


Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
до дипломної роботи бакалавра

Галузь знань 13 – Механічна інженерія  
Спеціальність - 132 – Матеріалознавство  
Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський  
Освітньо-професійна програма - Матеріалознавство

**«Розробка технологічного процесу зміцнення  
втулок шатуна ГРМ»**

Шифр: ДРМТВАТАМ 20181 ПЗ

Виконав студент 4 курсу, група МТВА 20-1  Олександр САВЧУК

Керівник роботи к.т.н.  Ольга ДРОБОТ

До захисту допускаю:

Зав.кафедри ТАМ  Олександр ДИХА

10 06 2024 р.

Хмельницький, 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Галузь знань 13 - Механічна інженерія

Спеціальність - 132 – Матеріалознавство

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Освітньо-професійна програма «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

" 10 " 02 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Савчуку Олександрову Володимировичу

Прізвище, ім'я по батькові

1. Тема проєкту (роботи)

**«Розробка технологічного процесу зміцнення втулок шатуна ГРМ».**

керівник проєкту (роботи) Дробот Ольга Савівна, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 15 лютого 2024р. № 8

2. Строк подання студентом проєкту на кафедру: 11 червня 2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи): Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно-технологічна документація по регулюванню вузла тертя; технічні вимоги до втулок шатуна ГРМ.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз конструкції та умов експлуатації втулок в якості підшипників ковзання. 2. Описати технологічне і лабораторне устаткування для виготовлення та зміцнення втулок шатуна. 3. Запропонувати матеріал та розробити технологічний процес одержання та зміцнення втулок. 4. Дослідити структуру та властивості втулок.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

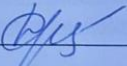
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Срок виконання етапів проекту (роботи)	Прим.
1	Огляд літературних джерел	10.05.2024	
2	Технологічна частина	20.05.2024	
3	Експериментальна частина	30.05.2024	
4	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	05.06.2024	
5	Оформлення презентаційних матеріалів	06.06.2024	
6	Нормоконтроль бакалаврської роботи	10.06.2024	
7	Підписання розділів . Затвердження дати захисту	11.06.2024	

Студент

  
Підпис

Олександр Савчук

Керівник проекту (роботи)

  
Підпис

Ольга Дробот

ЗМІСТ	
ВСТУП.....	.....
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ.....	8
1.1. Призначення та види втулок.....	8
РОЗДІЛ 2. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	.....
2.1. Характеристика матеріалів для втулок.....	11
2.1.1. Матеріали антифрикційного призначення.....	12
2.1.2. Характеристика бронз.....	12
2.1.3. Термічна обробка бронз.....	19
2.1.4. Антифрикційні латуні.....	19
2.1.5. Антифрикційні сталі.....	21
2.1.6. Антифрикційні чавуни.....	21
2.1.7. Сплави на основі алюмінію.....	22
2.1.8. Сплави на основі цинку.....	23
2.1.9. Полімерні та композитні матеріали.....	24
2.2. Способи виготовлення втулок.....	25
2.2.1. Пресування втулок.....	25
2.2.2. Одержання заготовок відцентровим литтям.....	29
2.2.3. Лиття під тиском.....	31
2.2.4. Лиття в кокіль.....	34
2.2.5. Дефекти лиття.....	37
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА. ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	.....
3.1. Вибір матеріалу деталі «втулка».....	42

<b>ДРБМТВАТАМ 24.20181.000 ПЗ</b>				
Змін	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.
Розроб.	Савчук		<i>[Signature]</i>	
Перевір.	Дробот		<i>[Signature]</i>	
Реценз.				
Н. Контр.	Бабак		<i>[Signature]</i>	
Затверд.	Диха		<i>[Signature]</i>	
Розробка технологічного процесу зміцнення втулок шатуна ГРМ			Літ.	Арк.
				4
ХНУ група МТВА 20-1				

3.1.1. Аналіз складу вибраного сплаву.....	4.3
3.1.2. Термічна обробка втулок.....	4.8
3.2. Методи досліджень. Обладнання та прилади.....	4.9
3.2.1. Хімічний аналіз складу виливка.....	5.0
3.2.2. Металографічний аналіз.....	5.1
3.2.3. Випробування на твердість.....	5.2
3.3. Результати досліджень.....	5.5
3.3.1. Дослідження структури бронзи.....	5.5
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ	
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	5.8
4.1. Технологія одержання втулки кришки верхньої головки шатуна.....	5.8
4.1.2. Одержання ливарного сплаву.....	5.9
4.1.3. Одержання ливарного сплаву.....	6.0
4.1.3. Плавлення мідних сплавів.....	6.1
4.1.4. Одержання виливка.....	6.2
4.1.5. Одержання заготовки пресуванням з виливка.....	6.4
4.1.6. Механічна обробка.....	6.5
4.2. Ремонт втулок.....	6.9
4.3. Ремонт шатуна.....	7.0
ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	7.2
ЛІТЕРАТУРА.....	7.3
ДОДАТКИ.....	7.6

## ВСТУП

Кривошипно-шатунний механізм (КШМ) перетворює поворотно-поступальний рух поршня в обертальний рух колінчастого валу.

Відповідальною ланкою КШМ є група шатуна. До шатунної групи входять шатун, втулки, вкладиші, болти (або шпильки) з гайками, елементи кріплення вкладишів і елементи шплінтування гайок. КШМ є основним робочим механізмом поршневого двигуна внутрішнього згоряння. Деталі КШМ беруть безпосередню участь у робочому процесі двигуна, знаходяться під дією механічних та теплових навантажень. Основне призначення шатуна – передавати зусилля тиску газів від поршня на колінчатий вал.

Шатун під час роботи здійснює складний, схожий на гойдалку, рух та піддається значним навантаженням від дії тиску газів і сил інерції.

Ускладнює умови роботи шатуна змінний характер величини та напрямку діючих навантажень. Внаслідок дії на шатун сил, в ньому виникають складні деформації стискання, розтягу, вигину поперечного і подовжнього.

Верхня головка шатуна, яка охоплює поршковий палець, переважно не рознімна, циліндричної форми. Вона працює на розтяг від сил інерції поступально - рухомих мас і на знос від тертя об поршковий палець. Для зменшення тертя у верхню головку шатуна запресовують бронзову втулку чи вставляють сталеві вкладиші з тонким шаром антифрикційного матеріалу, який виконує роль підшипника. Від провертання втулку стопорять штифтами. Верхньою головкою шатун кріпиться до поршня через поршковий палець. А нижньою – кріпиться до шатунної шийки колінчастого валу. Довжина верхньої головки підбирається такою, щоб питомий тиск на поршковий палець був в межах  $400-500 \text{ кг/см}^2$ , а товщина її забезпечувала напруження на розрив не більше  $600 - 700 \text{ кг/см}^2$ .

Масло для змащування підшипника верхньої головки шатуна надходить від шатунної шийки колінчастого валу по каналу в стрижні шатуна або закидається під час обертання вала. Однак ударні навантаження, які діють на шатун, швидко виводять з ладу такий підшипник кочення.

Елементи шатунної групи (рис 1.1).

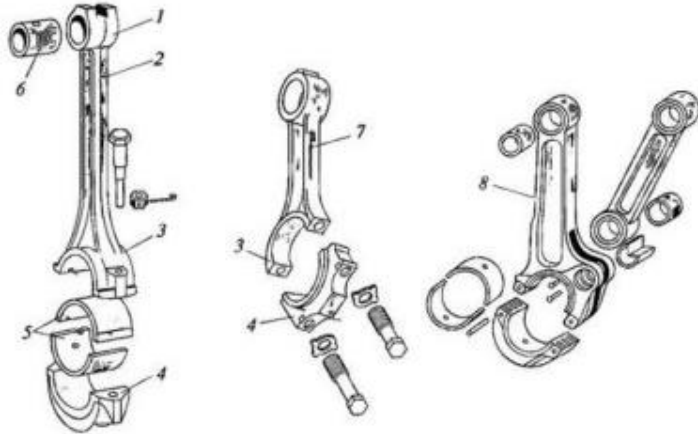


Рисунок 1.1 – Деталі шатунної групи: 1- верхня головка шатуна; 2 – стержень; нижня головка шатуна; 4 – кришка нижньої головки ; 5 – вкладні; 6 – втулка; 7 – шатун дизеля; 8 – основа шатунного вузла.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ «ВТУЛКА ШАТУНА»

### 1.1. Призначення та види втулок

Значна кількість вузлів має з'єднання, в яких одним із елементів механізму є втулка. Втулка має циліндричну чи конічну форму з отвором всередині, де розміщується спряжена деталь. Втулки за призначенням можна поділити на:

фланцеві; втулки ковзання, циліндричні; різьбові втулки / втулки з внутрішнім різьбленням; перехідні втулки; втулки підшипників (так звані підшипникові втулки); кріпильні втулки; втулки стабілізатора; втулки під фланець; втулки рульової рейки; втулки амортизатора; втулки планетарні; втулки розрізні.

Втулки застосовують при складанні значної кількості механічних виробів з метою зменшення тертя. Втулка розміщується між двома рухомими елементами, захищає їх від зносу (рис.1.2).

Втулка – дуже відповідальна деталь шатунно-поршневої групи.



Рис.1.2. – Втулка шатуна двигуна PERKINS

Втулка шатуна забезпечує з'єднання поршня з шийкою колінчастого валу. Вона призначена для закріплення рухомих частин механізмів, а також для зменшення тертя між цими частинами. Завдяки втулці між пальцем і шатуном буде надійний контакт. Від втулки безпосередньо залежить працездатність та правильна робота всього вузла кріплення. Втулки в системах кріплення завжди зазнають значних навантажень, які сприяють її зносу чи руйнуванню [1].

Втулки використовують для відновлення зношеного шатуна, збільшення його до потрібного розміру.

Основні елементи шатуна:

шатун, втулка, шатунні болти, кришка шатуна.

Ці деталі забезпечують шарнірний зв'язок поршня, який здійснює поступальні рухи, з колінчастим валом, який здійснює обертовий рух. Шатун здійснює комплексний рух. Верхній його кінець, який охоплює

палець, здійснює лінійне переміщення, нижній кінець, який охоплює шийку колінчастого валу, здійснює обертові рухи. Інші частини шатуна беруть участь одночасно в обох видах руху, рухаються по еліптичним траєкторіям. На шатун діють розтягуючі сили інерції рухомого поршня; стискаючі сили від дії газів на поршень і згинальні сили інерції шатуна в площині гойдання. Такі умови роботи шатуна створюють значний вплив змінних зусиль.

Верхня головка шатуна – не рознімна. Для зменшення тертя внутрішньої частини верхньої головки (шатуна з поршневим пальцем) у верхню головку запресовують втулку (рис 1.3).



Рисунок 1.3 - Шатун

Втулки виконують розрізними для полегшення монтажу. Втулка має отвори для подачі масла на палець.

Стержень шатуна має двотавровий переріз і переходить у нижню та верхню головку. Така конструкція забезпечує потрібну міцність, жорсткість та мінімальну масу.

Нижня головка рознімна, вона охоплює шатунну шийку колінчастого валу. Між нижньою головкою шатуна і колінчастим валом встановлюється підшипник. Такі підшипники виготовляють з тонкостінних сталевих вкладишів, поверхня яких вкрита тонким шаром антифрикційного матеріалу. Втулка шатуна забезпечує плавне обертання шатуна в двигуні. Пошкодження втулки може призвести до порушення роботи двигуна – знижується

потужність двигуна, підвищуються витрати палива, ускладнюється обертання двигуна.

Шатуни піддають ремонту внаслідок виникнення таких дефектів: зносу втулок верхніх і вкладишів нижніх головок, жолоблення поверхні п'яти (порожнини з'єднання нижньої головки шатуна) тощо. Шатуни найчастіше мають такі дефекти: спрацювання внутрішньої поверхні верхньої та нижньої головок, опорних поверхонь під головки болтів; відхилення від паралельності поверхні нижньої і верхньої головок (скручування); перекис осей в одній площині (згин), який перевищує допустиме.

Причини пошкоджень втулки – знос отвору втулки верхньої головки і отвору під втулку внаслідок тривалого часу експлуатації чи виникнення аварійних ситуацій, зміна геометрії чи розмірів (виникає еліпсоїдність, або збільшується розмір).

Для забезпечення тривалої і надійної експлуатації поршневих втулок потрібно використовувати якісне мастило та подавати його вчасно. Це сприятиме зменшенню забруднення мастила та сприятиме меншому зносу втулок. Знос втулки не вимагає заміни шатуна, а тільки втулки.

## РОЗДІЛ 2. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 2.1. Характеристика матеріалів для втулок

Втулки шатунів виготовляють з різних матеріалів. Це можуть бути сталі, чавуни, бронзи, латуні, композитні матеріали.

Бронзи використовують для виготовлення втулок ковзання. Латуні – для виготовлення сполучних деталей. Майже всі види втулок виготовляють із сталей. Спеціальні сплави використовують для втулок, що працюють при підвищених навантаженнях. Для роботи з незначними навантаженнями деталі рекомендується виготовляти з пластмас [3].

Основна вимога до матеріалу – високі антифрикційні властивості, які вимагають малих втрат енергії на тертя, що забезпечується низьким коефіцієнтом тертя ковзання контактуючих поверхонь, при високій твердості контактуючої поверхні та невисокій твердості самого антифрикційного матеріалу. Невисока твердість антифрикційного матеріалу потрібна для швидкого припрацювання та зменшення зносу деталей, які обертаються. Швидке припрацювання забезпечує збільшення реальної площі контакту на початковому етапі роботи пари тертя [4].

Антифрикційні матеріали повинні володіти малою здатністю до схоплювання з матеріалом спряженої деталі. Високою контактною витривалістю для недопущення викрихчування поверхні сплаву, висока теплопровідність для відводу тепла, яке виділяється у вузлі тертя; висока корозійна стійкість, досить прийнятні технологічні властивості.

Металеві антифрикційні матеріали за структурою поділяють на дві групи:

- Матеріали з м'якою основою і твердими включеннями
- Матеріали з твердою основою та м'якими включеннями.

В якості металевих антифрикційних матеріалів використовують сталі, алюмінієві сплави, сплави на основі міді, композитні матеріали.

### 2.1.1. Матеріали антифрикційного призначення

Підшипники ковзання переважно виготовляють з антифрикційних матеріалів на мідній, цинковій, алюмінієвій та олов'яно - свинцевій основах. Інколи використовують антифрикційні чавуни з графітними включеннями.

На поверхні антифрикційного матеріалу мають утворюватись мікрокапіляри, які забезпечують легкий доступ мастила до поверхонь тертя.

Антифрикційний сплав повинен мати досить високу теплопровідність.

Забезпечення висунутих вимог можливе за умов створення особливої структури, яка має складатись з твердих включень, розміщених в м'якій основі. Під час припрацювання м'яка складова зношується, утворюючи рель'єф, по якому мастило може надходити до поверхонь тертя. Знос м'якої основи забезпечує хороше припрацювання, без суттєвого зносу спряженої поверхні. Тверді часточки, які виступають над поверхнею, і на які опирається деталь, що обертається, дозволяють отримати низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість антифрикційного сплаву.

### 2.1.2. Характеристика бронз

Антифрикційні бронзи – це переважно олов'яні та свинцеві бронзи, які за своєю будовою задовольняють визначеним вимогам.

Кращими є олов'яні бронзи, які легують свинцем, нікелем, фосфором, цинком, залізом.

Бронзові втулки використовують для захисту від зносу важливих вузлів різних механізмів. В значній мірі вони продовжують строк експлуатації деталей та вузлів, зменшують ризик виникнення аварійних ситуацій, підвищують надійність та працездатність машин і механізмів [6].

З діаграми мідь – олово видно, що між лініями ліквідус і солідус є досить великий температурний проміжок, який свідчить про здатність таких сплавів під час кристалізації до значної ліквідації (рис. 2.1). Причиною такого явища є низька швидкість дифузійних процесів. Такі сплави мають низьку рідкотекучість, а після кристалізації утворюється значна розсіяна пористість. Виливки з бронз мають високу пористість. Пори розподілені по всьому об'єму, вони виконують роль маслоутримуючих ємностей, завдяки чому бронзи мають високі антифрикційні властивості.

Внаслідок схильності олов'яних бронз до нерівноважної кристалізації, за звичайних умов охолодження область  $\alpha$  – твердого розчину звужується і в

сплавах, які містять 5 - 6 % олова в структурі з'являється  $(\alpha+\delta)$  – евтектоїд, де  $\delta$ -фаза є твердою, крихкою електронною сполукою  $\text{Cu}_{21}\text{Sn}_8$ . З появою  $\delta$ -фази знижується пластичність і в'язкість олов'яних бронз.

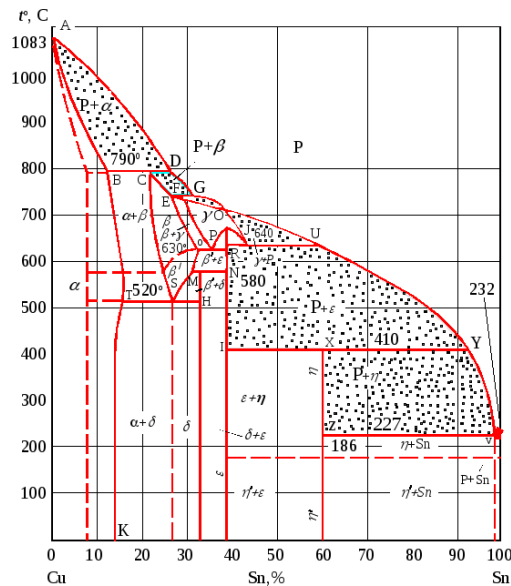


Рисунок 2.1 – Діаграма стану мідь-олово

Структура олов'яних бронз внаслідок утворення твердого евтектоїда забезпечує високу стійкість проти зносу, а м'які часточки полегшують припрацювання і утворюють на поверхні дрібні канали, по яким може надходити мастильна рідина. Бронзи з вмістом 9 -10% Sn є одним із кращих антифрикційних матеріалів, з яких виготовляють підшипники ковзання (втулки шатуна). Олов'яні бронзи дорогі і мають понижені ливарні властивості. Для покращення властивостей олов'яні бронзи легують цинком, свинцем, нікелем, фосфором. В олов'яній бронзі БрОФ10-1 твердими часточками є включення  $\delta$  - фази, а м'якою основою –  $\alpha$  – твердий розчин (рис. 2.2 )



Рисунок 2.2 – Структура олов'яної бронзи в литому стані - темні дендрити  $\alpha$ - твердий розчин;  $(\alpha+\delta)$  евтектоїд – світлі ділянки.

