

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XIII Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

Том 1. Физика

РОССИЯ, ТОМСК, 26 – 29 апреля 2016 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

XIII International Conference of students, graduate students
and young scientists

Volume 2. Physics

RUSSIA, TOMSK, April 26 – 29, 2016

Томск 2016

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ТУГОПЛАВКИХ ЧАСТИЦ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И
УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ ПРИ УДАРНО-
ВОЛНОВОМ НАГРУЖЕНИИ**

В.В. Промахов¹, И.А. Жуков¹, С.А. Ворожцов²

Научные руководители: д.ф.-м.н. А.Б. Ворожцов, д.ф.-м.н. А.С. Жуков

¹Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН,

Россия, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1

²Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: vvpromakhov@mail.ru

**INFLUENCE OF ADDITIVES REFRACTORY PARTICLES ON STRENGTH AND ELASTIC-
PLASTIC PROPERTIES OF ALUMINUM CASTING ALLOYS UNDER SHOCK WAVE LOADING**

V.V. Promakhov¹, I.A. Zhukov¹, S.A. Vorozhtsov²

Scientific Supervisors: Dr. A.B. Vorozhtsov, Dr. A.S. Zhukov

¹Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies SB RAS, Russia, Altai region,

Biysk, Socialisticheskaya str., 1, 659322

²Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: vvpromakhov@mail.ru

***Abstract.** The purpose of this work was to determine the parameters of dynamic fracture of composite alloys Al-TiB₂. The structure and mechanical properties of metal matrix composites was studied. Experimental study of strength and elastic-plastic properties of the composite alloys under shock-wave loading was studied. Studies have shown perspectivity of producing master alloy with a given morphology refractory particles.*

Современное развитие авиакосмической и автомобильной промышленности обуславливает потребность в новых материалах, способных удовлетворить требованиям новой техники, для которой характерно ужесточение условий эксплуатации: повышение нагрузок, скоростей, температур, агрессивности сред, уменьшение веса и т.д. Традиционные материалы уже не могут удовлетворить эти запросы. Большое значение в этой области имеют алюминиевые композиты [1,2]. Разработка легких сплавов на основе алюминия велась и совершенствовалась в течение многих десятилетий. Прочность и пластичность этих материалов, главным образом, достигалась за счет контроля химического состава сплава, размера зерна, твердого раствора, а также модифицирования. Однако, согласно большинству современных исследований в области легких сплавов, оптимальным способом, удовлетворяющим требованиям физических основ материаловедения, специфике промышленного внедрения и экономической эффективности, является создание новых материалов с гетерофазной структурой путем дисперсного упрочнения. Такие материалы,

состоящие из матрицы и распределенных в ней армирующих элементов, обладают качественно новыми, зачастую уникальными свойствами [3].

Известно, что прочность материалов сильно зависит как от микроструктуры, так и от условий нагружения (температура, скорость деформирования и т. д.). В условиях интенсивных импульсных воздействий материал перед разрушением испытывает сжатие в ударной волне, которое сопровождается его необратимым разогревом и, в некоторых случаях, перестройкой кристаллической структуры. Экспериментальная информация о прочностных и упругопластических свойствах металлов, сопротивлении металлов в широком диапазоне параметров нагрузки и начального состояния необходима для развития физики твёрдого тела, физики прочности и пластичности в области высоких скоростей деформирования.

В рамках работы были получены образцы композиционных сплавов на основе алюминия (АК7) с микрочастицами диборида титана. Пороки диборида титана получены методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Введение порошков TiB_2 в расплав металла проводили с использованием предварительно полученных лигатур. Введение лигатур проводили при одновременной обработке расплава мощными ультразвуковыми (УЗ) воздействиями. Диапазон частот обработки составлял 18,1 кГц.

Проведены исследования структуры полученных композиционных сплавов. Установлено, что независимо от вида частиц наблюдалось уменьшение среднего размера зерен в сплаве Al-4%Cu относительно исходного, таблица 1. При этом увеличение содержания частиц в сплавах от 0.025 до 0.05 масс.% значительно сказывается на механических свойствах композитов. В частности, при введении 0,025% частиц TiB_2 предел прочности составил 130 МПа, а при введении 0,05 % частиц TiB_2 предел прочности составил 170 МПа. Интересен тот факт, что при увеличении содержания частиц в сплаве в некоторых случаях наблюдалось увеличение предела текучести. Также выявлено, что добавка твердых частиц приводит к повышению максимальной деформации до разрушения.

