

Кинетика и механизм высокотемпературного взаимодействия титана с сажей и титана с графитом при электротепловом взрыве под давлением

А.В. Щербаков, В.А. Щербаков

Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН

Настоящая работа посвящена экспериментальному изучению макрокинетики быстропротекающего высокотемпературного взаимодействия в порошковых смесях титана с сажей и титана с графитом методом электротеплового взрыва (ЭТВ). Суть метода заключается в измерении температуры исследуемого гетерогенного образца и электрических параметров процесса (электрическое напряжение и ток) при контролируемом джоулевым нагреве в условиях квазиизостатического сжатия. Сжатие осуществляли для уменьшения электрического сопротивления и предотвращения разрушения образца примесными газами, выделяющимися в ходе экзотермического взаимодействия.

Изучено влияние электрического напряжения на закономерности ЭТВ и формирование микроструктуры продуктов реакции. На рис. 1 представлены экспериментальные термограммы ЭТВ смесей титана с сажей (а) и титана с графитом (б). Видно, что величины критических электрических напряжений, при которых осуществляется тепловой взрыв смесей титан-сажа (рис. 1а, кривая 2) и титан-графит (рис. 1б, кривая 2), составляют 4 и 5 В. Увеличение электрического напряжения на исследуемом образце приводит к уменьшению времени предвзрывного разогрева, температуры воспламенения и увеличению максимальной температуры теплового взрыва. Установлено, что на стадии предвзрывного разогрева происходит формирование электрических контактов между частицами реагентов. Это приводит к значительному (на порядок) уменьшению электросопротивления образца. Увеличение электрической мощности нагрева приводит к нелинейному росту температуры образца.

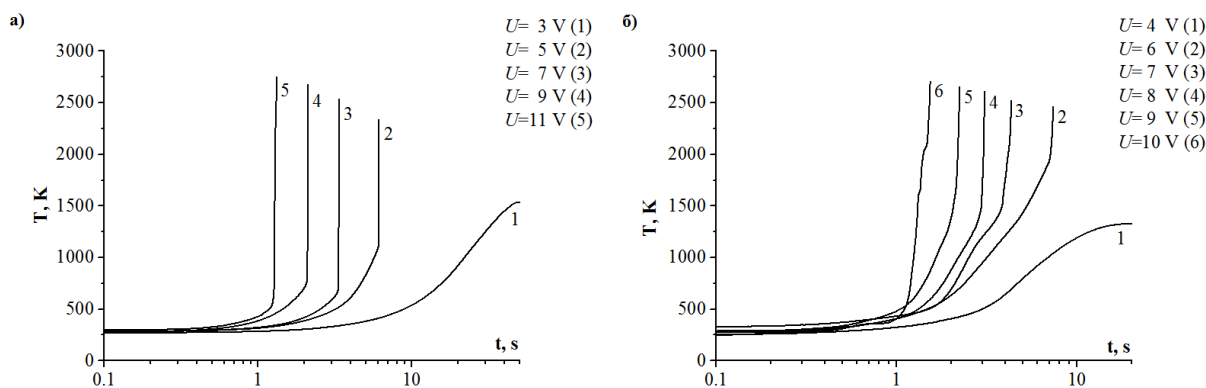


Рис. 1. Термограммы ЭТВ гетерогенных смесей титана с сажей (а) и титана с графитом (б), полученные при $P=48$ МПа и различных значениях электрического напряжения.

На рис. 2 представлены зависимости скорости нагрева при ЭТВ смесей титан-сажа (а) и титан-графит (б). Установлено, что на стадии теплового взрыва увеличение мощности химического тепловыделения при взаимодействии титана с сажей происходит при температурах ниже температуры плавления титана. Это указывает на то, что взаимодействие титана и сажи протекало по механизму реакционной диффузии в твердой фазе. Характерным для этого режима является образование слоя конечного продукта (TiC) на поверхности частиц титана (рис. 3а).

Напротив, интенсивное взаимодействие в смеси титана с графитом происходит при температуре близкой к температуре плавления титана. В этом случае взаимодействие реагентов протекает с участием жидкой фазы, а зерна карбида титана формируются при кристаллизации

насыщенного расплава. Характерной особенностью этого режима является процесс рекристаллизации, в результате которого формируются крупные частицы карбида титана (рис. 3б).

