

СТРУКТУРА И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Nb-C

Прохоров Д.В., Карпов М.И., Гнесин Б.А.

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

Изучены структура и механические свойства сплавов Nb80C20 и Nb40Mo40C20 при температурах 20–1500°C. Образцы сплавов Nb80C20 и Nb40Mo40C20 (ат.%) получали в два этапа. На первом исходные сплавы выплавляли методом электронно-лучевой вакуумной плавки в ручьевом медном водоохлаждаемом кристаллизаторе. На втором этапе полученные заготовки подвергали вакуумной электронно-лучевой зонной плавке с двукратным перемещением зоны вдоль оси заготовки. Скорость ее перемещения составляла 4 мм/мин. Полученные слитки имели диаметр 14-16 мм и длину 90 мм.

Кратковременные механические испытания проводили по схеме трех-точечного изгиба в температурном диапазоне от комнатной до 1500°C в вакуумной камере установки INSTRON 1195 со скоростью нагружения 0,5 мм/мин. Образцы для проведения испытаний с размерами 2×3×20 мм вырезали из слитков электроэрозионным способом. Ползучесть сплавов исследовали при трех-точечном изгибе в температурном интервале 1200-1500°C в атмосфере аргона.

Общий вид структуры сплава Nb80C20 характерен для сплава заэвтектического состава (рис. 1). Крупные, имеющие преимущественно округлую форму зерна (белого цвета на рис. 1 а) имеют состав, близкий к фазе Nb₂C. По общему виду и размеру – это первичные выделения карбида. Определить состав частиц фазы серого цвета в эвтектической смеси не удалось по причине их субмикронного размера. Матричная фаза – твердый раствор на основе ниобия. Средний состав соответствует сплаву Nb₇₅C₂₅, что близко к составу зашихтованного сплава. Данные рентгеноструктурного анализа не подтверждают наличие в сплаве фазы Nb₂C (рис. 2 а) В спектре присутствуют только линии твердого раствора на основе ниобия и карбида NbC с гексагональной структурой.

