# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

# МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
# «Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.
Томск, Россия

Томск – 2021
Издательство ТГУ

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-170

# ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ЧАСТИЦ Fe НА ТРИБОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЁННЫХ КОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ Al-Sn

Русин Н.М., Скоренцев А.Л., Криницын М.Г.
*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

Несмотря на широкое применение в различных областях машиностроения алюминиевых сплавов они редко используются в качестве деталей узлов трения из-за склонности Al к схватыванию при граничном или сухом трении. Введение в алюминий мягких невзаимодействующих с ним металлов типа олова позволяет значительно поднять давление схватывания, однако износостойкость сплавов Al-Sn при сухом трении возрастает только при высокой 35-40% концентрации олова. Олово не упрочняется при обычной температуре, поэтому для компенсации потерянной твёрдости в сплавы Al-Sn вводят твёрдые керамические частицы типа оксидов [1].

К сожалению, такие частицы плохо смачиваются жидким алюминием и оловом, образующиеся межфазные границы очень слабы и становятся местами зарождения трещин и отслоений, приводя к повышенному износу композиционного материала. Напротив, частицы многих тугоплавких металлов и интерметаллидов на их основе хорошо смачиваются и оловом и алюминием [2]. Другое дело, что при введении большого количества таких частиц вязкость расплава повышается и трудно добиться равномерного их размещения по объёму заливки. Указанную проблему удаётся решить методами порошковой металлургии на стадии приготовления смеси, но возникает проблема высокой пористости изделий из-за плохой прессуемости смесей с высоким содержанием твёрдых частиц.

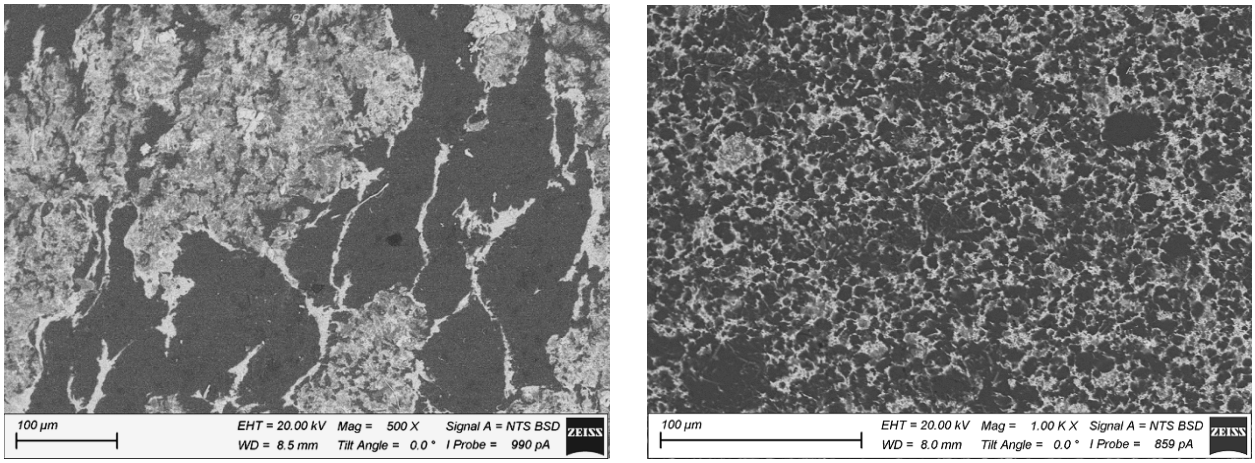
Прессуемость смеси возрастает, если вместо твёрдых интерметаллических частиц использовать порошки чистых пластичных металлов, способных образовывать с алюминиевой матрицей твёрдые тугоплавкие соединения уже в процессе спекания. К таким металлам можно отнести железо, образующее с алюминием тугоплавкие алюминиды [3]. Последние образуются за счёт растворения атомов алюминия в решётке железа, и объём продуктов реакции при этом возрастает пропорционально числу растворившихся атомов. Интенсивно реакция сплавообразования в системе Al-Fe и разогрев прессовки начинается при температуре вблизи плавления алюминия, что позволяет режимом нагрева регулировать скорость протекания реакции так, чтобы рост образца компенсировался перегруппировкой алюминидов в более плотную конфигурацию под действием сил поверхностного натяжения.

