

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра прикладного матеріалознавства та технології  
конструкційних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ:

завідувач кафедру

Гапонова О.П.

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ДЛЯ ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА  
за напрямом підготовки 132«Матеріалознавство»

Тема роботи : «\_Вибір матеріалу та маршрутної технології отримання деталі  
«стійка стабілізатору»

Виконав:

Дермельов Ігор Олександрович

Керівник:

Марченко С.В.

Залікова книжка № 17510019

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

\_\_\_\_\_  
підпис

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК:

Сидоренко Ю.Ю.

\_\_\_\_\_  
оцінка, дата

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

Суми 2021

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство і технології конструкційних матеріалів»

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

завідувач кафедрою

Гапонова О.П.

\_\_\_\_\_

дата, підпис

### ЗАВДАННЯ

ДЛЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

НА ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

Дермельов Ігор Олександрович

1. Тема проекту(роботи): «Вибір матеріалу та маршрутної технології отримання деталі «стійка стабілізатору» затверджена Наказом по університету від «30» березня 2021 р. № 0136-VI
2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи) \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані до проекту(роботи) креслення деталі(додаток А) \_\_\_\_\_
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) Аналіз умов роботи деталі, літературний огляд, вибір матеріалу та методів дослідження, маршрутна технологія виготовлення деталі, розрахунково-експериментальна частина.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	Квітень-травень 2021	Виконано
2	Огляд літератури	Травень 2021	Виконано
3	Характеристика матеріалів деталі	Травень 2021	Виконано
4	Розробка маршрутної технології виготовлення деталі	Травень 2021	Виконано

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник проекту \_\_\_\_\_

(підпис)

## РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота містить 65 сторінок, складається з двох розділів, включає в себе 63 рисунків, 9 таблиці, та список із 19 використаних літературних джерел

Мета роботи – удосконалення технології отримання деталей машин з поліуретану на основі методу вільного лиття

Задача:

- аналіз умов роботи деталі стійки стабілізатору
- обґрунтування вибору матеріалу для виготовлення деталі
- аналіз сучасних технологій отримання деталей машин із поліуретану
- удосконалення технології отримання деталі

КЛЮЧОВІ СЛОВА: стійка стабілізатора, втулка, поліуретан, методи лиття, технологія виготовлення, маршрутна технологія, силіконова та металічна форми.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>РОЗДІЛ 1</b> .....	7
<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МАТЕРІАЛІВ</b> .....	7
<b>1.1 Стійка стабілізатора автомобіля</b> .....	7
<b>1.2 Неметалічні матеріали, що використовуються для виготовлення деталі</b> .....	9
<b>1.2.1 Класифікація полімерів</b> .....	9
<b>1.2.2 Еластомери</b> .....	12
<b>1.2.3 Поліуретан як перспективний матеріал для виготовлення деталі</b> .....	18
<b>1.3.1 Отримання поліуретану</b> .....	21
<b>1.3.2 Виготовлення деталей з поліуретану</b> .....	22
<b>Висновки</b> .....	31
<b>РОЗДІЛ 2</b> .....	32
<b>РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ</b> .....	32
<b>2.1 Технологія виготовлення деталей методом вільного лиття в силіконову форму</b> .....	32
<b>2.1.1 Переваги і недоліки методу вільного лиття в силіконову форму</b> .....	45
<b>2.2 Технологія виготовлення деталей методом вільного лиття до металевої форми</b> .....	46
<b>2.3 Різниця методів лиття</b> .....	58
<b>2.3.1 Переваги і недоліки методу вільного лиття в металеву форму</b> .....	58
<b>2.3.2 Порівнювальний аналіз технологій лиття в силіконову і металеву форму</b> .....	58
<b>2.5 Використане обладнання</b> .....	60
<b>Висновки</b> .....	61
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	63
<b>Додаток А</b> .....	65

## ВСТУП

Актуальність теми: технологічна промисловість зростає з кожним роком що зумовлює використання різних матеріалів для вдосконалення або заміни компонентів приладів та деталей.

