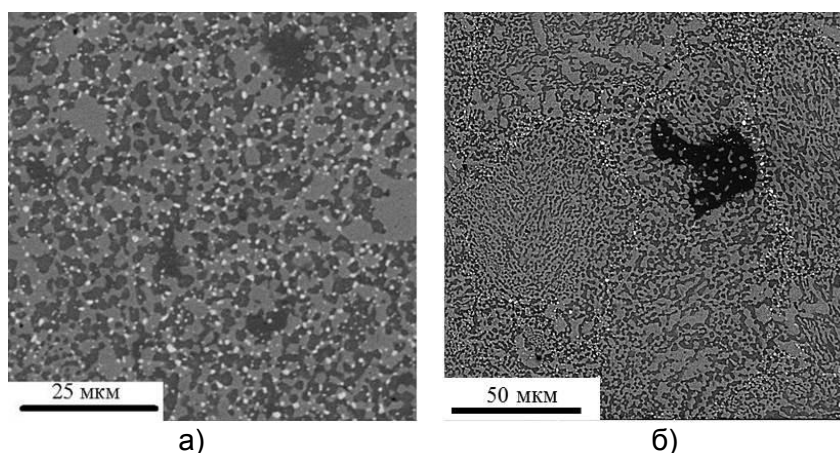


Рисунок 1 – Микроструктура сплавов NbSi(25-50) (а) и NbSi(50+) (б) после ГИП

Средние значения предела прочности на изгиб σ при комнатной температуре составили 490 МПа для обоих сплавов. Из данных рисунка 2 видно, что характер изменения величины кратковременной прочности от температуры испытания у обоих сплавов аналогичен и линейно падает с ростом температуры испытания. У образцов

сплава NbSi(25-50) прочность падает с 450 МПа при $T=1150^{\circ}\text{C}$ до 150 МПа при $T=1300^{\circ}\text{C}$. У образцов сплава NbSi(50+) – с 580 МПа при $T=1150^{\circ}\text{C}$ до 190 МПа при $T=1300^{\circ}\text{C}$.

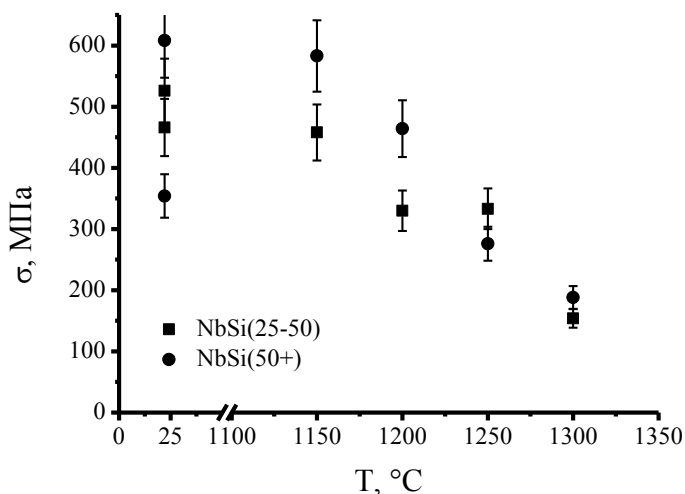


Рисунок 2 – Зависимость предела кратковременной прочности от температуры испытания

Наиболее интересными являются результаты испытания на высокотемпературную ползучесть, представленные на рисунке 3. У сплава NbSi(25-50) 100-часовая прочность (величина напряжения, вызывающая деформацию 1% за 100 часов) имеет величину 67 МПа при 1150°C и 43 МПа при 1200°C . В то же время у сплава NbSi(50+) более высокие значения 100-часовой прочности: 81 МПа и 70 МПа, соответственно при 1150°C и 1200°C .

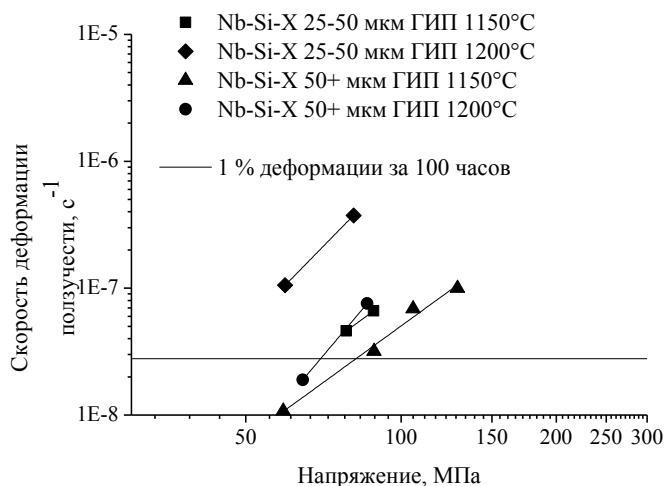


Рисунок 3 – Зависимость скорости деформации ползучести от напряжения для сплавов NbSi(25-50) и NbSi(50+)

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФТТ РАН и Программ РАН «Наноструктуры: физика, химия, биология, основы технологий».