Вплив олова на механічні властивості олов'яних бронз показано на рис.2.3

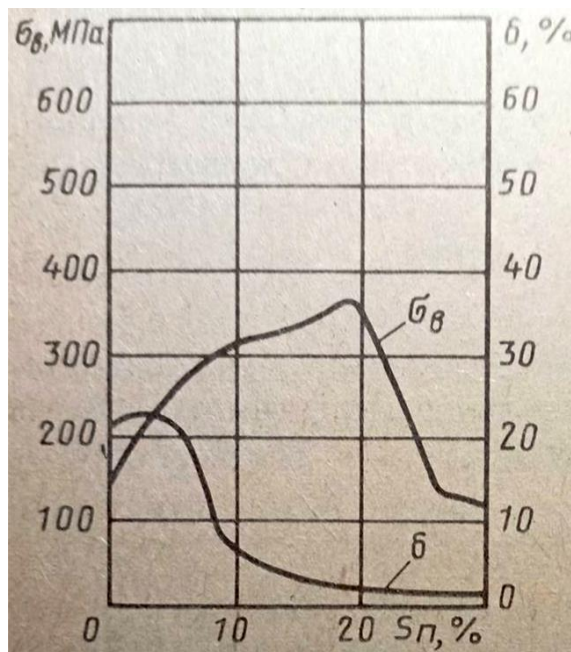


Рисунок 2.3 – Механічні властивості олов'яних бронз

Олово є дефіцитним елементом тому більше уваги приділяють бронзам зі свинцем.

Згідно діаграмі стану мідь – свинець (рис. 2.4) мідь і свинець практично не розчиняються один в одному, а утворюють механічну суміш м'яких зерен свинцю та більш твердих - міді. Структура свинцевистої бронзи БрС30 (рис.2.5) свідчить, що по границям світлих зерен міді розміщуються темні включення свинцю. Невисока твердість «твердої фази» - міді, забезпечує швидке припрацювання, незважаючи на те, що тверді зерна міді є основою сплаву.

Свинцеві бронзи схильні до ліквіації, внаслідок значної різниці питомої ваги міді та свинцю ( для  $\text{Cu}$  -  $8,96 \text{ г/см}^3$ , для  $\text{Pb}$  –  $11,34 \text{ г/см}^3$ ). Легування нікелем (до 2,5%) та прискорене охолодження виливок зменшують ступінь ліквіації та покращують властивості бронзи – БрСН60-2,5.

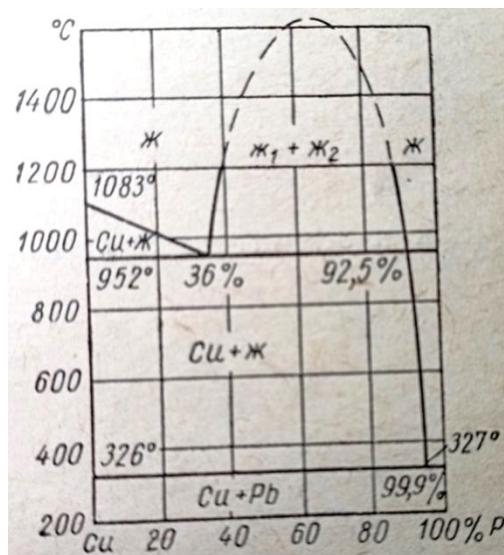


Рисунок 2.4 - Діаграма стану мідь - свинець



Рисунок 2.5 – Структура свинцевої бронзи: світле поле – мідна основа, темні зерна – включення свинцю.

Найкращою структурою БрС.30 є середньозерниста, при якій Рb розподілений в мідній основі у вигляді округлих зерен середньої величини.

До складу свинцевих бронз додають олово, марганець, миш'як, які підвищують механічну міцність, що дозволяє використовувати такі бронзи на заміну олов'яним. Втулки з свинцевої бронзи дозволяють збільшити навантаження до 30 МПа, а окружну швидкість до 30 м/с. Підшипники з такої бронзи мають підвищену твердість, що вимагає від спряженої поверхні також відповідної твердості. Суттєвим недоліком таких бронз є низька корозійна стійкість свинцю, який здатен вимиватися із сплаву при підвищені кислотного числа масла. Властивості антифрикційних бронз представлені в таблиці 2.1- 2.3. [18].

Таблиця 2.1. Властивості олов'яно - свинцевистих бронз

Показник	Марка бронзи		
	БрОС 8 -12	БрОС 5 - 25	Бр С30
Температура плавлення , °С	950	940	975
Твердість, НВ	61	57	28
Ударна в'язкість, Дж//см <sup>2</sup>	12	23	7,8
Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	18	17,6	18,4
Коефіцієнт тертя $\mu$ з мастилом	0,007	0,005	0,009
Коефіцієнт тертя $\mu$ без мастила	0,13	0,14	0,165
Міцність, МПа	205	146	76

Таблиця 2.2. Склад і властивості алюмінієвих бронз [17].

Показник	Марка бронзи		
	БрАЖ 9-4	БрАЖМц 10-3-1,5	БрАЖН 10-4-4
Температура плавлення, °С	1040	1062	1082
Твердість, НВ	144	130	190
Ударна в'язкість, Дж//см <sup>2</sup>	63	63	32
Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	18,1	16	17,1
Коефіцієнт тертя $\mu$ з мастилом	0,004	0,012	0,011
Коефіцієнт тертя $\mu$ без мастила	0,18	0,25	0,2
Теплопровідність, Вт / мК	0,22	0,12	0,23
Міцність, МПа	550	600	650

Таблиця 2.3. Склад і властивості бронз з цинком та фосфором [10].

Показник	Марка бронзи		
	БрОЦС 4-4-2	БрОФ 6,5 – 0,4	Бр ОЦС 4-4-17
Температура плавлення, °С	965	995	965
Твердість, НВ	67	82	62
Ударна в'язкість, Дж//см <sup>2</sup>	2,5	5,5	0,87

Для виготовлення бронзових втулок використовують переважно олов'яні і свинцеві бронзи таких марок – БрОС8-12, Бр ОС5-25, Бр С30, БрО10, БрО10С10, БрО19, БрОЗЦ12С5Л та інші.

Алюмінієві бронзи марок БрА9ЖЗЛ та БрА10ЖЗМц2 - також широко використовують в якості конструкційного та антифрикційного матеріалу. Алюмінієві бронзи мають непогані ливарні властивості, коефіцієнт усадки у них більший, ніж у олов'яних бронз, проте вони не утворюють пористості, внаслідок чого виливки більш щільні. Ливарні властивості алюмінієвих бронз покращують додаванням до їх складу фосфору, заліза, нікелю, марганцю.

Міцність сплавів зростає до 550 – 600 МПа.

Підвищити антифрикційні властивості олов'яних бронз Автори [8] пропонують на стадії кристалізації виливок. Підвищення швидкості охолодження рідкого металу з 10 до 158 °С/с сприяє підвищенню твердості бронзи з 80 до 107 НВ, межа міцності зростає у 1,5 рази (з 181 до 264 МПа). Найменший коефіцієнт тертя (0,02 -0,027) мають зразки, охолоджені зі швидкостями 45 та 158 °С/с.

### 2.1.3. Термічна обробка бронз

З метою зменшення Виливки з бронзи БрОС 8-12 та БрОФ 6,5 - 0,15 з метою зменшення внутрішніх напружень піддають відпалу при температурах 280 - 300°С і 300 - 350°С відповідно. Витримка від 2 до 5 годин в залежності від маси виливка.

### 2.1.4. Антифрикційні латуні

Фахівці вважають, що латунні втулки у порівнянні з бронзовими є більш зносостійкими та міцними і мають підвищені антикорозійні та антифрикційні властивості. Алюмінієві латуні такі, як ЛАЖ 60 -1-1, ЛЦ40С, ЛС59-1Л, використовують в якості заміників олов'янистих бронз і застосовують для

виготовлення корозійностійких деталей в суднобудуванні, масивних черв'ячних гвинтів, запірної арматури, втулок і підшипників.

В якості антифрикційних використовують кременисті, марганцевисті латуні та алюмінієвозалістисті (табл.2.4). Більше десятка марок латуней використовують для виготовлення втулок, підшипників та інших деталей антифрикційного призначення. Легуючі елементи, що входять до складу латуней, покращують їх механічні, технологічні та експлуатаційні властивості. Латуні мають невелику лінійну усадку – 1,6 – 1,7%. Алюмінієві латуні є гідним заміником олов'яних бронз: не поступаються за показниками міцності, твердості, жаростійкості, корозійної стійкості, а за технологічними властивостями (такими як рідкотекучість, усадка), навіть перевищують їх.

Нікель – підвищує розчинність цинку в міді, зберігаючи структуру  $\alpha$ -твердого розчину.

Свинець – покращує оброблюваність різанням, знижує коефіцієнт тертя. Структура латуні з свинцем показана на рис. 2.6.

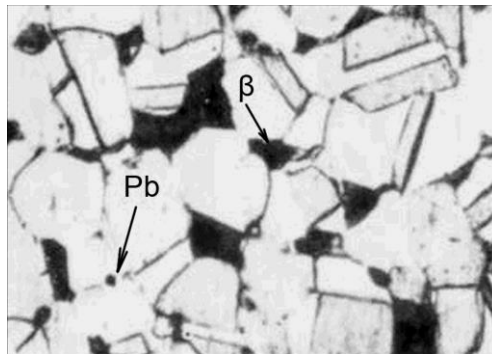


Рисунок 2.6 - Мікроструктура латуні ЛС59-1

Таблиця 2.4. Властивості антифрикційних латуней

Показчик	Марка латуней		
	ЛС59-1	ЛМцЖ52-4-1	ЛКС 80-3-3

Температура плавлення , °С	885	918	909
Твердість, НВ	71	95	93
Ударна в'язкість, Дж//см <sup>2</sup>	75	52	40
Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	20,9	22,7	17
Коефіцієнт тертя $\mu$ з мастилом	0,014	0,05	0,009
Коефіцієнт тертя $\mu$ без мастила	0,18	0,25	0,2
Теплопровідність, Вт / мК	0,46	0,32	0,15
Міцність $\sigma_B$ , МПа	290	50	40

Для зняття напружень у виливках із вищезазначених латуней проводять відпал при температурі 300 - 400°С, витримка 2-3 години, охолодження на повітрі.

Досить поширеним заміником олов'янистих бронз є латунь марки ЛМцС58 -2 -2, яку використовують для одержання втулок, армування вагонних підшипників тощо.

#### 2.1.5. Антифрикційні сталі

Леговані марганцем сталі 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2 , хромомолібденові 30ХМ, 3ХМА, 35ХМ, 38ХМ, хромонікелеві - 40ХН, 45ХН, 30ХН3А, хромонікелеві з бором - 30ХНР, 40ХНР та хромомарганцевистонікелеві з бором 40 ХГНР використовують для втулок антифрикційного призначення. Деталі піддають об'ємному чи поверхневому гартуванню та низькому відпуску. Леговані марганцем сталі 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2 , хромомолібденові - 30ХМ, 3ХМА, 35ХМ, 38ХМ, хромонікелеві - 40ХН, 45ХН, 30ХН3А, хромонікелеві з бором

- 30ХНР, 40ХНР та хромомарганцевистонікелеві з бором— 40 ХГНР. Деталі піддають об'ємному чи поверхневому гартуванню та низькому відпуску.

#### 2.1.6. Антифрикційні чавуни

Антифрикційні чавуни використовують для виготовлення підшипникових та інших ковзаня, втулок та інших деталей, які працюють на знос в х вузлів тертя. Такі чавуни мають головну особливість – здатні до припрацювання при терті по металу. В якості антифрикційних використовують сірі, високоміцні, ковкі, аустенітного класу та мідисті чавуни.

Антифрикційні властивості чавуну визначаються співвідношенням перліту і фериту в металевій основі, а також кількістю та формою графіту [15].

Основні марки антифрикційних чавунів: АЧС-1, АЧС -2 . Такі чавуни працюють в парі з загартованими чи нормалізованими сталями.

Використання чавунів для втулок шатуна останнім часом обмежене.

#### 2.1.7. Сплави на основі алюмінію

Алюмінієві сплави вважають перспективним антифрикційним матеріалом. Антифрикційні сплави на основі алюмінію легують Sn, Cu, Ni, Cd, Si, Fe, Mn, Ti та інші. Поширеним підшипниковим матеріалом є сплав марки АСМ. Сплав містить 0,5 % Mg та 3...5 % Sb. Сплав АСС - 6 – 5 також містить 0,5 % Mg та 3...5 % Sb і 4...5% Pb.

АО20 -1 (17-20% Sn до 1,2 % Cu) мають високі механічні та антифрикційні властивості (табл.2.5; рис 2.7).

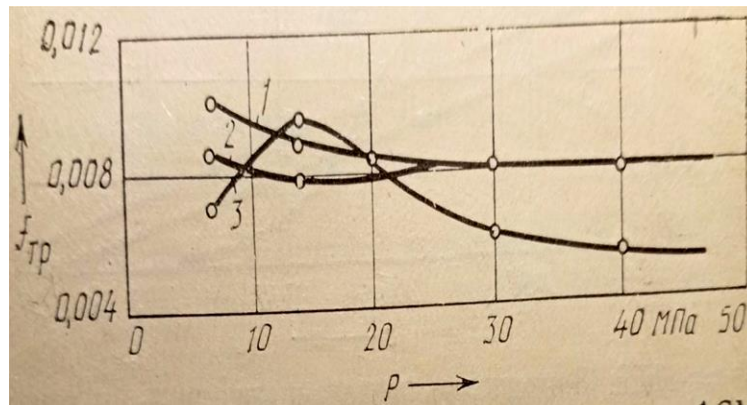


Рисунок 2.7 – Коефіцієнт тертя  $f_{тр}$  для сплавів АСМ (1) та АСС-6-5 (3) в залежності від питомого навантаження

Таблиця 2.5. Механічні властивості алюмінієвих сплавів.

Сплав	Властивості			
	$\sigma_B$ МПа	$\sigma_T$ МПа	$\delta$ %	НВ МН/м <sup>2</sup>
АСМ	84	32	29,4	280
АСС-6,5	81	27	13,9	314
АО20-1	110	-	30	30

Алюмінієві сплави витримують питоме навантаження до 25 МПа при швидкостях ковзання 20 м/с.

За кордоном використовують сплави на основі кадмію: 97 - 98,5 % кадмію, 1,5 % нікелю, магнію, срібла і 0,7 - 1,7 % міді. Властивості таких сплавів мало відрізняються від властивостей бабітів та свинцевих бронз.

#### 2.1.8. Сплави на основі цинку

Цинкові сплави здавна використовуються як антифрикційні матеріали, хоча і не отримали достатньо широкого поширення, в той же час мають ряд цінних властивостей, які дозволяють використовувати їх як замітники

олов'яних бронз і свинцевоолов'яних бабітів. Найбільшого поширення в промисловості отримали потрійні сплави Zn з Al та Cu. (табл. 2.6.; 2.7)

Таблиця 2.6. Склад сплавів на основі цинку

	Вміст компонентів %					
	Al	Cu	Mg	Pb/ Sn	Fe/ Si	Cd
ЦВМ 10-5	9 -12	4...5,5	0,03...0,06	0,03/0,01	0,20/0,05	0,02
ЦАМ 9-1,5	8 -11	1...2	0,03...0,06	0,03/0,01	0,20/0,10	0,02

\* решта в сплавах - цинк

Таблиця 2.7 – Порівняльні характеристики цинкових сплавів

Марка сплаву	Властивості			
	$\sigma_B$ , МПа	НВ	КСУ , МДж/м <sup>2</sup>	Fтр.
ЦВМ 10 -5	30	100	0,06	0,009
ЦАМ 9 -1,5	30	95	0,1	-

Цинкові сплави з легуючими елементами Cu, Mg , Al використовують для виготовлення біметалевих вкладишів підшипників ковзання.

Сплав ЦА8М1 використовують для заміни традиційних антифрикційних сплавів при виготовленні вкладишів підшипників, втулок, підвіски, сепараторів підшипників кочення .

#### 2.1.9. Полімерні та композитні матеріали

Крім металевих сплавів для виготовлення втулок використовують текстоліт ПТК, капрон, тефлон, який є самозмащуваним матеріалом [9].

## 2.2. Способи виготовлення втулок

Заготовки деталей у машинобудуванні виготовляють різними способами – нарізанням з нормального або спеціального прокату, литтям, куванням, штампуванням, зварюванням. Загальна вимога до заготовок деталей – форма і розміри заготовки повинні бути близькими до форми і розмірів готової деталі, щоб на механічну обробку зняттям стружки залишалась лише фінішна операція для таких поверхонь деталі, які вимагають високої точності.

Втулки одержують литтям, обробкою різанням, обробкою тиском. Заготовками для виготовлення втулок можуть бути труби, одержані пресуванням, калібровані гарячекатані прутки або стержні, отримані литтям (для втулок з діаметром отвору до 20 мм). Для втулок з діаметром більше 20 мм – суцільнотягнуті труби або порожнисті виливки. Одержують зливки різними способами - в піщані форми з машинною формовкою, в кокіль, під тиском та відцентровим литтям.

