

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК В АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ИХ ТВЕРДОСТИ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Бирюков В.П., Принц А.Н., Якубовский А.А.

Ключевые слова: микротвёрдость, абразивный износ, интенсивность изнашивания, скорость скольжения, давление заедания.

Аннотация. В работе представлены результаты металлографических исследований и испытаний на трение и износ алюминиевых сплавов с различными модификаторами. Изучено влияние модификатора на микротвердость, размеры и форму зёрен кремния. Получены зависимости изменения коэффициентов трения и интенсивности изнашивания сплавов при постоянном давлении. По интенсивности изнашивания сплавы с модификаторами обладают большей износостойкостью. По результатам абразивного изнашивания образец исходного материала значительно уступал модифицированным сплавам фольгой и лентой.

INFLUENCE OF MODIFYING ADDITIVES IN ALUMINUM ALLOYS ON CHANGES IN THEIR HARDNESS AND TRIBOTECHNICAL PROPERTIES

Biryukov V.P., Prints A.N., Yakubovsky A.A.

Keywords: microhardness, abrasive wear, wear rate, sliding speed, jamming pressure.

Abstract. The paper presents the results of metallographic studies and tests for friction and wear of aluminum alloys with various modifiers. The effect of the modifier on the microhardness, size and shape of silicon grains is studied. The dependences of the change in the coefficients of friction and the wear rate of alloys at constant pressure are obtained. According to the wear intensity, alloys with modifiers have greater wear resistance. According to the results of abrasive wear, the sample of the starting material was significantly inferior to the modified alloys with foil and tape.

Алюминиевые сплавы нашли широкое применение в авиационно-космической, автомобильной и других отраслях промышленности. Введение кремния в сплавы алюминия повышает их механические свойства и стойкость к изнашиванию [1-2]. Алюминиево-кремниевые сплавы используются при изготовлении поршней, крышек цилиндров двигателей и других деталей. Частицы кремния значительно тверже алюминиевой основы и в результате приработки они создают микрорельеф на поверхности, что способствует удержанию масла в узлах трения [3,4]. Механические свойства алюминиевых сплавов снижаются при повышении температуры. Для устранения этого недостатка в них вводят медь, никель и другие элементы [5-7].

Целями нашей работы являются снижение коэффициентов трения, нагрузок заедания и повышение стойкости к изнашиванию при введении модификаторов в состав алюминиевого сплава.

Для оценки свойств использовали сплавы на основе алюминий-кремний с различными добавками: АК21 М2,5 Н2,5 (Исходный материал), АК21 М2,5 Н2,5 Модиф. Р + Се, АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Лента), АК21 М2,5 Н2,5 + + 0,08% Р (Лента), АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Фольга). Габариты каждого образца имели параметры 20×70×15 мм.

В качестве контробразца выбрана втулка из стали 45. Испытания на трение и износ выполняли по схеме «плоскость (исследуемый образец) - втулка» (рис. 1). Скорость скольжения и давление на образец изменялись ступенчато в интервале 0,23–3,45 м/с и 1,0 – 9,0 МПа соответственно. Металлографические исследования образцов выполняли на микротвердомере ПМТ-3, металлографическом микроскопе и цифровом микроскопе АМ225. Шлифы изготавливали по стандартной методике. Результаты триботехнических испытаний определялись как среднее арифметическое по трем образцам. Для смазки применяли моторное масло ZIG 9X 5W-40.

