

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №3

«Дослідження алюмінієвих сплавів, які застосовуються в якості антифрикційних, фрикційних та зносостійких матеріалів» з дисципліни «Зносостійкі, фрикційні та антифрикційні матеріали» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №3 «Дослідження алюмінієвих сплавів, які застосовуються в якості антифрикційних, фрикційних та зносостійких матеріалів» з дисципліни «Зносостійкі, фрикційні та антифрикційні матеріали» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укл.: М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. 22 с.

Укладачі: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент

О.Є. Капустян, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Голова метод. комісії каф. ОТЗВ д.ф.н., проф. С.М. Попов

Затверджено

на засіданні кафедри ОТЗВ

Протокол №15 від 22.05.2019 р.

Рекомендовано

до видання НМК ІФФ

Протокол №8 від 20.06.2019 р.

ЗМІСТ

1 Мета роботи	4
2 Загальні відомості.....	4
2.1 Класифікація сплавів на основі алюмінію	4
2.2 Фрикційні і антифрикційні матеріали	11
2.3 Вимоги, які пред'являються до матеріалів.....	13
2.4 Застосовувані підшипникові сплави.....	14
2.5 Результати випробувань сплаву АО10С2	17
3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи	19
4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання	19
5 Вказівки з техніки безпеки	20
6 Порядок проведення лабораторної роботи	20
7 Зміст звіту.....	21
Рекомендована література	21

1 МЕТА РОБОТИ

Дослідити структуру і властивості алюмінієвих сплавів.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

За масштабами застосування алюміній займає серед металів друге місце після заліза.

Розвідані запаси алюмінієвої сировини на Землі значно перевершують запаси заліза і практично незчисленні. Як елемент алюміній становить за вагою 8% від ваги всіх елементів, що входять до складу земної кори. Виробництво алюмінію в усьому світі збільшується з року в рік і особливо зросло за останній час.

Дослідження показують, що, незважаючи на високу вартість алюмінію і сплавів на його основі при обліку всіх економічних факторів застосування цього матеріалу в багатьох галузях промисловості є ефективним.

2.1 Класифікація сплавів на основі алюмінію

В якості основних легуючих елементів при виробництві алюмінієвих сплавів використовують *Cu*, *Mn*, *Mg*, *Si*, *Zn* та ін. Більшість легуючих елементів утворюють з алюмінієм (рис. 2.1) тверді розчини обмеженої розчинності і інтерметаллідні фази (*CuAl₂*, *Mg₂Si* і ін.).

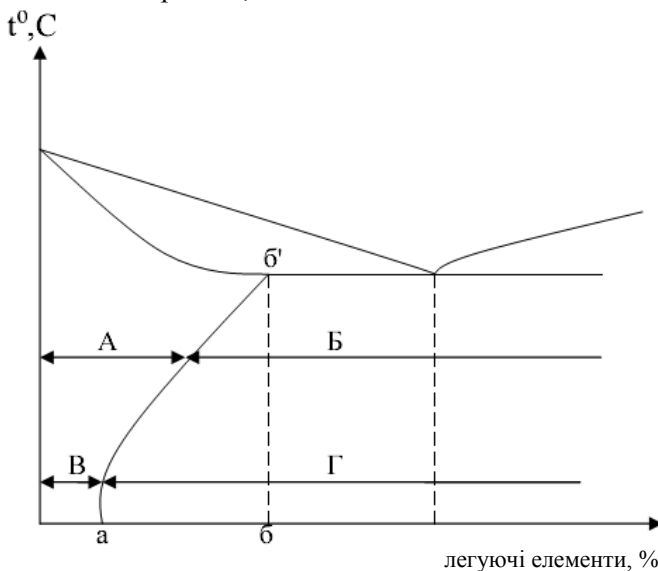
Всі алюмінієві сплави можна розділити на три групи:

а) деформуються, призначені для отримання напівфабрикатів прокаткою і волочінням або куванням і штампуванням (рис. 2.1, ділянка А);

б) ливарні сплави, призначені для отримання виробів методом фасонного лиття (рис. 2.1, ділянка Б);

в) сплави, одержувані методом порошкової металургії (САП –

спечені алюмінієві порошки, САС – спечені алюмінієві сплави).



А – сплави, що деформуються, Б – ливарні сплави, В – сплави, що не зміцнюються термічною обробкою, Г – сплави, що зміцнюються термічною обробкою

Рисунок 2.1 – Діаграма стану Al–л.е.

