

УДК 669.168:539.4

В.Г. ВЕРБИЦЬКИЙ, зав. кафедри, доктор технічних наук
В.О. СКАЧКОВ, доцент, кандидат технічних наук
О.Р. БЕРЕЖНА, доцент, кандидат технічних наук
Д.Ю. ДЗЯДОК, аспірант

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІКРОЛЕГУВАННЯ НА ТРИБОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАБІТУ БК-2

Запорізька державна інженерна академія

Виконано оцінку впливу легуючих елементів на знос, міцність та ударну в'язкість бабіту БК-2. На основі результатів експериментів побудовано сплайн-апроксимаційну модель кількісної оцінки впливу вмісту кожного легуючого елемента на механічні властивості бабіту.

Ключові слова: бабіт, мікролегування, триботехнічні властивості, легуючі елементи, експериментальні дослідження

Вступ. Кореневі та шатунові підшипники двигунів внутрішнього згорання на момент запуску працюють за умов недостатньої кількості мастила. У такому разі відбувається інтенсивний знос за режимом напівсухого тертя, що за вказаних умов характеризується втомним руйнуванням поверхневих шарів, а також шарів біля поверхні [1,2].

Постановка завдання. У зв'язку з цим доцільніше здійснювати оцінку втомної міцності матеріалів за даними випробувань на розтягування у поєднанні з традиційними вимірами зносу й ударної в'язкості.

Головна частина досліджень. Випробування на знос виконували на зразках бабіту БК-2 розмірами 11x16x 10 мм з використанням машини тертя 2070 СМТ-1 за схемою «колодка-диск». Зразки піддавали попередньому припрацюванню за допомогою контргіла у вигляді диска діаметром 50 мм, виготовленого із сірого чавуну.

Випробування на ударний вигин здійснювали відповідно до ГОСТ 9454-78 на зразках без надрізування на маятниковому копрі. Така характеристика є структурно чутливою для бабітів і багато в чому залежить від хімічного складу. Її величину можна підрозділити на дві складові: роботу на утворення тріщини та роботу на її розвиток. Тому, чим більшою є величина ударної в'язкості, тим, за інших рівних умов, має бути вищою і втомна міцність. Випробування на розтягування виконували за ГОСТ 1497-73 на машині типу «Амслер».

Головним шляхом збільшення міцності бабіту є його легування. Для більшості свинцевих сплавів головним зміцнювачем є сурма, що утворює значну кількість центрів кристалізації,

будучи модифікатором першого роду. Враховуючи, що сурма має велику спорідненість до кальцію, ніж свинець, а також здатна створювати з кальцієм мілкодисперсні виділення другої фази, очікували ще більшого подрібнення структури.

Для перевірки впливу сурми на властивості бабіту БК-2 відливали п'ять зразків сплавів. Шихтовку сплавів виконували з розрахунку одержання оптимального складу бабіту БК-2, легованого сурмою в межах 0,1...0,5 %. Результати досліджень цих сплавів наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика бабіту БК-2 з додаванням сурми

Номер сплаву	Хімічний склад сплаву, %					Масовий знос, г/(мм ² ·км)
	Ca	Na	Mg	Sn	Sb	
1	0,10	0,20	0,04	1,90	0,10	0,027
2	0,10	0,20	0,04	1,90	0,20	0,028
3	0,10	0,20	0,04	1,90	0,30	0,028
4	0,10	0,20	0,04	1,90	0,40	0,030
5	0,10	0,20	0,04	1,90	0,50	0,031

Як видно з табл. 1, введення сурми до сплаву супроводжувалося негативними результатами: знос сплавів складає на рівні 0,027...0,031 г/(мм²·км). Це пов'язано із взаємодією сурми з лужними металами з утворенням часточок других фаз, які за рахунок значної різниці у питомих вагах між цими фазами та свинцем спливали в шлак, що призводить до збіднення матриці легуючими елементами.