Таблица 1

Результаты статических экспериментальных исследований
физико-механических свойств композитных сплавов

№	Средний размер зерна, мкм	Модуль Юнга, МПа	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Максимальные деформации, %
Al-4%Cu	330	21 318	52	77	1,53
Al-4%Cu+0.025% TiB_2	220	36 148	58	130	5,45
Al-4%Cu+0.05% TiB_2	175	38 050	69	170	7,37

Свойства сплавов при динамическом нагружении изучались с использованием техники ударно-волнового эксперимента. При измерениях учитывалось, что структура ударной волны и динамика волновых взаимодействий в исследуемом материале определяются, помимо термодинамического уравнения состояния вещества, процессами упругопластического деформирования и разрушения в материале. В работе измерялись профили скорости тыльной свободной поверхности образцов во время ударного сжатия, с последующим расчетом динамического предела упругости (HEL) и динамической прочности на разрыв (откольной прочности).

Нагружение образцов проводилось ударом алюминиевых пластин толщиной 0.4 мм со скоростью 0.6 км/с. Метание ударников осуществлялось с применением взрывных устройств. В экспериментах регистрировалась профили скорости свободной поверхности образца как функции времени. Измерения проводились с использованием лазерного Доплеровского измерителя скорости VISAR, имеющего в использовавшейся конфигурации временное разрешение 0.8 нс. В таблице 2 представлены данные о параметрах упруго-пластических свойств литейных сплавов на основе алюминия при ударно-волновом нагружении.

Таблица 2

Результаты измерений динамического предела упругости и откольной прочности исследуемых материалов.

Материал	№	h_{samp} , мм	u_{HEL} , м/с	Δu_{fs} , м/с	σ_{HEL} , ГПа	σ_{sp} , ГПа
Al-4%Cu	12	2.294	26.5	146	0.221	1.06
Al-4%Cu+0.025TiB ₂	5	2.275	17.4	146	0.144	1.06
Al-4%Cu+0.05TiB ₂	6	2.240	27	132	0.224	0.96

Была определена величина разрушающего напряжения при отколе (откольная прочность материала). Результаты измерений показывают, что введение твердых частиц в сплав ослабляют зависимость предела текучести от скорости деформирования. Различие скоростных зависимостей может быть настолько большим, что при статическом и высокоскоростном нагружениях влияние этих частиц на динамический предел прочности может изменять знак. Различие по знаку влияния ударно-волнового воздействия на сопротивление квазистатическому и высокоскоростному деформированию дает основание полагать, что основные механизмы высокоскоростной деформации и разрушения и, соответственно, структурные факторы, определяющие пределы текучести и прочности материала, не обязательно совпадают с таковыми при малых скоростях деформирования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60028 мол_а_дк и по Программе повышения конкурентоспособности ТГУ среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.D. Moghadam, B.F. Schultz, J.B. Ferguson, E. Omrani, P.K. Rohatgi, N. Gupta, Functional metal matrix composites: self-lubricating, self-healing, and nanocomposites – an outlook, JOM, 2014, vol. 66, pp. 872–881.
2. W.H. Sillekens, D.J. Jarvis, A. Vorozhtsov, V. Bojarevics, C.F. Badini, M. Pavese, S. Terzi, L. Salvo, L. Katsarou, H. Dieringa. The ExoMet Project: EU/ESA Research on High Performance Light Metal Alloys and Nanocomposites, Metallurgical and Materials Transactions A, 2014, vol. 45A, pp. 3349-3361.
3. Sergey A. Vorozhtsov, Dmitry G. Eskin, Javier Tomayo, Alexander B. Vorozhtsov, Vladimir V. Promakhov, Artem A. Averin, Anton P. Khrustalyov The Application of External Fields to the Manufacturing of Novel Dense Composite Master Alloys and Aluminum-Based Nanocomposites // Metallurgical and Materials Transactions A: Physics and Materials Science, 2015, V.46(7), 2850, pp. 2870-2875.