Виготовлення деталей з альтернативних матеріалів дає змогу зменшити витрати на виробництві, збільшити технологічність виробництва, чи зменшити час виготовлення виробу.

В останній час набуло явлення використання неметалевих матеріалів як альтернатива металевих, що дає змогу використовувати нові підходи в виробництві.

Мета роботи – удосконалення технології отримання деталей машин з поліуретану на основі методу вільного лиття

Задача:

- аналіз умов роботи деталі стійки стабілізатору
- обґрунтування вибору матеріалу для виготовлення деталі
- аналіз сучасних технологій отримання деталей машин із поліуретану
- удосконалення технології отримання деталі

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МАТЕРІАЛІВ

#### 1.1 Срійка стабілізатора автомобіля

Як відомо [1], срійка стабілізатора - один з елементів підвіски автомобіля, що відноситься до стабілізуючої системи. Основним робочим механізмом даної системи є стабілізатор поперечної срійкості (СПУ), необхідний для запобігання перекидання і перевертання автомобіля при різких маневрах: гальмуванні, повороті і т.д.

Призначення срійки стабілізатора в підвісці автомобіля

Срійка стабілізатора передня і задня (їх також називають тяги, кісточки, рідше - лінки) - це шарнірні елементи, розташовані по кінцях стабілізуючої балки і забезпечують їх з'єднання з рухливими деталями підвіски (кулаками, маточиною, важелями). З їх допомогою кузов і підвіска автомобіля як би з'єднуються в одне ціле, при цьому динамічні характеристики автомобіля поліпшуються

Крім забезпечення рухомого з'єднання, біля срійок стабілізатора є ще одна важлива функція - за рахунок їх рухливості, СПУ в зібраному стані виходить трохи скручений, що збільшує його жорсткість, і на поворотах ефективність роботи стабілізатора збільшується [1].

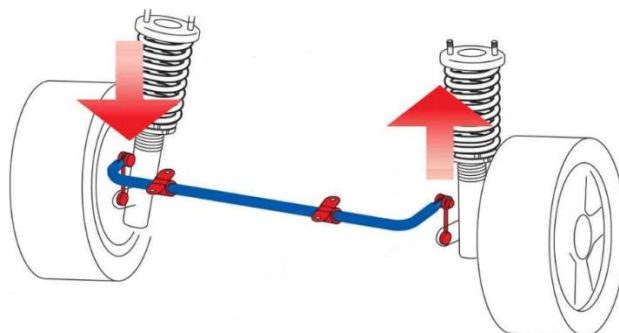


Рисунок 1.1 – Схема принципу роботи автомобільного стабілізатора [1].

## Основні елементи стійки стабілізатора

Стійка стабілізатора поперечної стійкості являє собою металевий прут, довжиною від 5 до 25 см (рідше в ролі центральної частини стійки виступає металева пластинка), з кріпильними елементами на кінцях. Останні можуть бути виконані або у вигляді вушок зі втулками, або у вигляді шарнірів[2].

### Причини виходу з ладу

Тяга стабілізатора працює за принципом демпфера, що гасить високі різноспрямовані зусилля. Під постійним впливом ударів, при проходженні різних нерівностей, шарнірні з'єднання поступово руйнуються і деталі приходять в непридатність.

Стійка стабілізатора поперечної стійкості з'єднує стабілізатор з поворотним кулаком (або маточиною, якщо мова йде про задній підвісці), забезпечуючи нежорстке з'єднання, що має на увазі обмежену рухливість об'єднаних елементів. Це необхідно для того, щоб при русі, наприклад, в повороті, при виникненні різноспрямованих сил, що діють на кузов і підвіску (кузов прагне нахилитися, а підвіска при цьому повинна притискати колесо до асфальту), ці сили не ламали пов'язані елементи - вушка маточини і стабілізатора. Стійка стабілізатора бере на себе, по суті, функцію демпфера, гасячи найбільші зусилля.

