

ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ АНТИФРИКЦИОННОГО СПЛАВА АО20-1 НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Быков П.А.¹, Калашников И.Е.¹, Кобелева Л.И.¹, Катин И.В.¹, Михеев Р.С.²

*¹Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук, Москва, Россия;*

*²Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*

Ключевые слова: композиционные материалы, сухое трение скольжения, коэффициент трения, стабильность процесса трения, режимы изнашивания, интерметаллид.

Аннотация. Исследованы трибологические свойства композиционного материала с интерметаллидным упрочнением на основе антифрикционного сплава АО20-1. Образцы изготавливали методом реакционного литья, путем замешивания частиц титана микронного размера в расплав матричного сплава. Испытания на сухое трение скольжения проводили по схеме торцевого нагружения неподвижной втулки (стальное контртело) против вращающегося диска (композиционный материал). Стабильность процесса трения оценивали по колебаниям значений коэффициента трения при различных нагрузках. Показано положительное влияние армирования на процессы протекающие при трении.

INFLUENCE OF REINFORCEMENT OF AN ANTIFRICTION ALLOY AO20-1 ON THE FRICTION PROCESS STABILITY OF COMPOSITE MATERIALS

Bykov P.A.¹, Kalashnikov I.E.¹, Kobeleva L.I.¹, Katin I.V.¹, Mikheev R.S.²

*¹A.A. Baykov Institute of Metallurgy and Materials Science of
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;*

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: composite materials, dry sliding friction, coefficient of friction, stability of the friction process, wear modes, intermetallic compound.

Abstract. The tribological properties of a composite material with intermetallic hardening based on the AO20-1 antifriction alloy have been studied. The samples were made by reaction casting, by mixing micron-sized titanium particles into the melt of the matrix alloy. Tests for dry sliding friction were carried out according to the scheme of end loading of a fixed bushing (steel counterbody) against a rotating disk (composite material). The stability of the friction process was evaluated by fluctuations in the values of the friction coefficient at different loads. The positive effect of reinforcement on the processes occurring during friction is shown.

Введение. Востребованность в промышленности антифрикционных алюминиевых сплавов с включениями олова, свинца и меди в качестве твердой смазки для изготовления подшипников скольжения обеспечивает постоянный научный интерес к созданию на их основе новых композиционных материалов (КМ) с улучшенными свойствами [1]. Одним из наиболее широко применяемых в узлах трения таких сплавов является АО20-

1. По своим антифрикционным свойствам сплав АО20-1 близок к оловянным баббитам, но при этом имеет более высокие предел выносливости, задиростойкость и теплопроводность. Важными характеристиками сплава является его относительно низкая стоимость и хорошая технологичность. Входящие в состав АО20-1 медь и олово позволяют использовать сплав в условиях полужидкостного и сухого трения. При трении из-за пластической деформации мягкая фаза сплава выходит на поверхность и образует защитную пленку [2]. К недостаткам материала можно отнести недостаточно высокую прочность и твердость.

Преодоление таких недостатков возможно обеспечить с помощью дополнительного распределения в объеме сплава более твердых и прочных армирующих наполнителей [3]. Среди возможных наполнителей можно выделить интерметаллидные соединения, образующиеся *in-situ* в процессе реакционного литья [4]. Такие армирующие наполнители, выполняя роль опор, не только повышают износостойкость композиционных материалов, но и предотвращая деградацию поверхностных рабочих слоев за счет формирования в зоне трения более дисперсного дебриса (продуктов трения) снижают коэффициенты трения в широком диапазоне параметров нагружения [2]. Кроме этого, отдельного внимания заслуживает изучение стабильности коэффициента трения в процесс эксплуатации новых материалов [5].

Цель работы – изучение влияния армирующих частиц интерметаллидов, образовавшихся *in-situ* при введении реакционно активных порошков Ti, на значения и стабильность коэффициента трения при увеличении нагрузок в процессе трибологических испытаний.

Материалы и методы исследований. Образцы КМ были изготовлены методом механического замешивания армирующего материала в матричный расплав. Для армирования использовали титановый порошок производства ООО «НПО РУСРЕДМЕД» (ТУ 14-22-57-92), размером 300-400 мкм в количестве 1 и 3 масс.%. Порошок вводили в расплав АО20-1 (ГОСТ 30188-97), нагретый до 750°C и перемешивали в течение 2 минут при скорости вращения импеллера 100 мин⁻¹. Композиционный расплав выдерживали в течение 10 минут для завершения протекания реакции образования интерметаллидов Al₃Ti и после удаления оксидной пленки с поверхности проводили разливку расплава в медную изложницу. Для сравнения изготовили образец из исходного материала без введения порошка Ti по такой же технологии.