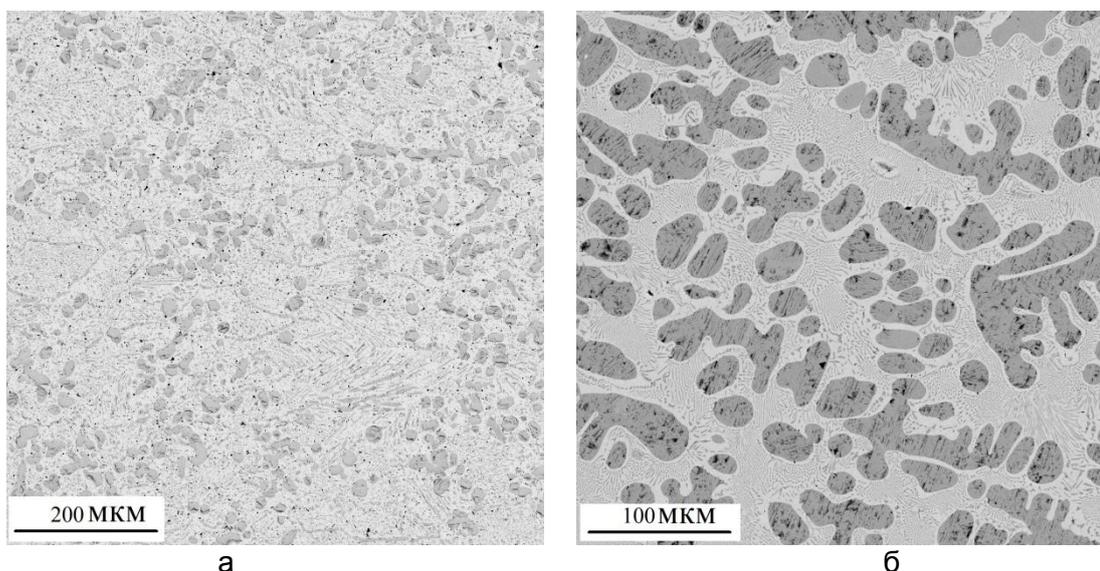


Рисунок 1- Характерная микроструктура Nb-C сплавов а – Nb80C20 и б – Nb40Mo40C20

Структура поперечного шлифа сплава Nb40Mo40C20 приведена на рис. 1б. Крупные дендриты округлой формы имеют средний состав Nb₄₄Mo₈C₄₈. Это близко к составу карбида (Nb₄₄Mo₈)C. Наличие такого карбида в сплаве подтверждают данными рентгеноструктурного анализа (рис. 2 б). Это карбид с кубической решеткой

(NbMo)C_{0,6}. Междендритное пространство заполнено дисперсными субмикронными частицами этого карбида, находящихся в матрице из твердого раствора примерного состава Nb₁₀Mo₄₀. Фактически это уже твердый раствор на основе молибдена. Данные рентгеноструктурных исследований показывают, что в процессе испытаний на длительную прочность при 1300–1450 °С структура сплава Nb₄₀Mo₄₀C₂₀ остается стабильной (рис. 2).

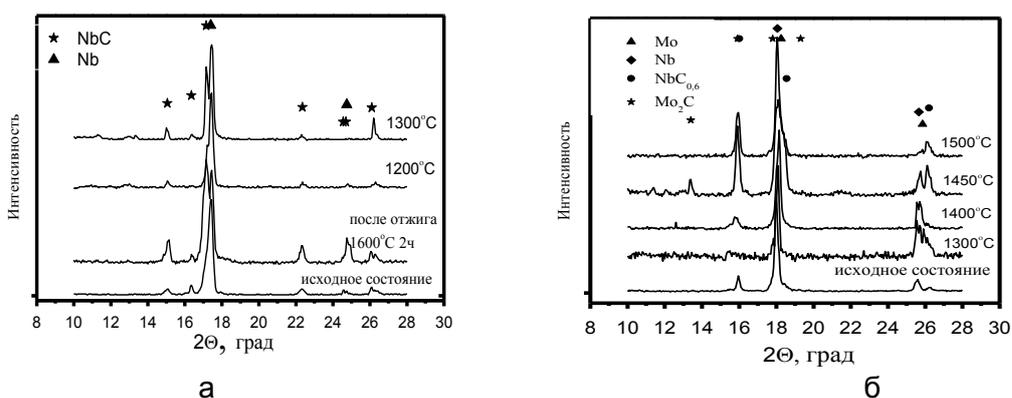


Рисунок 2 - Рентгенограммы сплавов в исходном состоянии после плавки и после испытаний на ползучесть а – Nb₈₀C₂₀ и б – Nb₄₀Mo₄₀C₂₀

Характер изменения кратковременной прочности сплавов с температурой испытания различен (рис. 3). У сплава Nb₈₀C₂₀ кратковременная прочность снижается с 750 МПа при комнатной температуре до 240 МПа при 1300 °С. У сплава Nb₄₀Mo₄₀C₂₀ при комнатной температуре прочность низкая и составляет 330 МПа. Однако с повышением температуры испытания прочность увеличивается, достигая максимума (1150 МПа) при 1400°С, и далее снижается до 900 МПа с повышением температуры до 1500°С. Трещиностойкость при комнатной температуре сплава Nb₄₀Mo₄₀C₂₀, имеющего наилучшую высокотемпературную прочность, оказалась невысокой: коэффициент концентрации напряжений $K^* = 4,6-5,2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