Відомо, що нікель краще за інші елементи перешкоджає ліквідації легуючих елементів у свинцевих шлаках. Відлито серію сплавів на основі бабіту БК-2 з додаванням 0,20 % сурми та 0,01...0,20 % нікелю (табл. 2).

Таблиця 2 – Характеристика бабіту БК-2 з додаванням сурми та нікелю

Хімічний склад сплаву, %						Масовий знос, г/(мм ² ·км)
Ca	Na	Mg	Sn	Sb	Ni	
0,10	0,20	0,04	1,90	0,20	0,01	0,025
0,10	0,20	0,04	1,90	0,20	0,05	0,024
0,10	0,20	0,04	1,90	0,20	0,10	0,021
0,10	0,20	0,04	1,90	0,20	0,20	0,019

Аналіз одержаних результатів показує, що в інтервалі 0,05...0,18 % нікель не чинить впливу на ліквідацію легуючих елементів. В той же час візуально відмічено зниження рідкотекучості сплаву за підвищеного вмісту нікелю.

Відомо, що нікель спричинює найбільші напруження стиснення в кристалічній решітці свинцю, які більше зміцнюють твердий розчин, ніж напруження розтягування. Виходячи з цього, необхідно перевірити вплив нікелю на властивості бабіту БК-2 в умовах відсутності сурми (табл. 3).

Таблиця 3 – Хімічний склад і властивості сплавів на основі бабіту БК-2 з додаванням нікелю

Хімічний склад, %					Масовий знос, г/(мм ² ·км)	Межа міцності за розтягуванням, МПа	Ударна в'язкість МДж/м ²
Ca	Na	Mg	Sn	Ni			
0,10	0,18	0,04	1,90	0,01	0,020	43,70	0,22
0,08	0,18	0,04	2,00	0,05	0,021	45,30	0,30
0,11	0,21	0,03	2,00	0,11	0,018	46,40	0,25
0,08	0,18	0,03	1,90	0,21	0,019	45,00	0,28

Наведені дані показують, що додавання нікелю в межах 0,01...0,21% не чинять скільки-небудь помітного впливу на властивості бабіту БК-2.

Мідь у свинцевих сплавах є модифікатором, як першого, так і другого роду. Окрім того, вона спричинює напруження стиснення в кристалічній решітці свинцю. Необхідність оцінки впливу міді пов'язана з можливістю її попадання до сплаву під час промислової плавки бабіту із застосуванням переплавлення стружки, яка містить мідь бронзового корпусу підшипника. Виконані дослідження (табл. 4) показали, що найбільші додавання міді спричинюють підвищення міцності бабіту, але подальші підвищення вмісту міді вже знижують міцність та особливо ударну в'язкість.

Найбільший вплив на властивості міцності бабіту БК-2 здійснює магній, який є негативним модифікатором другого роду. Але легування сплаву магнієм не забезпечує мінімальні власти-

вості міцності бабіту, оскільки збільшення вмісту магнію призводить до зниження якості виробів за критерієм спучення бабітового шару. Найбільш близькі властивості до магнію щодо впливу на свинцеві сплави має цинк, який не спричинює спучення. Результати дослідних плавок бабіту БК-2 з додаванням цинку наведено у табл. 5.

У наступній серії плавок бабіт легували одночасно міддю та цинком (табл. 4).

Таблиця 4 – Хімічний склад і властивості сплавів на основі бабіту БК-2 з додаванням міді та цинку

Хімічний склад, %					Масовий знос, г/(мм ² ·км)	Межа міцності за розтягуванням, МПа	Ударна в'язкість МДж/м ²
Ca	Na	Sn	Cu	Ni			
0,12	0,23	1,90	0,002	0,01	0,017	61,70	0,49
0,12	0,24	1,90	0,120	0,05	0,021	65,00	0,27
0,11	0,22	1,90	0,005	0,15	0,014	63,00	0,33
0,14	0,26	1,90	0,060	0,20	0,017	75,00	0,37
0,10	0,19	1,90	0,002	0,30	0,020	45,00	0,34

За результатами комплексного дослідження впливу хімічних елементів на механічні характеристики бабіту БК-2 було виконано апроксимацію квадратними сплайнами за кожним легуючим елементом у вигляді [3]:

$$\theta = \sum_{i=1}^N [a_i + b_i \cdot x_i + c_i \cdot x_i^2], \quad (1)$$

де N – кількість хімічних елементів, що легують бабіт БК-2; x_i – вміст легуючого елементу з номером i ; a_i , b_i , c_i – коефіцієнти сплайна для легуючого елементу з номером i ; θ – характеристика бабіту БК-2 (межа міцності, твердість, питома в'язкість).