### 2.2.1. Пресування втулок

Одним із способів обробки тиском є пресування. Процес пресування полягає у витисненні (видавлюванні) металу зливка з закритого циліндра через отвір у матриці. Пресуванням одержують прутки, складні профілі, труби і товстий дріт.

Пресування є технічно досконалим і рентабельним способом обробки кольорових металів і сплавів.

Пресуванням можна виготовити всі профілі, які одержують прокатуванням, за винятком листів, а також більш складні профілі, прокатування яких

утруднене. Форма профілю і його розміри по всій довжині прутка відповідають отвору в матриці.

Пресуванням можна одержати прутки діаметром 6 – 200 мм, дріт з мінімальним діаметром 5 мм, труби з зовнішнім діаметром 18 – 400 мм і мінімальною товщиною стінки 1,5 мм.

### *Методи пресування.*

Пресування проводять прямим або зворотнім методом.

При прямому пресуванні напрям течії (переміщення) металу збігається з напрямом руху пуансону (рис.2.8). Нагрітий зливочок або заготовка поміщені в циліндричний метало приймач (контейнер), що закривається матрицею, яка має отвір, що називається очком. З другого кінця в контейнер встановлено прес – шайбу, яка передає тиск пуансона. Метал під тиском пуансона заповнює порожнину контейнера і потім, не маючи іншого виходу, крім отвору у матриці, витісняється з останнього у вигляді довгого прутка.

Наприкінці пресування метал зливка трохи вистигає і витіснити з контейнера його цілком не вдається. Остигла частина зливка, так званий прес-залишок, містить в собі неякісний метал (усадочну раковину зливка). Прес-залишок відокремлюється від стержня дисковою пилкою, спеціальними ножицями або прошивнями. Величина прес-залишку коливається в межах 4 -25%. Прутки діаметром понад 25 мм і труби пресують через одне очко, а більш тонкі прутки і дріт – через декілька (від 2 до 12).

Під час прямого пресування деформація заготовки відбувається нерівномірно. Поверхневі шари зазнають більших деформацій ніж серединні. Це зумовлює формування різної структури та властивостей отриманих заготовок.

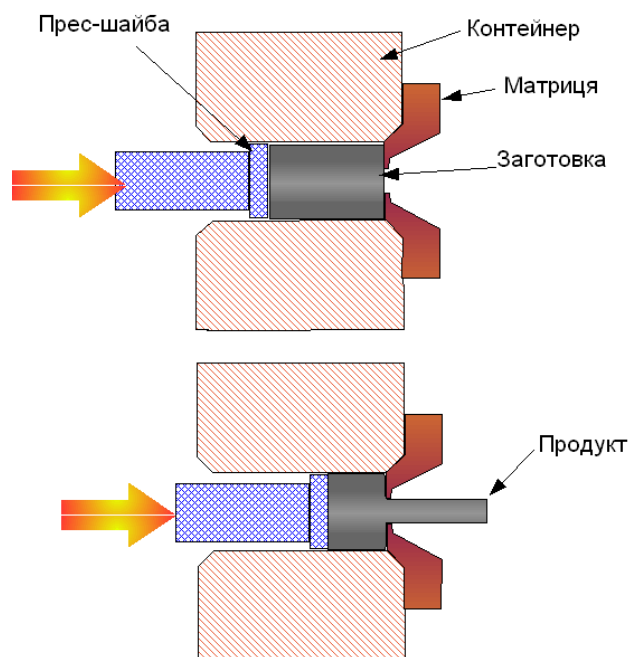


Рисунок 2.8 - Схема процесу прямого пресування

Зворотнє пресування.

При цьому методі усувається тертя металу об стінки контейнера і знижується в зв'язку з цим потрібна потужність преса на 25 – 35 %; прес - залишок зменшується до 6 -10%.

Матриця (рис.2.9) одночасно виконує роль прес-шайби. Вона прикріплюється до кінця порожнистого пуансона і насувається на зливоч. Контейнер замикається упорною шайбою. Під час переміщення контейнера разом з ним рухається заготовка і метал втискається в канал матриці, утворюючи профіль [5] .

При зворотньому пресуванні неоднорідності структури отриманої заготовки значно менші. Позитивним є також зменшення температури нагрівання заготовки та зусиль для виконання процесу. Труби і дріт зворотнім методом не пресують.

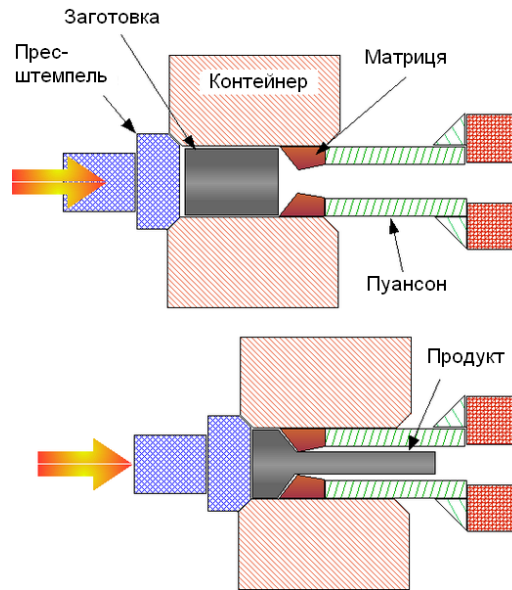


Рисунок 2.9 - Зворотнє пресування

*Пресування трубчастих виробів.*

Здійснюють прямим методом пресування. Всередині пуансона вміщують сталю голку яка має самостійний рух. На початку процесу кінець голки знаходиться поблизу зовнішньої кромки прес – шайби. Щоб голку не відвело вбік, нагрітий зливочок попередньо підпресовують для заповнення металом усього поперечного перерізу контейнера. Потім голка переміщується вздовж зливка і прошиває його. Рух голки припиняється, коли її кінець досягне зовнішньої поверхні матриці. Далі прес-шайба витісняє метал зливка в кільцевий зазор, утворений голкою і матрицею (рис.2.10).

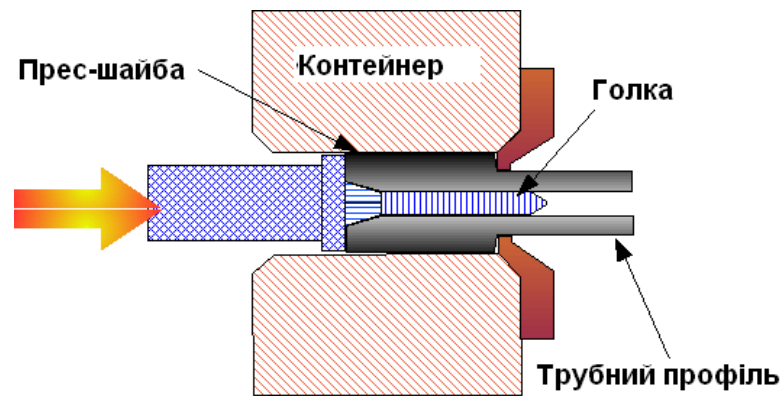


Рисунок 2.10 – Отримання трубчатого профілю прямим пресуванням

Під час пресування метал піддається всебічному нерівномірному стисканню і тому має досить високу пластичність. Пресуванням одержують заготовки із спеціальних сталей, сплавів кольорових металів, які внаслідок їх низької пластичності в литому стані іншими видами обробки тиском деформувати складно.

Пресування виконують на гідравлічних пресах – горизонтальних і вертикальних.

### 2.2.2. Одержання заготовок відцентровим литтям

При одержанні заготовок способом відцентрового лиття рідкий метал заливають у металеву форму, яка обертається з заданою швидкістю. Під дією відцентрових сил формується виливок. Відцентрові сили відкидають рідкий метал до стінок форми, де він охолоджується, утворюючи порожнистий виливок (рис.2.11). Неметалеві включення зосереджуються на внутрішній поверхні виливка і потім видаляються під час обробки різанням [15].

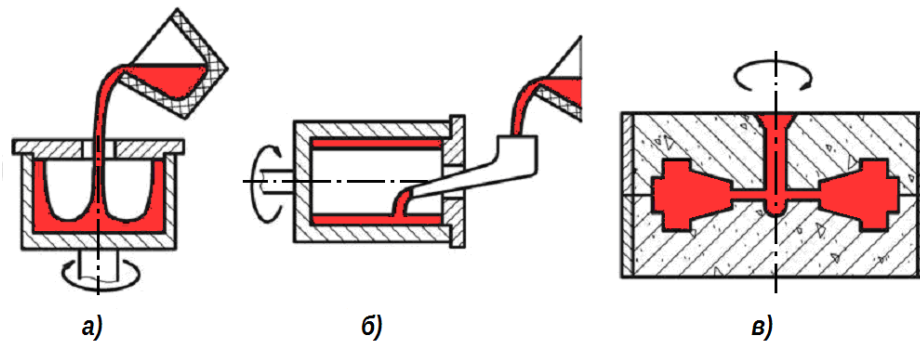


Рисунок 2.11 - Схеми роботи устаткування для відцентрового лиття:  
 а) з вертикальною віссю обертання; б) з горизонтальною віссю обертання;  
 в) для лиття методом центрифугування

Залежно від розташування осі обертання форми в просторі розрізняють машини з горизонтальною та вертикальною віссю обертання (рис.2.11 а, б). На машинах обертання вісь виливка збігається з віссю обертання форми. Таким чином утворюються виливки циліндричної форми з отвором.

Центрифугування застосовують для лиття фасонних виливків. Нахил осі обертання форми та швидкість її обертання можуть змінюватися в процесі виливання заготовки. Форми для відцентрового лиття роблять металевими, керамічними, піщаними та комбінованими.

Перевагами цього способу лиття є висока точність форми та розмірів виливків, якість поверхні, відсутність ливникової системи, можливість виготовлення багатошарових виливків, можливість механізації, висока продуктивність). Відцентровим литтям отримують: тонкостінні чавунні труби (каналізаційні, водопровідні, газовідвідні, нафтоперегонні); сталеві стволи гармат, сталеві та кольорові гільзи, які використовуються для подальшого прокатування в суцільно тягнуті труби; втулки, обечайки для поршневих кілець, вінці, зубчасті колеса, гайки, кільця тощо; полі виливки

масою до 50 т, із яких виготовляють барабани котлів високого тиску; виливки з двохшаровими (біметалевими) стінками із різних металів.

Відсутність стержнів суттєво підвищує продуктивність відцентрових машин. Цей спосіб одержання заготовок не обмежується складом сплавів – виливки одержують із чорних та кольорових металів та сплавів. Форми можуть бути виготовлені з металу, піску тощо. Точність виливок досягає 12...14 квалітетів, шорсткість поверхні  $Ra = 12.5 \dots 1,6$  мкм.

Цей вид лиття добре піддається механізації і автоматизації, забезпечує виготовлення виливок масою від декількох грамів до декількох тон. Розплав добре заповнює форму. Виливки мають підвищену щільність за рахунок зменшення пор, раковин та інших дефектів. Виливки мають високі механічні властивості.

Недоліками є: виливка повинна мати форму тіла обертання, забруднення неметалевими включеннями внутрішньої поверхні, що потребує збільшення припуску на механічну обробку, обмежена конфігурація виливків.

### 2.2.3. Лиття під тиском

При одержанні виливок литтям під тиском розплав подають у металеву пресформу під тиском. Такий спосіб заливання форми підвищує рідкоплинність металу, що забезпечує повне її заповнення, внаслідок чого виливок з великою точністю відповідає розмірам і конфігураціях заготовки. Обробка різанням заготовки майже виключається, або є мінімальною. Лиття під тиском здійснюється кількома способами.

Під тиском поршня 1 з «холодної» камери пресування 2 (рис.2.12) розплав, який заливається в камеру мірною ложкою, подається в порожнину прес-форми 3 (рис. 2.12, б). Після витримки до повного затвердіння металу (кілька секунд) прес-форма розкривається (рис. 2.12, в) і виливок виштовхується з неї штовхачами 4 (рис. 2.12, г).

Під невеликим тиском повітря чи інертного газу (рис. 2.13, а). Таким способом одержують виливки з легкоплавких сплавів: цинкових олов'яних, свинцево-сурм'яних. Стиснуте повітря чи інертний газ по трубопроводу 1 подається в тигель 2 і тисне на розплав, витісняючи його по металопроводу 3 через мундштук 4 в прес-форму 5 [9].

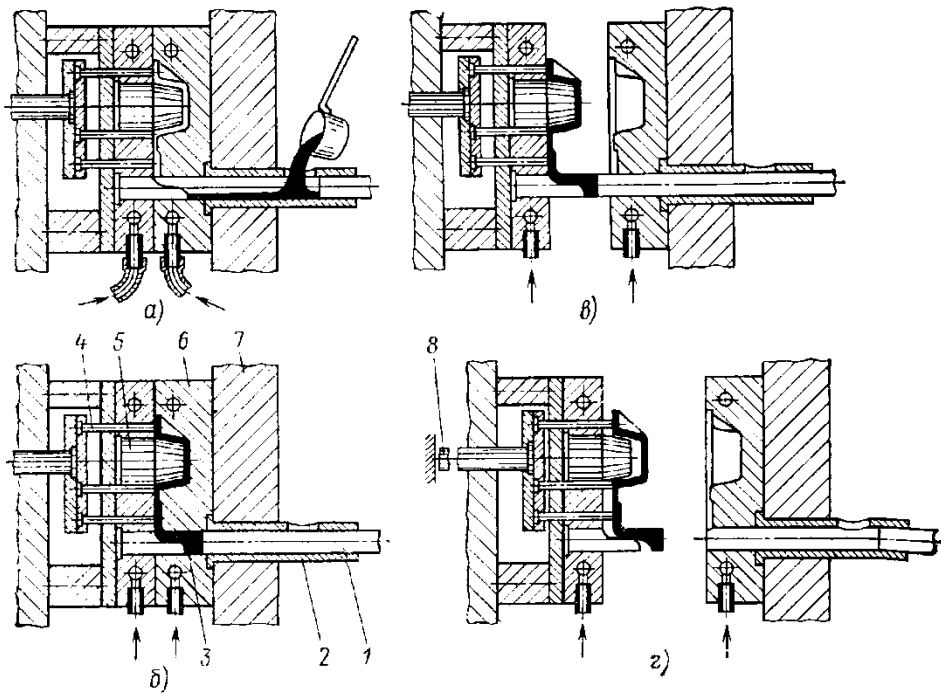


Рисунок 2.13 - Схема процесу лиття під тиском на машині з холодною камерою пресування

Під невеликим тиском повітря чи інертного газу (рис.2.14, а). Таким способом також одержують виливки з легкоплавких сплавів. Стиснуте повітря чи інертний газ по трубопроводу 1 подається в тигель 2 і тисне на розплав, витісняючи його по металопроводу 3 через мундштук 4 в прес-форму 5.

Під тиском поршня 3 (рис.2.14, б), коли камера пресування 2 знаходиться в тиглі 1 з розплавом (лиття на машинах з «гарячою» камерою пресування). Рідкий метал з тигля до камери пресування надходить через отвір 4.

Під низьким тиском (рис. 2.14, в). Суть цього способу полягає в тому, що розплав з роздавальної печі 1 під тиском повітря чи іншого газу піднімається по металопроводу 4 у форму 5 (зазвичай металеву), встановлену на кришці 3 печі. Після тверднення вилівка тиск у тиглі 2 знімають, залишки розплаву з металопроводу зливаються в тигель. Внутрішня порожнина вилівка виконується стрижнем 6. Під низьким тиском можна заливати також і звичайні піщано-глинисті форми.

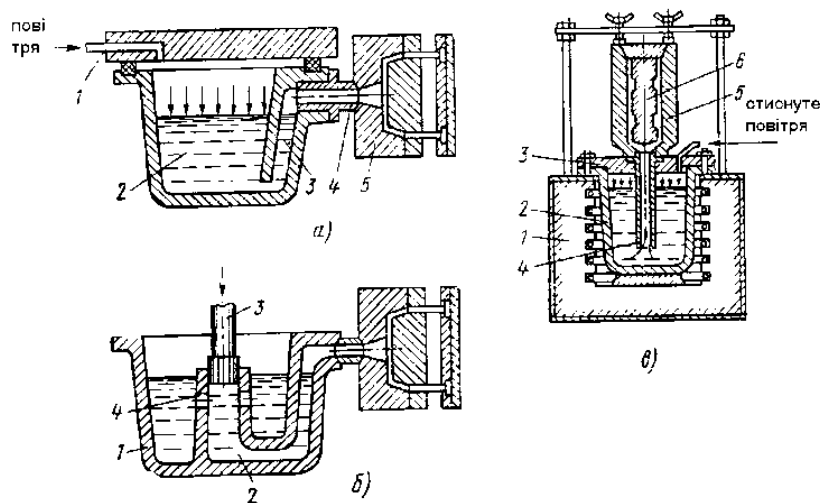


Рисунок 2.14 – Способи лиття під тиском

До переваг лиття під тиском відноситься також висока якість поверхні вилівка, скорочення виробничого циклу, зниження трудомісткості і собівартості виливків, покращання умов праці, економія металу.

Цей спосіб найбільш продуктивний при виготовленні відносно невеликих виливок із кольорових сплавів з високою точністю за розмірами і чистотою

поверхні. Розплавлений сплав швидко заповнює пресформу, твердіє і утворює виливку. Потім пресформа розкривається і готова виливка видаляється виштовхувачем. Для отриманих виливок механічна обробка незначна, або зовсім не потрібна. Литтям під тиском відливають деталі розмірами до 300 мм, при цьому в пресформу подається до 2 л металу. Виливки отримують з різьбою, отворами, тонкими стінками. Сплав в виливках має мілкозернисту структуру внаслідок швидкого охолодження в сталій формі, тому міцність цих виливок деталей завжди вища міцності деталей, які отримані в пісчаних формах. Найбільш поширені кольорові метали для цього виду лиття – це метали на основі міді, алюмінію, цинку, магнію, свинцю і олова. Тиск створюють спеціальні машини, які поділяють на дві основні групи: поршневі і компресорні.