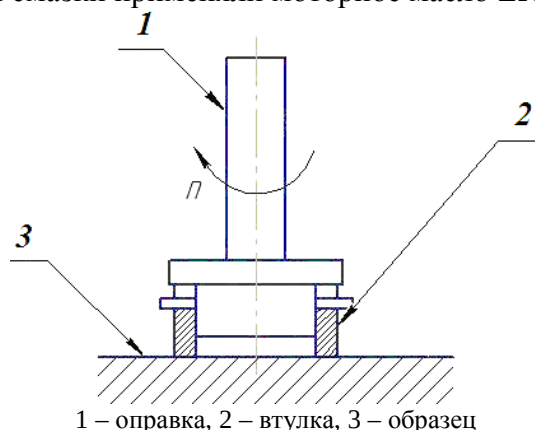


Рис. 1. Схема трения

Испытания на износ с подачей в зону трения свободного абразива производили по схеме: плоский образец - образующая поверхность резинового диска. В процессе испытаний кварцевый песок подавался в зону трения с размерами частиц от 0,2 до 0,6 мм, при нормальном атмосферном давлении и температуре. Нагрузка испытаний составляла 15 Н, продолжительность одного испытания составляла 10 минут для каждого сплава. После каждого испытания образцы обдували сжатым воздухом для удаления частиц абразива и продуктов износа. Потерю массы образцов определяли на аналитических весах VIBRA НТ. Величина износа определялась как средняя арифметическая по трем образцам.

На рисунке 2 представлена микроструктура образцов исходного сплава АК21 М2,5 Н2,5 (а), и с модификаторами АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Лента) (б), АК21 М2,5 Н2,5 + 0,08% Р (Лента) (в), АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Фольга) (г). Зерна кремния имели неоднородную угловатую форму с максимальными размерами в исходной структуре сплава. Введение модификаторов привело к уменьшению зерен кремния.

В таблице 1 представлены показатели микротвердости основы сплавов алюминий-кремний (исходный) и с модификаторами. Средняя микротвердость основы сплава АК21 М2,5 Н2,5 + 0,08% Р (Лента) составила 154 НВ, что выше материала основы на 22 НВ. Минимальную микротвердость имел сплав АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Фольга).

