

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИИ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2023 Issue: 05 Volume: 121

Published: 14.05.2023 <http://T-Science.org>

Issue

Article



Vladimir Albertovich Skripnyak

Tomsk State University
Professor to Department of Deformable Solid Mechanics

Nuriddin Bakhriev

Samarkand State University
Lecturer to Department of Theoretical and Applied Mechanics

Shahzod Ne'mat o'g'li Umarov

Samarkand State University
Masters

Olim Muxtor o'g'li Usmonov

Samarkand State University
Masters

ALLOYS INFLUENCE OF THE DISPERSION-HARDENED STRUCTURE ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOYS

Abstract: This literature review presents the results of studies of the influence of grain sizes on the mechanical behavior of dispersion-hardened aluminum and magnesium alloys. The patterns of deformation and destruction of some aluminum and magnesium alloys are established in the form of tables and graphs, which are built on the basis of an abstract review of sources. Such a need is due to the need to improve the strength properties of non-ferrous casting alloys used for the manufacture of structural elements in the aircraft industry, land transport, the space industry and shipbuilding.

Key words: Plates, solutions, equations, oscillations, layer, algorithm.

Language: Russian

Citation: Skripnyak, V. A., Bakhriev, N., Umarov, Sh. N., & Usmonov, O. M. (2023). Alloys influence of the dispersion-hardened structure on the mechanical behavior of aluminum alloys. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 05 (121), 81-85.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-05-121-17> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2023.05.121.17>

Scopus ASCC: 2200.

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНО-УПРОЧЕННОЙ СТРУКТУРЫ НА МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация: В данной литературном обзоре представлены результаты исследований влияния размеров зерна на механическое поведение дисперсно-упроченных сплавов алюминия и магния. Установлены закономерности деформации и разрушения некоторых сплавов алюминия и магния в виде таблиц и графиков, которые построены на основании реферативного обзора источников. Такая потребность обусловлена необходимостью повышения прочностных свойств, цветных литейных сплавов, используемых для изготовления элементов конструкции авиационной, наземного транспорта, космической отрасли и судостроения.

Ключевые слова: Пластинки, решений, уравнений, колебания, слой, алгоритм.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Введение

Одним из перспективных направлений повышения прочности материалов является уменьшение размеров зерна. В соответствии с принятой в [1] терминологией будем в дальнейшем называть материалы с размерами зерна от 100 до 10 мкм крупнокристаллическими, от 1 до 100 нм - материалами с субмикроструктурной структурой. А при размерах кристаллов менее 100 нм материалами с нанокристаллической структурой.

Экспериментальные данные [2-4] свидетельствуют о том, что механические свойства крупнокристаллических материалов (Al_2O_3 , ZrO_2 - Y_2O_3 , α -Ti, Cu) отличаются от свойств с субмикроструктурной структурой. Механические модели, разработанные для крупнокристаллических материалов, не способны адекватно описывать механическое поведение субмикроструктурных материалов при динамическом нагружении. В данной работе рассмотрен вопрос о сдвиговой прочности (пределе текучести) субмикроструктурных материалов при высокоскоростной деформации.

Порошковая металлургия (P/M) позволяет получить продукт из быстро отвержденного порошка, который содержит богатые растворенные вещества в избытке равновесного состояния, а также имеет микроструктуру без ликвации даже в сплаве с очень высоким содержанием растворенных веществ. В представленной работе [1], предпринято несколько попыток улучшить механические свойства обработанных сплавов Al, Zn, Mg, Cu как объект порошковой металлургии. В статье продемонстрирована разработка чрезвычайно высокопрочных сплавов Al, Zn, Mg и Cu (мезолит). Было высказано предположение, что прочность связана с множественными эффектами за счет дисперсионного твердения и армирования волокна, а также мелкозернистого упрочнения. Настоящее исследование было сосредоточено на выяснении вклада наноразмерных осадков в механические свойства конструкционного материала.

Экспериментальная процедура

Методом распыления было изготовлено несколько видов сплавов с различными химическими составами, среди них два (Meso10 и Meso20) являются коммерчески доступными сплавами. Используемый здесь порошок имел средний диаметр частиц 40 мкм. Скорость охлаждения оценивалась в $2 \sim 5 \times 10^4$ K/c по расстоянию между дендритными ветвями [2]. Распыленный порошок помещали в алюминиевую емкость, а затем прессовали под гидростатическим давлением 392 МПа.