Лиття під тиском має і недоліки. Тому що розплав металу дуже швидко (долі секунди) заповнює пресформу, то при цьому швидко закупорюються вентиляційні канали і з їх порожнини не повністю виділяється повітря і газу, які утворилися від випаровування і згоряння змащувального матеріалу. При цьому в виливках з'являється газова пористість. Тонкі по перерізу ливники затвердівають раніше виливка і живлення розплавом зупиняється до завершення усадки. При цьому усадка проявляється в збільшенні об'єму газових пор. Тому виливки мають специфічний дефект – газоусадкову пористість, що приводить до пониження щільності виливок і зменшення пластичності.

Як правило, виливки не піддають термічній обробці тому, що при нагріванні внаслідок розширення газових пор поверхня металу може вспучуватись.

Обладнання для лиття під тиском (пресформи) має досить високу вартість, що зумовлює застосування цього способу тільки для великих серій виливок. Литтям під тиском можна отримувати виливки тільки із легкоплавких сплавів (алюмінієвих, магнієвих, цинкових і латуней) масою до

50 кг. Найбільш економічно вигідним є лиття під тиском в масовому виробництві складних фасонних тонкостінних виливок із кольорових сплавів - деталей приладів, автомобілів, тракторів, літаків тощо.

#### 2.2.4. Лиття в кокіль

Кокілем називається металева форма, в яку рідкий метал заливається вільним струменем під дією сил тяжіння. Сплав заповнює простір між порожниною кокіля і стержня, утворюючи виливок. Після затвердіння металу кокіль розкривають і з нього виштовхується виливок.

За конструкцією кокілі бувають нерознімними або витрушуваними (рис. 2.15, а) та рознімними з вертикальним (рис.2.15, г), горизонтальним (рис. 2.15, в) або складним розняттям (рис.2.15, б).

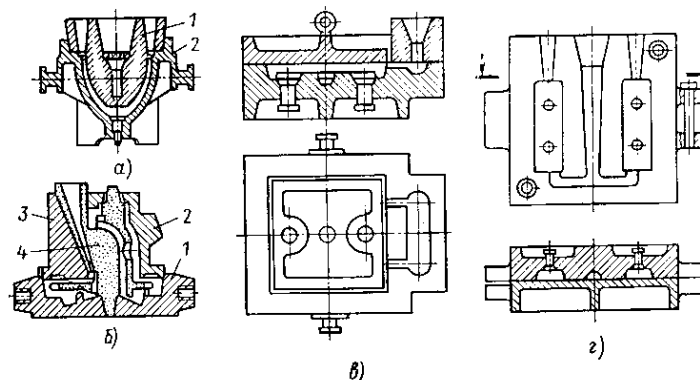


Рисунок 2.15 – Схеми різних конструкцій кокілів

Нерознімні суцільні кокілі застосовуються для простих виливків (рис.2.15, а). Порожнина виливка виконуються піщаним стержнем 1. Складний кокіль може мати кілька поверхонь роз'єднання. Кокіль (рис.2.15), б) складається з основи 1 та двох бічних частин 2 і 3. Ливникову систему виконують разом із стержнем 4.

Піщані стержні застосовують для утворення складних порожнин у виливках і там, де потрібна більш висока піддатливість. В багатьох випадках

стержні роблять металевими. Вони забезпечують якісні чисті поверхні та точні розміри. Складні металеві стержні для зручності виймання їх з виливка зазвичай роблять складеними.

Кокілі застосовують переважно для виготовлення дрібних і середніх за розмірами виливків з кольорових металів [3].

Отримання виливок у кокілі складається із підготовки кокіля до роботи і відповідно отримання виливок.

Підготовка кокіля полягає в наступному: обдивляються кокіль, щоб впевнитися у його справності, зчищають фарбу з робочої поверхні, якщо вона ушкоджена. Підігривають кокіль газовим паяльником (чи заливанням розплаву) до  $150...200^{\circ}\text{C}$  і на робочу (контактну) поверхню наносять пульверизатором чи пензлем шар кокільної фарби товщиною  $0,2...0,6$  мм. Ливникові канали і додатки фарбують більш товстим шаром, для уповільнення затвердіння розплаву. Для захисту поверхні кокілю від дії розплаву, регулювання швидкості охолодження виливка та покращання заповнюваності форми на робочу поверхню кокілю, металевих стержнів і ливникової системи наносять захисні покриття. Їх складають із кількох компонентів, кожний з яких має певне призначення: розчинником  $\text{э}$  (вода), скріплювачем (рідке скло), наповнювачем (пиловидний кварц, графіт, тальк, азбест). Змінюючи теплопровідність покриття внесенням до його складу речовин з різною теплопровідністю і змінюючи товщину його шару, можна регулювати швидкість охолодження розплаву, залитого у форму, тобто керувати, до певної міри, швидкістю кристалізації і наступним охолодженням виливка. Товщина шару покриття різна: від часток міліметра (при фарбуванні) до  $5$  (при облицюванні)... $10$  мм (футеруванні).

Послідовність дій для одержання виливка в кокілі: скласти кокіль і скріпити його частини за допомогою гвинта та гайки.

Заповнити розплавом кокінь через верхню відкриту частину. Дати виливку затвердіти, видалити стержні. Головний центровий стержень складається із трьох частин. Перевернути кокінь і зняти основу, замінити її упорним кільцем з упорною пластиною. Накрутити гайку на гвинт, видалити уверх середню частину стержня.

Кокінь – невіддатлива форма, внаслідок цього у виливках, одержаних в кокілі можливі ливарні дефекти: жолоблення, тріщини, поява яких зумовлена зниженням рідкоплинності сплавів.

Висока швидкість охолодження чавунних виливків в кокілі сприяє виникненню на їх поверхні вибілу, для усунення якого потрібна додаткова операція – відпал виливків.

Переваги лиття в кокінь.

Головна особливість лиття в кокінь - велика швидкість охолодження, швидка кристалізація розплаву, що сприяє подрібненню структури.

Литтям в кокінь можна отримати прості виливки без внутрішніх порожнин (наприклад, валики) і складні виливки з складними внутрішніми порожнинами і отворами. Ці металеві форми використовують багато разів: при литті сталі 300...500 разів, чавуну – до 5000, мідних сплавів – до 10000, алюмінієвих та магнієвих сплавів – до 100000, цинкових сплавів – до 500000 разів. Завдяки інтенсивності теплообміну між виливкою і кокілем виливка отримується більш щільною з дрібнозернистою структурою.

Кокілі використовують для виготовлення дрібних і середніх за вагою та розмірами виливків. Це дорогі ливарні форми. Через низьку стійкість кокілів при литті чорних металів застосовуються кокілі переважно для лиття сплавів з кольорових металів - мідних, алюмінієвих, магнієвих, цинкових. Можлива комплексна механізація і автоматизація технологічного процесу

виготовлення виливків. Лиття в металеві форми економічно доцільне в серійному і масовому виробництвах.

#### 2.2.5. Дефекти лиття

##### *Тріщини*

Поширеним дефектом виливок є тріщини. Причиною виникнення тріщин є внутрішні напруження, які виникають за рахунок нерівномірного затвердіння товстих і тонких частин виливки і усадки сплаву. Ці напруження тим вищі, чим менша піддатливість форми і стержнів. Якщо величина внутрішніх напружень більша межі міцності ливарного сплаву в даній частині виливки, то в її тілі утворюються тріщини. Тріщини поділяються на *холодні і гарячі*.

*Холодні тріщини* – це наскрізні і ненаскрізні розриви в стінках виливок, невеликої ширини і значної довжини. Вони утворюються при низьких температурах і мають неокислену поверхню. Виникають вони в області пружних деформацій, коли сплав повністю затвердів. Поява внутрішніх напружень зумовлено тим, що тонкі частини виливки охолоджуються і скорочуються швидше ніж товсті. Холодні тріщини частіше всього утворюються в тонкостінних виливках складної конфігурації. Поява тріщин зумовлена високими показниками межі пружності сплаву та низькою теплопровідністю сплаву. Сприяють утворенню холодних тріщин у виливках шкідливі домішки- сірка і фосфор (в сталі), кисень і вісмут (у мідних сплавах) Також холодні тріщини з світлою поверхнею злому можуть з'являтися внаслідок механічних пошкоджень охолоджених виливок при обрубуванні, зачищенні і падінні на землю. Для запобігання утворення у виливках холодних тріщин необхідно забезпечити рівномірне охолодження виливок по всіх перерізах шляхом використання холодильників, застосовувати сплави для виливок з високою пластичністю і проводити відпал виливок з метою зняття внутрішніх напружень. Гарячі тріщини – це розриви в стінках

виливок, які мають значну ширину і невелику довжину. Вони утворюються при високій температурі (близькій до температури солідуса) в процесі кристалізації і усадки металу при переході із рідкого стану в твердий. Гарячі тріщини проходять по межах кристалів і мають окислену поверхню. Схильність до утворення гарячих тріщин збільшується при наявності неметалевих включень, газів (водень, кисень), сірки та інших домішок. Тріщини можуть виникати у випадку недостатньої піддатливості стержнів і окремих частин форми, раннього вибивання вилівки із форми, неправильної конструкції вилівка і підвищеної усадки металу. Висока температура заливання металу сприяє збільшенню зерна металеві структури і збільшенню перепаду температур в окремих частинах вилівки, що збільшує ймовірність утворення тріщин. Для запобігання виникненню гарячих тріщин у вилівках необхідно створити умови, які сприяють формуванню дрібнозернистої структури, забезпечити одночасне охолодження тонких і товстих частин вилівка (застосування холодильників), збільшити піддатливість ливарних форм і по можливості знизити температуру заливки сплаву.

*Короблення* – це зміна розмірів і конфігурації вилівки під впливом внутрішніх напруг, які виникають при нерівномірному охолодженні окремих її частин. Короблення збільшується при складній конфігурації вилівки, підвищення швидкості охолодження окремих частин вилівки і різку усадку. Для запобігання короблення необхідно добитися меншої різностінності вилівки, для охолодження масивних її частин застосовувати холодильники, збільшувати піддатливість форми і створити раціональну конструкцію вилівка.

*Газові раковини і пористість.* Газові раковини і пористість – це порожнини в тілі вилівки, утворені повітрям або газами, які виділяються із розплавленого металу при його затвердінні або із матеріалів форми. Газові раковини можуть бути відкриті або закриті (внутрішні). Вони мають різну

величину, форму і місцезнаходження в виливку. В рідкому стані метали і сплави активно поглинають значну кількість водню, кисню, азоту та інших газів із оксидів і вологи вихідних шихтових матеріалів при їх плавленні. В рідких металах і сплавах розчинність газів збільшується із підвищенням температури.

Газові пухирі утворюються внаслідок того, що розчинені в розплавленому металі гази (водень, азот, кисень, окис вуглецю тощо) при охолодженні сплаву виділяються і намагаються піднятися до верху, але в сплаві, який охолоджується вони всплоти не можуть і залишаються у виливку у вигляді раковин. Газові раковини та пористість знижують механічні властивості і герметичність виливок. При заливці розплавленого металу розплав може захоплювати повітря у ливникову систему, засмоктувати його через стінки каналів ливникової системи. Як правило газові раковини мають чисту і гладку поверхню. Таким чином, причиною утворення газових раковин є підвищена газоутворююча здатність формувальної суміші, недостатня її газопроникливість, погана вентиляція стержнів та форм, заливка форми недостатньо розкисленим металом, підвищена вологість формувальних та стержневих сумішей. Для зменшення газових раковин і пористості у виливках плавлення металу слід вести під шаром флюсу, у середовищі захисних газів з використанням добре просушених шихтових матеріалів. Перед заливанням розплавленого металу у форму його необхідно дегазувати продуванням інертним газом. Додавання в рідкий сплав спеціальних розкислювачів, наприклад, феросиліція, фероалюмінія, сілікокальція сприяє видаленню газів. Також зменшити число газових раковин і пористості можна за рахунок збільшення числа випорів, правильного підбору температури при заливанні сплаву у форму, і правильного розміщення ливникових каналів.

Дрібні тріщини і неглибокі раковини виправляються металізацією (нанесенням шару металу за допомогою спеціальних апаратів). Також

застосовуюють просочування виливок різними розчинами. Так пористі виливки, які працюють під невеликим тиском просочують водяним розчином хлористого амонію. Він проникає між кристалами металу, утворює оксиди і при цьому блокує пори виливки. Пористість чавунних, бронзових і алюмінієвих литих деталей, які працюють під значним тиском, усувається шляхом запресування у пори бакелітового лаку. Просочену виливку сушать при кімнатній температурі біля 50 годин, або в печі при температурі 130°C.

Висновки по розділу.

1. Аналіз умов роботи втулки кришки верхньої головки шатуна показав, що деталь працює у важких умовах навантажень та зносу.
2. Втулка має забезпечити високу зносостійкість вузла тертя, тому має бути виготовлена з антифрикційного матеріалу.
3. Спосіб одержання втулок має бути не трудомістким, забезпечувати економне використання металу.

### **Постановка задачі:**

1. Вибрати та обґрунтувати матеріал для виготовлення втулки верхньої головки шатуна.
2. Вибрати та обґрунтувати спосіб одержання втулок.
3. Розробити маршрутну технологію виготовлення втулок.

## **РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА. ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **3.1. Вибір матеріалу деталі «втулка»**

Бронзові втулки завдяки своїм високим антифрикційним властивостям сприяють продовженню строку експлуатації всього механізму. З часом

втулки зношуються, але завдяки їм, інші важливі механізми працюють довше. Бронзові втулки мають такі переваги - висока зносостійкість; відсутність раковин у порожнині; висока щільність деталі; відсутність шлакових включень.

Для виготовлення втулки кришки шатуна вибираємо бронзу марки БрА10Ж4Н4Л. Така бронза рекомендована для виготовлення підшипників ковзання, які працюють в умовах високих питомих тисків. Склад та механічні властивості бронзи показані в табл.3.1, 3.2.

Таблиця 3.1. Склад бронзи [17].

Марка бронзи	Хімічний склад, %			
	Al	Fe	Ni	Mn
БрА10Ж4Н4Л	9, 5- 11	3,5 - 5,5	3,5 - 5,5	-

Таблиця 3.2 Механічні властивості алюмінієвої бронзи

Марка бронзи	Механічні властивості				
	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	НВ	Гтер. у мастилi / без мастила
БрА10Ж4Н4Л	600	35	7,7	190	0,004 / 0,18

Вибрана бронза має вищі показники міцності та твердості, ніж інші з групи антифрикційних (табл.3.3). Важливо, що бронза БрА10Ж4Н4Л після пресування має високі показники міцності – до 700 МПа, твердість зростає до НВ 220.

Таблиця 3.3. Склад і властивості антифрикційних бронз

Марка бронзи	Хімічний склад, %				Механічні властивості		
	Al	Fe	Ni	Mn	$\sigma_B$	$\delta$ , %	НВ

					,МПа		
БрАЖН10-4-4 кокіль	9, 5- 11	3,5 - 5,5	3,5 - 5,5		600- 700	5	140
БрАЖ 9-4	8 -10	2 - 4	0,5	0,5	400	10	100
БрОФ6,5-0,15	6,5 Sn	0,1- 0,25  Р	-	-	350 - 450	60-70	70- 90
БрС30 кокіль	27- 33РЬ	-	-	4,5 - 5,5	60	4	25

### 3.1.1. Аналіз складу вибраного сплаву.

В машинобудуванні на основі міді використовують дві групи сплавів: латуні-сплави міді з цинком та бронзи- сплави міді з іншими елементами (серед яких може бути і цинк).

Бронзи можуть містити олово, фосфор, залізо, алюміній, берилій, марганець, свинець тощо. Розчинні в міді елементи Al, Fe, Ni, Sn, Zn, Ag підвищують міцність і твердість міді і використовуються для легування сплавів на мідній основі.

Нерозчинні елементи Pb і Bi утворюють легкоплавкі евтектики і зменшують механічні властивості сплавів. Домішки O, S, Se, Ti присутні в міді у вигляді нерозчинних фаз (наприклад  $Cu_2O$ ,  $Cu_2S$ ), викликають "водневу хворобу".

Олово підвищує механічні властивості бронз. Межа міцності зростає при збільшенні вмісту олова (рис. 3.1).

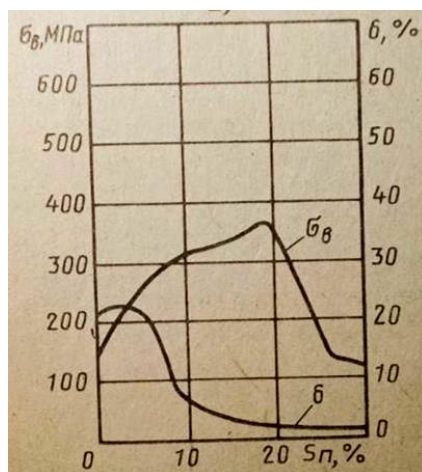


Рисунок 3.1 – Вплив олова на механічні властивості бронз

Цинк покращує технологічні властивості бронз, здешевлює їх, але погіршує антифрикційні властивості.

Фосфор – покращує ливарні властивості.

Нікель – підвищує механічні, технологічні властивості, корозійну стійкість та щільність виливків. У сплавах Cu-Al нікель при нерівноважній кристалізації утворює сполуки NiAl зі змінною розчинністю, внаслідок чого такі бронзи здатні до дисперсійного твердіння.

Залізо – в структурі бронзи утворює самостійну фазу  $\beta_1$  - Fe<sub>3</sub>Al, яка під час кристалізації подрібнює зерно. Залізо частково розчиняється в  $\alpha$  – твердому розчині алюмінію в міді, зміцнюючи його.