У залежності (1) коефіцієнти сплайнів (a_i , b_i , c_i) визначено для наступних компонентів легуючих елементів у бабіті БК-2:

$$[Ca] = [0...0,14 \%]; \quad [Na] = \{0,11...0,29 \% \};$$

$$[Cu] = [0,002...0,39 \%]; \quad [Sn] = \{1,70...2,00 \% \};$$

$$[Zn] = [0,003...0,47 \%]; \quad [Ni] = \{0,01...0,21 \% \};$$

$$[Sb] = [0,10...0,50 \%];$$

У табл. 5-7 подано чисельні значення коефіцієнтів сплайнів у залежності (1) для концентрацій легуючих елементів (x_i , $i = 1..7$).

Таблиця 5 – Значення коефіцієнтів для масового зносу залежності (1) для легуючих хімічних елементів

Легуючі елементи сплаву		Масовий знос, г/(мм ² ·км)		
Хімічний елемент	Позначення	$a_i \cdot 10^5$	$b_i \cdot 10^4$	$c_i \cdot 10^5$
[Ca]	x_1	5,237	1,326	0,579
[Na]	x_2	5,237	2,168	1,514
[Mg]	x_3	5,237	2,925	1,415
[Sn]	x_4	5,237	19,788	211,427
[Sb]	x_5	5,237	97,839	427,561
[Ni]	x_6	5,237	-15,101	211,427
[Cu]	x_7	5,237	-35,311	427,561

Таблиця 6 – Значення коефіцієнтів для межі міцності за розтягуванням залежності (1) для легуючих хімічних елементів

Легуючі елементи сплаву		Межа міцності за розтягуванням, МПа		
Хімічний елемент	Позначення	$a_i \cdot 10^5$	b_i	$c_i \cdot 10^2$
[Ca]	x_1	-0,202	-0,169	0,396
[Na]	x_2	-0,202	-0,116	5,555
[Mg]	x_3	-0,202	-1,027	-5,225
[Sn]	x_4	-0,202	1,035	920,964
[Sb]	x_5	-0,202	-3,674	-154,716
[Ni]	x_6	-0,202	6,873	107,259
[Cu]	x_7	-0,202	-0,285	-12,848

Таблиця 7 – Значення коефіцієнтів для ударної в'язкості залежності (1) для легуючих хімічних елементів

Легуючі елементи сплаву		Ударна в'язкість, МДж/м ²		
Хімічний елемент	Позначення	$a_i \cdot 10^3$	$b_i \cdot 10^3$	$c_i \cdot 10^3$
[Ca]	x_1	-1,324	-1,317	0,00886
[Na]	x_2	-1,324	-0,911	0,279
[Mg]	x_3	-1,324	-6,270	-0,319
[Sn]	x_4	-1,324	5,368	54,680
[Sb]	x_5	-1,324	-224,344	-94,255
[Ni]	x_6	-1,324	42,331	6,609
[Cu]	x_7	-1,324	-2,930	-0,984

Висновки. Зіставлення значень властивостей різних сплавів дає можливість зробити висновок, що головне зміцнення можна одержати за рахунок легування цинком. Максимальна міцність сплаву, що містить 0,19...0,20 % цинку, не залежить від наявності міді та магнію. Проте це вірно для сплавів, що містять не більше 0,05 % міді, оскільки за більшим вмістом міді як міцність, так і ударна в'язкість починають різко знижуватися через огрублювання дендритної структури та значної кількості пор, а якщо мідь в сплаві містить більше ніж 0,15 %, то відзначається сильне спучення бабітового шару. Тому доцільно понизити припустимий вміст міді з 0,20 до 0,05 %.

