

М. Кузін

Інститут прикладних проблем механіки і математики НАН України,

Т. Мещерякова, канд. техн. наук

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,

О. Кузін, канд. техн. наук,

Р. Ядюк, канд. техн. наук

Національний університет «Львівська політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ШЛЯХОМ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОСТРУКТУРИ

Исследованиями вкладышей подшипников скольжения из сплава В16 показано изменение количества упрочняющей фазы SnSb по сечению отливки в условиях центробежного литья. Оптимальной микроструктурой, при которой наблюдается повышение износостойкости в 2–2,5 раза, является наличие 46–52% упрочняющей фазы с минимальным количеством концентраторов напряжений. Разработаны рекомендации по формированию микроструктуры на поверхности контактного взаимодействия, которая обеспечивает повышение сопротивления изнашиванию узлов трения тяговых двигателей электровозов.

Investigations on friction inserts have shown the strengthening phase quantitative change in conditions of the centrifugal casting. The optimum microstructure, at which the 2,5 times increase in wear resistance was observed, in the presence of 46 to 52 percent of strengthening phase with the minimum quantity of stress concentrators. Recommendations are developed concerning the formation of the microstructure on the surface of contact interaction which ensures increase of electric locomotive traction engines.

Вступ

При виготовленні і ремонті вузлів тертя тягових двигунів електровозів використовують метод відцентрового литва. Відцентрове литво дає можливість отримувати вироби високої якості: з меншим ступенем забрудненості неметалевими включеннями, без газових дефектів, усадкових раковин і порожнин [1]. При виготовленні підшипників ковзання широко використовуються установки відцентрового литва з горизонтальною віссю обертання (рис. 1).

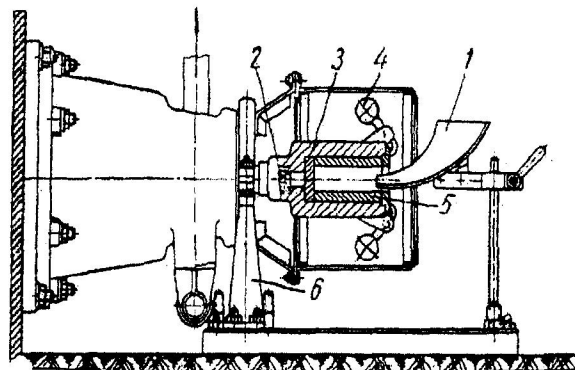


Рис. 1. Загальна схема машини відцентрового литва з горизонтальною віссю обертання: 1 — заливочна воронка; 2 — шток виштовхувача; 3 — виливниця; 4 — відцентровий затвор; 5 — виливок; 6 — упорний люнет.

На установках даного типу отримують вкладиші підшипників ковзання електродвигунів (рис. 2).

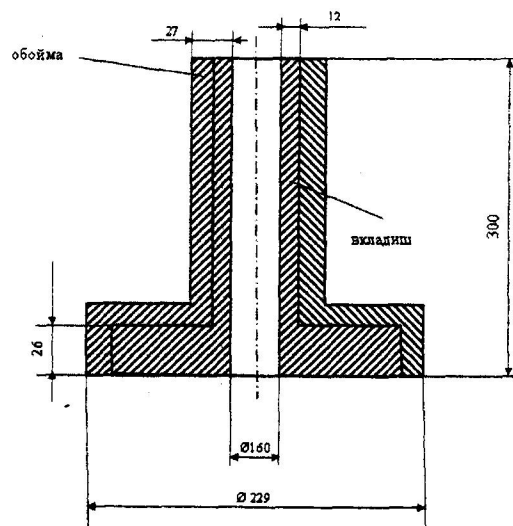


Рис. 2. Схема підшипника ковзання тягового двигуна магістрального електровоза, отриманого відцентровим литвом.

При цьому частота обертання форми складає 750 об/хв. Дана частота досягається ступенево, спочатку форма обертається зі швидкістю 350 об/хв протягом 20 с, далі швидкість обертання підвищується. Заливку бабіту в установку відцентрового литва проводять неперервним струменем після нагріву розплаву

до температури 450–470 °С. Температуру контролюють хромель-алюмелевою термопарою. Маса розплаву, який заливається в форму, що обертається, складає 28 кг.

Основні результати досліджень

Відцентрові сили суттєво впливають на формування структури, так як до складу бабіту входять фази з різними фізико-хімічними властивостями. Хімічний склад бабіту Б16 наведено в таблиці 1.