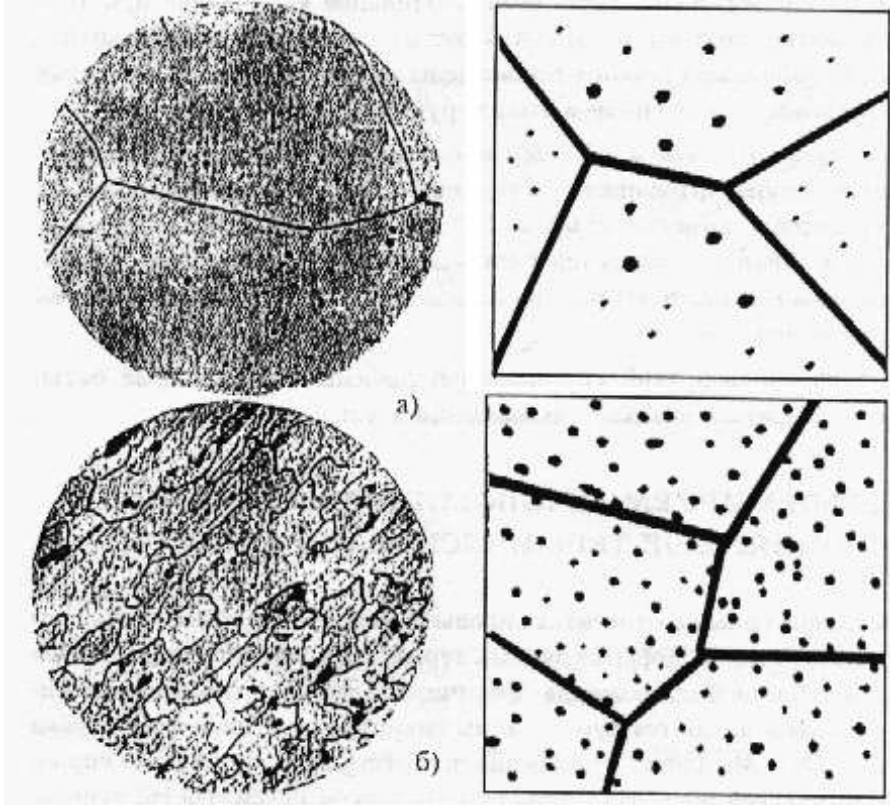
Залежно від здатності сплавів зміцнюватися термічною обробкою, їх підрозділяють на:

- сплави, що зміцнюються термічною обробкою (рис. 2.1, ділянка Г);
- сплави, що зміцнюються термічною обробкою (рис. 2.1, ділянка В).

До тих, що деформуються відносяться технічний алюміній і термічно зміцнювані зварні корозійностійкі сплави (сплави алюмінію з марганцем і магнієм). Ці сплави використовуються у відпаленому, нагартованому і напівнагартованому станах.

Сплави АМц відносяться до системи Al–Mn (рис. 2.2). Структура сплаву АМц складається з α -твердого розчину марганцю в алюмінії і вторинних виділень фази $MnAl$. У присутності заліза замість $MnAl$ утворюється складна фаза $(MnFe)Al$, практично нерозчинна в алюмінії, тому сплав АМц і зміцнюється термічною обробкою. Склад даних сплавів має дуже вузькі межі: 1%–1,7% Mn; 0,05%–0,20% Cu; мідь додають з метою зменшення виразкової корозії. Допускається до

0,6%–0,7% *Fe* і 0,6%–0,7% *Si*, що призводить до деякого зміцнення сплавів без істотної втрати опору корозії. При зниженні температури міцність швидко росте. Тому сплави цієї групи знайшли широке застосування в криогенній техніці.



a – загартування у воді з температури T_2 ; *б* – гарт і штучне старіння при T_3
(праворуч – схематичне зображення)

Рисунок 2.2 – Мікроструктура дюралюмініу

Сплави АМг (магналії) відносяться до системи $Al-Mg$. Магній утворює з алюмінієм α -тверді розчини і в області концентрацій від 1,4% до 17,4% *Mg* відбувається виділення вторинної β -фази ($MgAl$), але сплави, що містять до 7% *Mg*, дають дуже незначне зміцнення при термічній обробці, тому їх зміцнюють пластичною деформацією – нагартовкою. У промислових сплавах магній міститься в межах від 0,5% до 12% – 13%, сплави з низьким вмістом магнію мають

найкращу здатність до формоутворення, сплави з високим вмістом магнію мають хороші ливарні властивості.

До алюмінієвих сплавів, що деформуються зміцнюваних термічною обробкою відносяться сплави високої і нормальної міцності. Типовими алюмінієвими сплавами, що деформуються є дуралюміни (маркують літерою Д) – сплави системи $Al-Cu-Mg$.

При загартуванні, яке полягає в нагріванні сплаву вище лінії змінної розчинності, витримці при цій температурі і швидкому охолодженні, фіксується структура пересиченого α -твердого розчину (світлий на рис. 2.2 а), що містить і нерозчинні включення залізистих і марганцевистих з'єднань (темні). Сплав у свіжезагартованому стані має невелику міцність $\sigma_b = 300$ МПа; $\delta = 18\%$; твердість НВ 75.

Пересичений твердий розчин нестійкий. Найвища міцність досягається при подальшому старінні загартованого сплаву. Штучне старіння полягає у витримці при температурі $150^\circ\text{C} - 180^\circ\text{C}$. При цьому з пересиченого α -твердого розчину виділяються зміцнюючі фази $CuAl_2$, $CuMgAl_2$, $Al_{12}Mn_2Cu$.

