

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН»
АО Научно-производственное объединение «МКМ»

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ: КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ, ЭКСПЕРИМЕНТ, ТЕХНОЛОГИИ

Тезисы
VIII Международной конференции
11–12 апреля 2019 года

УдмФИЦ УрО РАН

Ижевск
2019

УДК 669.017.3:681.3.06 (043.3)
ББК 34.3

Главный редактор П. К. Галенко
Ответственный редактор Л. В. Камаева

К26

Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии: Тезисы VIII Международной конференции. – Ижевск: Изд-во УдмФИЦ УрО РАН, 2019. – 240 с.

Solidification: computer simulation, experiments and technology: Abstracts of the VIII internationale conference. – Izhevsk: UdmFRC UB RAS Publ., 2019. – 240 p.

ISBN 978-5-6042700-0-4

Настоящий сборник содержит тезисы докладов участников VIII международной конференции «Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии» (КРИС-2019, 11–12 апреля 2019 года, УдГУ), посвященной актуальным проблемам теории, эксперимента и разработки компьютерных технологий процессов макро- и микроскопической кристаллизации.

Рассмотрены процессы структурообразования в сплавах, процессы высокоскоростной кристаллизации, современные проблемы в областях атомистической динамики, аморфных систем, старения сплавов и процессов в твердой кристаллической фазе, также связанные с аддитивными технологиями.

ISBN 978-5-6042700-0-4

УДК 669.017.3:681.3.06 (043.3)
ББК 34.3

© Коллектив авторов, 2019
© УдмФИЦ УрО РАН, 2019

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 18-47-183002 р_мол_а и Минобрнауки РФ, проект 11.6513.2017/8.9 в рамках базовой части госзадания.

- [1] Шишковский И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. СПб.: Питер, 2016. 400 р.
- [2] Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технологии аддитивного производства: трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство. М.: Техносфера, 2016. 656 р.
- [3] Гордеев Г.А., Кривилев М.Д., Анкудинов В.Е. Компьютерное моделирование селективного лазерного плавления высокодисперсных металлических порошков // Вычислительная механика сплошных сред, 2017. Т. 10. № 3. С. 293-312.
- [4] Ankudinov V., Gordeev G.A.A., Krivilyov M.D.D. Numerical simulation of heat transfer and melting of Fe-based powders in SLM processing // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. IOP Publishing, 2017. Vol. 192. № 1. P. 12026.

Исследование закономерностей консолидации сферического порошка сплава Ti-6Al-4V при помощи послойного, поточечного электроимпульсного спекания

И. А. Елькин¹, В. А. Волков¹, К. С. Столбов^{2,1}, Д. А. Колодкин³

¹Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, отдел физики и химии наноматериалов, лаборатория физики неравновесных металлических систем, 426067 Россия, г. Ижевск ул. им. Татьяны Барамзиной, 34

²Удмуртский государственный университет, Институт математики, информационных технологий и физики, лаборатория общей физики, 426034 Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1

³Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, отдел магнитных материалов, лаборатория ферромагнитных сплавов, 620108 Россия, г. Екатеринбург ул. С. Ковалевской, 18

В работе при помощи метода послойного, поточечного электроимпульсного спекания [1] исследованы особенности компактирования порошка титанового сплава Ti-6Al-4V, широко применяемого в промышленности. Целью работы являлось исследование влияния режимов получения на пористость и механические свойства объемных материалов.

Для получения объемных образцов брались порошки химического состава $Ti_{89,4}Al_{5,9}V_4$ вес.% (баланс примеси) сферической формы, с гранулометрическим составом 10-45 мкм. Для управления движением электрода использовался 3-х координатный автоматизированный манипулятор, а в качестве источника

электрической энергии - прибор для точечной сварки. Структурное состояние и фазовый состав полученных материалов исследовали методами рентгеновской дифракции (MiniFlex 600, излучение Co-K α), электронной микроскопии (Quanta-200) и измерения микротвердости (микротвердомер ПМТ-3).

Предложенным в работе способом были получены объемные образцы в виде пластин толщиной до 1 мм на стальной подложке при различных величинах мощности электрического импульса. Было обнаружено, что в зависимости от режима спекания возможно получение образцов, содержащих большое количество сквозных отверстий (макропор) и одновременно малое количество микропор, т.е. порошок спекается с высокой плотностью, но с образованием каналов (рис. 1 а). Кроме этого, возможно получение образцов, практически не содержащих сквозных отверстий (макропор), но содержащих большое количество микропор, т.е. спекается весь объем насыпанного порошка, но с малой плотностью (рис. 1 б). А также возможно получение образцов, практически не содержащих микро- и макропор (рис. 1 в), в процессе консолидации которых были подобраны режим и подложка, позволяющие консолидировать порошок практически без дефектов. Результаты работы показали, что характер пористости зависит от мощности импульса, электросопротивления системы верхний электрод-порошок-подложка-нижний электрод, шероховатости подложки и особенностей программы сканирования электродом. На характер пористости влияет также диаметр электрода, при использовании электродов малого диаметра может происходить выдавливание порошка, что способствует образованию материала, состоящего из плотных областей и пустот. При определенных режимах спекания порошка может наблюдаться расслаивание между спеченными слоями. Во время спекания происходит постепенная деформация электрода, что приводит к изменению качества образца по высоте.