Таблиця 1
Хімічний склад бабіту Б16

Sb, %	Cu, %	Sn, %	Pb, %
15 – 17	1,5 – 2	15 – 17	основа

Фазовий склад сплаву складається з фаз типу: тверді включення — кристали призматичної форми SnSb (50% — Sn, 50% — Sb), Cu₃Sn (38,8% Sn, 61,2% Cu); матриця — евтектика α(Pb) + β(SnSb) [2].

Ці фази різняться за своєю питомою вагою: SnSb — 6,3 г/см³, Cu₃Sn — 7,86 г/см³ (визначено графічним методом), Pb — 11,34 г/см³.

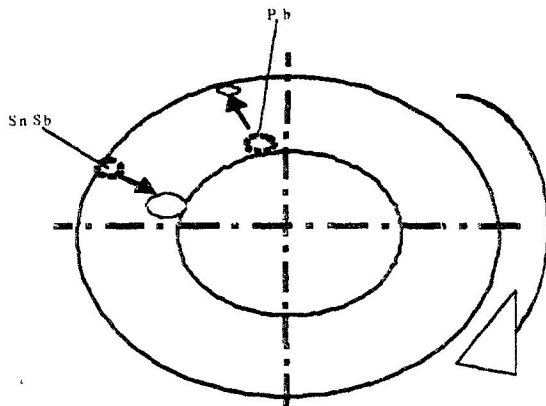


Рис. 3. Схема руху частинок в структурі бабіту Б16 при відцентровому литві.

Різниця в густині приводить до того, що на частинки свинцю і зміцнюючої фази діє різне значення відцентрової сили. Аналітичний розрахунок проведений для вкладиша підшипника діаметром 229 мм, показує: при мінімальній кількості обертів форми $n_{\min} = K_1 \cdot$

$$\frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{\pi}} = 2 \cdot \frac{30}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{9,8}{0,1145}} = 177 \text{ об/хв.}, \text{ кутова швидкість}$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{\min}}{30} = \frac{3,14 \cdot 177}{30} = 18,5 \text{ 1/с.}$$

Відцентрову силу обчислювали за формулою: $Q = m \cdot \omega^2 \cdot r$, де m — маса частинки, на яку діє відцентрова сила; ω — кутова швидкість; r — радіус підшипника. Для SnSb відцентрова сила буде мати таке значення: $2,4317 \cdot 10^{-9}$ Н, для Cu₃Sn — $2,9577 \cdot 10^{-9}$ Н, для Pb — $4,3673 \cdot 10^{-9}$ Н. Отримані результати показують, що частинки свинцю під дією відцентрової сили виштовхуються на зовнішній радіус вкладиша, а частинки зміцнюючої фази SnSb на внутрішній радіус вкладиша, і частинки Cu₃Sn займають проміжне положення між частинками Pb і SnSb (рис. 3). Таким чином, структура повинна бути не-

однорідною через те, що значення відцентрової сили для Pb в 1,79 раз вище за відцентрову силу для SnSb і в 1,47 рази за відцентрову силу для Cu₃Sn.

У зв'язку з цим для аналізу кількісних параметрів структури вирізали поперечні шліфи, що дало змогу аналізувати структуру по товщині вкладиша підшипника ковзання.

Мікроструктурний аналіз на оптичному мікроскопі ММР-2Р нетравлених шліфів підтвердив наявність зональної неоднорідності по товщині вкладиша підшипника ковзання. Переріз вкладиша можна умовно поділити на три структурні зони.

Перша зона, що наближена до поверхні контактної взаємодії, містить найбільшу кількість зміцнюючої фази, яка в деяких ділянках утворює суцільний шар, а м'яка матриця розташована у вигляді окремих ділянок (рис. 4).

В другій зоні зростає кількість ділянок м'якої складової, які утворюють навколо зміцнюючої фази суцільні оторочки або окремі ділянки (рис. 5).

В третій зоні зустрічаються окремі часточки зміцнюючої фази, які в окремих місцях виходять на зовнішню поверхню вкладиша підшипника ковзання (рис. 6).

Аналіз морфологічних ознак включень зміцнюючої фази показав їх різницю в зонах I і II. Так, в зоні I часточки мають просту геометричну форму; в той же час в зоні II спостерігаються смуги включень, які мають більші розміри за інші включення.

В другій зоні форма включень ускладнюється, часточки мають багатокутну овальну форму.

В третій зоні зустрічаються включення, форма яких не має чіткої геометричної конфігурації.

