

О. Кузін, канд. техн. наук,

Р. Яцюк, канд. техн. наук

Національний університет «Львівська політехніка»,

М. Кузін

Інститут прикладних проблем механіки і математики НАН України,

Т. Мещерякова, канд. техн. наук

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту

ВИКОРИСТАННЯ ОБРОБКИ СОЛЯМИ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СТРУКТУРОЮ ПІДШИПНИКОВИХ СПЛАВІВ

Исследованиями баббита Б16, полученного из чистых компонентов и при переплаве вторичного сырья, показано, что в баббите из вторичного сырья возрастает количество упрочняющей фазы и ее неоднородность в размерах; обработка солями NH_4Cl и NaCl приводит к изменению формы частиц упрочняющей фазы от остроугольных многоугольников до выделений пластинчатой и хлопьевидной формы.

Investigations on the babbitt B-16 received from pure components and at recasting of secondary raw materials have shown that in the babbitt from the secondary raw materials the quantity of the strengthening phase and its nonuniformity in the sizes increase; treatment by the salts (NH_4Cl and NaCl) leads to the change in the form of strengthening phase particles from acute-angled polygons to isolations of laminar and flake like form.

Вступ

Бабіти широко використовуються в транспортно-му машинобудуванні при виготовленні вкладишів підшипників ковзання двигунів великої потужності, в яких елементи пари тертя переміщуються зі швидкостями до 30 м/с [1]. Бабіт Б16 використовують у вузлах тертя тягових двигунів електровозів. Підшипниковий матеріал є відносно пластичною і в'язкою основою з включеннями твердих опорних часток. В умовах тертя зношуватиметься пластична основа, а вал контактуватиме переважно з твердими включеннями [2]. Отже, поверхня підшипника не зазнає тертя, мастило утримуватиметься в тих місцях пластичної основи, які зношуються (рис. 1).

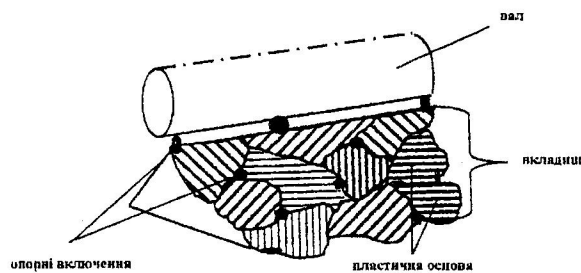


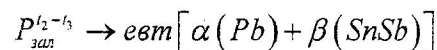
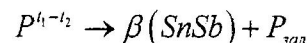
Рис. 1. Схема роботи вала з вкладишем.

Перевагами бабітів є можливість їх повторного використання при виготовленні вузлів тертя. Вилучений із відпрацьованих вузлів тертя матеріал використовують для виготовлення вкладишів підшипників ковзання методом повторної заливки обойм.

При виготовленні нових підшипників ковзання для отримання заданого хімічного складу ($\text{Sn} = 15\text{--}17\%$,

$\text{Sb} = 15\text{--}17\%$, $\text{Cu} = 1,5\text{--}2,0\%$) при виплавці проводять добавку компонентів, які входять в склад бабіту.

Цей сплав відноситься до сплавів на свинцево-олов'яній основі четверної системи Pb-Sn-Sb-Cu . Враховуючи, що мідь вводиться як антилікватор і кристалізується у вигляді з'єднань Cu_2Sn і Cu_2Sb (в залежності від співвідношення сурми та олова) раніше, ніж основа сплаву, то процеси кристалізації і структури цього бабіту можна з достатньою точністю описати, керуючись потрібною діаграмою стану [3]. Згідно діаграми процес формування структури бабіта протікає в дві стадії:



Кристалізація закінчується утворенням подвійної евтектики $\alpha(\text{Pb}) + \beta(\text{SnSb})$. Мікроструктура сплаву є гострокутним включенням кристалів SnSb , голчастими виділеннями сполуки Cu_2Sb , які розміщені в евтектиці. Наявність в структурі бабіту гострокутних та голчастих включень, які відіграють роль концентраторів напружень, може мати негативний вплив на процеси зношування.

