

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

Т. Ф. Миронова, Т. В. Миронова, Д. В. Миронов

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЖЕНИЙ НА ФАЗООБРАЗОВАНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕТАЛЛОВ С АТОМАМИ ВНЕДРЕНИЯ

Монография

Кинель 2014

УДК 539:219.3:53

М-13

Рецензенты:

д-р физико-математических наук, проф., зав. кафедрой ОФ и ФНГП
ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет»

А. М. Штеренберг;

канд. техн. наук, зам. директора

ООО «Самарское агентство консалтинга и оценки»

Д. И. Степанов

Миронова, Т. Ф.

М-13 Влияние импульсных нагрузжений на фазообразование и взаимодействие металлов с атомами внедрения : монография / Т. Ф. Миронова, Т. В. Миронова, Д. В. Миронов. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2014.– 135 с.

ISBN 978-5-88575-341-8

В монографии освещается современное состояние вопросов влияния импульсных нагрузжений на процессы фазообразования и характер взаимодействия металлов с атомами внедрения в широком температурном интервале, включая криогенные температуры. Выясняется роль импульсных упругих деформаций различного вида в образовании твердых растворов и фаз при взаимодействии металлов с легкими элементами. Рассматриваются различные факторы влияния импульсной пластической деформации на скорость массопереноса и особенности фазообразования в металлах и сплавах. Предлагается возможная модель процесса взаимодействия металлов с элементами внедрения при импульсной пластической деформации.

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области физики металлов и металлостроения.

© Миронова Т.Ф., Миронова Т. В., Миронов Д. В., 2014

© ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ОСОБЕННОСТИ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МЕТАЛЛОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ ВНЕДРЕНИЯ.....	9
1.1. Фазообразование в системах Me-C, Me-N, Me-O в равновесных условиях и возможности его применения.....	9
1.2. Фазообразование в системах Me-C, Me-N, Me-O в неравновесных условиях.....	18
1.2.1. Образование твердых растворов и фаз внедрения при импульсном упругом деформировании.....	18
1.2.2. Проникновение легких элементов в металлы в условиях высокочастотных колебаний.....	31
1.2.3. Взаимодействие металлов с углеродом и азотом при импульсной пластической деформации.....	37
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ ВНЕДРЕНИЯ.....	41
2.1. Объекты исследования и подготовка образцов.....	41
2.2. Способы нагружения металлов и сплавов.....	42
2.2.1. Импульсное упругое деформирование.....	42
2.2.2. Высокочастотное и импульсное пластическое деформирование.....	47
2.3. Методы исследования процессов перераспределения атомов и образования фаз.....	56
2.3.1. Определение формы концентрационного профиля.....	56
2.3.2. Определение коэффициента диффузии.....	58
2.3.3. Определение диффузионной ширины границы и субграницы.....	61
2.3.4. Определение фазового состава диффузионной зоны.....	62
3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕТАЛЛОВ С ЛЕГКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНЫХ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ.....	65
3.1. Образование твердых растворов и фаз внедрения в металлах под действием ионной бомбардировки в тлеющем разряде.....	65
3.2. Взаимодействие металлов с легкими элементами при действии искровых разрядов.....	73
3.3. Образование твердых растворов и фаз внедрения при импульсном сжатии среды.....	78

3.4. Влияние электрогидроимпульсной обработки на взаимодействие металлов с углеродом и кислородом	85
4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ЛЕГКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ.....	89
4.1. Фазообразование при взаимодействии с углеродом железа и его сплавов в процессе ультразвуковой ударной обработки	89
4.2. Особенности взаимодействия металлов с углеродом и азотом в условиях ударного сжатия	102
4.3. Модель процесса взаимодействия металла с элементом внедрения при импульсной пластической деформации.....	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	119
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	120
АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	133

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ

- ВВ – взрывчатое вещество.
ВИМС – вторичная ионная масс-спектрометрия.
ГПУ – гексагональная плотно упакованная (решетка).
ГЦК – гранецентрированная кубическая (решетка).
ОЦК – объемно-центрированная кубическая (решетка).
УЗО – ультразвуковая обработка (упругая обработка с ультразвуковой частотой).
УЗУО – ультразвуковая ударная обработка.
ЭГИ – электрогидроимпульсное (воздействие, обработка).
ЭИЛ – электроискровое легирование.
 T – абсолютная температура, К.
 t – температура, °С.
 $T_{пл}$ – температура плавления, К.
 Δ – интервал значений физических величин.
 x_n – толщина n -го слоя.
 N_n – активность образца после снятия слоя толщиной x_n .
 τ – длительность процесса (массопереноса, диффузии, деформации).
 μ – линейный коэффициент поглощения радиоактивного излучения материалом образца.
 X – глубина проникновения диффузанта.
 D – коэффициент диффузии.
 Q – энергия активации.
 D_o – предэкспоненциальный множитель.
 C – концентрация проникающих атомов и атомов в твердом растворе.
 ρ – плотность вещества.
 ρ_D – плотность дислокаций.
 r_A – атомный радиус.
 λ – длина волны излучения (рентгеновского, радиоактивного).

