

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АЛЮМИНИЯ НА ТЕРМОГРАММУ СИНТЕЗА ИНТЕРМЕТАЛЛИДА Ni_3Al В РЕЖИМЕ ТЕПЛООВОГО ВЗРЫВА

В. Е. Овчаренко, Е. Н. Боянгин

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634048 Томск

Экспериментально исследованы термограммы высокотемпературного синтеза алюминида никеля Ni_3Al в режиме теплового взрыва порошковых смесей чистых элементов при изменении соотношения компонентов в смесях в пределах однофазного состава интерметаллида. Проведен количественный анализ зависимостей основных термокинетических параметров процесса теплового взрыва от содержания алюминия в исходной порошковой смеси.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) интерметаллидов в режиме теплового взрыва при синхронизации процессов синтеза и компактирования конечного продукта СВС является перспективным направлением развития технологии получения жаропрочных композиционных материалов нового поколения. Высокие скорости теплового взрыва и фазовых превращений в термореагирующей порошковой смеси исходных компонентов создают значительные трудности в управлении процессом синтеза интерметаллических материалов с заданными физико-механическими свойствами. Оптимизация технологических режимов синтеза интерметаллических материалов, зависящих, в первую очередь, от размеров и геометрической формы частиц исходных порошковых материалов и энергетики реакции высокотемпературного синтеза интерметаллидов, осуществляется методами компьютерного моделирования процесса формирования интерметаллидов в волне горения порошковой смеси исходных элементов [1–4] с применением результатов экспериментальных исследований термокинетических параметров процесса синтеза на основе анализа термограмм теплового взрыва.

В настоящей работе экспериментально исследованы зависимости термокинетических параметров теплового взрыва порошковых смесей $3Ni + Al$ при изменении соотношения никеля и алюминия в них в пределах существования однофазного состава Ni_3Al . Исследование проведено в рамках решения задачи получения монофазного интерметаллида Ni_3Al в режиме теплового взрыва порошковой смеси чистых элементов под давлением. Конечной це-

лью экспериментов является определение возможности получения монофазного интерметаллида в условиях синхронизации процессов его высокотемпературного синтеза и механического компактирования продукта реакции синтеза.

Составы исходных порошковых смесей (в атомных процентах) приведены ниже:

| | | | | |
|----|------|-------|------|-------|
| Ni | 77,0 | 76,26 | 75,0 | 73,82 |
| Al | 23,0 | 23,74 | 25,0 | 26,18 |

Исследование было проведено на экспериментальном стенде, оборудованном лазерным источником нагрева образцов и персональным компьютером. Образцы — прессованные из порошковых смесей алюминия (АСД-4, средняя дисперсность частиц 1,45 мкм) и никеля (ПНК-С1Б, средняя дисперсность 0,92 мкм) столбики диаметром 10 мм и длиной 12 мм с пористостью 30 %. Их нагревали лазерным лучом (лазер ЛГН-703, 30 кВт/м²) до температуры возбуждения реакции синтеза интерметаллида. С датчиков (запрессованных в порошковые образцы вольфрамрениевых термопар из проволоки толщиной 10 мкм) снимали сигналы, которые после предварительного усиления подавали через аналого-цифровой преобразователь на вход персонального компьютера. Для более подробного изучения процесса синтеза интерметаллида программное обеспечение позволяет изменять масштаб полученных графиков. При измерении температуры в интервале 0 ÷ 2600 °С относительная погрешность измерения не превышала 0,6 %.

На рис. 1 представлены термограммы теплового взрыва при высокотемпературном синтезе интерметаллида Ni_3Al в порошковой смеси

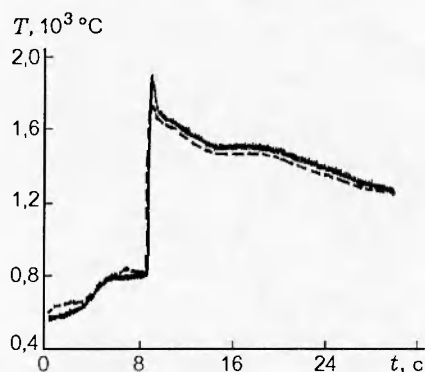


Рис. 1. Экспериментальные термограммы теплового взрыва, полученные с двух термопар: термопары запрессованы в порошковый образец на расстоянии 5 мм от торца образца и друг от друга; сплошная линия — первый канал, штриховая — второй

3Ni + Al по показаниям двух термопар. Видно, что независимо от места нахождения термопар в образце термограммы практически совпадают, что подтверждает протекание высокотемпературного синтеза интерметаллида в режиме теплового взрыва порошковой смеси чистых элементов.

