

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА ТВЕРДОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Студент А.В. Басовец

Научный руководитель – д-р. физ.-мат. наук, проф. Л.И. Гречихин

В машиностроении в качестве конструкционных материалов преимущественно используются композиционные материалы. Такие материалы обладают высокими прочностными свойствами, высокой пластичностью, низкой износостойкостью. Важная характеристика каждого конструкционного материала – это твердость. Величина твердости неравномерно распределена по поверхности, то есть является стохастической величиной. Важно выяснить причину изменения твердости после теплового и механического воздействия на сложную композиционную смесь и установить динамику изменения фазового состава приповерхностного слоя.

Композиционные материалы бывают трех типов: аморфные, смесевые и эвтектические. Аморфные композиционные материалы представляют собой хаотическое распределение относительно друг друга решеточных кластерных структур разных веществ. Взаимодействие между такими кластерными структурами осуществляется только путем ковалентной связи. При разогреве такого материала энергия тратится только путем на возбуждение колебаний и разрыв связей для каждого вещества в отдельности, а на разрыв связи между разнородными кластерами энергия практически не потребляется.

Смесевые композиционные материалы представляют собой систему независимых кластерных решеточных структур, которые вставлены друг в друга, а взаимодействие между ними осуществляется путем ковалентной связи между кластерами разных веществ и адгезионного взаимодействия между атомами контактирующих поверхностей разнородных кластеров. Ярким представителем такого композиционного материала является никелид титана. Вследствие взаимодействия разных кластерных решеточных структур возникает их деформация. В никелиде титана кластерная решеточная структура никеля сильно деформирована, и эта деформация, в свою очередь, оказывает влияние на решеточную структуру титана.

Эвтектические композиционные материалы – это единая кристаллическая структура, формируемая кластерами, состоящими из

атомов разнородных веществ, которые образуют общую кластерную кристаллическую структуру с ковалентной и обменной энергиями связи. Никелид железа обладает эвтектическими свойствами.

Расчетные значения энергий связи атомов внутри кластера и межкластерного взаимодействия для ряда элементов и их смесей приведены в таблице.

Эффективный заряд первой, второй и третьей степени ионизации и энергия бинарного взаимодействия частиц основного кластера и основного кластера с частицами второй и третьей координационных сфер, а также межкластерного взаимодействия чистых веществ

Вещество	Параметры								
	эффективный заряд			энергия связи, эВ			кластеры		
	I	II	III	I	II	III	Z*	E _{св} , эВ	Размер, нм
Ti	0,945	0,691	2,214	0,309	0,168	0,055	0,451	0,108	0,82
Ni	0,855	1,877	1,796	0,272	0,148	0,071	0,213	0,054	0,71
Fe-α	0,936	0,998	1,787	0,366	0,156	0,102	0,740	0,0027	0,74

Механические свойства твердых тел определяются межкластерным взаимодействием, которое обусловлено ковалентной связью между кластерами и энергией, возникающей при обмене свободными атомами, находящимися внутри межкластерного объема. Наибольшая энергия связи между кластерами реализуется для титана и наименьшая – для α-железа. Известно, что чистое железо является мягким, а титан – твердым металлом.

Энергия связи для смесового композиционного материала Ni-Ti в равной пропорции составляет 2,879 эВ, а энергия связи в точке эвтектики для Ni-Fe (инвар) – 6,102 эВ. Большая энергия связи для инвара позволяет широко использовать его в машиностроении в качестве конструкционного материала. Размеры основного кластера инвара 0,72 нм.

Большинство конструкционных материалов являются смесью многих элементов. Это значит, что такой материал содержит разные кластеры, которые формируются несколькими элементами. Размеры таких кластеров могут достигать десятков нанометров. Распределение по поверхности разнородных кластеров зависит от многих неконтролируемых параметров. Поэтому их распределение должно

