

НАНОПОРОШКИ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Суходаев П. О.,

научный руководитель канд. техн. наук Редькин В. Е.

Сибирский федеральный университет

Алюминий по содержанию в земной коре (~ 8,8 %) является одним из самых распространенных металлов (для сравнения, например, железа в земной коре 4,65% - в два раза меньше). Достоинствами алюминия и его сплавов являются: малая плотность (2,7 г/см³), сравнительно высокие прочностные характеристики, хорошая тепло- и электропроводность, технологичность, высокая коррозионная стойкость. Совокупность этих свойств позволяет отнести алюминий к числу важнейших технических материалов.

Алюминий и его сплавы широко применяются в аэрокосмической, судостроительной, электротехнической, строительной промышленности, транспортном машиностроении и других отраслях. Но алюминиевые сплавы, полученные традиционно применяемыми методами легирования, в значительной мере достигли своего предела конструктивной прочности. Вместе с тем развитие современной техники требует создания материалов, надежно работающих в сложной комбинации силовых и температурных полей, при воздействии агрессивных сред, излучений, глубокого вакуума и высоких давлений. Зачастую требования, предъявляемые к материалам, могут носить противоречивый характер.

Улучшение физико-механических и эксплуатационных свойств сплавов на основе алюминия возможно за счет модифицирования их дисперсными частицами другой фазы. При этом особый интерес представляют наноразмерные частицы тугоплавких химических соединений, так как они обладают уникальными физико-химическими и механическими свойствами, существенно отличающихся от свойств материалов того же химического состава в массивном состоянии, причем эти свойства могут в определенной степени передаваться получаемым из них или с их участием изделиям. Это связано с тем, что в нанометровом масштабе возникают качественно новые эффекты, свойства и процессы, определяемые законами квантовой механики, размерным квантованием в малых структурах, отношением поверхность/объем и другими явлениями и факторами.

Как известно, физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики металлоизделий зависят не только от химического состава сплавов, из которых их изготавливают, но и от степени измельчения структурных составляющих. Чем мельче структура, тем выше механические свойства металлоизделий. Наночастицы, при модифицировании металлов, способны измельчать их структуру, тем самым повышая механические характеристики: прочность, пластичность, твердость, износостойкость и другие.

Влияние наночастиц тугоплавких химических соединения на механические свойства изделий из алюминиевых сплавов объясняется тем, что, с одной стороны частицы препятствуют движению дислокаций в матрице (механизм упрочнения Орована – рис. 1),

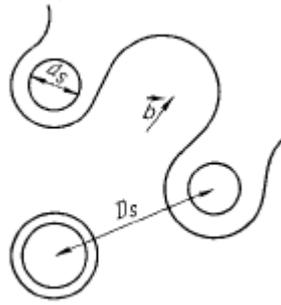


Рисунок 1 – Огибание частиц краевой дислокацией по механизму Орована

с другой стороны при достаточном смачивании жидким алюминием частицы являются центрами кристаллизации, и таким образом, уменьшают размер кристаллического зерна металла, который влияет на предел текучести, согласно соотношению Холла-Петча:

$$\sigma_T = \sigma_i + k_i d_1^{-1/2},$$

где σ_i – внутреннее напряжение, учитывающее сопротивление движению дислокаций;

k_i – коэффициент наклона в уравнении Петча, связывающий d_1 и σ_T .

При жидкофазном методе модифицирования алюминия прямое введение нанопорошков в расплав чрезвычайно осложнено рядом причин: частицы легко компактируются, при незначительном нагреве в обычной атмосфере они интенсивно взаимодействуют с собственными, адсорбированными ими, газами, а также, несмотря на достаточно высокую плотность, легко образуют в воздухе пылевидную взвесь. Десорбция растворенных газов при нагреве УДП в жидкой среде сопровождается процессом их молизации на межфазной границе, и частицы порошка за счет понтоного эффекта всплывают к поверхности расплава, окисляются и в дальнейшем не смачиваются. Поэтому необходима предварительная подготовка УДП перед введением в расплав, которая заключается в плакировании их поверхности металлическими пленками [1].

В работах [1] и [2] предложена технология введения модификаторов, заключающаяся в следующем: смесь фрагментированного алюминиевого сплава (гранулы, стружка, сечка) с нанопорошками помещается в алюминиевый контейнер и интенсивно перемешивается в барабане с эксцентричными осями, после этого контейнер выдавливается через отверстие матрицы с помощью гидравлического пресса (рисунок 2). Таким образом, получается модифицирующий пруток, который помещается в расплав.