Мікроструктура зістареного сплаву представлена на рис. 2.2 б. Вона складається з твердого розчину і включень різних перерахованих вище фаз.

Ливарні алюмінієві сплави.

Чинний нині стандарт на алюмінієві сплави (ГОСТ 1583-89) передбачає їх поділ на 5 груп:

I – сплави на основі системи $Al-Si-Mg$;

II – сплави на основі системи $Al-Si-Cu$;

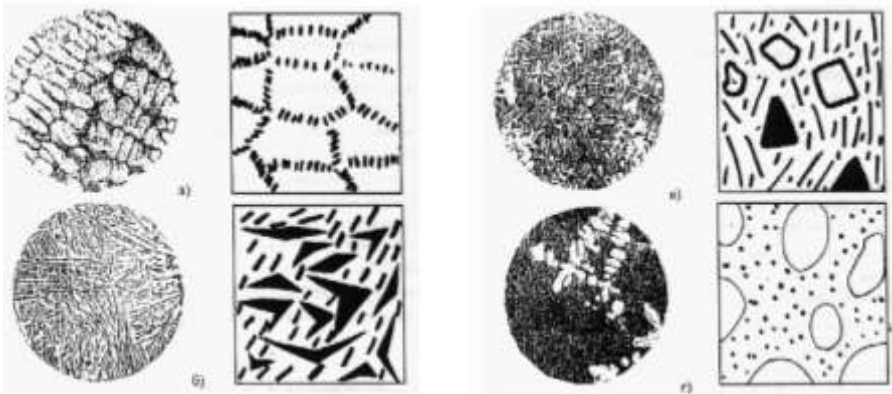
III – сплави на основі системи $Al-Cu$;

IV – сплави на основі системи $Al-Mg$;

V – сплави на основі системи алюміній – інші компоненти.

Характерним представником алюмінієвих ливарних сплавів є силуміни – це сплави алюмінію з кремнієм, зазвичай містять 10% – 13% Si (АК12).

Мікроструктура литих доєвтектичних силумінів (рис. 2.3) складається із світлих дендритів α -твердого розчину кремнію в алюмінії і подвійної евтектики $\alpha + Si$ голчастого типу, рис. 2.3 в (тому що розчинність Al в Si при кімнатній температурі становить 0,05%, допустимо вважати, що в структурі сплавів при низьких температурах присутній β -твердий розчин, кремнію).



a – до евтектичний; *б* – евтектичних; *в* – заевтектичних; *г* – модифікований
Рисунок 2.3 – Мікроструктура силумінів (праворуч – схематичне зображення)

Мікроструктура сплаву евтектичного складу – евтектика $\alpha + Si$. При звичайному способі лиття ця евтектика має грубу будову (рис. 2.3 б). Кремній в ній знаходиться у вигляді грубих голок. У силумінах заевтектичного складу первинно кристалізуються багатогранні кристали Si світлосірого кольору (рис. 2.3 а). Кремній крихкий, тому силуміни мають низькі механічні властивості ($\sigma_B = 120 \text{ МПа} \dots 160 \text{ МПа}$, $\delta = 1\% \dots 2\%$). Щоб позбутися від грубої евтектики і первинних кристалів, сплави модифікують, тобто перед розливанням в розплав вводять невелику кількість натрію (0,05% – 0,08% до маси сплаву) або кальцію, бору. В результаті модифікування збільшується концентрація кремнію в евтектиці (з 11,7% до 15%) і сплави переохолоджуються щодо рівновісно евтектичної температури 577°C . Силуміни заевтектичного складу, які містять 11,7% – 15% Si , стають доевтектичними, і в їх структурі замість первинних крихких кристалів кремнію є дендрити пластичного α -твердого розчину (рис. 2.3 г). Переохолодження призводить до формування в структурі дрібнозернистої евтектики.

Модифікування покращує не тільки механічні властивості силумінів ($\sigma_B = 170 \text{ МПа} \dots 200 \text{ МПа}$ і $\delta = 3\% \dots 5\%$), але і ливарні. Модифіковані силуміни добре зварюються і мають високу корозійну стійкість.

Для підвищення міцності подвійні силуміни легують магнієм, міддю і піддають термічній обробці.

За призначенням конструкційні ливарні алюмінієві сплави умовно поділяються на такі групи:

1) сплави, що відрізняються високою герметичністю (АК12, АК8);

2) високоміцні жароміцні сплави (АМ5, АК5М);

3) корозійностійкі сплави (АМг10; АЦ4Мг).

Сплави, одержувані методом порошкової металургії.

На основі алюмінію виробляють дві групи таких сплавів: САП – спечені алюмінієві порошки і САС – спечені алюмінієві сплави. Спечені алюмінієві порошки. Для виготовлення виробів використовують алюмінієву пудру і дрібнодисперсну Al_2O_3 (табл. 2.1), які ретельно перемішують, засипають у прес-форми і пресують під тиском, а потім проводять спікання при температурі $600^\circ C$. Оскільки оксид алюмінію не розчиняється в алюмінієвій основі і не укрупнюється, то ці сплави мають хорошу жароміцність, міцність, високу корозійну стійкість, хорошу тепло- і електропровідність, високий опір зношування.

