

Рахимова У.А., Абылкалыкова Р.Б., Квеглис Л.И., Носков Ф.М., Семченко В.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПОД ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ Mg-Al-Si

U.A. Rakhimova, R.B. Abylkalykova, L.I. Kveglis, F.M. Noskov, V.V. Semchenko

STUDY OF STRUCTURAL TRANSFORMATIONS UNDER DYNAMIC LOADS IN ALLOYS OF Mg-Al-Si

УДК: 614/78-95.1

В статье рассматривается исследование структурных превращений под динамической нагрузкой в сплавах системы Mg-Al-Si и проблема связи структурных превращений, происходящих на границах зерен при пластической деформации магниевых сплавов.

The article considers the study of structural transformations under dynamic loads in alloys of Mg-Al-Si and solved a problem due to structural transformations occurring at grain boundaries during plastic deformation of magnesium alloys with the change in the mechanical properties of these alloys.

В работе решается проблема связи структурных превращений, происходящих на границах зерен при пластической деформации магниевых сплавов с изменением механических свойств этих сплавов. Исследованы особенности структуры превращений под нагрузкой в сплаве на основе Mg-Al-Si. Обнаружены зоны Гинье-Престона, формирующиеся под действием сжимающей нагрузки. С помощью рентгеноструктурного анализа обнаружены структуры Франка-Каспера, возникающие под действием сжимающей нагрузки. Полученные результаты обсуждаются с позиции химических реакций инициированных механической нагрузкой.

Конструкции из сплавов на алюминиевой основе имеют большое будущее. Основные достоинства алюминиевых сплавов: малая плотность, высокая электро- и теплопроводность, коррозионная стойкость, высокая удельная прочность. Сплавы Al-Mg-Si (так называемые авиали) сочетают хорошую коррозионную стойкость со сравнительно большим эффектом старения; анодная обработка позволяет получать красивые декоративные окраски этих сплавов [1].

Острой проблемой является газонасыщенность - источник пористости сплавов. Авторы полагают, что это обусловлено рыхлостью, образующейся на поверхности расплава окисной пленки, возможным увеличением растворимости водорода в жидком металле. Эффективным путем уменьшения газонасыщенности служит переход от плавов в пламенных печах к электропечах с защитной атмосферой (41с.) [2]. Вместе с тем наблюдается повышенная склонность к образованию газовых пор. Поры располагаются в виде цепочек в основном вблизи зоны сплавления. Повышенная склонность к образованию пор может, обусловлена рядом факторов. К ним относятся повышенное содержание водорода в сплаве, разложение при сварке влаги. Предложено несколько способов борьбы с пористостью. Значительное сокращение количества пор обеспечивает аргонодуговая сварка на весу без формирующей

подкладки с обдувом аргоном обратной стороны шва (46с.) [2].

Алюминиевые сплавы имеют достаточно высокую прочность при относительно малом удельном весе. Многие их разновидности обладают высокой пластичностью. Они не понижают прочности, пластичности, ударной вязкости при низких температурах. По сравнению со сталями алюминиевые сплавы хорошо сопротивляются коррозии. Прочностные характеристики превосходят показатели сталей обыкновенного качества. Пределы прочности алюминиевых сплавов и их сварных соединений повышаются с понижением температуры испытаний (60-61с.) [2]. Авторами были изучены сплавы полученные литьем под давлением. Исследование макроструктуры отливок сплавов в исходном состоянии показало, что пористость в отливках сплава концентрируется в утолщенной зоне отливки. Микроструктура отливки сплава характеризуется дефектами в виде пористости. После горячего изостатического прессования в макроструктуре показало, что структура отливок плотная, поры отсутствуют. В микроструктуре пористость практически устраняется, наблюдаются микропоры до 3-5 мкм. Таким образом, в результате газостатической обработки повышается прочность деталей (70с.) [2]. Трещиностойкость материалов вообще и алюминиевых сплавов в частности может изменяться при изменении условий нагружения. Алюминиевые сплавы в основном нехладноломки малочувствительны к скорости нагружения (125с.) [2]. Растягивающее напряжения, приложенные вдоль трещины, оказывают положительное влияние на трещиностойкость. Сжимающие напряжения, приложенные вдоль трещины, оказывают обратное действие - увеличивают значение скорости роста трещины усталости.