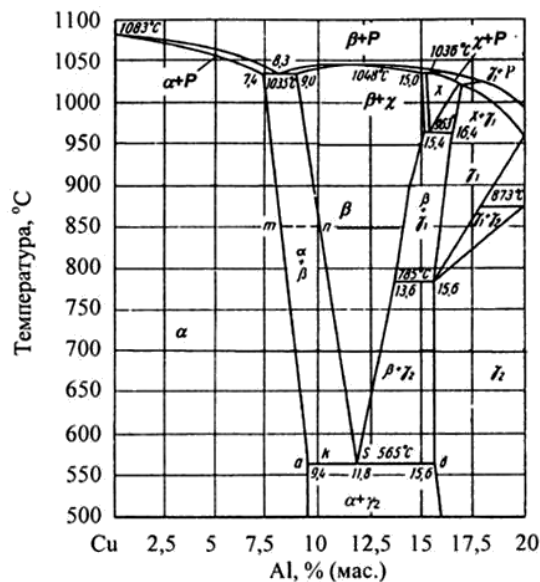
Свинець - знижує мехнічні властивості, підвищує щільність виливков, покращує оброблюваність різанням та підвищує антифрикційні властивості.

Марганець - покращує механічні властивості та корозійну стійкість бронз.

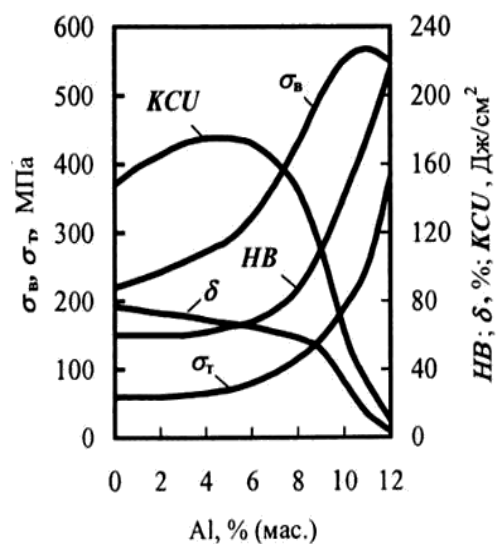
Шкідливими домішками олов'яних бронз є алюміній, кремній, магній, вісмут, миш'як і сірка.

Механічні характеристики мідних сплавів в більшій мірі залежать від їх стану і в меншій мірі від складу. Холодна пластична деформація підвищує міцність і твердість, але знижує пластичність. В наклепаному стані міцність бронз зростає. Основна перевага мідних сплавів - низький коефіцієнт тертя, що дозволяє використовувати їх в парах тертя.

Згідно з діаграмою стану Cu-Al за кімнатних температур в міді розчиняється до 9,4 % алюмінію, утворюючи пластичний  $\alpha$  –твердий розчин (рис.3.2). З підвищенням температури від 565 до 1037 ° С розчинність алюмінію в міді зменшується і досягає 7,5 %. При концентрації алюмінію більше 9% в структурі з'являється евтектоїд  $\alpha + \gamma_2$  ( $\gamma_2$  – електронна сполука  $\text{Cu}_{32}\text{Al}_9$ ). До стабільних фаз системи Cu-Al належать  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma_2$  - фази та метастабільні фази,  $\beta'$ ,  $\gamma'_2$ . Через це алюмінієві бронзи мають хороші фізико-механічні та антифрикційні властивості.



а)



б)

Рисунок 3.2 – Діаграма стану мідь – алюміній – а);

б) – вплив алюмінію на механічні властивості бронз.

Фаза  $\beta$  – твердий розчин на базі електронної сполуки  $\text{Cu}_3\text{Al}$  утворюється при температурі 1036 -1079 °С, існує при температурах вищих за 565 °С.

При повільному охолодженні з швидкостями меншими ніж 2°С /хв.

$\beta$  - фаза розпадається на евтектоїд -  $\alpha + \gamma_2$  з утворенням грубозернистої  $\gamma_2$  – фази. Фаза  $\gamma'_2$  ( $\text{Cu}_9\text{Al}_4$ ) утворюється з фази  $\gamma_2$ , стабільна при низьких температурах, крихка і тверда.

При швидкому охолодженні бронзи з швидкостями більшими за 2°С / хв.

відбувається утворення структур за мартенситним механізмом.

Фаза  $\alpha$  – пластична, що і потрібно антифрикційним сплавам, а  $\gamma'_2$  - фаза відіграє роль твердих включень.

Вплив алюмінію на властивості бронз показано на рис. 3.3.

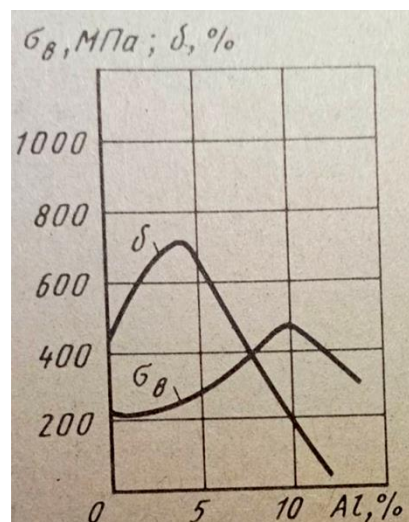


Рисунок 3.3 - Вплив алюмінію на міцність і пластичність бронз.

Основні механічні властивості алюмінієвих бронз показані в таблиці 3кк.

Таблиця 3.4. Властивості алюмінієвих бронз

Матеріал	Властивості				
Алюмінієві бронзи	Т <sub>плавлення</sub> , °С	Твердість НВ	Міцність, МПа	Пластичність, %	Густина, г/см <sup>3</sup>
	1040 - 1084	55 - 220	200 - 750	20 - 75	7,5 - 8,2

Вплив вмісту алюмінію на властивості алюмінієвих бронз показано на рис. 3.4.

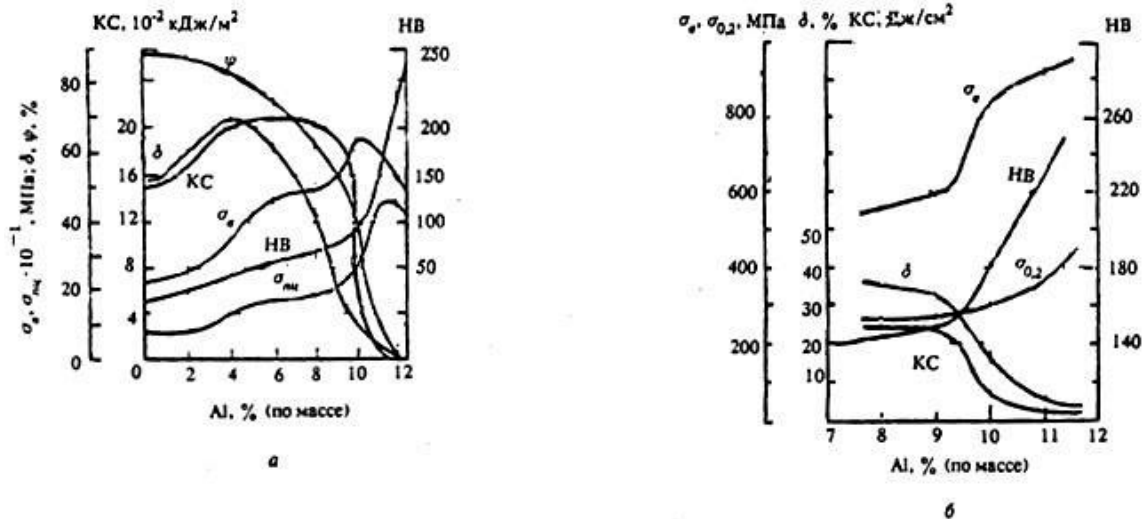


Рисунок 3.4 - Вплив алюмінію на властивості бронзи БрАЖМц10-3-1,5:

а) прутки після деформації та відпалу при 650°С;

б) прутки і труби отримані пресуванням

### 3.1.2. Термічна обробка втулок

*Гомогенізуючий відпал* – призначає для вирівнювання хімічного складу виливка по об'єму. Температура нагрівання 650 – 700 °С, витримка 2 години, охолодження на повітрі.

*Гартування* – призначаєм для одержання однорідної структури  $\beta$ -твердого розчину і покращення умов пресування втулок. Температура нагрівання 980°C. Температура нагрівання має витримуватись з точністю до  $\pm 10^\circ\text{C}$ , тривалість нагрівання розраховується в залежності від розмірів деталі і становить 20 хвилин на кожні 25 мм перерізу, витримка в печі при заданій температурі - 10 – 15 с. Охолодження з критичною швидкістю, щоб не допустити розпаду пересіченого твердого розчину при низьких температурах (рис.50). Охолодження втулок проводимо з швидкістю  $\geq 2^\circ\text{C}/\text{хв}$ . В якості охолоджуючого середовища вибираємо масло. Охолодження у воді сприяє виникненню значних внутрішніх напружень, деформації виробу.

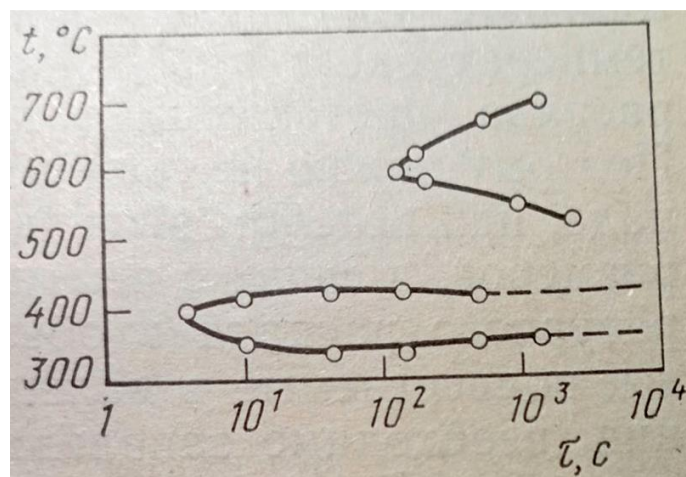


Рисунок 3.5 – Термокінетична діаграма мідно-алюмінієвого сплаву (ЛАНКМц)

*Старіння.* Температура нагрівання 300 °C, витримка 2 години, охолодження на повітрі. Старіння проводимо для зміцнення втулок. Алюмінієва бронза належить до сплавів, які здатні до дисперсійного старіння [12].

### 3.2 Методи досліджень. Обладнання та прилади.

При одержанні заготовки для втулки та в процесі їх обробки обов'язковими є такі методи дослідження: хімічний аналіз складу матеріалу виливка; металографічний аналіз, контроль твердості до і після пресування; вимірювання шорсткості.

### 3.2.1. Хімічний аналіз складу виливка.

Загальний хімічний аналіз має своєю метою встановити загальний вміст елементів, іонів або найбільш простих сполук, які входять до складу речовини. Склад бронзи визначали рентгенофлуоресцентним аналізом згідно ДСТУ 3731-98.

Це сучасний спектроскопічний метод досліджень речовин, який дозволяє отримати інформацію про їх елементний склад. Метод дозволяє визначити вміст в сплаві різних елементів – від берилію до урану (рис.3.5).

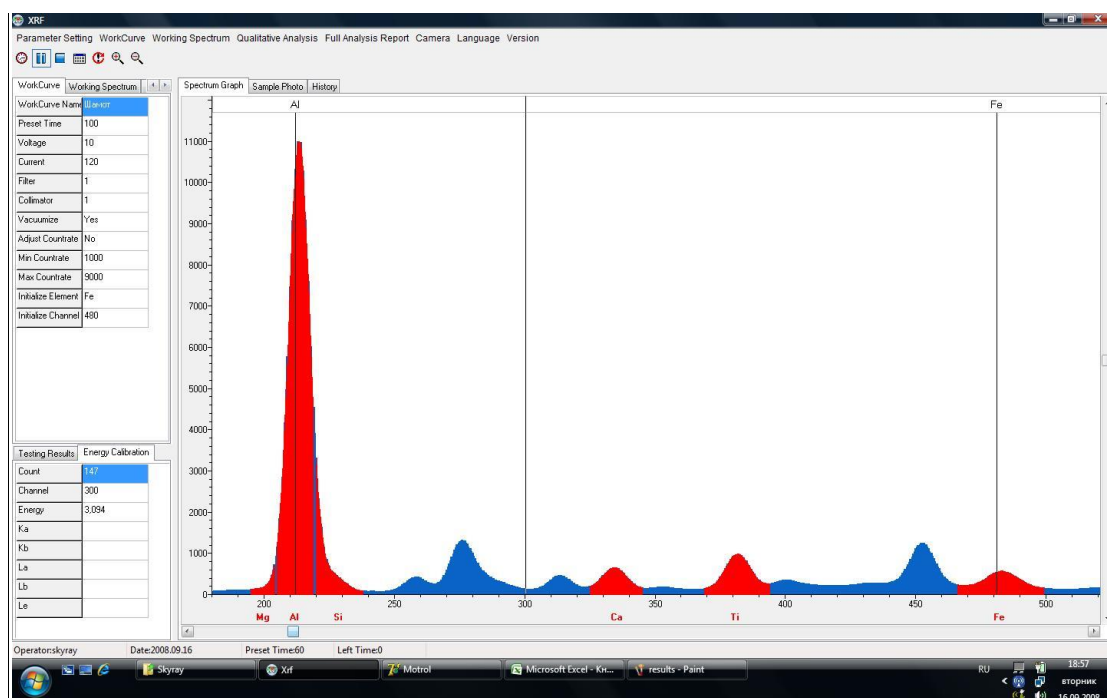


Рисунок 3.5 – Спектр, отриманий на спектрометрі

Метод дозволяє аналізувати спектри флуоресценції елементів випромінених при адсорбції високоенергетичного випромінювання.

Атоми досліджуваного об'єкту збуджуються рентгенівським випромінюванням. При взаємодії атомів речовини з високоенергетичним випромінюванням, електрони близькі до ядра атома вибиваються із своїх орбіталей. Електрони з вищих енергетичних орбіталей займають їх місце, виділяючи при цьому фотони- характеристичне флуоресцентне випромінювання. Відбувається емісія випромінювання з меншою енергією ніж поглинута. Детектор реєструє спектр флуоресценції. Максимуми в спектрі випромінювання дозволяють провести якісний елементарний аналіз отриманого спектру флуоресценції. За їх величиною, використавши еталонні зразки, виконують кількісний аналіз.

### 3.2.2. Металографічний аналіз

Мета металографічного аналізу визначення мікроструктури бронзи, величини зерна, характеру розміщення фаз та структурних складових.

Металографічний аналіз проводять на мікрошліфах. Підготовка мікрошліфа передбачає виконання наступних операцій: вирізка зразка (розміром 20x20x20 мм), шліфування поверхні на шліфувальному папері різної зернистості, полірування з допомогою алмазних паст; промивання поверхні, просушування та травлення реактивом.

Травник – солянокислий розчин хлорного заліза – 10 г хлорного заліза, 25 см<sup>3</sup> соляної кислоти, 100 см<sup>3</sup> води.

Тривалість травлення декілька хвилин – до потьмяніння поверхні. Після травлення мікрошліф промивають водою, протирають ватою, змоченою у спирті, просушують фільтрувальним папером.

Дослідження структури проводимо на мікроскопі Оптика (рис.3.6).



Рисунок 3.6 - Металографічний мікроскоп Оптика

### 3.2.3. Випробування на твердість.

Твердість – це властивість матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого більш твердого тіла. Найбільш поширеними методами вимірювання твердості є методи Брінелля та Роквелла [11, 19].

Метод Брінелля – базується на тому, що під дією сили  $P$  в поверхню виробу вдавлюють загартовану кульку певного діаметра  $D$  і за величиною сферичного відбитка, який залишає кулька (рис.3.7), визначають твердість HB виробу за формулою:

$$HB = \frac{P}{F}, \quad (1.1)$$

де  $P$  – прикладене навантаження, кгс або МН;  $F$  – площа поверхні сферичного відбитка,  $m^2$ .

Якщо визначити площу поверхні відбитка через діаметри кульки та відбитка, одержимо формулу:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}. \quad (1.2)$$

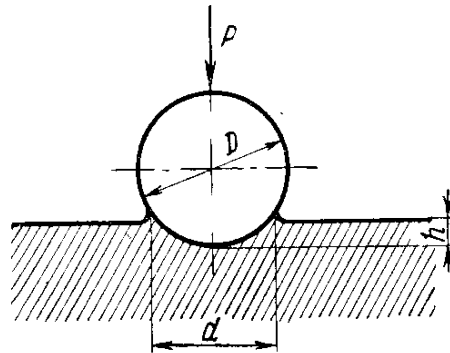


Рис. 3.7 – Схема вимірювання твердості за методом Брінелля

Навантаження  $P$ , діаметр кульки  $D$  та тривалість витримки під навантаженням вибирають згідно з наступними рекомендаціями.

Вибір діаметра кульки залежить від товщини зразка  $t$ . Якщо товщина зразка  $t > 6$  мм, вибирають кульку діаметром  $D = 10$  мм, для  $t = 3 \dots 5$  мм – кульку  $D = 5$  мм і для зразків з  $2 < t < 3$  мм вибирають кульку з  $D = 2,5$  мм. Навантаження  $P$  знаходять за формулою:

$$P = KD^2, \quad (1.3)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який залежить від виду матеріалу зразка:

$K = 30$  для чавунів, сталей, зміцнених кольорових сплавів з очікуваною твердістю  $HB > 1400$  МН/м<sup>2</sup> (140 кгс/мм<sup>2</sup>);

$K = 10$  для чорних і кольорових металів та сплавів з очікуваною твердістю  $350 \dots 1400$  МН/м<sup>2</sup> (35...140 кгс/мм<sup>2</sup>);

$K = 2,5$  для кольорових металів та сплавів з очікуваною твердістю  $80 \dots 350$  МН/м<sup>2</sup> (8...35 кгс/мм<sup>2</sup>).