Як відомо [2], при роботі стійка відчуває істотне навантаження, яка призводить до поступового руйнування шарнірних з'єднань.

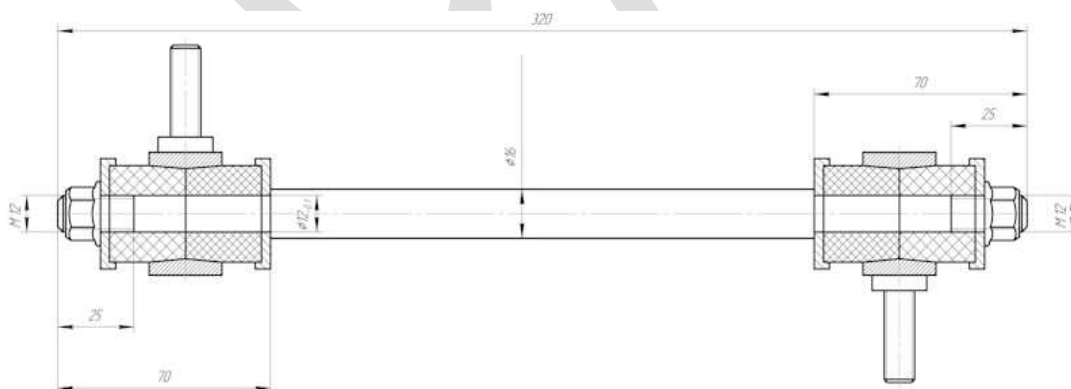


Рисунок 1.2 – Приклад креслення типової стійки стабілізатору [2]



Креслення до деталі яка виготовляється знаходиться в додатку А.

## **1.2 Неметалічні матеріали, що використовуються для виготовлення деталі**

До неметалічних матеріалів відносяться полімерні матеріали органічні і неорганічні: різні види пластичних мас, композиційні матеріали на неметалеві основі, каучуки і гуми, клеї, герметики, лакофарбові покриття, а також графіт, скло, кераміка. Такі їх властивості, як достатня міцність, жорсткість і еластичність при малій щільності, прозорість, хімічна стійкість, діелектричні властивості, роблять ці матеріали часто незамінними. Також слід зазначити їх технологічність і ефективність при використанні. Ці матеріали знаходять все більше застосування в різних галузях машинобудування. Основою неметалічних матеріалів є полімери, головним чином синтетичні [3].

Один із видів неметалевих матеріалів, а саме полімери.

### **1.2.1 Класифікація полімерів**

Полімерами називають речовини, макромолекули яких складаються з численних елементарних ланок (мономерів) однакової структури. Молекулярна маса їх становить від 5 000 до 1 000 000. За таких великих розмірах макромолекул властивості речовин визначаються не тільки хімічним складом цих молекул, але і їх взаємним розташуванням і будовою.

Макромолекули полімеру являють собою ланцюжки, які складаються з окремих ланок. Довжина ланцюга в кілька тисяч раз більше їх поперечного перерізу, тому макромолекулам полімеру властива гнучкість (яка обмежена розміром сегментів - жорстких ділянок, що складаються з декількох ланок). Гнучкість макромолекул є однією з особливостей полімерів [3].

Атоми, що входять в основну ланцюга, пов'язані міцним хімічним (ковалентним) зв'язком. Енергія хімічних зв'язків становить 330-360 кДж/моль, сили міжмолекулярної взаємодії, мають зазвичай фізичну природу, значно менше

(540 кДж/моль). Найбільш сильні міжмолекулярні взаємодії є наслідком що здійснюються за допомогою водневих зв'язків (до 50 кДж/моль). Зчеплення молекул матеріалу за рахунок сил стягування називається когезією. Макромолекули можуть бути побудовані з однакових за хімічною будовою мономерів (полімери) або різнорідних ланок (сополімер).