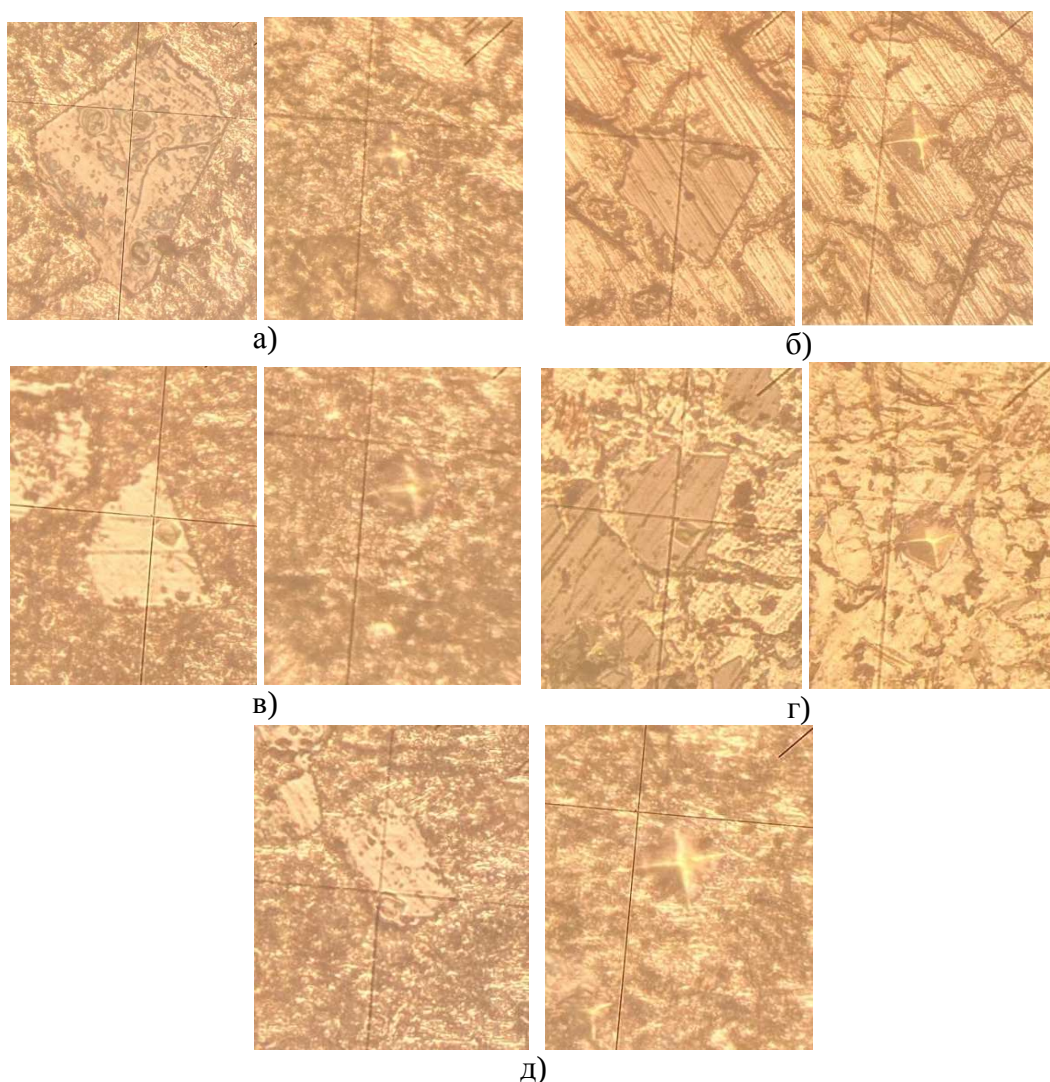


Рис. 2. Микроструктура образцов (слева с зёрнами кремния, справа основа):
 а) - АК21 М2,5 Н2,5; б) - АК21 М2,5 Н2,5 Модиф. Р + Се; в) - АК21 + 0,08% Р +
 + 0,6% Се (Лента); г) - АК21 М2,5 Н2,5 + 0,08% Р (Лента); д) - АК21 +
 + 0,08% Р + 0,6% Се (Фольга)

В таблице 2 представлены показатели микротвердости зёрен кремния в материале с исходным составом и в модифицированных сплавах.

В таблице 3 показаны результаты испытаний на интенсивность изнашивания образцов в паре трения со сталью 40Х. Износостойкость, величина обратная интенсивности изнашивания, была значительно выше у образцов материала АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Лента) и АК21 М2,5 Н2,5 + 0,08% Р (Лента). Интенсивность изнашивания контробразца была ниже при испытаниях в паре трения с АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Лента) в сравнении со всеми исследуемыми материалами. Наихудший результат показали в паре

трения со сталью образцы исходного материала АК21 М2,5 Н2,5 и АК21 М2,5 Н2,5 Модиф. Р + Се.

Табл. 1. Микротвердость основы

№ п/п	Состав сплава	Твердость, HV	Средняя твердость, HV
1	АК21 М2,5 Н2,5	142, 135, 117, 135, 129	132
6	АК21 М2,5 Н2,5 Модиф. Р + Се	102, 105, 122, 111, 99	108
	АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Лента)	92, 81, 94, 116, 102	97
9	АК21 М2,5 Н2,5 + 0,08% Р (Лента)	168, 149, 157, 153, 144	154
11	АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Фольга)	95, 92, 110, 94, 84	95

Табл. 2. Микротвердость частиц кремния

№ п/п	Состав сплава	Твердость, HV	Средняя твердость, HV
1	АК21 М2,5 Н2,5	590, 708, 657, 682, 798	687
2	АК21 М2,5 Н2,5 Модиф. Р + Се	590, 766, 590, 657, 708	662
3	АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Лента)	611, 515, 633, 831, 657	649
4	АК21 М2,5 Н2,5 + 0,08% Р (Лента)	633, 831, 736, 611, 657	694
5	АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Фольга)	682, 569, 590, 611, 736	638

Табл. 3. Результаты триботехнических испытаний

№ п/п	Состав сплава	Интенсивность изнашивания образца	Интенсивность изнашивания контробразца	Коэффициент трения
		$I_1 \cdot 10^{-8}$	$I_2 \cdot 10^{-8}$	
1	АК21 М2,5 Н2,5	16,597	10,722	0,074
2	АК21 М2,5 Н2,5 Модиф. Р + Се	16,261	4,971	0,066
3	АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Лента)	8,565	3,651	0,049
4	АК21 М2,5 Н2,5 + 0,08% Р (Лента)	9,969	4,633	0,060
5	АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Фольга)	11,374	5,279	0,065

На рисунке 3 представлены потери масс образцов при испытаниях на износ с подачей в зону трения свободного абразива.