Основні результати досліджень

Вплив співвідношення вихідної шихти, яку отримано при переробці вузлів тертя і з чистих компонентів, на мікроструктуру бабіту, до кінця не вивчений. А формування гострокутних включень Cu_2Sb і SnSb при охолодженні в рідкій фазі дає можливість проводити їх модифікування. У зв'язку з цим в роботі вивчали структуру бабіту при переплавленні чистих компонентів і структуру бабіту, отриманого при переплавленні відходів з використанням обробки солями. Матеріали для досліджень отримували в печі електроопору.

Досліджуванні зразки виливали в мідний кокіль. Діаметр зразків — 28,8 мм. Металографічний аналіз проводили на мікроскопі ММР-2Р.

Спостереження структури зразків показало, що у виливках можна умовно виділити дві зони:

- 1) з найбільшим співвідношення між фазою $SnSb$ і евтектикою (ρ), що утворилася під час кристалізації в центрі зразків (розмір зони складає ≈ 13800 мкм);
- 2) з найменшим ρ (ширина зони від краю контактної взаємодії складає ≈ 500 мкм).

Визначення співвідношення між фазою $SnSb$ і евтектикою проводили методом січних: вимірювали довжини січних ділянок світлої фази і ділянок з евтектикою. Відношення сумарної довжини січних ділянок фази $SnSb$ до сумарної довжини січних з евтектикою дало нам щільність (ρ) розподілу зміцнюючої фази по тілу шліфа. Для того, щоб забезпечити абсолютну похибку результатів на рівні 2%, проводили 120 січних в площині шліфа.

Спостереження структури бабіту, отриманого з чистих компонентів, показало, що співвідношення між фазою $SnSb$ і евтектикою є різне, зустрічаються локальні ділянки з високою щільністю фази та ділянки з невисокою щільністю, як в центральній так і в зовнішній зоні. На краю бабіту часточки дрібніші ніж в центрі і мають кулеподібну форму, в центрі — часточки мають витягнуту форму.

Вивчення структури бабіту, отриманого з відходів, показало, що тут також існують локальні ділянки з високою щільністю часточок та ділянки з невисокою щільністю, як в центральній, так і в зовнішній зоні. Існують ділянки, де форма часточок набуває ромбічної форми, утворюються локальні скупчення. Найбільші скупчення виявляються в центрі зразка.

Аналіз результатів металографічних досліджень (рис. 2), отриманих для бабіту після переплаву чистих компонентів, показав, що густина зміцнюючої фази змінюється: в центрі — від 0,6949 до 0,1364; в зовнішній зоні — від 0,5385 до 0,0753.

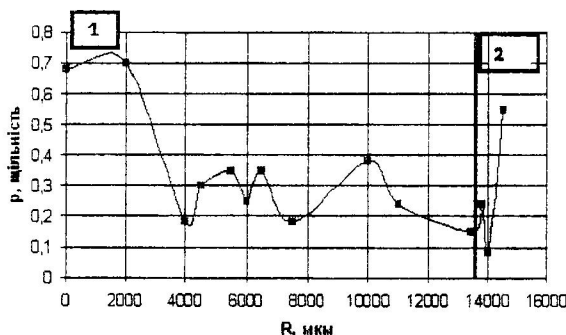


Рис. 2. Розподіл зміцнюючої фази (ρ) від центра зливка до краю (R), отриманого при переплаві чистих компонентів: 1 — центральна зона; 2 — зовнішня зона.

Графічна обробка результатів (рис. 3), отриманих для бабіту після переплаву відходів, показує зміну густини фази від центра зразка до краю: в центрі густина змінюється від 0,8148 до 0,1756; в зовнішній зоні — від 0,4925 до 0,1628.

Слід зазначити, що у всіх досліджених зонах густина зміцнюючої фази бабіту B16, отриманого при переплаві відходів, є більшою ніж у бабіту, отриманого з чистих компонентів. Це обумовлено присутністю в сплаві, що отримується при переплаві відходів, більшої кількості центрів кристалізації (Cu_3Sn), на яких можливе утворення зміцнюючих фаз при охолодженні.