Велике значення має стереорегулярність полімеру, коли всі ланки і заступники розташовані в просторі в визначеному порядку. Це додає матеріалу підвищені фізико-механічні властивості (в порівнянні з нерегулярними полімерами) [3].

Полімери зустрічаються в природі - натуральний каучук, целюлоза, слюда, азбест, природний графіт. Однак провідною групою є синтетичні полімери.

Для зручності вивчення зв'язку складу, структури з властивостями полімерів їх можна класифікувати за різними ознаками (складом, формою макромолекул, фазового стану, полярності, відношенню до нагрівання). За складом всі полімери поділяють на органічні, елементо-органічні, неорганічні.

Органічні полімери складають найбільш велику групу з'єднань. Якщо основа молекулярного ланцюгу таких з'єднань утворена тільки вуглецевими атомами, то вони називаються карбоцепні полімерами.

У гетероланцюгових полімерах атоми інших елементів, присутні в основному ланцюзі, крім вуглецю, суттєво змінюють властивості полімеру. Так, в макромолекулах атоми кисню сприяють підвищенню гнучкості ланцюга, атоми фосфору і хлору підвищують вогнестійкість, атоми сірки надають газонепроникність, атоми фтору, навіть у вигляді радикалів, надають полімеру високу хімічну стійкість і т. д. [3].

Органічними полімерами є смоли і каучуки. Елементоорганічні сполуки містять у складі основи ланцюгоорганічні атоми (Si, Ti, Al), що поєднуються з органічними радикалами ( $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_5$ ,  $\text{CH}_2$ ). Ці радикали додають матеріалу міцність

і еластичність, а неорганічні атоми надають підвищену теплостійкість. У природі таких з'єднань не спостерігається .

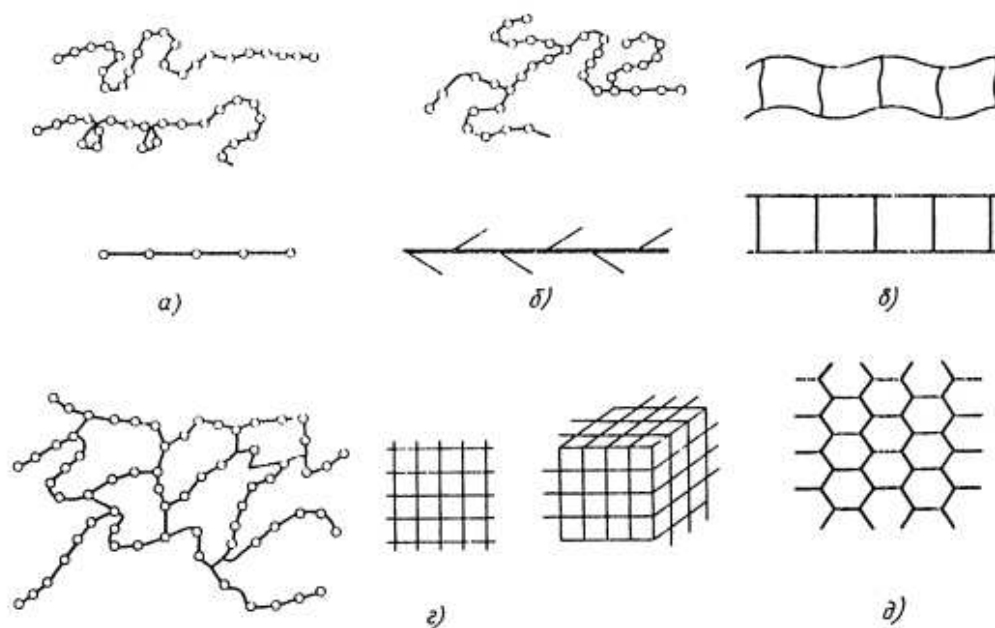


Рисунок 1.3 – Форми макромолекул полімерів [3].

а- лінійна, б- розгалужена, в- сходиноква, г- просторова, сітчаста, д- паркетна.