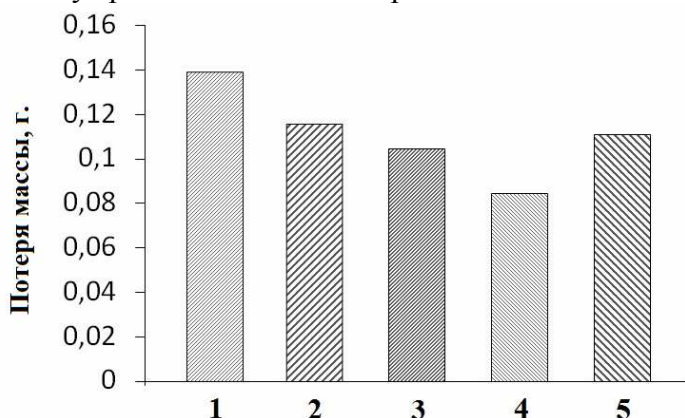


Рис. 3. Потеря массы образцов при испытании на абразивное изнашивание: 1 - АК21 М2,5 Н2,5; 2 - АК21 М2,5 Н2,5 Модиф. Р + Се; 3- АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Лента); 4- АК21 М2,5 Н2,5 + 0,08% Р (Лента); 5 - АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Фольга)

Абразивная износостойкость была значительно выше у образцов материала АК21 + 0,08% Р + 0,6% Се (Лента) и АК21 М2,5 Н2,5 + 0,08% Р (Лента).

Выводы

Проведенные исследования показали неоднозначное значение твердости основы при трении со смазкой и свободным абразивным зерном. Сплав с добавками фосфора и церия (лента) имел среднюю микротвердость ниже, чем основной сплав и при абразивном изнашивании его потеря массы была ниже, чем основного сплава, но он уступал другим модифицированным сплавам (лента, фольга), а при трении со смазкой имел минимальную интенсивность изнашивания и коэффициент трения.

Список литературы / References

1. Alshmri F., Atkinson H.V, Hainsworth S.V., Haidon C., Lawes S.D.A. Dry sliding wear of aluminium-high silicon hypereutectic alloys // *Wear*, 2014. Vol. 313, no. 1-2, p. 106-116.
2. Aiqin W., Lijun Z, Ю X. I. E. J. Effects of cerium and phosphorus on microstructures and properties of hypereutectic Al-21 % Si alloy // *J. Rare Earths*. 2013. Vol. 31, no. 5, p. 522-525.
3. Dey S.K., Perry T.A., Alpas A.T. Micromechanisms of low load wear in an Al-18.5% Si alloy // *Wear*. 2009. Vol. 267, no. 1-4, pp. 515-524.
4. Jadoon A.N.K., Mufti R.A. Tribological behaviour of alternate hypereutectic Al-Si alloys with different antiwear additives // *Tribol. - Mater. Surfaces Interfaces*. 2010. Vol. 4, no. 2, p. 61-73.

5. Asghar Z., Requena G., Zahid G.H. Rafi-ud-Din. Effect of thermally stable Cu- and Mg-rich aluminides on the high-temperature strength of an AlSi12CuMgNi alloy // Mater. Charact. 2014, no. 88, p. 80-85, doi:10.1016/j.matchar.2013.12.004.
6. Stadler F., Antrekowitsch H., Fragner W., Kaufmann H., Uggowitzer P.J. Effect of main alloying elements on strength of Al-Si foundry alloys at elevated temperatures // Int. J. Cast. Met. Res. 2012, no. 25, p. 215-224. doi:10.1179/1743133612Y.0000000004.
7. Casari D., Poli F., Merlin M., Di Giovanni M.T., Li Y., Di Sabatino M. Effect of Ni additions on A356 alloy's microstructure and high-temperature mechanical properties // La Metall. Ital. 2016, no. 6, p. 37.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия, laser-52@yandex.ru	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate technical sciences, leading researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, laser-52@yandex.ru
Принц Антон Николаевич – младший научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия, tosha.prints.94@mail.ru	Prints Anton Nikolaevich – junior researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, tosha.prints.94@mail.ru
Якубовский Антон Алексеевич – студент, Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия, anton.at444@gmail.com	Yakubovsky Anton Alexeevich – student, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, anton.at444@gmail.com

Received 10.06.2021