Трибологические испытания образцов проводили в условиях сухого трения скольжения на установке CETR UMT Multi-Specimen Test System по схеме осевого нагружения: неподвижная втулка (контртело) из стали 45X (HRC > 63) против вращающегося диска (исследуемый образец). Размеры стальной втулки: внутренний диаметр 12 мм, наружный диаметр 16 мм. Размер диска образцов: диаметр 20 мм, толщина 12 мм. Испытания каждого образца проводили при осевых нагрузках 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 МПа, скорость испытания составляла 0,5 м/с для каждого набора нагрузок. Путь трения при каждой осевой нагрузке составлял 1000 м.

Структурные исследования проводили на оптическом микроскопе Лейка DM ILM.

Результаты и обсуждение. Структурные исследования показали формирование упрочняющих интерметаллидных фаз Al_3Ti в образцах КМ. Увеличение объема вводимого порошка титана обеспечивает увеличение количества образующихся интерметаллидов при сохранении равномерности их распределения.

На рисунке 1 показаны графики изменения коэффициентов трения испытываемых образцов. Видно, как в зависимости от удельной нагрузки изменяется процесс трения для каждого из материалов. На начальных этапах нагружения происходит приработка материалов, после которой процесс трения стабилизируется. Далее следует этап установившегося трения. При повышении нагрузки свыше 2 МПа процесс трения образца АО20-1 переходит в режим жесткого трения, в то время как армированные образцы сохраняют установившейся режим.

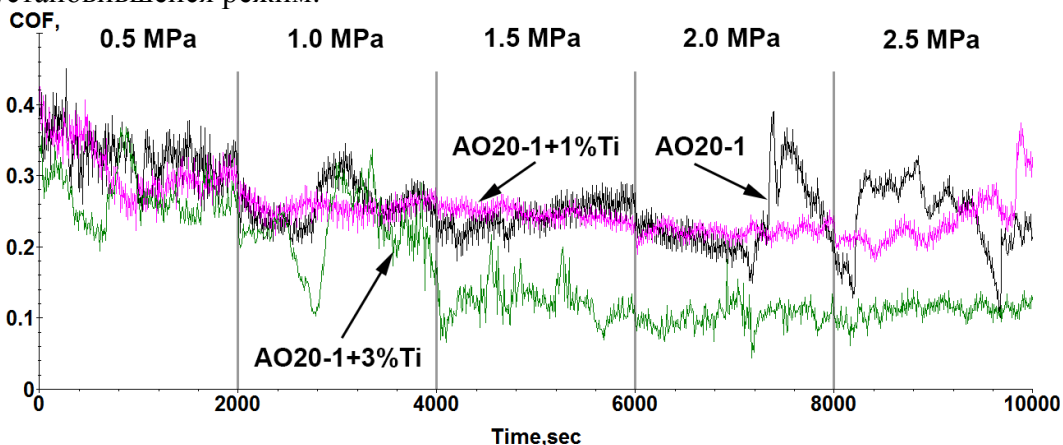


Рис. 1. Коэффициенты трения образцов при ступенчатом нагружении

Анализируя графики изменения коэффициента трения в процессе испытания становится очевидно, что важно знать не только его средние значения, но и характер поведения в зависимости от прикладываемой нагрузки. Так, пики и всплески на кривых свидетельствуют о явлениях схватывания/проскальзывания и характеризуют стабильность процесса трения, так же их интенсивность может указывать на изменение механизмов изнашивания. Для оценки процесса трения целесообразно ввести показатель стабильности, значения которого соответствуют среднеквадратичному отклонению значений коэффициента трения, измеренному на участках для каждой удельной нагрузки. Считаем, что чем ниже значения показателя, тем стабильнее протекает процесс трения.

В таблице 1 приведены данные среднего коэффициента трения и показателя стабильности при различных нагрузках.

Данные показывают, что наиболее высокий коэффициент трения и худший показатель стабильности наблюдаются у матричного сплава АО20-1.

Введение 1масс.%Ti незначительно снижает коэффициент трения, но заметно улучшает стабильность процесса трения. Увеличение содержания Ti до 3масс.% заметно снижает коэффициент трения и стабилизирует процесс. Можно сделать вывод о положительном влиянии дополнительного интерметаллидного армирования сплава АО20-1 на трибологические характеристики. Это позволит проектировать композиционные материалы для применения в более жестких условиях эксплуатации с сохранением антифрикционных свойств.