Час витримки зразка під навантаженням має забезпечити відновлення пружно-пластичних деформацій і визначається залежно від виду досліджуваного металу. Для чорних металів (чавуну, сталі) час витримки  $\tau$  приймають 10

с, для кольорових з твердістю  $HB > 350 \text{ МН/м}^2 - \tau = 30 \text{ с}$ , а для кольорових металів та сплавів з твердістю  $HB < 350 \text{ МН/м}^2 - \tau = 60 \text{ с}$ .

Таблиця 3.5 – Залежність діаметра кульки та навантаження від твердості та товщини досліджуваного зразка

Матеріал	Орієнтовна твердість HB, МН/м <sup>2</sup>	Товщина зразка t, мм	Діаметр кульки D, мм	Навантаження P, МН	Витримка $\tau$ , с
Чорні метали (сталі, чавуни)	1400 – 1500	> 6	10	30000	10
		Від 6 до 3	5	7500	
		< 3	2,5	1875	
	Менше 1400	> 6	10	10000	10
Від 6 до 3	5	2500			
< 3	2,5	625			
Кольорові метали	350 – 1300	> 6	10	10000	30
		Від 6 до 3	5	2500	
		< 3	2,5	625	
	80 – 350	> 6	10	2500	60
Від 6 до 3		5	625		
< 3		2,5	15,6		

#### Метод Роквелла

**Метод Роквелла** базується на вдавлюванні алмазного конуса з кутом при вершині  $120^\circ$  (чи сталевій кульки діаметром 1,588 мм) під дією навантаження  $P$  в поверхню досліджуваного зразка. Навантаження  $P$

прикладається до зразка в три стадії (рис.3.7).

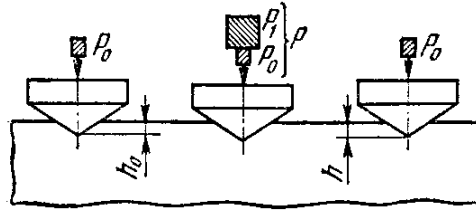


Рис.3.7 – Схема вдавлювання алмазного конуса за методом Роквелла

Різниця між глибинами проникнення індентора в зразок на першій та третій стадіях характеризує твердість металу. За одиницю твердості приймають величину, яка відповідає переміщенню кульки чи конуса на глибину 0,002 мм.

Метод Роквелла відрізняється простотою та високою продуктивністю, дозволяє досліджувати метали і сплави середньої та високої твердості, з товщиною до 0,8 мм. Цей метод не використовують для сплавів з неоднорідною структурою, таких, як чавун.

Метод Брінелля використовують для матеріалів з низькою та твердістю, що не перевищує HB 450.

Для вимірювання твердості бронзи використовуємо метод Брінелля.



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд приладу для вимірювання твердості

за методом Брінелля та Роквелла ТР - 5006

### *Контролюючі прилади та інструменти*

Для контролю лінійних розмірів заготовок і готових деталей використано нутромер, індикаторний глибиномір, мікрометри та плити КМД для перевірки мікрометра і нутромірів.

## 3.3. Результати досліджень

### 3.3.1. Дослідження структури бронзи

Бронза БрА10Ж4Н4 Л є багатокомпонентним сплавом, в якому компоненти різним чином взаємодіють між собою. Після кристалізації бронза має дендритну структуру, яка складається з грубих стовпчастих кристалів, основою яких є кристали  $\alpha$ - твердого розчину [12,13]. По границям дендритів розміщуються зерна евтектоїду ( $\alpha + \gamma_2$ ), всередині зерен  $\gamma_2$ - фази дрібні включення залізовмісної фази ( $\text{FeAl}_3$ ).  $\alpha$  – фаза це твердий розчин алюмінію в міді  $\text{Cu}(\text{Al})$ ,  $\gamma_2$ - фаза – електронна сполука  $\text{Si}_{32}\text{Al}_9$  (рис.3.9).

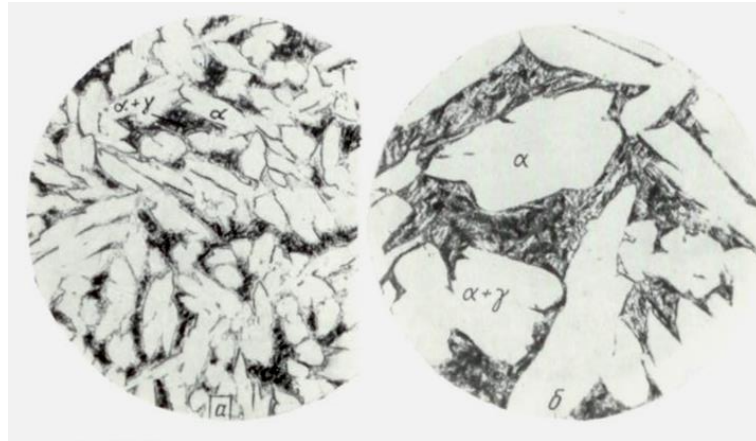


Рисунок 3.9 - Мікроструктура алюмінієвої бронзи

в литому стані  $\times 75$ .

Будову евтектоїду показано ( рис.3.10) у збільшеному варіанті: при  $\times 250$ , а) - світлі зерна –  $\alpha$ -фази; темні зерна – евтектоїду ( $\alpha+\gamma_2$ ); (б) - мікроструктура

евтектоїду ( x 500): темна основа кристали  $\alpha$ -твердого розчину, світлі включення –  $\gamma_2$ - фаза.



а) б)

Рисунок 3.10 – Мікроструктура евтектоїду алюмінієвої бронзи з 10% Al  
збільшення x 250 - (а) та 500 – б)

Після деформації вилівка структура складається з кристалів  $\alpha$ -твердого розчину у вигляді світлих включень та темних кристалів евтектоїду (рис.3.11). Структура дрібнозерниста, чому сприяло модифікування бронзи залізом.



Рисунок 3.11 – Мікроструктура бронзи БрА10Ж4Н4Л після деформації та відпалу x250

Алюмінієва бронза після гартування внаслідок охолодження  $\beta$  - твердого розчину з критичною швидкістю має структуру  $\beta'$  – фази (мартенситу), що являє собою пересичений твердий розчин алюмінію в міді. Мікроструктура бронзи після гартування (мартенсит), ( рис.3.12).

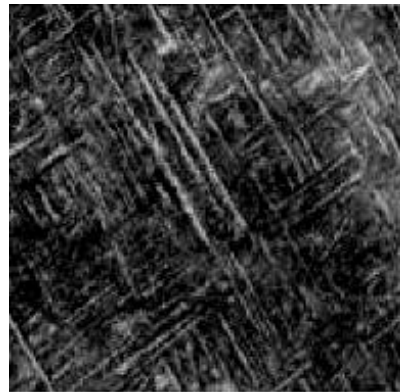


Рисунок 3.12 – Мікроструктура бронзи після гартування x 200.

Під час старіння при 300 °С відбувається розпад пересиченого  $\beta$  –твердого розчину на дисперсні фази –  $\alpha$  і  $\gamma_2$ , де:  $\alpha$  - Cu(Al)– твердий розчин алюмінію на базі решітки міді;  $\gamma_2$  – хімічна сполука  $Al_9Cu_{32}$ , що підвищує твердість та міцність втулок [14].

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВТУЛКА»

### 4.1. Технологія одержання втулки кришки верхньої головки шатуна

Основними операціями, які потрібно виконати для одержання втулки є наступні.

#### *1. Вибір матеріалу.*

Вибраний матеріал - бронза БрА10Ж4Н4, за своїми технологічними та механічними властивостями задовольняє вимогам, які висувають до антифрикційних матеріалів.

#### *2. Вибір способу виготовлення.*

Втулки виготовляють різними способами, які описані у попередніх розділах. З описаних, вибираємо – пресування (див. рис.2.9). Цей спосіб одержання заготовок дозволяє підвищити такі важливі характеристики бронзи як міцність та твердість. Вихідною заготовкою при одержанні втулок методом пресування вибираємо порожнисту заготовку, отриману відцентровим литтям (див. рис.2.10).

#### *3. Гомогенізуючий відпал.*

Для отримання однорідної структури виливки піддають гомогенізуючому відпалу. Температура відпалу 650 – 700 °С, витримка 2 години, охолодження на повітрі.

#### *4. Гартування.*

Алюмінієві бронзи в загартованому стані здатні до пластичної деформації. Температура нагрівання для гартування 980 °С. В якості охолоджуючого середовища вибираємо масло.

*5. Пресування* – одержання втулок. Вибираємо метод прямого пресування (див.рис. 2.10)

*6. Старіння.* Температура нагрівання 300 °С, витримка 2 години, охолодження на повітрі.

*7. Механічна обробка.* Призначається для надання втулкам заданих розмірів та чистоти поверхні.

Маршрутна технологія виготовлення деталі: послідовність технологічних операцій; вибір та опис обладнання для проведення операцій, зазначених в маршрутній технології.

Маршрутна технологія складається з таких послідовних кроків: підготовка шихтових матеріалів та отримання розплаву; отримання вилівка з бронзи; отримання заготовки втулки методом пресування; чорнова механічна обробка; термічна обробка; чистова механічна обробка, запресування, розточування, вихідний контроль.

#### *4.1.1. Властивості ливарних сплавів*

Із мідних сплавів найбільш широко застосовуються вилівки із бронзи і латуні. Вони мають хорошу зносостійкість, корозійну стійкість в атмосферних умовах, технічній і морській воді, високі антифрикційні властивості. Застосовуються бронзи олов'янисті і спеціальні. Олов'янисті бронзи включають 2...14% Sn, 4...5% Zn, 4...20% Pb, 1...5% Ni, до 1% P – це БрОЦС 5-5-5, БрОЦС 6-6-3, БрО10, БрОФ10-1 та інші. В цих бронзах олово підвищує механічні і антифрикційні властивості, корозійну стійкість. Цинк

зменшує інтервал кристалізації. Свинець покращує рідкотекучість, обробку різанням, антифрикційні і механічні властивості. Нікель підвищує механічні і антифрикційні властивості. Фосфор підвищує рідкотекучість і зносостійкість.

Олово є дорогим металом, то там де це можливо використовують сплави без нього. Високі ціни на олово спонукають виробників оловянисті бронзи замінювати спеціальними, такими як БрАЖ9-4, БрАЖС7-1,7-1,5, БрАЖМЦ 10-3-1,5, БрАЖН10-4-4 та інші. Їх механічні властивості вищі ніж оловянистих і вони мають достатньо високі антифрикційні і корозійні властивості.

Для виготовлення виливок крім бронз застосовують спеціальні латуні, які в залежності від легуючого елемента ( Al, Mn, Si, Fe, Pb ) поділяються на алюмінієві, кремністі, свинцевисті, марганцевисті та інші. Наприклад, ЛК80-3, ЛС59-1 та інші. Більшість латуней мають невелику лінійну усадку – 1,6...1,7%.

Ливарна усадка олов'янистих бронз біля 1%, тому виливки можуть бути отримані без додатків, що зменшує ливарні відходи. Шкідливі домішки Ві і Sb значно знижують механічні властивості виливок і збільшують їх пористість. Латуні мають більш високі ливарні властивості, чим бронзи. Вони мають малу схильність до утворення газової пористості, тому, що добре дегазуються при виплавленні в результаті утворення пари цинку. Тому із латуні легше отримати щільні і герметичні виливки.

#### 4.1.2. Одержання ливарного сплаву

В якості шихти при виплавленні бронзи і латуні використовують чисту мідь (99,99% Cu) і легуючі елементи (Al, Mn, Si, Fe, Pb та інші); мідні сплави – лом бронзових і латунних виробів, додатки, живильники, стояки та інші відходи ливарного виробництва. Легуючі елементи в першому випадку вводять у вигляді лігатур. Так, при легуванні залізом з температурою

плавлення 1539°C використовують лігатуру 90% Cu+10% Fe з температурою плавлення 900° С. При легуванні алюмінієм застосовують лігатуру 50% Cu+50% Al, яка має температуру плавлення 575°C. Для захисту металу від окислення плавлення проводять під шаром деревного вугілля або флюсу різного складу. Готовий сплав перед розливанням у форми розкислюють фосфористою міддю. Для формувальних сумішей застосовують дрібнозернистий пісок, що запезпечує отримання чистої і гладенької поверхні. В якості протипригарної добавки у формувальну суміш вводять мазут.

#### 4.1.3. Плавлення мідних сплавів

Шихту для мідних сплавів складають з первинних металів, лігатур, відходів власного виробництва і лому бронз і латуней. Лігатури (проміжні сплави) призначені для уведення тугоплавких компонентів в основний метал з невисокою температурою плавлення.

Мідні сплави при підвищених температурах активно окислюються. Тому їх плавлять під шаром деревного вугілля або флюсу і після розплавлення, а потім перед випусканням розкислюють фосфористою міддю.

Сплави міді плавлять у полумєневих, електричних дугових індукційних низькочастотних печах (рис.4.1). Мідні сплави для лиття розплавляють в дугових електропечах, індукційних печах із стальним осердям і без осердя, в полумєневих печах і тигельних печах.

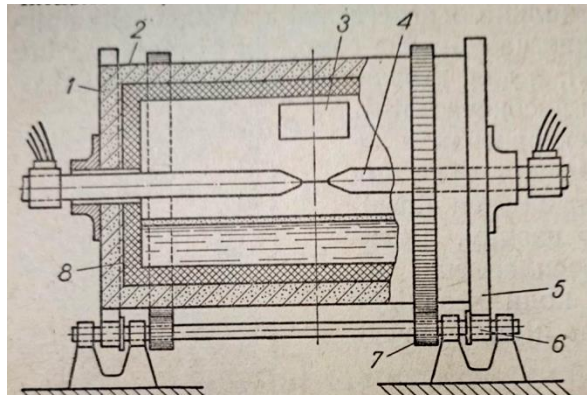


Рисунок 4.1 - Індукційна піч для плавлення бронзи (а).

Схема дугової мідеплавильної печі ДМХ (б) :

1 – теплоізоляційний шар; 2 – кожух; 3 – завантажувальне і випускне вікно;  
4- електроди; 5 - ободи; 6 - опорні ролики; 7 – шестірні; 8 - футеровка.

#### 4.1.4. Одержання вилівка

Для одержання заготовки для втулки вибрано спосіб відцентрового лиття на машині з вертикальною віссю обертання. Виливки з алюмінієвої бронзи БрА10Ж4Н4Л способом відцентрового лиття рекомендовано отримувати з використанням відновлювальної атмосфери.

1. Підготовка форми до заливання металом (покриття фарбою, підігрів і збирання). Для регулювання теплового режиму на робочу поверхню виливниці після попереднього підігріву (до  $200^{\circ}\text{C}$ ) наносять шар вогнетривкого покриття або хімічно активного покриття (феросиліцій, графіт, алюмінієвий порошок) з метою покращення властивостей поверхневого шару виливки.
2. Пуск машини (включення електродвигуна).
3. Заливання рідкого металу у форму, яка обертається з оптимальним числом обертів (заливання виконується мірним ківшем).
4. Зупинка машини (після повного затвердіння металу).

5. Розкриття форми (після зупинки машини).
6. Видалення із форми виливки (автоматичним виштовхувачем або вручну за допомогою розвідних кліщів).
7. Зачистка отриманих виливок. Температура рідкого металу, який заливається у форму повинен бути на  $100...150\text{ }^{\circ}\text{C}$  вище температури плавлення ( $1200 - 1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Відцентровий спосіб лиття має ряд суттєвих особливостей. Розплав, який розподілився під дією відцентрових сил у вигляді полого циліндра охолоджується з двох боків; з зовнішньої –  $93...95\%$  тепла віддає виливниці і з вільної поверхні (поверхні отвору) –  $3...5\%$  тепла випромінює у повітря. В середніх шарах метал залишається найбільш гарячим і значить, має меншу щільність. Частинки розплаву, які охололи на вільній поверхні, як більш щільніші (більш важкі), направляються під дією відцентрових сил в радіальному напрямку до стінок виливниці і переміщуються в більш гарячому і легкому розплаві. Гарячий розплав витісняється на вільну поверхню частинками, які тонуть, і які можуть бути рідкими, але більш холодними. Таким чином, при затвердінні розплаву в формі, яка обертається, на радіальному напрямку безперервно проходить конвекція. Вільна поверхня збагачується гарячим розплавом, що запобігає затвердінню його на цій поверхні. Вільна поверхня до останнього моменту затвердіння залишається рідкою і живить виливок. Частинки, які стали важчими у полі відцентрових сил – друга найхарактерніша особливість відцентрового способу лиття, яка обумовлює отримання щільних виливок. Частинка розплаву, яка стала важчою у десятки разів, переміщується до фронту кристалізації і живить міжкристалічні пустоти, які безперервно утворюються при твердінні. При відцентровому литті вільна поверхня твердіє останньою, завдяки чому неметалеві і газові включення, як найбільш легкі, виносяться на внутрішню вільну поверхню. Виливки отримуються з меншою кількістю неметалевих включень.

Для отримання якісних виливок необхідно знати оптимальну частоту обертання виливниці. Величина відцентрової сили залежить від числа обертів форми, маси розплаву, радіуса тіла обертання (виливки):  $r^2 P = mw$ , де  $m$  – маса розплаву;  $r$  – радіус тіла обертання;  $w$  – кутова швидкість. Кутова швидкість зв'язана з частотою обертання.  $30 w = \pi n$ , де  $n$  – число обертів форми. Невелика швидкість обертання форми не забезпечує хорошої якості виливки з геометрично правильною вільною поверхнею, а висока швидкість приводить до утворення ряду дефектів у виливках (тріщини на зовнішній поверхні, ліквації тощо). На частину розплаву, яка обертається діють дві сили: сила земного тяжіння – гравітаційна і відцентрова.