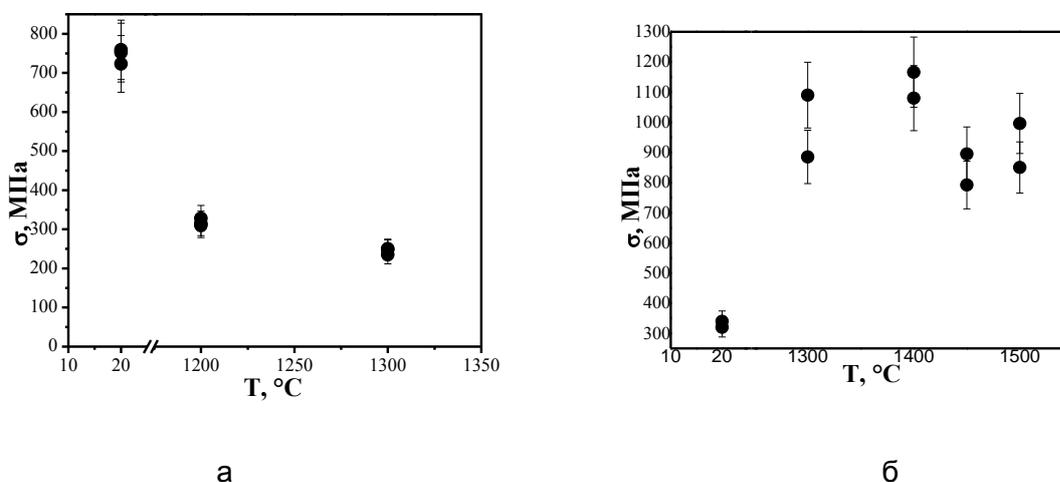


Рисунок 3 - Зависимость предела кратковременной прочности от температуры испытания для сплавов а – Nb₈₀C₂₀ и б – Nb₄₀Mo₄₀C₂₀

Наиболее интересными являются результаты испытания на высокотемпературную ползучесть, приведенные на рис. 4. У нелегированного сплава Nb80C20 100-часовая прочность (величина напряжения, вызывающая деформацию 1% за 100 ч) составляет 110 МПа при 1200 °С и 50 МПа при 1300 °С. В то же время у сплава Nb40Mo40C20 более высокая 100-часовая прочность, составившая 160-190 МПа, отмечена при более высоких температурах испытания – 1400–1500°С. Максимальное значение 100-часовой прочности, равное 190 МПа, получено при 1450°С.

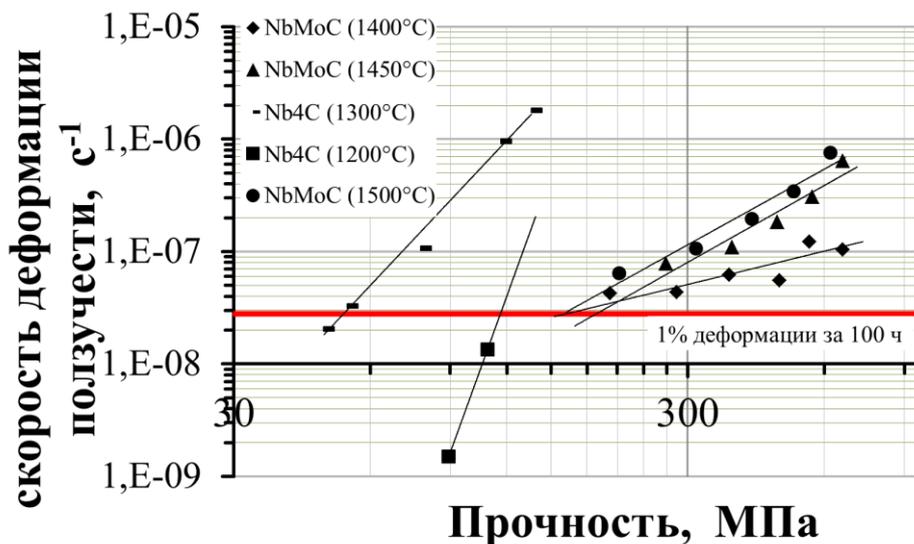


Рисунок 4 - Зависимости скорости деформации при ползучести от напряжения при различных температурах испытания

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