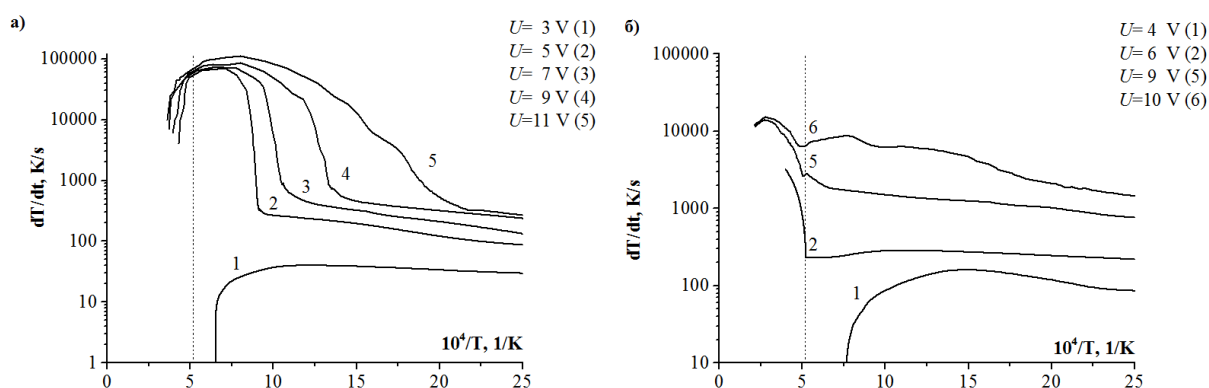


Рис. 2. Скорости нагрева при ЭТВ смесей титан-сажа (а) и титан-графит (б), полученные при $P=48$ МПа и различных значениях электрического напряжения.

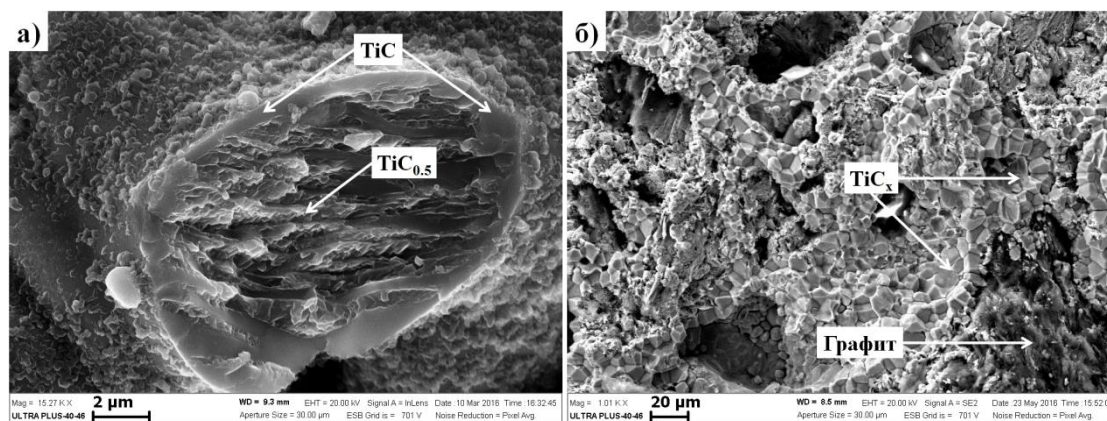


Рис. 3. Микроструктуры образцов, полученных после джоулева нагрева смеси титан-сажа (а) и ЭТВ смеси титан-графит (б).

Из полученных аррениусовских зависимостей определены значения эффективных энергий активации высокотемпературного взаимодействия в гетерогенных системах при давлениях квазиизостатического сжатия 48 и 96 МПа. Установлено, что при $P=48$ МПа для смеси титан-сажа при напряжениях 5, 7, 9 и 11 В энергии активации составили 621, 305, 199 и 56 кДж/моль, а для смеси титан-графит при напряжениях 6, 9 и 10 В составили 112, 91 и 41 кДж/моль. Уменьшение электрического напряжения приводит к увеличению эффективной энергии активации взаимодействия. Это связано с увеличением толщины конечного продукта на реагентах при увеличении времени предвзрывного разогрева и торможением реакционной диффузии. При $P=96$ МПа для смеси титан-сажа при напряжениях 5, 6, 7 и 11 В энергии активации составили 222, 185, 92 и 24 кДж/моль. Таким образом, увеличение давления сжатия приводит к уменьшению эффективной энергии активации высокотемпературного взаимодействия.

Сведения об авторах

А.В. Щербаков: младший научный сотрудник Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, Черноголовка, Московской области, Россия, ismandrew@ism.ac.ru, +7(49652)46-311.

В.А. Щербаков: д.ф.-м.н., зав. лаб., главный научный сотрудник Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, Черноголовка, Московской области, Россия, vladimir@ism.ac.ru, +7(49652)46-291.