Властивості виробів з САП залежать в основному від вмісту оксиду алюмінію і ступеня дисперсності алюмінієвої пудри (рис. 2.4).

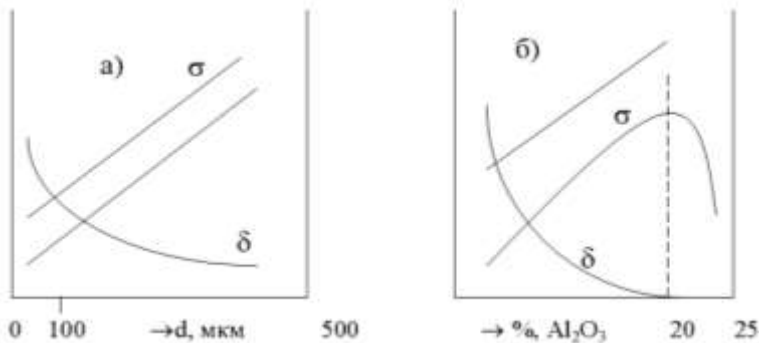


Рисунок 2.4 – Залежність механічних властивостей від вмісту оксиду алюмінію і ступеня дисперсності алюмінієвої пудри

Спечені алюмінієві сплави (САС). Сплави складаються із спеченого легованого алюмінієвого порошку або гранул. Для САС характерні або висока міцність, або хороша жароміцність, або низький коефіцієнт лінійного розширення, або низький коефіцієнт тертя. Зміна властивостей залежить від легуючих елементів, які присутні в сплаві. Залежно від легуючих компонентів САС поділяються на три групи.

Перша група містить марганець, хром, цирконій, титан. В результаті технологічних нагрівів під гаряче пресування і екструзії (обробка тиском) вони розпадаються з виділенням дисперсних інтерметаллідних фаз, що призводить до підвищення міцності.

Таблиця 2.1 – Характеристики деяких виробів виготовлених з спечених алюмінієвих порошків

Марка	Напів-фабрикат	Температура випробувань	Вміст елементів*, %			Механічні властивості			
			Al ₂ O ₃	Fe	Жир	σ _B , МПа	σ _{0,2} , МПа	δ, %	НВ
САП-1	Прутки, смуги	20	6-9	0,2	0,2	260-300	200-240	8-12	85
		300				160-180	120-140	3-7	
500		50-70				50-60	2-6		
	листи товщиною 1,5 мм	20				320-340	280-300	3-4	-
300					90-120	-	10-14		
500					30-40	-	6-8		
САП-2	Прутки, смуги	20	9-13	0,2	0,25	320-360	210-250	6-8	100
		300				170-180	150-160	4-6	
		500				80-90	80-90	2-3	
САП-3	Прутки, смуги	20	13-18	0,25	0,25	380-450	320-360	3-6	120
		300				190-210	140-160	4-7	
	Штамповка	20				370-390	320-330	6	
		350				120-130	100-110	8	
		500				70-80	50-60	6	

* Al - основа

Друга група САС легована залізом, нікелем і кобальтом. Велика швидкість охолодження частинок порошку забезпечує утворення гетерогенної (неоднорідної) структури, тобто інтерметаллідні фази знаходяться в дисперсному стані і рівномірно розподілені.

Третю групу САС складають гранульовані сплави, отримані із алюмінієвих сплавів, що містять свинець, олово, кадмій. Напівфабрикати з САС виробляють нагріваючи спочатку порошки і гранули в алюмінієвій оболонці, а потім піддаючи гарячому пресуванню і екструзії. Для сплавів першої і другої груп цей процес проводиться при температурі 400° С – 500° С, що забезпечує створення і збереження необхідної структури і отримання потрібних властивостей. Застосовують САС для деталей, що працюють в парі зі

сталлю при температурі 20°C – 200°C , які вимагають поєднання низького коефіцієнта лінійного розширення і малої теплопровідності, а також в приладобудуванні, коли шляхом лиття та обробки тиском важко отримати відповідний сплав.

2.2 Фрикційні і антифрикційні матеріали

Довговічність деталей машин і устаткування в більшій мірі залежить від зносостійкості матеріалів, використаних для виготовлення.

Деталі, що труться в залежності від їх зношування виготовляють з конструкційних, зносостійких, антифрикційних і фрикційних матеріалів.

У багатьох випадках матеріали наносять у вигляді покриттів, плівок або накладок на деталі з конструкційного матеріалу.

З усіх пар тертя підшипники ковзання викликали, свого часу, найбільшу складність в забезпеченні їх тривалої роботи, в силу високих питомих навантажень при порівняно великих швидкостях ковзання. Для таких підшипників були розроблені сплави з малим коефіцієнтом тертя, що отримали назву антифрикційних.