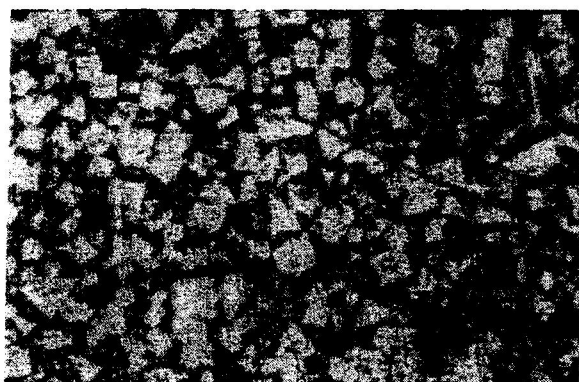
Вимірювання часток і діаметрів включень зміцнюючої фази проводили методом січних [3]. Контури перерізів мікрочастинок фаз на шліфі розділяли січну на окремі відрізки. Підсумування довжини відрізків, які попадали на кожну із фаз структури, і ділення суми на загальну довжину січних ліній дадуть значення частки площі шліфа чи об'єму сплаву, які займає кожна з цих фаз.

Перед початком дослідження оцінювали необхідний об'єм експерименту: щоб забезпечити вимірювання з можливою абсолютною похибкою 2% необхідно провести сто січних в кожній з досліджуваних зон.

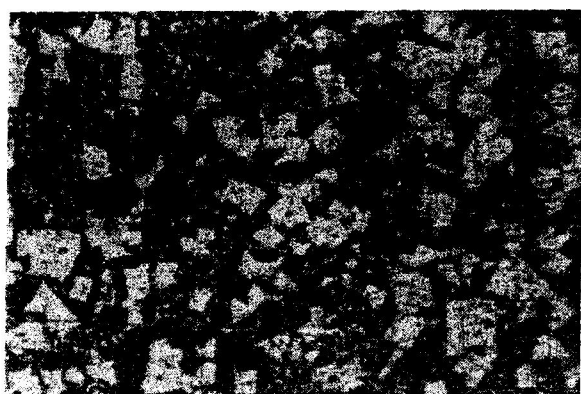


Рис. 4. Мікроструктура вкладиша підшипника з бабіту Б16 біля краю контактної взаємодії.

отриманого відцентровим литвом (зона 1), $\times 125$.



а)



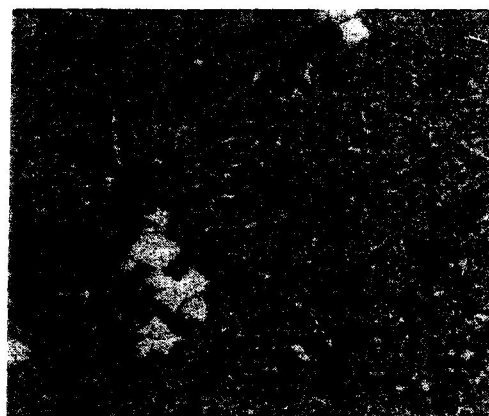
б)

Рис. 5. Мікроструктура вкладки підшипника з бабіту Б16, отриманого відцентровим литвом (зона 2); світлі вclusions — зміцнюючі фази SnSb і Cu_3Sn , окремі голки — Cu_3Sb ; темні ділянки — твердий розчин на основі свинцю, $\times 125$; а — ≈ 4600 мкм; б — ≈ 5200 мкм (від краю контактної взаємодії).

Аналіз результатів показав різне значення кількості зміцнюючої фази в досліджуваних зонах. Вміст зміцнюючої фази в зоні I коливається від 74% до 43%; в зоні II — від 60% до 11%; в зоні III — вміст включень з 11% поступово зменшується до нуля, і біля зовнішнього діаметра вкладки структура складається з матриці Pb (рис. 7). Причому найбільша густина зміцнюючої фази знаходиться посередині досліджуваних зон.

Аналіз розмірів включень по зонах показав, що включення розміром 60 мкм спостерігається в зонах I і III. Включення в зоні II є меншими за включення в зонах I і III. Це пов'язано з тим, що включення більшого розміру швидше виходять на внутрішню поверхню вкладки підшипника ковзання. Різниця діаметрів найменших і найбільших включень є найбільш суттєва в зоні III (рис. 8), в якій зустрічаються включення розміром 60 мкм і 10 мкм. В зоні I зустрічаються включення з розміром 60 і 25 мкм; в зоні II — 45 і 20 мкм. Така різниця розмірів зміцнюючої фази пояснюється умовами кристалізації при відцентровому литві.

Формування мікроструктури в умовах дії відцентрових сил і зміна вмісту зміцнюючої фази по перерізу зливка в бабіті Б16 призводить до суттєвої зміни твердості по перерізу.