На рис. 2 представлены термограммы* теплового взрыва порошковых смесей никеля с алюминием. Изменение содержания алюминия в пределах концентрационной области однофазного состояния Ni₃Al в исходной порошковой смеси не влияет на качественный вид термограммы. Начальный участок термограммы отражает образование в зонах контакта разнородных порошковых частиц эвтектического расплава (температура образования расплава легкоплавкой эвтектики T_э), растекание расплава по поверхности взаимодействующих порошковых частиц (образование реакционной поверхности в порошковой смеси разнородных элементов), зарождение и рост в контактных зонах разнородных частиц интерметаллических прослоек (временной интервал Δt_к термограммы — время контакта). Последнее и определяет повышение температуры на этом участке до 900 ÷ 1050 °C. Дополнительный разогрев порошковой прессовки приводит к плавлению алюминиевого компонента и нагреву алюминиевого расплава. После формирования поверхности раздела никеля с алюминием порошковая

*Термограммы построены осреднением результатов не менее 5 опытов.

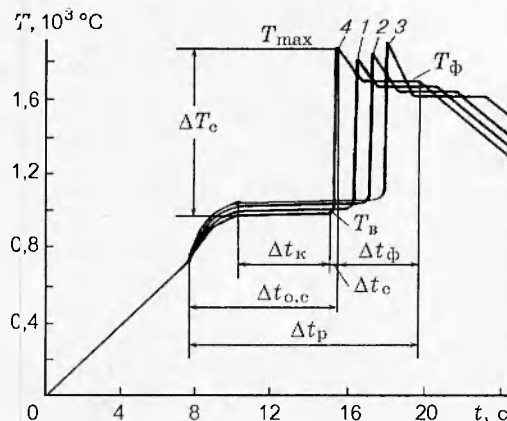


Рис. 2. Термограммы теплового взрыва в порошковой смеси 3Ni + Al при различном содержании алюминия:

Al, %: 1 — 23,0; 2 — 23,74; 3 — 25,0; 4 — 26,18

заготовка воспламеняется, температура ее разогрева поднимается от температуры воспламенения T_в до максимальной T_{max}, после чего продукт реакции синтеза остывает до температуры формирования фазы T_ф. При этом из расплава выделяются и кристаллизуются интерметаллид NiAl и никелевая матрица с последующим окончательным остыванием конечного продукта и образованием интерметаллида Ni₃Al.

Изменение соотношения компонентов в исходной порошковой смеси приводит к изменению термокинетических параметров теплового взрыва смеси, что отражено на отдельных участках его термограммы. На рис. 3 приведены сводные данные о зависимости основных термокинетических параметров процесса от содержания алюминия в исходной порошковой смеси. В то время как значения T_э и T_в практически не зависят от содержания алюминия (см. рис. 3, а, б), прирост температуры разогрева термореагирующей порошковой смеси на активном участке термограммы теплового взрыва ΔT_с и соответственно температура формирования фазы T_ф минимальны при содержании алюминия 25,0% (см. рис. 3, в, г). Разница в значениях этих температур при изменении содержания алюминия в исходной смеси достигает 200 °C в первом случае и 100 °C во втором. Максимальная температура разогрева термореагирующей порошковой системы при этом плавно повышается с увеличением содержания алюминия (см. рис. 3, д). Скорость реакции син-