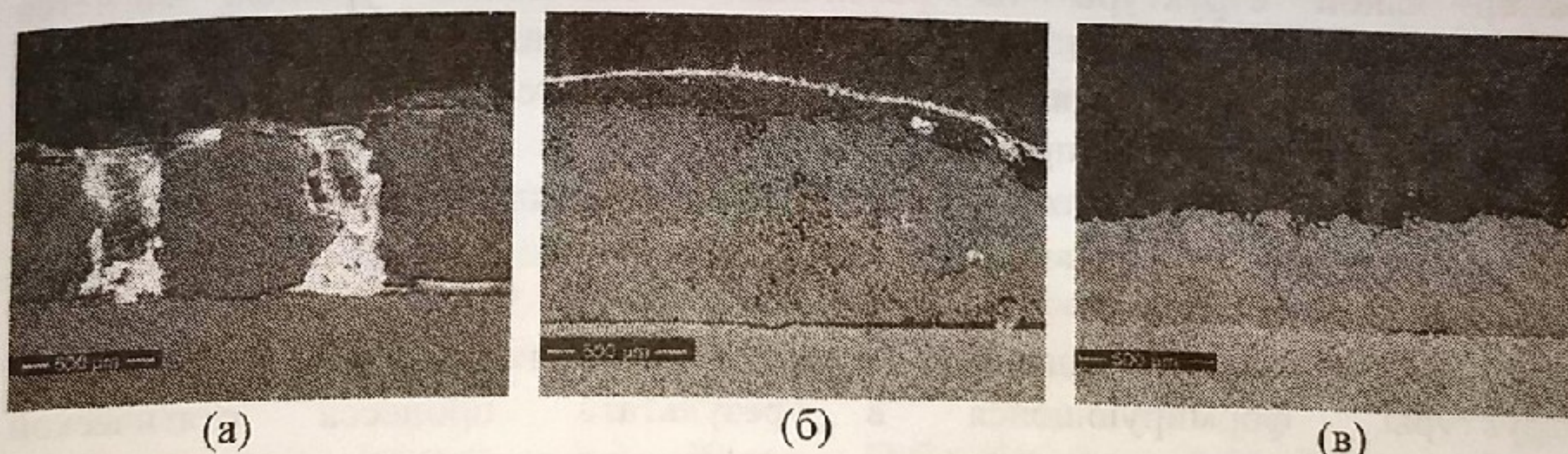


Рисунок. 1. Электронно-микроскопические изображения поперечных шлифов образцов на основе сферического порошка $Ti-6Al-4V$, полученные с режимом 9% от номинальной мощности прибора, $I=372A$, $U=1,41B$ (а), 7% от номинальной мощности прибора, $I=369A$, $U=1,39B$ (б), 11% от номинальной мощности прибора, $I=396A$, $U=1,28B$ (в)

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-33-80031 «мол_эв_а» и в рамках НИР рег. № АААА-А17-117022250038-7 гос. задания Правительства России.

- [1] Елькин И. А., Волков В.А., Столбов К.С., Колодкин Д.А., Чулкина А.А., Бельтюков А.Н. Особенности консолидации металлических порошков в результате послойного электроимпульсного спекания // Письма о материалах, 2018. Т. 8. № 3. С. 335-340.

Многоуровневое моделирование процесса статической рекристаллизации

Н. С. Кондратьев¹, П. В. Трусков¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Кафедра математического моделирования систем и процессов, 614990 Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

Актуальной задачей механики деформируемого твердого тела является создание физически обоснованных математических моделей для описания эволюции, определяющей макросвойства внутренней структуры материала при термических и механических воздействиях [1]. Таким образом, управляя процессами термомеханического нагружения поликристаллов, можно формировать требуемые рабочие характеристики готовых изделий и конструкций. Термомеханические воздействия позволяют существенно изменять дефектную и зеренную (субзеренную) структуру материала в широких пределах. Эффективным и гибким инструментом для глубокого анализа эволюции материальной структуры на различных масштабных уровнях является многоуровневый подход к описанию поведения поликристаллических материалов, в котором в явном виде рассматриваются носители и физические механизмы протекающих процессов. В таких моделях для корректного описания действующих механизмов неупругого деформирования и изменения микроструктуры, как правило, необходимо введение нескольких масштабных уровней – двух и более.

В работе ставится задача исследования влияния зеренной (субзеренной) структуры, формирующейся в результате процесса статической рекристаллизации, на свойства поликристалла при пластическом деформировании. Для этой цели в рассмотрение вводятся три масштабных уровня – уровень отдельного субзерна (зародыша рекристаллизации), уровень зерна (совокупности субзерен) и уровень представительного макрообъема (совокупность зерен поликристалла). Для определения отклика материала на каждом масштабном уровне применяется закон Гука в скоростной релаксационной форме, записанный в терминах несимметричных мер скоростей