а)



б)

Рис. 6. Мікроструктура вкладки підшипника з бабіту Б16, отриманого відцентровим литвом (зона 3), $\times 125$; а — 14800 мкм; б — 16000 мкм (від краю контактної взаємодії).

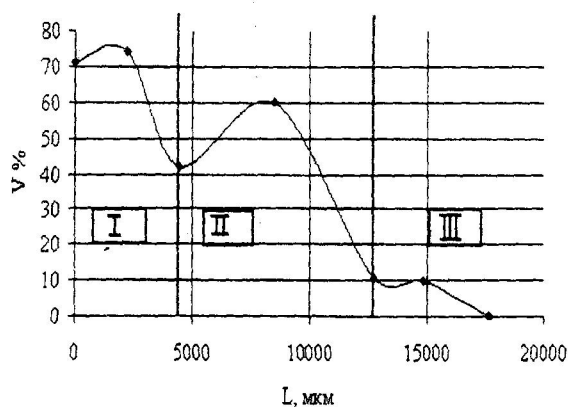


Рис. 7. Вміст зміцнюючої фази в бабіті Б16 по товщині вкладки підшипника ковзання від поверхні контактної взаємодії.

Так, зменшення об'ємної частки зміцнюючої фази від 72% до 10% (рис. 7) призводить до зменшення твердості від 430 до 360 МПа (рис. 9).

Особливістю структури з найвищою зносостійкістю є те, що зміцнююча фаза SnSb знаходиться в ото-

Таблиця 2
Результати випробування на зношування вкладиша підшипника ковзання

№ зразка	m поч., г	h _{поч.} , мм	h _{кін.} , мм	m _{кін.} , г	Δh, мм	Δm, г	Δh, м	Δm, г
край контактної взаємодії								
1	1,3884	7,4	7,3	1,356	0,15	0,033		
2	1,1838	6,95	6,9	1,172	0,1	0,012		
3	1,4186	7,4	7,3	1,406	0,1	0,012		
							0,12	0,0189
3 мм від краю контактної взаємодії								
1	1,2634	7	6,9	1,261	0,1	0,002		
№ зразка	m _{поч.} , г	h _{поч.} , мм	h _{кін.} , мм	m _{кін.} , г	Δh, мм	Δm, г	Δh, мм	Δm, г
2	1,3141	6,6	6,5	1,297	0,15	0,017		
3	1,419	7	6,9	1,388	0,15	0,031		
							0,13	0,0167
6 мм від краю контактної взаємодії								
1	1,3064	6,45	6,1	1,257	0,35	0,05		
2	1,3234	6,6	6,3	1,225	0,3	0,099		
3	1,2652	6,3	6,3	1,246	0,05	0,02		
							0,23	0,0561
зовнішня поверхня вкладиша								
1	1,5159	7,3	6,6	1,329	0,7	0,187		
2	1,387	7,2	6,8	1,107	0,45	0,28		
3	1,5228	7,3	6,8	1,376	0,65	0,147		
							0,6	0,2047

ченні скелету евтектики. Форма часточок наближається до кулястої, на краях зміцнюючої фази більшість кутів є тупими, що зменшує кількість концентраторів напружень в структурі, і в кінцевому результаті така будова мікроструктури викликає підвищення зносостійкості.

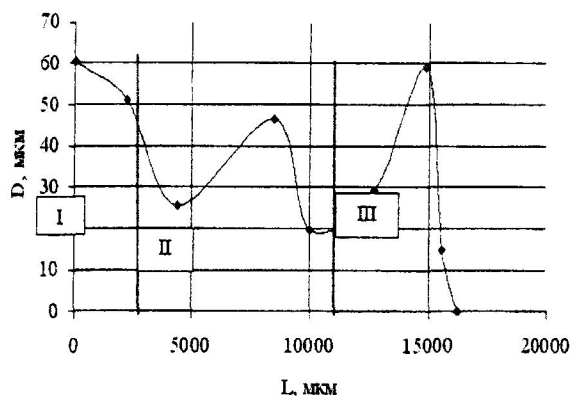


Рис. 8. Зміна середнього діаметру зміцнюючої фази в бабіті Б16 по товщині підшипника від поверхні контактної взаємодії.

Дослідження зношування по методу диск—колодка показало (табл. 2), що неоднорідність структури приводить до зміни інтенсивності зношування. Як видно (рис. 10), на відстані 3 мм від краю інтенсивність

зношування є мінімальною, що зумовлено будовою структури.

