

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВОВ ЛАТУНИ И БРОНЗЫ

*Бирюков В.П.<sup>1</sup>, Якубовский А.А.,<sup>1</sup> Двоглазов А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,  
Москва, Россия;*

<sup>2</sup>*Российский университет транспорта, Москва, Россия*

**Ключевые слова:** латунь, бронза, коэффициент трения, интенсивность изнашивания.

**Аннотация.** Работа посвящена определению триботехнических характеристик при трении латуни и бронзы по стали 40Х2Н2МА. Получены закономерности изменения коэффициентов трения от скорости скольжения и для латуни они значительно ниже, чем для бронзы. Интенсивность изнашивания латуни в 2.1 раза ниже, чем бронзы.

## DETERMINATION OF TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF BRASS AND BRONZE ALLOYS

*Biryukov V.P.<sup>1</sup>, Yakubovsky A.A.<sup>1</sup>, Dvoeglazov A.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia;*

<sup>2</sup>*Russian University of Transport, Moscow, Russia*

**Keywords:** brass, bronze, coefficient of friction, wear rate.

**Abstract.** The work is devoted to the determination of tribotechnical characteristics in the friction of brass and bronze on steel 40Cr2Ni2MoA. The regularities of the change in the coefficients of friction from the sliding speed are obtained and they are significantly lower for brass than for bronze. The wear rate of brass is 2.1 times lower than bronze.

Прямоугольные образцы [1] с размерами 10 × 15 × 25 мм были получены из сплавов Al–25Zn–3Cu–3Si, Al–25Zn–3Cu–3Si с термической обработкой (ТО), которую проводили при температуре 375°C в течение 36 ч с последующей быстрой закалкой в воде и старением при температуре 160°C, латунь Cu–40Zn и бронза SAE 65. Испытания на трение и износ выполняли по схеме «диск (сталь 1045, 50 HRC) – стержень (испытуемый образец)» при расходе масла SAE 20 W/50-1,0 см<sup>3</sup>/ч, давлении 6 МПа, скорости скольжения 2,0 м/с, и пути трения 108 км. Твердость и предел прочности на растяжение образцов для сплавов Al–25Zn–3Cu–3Si, Al–25Zn–3Cu–3Si –ТО, латунь Cu–40Zn и бронза SAE 65 составляли 150, 174, 119, 104 НВ, 357, 423, 119, 206 МПа соответственно. Коэффициенты трения экспериментальных материалов, включая сплав Al –25Zn–3Cu–3Si, латунь и бронзу, достигли практически постоянных уровней на пути трения примерно в 30 км после довольно резкого снижения на начальной стадии скольжения. Минимальный коэффициент трения в установившемся режиме 0,03 получен для сплава Al –25Zn–3Cu–3Si-ТО. Минимальный износ получен на образцах Al –25Zn–3Cu–3Si-ТО, за ними по возрастанию износа следовали образцы Al –25Zn–3Cu–3Si, латунь Cu–40Zn и бронза SAE 65.

Образцы чистой меди 99,9 мас.%, литейной бронзы Cu-9,0 мас.% Al-2,5 мас.% Fe и горячекатаной латуни Cu-39,4 мас.% Zn-0,89 мас.% Pb были выбраны для трибологических исследований [2]. Испытания на износ при сухом трении выполняли по схеме «диск – штифт» при скорости скольжения 0,78 м/с, давление от 0,2 до 10 МПа и пути трения от 0,5 до 10 км. Диски диаметром 50 мм и толщиной 10 мм были изготовлены из закаленной стали С-0,4 мас.%, Cr-1,0 мас.%, Al-1,0 мас.% с твердостью 52-55 HRC. Шероховатость поверхностей образцов и диска находилась в диапазоне от 0,1 до 0,2 мкм. Интенсивность износа образцов меди при давлении 2 МПа составляла  $6,7 \times 10^{-8}$  мг/мм<sup>3</sup> (64 HV, размер зерна 60-80 мкм),  $5,5 \times 10^{-8}$  мг/мм<sup>3</sup> (127 HV, холодная экструзия, размер зерна 1-2 мкм),  $10,6 \times 10^{-8}$  мг/мм<sup>3</sup> (68 HV, холодная экструзия и отжиг при 200<sup>0</sup>С, размер зерна 2-3 мкм). Для образцов латуни интенсивность износа при давлении 0,6 МПа составила  $2,8 \times 10^{-7}$  мг/мм<sup>3</sup> (1,6 ГПа, размер зерна 25-40 мкм),  $5,1 \times 10^{-7}$  мг/мм<sup>3</sup> (1 ГПа, закалка 840<sup>0</sup>С, размер зерна 100-200 мкм),  $2,2 \times 10^{-7}$  мг/мм<sup>3</sup> (1,2 ГПа, холодная прокатка, отжиг 300<sup>0</sup>С, размер зерна 2-3 мкм). Интенсивность износа латуни с микрокристаллической структурой в 1,5-2,0 раза и на 25-30% меньше, чем в β-фазном и исходном, крупнозернистом состояниях соответственно. Для бронзовых образцов интенсивность изнашивания при давлении 4 МПа составила  $6,2 \times 10^{-7}$  мг/мм<sup>3</sup> (2,4 ГПа, исходное состояние),  $5,0 \times 10^{-7}$  мг/мм<sup>3</sup> (2,9 ГПа, холодная прокатка и отжиг 600<sup>0</sup>С, размер зерна 4-6 мкм),  $1,8 \times 10^{-7}$  мг/мм<sup>3</sup> (2,8 ГПа, холодная деформация с кручением, размер зерна 0,2-0,3 мкм). Переход от дендритной структуры к субмикрокристаллической существенно увеличивает износостойкость бронзовых образцов.