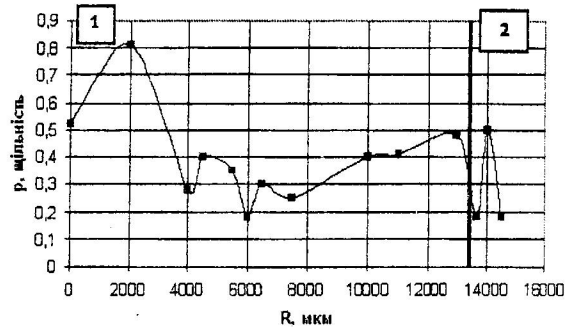


Рис. 3. Розподіл зміцнюючої фази (ρ) від центра зливка до краю (R), отриманого при переплаві відходів.

Графічна обробка результатів (рис. 3), отриманих для бабіту після переплаву відходів, показує зміну густини фази від центра зразка до краю: в центрі густина змінюється від 0,8148 до 0,1756; в зовнішній зоні — від 0,4925 до 0,1628.

Характер розподілу зміцнюючої фази також залежить від складу вихідної шихти. Так, в сплаві, отриманого з чистих компонентів, розміри конгломератів зміцнюючої фази в усіх зонах зливка знаходяться в межах 15–22 мкм (рис. 4).

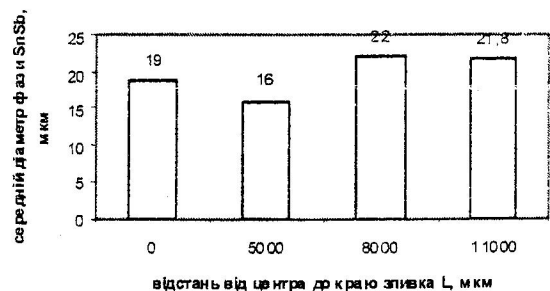


Рис. 4 Зміна розміру фази $SnSb$ по перерізу зливка бабіту B16 (сплав отриманий з чистих компонентів).

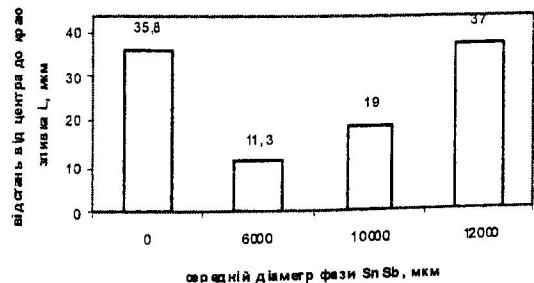


Рис. 5 Зміна розміру фази $SnSb$ по перерізу зливка бабіту B16 (сплав отриманий при переплаві стружки, температура розливу 450°C).

В той же час в зливках, отриманих після переплаву стружки, розмір конгломератів змінюється в ширших межах. Зокрема, в центральній частині і на краю зливка розмір ділянок фази складає понад 35 мкм (рис. 5), а в зоні направленої тепловідведення розмір ділянок зміцнюючої фази знаходиться в межах від 11 до 19 мкм. Це пов'язано з більш широким інтервалом кристалізації, який утворюється при твердінні сплаву, виплавленому шляхом переплаву стружки. При широкому інтервалі кристалізації маємо більші можливості формування ліквіації в перехідній зоні «рідка-тверда фаза».

Обробку солями NH_4Cl , а також NH_4Cl і $NaCl$ проводили при нагріві сплаву, отриманого з відходів, до температури 470 °C.