a, b, c – параметры кристаллической решетки.

(h, k, l) – кристаллографические индексы плоскостей.

n_A – количество атомов в элементарной ячейке.

S – степень почернения фотоэмульсии под действием радиоактивного и рентгеновского излучения, измеряемая в относительных единицах.

$мкс$ – длительность импульса (микросекунды).

$\frac{см^2}{с}$ – единица измерения коэффициента диффузии (массопереноса).

$\frac{имп}{мин}$ – единица измерения радиоактивности слоя.

$\overset{\circ}{A}$ – единица измерения расстояний, параметров решетки, длин волн излучений, называемая «ангстрем» ($\overset{\circ}{A} = 10^{-10} м$).

$1МэВ$ – единица измерения энергии, называемая «мега электрон-вольт», $1МэВ = 1,6 \cdot 10^{-13} Дж$.

ВВЕДЕНИЕ

Современные условия в промышленности диктуют особые требования к ускорению технологических процессов обработки металлов и сплавов, к снижению энергозатрат при получении изделий, а также к улучшению качества и конкурентоспособности самих изделий.

В последние десятки лет в этих целях использовались отдельные виды обработки материалов, основанные на применении внешних воздействий, таких как обработка взрывом, деформация в сильных электромагнитных полях, электроискровое легирование, ионное азотирование и другие [1-10].

А открытый в 70-х годах прошлого века группой украинских ученых эффект аномального массопереноса, активированного импульсными воздействиями, дал возможность целенаправленно создавать новые и оптимизировать уже известные методы и способы механико-химико-термической обработки в твердой фазе [11-20].

Комплекс механических, физико-химических и иных свойств твердых тел определяется процессом диффузионного переноса вещества, который лежит в основе не только формирования в ходе обработки, но и стабильности в условиях эксплуатации структуры и фазового состава материала.

К настоящему времени довольно подробно изучен механизм и характер взаимодействия различных металлов в условиях быстропротекающих процессов деформирования и в результате экспериментов установлено, что импульсная упругая и пластическая деформация является необходимым условием для ускоренной миграции атомов, причем не только металлов, но и атомов неметаллов. При этом процесс аномального массопереноса приводит к формированию фаз по всей ширине диффузионной зоны и может осуществляться в весьма разнообразных условиях импульсных методов сварки и химико-термической обработки, а кроме того при эксплуатации готовых изделий в условиях, далеких от стационарных. Поэтому переоценить роль этих процессов в науке и технике практически невозможно.

В связи с этим, систематические экспериментальные исследования, направленные на изучение особенностей и определения

закономерностей миграции атомов легких элементов и образования фаз внедрения, безусловно, представляют не только сугубо научный, но практический интерес. При этом следует подчеркнуть, что взаимодействию металлов и сплавов с атомами легких элементов в условиях импульсных нагрузений при низких температурах достаточного внимания не уделялось. Уменьшение времени и снижение температуры обработки является, прежде всего, экономически выгодным, так как приводит к уменьшению стоимости процесса получения готовых изделий. Но, кроме того, указанные факторы приводят к улучшению качества самого изделия, например, из-за отсутствия разупрочнения (особенно это касается скоростной пластической деформации).

Авторами данной монографии получены систематические экспериментальные результаты по диффузии в металлах и сплавах атомов легких элементов под действием упругих, высокочастотных и пластических деформаций, позволяющие определить условия, в которых происходит ускоренная миграция атомов и фазообразование, а также особенности локализации проникающих атомов и выделившихся фаз в объеме и дефектах кристаллической структуры. В свою очередь, это дает возможность целенаправленно использовать новые знания как серьезную основу для разработки новых специальных способов обработки импульсным воздействием, а также определять оптимальные режимы импульсной сварки давлением и химико-термической обработки, в основе которых лежат диффузионные процессы.