Для трибологических исследований [3] подшипника скольжения использовались образцы втулки из бронзы CuSn10, латуни CuZn30, чистых металлов Cu, Sn и Zn, а в качестве контртела вал сталь SAE 1050. Размеры образцов подшипников были следующими: внутренний диаметр – 10 мм, ширина – 10 мм, а наружный диаметр – 15 мм. Измерения потери массы образцов выполняли в условиях смазки при нагрузке 20Н, частоте вращения вала 1500 мин<sup>-1</sup> (линейная скорость  $v = 0,785$  м/с), каждые 30 мин в течение 2,5 ч (путь трения 7065 м). Смазка осуществлялась с использованием трансмиссионного масла SAE 90. Самые высокие коэффициенты трения наблюдались в бронзовых CuSn10 и медных подшипниках, тогда как самые низкие коэффициенты трения имели место для втулок из олова и цинка. Потери на массы подшипников составили для CuSn10 и CuZn30 - 12 мг, Sn - 4 мг, Cu - 3 мг, а Zn -1 мг через 2,5 часа испытаний. Однако чистые металлы не применяются для изготовления подшипников вследствие их низких механических свойств.

Триботехнические испытания образцов бронзы БрОФ 10-1 и латуни ЛМц 58-2 в паре со сталью 40Х2Н2МА (HRC 49-53) выполняли по схеме «широкая сторона плоского образца – торец контробразца стальной втулки». Для смазки использовали масло индустриальное И20А. Образцы латуни и бронзы имели прямоугольную форму с размерами 12×20×70 мм.

На рисунке 1 представлены зависимости коэффициентов трения от скорости скольжения.

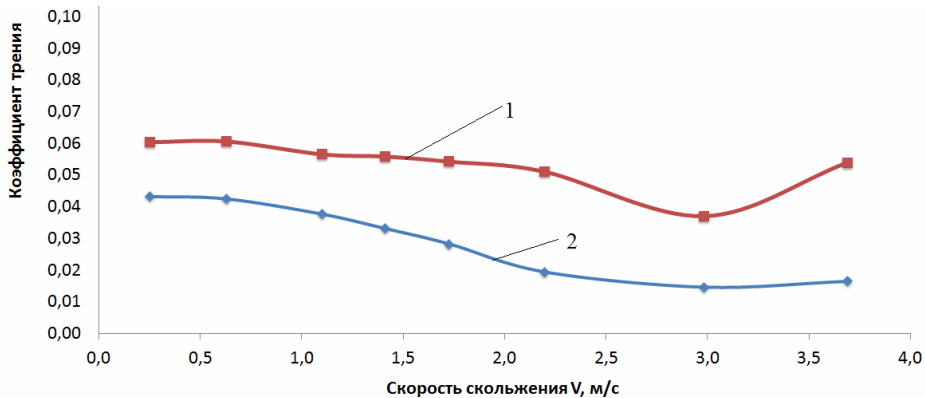


Рис. 1. Зависимость коэффициентов трения от скорости скольжения: 1 – БрОФ 10-1; 2 – ЛМц 58-2

Коэффициенты трения латуни имели меньшие значения в исследуемом интервале скоростей.