Дослідження бабіту, який не пройшов обробку солями, показало, що від краю утворюється зона подрібнених кристалів, яка має довжину 150 мкм (рис. 6). Середній розмір темних ділянок складає 5–10 мкм. Потім починається зона орієнтованих кристалів, в якій середній розмір ділянок твердого розчину складає 50–60 мкм. При збільшенні відстані від краю зразка спостерігається збільшення розмірів часточок світлої фази $SnSb$. Причому, якщо на краю зони розмір окремих часточок $SnSb$ складає 1,8–2,5 мкм, то на відстані 1000 мкм від краю розмір цих окремих часточок — 5–10 мкм. Часточки, які виділяються в твердому розчині, свої розміри не змінюють. На відстані 2500 мкм від краю розмір зон, вільних від великих білих виділень, складає 100 мкм, а самі виділення мають розмір 5–15 мкм. В центральній частині розмір зон, вільних від виділень, складає 100–125 мкм, розмір включень $SnSb$ збільшується до 20 мкм, включення утворюють окремі конгломерати розміром 40–50 мкм. Розташування конгломератів зміцнюючої фази в основному є рівномірним. В деяких місцях зустрічаються конгломерати, будова яких подібна до будови дендритів. Включення зміцнюючої фази в основному мають форму чотири- і п'ятикутників (рис. 6).

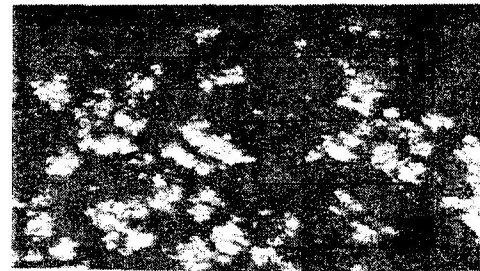
Обробка солями амонію (NH_4Cl) суттєво впливає на структуру досліджених зливок. Зокрема середній діаметр зон твердого розчину в зоні подрібнених кристалів складає 35–40 мкм, а розмір окремих часточок 5–7,5 мкм (рис. 7а). Розмір зон подрібнених кристалів зменшується. Зони направленої кристалізації з орієнтованим розміщенням часточок немає.

В другій зоні на відстані 2000 мкм від краю кристалізація проходить за механізмом утворення комірок, розмір яких складає 25–35 мкм, а розмір окремих часточок — 5–7,5 мкм.

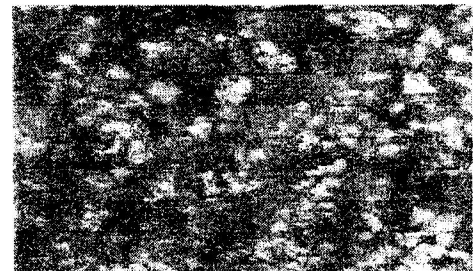
В центрі зливка розмір ділянок, вільних від великих включень, складає 40–55 мкм, а розмір самих окремих включень — 5–7,5 мкм; орієнтованих кристалів не спостерігається (рис. 7б). Порівняння структури сплаву необробленого і обробленого NH_4Cl встановило, що введення солі зменшує ступінь ліквіаційної неоднорідності.

Часточки зміцнюючої фази мають однаковий розмір у всіх зонах зливка. Комплексна обробка солями NH_4Cl і $NaCl$ суттєво впливає на розподіл фаз в структурі досліджуваного зливка. Так, в зоні, що наближена до зони максимального тепловідведення, ча-

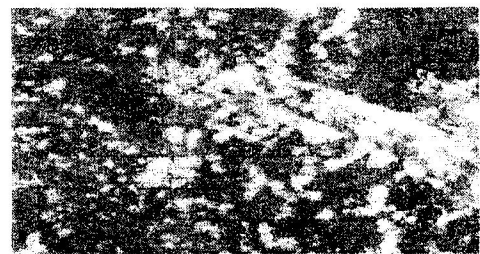
сточки мають розмір 7,5–10 мкм, зони вільні від виділень мають розмір 50–60 мкм. Головною особливістю, що спостерігається в сплаві, є те, що часточки зміцнюючої фази змінюють свою форму від багатогранників до кулеподібних (рис. 8). Розмір часточок складає 5–12,5 мкм на відстані 1500 мкм від краю, розмір зон вільних від виділень складає 50–60 мкм. Слід відмітити, що межа між твердим розчином і включеннями зміцнюючої фази в деяких ділянках не є чітко вираженою. В центральній частині зливка розмір вільних від виділень зон складає 75–100 мкм, включення світлої фази мають розмір 15–20 мкм і утворюють конгломерати, форма яких наближається до пластівчастої. Світлих включень у формі багатогранників не спостерігається.