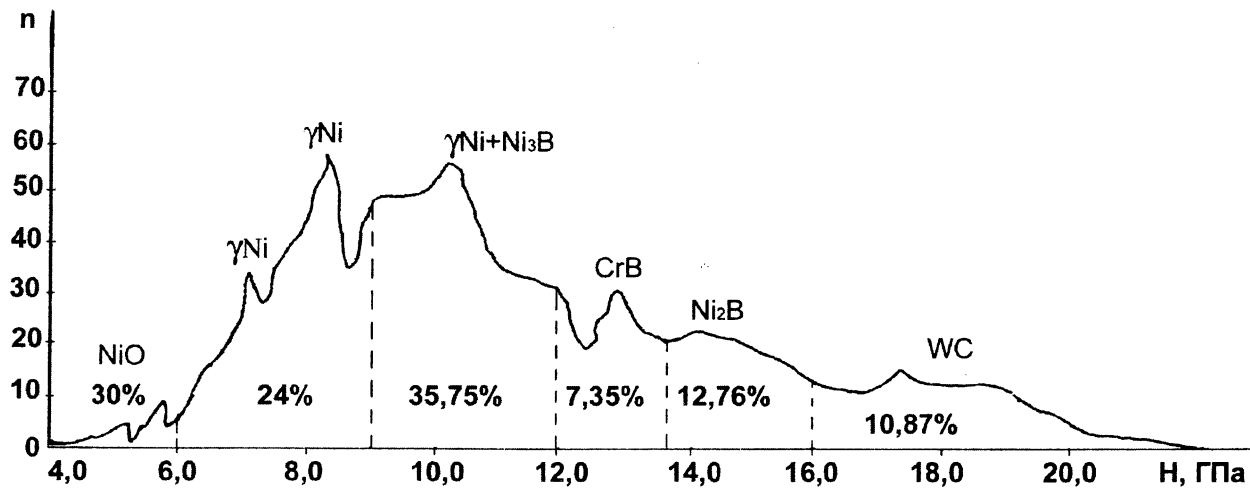
иметь стохастический характер. В каждой точке поверхности твердость будет иметь разное значение и отличаться подчас существенным образом. В качестве такого сложного композиционного материала рассмотрим сплав ПГ-СРЗ + 30%WC, который в основе содержит никель, а бор и хром включены в качестве небольших примесей. Такой сплав используется для упрочнения конструкционных деталей, работающих в сложных условиях эксплуатации. После воздействия лазерным лучом в ванне расплава образуются следующие кластерные образования: Ni; Ni + Ni₃B; CrB; Ni₂B; WC.

Никель с бором образуют эвтектическую смесь гранецентрированной структуры. Основной кластер состоит из никеля и бора, а второй, координационный слой заполнен никелем. Так как бинарное взаимодействие никеля с бором составляет 0,754 эВ и является наибольшим, то в процессе охлаждения ванны расплава в первую очередь образуются эвтектические кластеры никеля с бором. Карбид вольфрама WC или хром с бором являются эвтектической смесью с объемцентрированной структурой. Энергия бинарной связи у них меньше, чем у никеля с бором или хрома с никелем. Поэтому образуются эвтектические кластеры хрома с бором, а исходный карбид вольфрама частично разлагается, особенно на поверхности, вследствие образования угарного газа. Никель на поверхности при высоких температурах также вступает в реакцию с кислородом, и образуется оксид никеля.

Конкретные измерения микротвердости, выполненные в [3], по методике, описанной в [4], приведены на рисунке.

Полученные результаты свидетельствуют о следующем. Основные кластеры никеля в полученной смеси упрочненного слоя распались и образовали кластеры бориды никеля. Энергия межкластерной связи у чистого никеля меньше, чем у бориды никеля. В процентном отношении бориды никеля превышает все остальные кластеры. ОЦК-кластеры бориды хрома CrB обладают большей энергией связи межкластерного взаимодействия, чем межкластерное взаимодействие чистого никеля и бориды никеля. Поэтому они обладают и большей твердостью.

Бориды никеля обладает аллотропией, т.е. может формировать ГЦК- и ОЦК-структуры. Бориды никеля Ni₂B обладает ОЦК-структурой, имеет малые размеры, и поэтому межкластерное взаимодействие у такой структуры больше по сравнению с другими кластерами в сложной смеси.



Гистограмма распределения значений микротвердости сплава ПГ-СРЗ+30 об. % WC, оплавленного лучом лазера

Наибольшей энергией связи межкластерного взаимодействия обладает карбид вольфрама, поэтому твердость у него наибольшая.

Разброс по твердости в каждом кластере вызван тем, что измерения микротвердости выполняются на разных кристаллографических поверхностях, для которых реализуется разная поверхностная плотность атомов данного элемента. Это и обуславливает разброс по твердости.

Таким образом, статистические методы анализа микротвердости позволяют выявить не только фазовый состав кластерных образований, но и установить порядок формирования разных кластерных структур в процессе остывания ванны расплава сложной композиционной смеси.

Л и т е р а т у р а

1. Гречихин Л.И., Иващенко С.А. Кластерный механизм упрочнения и восстановления конструкционных материалов. – М.: Машиностроение, 2003. – 19 с.

2. Гречихин Л.И., Тимошевич В.Б. Прогнозирование времени разрушения отдельных конструкционных деталей сложной механической системы. – М.: Машиностроение, 2003. – С. 19. 25.

3. Кардаполова М.А. Улучшение качества газотермических покрытий дополнительным легированием и лазерной обработкой. – Мн.: БПИ, 1988. – 120 с.

4. А.с. 1668903. Способ оценки фазового состава металлических и металлоподобных сплавов / О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова, Г.Г. Панич. – Бюл. № 21. – 1987.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Студент В.А. Комар

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Л.И. Гречихин

В современных условиях широко используются сложные механические системы, отдельные элементы которых работают при высоких и низких температурах, высоких и низких давлениях, а также при сложном нагружении. Такие условия эксплуатации требуют не только оптимального управления работой данных систем, но возник-