Однак існує ряд найважливіших вузлів машин, робота яких неможлива без тертя – це гальма, фрикційні муфти, ремінні передачі. У цих пристроях робочі поверхні деталей облицьовують спеціально створеними матеріалами, званими фрикційними, які мають високий коефіцієнт тертя.

Умовно прийнято називати матеріали з коефіцієнтом тертя $f > 0,2$ – фрикційними, а з $f < 0,2$ – антифрикційними.

Як фрикційні, так і антифрикційні матеріали повинні бути зносостійкими і міцними, забезпечувати надійність і довговічність машин в межах проектного терміну служби.

Антифрикційні матеріали, так само як і фрикційні, відрізняються за своїми властивостями, в залежності від їх призначення. Найбільш численною групою є матеріали, призначені для підшипників ковзання.

У підшипниках ковзання при нормальній роботі часто присутня рідина або мастило, яке надійно оберігає поверхню тертя від

утворення металевих зв'язків. Однак в пусковому режимі, коли ще не встиг утворитися масляний клин, поверхні розділяються тонким шаром мастила. При перевантаженні, що має місце при форсованих режимах, плівка мастила сильно стоншується, в зв'язку з чим, може легко виникнути схоплювання поверхонь і подальше заїдання їх. Застосування низкоплавких металів оберігає від цього.

У ряді випадків застосування рідких і консистентних мастил виявляється неефективним або взагалі неможливим. Наприклад, робота вузлів тертя у відновлювальних середовищах (в рідкому водні) виключає утворення на поверхні тертя окисної плівки, яка перешкоджає схоплюванню деталей, що труться.

Спільна присутність мастил та інших органічних речовин з рідким киснем і сильними окислювачами взагалі виключається, тому що призводить до займання. Наявність навіть незначних кількостей мастила неприпустима в кінопроекційній, звукозаписній апаратурі, а також в механізмах контролю, управління і т.п. Це призводить до необхідності застосування матеріалів, що забезпечують роботу вузлів тертя без рідини або мастила.

Тривалий час основними матеріалами для підшипників ковзання були білі метали: сплави на основі олова і свинцю, сплави кадмію, м'які сплави алюмінію, сплави міді та свинцю. Плівки оксидів, що виникають на поверхні міді і бронзи, є вельми хорошим мастилом. Цим пояснюється широке застосування міді в якості антифрикційних матеріалів.

Захисну плівку, що грає роль мастила, можна створити, домішуючи до сплавів графітові порошки, дисульфід молібдену та інші тверді мастильні матеріали.

При високій точності виготовлення вузлів можна використовувати жорсткі підшипникові матеріали, що різко підвищує їх зносостійкість.

Поліпшення умов змащення і створення гідростатичного тиску в мастильній системі, що забезпечує спливання вала при пуску двигуна, дозволяє безпечно застосовувати тверді, зокрема хромовані підшипники.

2.3 Вимоги, які пред'являються до матеріалів

Вимоги, що впливають з технології їх обробки і тривалої експлуатації:

- здатність матеріалів легко піддаватися механічній обробці, проста технологія їх отримання, відсутність в їх складі дорогих компонентів;
- стабільне значення коефіцієнтів тертя;
- здатність матеріалів до швидкого припрацювання, низький знос, рівномірний розподіл його за номінальною площею контакту;
- корозійна стійкість, теплостійкість, хороша теплопровідність, теплоємність, низький коефіцієнт теплового розширення;
- продукти зносу не повинні бути абразивними, токсичними і небезпечними в пожежному відношенні.

Крім того, антифрикційні матеріали мають бути міцними, забезпечуючи переважно пружний контакт, зберігати працездатність вузла при ненадійному мастилi. У ряді випадків, коли через контакт пропускаються великі струми (наприклад, в роликкових машинах контактного зварювання $I_{\max} = 100$ кА), матеріали повинні мати низький електроопір. Вони не повинні в ході зберігання і експлуатації зазнавати фазові перетворення, що призводять до зміни фізико-механічних властивостей.

Щоб уникнути виникнення холодного зварювання під час тривалих зупинок і при порушенні захисного прошарку ці матеріали не повинні мати хімічної спорідненості з контртілом.

Основною властивістю антифрикційної пари тертя є наявність позитивного градієнта механічних властивостей по глибині в поєднанні з пружною деформацією. При пластичній деформації – здатність до багаторазового передеформування, що не призводить до окрихчування матеріалу.

Забезпечення позитивного градієнта механічних властивостей створюється рідкими консистентними і твердими мастилами. Однак за їх відсутності позитивний градієнт повинен створюватися поверхневим шаром самого антифрикційного матеріалу.

Для цього існує кілька шляхів:

- матеріал утворює оксидну плівку більш пластичну, ніж основа;

- матеріал виділяє один або кілька своїх компонентів, які створюють пластичну і легкоплавку плівку;
- на поверхню матеріалу наносять покриття з міцної і легкоплавної речовини: металу, пластмаси, твердого змащення (дисульфід, диселеніум, графіт і ін.).

