

ХОЛОД А.В., УЗУНЯН М. Д. проф.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ НАНОСТРУКТУРНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Внутренний модуль упругости наноструктурированного материала, по сути, тот же, что и у объемного с микронными размерами зерен, однако только до тех пор, пока размеры наночастиц не становятся очень малыми, менее 5 нм. Модуль Юнга — это коэффициент между напряжениями и относительной деформацией, то есть наклон кривой нагружения в ее линейной области. Чем меньше модуль Юнга, тем материал более эластичен. На рис. 1 показана кривая зависимости модуля Юнга E ; для железа с наноразмерными зернами, нормированного на значение E_0 для железа с обычными зернами, от размера нанозерна. Из этого рисунка видно, что при размере зерен менее 20 нм модуль Юнга начинает быстро падать [1].

Предел текучести σ_y традиционных материалов связан с размером зерна посредством уравнения Холла-Петча:

$$\sigma_y = \sigma_0 + Kd^{(1/2)}$$

где σ_0 — напряжение сил вязкого трения, тормозящих дислокацию; K — константа; d — размер зерна.

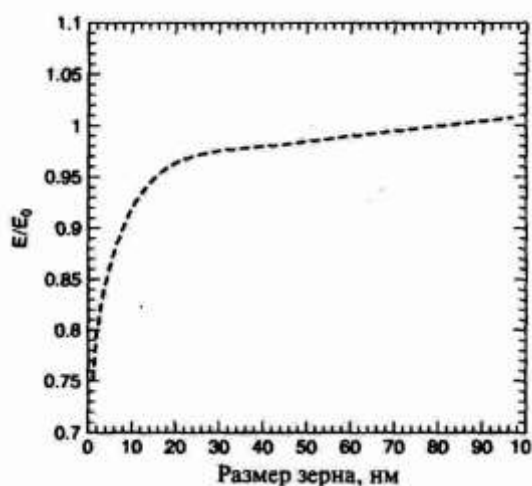


Рис. 1. Зависимость отношения модуля Юнга нанозернистого железа E к модулю Юнга железа с обычным размером зерен E_0 от размера зерна.

Твердость также можно описать аналогичным уравнением. На рис. 2 показана зависимость измеренного предела текучести $Fe-Co$ сплава от $d^{(1/2)}$, демонстрирующая предсказанное уравнением 1 линейное поведение.

Предполагая, что это уравнение справедливо и в нанометровой области размеров зерен, при $d = 50$ нм получим предел текучести 4.14 ГПа. Причина такого увеличения σ_y при уменьшении d состоит в том, что у материала с меньшими зёрнами больше границ зёрн, блокирующих движение дислокаций. Отклонение от поведения по закону Холла-Петча наблюдается при $d < 20$ нм. Оно может заключаться в отсутствии зависимости от размера зёрна (нулевой наклон), так и в падении σ_y с уменьшением d (отрицательный наклон)[2].

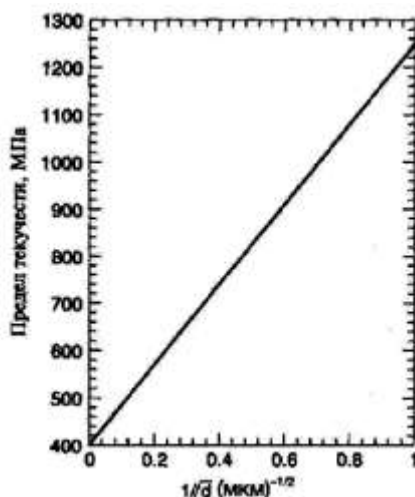


Рис. 2. Предел текучести *Fe-Co* сплава от $1/d^{1/2}$, где d — размер зерен

Считается, что традиционная деформация по дислокационному механизму в материалах с размером зерна меньше 30 нм невозможна ввиду малой вероятности появления подвижных дислокаций. Большинство объемных наноструктурированных материалов весьма хрупки и демонстрируют невысокую пластичность под нагрузкой.

Эти результаты подчеркивают важность выбора технологии обработки и влияние дефектов и микроструктуры на механические свойства.

Список литературы: 1. Ч. Пул, Ф. Оуэнс. Введение в нанотехнологию – М.: Техносфера, 2005. – 336 с. 2. Андриевский Р. А., Рагуля А. В. Наноструктурные материалы – М.: Учебное пособие, 2005, 192 с.