Для борьбы с газовой пористостью силуминов А.А. Бочвар и А.Г. Спасский разработали оригинальный и эффективный способ кристаллизации отливок под давлением [3].

Свойства отдельно отлитых образцов могут на 25-40% превосходить свойства кристаллизовавшихся наиболее медленно или плохо питаемых частей отливки.

В работе исследуются особенности структурных превращений при деформации сплавов системы Mg-Al-Si и Fe-Mn-C, обладающих эффектом Портевена-Ле-Шателье.

Сплавы на основе Mg и Al являются основой для изучения фундаментальных характеристик металлических систем и широко применяются в

технике. Большинство магниевых сплавов являются термически - и механически неустойчивыми при динамическом нагружении [4], что выражается в скачкообразном изменении величины их сопротивления деформации на кривой нагружения (эффект Портевена-Ле-Шателье). Аналогичные скачкообразные картины изменения величины сопротивления деформации на кривой нагружения наблюдаются у стали 110Г13Л [5].

В работе [6] исследуется реология магниевых сплавов, в частности на основе Mg и Al, при их деформировании при повышенных температурах и различных скоростях деформации. Выявляются особенности кривой текучести исследуемых сплавов в заданных температурно-скоростных условиях нагружения, обусловленные фазовыми переходами. [7] Проводится количественный анализ напряжения текучести, применяемых для описания межзеренной деформации в металлах и сплавах. Определяется критическая скорость деформации, соответствующая переходу от внутризеренной деформации к межзеренному проскальзыванию.

В работе [8] известно, что деформация до площадки текучести при нагрузке повышает механическую прочность сталей. С другой стороны такой деформации соответствует появление полос скольжения, не выходящих за предел зерна. Полосы скольжения могут являться признаками общего упрочнения. Циклическое трение в плоскостях скольжения интенсивно деформируемых зёрен приводит к отделению субмикроскопических частиц металла. Под воздействием высоких температур в субмикрообъемах создаются условия для протекания химических реакций. В нержавеющей стали было обнаружено появление икосаэдрической фазы в межзёренных границах при прокатке [9]. В наших предыдущих работах обнаружены структуры Франка-Каспера в стали 110Г13Л.

Нами предполагается, что при определенных скоростях деформации в сплавах системы Mg-Al-Si, по аналогии со сплавом 110Г13Л, может формироваться межзеренная межфазная граница с Франк-Касперовской тетраэдрически плотно-упакованной структурой типа ФК12+ФК16. Уникальные механические свойства в сплавах Mg-Al-Si могут определяться такой структурой.

В работе решается проблема связи структурных превращений, происходящих на границах зерен при пластической деформации магниевых сплавов с изменением механических свойств этих сплавов. Полученные результаты сравниваются с результатами, полученными для стали 110Г13Л.

Образцы и методы исследования

Исследовали образцы сплава Mg-Al-Si в виде стержней диаметром 15мм и высотой 15мм. Один образец был подвергнут осадке, при этом его высота

уменьшилась на 15%. Состав сплава Mg-Al-Si контролировался методами спектрального, рентгено-спектрального флуоресцентного анализом с помощью рентгеноспектрального анализатора SwiftED-TM EDX. Исследование структуры поверхности образцов до и после деформации проводилось методами электронной сканирующей микроскопии рентгеноспектрального анализа. Использовали растровые электронные микроскопы РЭММА-202 и HITACHI TM-1000. Микротвердость образцов измеряли методом Викерса. Расшифровки рентгенограмм приведены с помощью стандартных международных таблиц (JCPDS-International Centre for Diffraction Data, Card#01-1252).