Контроль твердости по Виккерсу проводилась для изучения поведения сплавов при старении. При старении образцов при 383 K твердость увеличивалась пропорционально с увеличением времени старения и достигала максимума примерно при 90 HV(условно равняется T6). Ясно, что настоящие сплавы являются упрочняемыми при старении, и температура старения была выбрана равной 383 K как компромиссная температура.

Алюминиевые сплавы сверхвысокой прочности были разработаны путем сочетания нескольких механизмов упрочнения; - армирования волокном, - мелкозернистым упрочнением и дисперсионным твердением. Особенно наноразмерные частицы очень эффективны для получения высокопрочных материалов. Наибольшая прочность 1033 МПа была достигнута при испытании на сжатие.

Ультрамелкозернистые материалы, обработанные интенсивной пластической деформацией (SPD- severe plastic deformation) которые могут быть адаптированы для достижения превосходных свойств и производительности. В последнее время методы SPD, ставшие эффективным способ измельчения зерен в сплавах, стали привлекательными для изготовления ультрамелкозернистых биомедицинских материалов, которых можно регулировать, для получения благоприятных механических свойств, так и для получения превосходной биосовместимости. Биомедицинские титановые сплавы стали одним из наиболее перспективных биомедицинских металлических материалов, благодаря их высокой прочности, низкой плотности, хорошей биосовместимости и очень высокой коррозионной стойкости. По сравнению с традиционными титановыми сплавами ультрамелкозернистые, биомедицинские титановые сплавы обладают повышенной прочностью, улучшенной коррозионной стойкостью и в них устранены усталостные характеристики. Более того, ультрамелкозернистые биомедицинские титановые сплавы, которые используются для ортопедических и зубных имплантатов, могут вызвать вращение костной ткани, при этом увеличивают межфазную прочность и ускоряют восстановленный процесс.

Исследования [6] рассматриваются последние разработки, связанные с производством ультрамелкозернистого титана и биомедицинских титановых сплавов различными свойствами, полученные методом SPD, также разработаны технологии получения мелкозернистой структуры, такие как: * - равноканальное угловое прессование (ECAP), - кручение под высоким давлением (HPT), - накопительная прокатка (ARB) и обработка с трением и перемешиванием

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

(FSP). Можно ожидать что, в ближайшем будущем эти методы будут использоваться в качестве методов для непрерывного производства биоматериалов *UFG* в больших масштабах и в промышленном применении.

В работе авторов *Taek-Kyun Jung u др.* [7] поставлена задача исследования механических свойств метастабильного сплава β -Ti-Nb-Sn, не подвергающегося деформационному α'' -превращению, для сравнения со свойствами менее стабильного сплава β -Ti-Nb-Sn. Для достижения этой цели был выбран сплав Ti-25Nb-11Sn с низким содержанием Nb, поскольку дорогостоящее содержание Nb снижено, чтобы сохранить метастабильную монофазу β для будущих коммерческих применений. Предел текучести, предел прочности при растяжении, относительное удлинение и модуль Юнга были исследованы в ходе испытаний на растяжение в зависимости от температуры термообработки после холодной штамповки для разработки имплантатов из сплава β -Ti с низким модулем Юнга и высокой прочностью.

Как только достигается низкий модуль Юнга с высоким пределом текучести, сплав можно применять не только в ортопедических имплантатах, но и в ортодонтических устройствах, поскольку ожидается большая упругая деформация восстановления, возникающая в соответствии с законом Гука. В статье [7] также обсуждается влияние термической обработки на восстановление упругой деформации путем оценки коэффициента упругости.