Табл. 1. Значения коэффициентов трения и показателей стабильности

Состав/ Нагрузка	Коэффициент трения/ Показатель стабильности				
	0.5 МПа	1.0 МПа	1.5 МПа	2.0 МПа	2.5 МПа
Сплав АО20-1(исходный)	0.3295/ 0.1750	0.2600/ 0.1321	0.2425/ 0.1332	0.2358/ 0.1275	0.2427/ 0.0943
КМ АО20-1+ 1масс.%Ti	0.3093/ 0.1380	0.2558/ 0.1094	0.2462/ 0.0817	0.2220/ 0.0723	0.2361/ 0.0928
КМ АО20-1+ 3масс.%Ti	0.2716/ 0.0886	0.2223/ 0.0772	0.1228/ 0.0631	0.1019/ 0.05044	0.1109/ 0.0623

Выводы. В статье исследованы трибологические характеристики сплава АО20-1 и КМ на его основе при сухом трении скольжения. Показано положительное влияние интерметаллидного армирования на антифрикционные свойства материала. Увеличение содержания интерметаллидной фазы уменьшает значения коэффициента трения и повышает стабильность процесса трения при увеличении нагрузок.

Список литературы

1. Быков П.А., Калашников И.Е., Кобелева Л.И., Катин И.В., Михеев Р.С. Картирование режимов трения композиционных материалов с интерметаллидным упрочнением на основе антифрикционного сплава системы Al-Sn-Cu // Письма о материалах. – 2021. – Т. 11, №2. – С.181-186. – doi.org/10.22226/2410-3535-2021-2-181-186.
2. Kalashnikov I.E., Bolotova L.K., Kobleva L.I., P.A. Bykov, Kolmakov A.G., Mikheev R.S. Antifriction Composite Material Based on Alloy of Al-Sn System // Inorg. Mater. Appl. Res. 2021, no. 12, pp. 750-754. doi.org/10.1134/S2075113321030151.
3. Schouwenaars R., JacoboV.H., OrtizA. Microstructural aspects of wear in soft tribological alloys // Wear. 2007, vol. 263, no. 1-6, pp. 727-735. doi.org/10.1016/j.wear.2006.12.037.
4. Калашников И.Е., Болотова Л.К., Чернышова Т.А. Структура литых алюмоматричных композиционных материалов, армированных интерметаллидными фазами и наноразмерными тугоплавкими порошками // Цветные металлы. – 2010. – № 9. – С. 67-71.
5. LiG., YanQ., J. Xi., QiG., YangX. The Stability of the Coefficient of Friction and Wear Behavior of C/C-SiC // Tribol Lett. 2015, vol. 58, no. 13. doi.org/10.1007/s11249-014-0461-6.

References

1. Bykov P.A., Kalashnikov I.E., Kobeleva L.I., Katin I.V., Mikheev R.S. Mapping wear modes of composite materials with intermetallic reinforcing based on antifrictional alloy of system Al-Sn-Cu // Lett. Mater. 2021, vol. 11, no. 2, pp. 181-186. doi.org/10.22226/2410-3535-2021-2-181-186.
2. Kalashnikov I.E., Bolotova L.K., Kobeleva L.I., Bykov P.A., Kolmakov A.G., Mikheev R.S. Antifriction Composite Material Based on Alloy of Al-Sn System // Inorg. Mater. Appl. Res. 2021, no.12, pp. 750-754. doi.org/10.1134/S2075113321030151.
3. Schouwenaars R., Jacobo V.H., Ortiz A. Microstructural aspects of wear in soft tribological alloys // Wear. 2007, vol. 263, no. 1-6, pp. 727-735. doi.org/10.1016/j.wear.2006.12.037.
4. Kalashnikov I.E., Bolotova L.K., Chernyshova T.A. Structure of cast aluminum matrix composites reinforced both by intermetallic phases and nanosized refractory powders // Non-ferrous metals. 2010, no. 9, pp. 67-71.
5. LiG., YanQ., J. Xi., QiG., YangX. The Stability of the Coefficient of Friction and Wear Behavior of C/C-SiC // Tribol Lett. 2015, vol. 58, no. 13. doi.org/10.1007/s11249-014-0461-6.

Быков Павел Андреевич – научный сотрудник	Bykov Pavel Andreevich – researcher
Калашников Игорь Евгеньевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник	Kalashnikov Igor Evgenievich – doctor of technical sciences, leading researcher
Кобелева Любовь Ивановна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Kobeleva Lyubov Ivanovna – candidate of technical sciences, leading researcher
Катин Игорь Валентинович – научный сотрудник	Katin Igor Valentinovich – researcher
Михеев Роман Сергеевич – доктор технических наук, профессор pbykov@imet.ac.ru	Mikheev Roman Sergeevich – doctor of technical sciences, professor

Received 26.04.2023