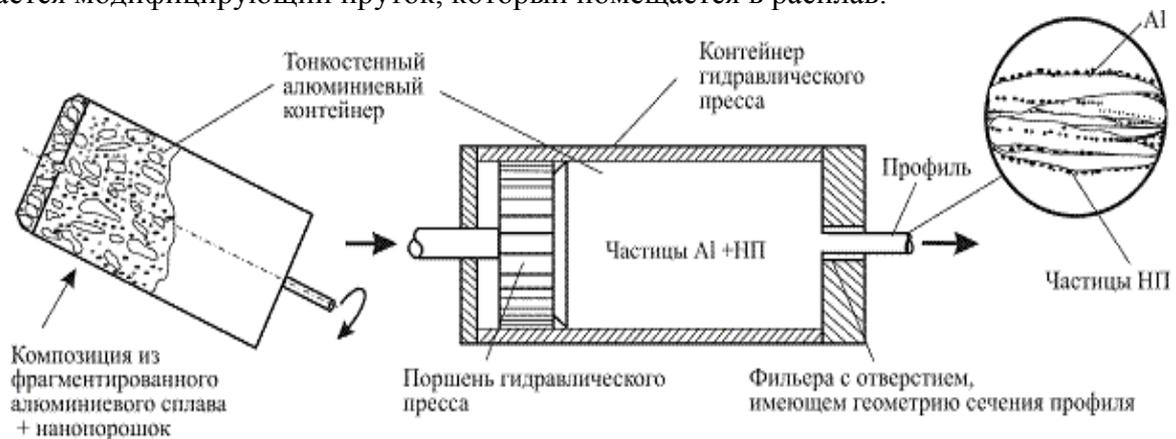


Рисунок 2 - Схема технологии изготовления модифицирующего прутка, содержащего наночастицы

В работе [1] по данной технологии был модифицирован различными ультрадисперсными порошками ряд литейных и деформируемых сплавов алюминия. При этом испытания механических свойств полученных образцов во всех случаях показали увеличение предела текучести, временного сопротивления, относительного удлинения при разрыве, и уменьшения размера зерна. Например для сплава Д16, модифицированного частицами SiC предел текучести повысился на 11%, относительное удлинение – на 31,6%, размер зерна уменьшился в 2 раза.

В данной работе вышеописанная технология модифицирования алюминиевых сплавов была приспособлена для лабораторных условий. В частности была спроектирована и изготовлена металлическая литейная форма для получения образцов, и пресс-форма с пуансоном для получения модифицирующих прутков (рис. 3). Пресс-форма и пуансон были изготовлены из стали 55, при этом был выбран следующий режим закалки – нагрев до 830°C и охлаждение в воде, обеспечивающий необходимую твердость (52 единицы по шкале Роквелла). Для расплавления металла использовалась электрическая печь сопротивления СНОЛ-1,6.2,5.1/9-ИЗ [3].



Рисунок 3 – Кокиль для литья призматических образцов слева и пресс-форма для изготовления модифицирующих прутков справа

На рис. 4 показан отлитый образец, модифицированный частицами оксида алюминия, полученными электровзрывным методом. Распределение частиц Al_2O_3 по размерам показано на рис. 5.



Рисунок 4 - полученный образец



Рисунок 5 – Распределение по размерам частиц оксида алюминия электровзрывного синтеза, используемого в качестве модификатора

В будущем планируется получить образцы, модифицированные алмазографитовой шихтой (ультрадисперсный алмазографитовый порошок УДП-АГ), полученной детонацией взрывчатых веществ во взрывной камере [4,5], и выделенными из нее наноалмазами (ультрадисперсные алмазы – УДА). Наноалмазы являются перспективным модификатором, так как имеют низкий средний размер частиц и обладают высокой прочностью.

Для улучшения смачиваемости УДА расплавом алюминия возможно нанесение на порошок наноалмазов металлических покрытий.

При модифицировании алюминия частицами УДА ожидается увеличение прочности, пластичности и твердости полученных композиционных материалов по сравнению с базовыми сплавами

Литература

1 Сабуров, В. П. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов / В.П. Сабуров [и др.]. // Низкотемпературная плазма. Т. 12 – Новосибирск: Наука, 1995. – 344 с.

2 Крушенко Г.Г. Применение нанопорошков химических соединений для улучшения качества металлоизделий // Технология машиностроения.- 2002.- № 3.- С. 3-6.

3 Суходаев П.О., Ардамин В.А., Композиционные материалы на основе алюминия, упрочненные наночастицами// материалы XXIII Международной инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2011). - Москва, 14-17 декабря 2011 г.. / М: Изд-во ИМАШ РАН, 2011. – 289 с.

4 Ставер, А.М. Ультрасупердисперсные алмазные порошки, полученные с использованием энергии взрыва / А. М. Ставер, Н. В. Губарева, А. И. Лямкин, Е. А. Петров // Физика горения и взрыва – 1984. – Т. 20, № 5

5 Ультрасупердисперсные порошки, наноструктуры, материалы: получение, свойства, применение. IV Ставеровские чтения: Труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 28-29 сентября 2006 г., Красноярск / Под ред. В.Е. Редькина, С.А. Подлесного. – Красноярск, ИПЦ КГТУ, 2006. – 362 с