2.4 Застосовувані підшипникові сплави

На двигунах внутрішнього згорання в колишньому СРСР для вкладишів підшипників колінчастого вала крім баббіта використовували алюмінієво-олов'яний сплав АО20-1, що містить 20% олова. Особливості роботи таких підшипників визначаються процесами сумісності сплавів в умовах сухого і змішаного тертя.

Сплав АО20-1 відноситься до групи матеріалів, в яких м'яка фаза присутня всередині композиції і вичавлюється на поверхні, що труться в результаті пластичної деформації металу. Жорсткість тертя призводить до утворення суцільної плівки олова, а при змішаному режимі тертя м'яка фаза розмазується по поверхні у вигляді «хвостів комет» (рис. 2.5). Реакція на вижимання м'якої фази при наявності граничного змащення, а особливо в разі металевого контактування, протікає дуже інтенсивно, що встановлено випробуваннями в умовах використання радіоактивних ізотопів олова (Sn113). Цим пояснюються хороші захисні властивості створеної плівки олова, які виявлені при визначенні реакції сплавів на посилення режимів тертя під час випробувань. Наявність м'якої фази всередині композиції забезпечує постійну структурну самоорганізацію, що супроводжується утворенням захисної плівки (третього тіла), і більш тривалу роботу підшипників.

Підшипники зі свинцюватої бронзи для потужних дизелів тепловозів 2ТЕ116 (дизель 5Д49) не забезпечують надійного захисту колінчастих валів від пошкоджень. На Вороніжському тепловозоремонтному заводі (ВТРЗ) за період з 1997 по 2002 р. р. отримані статистичні дані, які свідчать про те, що число пошкоджених колінчастих валів, які працювали з підшипниками з свинцюватої бронзи, в 4,3 рази більше, ніж зі сплавом АО20-1.

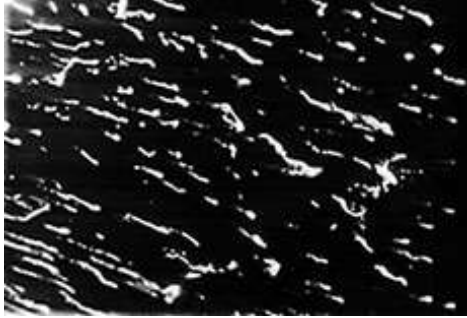


Рисунок 2.5 – Розподіл олова на поверхні тертя в характеристичному випромінюванні олова

Застосування вкладишів зі сплавом АО20-1 має значні переваги і дуже вигідно в економічному відношенні, оскільки технологія їх виробництва забезпечує більш низьку вартість вкладишів, ніж при використанні свинцюватої бронзи. Однак сплав АО20-1 має і недолік – більш жорсткі вимоги до точності складання і виготовлення вузлів, що труться, порушення яких іноді призводить до виходу з ладу вкладишів під час обкатних випробувань.

У зв'язку з цим, а також через необхідність збільшення втомної міцності велися роботи по створенню нових сплавів на алюмінієвій основі, які не мають зазначених недоліків.

В даний час намітилося кілька напрямків у створенні зносостійких алюмінієвих сплавів без істотної зміни технології їх виробництва. В першу чергу – це додаткове легування алюмінієвої матриці, створення включень твердих фаз певної величини і властивостей. Перевагу слід віддати способу підвищення міцності сплавів введенням в алюміній легуючих добавок, оскільки він не вимагає створення складного оснащення та ускладнення технології.

Введення легуючих добавок переслідує в основному три мети:

а) створення твердих фаз, які знижують знос матеріалу і покращують мікрогідродинаміку поверхонь. В якості таких включень використовуються хімічні сполуки $FeAl$, AlN , $CuAl$, $MgSi$, Si та ін.; матрицею сплаву є алюмінієвий твердий розчин. Хімічні та фізичні властивості алюмінідів та інших інтерметалічних сполук, їх кількість, форма і розподіл в алюмінієвій основі впливають не тільки на процес тертя, але і на статичну і динамічну міцність підшипника;

б) зміна властивостей алюмінієвої матриці. Легуючі елементи,

розчинені в алюмінії в значних кількостях (*Mg, Ag, Cu, Zn*), служать для підвищення міцності сплаву і його здатності витримувати навантаження. Іноді, наприклад в разі присадки міді, додаткове зміцнення досягається в результаті твердіння;

в) легування м'яких складових сплавів, що забезпечує більш активне перенесення плівок м'якої фази при посиленні режимів тертя.

Проведені дослідження з урахуванням зарубіжного та вітчизняного досвіду дозволили вибрати в якості основного сплав, який містить 10% олова і 2% свинцю. При цьому не потрібно вводити істотні корективи в технологію виготовлення підшипників.