Підвищення зносостійкості пов'язано з тим, що зміцнююча фаза SnSb в оптимальній кількості знаходиться в оточенні евтектики, на часточках відсутні концентратори напружень, що мають негативний вплив на процеси пружної, пластичної деформації та руйнування в плямах контакту.

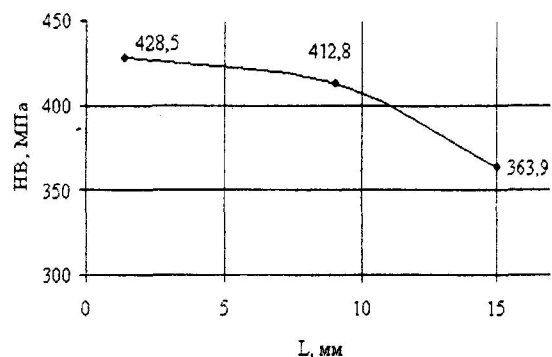


Рис. 9. Розподіл твердості по товщині вкладиша підшипника ковзання від краю контактної взаємодії.

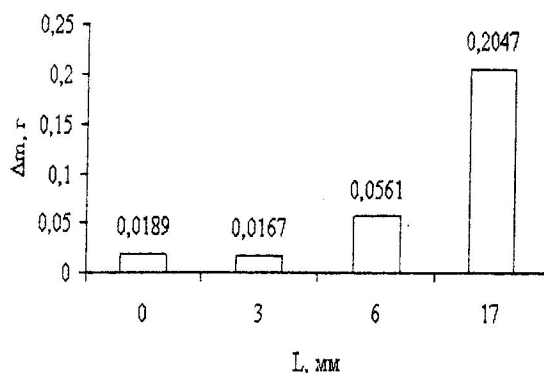


Рис. 10. Результати випробування на зношування структури по товщині вкладиша підшипника ковзання.

Отримання структури з найвищою зносостійкістю на поверхні контактної взаємодії може бути досягнуто, при використанні наступних технологічних рішень:

1. Зниження кількості обертів ливарної форми при кристалізації сплаву з метою отримання оптимальної кількості зміцнюючої фази на поверхні контактної взаємодії.
2. Обробка солями розплаву перед заливкою його у форму для зменшення кількості гострокутних включень зміцнюючої фази, що виконують роль концентраторів напружень.
3. Вибір необхідного припуску на механічну обробку вкладиша підшипника ковзання для отримання оптимальної мікроструктури на поверхні контактної взаємодії.

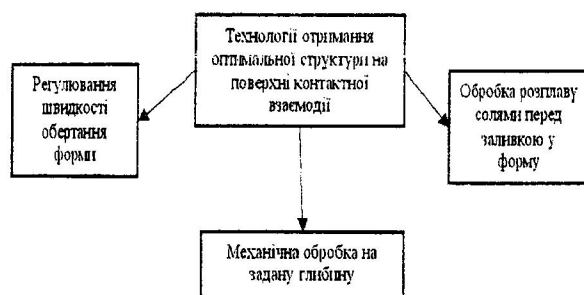


Рис. 11. Методи досягнення оптимальної структури з найвищою зносостійкістю на поверхні контактної взаємодії.

Висновки

Таким чином, проведеними дослідженнями виявлено вплив відцентрового литва на мікроструктуру поверхні контактної взаємодії вкладишів з бабіту Б16, співвідношення в ній зміцнюючої фази SnSb, евтектики що складається з α і β фаз, і α -твердого розчину, а також їх кількісні характеристики. Оптимальною мікроструктурою, при якій спостерігається зростання зносостійкості в 2–2,5 рази, є наявність в сплаві 46–52 % зміцнюючої фази з мінімальною кількістю концентраторів напружень, 36–38 % евтектики і 10–18 % α -твердого розчину.

На основі проведених досліджень розроблені рекомендації по формуванню оптимальної мікроструктури поверхні контактної взаємодії вкладиша підшипника ковзання із сплаву Б16 шляхом зниження кількості обертів ливарної форми при кристалізації, обробки солями розплаву перед заливкою його у форму, а також вибору необхідного припуску на механічну обробку, що забезпечує підвищення опору зношуванню вузлів тертя тягових електродвигунів локомотивів.

Література

1. Литейное производство / Под ред. И.Б. Куманина. — М.: Машиностроение, 1971. — 320 с.
2. Мальцев М.В., Барсуков Т.А., Борин Ф.А. Металлография цветных металлов и сплавов. — М.: ГОСНТИ по черной и цветной металлургии, 1960. — 281 с.
3. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. — М.: Металлургия, 1970. — 384 с.