а)



б).



в)

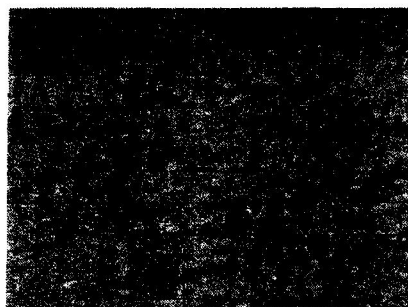
Рис. 6 Мікроструктура зливка бабіту B16, отриманого з відходів, після розливки від температури 470 °C, $\times 240$:

а) край зливка; б) на відстані 5000 мкм від краю; в) центр зливка.

Дослідження голчастої фази Cu_2Sb показало, що в усіх трьох зливках розмір голок в крайовій зоні складає 0,7–5 мкм, центральній частині: 2,7–8 мкм. І тільки в сплаві, обробленому NH_4Cl , розмір часточок голчастої фази Cu_2Sb є меншим: 0,7–2,7 мкм.

Аналіз мікроструктури показав, що часточки фази $SnSb$ утворюють окремі конгломерати, тобто скупчення, розмір яких визначається умовами проведення

плавки і кристалізації зливків. Так, в сплаві, отриманому зі стружки, конгломерати розміром понад 40 мкм зустрічаються на краю зливка, а ближче до центральної частини зливка на відстані 3 мм від краю розмір конгломератів стає меншим за 10 мкм (рис. 9).

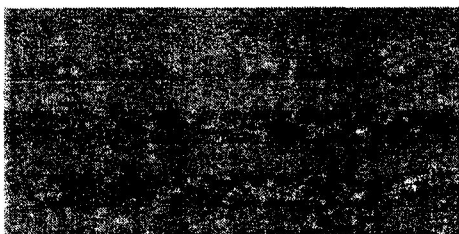


а)

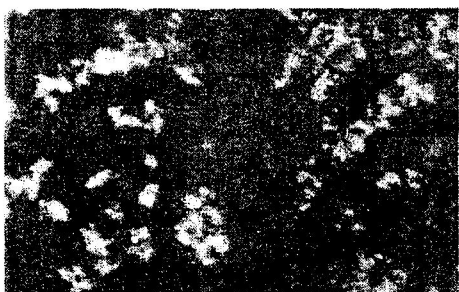


б)

Рис. 7. Мікроструктура зливка бабіту B16, отриманого з відходів після розливки від температури 470 °C і обробки сіллю NH_4Cl , $\times 240$: а) край зливка; б) центр зливка.



а)



б)

Рис. 8. Мікроструктура зливка бабіту B16, отриманого з відходів після розливки від температури 470 °C і обробки сіллю $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaCl}$, $\times 240$: а) край зливка; б) центр зливка.

В сплаві, який при виплавці був оброблений солями амонію NH_4Cl , розмір конгломератів змінюється несуттєво (рис. 10). В сплаві, що був оброблений комплексно солями $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaCl}$, найбільший розмір конгломератів спостерігається на відстані 9 мм від краю (рис. 11). В центральній зоні середній діаметр конгломератів складає 18–20 мкм. Важливою ознакою впливу обробки солями є зміна геометричних характеристик конгломератів фази SnSb .

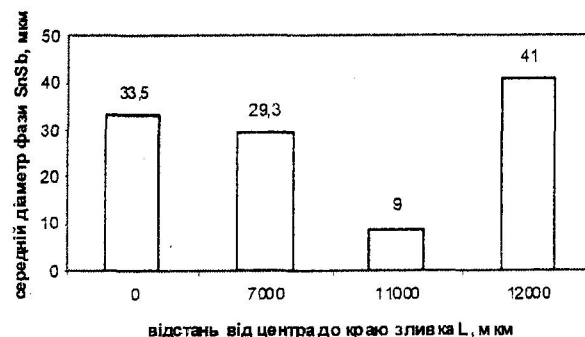


Рис. 9. Зміна розміру фази SnSb по перерізу зливка бабіту B16 (сплав, отриманий при переплаві стружки, температура розливки 470 °C).