Бібліографічний список

1. **Лахтин, Ю. М.** Материаловедение [Текст] / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 526 с.
2. **Писаренко, Г. С.** Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии [Текст] / Г. С. Писаренко, А. А. Лебедев. – Киев : Наукова думка, 1976. – 415 с.
3. **Алберг, Дж.** Теория сплайнов и ее приложения [Текст] / Дж. Альберт. – М. : Мир, 1972. – 316 с.
4. **Кригельский, И. В.** Трение и знос [Текст] / И. В. Кригельский. – М. : Машиностроение, 1968. – 480 с.
5. **Ковшов, А. Г.** Физическая модель разрушения поверхностей трения [Текст] / А. Г. Ковшов // Актуальные проблемы трибологии. – М. : Машиностроение, 2007. – Т. 2. – С. 206-213.
6. **Скачков, В. А.** Связанные задачи деформирования и разрушения композитных материалов и конструкций [Текст] / В. А. Скачков, Ю. В. Соколкин // Пятый всесоюзный съезд по теоретической и практической механике. – Алма-Ата : Наука, 1981. – С. 322.
7. **Середич, В. И.** К вопросу оценки надежности уникальных конструкций [Текст] / В. И. Середич, Ю. В. Соколкин // Напряженно-деформированное состояние конструкций. – Свердловськ : УНЦ АН СССР, 1977. – С. 41-49.
8. **Колмогоров, А. Н.** Кривые в гильбертовом пространстве, инвариантные по отношению к однопараметрической группе движений [Текст] / А. Н. Колмогоров // Доклады АН СССР. – 1940. – Т. 26. – С. 6-12.
9. **Скачков, В. А.** О связи прочностных и деформационных характеристик с разрушением композитных материалов [Текст] / В. А. Скачков, В. А. Леонтьев // Напряженное деформированное состояние и прочность конструкций. – Свердловськ : УНЦ АН СССР, 1982. – С. 97-103.

ВЕРБИЦКИЙ ВЛАДИМИР ГРИГОРЬЕВИЧ, доктор технических наук, зав. кафедры математического обеспечения автоматизированных систем, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: oxsidan@ukr.net

СКАЧКОВ ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: Skachkov.48@mail.ru

БЕРЕЖНАЯ ОЛЬГА РУСЛАНОВНА, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: : berolgar@ukr.net

ДЗЯДОК ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ, аспирант кафедры металлургии, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: treugolnik93@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАББИТА БК-2

Выполнена оценка влияния легирующих элементов на износ, прочность и ударную вязкость баббита БК-2. На основе результатов экспериментов построена сплайн-аппроксимационная модель количественной оценки влияния содержания каждого легирующего элемента на механические свойства баббита БК-2.

Ключевые слова: баббит, микролегирование, триботехнические свойства, легирующие элементы, экспериментальные исследования

VERBITSKIY VLADIMIR, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Software for Automated System, Zaporizhska State engineering academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: oxsidan@ukr.net

SKACHKOV VICTOR, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Metallurgy, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: Skachkov.48@mail.ru

BEREZHNA YA OLGA, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Metallurgy, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: berolgar@ukr.net

DZYADOK DANIEL, Graduate Student of Department of Metallurgy, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: treugolnik93@gmail.com

RESEARCHS OF MICROALLOYING INFLUENCE ON BABBIT BK-2 TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS

The estimation of influence of alloying elements is executed on a wear, durability and shock viscosity of babbit БК-2. On the basis of results of experiments the spline-аппроксимационная model of quantitative estimation of influence of content of every alloying element is built on mechanical properties of babbit БК-2.

Keywords: babbit, microalloying, триботехнические properties, alloying elements, experimental

Стаття надійшла до редакції 12.04.2017 р.
Рецензент, проф. Г.О. Колобов

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>