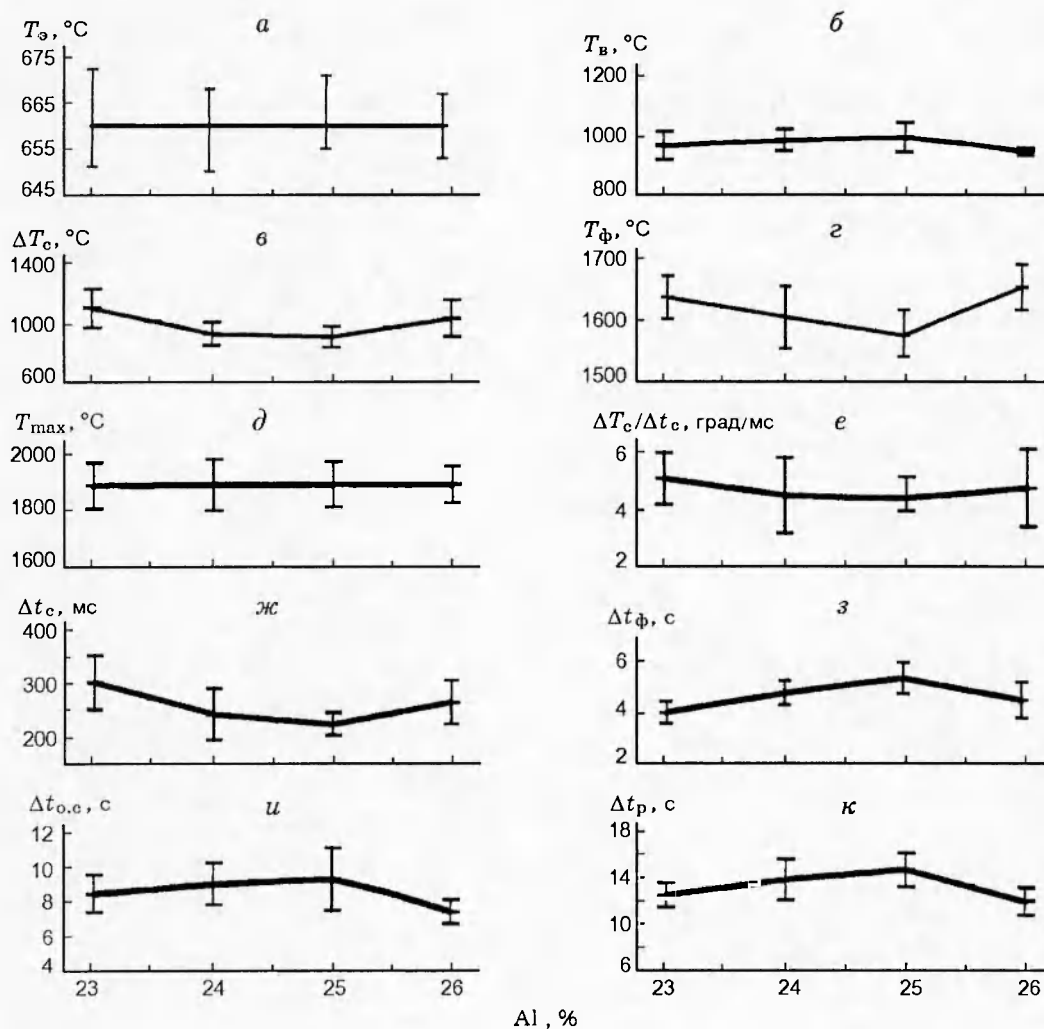


Рис. 3. Зависимости основных термокинетических параметров теплового взрыва от содержания алюминия в порошковой смеси 3Ni + Al

теза интерметаллида $\Delta T_c/\Delta t_c = 4,4$ °C/мс минимальна при содержании алюминия в смеси 25,0% и увеличивается до 5,0 °C/мс при содержании алюминия 23,0% (см. рис. 3,е). Время непосредственно процесса теплового взрыва (Δt_c на рис. 2) минимально при содержании алюминия в смеси 25,0% (см. рис. 3,ж). Но значения времени образования фазы $\Delta t_ф$, общего времени реакции синтеза интерметаллида ($\Delta t_{о.с}$) и времени реакции СВС в целом (Δt_p) максимальны при содержании алюминия 25,0% (см. рис. 3,з-к).

Представленные результаты показывают, что изменение соотношения компонентов в исходной порошковой смеси никеля с алюминием в ту или иную сторону от стехиометрии

3Ni + Al в пределах концентрационной области существования интерметаллида Ni_3Al оказывает наиболее заметное влияние на прирост температуры на активном участке термограммы теплового взрыва и на температуру формирования фазы Ni_3Al : с увеличением отклонения от стехиометрического состава значения указанных параметров увеличиваются. При этом также увеличивается время синтеза интерметаллида, а время образования интерметаллической фазы уменьшается. Другими словами, отклонение состава исходной порошковой смеси никеля с алюминием от стехиометрии 3Ni + Al в ту или иную сторону в пределах однофазного состояния интерметаллида Ni_3Al не только не снижает, а даже несколько

ко повышает термическую активность исходной порошковой смеси. Последнее имеет особое значение при разработке технологий синтеза под давлением композиционных материалов и изделий на основе интерметаллида Ni_3Al и его сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчаренко В. Е., Радуцкий А. Г., Лапшин О. В. Математическое моделирование и структурная макрокинетика // Инж.-физ. журн. 1993. Т. 65, № 4. С. 451–454.
2. Лапшин О. В., Овчаренко В. Е. Математическая модель высокотемпературного синтеза интерметаллического соединения Ni_3Al на стадии воспламенения // Физика горения и взрыва. 1996. Т. 32, № 2. С. 46–54.
3. Лапшин О. В., Овчаренко В. Е. Математическая модель высокотемпературного синтеза алюминид никеля Ni_3Al в режиме теплового взрыва порошковой смеси чистых элементов // Физика горения и взрыва. 1996. Т. 32, № 3. С. 68–76.
4. Овчаренко В. Е., Дударев Е. Ф., Лапшин О. В. Высокотемпературный синтез, структура и механические свойства интерметаллического соединения Ni_3Al // Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов. Новосибирск: Наука, 1995. Т. 2. С. 140–152.

*Поступила в редакцию 28/VIII 1997 г.,
в окончательном варианте — 26/III 1998 г.*