Однако при наличии олова образуется легоплавкая эвтектика Sn-Al, содержащая большое количество растворённых атомов алюминия. При её растекании по прессовке Al доставляется к поверхности железных частиц в виде подвижных атомов расплава. Железо растворяется в жидкой эвтектике и взаимодействует с атомами алюминия, образуя твёрдые кристаллы алюминидов. Одновременно расплав проникает по границам частиц железа и разваливает их на зёрна. Площадь реакционной поверхности увеличивается, температура прессовки повышается, и интенсивность сплавообразования возрастает. На месте порошинок железа образуются агломераты из частиц алюминидов, окружённых прослойками олова (рис. 1а).

Мелкие частицы алюминидов плохо удерживаются мягкими оловянными прослойками и легко выкрашиваются при сухом трении, что приводит к понижению износостойкости композиционного материала. Кроме того, скопления хрупких алюминидов в форме агломератов с тонкими прослойками между частицами также демонстрируют низкую пластичность, и на их месте легко образуются частицы износа.

С целью предотвращения образования агломератов хрупких частиц, стандартные порошки железа ПЖ-4 в смеси Al-Sn (композиты Al-7Fe-38Sn) были замещены нанопорошками с диаметром менее 100 нм. Как и ожидалось, в спечённых композитах с наночастицами железа (Al-7Fe(nm)-38Sn) однородность распределения твёрдых и мягких фаз существенно улучшилась, а размеры агломератов из алюминидов, разделённых оловянными

прослойками, уменьшились (рис. 1б).




а б

Рис. 1. Структура спечённых при 570 °С и подвергнутых последующей допрессовке композитов Al-7Fe-38Sn (а) и Al-7Fe(nm)-38Sn (б)

В результате, полученный высокотемпературным спеканием композит Al-7Fe(nm)-38Sn имел высокую прочность и твёрдость, а по износостойкости в условиях сухого трения по стали превосходил спеченные и подвергнутые допрессовке композиты системы Al-Sn и Al-7Fe-38Sn, упрочнённые частицами железа микронного размера (таблица 1).

Таблица 1. Трибологические свойства спечённых композитов Al-Sn, упрочнённых железом

| Композит | Интенсивность изнашивания (мкм/м) | | | | Коэффициент трения | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Давление, МПа | | | | | | | |
| | 1 | 3 | 4 | 5 | 1 | 3 | 4 | 5 |
| Al-7Fe(nm)-38Sn | 0,1 | 0,14 | 0,15 | 0,20 | 0,42 | 0,34 | 0,34 | 0,33 |
| Al-7Fe-38Sn | 0,12 | 0,22 | 0,22 | 0,24 | 0.55 | 0.38 | 0.36 | 0.33 |
| АСД4-40Sn | 0,13 | 0,20 | 0,23 | 0,25 | | | | 0,31 |

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0006.*

1. Щербакова О.О., Муравьева Т.И., Загорский Д.Л. Исследование антифрикционных алюминиевых сплавов, содержащих железо, до и после трибологических испытаний // Письма о материалах. 2018. Т. 8. № 2 (30). С. 123–128.
2. Алюминиевые сплавы антифрикционного назначения / А.Е. Миронов, Н.А. Белов, О.О. Столярова. М.: Изд. дом МИСиС. – 2016. – 222 с.
3. Rusin N.M., Skorentsev A.L., Mironov Y.P. Influence of phase structure evolution on the functional properties of sintered hybride Al-Fe-Sn composites // AIP Conference Proceedings. 2020. V. 2310. 020281-1–020281-4.