Досвідчені сплави системи *Al-Sn-Pb*, що містять 10% олова і 2% свинцю, були додатково леговані кремнієм, міддю, цинком. Легуючі елементи вводили для зміцнення сплаву, підвищення втомних характеристик, зменшення гарячеламкості, поліпшення ливарних і корозійних властивостей. Щоб вибрати оптимальний склад сплаву, вивчали зміни в структурі матеріалу при різному вмісті легуючих елементів.

Найбільший внесок в зміцнення сплаву вносить кремній, який утворює з алюмінієм евтектики. Розчинність кремнію в алюмінії при евтектичній температурі (577°C) становить 1,65%, а при кімнатній – 0,05%. Якщо вміст кремнію в сплаві вище 0,05%, в структурі алюмінію відбувається виділення крихкого твердого розчину кремнію з алюмінієм (98% *Si*) у вигляді голкоподібних кристалів, які, розташовуючись по межах зерен алюмінію, різко зменшують пластичність сплаву і його тріщиностійкість. Хоча в дослідному сплаві твердий розчин перенасичений і містить 0,2% – 0,6% кремнію, виділення кремнію по межах зерен не мали різко вираженої голчастої будови. Це можна пояснити впливом на їх утворення міді і цинку. Включення кремнію призводять до зрізу вогнищ схоплювання, що утворюються і передують виникненню задиру.

Мідь, що входить в твердий розчин з алюмінієм (в дослідному сплаві містилося 0,4% – 0,6% міді), через нерівноважну кристалізацію викликає виділення фази *CuAl₂*.

Сприятливий вплив цинку полягає в тому, що він одночасно зміцнює тверду алюмінієву матрицю (в неї входить 0,20% – 0,25% цинку) і твердий розчин олова (0,6% – 0,9% цинку). Останнє особливо важливо, тому що вважається, що висока працездатність антифрикційного матеріалу досягається при певному співвідношенні

міцностей матриці і м'яких структурних складових. Оскільки в даному сплаві в порівнянні з АО20-1 матриця додатково зміцнена кремнієм, міддю і цинком і, крім того, в ній присутні тверді фази $CuAl_2$ і Si , то зміцнення м'якої структурної складової цинком забезпечує необхідне співвідношення міцностей матриці і цієї складової.

Введення в сплав свинцю сприяє утворенню в структурі двох легкоплавких і м'яких фаз. Перша містить в основі олова 0,2% – 0,3% алюмінію і до 0,1% кремнію; її температура плавлення становить 214° С. Друга фаза, яка містить 83% – 84% свинцю, 14% – 16% олова і до 1% цинку, має температуру плавлення 170° С. Така початкова структура дозволяє сплаву легко пристосовуватися до зміни умов роботи.

При рідинному терті дрібні включення твердих фаз сприймають навантаження і створюють вигідний мікрорельєф для утримання мастила і створення необхідного масляного шару. Наявність свинцю різко зменшує коефіцієнт тертя всієї системи.

2.5 Результати випробувань сплаву АО10С2

В результаті проведених Н. А. Буше з колективом досліджень був в запропонований досвідний сплав, до складу якого входить 10% олова, 2% свинцю, 0,8% кремнію, 0,3% цинку, 0,02% титану, алюміній – все інше.

Визначення антифрикційних властивостей (задиристійкість, зносостійкість, температура переходу в режим граничного тертя) сплавів АО20-1 і АО10С2 проводили на машині СМЦ-2 за схемою «ролик–колодка» за різними методиками. Ролик діаметром 40 мм, виконаний зі сталі 45 (твердість НВ 198, шорсткість 0,25 мкм), колодка розміром 10 мм × 10 мм – з досліджуваного сплаву. Отримані дані представлені в таблиці 2.2.

Випробуваннями встановлено, що час до виникнення задира у сплаві АО10С2 в 5 разів більше, ніж у АО20-1, знос зразків при терті без змащення приблизно однаковий, а критична температура переходу в режим змішаного тертя на 20° С вище, т. я. сплав АО10С2 має комплекс більш високих антифрикційних характеристик.

Таблиця 2.2 – Антифрикційні властивості сплавів

Матеріал	Час до виникнення задира, хв	Лінійний знос при сухому терті, мм	Критична температура переходу в режим змішаного тертя, °С
АО20-1	38	0,20	160
АО10С2	180	0,20	180

Стендові випробування для визначення втомної міцності і протизадирних властивостей були проведені на Заволзькому моторному заводі. Втомну міцність вкладишів оцінювали за середнім питомим навантаженням, при якому площа втомного руйнування антифрикційного шару становить 15%. В результаті декількох серій випробувань було встановлено, що втомна міцність досліджуваних вкладишів зі сплавом АО10С2 не нижче 62,5 МПа, а для серійних вкладишів зі сплавом АО20-1, вона склала 45 МПа.

Задиростійкість визначали, збільшуючи навантаження до рівня, при якому виникало заїдання. Середнє навантаження для серійних вкладишів зі сплавом АО20-1 склало 12,9 кН, а для досліджуваних з антифрикційним сплавом АО10С2 вона дорівнювала 17,5 кН, тобто була на 35% вище.