Встановлено, що обробка розплаву бабіту B16 солями призводить до зміни геометричних характеристик конгломератів, які утворюються від час кристалізації зливків. Так, в сплаві, що не оброблявся солями, утворюються конгломерати, які в основному мають сферичну форму. В сплаві, обробленому хлористим амонієм, конгломерати SnSb мають форму пластинок. В сплаві, обробленому $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaCl}$, зустрічаються конгломерати пластівчастої і кулястої форми; в точках зміцнюючої фази відсутні гострі кути.

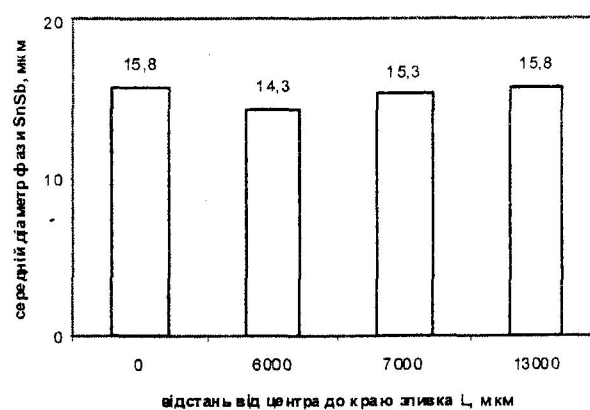


Рис. 10. Зміна розміру фази SnSb по перерізу зливка бабіту B16, який отриманий при переплаві відходів і обробці розплаву хлористим амонієм.

Така зміна мікроструктури свідчить про значний вплив солей на величину міжфазної енергії на межі

розділу $SnSb$ — рідка фаза. Це може бути використано для керування структурою бабітів за допомогою обробки розплавів солями.

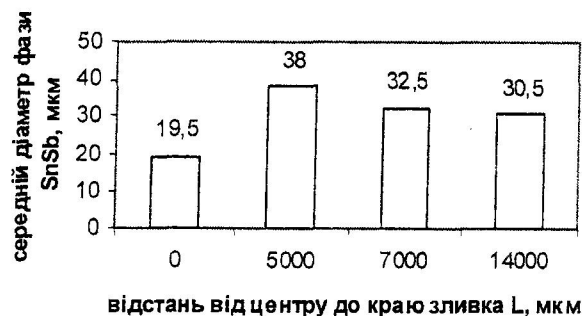


Рис. 11. Зміна розміру фази $SnSb$ по перерізу зливка бабіту Б16, який отримано при переплаві відходів і обробці розплаву солями $NH_4Cl + NaCl$.

Висновки

Виконаний комплекс досліджень умов виплавки, кристалізації і обробки солями дозволив визначити шляхи керування структурою і станом внутрішніх по-

верхонь розділу з метою підвищення фізико-механічних властивостей і зносостійкості бабіту Б16.

Вперше встановлено, що обробка розплаву солями призводить до зміни геометричних характеристик конгломератів, які утворюються під час кристалізації зливків. Так, в сплаві в необробленому стані утворюються кристали зміцнюючої фази, що мають форму багатогранників. В сплаві, обробленому хлористим амонієм, утворюються конгломерати $SnSb$ із часточок зміцнюючої фази, що мають форму пластинок. А в сплаві, обробленому комплексом солей $NH_4Cl + NaCl$, зустрічаються конгломерати пластівчастої і кулястої форми.

Література

1. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др. — М.: Машиностроение, 1986. — 384 с.
2. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів. — К.: Основа, 2005. — 324 с.
3. Мальцев М.В., Барсуков Т.А., Борин Ф.А. Металлография цветных металлов и сплавов. — М.: ГОСНТИ по черной и цветной металлургии, 1960. — 281 с.