Эксперимент

С помощью растровой электронной микроскопии исследовали микроструктуру поверхности исходного образца и образца после осадки. Для этого образцы предварительно полировали методами механической полировки и химического травления.

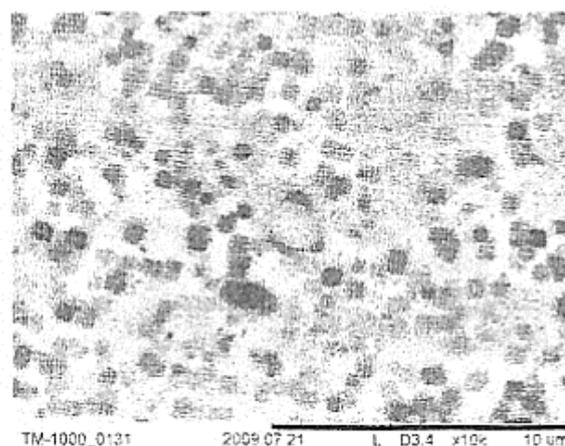


Рис. 1. Микрофотографии поверхности образца Mg-Al-Si в исходном состоянии.

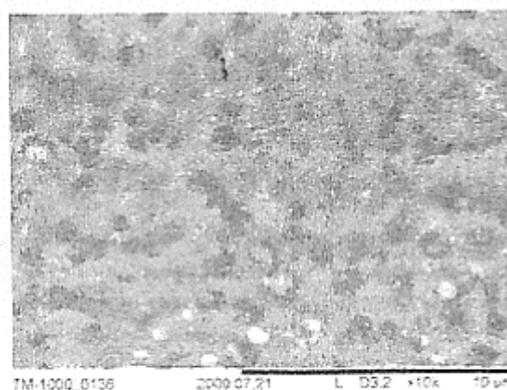


Рис. 2. Микрофотографии поверхности образца Mg-Al-Si после осадки

На рисунках 1 и 2 показаны микрофотографии поверхности Mg-Al-Si в исходном состоянии и после осадки. В образце (рисунок 2) после осадки четко видны пластинчатые выделения, расположенные преимущественно вдоль границ зерен. Нанораз-

мерные выделения, когерентные с матрицей, при старении сплавов Al Ag, Al Zn, Al Si, получили название зон Гинье-Престона. В нашем эксперименте они образовались не при старении, а при пластической деформации.

Исследование микротвердости по Виккерсу показало, что микротвердость недеформированного образца составляет 620-680 МПа, а деформиро-

ванного 840-1145МПа. Фазовый состав образцов до и после осадки исследован с помощью рентгеноструктурного анализа. Из расшифровки следует, что после осадки уменьшается на 0,8% параметр решетки основной фазы Al+Mg₂ Si, имеющий ГЦК решетку. Кроме этого появляются новые фазы, среди которых обнаружена фаза тетраэдрически плотноупакованной структурой типа MgCu₂

