

торских параметров и ее технологичности с последующим внедрением на ПАО «Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе» (ПАО «ХТЗ»).

УДК. 536:669:621.762

**Е. Г. Афтандиянц, К. Г. Лопатько**

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,  
г. Киев

## **КИНЕТИКА ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ**

Закономерности фазовых превращений в металлических материалах определяются изменением свободной энергии системы, определяющим последовательность структурных состояний, и кинетикой процесса.

Кинетика фазовых превращений определяется скоростью зарождения центров новых фаз и их роста, которые соответственно обратно пропорциональны энергии активации и прямо пропорциональны коэффициентам диффузии компонентов, а скорость роста также обратно пропорциональна размеру образующейся фазы.

Анализ диффузионных процессов показывает, что при переходе металлического материала из массивного в наноразмерное состояние создаются предпосылки, как для ускорения, так и замедления скорости диффузии. Формирование нанобъектов с дисперсной структурой, развитыми границами, повышенным уровнем дефектов кристаллического строения и напряжений сопровождается уменьшением энергии активации и увеличением значений коэффициентов диффузии, что создает предпосылки для увеличения скорости зарождения центров новых фаз и их роста.

В случае образования нанобъектов с крупными зернами, слабо развитыми границами, незначительным количеством дефектов и низким уровнем напряжений, например при их формировании в равновесных условиях, наблюдается обратная зависимость.

Необходимо также учитывать отношение поверхностной энергии к размеру нанобъекта, поскольку при уменьшении его размеров диффузионные процессы ускоряются, однако величина поверхностной энергии при этом понижается, что оказывает противоположное влияние.

В зависимости от соотношения вышеизложенных факторов, которые определяются, в основном, химическим составом, способом получения, размером и формой нанообъектов, возможно как увеличение, так и уменьшение скорости зарождения и роста новых фаз.

Неоднозначное влияние многочисленных факторов на условия образования и кинетику реализации фазовых превращений в нанообъектах предопределило исследование закономерности изменения температур и кинетики фазовых превращений в наночастицах относительно массивного состояния металлических материалов.

Анализ фазовых превращений наночастиц оксидов CuO в процессе нагрева показывает, что в наночастицах CuO процесс окисления и диссоциации начинается при температурах, соответственно, в 7 и 1,3 раз ниже, чем в массивных материалах, а температурный интервал восстановления сокращается в 9,8 раза.

Анализ кинетики фазовых превращений железосодержащих наночастиц, полученных электроискровой обработкой железных гранул в воде, показывает, что в интервале от 409 до 478 °С происходит окисление  $\approx 50\%$   $\alpha$ -Fe железа водяным паром до оксида FeO и образование водорода, а в интервале от 570 до 721 °С восстановление оксида Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> водородом до FeO. Максимальное развитие реакций наблюдается, соответственно, при 449 и 627 °С и времени составляющим 59 и 37 %, от общего времени фазовых превращений.

Реакция окисления железа водяным паром до оксида FeO заканчивается, а восстановление оксида Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> водородом до FeO начинается при температурах, соответственно, на 186 и 108 °С меньше, чем в равновесных условиях (664 и 678 °С, соответственно). Средняя скорость окисления железа водяным паром до FeO составляет 14,5 нм/мин, что в 1,8 – 2,6 раза выше, чем массивного железа в соответствующем интервале температур. Средняя скорость превращения наночастиц Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> в FeO составляет 3,11 мг/мин.