Найменше допустиме число обертів  $n$ , при якому вільна поверхня утворює циліндр з гладкою поверхнею і немає „дощування” (відриву капель розплаву від „стелі” і їх падіння) визначають із умови коли відцентрова сила повинна бути більша сили тяжіння. Частоту обертання форми визначають в залежності від розмірів виливки і типу сплаву, із якого її відливають, від положення осі обертання. При цьому найменше допустиме число обертів  $n$  визначається в об/хв.  $0.130 n k r \pi g =$ ,  $k_1$  – коефіцієнт надійності, який дорівнює 1,5...2;  $r_0$  – внутрішній радіус виливки;  $g=9,8$  м/с<sup>2</sup> – прискорення земного тяжіння. Величина відношення відцентрової сили  $mw^2 r$  до сили земного тяжіння  $mg$  отримала назву гравітаційного коефіцієнта  $k$ , який показує в скільки разів відцентрова сила більша сили тяжіння (звично  $k=30...50$ ). Якщо умовно застосувати „тяжіння” до частинки, яка знаходиться під дією відцентрової сили, то в полі відцентрових сил ця частинка в десятки разів важча, ніж у полі земного тяжіння. Розрахунок числа обертів горизонтальної циліндричної виливниці вираховується.

4.1.5. Одержання заготовки пресуванням з виливка способом прямого пресування (рис. 4.2).

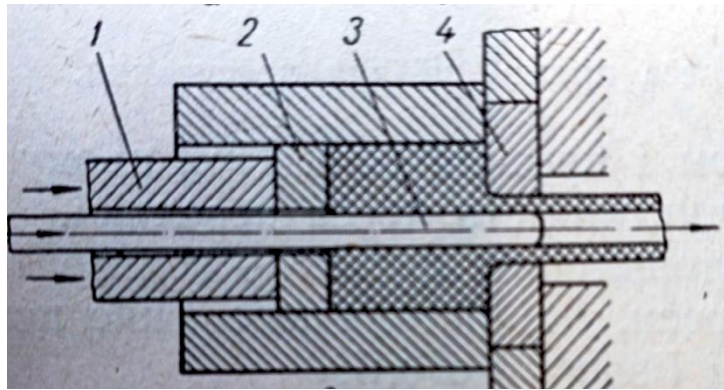


Рисунок 4.2 – Схема процесу прямого пресування трубчастих виробів: 1 - пуансон; 2 – прес-шайба; 3 – сталева голка; 4 – зовнішня поверхня матриці

Процес пресування здійснюється так. Всередині пуансона вміщують сталеву голку 3 (рис. 4.2), яка має самостійний рух. На початку процесу кінець голки знаходиться поблизу зовнішньої кромки прес-шайби 2. Щоб голку не відвело вбік, нагрітий зливоч попередньо підпресовують для заповнення металом усього поперечного перерізу контейнера. Потім голка переміщується вздовж зливка і прошиває його. Рух голки припиняється, коли її кінець досягне зовнішньої поверхні матриці 4. Далі прес-шайба витісняє метал зливка в кільцевий зазор, утворений голкою і матрицею. Обладнання для пресування.

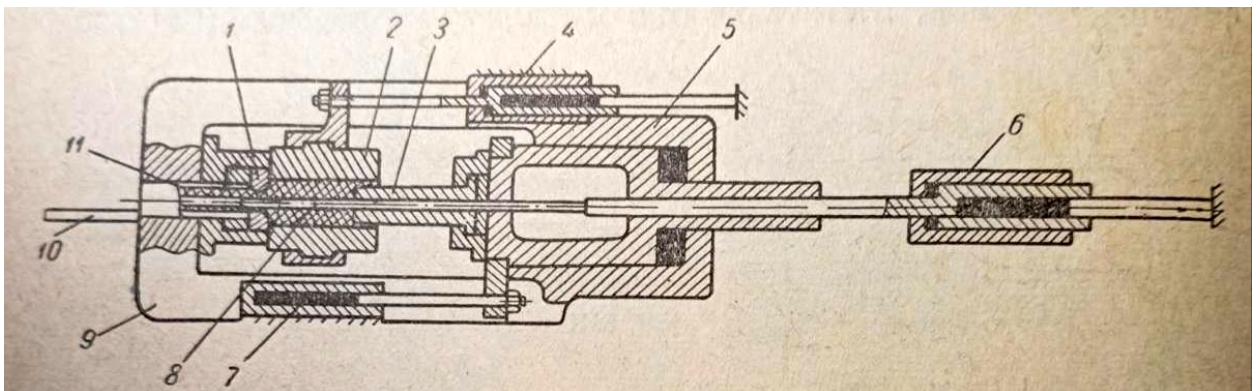


Рисунок 4.3 – Схема горизонтального преса прямої дії для пресування:

- 1- матриця; 2- контейнер; 3 – прес-шайба з пуансоном;  
4- гідравлічний циліндр; 5 – плунжер; 6 – циліндр; 7 – циліндр; 8 – голка;  
9 – станина; 10 – напрямний жолоб; 11 – труба.

Прес прямої дії працює наступним чином: контейнер 2 під дією спеціального гідравлічного циліндра 4 притиснутий до матриці 1, що закріплена на станині 9 зливка спочатку підпресовується прес – шайбою з пуансоном 3, а потім прошивається голкою 8, якій надає руху циліндр 6. Голка зупиняється, а пуансон 3 під тиском плунжера головного циліндра 5 виконує роботу по пресуванню труби 11, яка підтримується напрямним жолобом 10. Головний плунжер відводиться у вихідне положення циліндром 7, а контейнер відсувається праворуч циліндром 4. Переміщення плунжерів у циліндрах здійснюється за допомогою води, що подається під тиском 2- 30 МН/м<sup>2</sup>. Гідравлічні преси використовують для прямого методу пресування з максимальним зусиллям 3 – 120 МН.

#### 4.1.6. Механічна обробка

Заготовка порожниста, отже механічна обробка буде складатись із декількох операцій.

1. На токарному верстаті виконують розточування, а на свердлильному – зенкерування та розвертування отвору.
2. Зняття фасок з протилежного торця втулки виконують на токарно-свердлильному або токарному верстаті.
3. Свердління отворів для змащування.
4. Нарізання мастильних канавок на спеціальному верстаті.
5. Чистова обробка: притирання.

*Розточування* – процес обробки внутрішніх циліндричних поверхонь виконують розточними різцями, закріпленими в різцетримачі (рис.4.4).

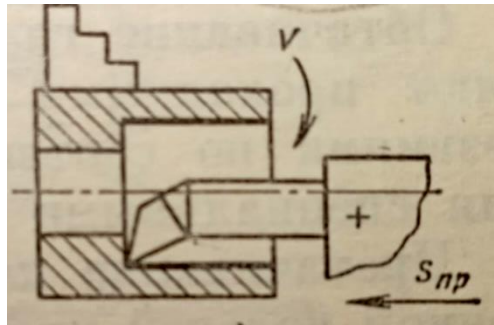


Рисунок 4.4– Схема розточування отвору на токарно-гвинторізному верстаті.

*Зенкерування* – процес обробки циліндричних литих, штампованих або попередньо отриманих отворів зенкером для надання їм правильної геометричної форми, потрібних розмірів і необхідної чистоти поверхні (рис.4.5).

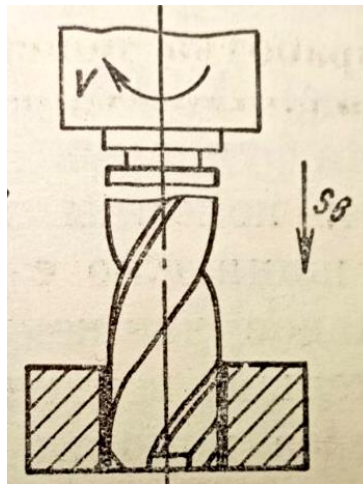


Рисунок 4.5 – Схема зенкерування отвору на свердильних верстатах.

*Розвертання* – процес остаточної обробки отворів розвертанням з метою надання їм точних розмірів і високої чистоти поверхні (4.6).

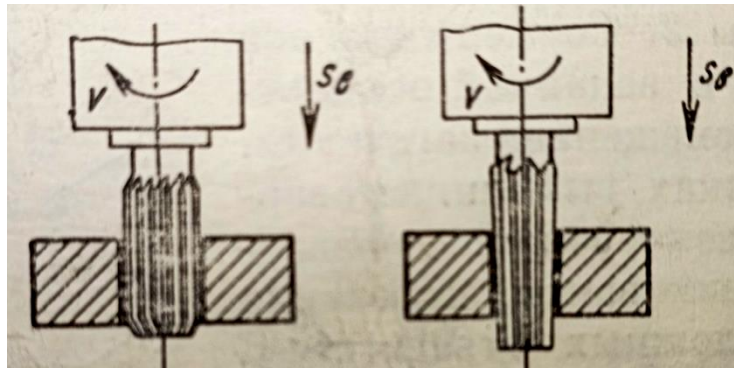


Рисунок 4.6 - Схема обробки заготовок при виконанні операції розвертування

*Притирання* : суть технології.

Притирання дозволяє отримати поверхні з необхідним ступенем шорсткості та заданими відхиленнями шляхом зняття з поверхні оброблюваної деталі тонкого шару металу за допомогою дрібнозернистого абразивного порошку або пасти. Абразивний матеріал наносять на поверхню деталі або на спеціальне пристосування – притир (рис.4.7).

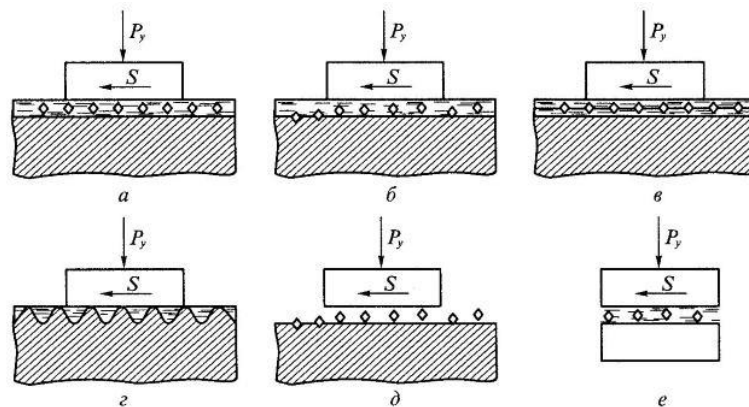


Рисунок 4.7 - Схеми притирання металевих поверхонь:

а) – з неперервною подачею суспензії; б) – шаржованим притиром; в) – монолітним алмазним притиром; г) - безабразивне доведення; д) – без змащування; е) - взаємне доведення:  $P_y$ - зусилля притискання;  $S$  – подача

### 4.3. Ремонт втулок

Технічні умови виготовлення втулок передбачають декілька особливостей виконання операцій та дотримання розмірів виробу.

Отвори піддають остаточній обробці після запресування втулки. Різностінність допускається в межах 0,03..0,15 мм, а не перпендикулярність торцевих площин до осі отвору – до 0,2 мм на 100 мм радіуса. Цей показник не має перевищувати 0,02 ...0,3 мм при осьовому навантаженні на торці.

Втулки можуть бути виготовлені із сталі, антифрикційного чавуну, латуні, бронзи, спеціальних сплавів, кераміки чи пластмаси.

Спрацьовані втулки верхньої головки шатуна випресовують і замінюють новими іноді проводять ремонт втулок. Найбільш простим методом відновлення втулок, які використовували в якості підшипників ковзання, є пластична деформація. Її виконують як в гарячому, так і в холодному стані. Доцільно виконувати осаджування і обтискання, після чого втулки запресовують у головку шатуна і розточують під новий палець (рис.4.8).

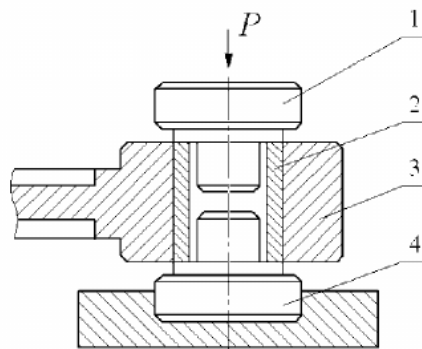


Рисунок 4.8 – Осаджування втулки верхньої головки шатуна:

1, 4 –оправка; 2 – втулка; 3 - шатун

Нові втулки обробляють на алмазно-розточувальних верстатах 2А78Н з універсальним шпинделем і спеціальним оснащенням, яке враховує конструкцію шатуна. Для підвищення якості робочої поверхні втулки і надійності її посадки виконують імпульсивне розвальцьовування на

вертикально-свердильному верстаті 2A125 або 2A135 при частоті обертання 1000 хв протягом 30-50 с. Припуск на обробку розвальцьовування дають 0,03-0,05 мм. Шорсткість робочої поверхні втулки після розвальцьовування не перевищує 0,32 мкм.

#### 4.4. Ремонт шатуна

Втулка у верхню головку шатуна запресовується на пресі. На свердильному станку за допомогою розвертки здійснюють розвертання втулки (рис.4.9).



а)



б)



в)

Рисунок 4.9 - Ремонт втулки верхньої головки шатуна

Зовнішній діаметр  $D$  втулки для розточеного на ремонтний розмір отвори в шатуні повинен бути 56,25 мм.

Бронзову втулку запресовують з натягом 0,05 - 0,12 мм урівень з торцем шатуна, поєднавши масляні отвори у втулці і шатуні. Перед запресовуванням втулку охолоджують до температури мінус 50°C у спеціальному контейнері

з сухим льодом. Натяг між втулкою і верхньою головкою шатуна має бути в межах 0,05 ..0,18 мм [16].

## **ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ**

1. На основі вивчення умов роботи втулки кришки верхньої головки шатуна ГРМ, основних пошкоджень, що зменшують строки експлуатації такої важливої деталі як втулка, запропоновано:

1. Вибрано матеріал, який за показниками міцності та зносостійкості не поступається кращим антифрикційним матеріалам на основі олова.

2. Вибрана бронза марки БрА10Ж4Н4Л не містить дорогих компонентів, а за технологічними та експлуатаційними характеристиками перевершує властивості деяких з них.

3. Запропонована бронза має високі ливарні властивості - високу рідкотекучість, усадку до 1,6% і характеристики пластичності, відносне видовження до 35%, що дозволяє виготовляти деталі як литтям так і обробкою тиском.

4. Алюмінієва бронза добре обробляється тиском в загартованому стані.

Здатність загартованої бронзи до дисперсійного твердіння дозволяє збільшити твердість готових деталей.

5. Бронза має низький коефіцієнт тертя, що дозволяє рекомендувати її для виготовлення втулки кришки верхньої головки шатуна.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. Основи творення машин / [За редакцією О.В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. – Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с.: 52 іл. ISBN 978-966-2989-39-7
2. Пахаренко В. Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): Навчальний посібник.- Рівне: НУВГП, 2009,-179с.
3. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.
4. Кіндрачук М.В. Трибологія: підруч. / М. В. Кіндрачук, В. Ф. Лабунець, М. І. Пашечко, Є. В. Корбут. – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк». – 2009. – 392 с.
5. Технології виготовлення деталей класу «Порожнисті циліндри» (втулки) : Методичні вказівки до практичних занять та виконання індивідуальних завдань з дисциплін «Технологія обробки типових деталей та складання машин» та «Технологія машинобудування» / Укладачі: Паливода Ю. Є, Дячун А. Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 56 с.
6. Матеріали для виготовлення виробів транспортного призначення : навч. посіб. / Л .А. Тимофєєва, С. С. Тимофєєв, І. І. Федченко, Г. Л. Комарова, В. М. Остапчук. Харків: УкрДУЗТ, 2017. 173 с.
7. Криворучко О. М. Методичні вказівки до виконання індивідуальних завдань з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання

машин» для студентів за фахом 7.090202 заочної форми навчання / О. М Криворучко. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 24 с.

8. Ларцев, С. Д. Підвищення антифрикційних властивостей втулок шатуна ДВЗ : дипломна робота магістра : 132 Матеріалознавство / Ларцев Сергій Дмитрович. – Харків : ХНАДУ, 2021. – 83 с.

9. Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. / С. В. Марченко, О. П. Гапонова, Т. П. Говорун, Н. А. Харченко. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 146 с. ISBN 978-966-657-612-8

10. Бронзи олов'яні. Метод рентгенофлуоресцентного аналізу ДСТУ 3731-98 (ГОСТ 30608) : державний стандарт України : введено вперше : чинний від 2000-01-01.

11. ДСТУ ISO 6506-1: 2007. Матеріали металеві. Визначення твердості за Брінеллем.

12. Кімстач Т. В., Узлов К. І., Усенко Р. В., Солоненко Л. І. Корозійна стійкість бронзових виробів. Стратегія якості в промисловості і освіті: матеріали. XVI Міжнародної конференції, м. Варна, Болгарія, 02–05 червня 2021 р. Варна: ТУ–Варна, 2021. С. 78–83. URL: <https://nmetau.edu.ua/file/--sbornik-varna-2021-full.pdf>.

13. Дзюбіна А. В., Узлов К. І., Кімстач Т. В. Закономірності структуроутворення ливарних алюмінієвих бронз. Молоді вчені 2021 – від теорії до практики : матеріали XII Всеукраїнської конференції, м. Дніпро, 25 березня 2021 р. Дніпро: НМетАУ, 2021. С. 34–38. URL: <https://nmetau.edu.ua/file/--molvch-2021-full.pdf>.

14. Аналіз відповідності нормативних вимог до алюмінієвих бронз закономірностям структуроутворення в системі Cu-Al // Узлов К.І., Реп'ях С.І., Дзюбіна А.В., Кімстач Т.В., Мовчан О.В /Теорія і практика металургії №5, 2019 55 ISSN 1028-2335 с. 55 - 63.