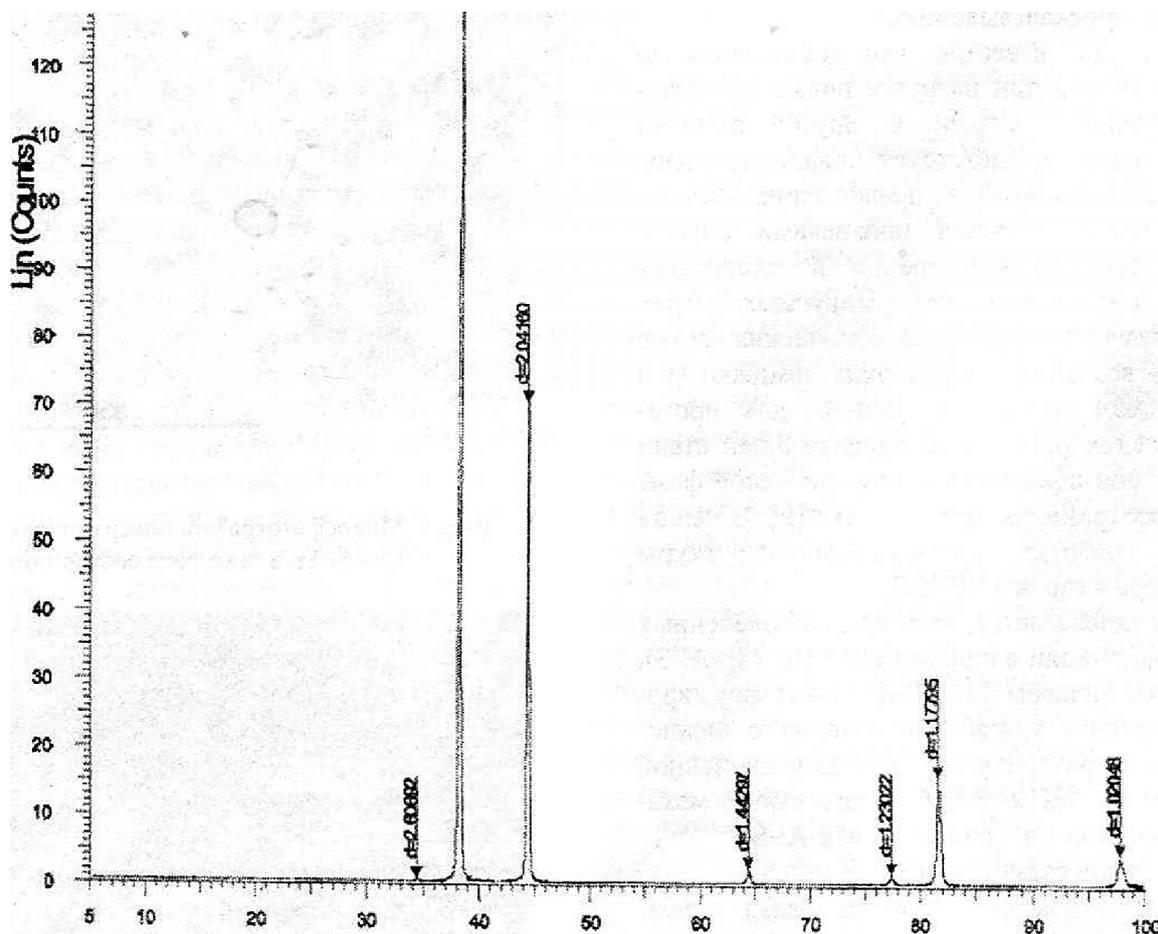


Рис. 3. Рентгенограмма образца Mg-Al-Si в исходном состоянии

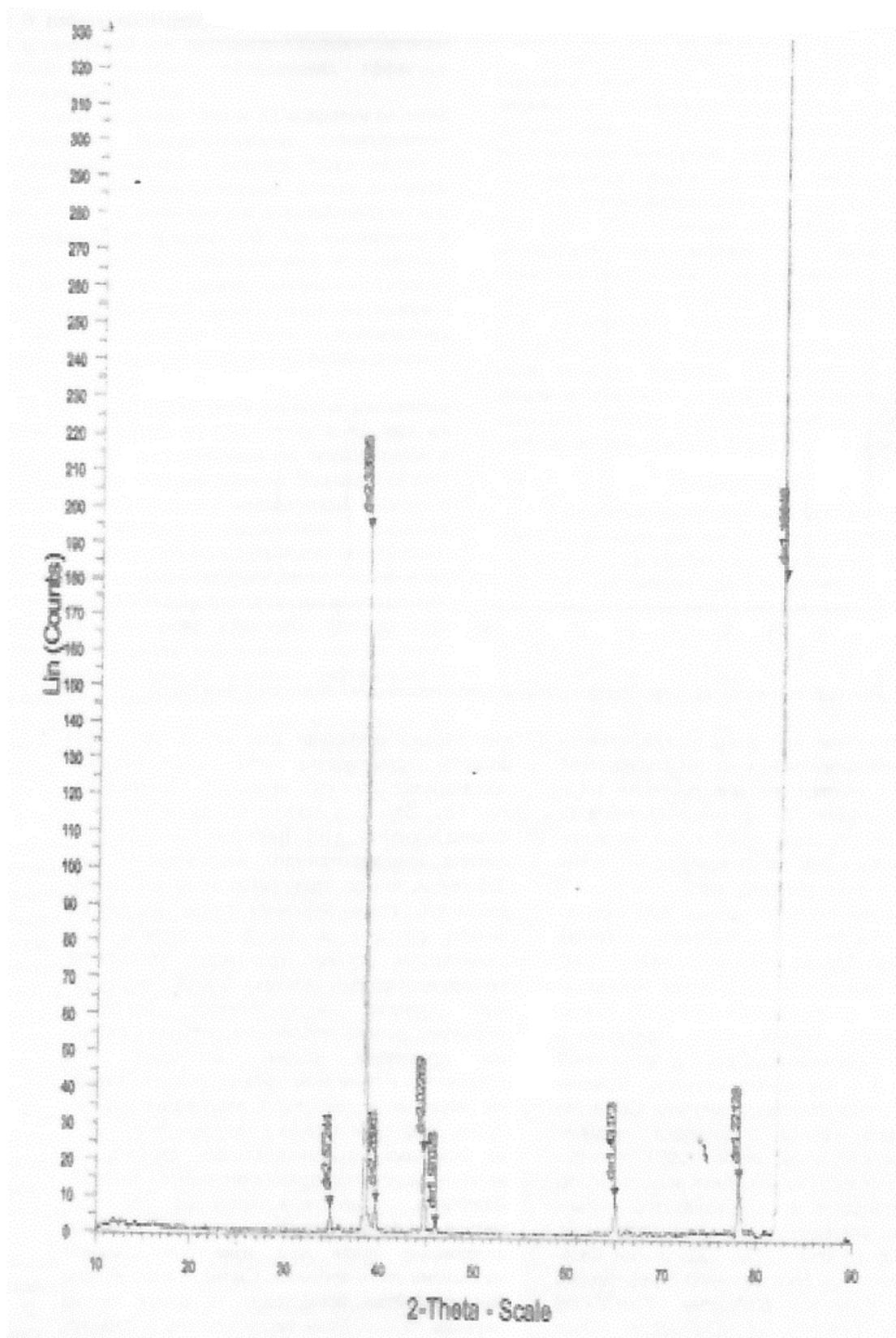


Рис. 4. Рентгенограмма образца Mg-Al-Si после осадки

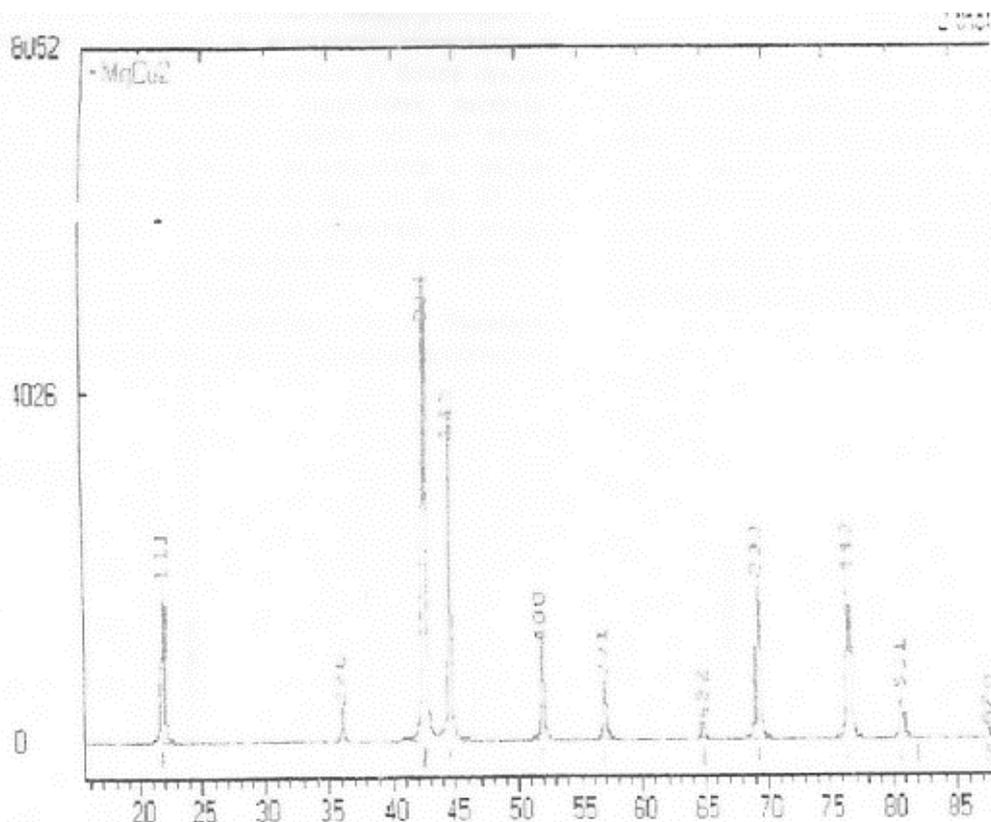


Рис. 5. Рентгенограмма фазы с тетраэдрически плотноупакованной структурой типа Mg Si

О присутствии этой фазы можно утверждать на основании сравнения интенсивностей рефлексов на рентгенограммах рисунков 3,4,5. На рисунке 4 рефлекс 222 значительно сильнее рефлекса 111, что указывает на присутствие фазы со структурой, имеющей тетраэдрическую плотную упаковку, смотрите (рисунок 5).

Рентгеноструктурный анализ при излучении Co Ka показал, что в некоторых участках образца интенсивность рефлексов (331) и (222) значительно выше рефлексов выше интенсивности рефлекса от плоскостей типа (111). Такую картину можно понять, если сопоставить полученный дифракционный спектр, показанный на рисунке 3 с картинами структур Франка-Каспера, полученными при излучении SiKa. На рис.6 показана картина дифракции рентгеновских для структуры стали 110Г13Л после динамического нагружения. Хотя использованы разные источники излучения, характеры распределения интенсивности по спектрам аналогичны. Видно, что рефлексы (311) и (222) имеют большую интенсивность по сравнению с рефлексами (111) (220) (Powder Diffraction File(JCPDS International Center for Diffraction Data, Swarthmore,PA), Inorganic, card 01-1226).