Измерение износа образцов выполняли с помощью искусственных баз. Для этого на широкой стороне плоского образца [4] на приработанной поверхности трения наносили алмазным индентором на приборе ПМТ-3 при нагрузке 4,98 Н лунку длиной L по нормали к дорожке трения превышающую ширину поверхности трения в 1,5-2 раза.

Величину линейного износа определяли из соотношения:

$$\Delta h = h - h_1 = Ctg(\alpha/2)(b_0 - b_1), \quad (1)$$

где  $h$  – начальная глубина лунки (мкм);  $h_1$  – глубина изношенной лунки (мкм);  $\Delta h$  – величина износа (мкм);  $b_0$  – начальная ширина лунки (мкм);  $b_1$  – ширина изношенной лунки (мкм);  $\alpha$  – угол между поверхностями стенок лунки.

Интенсивность изнашивания определяли, как частное от деления величины линейного износа к пути трения. Результаты испытаний представлены в таблице 1. Среднюю интенсивность изнашивания определяли по трем образцам и для латуни она значительно ниже, чем для бронзы.

Табл. 1. Интенсивность изнашивания образцов латуни ЛМц 58-2 и бронзы БрОФ 10-1 при трении по стали 40X2H2MA

Материал	Средняя интенсивность изнашивания образца	Средняя интенсивность изнашивания контробразца
	$I_{1cp} \cdot 10^{-8}$	$I_{2cp} \cdot 10^{-8}$
ЛМц 58-2	0,226	0,826
БрОФ 10-1	0,475	1,33

### Выводы

Проведенные эксперименты показали, что коэффициенты трения латуни ЛМц 58-2 значительно ниже, чем бронзы БрОФ 10-1 при трении по стали 40X2H2MA. Интенсивность изнашивания латуни в 2,1 раза ниже, чем бронзы.

### Список литературы

1. Bican O., Savaskan T. A comparative study of lubricated friction and wear behaviour of Al–25Zn–3Cu–3Si bearing alloy// Engineering Tribology. 2014, vol. 228(8), pp. 896-903. DOI: 10.1177/1350650114537473.
2. Sadykov F.A., Barykin N.P., Aslanyan I.R. Wear of copper and its alloys with submicrocrystalline structure // Wear. 1999, vol. 225-229, pp. 649-655.
3. Unlu B.S., Atik E. Evaluation of effect of alloy elements in copper based CuSn10 and CuZn30 bearings on tribological and mechanical properties // Journal of Alloys and Compounds. 2010, vol. 489, pp. 262-268.
4. Патент №2683600 РФ. Способ измерения износа металлических материалов и покрытий / Бирюков В.П., Гудушаури Э.Г., Фишков А.А. – Заявка №2018118990 от 23.05.2018; опубл. 29.03.2019, Бюл. №10.

### References

1. Bican O., Savaskan T. A comparative study of lubricated friction and wear behaviour of Al–25Zn–3Cu–3Si bearing alloy// Engineering Tribology. 2014, vol. 228(8), pp. 896-903. DOI: 10.1177/1350650114537473.
2. Sadykov F.A., Barykin N.P., Aslanyan I.R. Wear of copper and its alloys with submicrocrystalline structure // Wear. 1999, vol. 225-229, pp. 649-655.
3. Unlu B.S., Atik E. Evaluation of effect of alloy elements in copper based CuSn10 and CuZn30 bearings on tribological and mechanical properties // Journal of Alloys and Compounds. 2010, vol. 489, pp. 262-268.
4. Patent No. 2683600 RU. Method of measuring the wear of metal materials and coatings / Biryukov V.P., Gudushauri E.G., Fishkov A.A. – Appl. No.2018118990 from 23.05.2018; publ. 29.03.2019, Bul. No. 10.

<b>Бирюков Владимир Павлович</b> – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	<b>Biryukov Vladimir Pavlovich</b> – candidate of technical sciences, leading researche
<b>Якубовский Антон Алексеевич-младший</b> научный сотрудник	<b>Yakubovsky Anton Alekseevich</b> – junior research assistant
<b>Двоглазов Андрей Алексеевич</b> – студент laser-52@yandex.ru	<b>Dvoeglazov Andrey Alekseevich</b> – student

Received 23.12.2022