В работе авторского коллектива *Holger Schwab u др.* [8] подробно приведена способ получения сплава Ti-45Nb методом порошковой металлургии. При этом, стержни Ti-Nb (4 кг), используемые для производства порошка, были приобретены у ATI (Albany, NY, USA-Албани, штат Нью-Йорк, США). Распыление стержней в сферический порошок при помощи газа (GAP- gas atomized powder) был произведен по методу EIGA (Electrode Induction-melting Gas Atomization) в атмосфере аргона (чистота 99,999%) компанией TLS Technik (Bitterfeld-Wolfen, Германия). Для влажного просеивания применяли (жидкость: изопропиловый спирт) и были отобраны частицы порошка в диапазоне $20 < d < 100$ мкм. Объемные образцы были получены из GAP с использованием устройства SLM-250HL (SLM- Selective Laser Melting), оснащенного непрерывным лазером Nd-YAG (P_{max} : 400 Вт, непрерывный режим, λ : 1054 нм и размер камеры построения: 250 мм \times 250 мм \times 350 мм) с размером головки пучка \sim 80 мкм. Образцы были изготовлены на подложке из Ti-45Nb, а камера построения была заполнена газообразным аргоном высокой чистоты (чистота 99,9%), чтобы избежать окисления образцов во

время процесса SLM. Для предотвращения притока кислорода из атмосферы в камере построения поддерживалось избыточное давление 10 mbar.

Как утверждают авторы [8], образцы Ti-45Nb были успешно изготовлены методом SLM с тремя различными наборами параметров. Рентгенограммы показывают наличие β -фазы с уширением пиков по сравнению с GAP, что свидетельствует о наличии внутренних напряжений и/или измельчении зерна. Электронно-микроскопические изображения показывают наличие эллиптических зерен с Ti по границам. Как микротвердость по Виккерсу, так и результаты испытаний на сжатие доказывают, что прочность образцов SLM увеличивается с увеличением подводимой энергии.

В работах Российских ученых [9,10], экспериментальными методами и компьютерного моделирования исследованы неупругая деформация и разрушение на мезомасштабном уровне ультрамелкозернистых (УМЗ) легких сплавов с распределением зерен по размерам в широких условиях нагружения. По данным структурных исследований алюминиевых и магниевых УМЗ-сплавов разработаны расчетные многомасштабные модели представительного элемента объема (ЭОП) с унимодальным и бимодальным распределением зерен по размерам. Критическое напряжение разрушения УМЗ-сплавов на мезомасштабном уровне зависит от относительных объемов крупных зерен. Зарождение микротрещин при квазистатическом и динамическом нагружении связано с локализацией деформации в парциальных объемах УМЗ с бимодальным распределением зерен по размерам. Микротрещины возникают вблизи границ крупных и ультрамелких зерен. Выявлено, что возникновение бимодального распределения зерен по размерам приводит к повышению пластичности УМЗ сплавов, но снижению предела прочности при растяжении.

По данному направлению исследований представлены аналогичные работы, где влияние среднего размера зерна на предел текучести при сжатии и растяжении было установлено ранее для алюминиевых, титановых и магниевых сплавов. Установлено, что при уменьшении среднего размера зерна металлов и сплавов менее нескольких микрометров напряжение течения при комнатной температуре легких сплавов увеличивается, но уменьшается удлинение до разрушения. Такое механическое поведение сплавов с микрометровым и субмикронным средним размером зерна наблюдается у легких сплавов в широком диапазоне скоростей деформации [11-14]. Легкие сплавы с бимодальным гранулометрическим составом обладают отрицательной скоростной

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

чувствительностью предела текучести и более высокой пластичностью при квазистатических скоростях деформации [12-15]. Сопротивление росту трещин в УМЗ сплавах с бимодальным гранулометрическим составом увеличивается за счет прогиба микротрещин на границах между УМЗ и крупнозернистой (КЗ) областями. Влияние распределения размера зерна на механическое поведение легких сплавов при высоких скоростях деформации изучено недостаточно. Целью данной работы было более полное понимание физических механизмов деформации и разрушения легких сплавов с распределением размеров зерен при импульсном нагружении.

Заключение

Обзор научно-исследовательских работ представленных в данной статье, по разработке наночастиц и физико-механические свойства дисперсно-упрочнённых композитов на основе алюминия, магния и циркония для перспективных технических приложений в соответствии с

поставленной целью исследований позволили сделать следующие выводы:

1. Изучить структуру, фазовый состав и дисперсность порошков алюминия, магния и циркония, полученных различными методами.

2. Равномерно распределить наночастиц в порошковых смесях Al- Mg-Zr.

3. Определить закономерности деформационного упрочнения сплавов дисперсно-упрочнённых сплавов алюминия, магния и циркония при динамическом нагружении.