Обсуждение результатов

При оценке энергодисперсионных спектров, в сравнении с данными рентгеновского флуоресцентного анализа, можно предположить, что в процессе динамического нагружения происходит механохимическая реакция, в результате которой формируются зоны Гинье-Престона, обогащенные атомами примесей. Примеси Cr, Fe, Si, Zn, Ti и прочие всегда добавляют в сплавы Mg-Al-Si. [10] Проблемы твердофазного синтеза инициированного механическим воздействием, всегда привлекали внимание исследователей. Однако механизм и кинетика твердофазных реакций до конца не поняты и в большинстве случаев происходит накопление экспериментальных данных. Любой твердофазный процесс осуществляется благодаря диффузии, однако механизмы диффузии являются предметом острых дискуссий. Это происходит в основном из-за сложности проверки механизмов диффузии экспериментальным путем. Диффузия атомов в твердом теле - одно из основных фундаментальных свойств, на котором базируется понимание многих явлений. Величины, входящие в уравнения для параметров диффузии, приобретают свое конкретное содержание лишь при известном атомном механизме этого процесса. Смена атомом ячейки Вигнера-Зейтца происходит за время скачка порядка 10^{13} с. Если число скачков составляет более 100, то температура локального атомного окружения может соответствовать температуре плавления, а, следовательно, организации новой ячейки Вигнера-Зейтца. Такая ячейка может представлять собой плотную упаковку тетраэдров или структуру Франка-Каспера, поскольку на ее формирование требуется меньше энергии

Известно, что материалы, атомная структура которых описывается многогранниками Франка-Каспера, имеют склонность к сжатию элементарной ячейки до 30%. Многогранники Франка-Каспера - это плотноупакованные тетраэдры, в вершинах которых расположены атомы. Кластеры, собранные из таких многогранников, имеют нанометровые размеры. Очевидно наличие больших внутренних напряжений в материалах с подобными структурами. Выяснение физических причин и механизмов кинетических процессов, проходящих в условиях локализации деформации, является необходимым для понимания природы процессов упрочнения в металлических сплавах. Задача выявления механохимических эффектов в сплавах Fe-Mn-C решалась в работе [9] На границах аустенитных зерен в области локализации деформации выявлены включения фазы, имеющей тетраэдрически плотноупакованную структуру Франка-Каспера Fk12+Fk14 [5]

Выводы

1. Исследованы особенности структуры превращений под нагрузкой в сплаве на основе Mg-Al-Si
2. Обнаружены зоны Гинье-Престона, формирующиеся под действием сжимающей нагрузки.
3. С помощью рентгеноструктурного анализа обнаружены структуры Франка-Каспера, возникающие под действием сжимающей нагрузки.

Авторы выражают благодарность Каргину Б.Ф. за помощь в проведении структурного анализа.

Литература:

7. Третьяков А. В., Зюзин В. И., Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением, // М., 1973;
8. Кишкин С.Т. «Металловедение алюминиевых сплавов». //М.: Наука, 1985г.
9. Алюминиевые сплавы. Бочвар А.А. и Спасский А. Г. Москва, 2009
10. Головин Ю.И., Дуб С.Н., Коренков В.В., Тюрин А.И. «Кинетические особенности деформации твердых тел в нано и микрообъемах» //ФТТ, 2005,47, вып.6.962-973с.
11. Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.// М.:Мисис,205.428с.
12. П. А. Петров, В.И. Перфилов. Исследование упрочнения алюминиевого сплава АМгб на начальном участке кривой текучести при повышенных температурах.// Моделирование, программное обеспечение и наукоёмкие технологии в металлургии. Труды 2-й Всероссийской научно- практической конференции// Под редакцией С.П.Мочалова. Новокузнецк: СибГИУ, 2006. С.205- 212.
13. Yuan X.J.Sheng G.M. QinB. Huang W.Z. Zhoi B. Impulse pressuring diffusion bonding of titanium alloy to stainless stell. Elsevier Science. Materials characterization // ISSN 1044-5803. 2008 vol. 59.no7.pp.930-936.
14. Л. А. Горбачев «Исследование структуры стали 08К при циклическом деформировании » // Заводская лаборатория 2009Т75№1 с.37-40
15. L.I. Kveglis, R.B.Abylkalykova, F.M.Noskov "Local electron structure and magnetization in b-Fe86Mn13C", Superlates and microstructures, V.46, 2009 P. J.// Oilman Mechanochemistry, Science, V.274,P.65 (1996).
16. «Алюминиевые сплавы» //М.: «Металлургия», 1979.

Рецензент: профессор Российской Федерации Квеглис Л.И.