15. 11. Дробот О.С., Підгайчук С.Я., Боровик Л.В. Технологія конструкційних матеріалів і основи матеріалознавства в технічних системах охорони державного кордону. Навчальний посібник. Рекомендований Вченою Радою Національної академії Державної прикордонної служби України ім.Б.Хмельницького. м. Хмельницький. НАДПСУ, 2019. 264с.
16. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. – К.: Знання - Прес, 2003. – 511с.
17. ГОСТ 493-79 Бронзы безолов'яні ливарні. Марки – 1979. – 3 с.
18. ГОСТ 613 – 79 Бронзы олов'яні ливарні. Марки. – 1979. – 5 с.
19. ДСТУ ISO 6508-1: 2013. Матеріали металеві. Визначення твердості за Роквеллом.

## ДОДАТКИ

### Слайд1

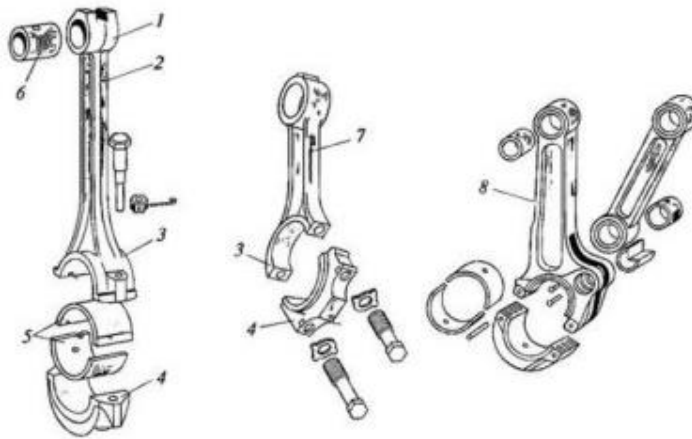
Хмельницький національний університет	
Факультет інженерії, транспорту та архітектури	
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства	
Галузь знань –	13 – Механічна інженерія
Спеціальність	132 – Матеріалознавство
Рівень вищої освіти	- Перший бакалаврський
Тема проєкту (роботи)	
<b>«Розробка технологічного процесу зміцнення втулок шатуна ГРМ»</b>	
Студент групи МТВА 20-1	Олександр САВЧУК
Керівник проєкту (роботи)	Ольга ДРОБОТ к.т.н., доцент

### Слайд 2

<b>2.</b>	<b>Цілі та задачі бакалаврської роботи</b>
<b>Ціль роботи</b> – <i>Вибір матеріалу та розробка технологічного процесу виготовлення та зміцнення втулки верхньої головки шатуна.</i>	
<b>Завдання, поставлені в роботі:</b> <i>зробити аналіз умов роботи втулок (підшипників ковзання) верхньої головки шатуна, на основі літературних джерел запропонувати матеріал та розробити технологічний процес одержання та зміцнення втулок. Дослідити структуру та властивості втулок .</i>	
<b>Об'єкт досліджень:</b> <i>підшипники ковзання.</i>	
<b>Предмет досліджень:</b> <i>втулка верхньої головки шатуна</i>	

### Слайд 3

<b>3.</b>	<b>Елементи шатунної групи</b>
-----------	--------------------------------



Деталі шатунної групи: 1- верхня головка шатуна; 2 – стрижень; нижня головка шатуна; 4 – кришка нижньої головки ; 5 – вкладні; 6 – втулка; 7 – шатун дизеля; 8 – основа шатунного вузла.

4.

### Призначення та види втулок



Втулка шатуна двигуна PERKINS

*Втулки за призначенням поділяють:*

фланцеві; втулки ковзання, циліндричні; різьбові втулки / втулки з внутрішнім різьбленням; перехідні втулки; втулки підшипників (так звані підшипникові втулки); кріпильні втулки; втулки стабілізатора; втулки під фланець; втулки рульової рейки; втулки амортизатора; втулки планетарні; втулки розрізні.

5.

### Шатун з втулкою, запресованою у верхню головку



<b>6 Причини пошкодженнь</b>	
<i><b>Шатуна</b></i>	<i><b>Втулки</b></i>
<p>Знос втулок верхніх і вкладишів нижніх головок;</p> <p>жолоблення поверхні п'яти (порожнини з'єднання нижньої головки шатуна);</p> <p>спрацювання внутрішньої поверхні верхньої та нижньої головок, опорних поверхонь під головки болтів;</p> <p>відхилення від паралельності поверхні нижньої і верхньої головок (скручування);</p> <p>перекіс осей в одній площині (згин), який перевищує допустиме.</p>	<p>Знос отвору втулки верхньої головки і отвору під втулку внаслідок тривалого часу експлуатації чи виникнення аварійних ситуацій;</p> <p>зміна геометрії чи розмірів (виникає еліпсоїдність, або збільшується розмір).</p>

<b>7 Матеріали для виготовлення втулок</b>	
<i><b>Олов'яно – свинцевисті бронзи</b></i>	
<p><i><b>Марки :</b></i> БрОС8-12, Бр ОС5-25, Бр С30, БрО10, БрО10С10, БрО19, БрО3Ц12С5Л</p>	
<i><b>Властивості</b></i>	

Показник	Марка бронзи		
	БрОС 8 -12	БрОС 5 - 25	Бр С30
Температура плавлення , °С	950	940	975
Твердість, НВ	61	57	28
Ударна в'язкість, Дж//см <sup>2</sup>	12	23	7,8
Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	18	17,6	18,4
Коефіцієнт тертя $\mu$ з мастилом	0,007	0,005	0,009
Коефіцієнт тертя $\mu$ без мастила	0,13	0,14	0,165
Міцність, МПа	205	146	76

8. **Властивості алюмінієвих бронз**

Показник	Марка бронзи		
	БрАЖ 9-4	БрАЖМц 10-3-1,5	БрАЖН 10-4-4
Температура плавлення, °С	1040	1062	1082
Твердість, НВ	144	130	190
Ударна в'язкість, Дж//см <sup>2</sup>	63	63	32
Коефіцієнт лінійного розширення	18,1	16	17,1

$\alpha 10^{-6} \text{ K}^{-1}$			
Коефіцієнт тертя $\mu$ з мастилом	0,004	0,012	0,011
Коефіцієнт тертя $\mu$ без мастила	0,18	0,25	0,2
Теплопровідність, Вт / мК	0,22	0,12	0,23
Міцність, МПа	550	600	650

### 9. Властивості бронз з цинком та фосфором

<i>Показник</i>	<i>Марка бронзи</i>		
	БрОЦС 4-4-2	БрОФ 6,5 – 0,4	Бр ОЦС 4-4-17
Температура плавлення, °С	965	995	965
Твердість, НВ	67	82	62
Ударна в'язкість, Дж//см <sup>2</sup>	2,5	5,5	0,87

10

### Властивості антифрикційних латуней

<i>Показчик</i>	<i>Марка латуней</i>		
	ЛС59-1	ЛМцЖ52-4-1	ЛКС 80-3-3
Температура плавлення, °С	885	918	909
Твердість, НВ	71	95	93
Ударна в'язкість, Дж//см <sup>2</sup>	75	52	40
Коефіцієнт лінійного розширення	20,9	22,7	17

$\alpha 10^{-6} \text{ K}^{-1}$			
Коефіцієнт тертя $\mu$ з мастилом	0,014	0,05	0,009
Коефіцієнт тертя $\mu$ без мастила	0,18	0,25	0,2
Теплопровідність, Вт / мК	0,46	0,32	0,15
Міцність $\sigma_B$ , МПа	290	50	40

11	<b>Антифрикційні матеріали для виготовлення втулок</b>	
<b>Бронзи</b>	БрОС8-12, Бр ОС5-25, Бр С30, БрО10, БрО10С10, БрО19, БрОЗЦ12С5Л, БрА9Ж3Л, БрА10Ж3Мц2, БрОЦС 4-4-2, БрОФ 6,5 – 0,4, Бр ОЦС 4-4-17	
<b>Латуні</b>	ЛМцЖ52-4-1, ЛКС 80-3-3, ЛАЖ 60-1-1, ЛЦ40С, ЛС59-1Л	
<b>Сталі</b>	35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2, 30ХМ, 3ХМА, 35ХМ, 38ХМ, 40ХН, 45ХН, 30ХН3А, 30ХНР, 40ХНР, 40 ХГНР	
<b>Чавуни</b>	АЧС-1, АЧС -2	
<b>Сплави на основі алюмінію</b>	АСМ ( 0,5 % Mg та 3...5 % Sb), АСС - 6 – 5 (0,5 % Mg та 3...5 % Sb і 4...5% Pb), АО20 -1 (17-20% Sn до 1,2 % Cu)	
<b>Сплави на основі цинку</b>	ЦВМ 10-5, ЦАМ 9-1,5	
<b>Полімерні матеріали</b>	Текстоліт ПТК, капрон, тефлон	

12	<b>Структура</b>	<b>бронз</b>
	<i>Олов'яниста бронза в литому стані</i>	<i>Свинцева бронза</i>



13

### Виготовлення втулок пресуванням

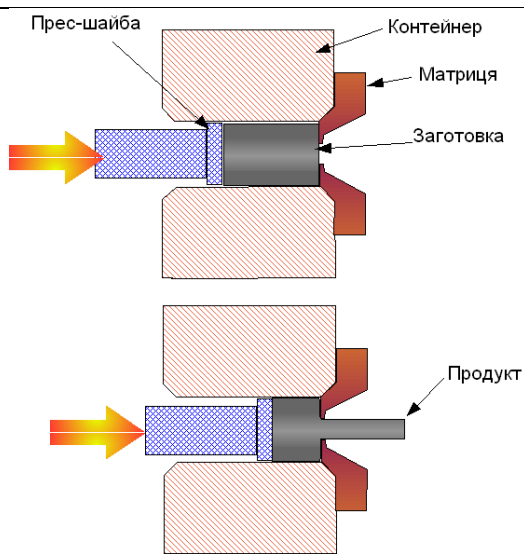
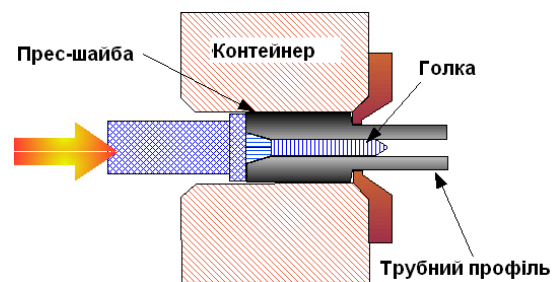


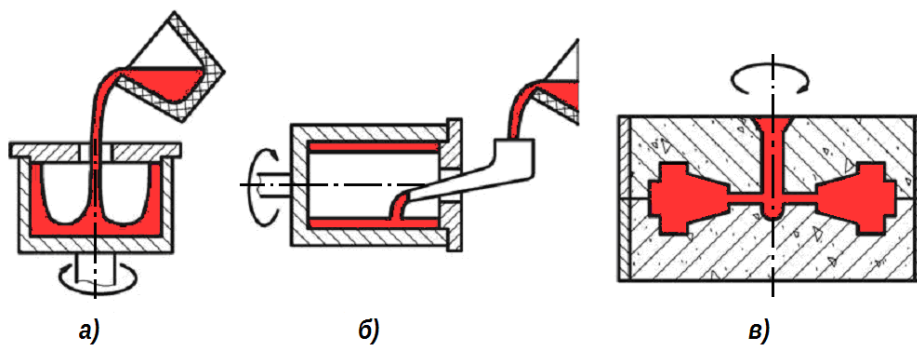
Схема процесу прямого пресування



Отримання трубчатого профілю прямим пресуванням

14

### Схема одержання втулок литтям



Схеми роботи устаткування для відцентрового лиття:

- а) з вертикальною віссю обертання; б) з горизонтальною віссю обертання;  
в) для лиття методом центрифугування

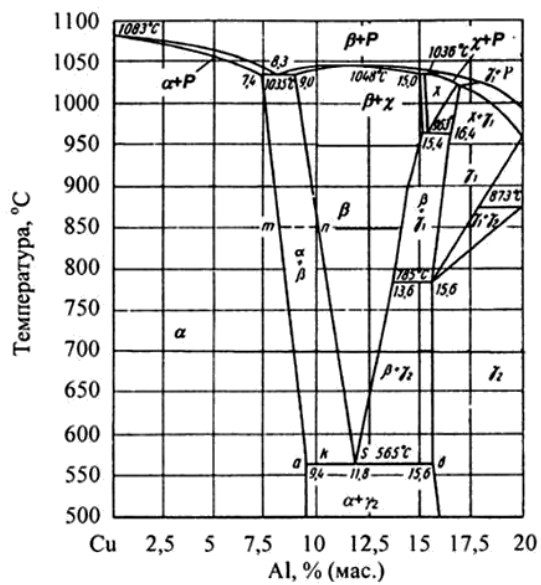
15

### Склад і властивості бронзи БрА10Ж4Н4Л

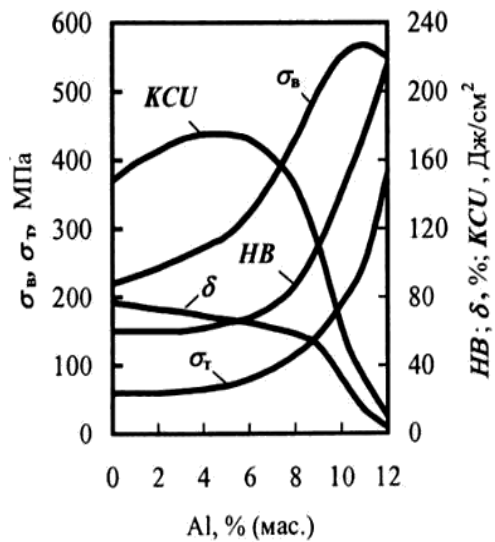
Марка	Склад бронзи, %			Механічні властивості				
	Al	Fe	Ni	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ , %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	НВ	Гтер. у мастилі / без мастила
БрА10 Ж4Н4Л	9, 5-11	3,5 -5,5	3,5 -5,5	600	35	7,7	190	0,004 / 0,18

16

### Властивості алюмінієвих бронз



Діаграма стану мідь - алюміній



Вплив алюмінію на механічні властивості бронз

17

## Методи досліджень. Обладнання та прилади.



Металографічний мікроскоп Оптика



Твердомір для вимірювання твердості за методом Брінелля та Роквелла TR – 5006



Індукційна піч для плавлення бронзи



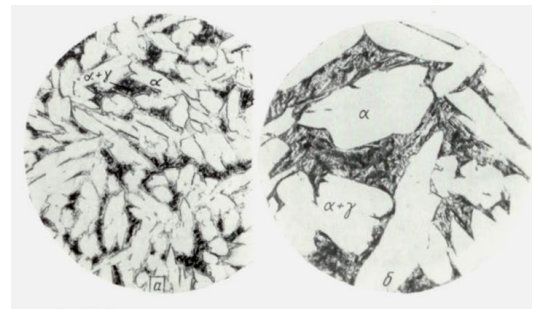
Ремонтне обладнання

18

## Структура алюмінієвих бронз



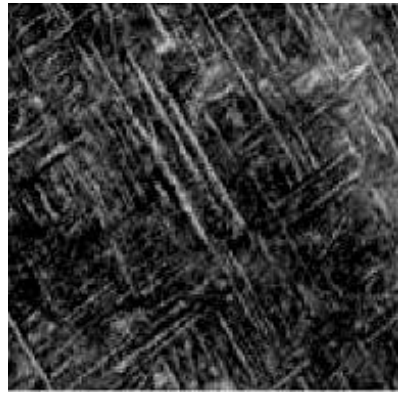
Мікроструктура алюмінієвої бронзи  
в литому стані  $\times 75$ .



Мікроструктура евтектоїду  
алюмінієвої бронзи з 10% Al  
збільшення  $\times 250$  - (а) та  $500$  – б)



Мікроструктура бронзи  
BrA10Ж4Н4Л після деформації та  
відпалу x 250



Мікроструктура бронзи після  
гартування x 200

19 <b>Маршрутна технологія виготовлення деталі «Втулка»</b>	
<b>Вибір матеріалу</b>	Вибраний матеріал - бронза BrA10Ж4Н4, за своїми технологічними та механічними властивостями задовольняє вимогам, які висувають до антифрикційних матеріалів
<b>Вибір способу виготовлення</b>	Пресування. Цей спосіб дозволяє підвищити такі важливі характеристики бронзи як міцність та твердість. Вихідною заготовкою для пресування вибираємо порожнисту заготовку, отриману відцентровим литтям.
<b>Гомогенізуючий відпал</b>	Для отримання однорідної структури виливки піддають гомогенізуючому відпалу. Температура відпалу 650 – 700 °С, витримка 2 години, охолодження на повітрі
<b>Гартування</b>	Температура нагрівання 980°С. Охолоджуюче середовище - масло.
<b>Пресування</b>	Метод прямого пресування
<b>Старіння</b>	Температура нагрівання 300°С, витримка 2 години, охолодження на повітрі.

**Механічна  
обробка**

Для надання втулкам заданих розмірів та чистоти поверхні.

20

## **ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ**

1. На основі вивчення умов роботи втулки кришки верхньої головки шатуна ГРМ, основних пошкоджень, що зменшують строки експлуатації такої важливої деталі як втулка, запропоновано:

1. Вибрано матеріал, який за показниками міцності та зносостійкості не поступається кращим антифрикційним матеріалам на основі олова.

2. Вибрана бронза марки БрА10Ж4Н4Л не містить дорогих компонентів, а за технологічними та експлуатаційними характеристиками перевершує властивості деяких з них.

3. Запропонована бронза має високі ливарні властивості - високу рідкотекучість, усадку до 1,6% і характеристики пластичності, відносно видовження до 35%, що дозволяє виготовляти деталі як литтям так і обробкою тиском.

4. Алюмінієва бронза добре обробляється тиском в загартованому стані. Здатність загартованої бронзи до дисперсійного твердіння дозволяє збільшити твердість готових деталей проведенням старіння.

5. Бронза має низький коефіцієнт тертя, що дозволяє рекомендувати її для виготовлення втулки кришки верхньої головки шатуна.