4. В результате моделирования механического поведения сплавов, упрочнённых дисперсными наночастицами, моделировать механические поведения дисперсно-упрочнённых сплавов.

5. Математическая постановка задачи о деформации дисперсно-упрочнённых сплавов алюминия и магния с крупнокристаллической и ультрамелкозернистой структурой при высокоскоростном растяжении и сжатии;

References:

1. Schneidera, S., Schneidera, S. G., Silbab, H. M., & Netob, C.M. (n.d.). *Study of the non-linear stress-strain behavior in Ti-Nb-Zr alloys*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/250029311>
2. Lin, Zh., Wang, L., Yeung, K. W. K., & Qin, J. (n.d.). *The Ultrafine-Grained Titanium and Biomedical Titanium Alloys Processed by Severe Plastic Deformation (SPD)*. Retrieved from www.researchgate.net/publication/274287280
3. Martins, G.V., Silva, C.R., Nunes, C.A., Trava-Airoldi, V.J., Borges Junior, L.A., & Machado, J.P. (n.d.). *Beta Ti-45Nb and Ti-50Nb Alloys Produced by Powder Metallurgy for Aerospace Application*. Retrieved from www.researchgate.net/publication/40741470
4. Friak, M., Counts, W.A., Duancheng, Sander, B., Holec, D., Raabe, D., & Neugebauer, J. (n.d.). *Theory-Guided Materials Design of Multi-Phase Ti-Nb Alloys with Bone-Matching Elastic Properties*. Retrieved from www.researchgate.net/publication/232250021
5. Liu, Q., Meng, Q., Guoa, Sh., & Zhao, X. (n.d.). *α' Type Ti-Nb-Zr alloys with ultra-low Young's modulus and high strength*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/259140515>
6. Lin, Zh., Wang, L., Yeung, K. W. K., & Qin, J. (n.d.). *The Ultrafine-Grained Titanium and Biomedical Titanium Alloys Processed by Severe Plastic Deformation (SPD)*. Retrieved from www.researchgate.net/publication/274287280
7. Jung, T.-K., Naoya, S.S., & Hanada, M.Sh. (2012). *Mechanical properties and microstructures of β Ti-25Nb-11Sn ternary alloy for biomedical applications*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.msec.2012.12.072>
8. Schwab, H., Prashanth, K. G., Löber, L., & Kühn, U. (n.d.). *Selective Laser Melting of Ti-45Nb Alloy*. Retrieved from www.mdpi.com/2075-4701/5/2/686/html
9. Skripnyak, V.A., Skripnyak, N.V., Skripnyak, E.G., & Skripnyak, V.V.. (n.d.). *Influence of Grain Size Distribution on the Mechanical Behavior of Light Alloys in Wide Range of Strain Rates*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/312388203>
10. Skripnyak, V. A., Skripnyak, V. V., & Skripnyak, E. G. (n.d.). *The Mechanical Behavior of Metal Alloys with Grain Size Distribution in a Wide Range of Strain Rates*. Retrieved from www.researchgate.net/publication/321473825
11. Skripnyak, V.A. (2012). *"Mechanical behavior of nanostructure and ultrafine-grained materials"*

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИИ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

- under shock wave loadings. Experimental data and results of computer simulation*”, in “Shock Compression of Condensed Matter-2012”, AIP Conference Proceedings 1426, AIP, Melville, NY, 2012, pp. 965-970.
12. Ulacia I., Salisbury C.P., Hurtado I., et al., (2011). *J. of Materials Processing Technology*. 211, 830-839(2011);.
 13. Raesinia, B., Sinclair, C. W., Poole, W. J., & Tome, C. N. (2008). *Mater. Sci. Eng.* 16, 025001 (15pp).
 14. Zhu, L., Shi, S., Lu, K., & Lu, J. (2012). *Acta Mater.* 60, 5762-5772(2012).
 15. Skripnyak, V.A., Skripnyak, E.G., Skripnyak, N.V., Vaganova, I.K., & Skripnyak, V.V. (2014). “*Failure mechanisms of light alloys with a bimodal grain size distribution*”, in:”11th. World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI)”, Barcelona, Spain, 25-29, July. 2014 IV: 3915-3925 (2014).