1. ОСОБЕННОСТИ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МЕТАЛЛОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ ВНЕДРЕНИЯ

1.1. Фазообразование в системах металл-атомы внедрения в равновесных условиях и возможности его использования

В мировой промышленной практике при химико-термической обработке основное место занимают процессы насыщения металлических изделий углеродом и азотом. Это связано с тем, что введение в металлы и сплавы атомов данных элементов позволяет изменять в довольно широких пределах не только их структурно-фазовое состояние, но и их эксплуатационные свойства и характеристики. В первую очередь, это касается износостойких и прочностных свойств.

Кроме того, в процессе эксплуатации при повышенных температурах конструкционные материалы подвергаются окислению или насыщению водородом, что существенно влияет на их характеристики. Особенно это проявляется при работе изделий в условиях знакопеременных или импульсных упругих или неупругих воздействий.

В равновесных условиях фазовый состав диффузионной зоны, которая образуется при проникновении в металл атомов легких элементов, определяется особым характером взаимодействия металла с углеродом, азотом, водородом и кислородом. Это получило свое отражение в различном строении диаграмм состояния двойных систем Me-C, Me-N, Me-O. Для одних металлов характерно образование твердых растворов и фаз внедрения, например, для железа и титана. Другим металлам свойственно растворять элементы внедрения без образования химического соединения в процессе термического воздействия, например, углерода в никеле. В третьих же металлах, например в меди, азот и углерод практически не растворяются в твердой фазе [21-40]. Однако в целом ряде бинарных систем при импульсных нагружениях, закалке или с помощью химических реакций возникают фазы внедрения и пересыщенные твердые растворы, не существующие в равновесных

условиях. Этот процесс особенно хорошо изучен для деформирования прокаткой, недостаточно подробно – для электроискрового легирования и электрогидроимпульсной обработки, есть отдельные экспериментальные результаты, полученные при ударной сварке в вакууме [41–60]. Тем не менее, для понимания физической сущности процесса образования фаз и твердых растворов внедрения при импульсных воздействиях необходимо дальнейшее исследование взаимодействия металлов с легкими элементами и изучение различий между фазовым составом, получаемым в данном случае, и фазовым составом при отжиге в равновесных условиях.

Система железо-азот.

Рассмотрим подробно диаграмму состояния железо-азот. В стабильной системе находятся в равновесии α - и γ -твердые растворы и молекулярный азот в газообразном состоянии. Однако в реальных условиях гораздо большее значение имеет метастабильная система железо-азот (рис. 1.1 [9]), содержащая следующие фазы (рис. 1.2 [9]):

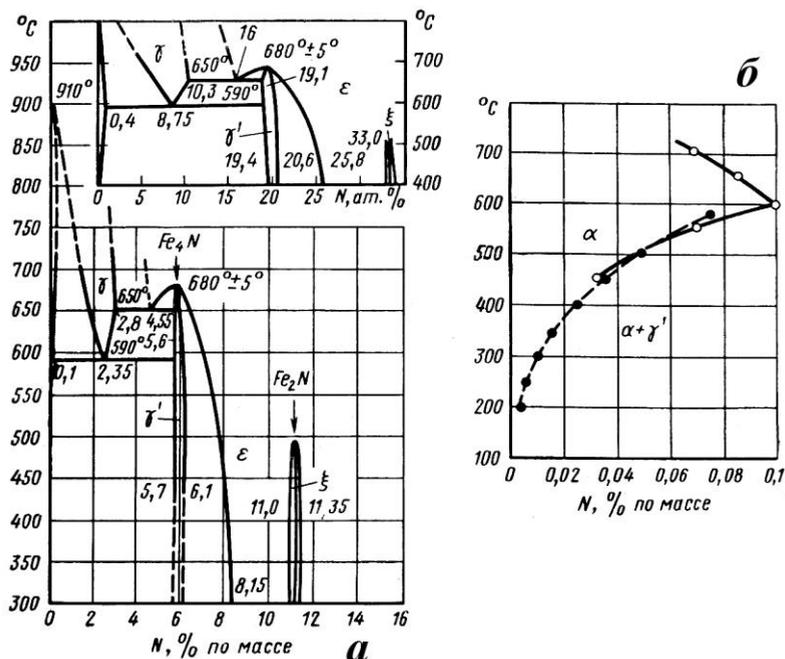


Рис. 1.1. Диаграмма Fe-N (а) и область растворимости азота в феррите (б) [9]