

ЭФФЕКТ КОВКИ С ПЕРЕМЕННОЙ ОСИ ОСАЖИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЁННОГО СПЛАВА Al-7Fe-38Sn

А.Л. СКОРЕНЦЕВ^{1,2}, Н.М. РУСИН², В.Е. ЛИХАРЕВ^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: Vel6@tpu.ru

Введение. Алюминиевые антифрикционные сплавы системы Al-Sn обладают хорошими антикоррозионными и антизадирными свойствами, а также малым удельным весом, поэтому могут применяться для замены более дорогостоящих бронз в подшипниках скольжения [1]. Назначение олова – снизить интенсивность схватывания Al сплава со стальным контртелом при дефиците жидкой смазки на поверхности трения [2]. Олово не растворяется в твёрдом алюминии и располагается между зёрнами в виде тонких прослоек, которые таким образом разрушают и ослабляют алюминиевый каркас [3]. Предельная его концентрация, при которой зёрненный каркас остается еще связанным, составляет ~ 40 вес.% (20 % об.).

Повысить несущую способность композитов Al-Sn можно за счет введения между зёрнами матрицы твердых частиц, способных сдерживать локализацию пластического течения между зёрнами, разделёнными оловянными прослойками. Для этого они должны хорошо смачиваться жидким алюминием и оловом и иметь с ними прочные адгезионные границы после кристаллизации сплава. Указанным условиям удовлетворяют, например, частицы алюминидов железа состава Al_3Fe . Они могут быть введены в смесь порошков Al и Sn в готовом виде, либо синтезированы в процессе спекания. Например, в работе [4] спекали брикеты из смеси элементарных порошков Al, Sn и Fe, при нагреве которых алюминий диффундировал в железо, образуя на их месте агломераты из мелких сцементированных оловом алюминидов Al_3Fe . То есть, данный подход позволял избежать операции синтеза и помола частиц алюминидов, но обуславливал их неравномерное распределение вдоль границ зёрен матрицы.

При выходе на поверхность трения твёрдые, хорошо закреплённые в матрице частицы, способны воспринимать внешнюю нагрузку и передавать её матрице. Следовательно, чем равномернее они будут распределены в Al матрице, тем выше будет её износостойкость. То есть, желательно, объединённые в агломераты твёрдые частицы распределить более равномерно по объёму материала. Оказалось, что задача эта не простая, и все попытки разбить агломераты на более мелкие части путем деформационной обработки композитов при низком гидростатическом давлении, оказались безуспешными, и агломераты в деформируемом материале смещались как целое. Поэтому целью настоящей работы было исследование особенностей пластического течения и определение механических свойств спеченных композитов Al-Sn-Fe, подвергнутых интенсивной деформации ковкой в стеснённых условиях в закрытой пресс-форме.

Материалы и методика эксперимента. Элементарные порошки Al марки АСД-1, Sn марки ПО2 и Fe марки ПЖ-4 смешивались в конусном смесителе в течение четырех часов, а затем прессовались в брикеты пористостью $\approx 10\%$. Смесь содержала, % вес.: олова – 38, железа – 7, остальное – алюминий. Брикеты имели размеры 20x20x10 мм и спекались в вакуумной печи при температуре 620 °С в течение 1 часа. Затем образцы подвергались ковке с переменной осью осаживания, схема реализации которой приведена на рисунке 1.

Спеченные брикеты перед ковкой нагревались 300 °С и доуплотнялись в исходной пресс-форме при давлении 300 МПа, полученные образцы затем снова нагревались до указанной температуры и осаживались до половины их высоты. Перед каждым повторным прессованием пресс-форма с помещенным в нее образцом нагревались в течение 20 минут до температуры 300 °С.

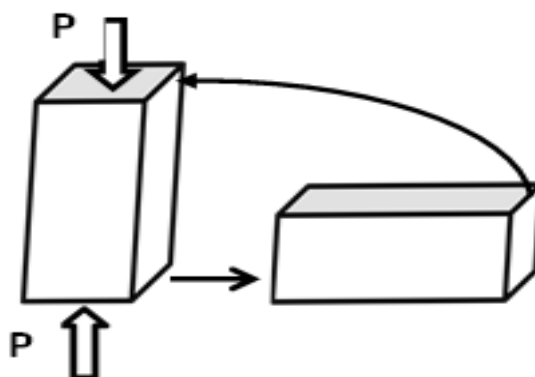


Рисунок 1 - Схема многократной ковки спеченных брикетов Al-7Fe-38Sn

Полученные прессовки разрезались пополам вдоль плоскости реализации деформации ковкой, шлифовались и полировались на сукне с нанесенной алмазной суспензией, содержащей абразивные частицы менее 1 мкм. Структура полученных шлифов исследовалась с помощью оптического микроскопа AXIOVERT-200MAT, предоставленного ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН. Затем, из поковок были вырезаны образцы размером 5x5x10 мм для испытания материалов на сжатие (ГОСТ 25.503–97), которое осуществляли на машине Instron-1185 со скоростью осадки образцов 0.5 мм/мин. Для уменьшения трения на торцах сжимаемых образцов их смазывали смесью мазута с графитом.

Результаты. Структура композита Al-7Fe-38Sn, спеченного из смеси элементарных порошков, представляет собой алюминиевую матрицу, с заключёнными в ней агломератами из сцементированных оловом частиц Al_3Fe . Большая часть зёрен матрицы разделена прослойками олова, рисунок 2. Горячее доуплотнение спеченных композитов приводит к значительному повышению их прочности за счёт снижения пористости и улучшения качества межфазных границ, таблица 1, [4]. Однако развиваемой при этом деформации было недостаточно, чтобы изменить форму указанных содержащихся в матрице агломератов.