За даними стендових тестів з втомленості, проведених на Тамбовському заводі підшипників ковзання (ТЗПК), при середньому питомому навантаженні 75 МПа втомні викришування робочого шару відбулися через 115 ч на досліджуваних вкладишах і через 87 год – на серійних зі сплавом АО6-1-1. За даними Мінського моторного заводу, втомна міцність вкладишів, виготовлених на ТЗПК, склала 53 МПа для сплаву АО10С2, 35 МПа для АО6-1-1 і 30 МПа для АО20-1.

На підставі результатів заводських випробувань і даних по експлуатації досліджуваних двигунів Мінський моторний завод повністю перейшов на використання підшипників з новим сплавом для промислової серії двигунів.

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Назвіть класифікацію сплавів на основі алюмінію.
2. Охарактеризуйте сплави на основі алюмінію.
3. Перелічте переваги і недоліки алюмінієвих сплавів.
4. Назвіть області застосування алюмінієвих сплавів.
5. Назвіть антифрикційні та інші властивості алюмінієвих сплавів.
6. Перелічте фази в алюмінієвих сплавах.
7. Назвіть фазові перетворення при нагріванні й охолодженні.
8. Сформулюйте принципи легування.
9. Назвіть особливості термічної обробки алюмінієвих сплавів.
10. Охарактеризуйте ливарні алюмінієві сплави.
11. Охарактеризуйте сплави, що деформуються і не зміцнюються термообробкою. Перелічте їх промислові марки.

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Зразки із сплавів на основі алюмінію.
2. Верстат для полірування зразків.
3. Прилади для визначення твердості за Брінеллем.
4. Прилад для визначення мікротвердості матеріалів ПМТ-3.
5. Оптичний мікроскоп NU-2.
6. Комп'ютер, набір цифрових фотографій структур сплавів.
7. Прилад для визначення коефіцієнту тертя ковзання ТММ32А.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Верстати і прилади, які використовуються при виконанні даної роботи підключаються до мережі змінного струму напругою 380 В і 220 В. Тому існує небезпека ураження електричним струмом, а також травмування зразком при його поліруванні або шліфуванні. Для попередження нещасних випадків, а також пошкодження приладів і обладнання, необхідно виконувати певні вимоги безпеки:

- 1) приступати до роботи після інструктажу з техніки безпеки у керівника роботи і засвоєння матеріалу даних методичних вказівок;
- 2) включати прилади тільки за вказівкою викладача або лаборанта;
- 3) виконувати тільки роботу, передбачену завданням;
- 4) переконатися в надійності заземлення верстата, електроізоляції кабелю і проводів;
- 5) виявляти особливу уважність і акуратність при роботі;
- 6) не торкатися рухомих і струмоведучих частин обладнання;
- 7) працювати на верстаті із застебнутими манжетами рукавів;
- 8) повідомляти викладачеві або лаборанту про виниклі несправності обладнання, не намагатися усунути їх самостійно;
- 9) виконувати роботу при наявності в лабораторії не менше двох осіб;
- 10) після закінчення роботи вимкнути обладнання і привести в порядок робоче місце.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Підготувати 2–3 зразки шліфів для металографічного аналізу та визначення мікротвердості поверхні.
2. Заміряти твердість та мікротвердість зразків.
3. З використанням мікроскопу та шляхом аналізу комп'ютерних зображень зробити опис структури.
4. Визначити розміри і, орієнтовно, кількість карбідів.

5. Вивчити конструкцію приладу для визначення коефіцієнту тертя ковзання ТММ32А та методика випробувань.
6. Визначити силу тертя при ковзанні чавунного та сталюого зразків.
7. Розрахувати коефіцієнти тертя цих матеріалів.
8. Скласти звіт.

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Найменування і мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Хімічний склад досліджених алюмінієвих сплавів.
4. Методика випробувань.
5. Таблиця результатів досліджень.
6. Аналіз результатів.
7. Висновки.

8 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник, 3-е издание. – М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.
2. Технология материалов: под ред. Б.В. Кнозорова. – М.: Металлургия, 1979. - 962 с.
3. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для вузов, 6-е издание. – М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
4. Технология металлов и материаловедение: под ред. Л.Ф. Усовой. – М.: Металлургия, 1987. - 800 с.
5. Разработка нового алюминиевого сплава для биметаллических подшипников / Н. А. Буше, А. В. Зайчиков, Т. Ф. Маркова, А. Е. Миронов. — В сб.: Новые технологии управления движения технических объектов / Материалы 2-й международной науч.-техн. конференции. Т. 2. Новочеркасск: 1999. - С. 114 – 118.

6. Новый алюминиевый сплав для биметаллических подшипников / Н. А. Буше, А. В. Зайчиков, Т. Ф. Маркова, А.Е. Миронов. — В сб.: Состояние и перспективы развития дорожного комплекса. Вып. 2. Брянск: 2001. - С. 62 – 63.