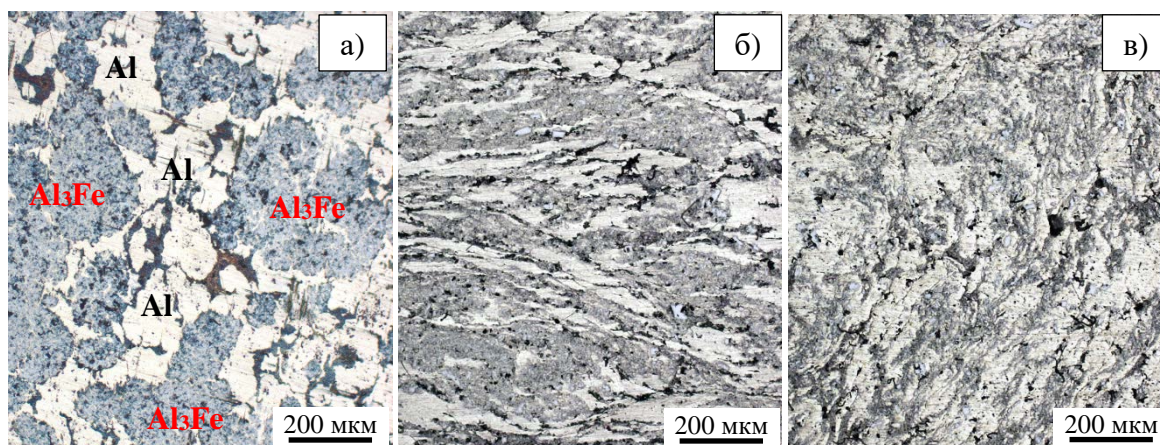


Рисунок 2 - Структура спечённого композита Al-7Fe-38Sn (а), а также после одной (б) и четырех (в) ковок при 300 °С. Направление сжатия образцов – вертикальное

Из фотографий на рисунке 2 видно, что в результате уже первойковки в закрытой пресс-форме алюминиевые зерна и расположенные между ними оловянные прослойки вытягиваются в направлении течения материала. Заключённые в матрицу агломераты из твёрдых частиц меняют свою форму соответственно, рисунок 2 б.

При каждом последующем прессовании направление сжатия было перпендикулярным предыдущему. Как следствие, после 4-х ковок в результате периодической смены направления

течения материала малопластичные агломераты разбились на мелкие области из твёрдых частиц, то есть распределились по объёму более равномерно, а тонкие прослойки олова распались на изолированные включения, рисунок 2 в.

Испытания откованного композиционного материала Al-7Fe-38Sn на сжатие показали, что описанные выше структурные изменения почти не сказываются на величине σ_B , таблица 1. Предел текучести сплава с увеличением числа ковков до 4-х также вырос незначительно, со 100 до 112 МПа. При этом предел прочности σ_B подвергнутых ковке композитов Al-7Fe-38Sn заметно возрастает по сравнению со спеченным и доуплотненным образцами, достигает 133 МПа также практически не зависит от числа прессований. Однако пластичность композита в результатековки и измельчения его структуры не только не уменьшилась, но даже несколько выросла. Особенно заметно она выросла после 4 прессования, что позволило образцы из композиционного материала с большим содержанием твёрдых частиц осаживать без разрушения почти на 33 %. Вероятно, это связано с тем, что в процессековки олово находится в жидком состоянии и под давлением легко затекает в возникающие трещины и несплошности на границах фаз.

Таблица 1 – Механические свойства спеченного композита Al-7Fe-38Sn

Режим получения	Предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Деформация до разрушения $\delta(\sigma_B)$, %
Спекание	61	98	28
Доуплотнение	93	123	19
1 ковка	100	133	≈ 22
2ковки	98	131	≈ 18
3ковки	108	132	≈ 22
4ковки	112	133	≈ 33

Заключение. По результатам работы можно сделать вывод, что обработка спечённого и уплотнённого композита Al-7Fe-38Sn методомковки с переменной осью осаживания в закрытой пресс-форме при 300 °С приводит к измельчению его структуры и повышению прочности примерно на 8 %. Пластичность материала при этом растёт более заметно: от 20 после первойковки и до 70 % после четырёхкратнойковки.

Работа выполнена в рамках реализации проекта РНФ № 23-29-00669.

Список литературы

1. Миронов А.Е., Гершман И.С., Гершман Е.И. Влияние олова на триботехнические свойства сложнолегированных алюминиевых антифрикционных сплавов // Трение и износ. – 2018. – Т. 39. – № 5. – С. 499–506
2. Rusin N.M., Skorentsev A.L., Kolubaev E.A. Effect of equal channel angular pressing on mechanical and tribological properties of sintered Al-Sn composites // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2020. – V. 29. – P. 1955–1963.
3. Миронов А.Е., Белов Н.А., Столярова О.О. Алюминиевые сплавы антифрикционного назначения. – М.: Изд. дом МИСиС, 2016. – 222 с.
4. Rusin N.M., Skorentsev A.L. Mechanical and tribological properties of sintered aluminum matrix Al-Sn composites reinforced with Al₃Fe particles // Physics of Metals and Metallography. – 2021. – V. 122. – P. 1248–1255.