По фазовому стану полімери розділяють на аморфні і кристалічні.

Особливості будови полімерів надають великий вплив на їх фізико-механічні та хімічні властивості.

Внаслідок високої молекулярної маси вони не здатні переходити в газоподібний стан, при нагріванні утворювати низьков'язкі рідини, а термостабільні навіть не пом'якшуються.

З підвищенням молекулярної маси зменшується розчинність.

Полідисперсність, яка притаманна полімерам, призводить до значного розкиду показників при визначенні фізико-механічних властивостей полімерних матеріалів. Механічні властивості полімерів (пружні, міцносні) залежать від їх структури, фізичного стану, температури тощо. Полімери можуть знаходитися в трьох фізичних станах: склоподібному, високоеластичному і в'язкотекучому.

Вискоеластичний стан притаманний тільки високополімерам, характеризується здатністю матеріалу до великих оборотних змін форми при невеликих навантаженнях (коливаються ланки, і макромолекула набуває здатність згинатися) [3].

В'язкотекучий стан нагадує рідкий стан, але відрізняється від нього дуже великою в'язкістю (рухома вся макромолекула). Зі зміною температури лінійний або розгалужений полімер може переходити з одного фізичного стану в інший.

### 1.2.2 Еластомери

Як відомо [4], еластомери - це полімери, здатні до великих оборотних високоеластичних деформацій в широкому діапазоні температур (від - 60 до + 200 °С). Типові представники еластомерів - каучуки і гуми на їх основі. Виробництво і переробка еластомерних матеріалів і в XXI столітті залишається однією з щонайбільш інтенсивно розвиваються областей науки і промисловості, метою якої є отримання матеріалів, готових працювати як в побутових, так і в екстремальних умовах.

Деякі еластомірні матеріали схильні до руйнування на відкритому повітрі в результаті атмосферних впливів. Дія сонячного світла, озону і кисню може викликати утворення тріщин на поверхні матеріалу, втрату міцності та інших еластичних властивостей. Таким чином, необхідно враховувати стійкість матеріалу до атмосферних впливів, так само як і інші корозійні властивості, коли матеріал має бути використовувати на відкритому повітрі.

Існує велика кількість еластомерів, проте поділити їх можна на три основні групи:

- натуральний каучук
- синтетичний каучук
- та інші види еластомерів

Натуральний каучук

Основним джерелом отримання натурального каучуку є молочний сік каучуконосних рослин - латекс. Він являє собою водну дисперсію каучуку, зміст якого доходить до 40%. Каучук в латексі знаходиться у вигляді дрібних частинок кулястої або грушоподібної форми - глобул. Розміри глобул неоднакові, вони мають діаметр від 0,05 до 3 мкм. У 1 грамі 40% -го латексу міститься близько  $5 \times 10^{15}$  частинок каучуку із середнім розміром близько 0,26 мкм. Вся маса частинок знаходиться в броунівському русі. Внутрішню частину глобули становить вуглеводень каучуку. Зовнішній (адсорбційний) захисний шар містить природні білки (протеїни), ліпіди і мила жирних кислот [4].

В даний час виробництво натурального каучуку перевищує 6 млн. тон на рік. Практично весь латекс отримують з плантацій бразильської гевеї, розташованих головним чином в тропічній Південно-Східній Азії.

До складу каучуку входять: вуглеводень каучуку (основна частина), волога, речовини ацетонового екстракту, азотовмісні речовини (головним чином протеїни), зола (неорганічні речовини). Зміст цих речовин в каучуках коливається в широких межах в залежності від багатьох причин, найбільше значення з яких має спосіб приготування каучуку.

Області застосування. Натуральний каучук - єдиний несинтетичний еластомер, який знайшов широке застосування. Висока когезійна міцність і клейкість є двома найважливішими властивостями натурального каучуку. Когезійна міцність дозволяє невулканізованому виробам, таким як шина, зберігати свою форму під час збирання і зберігання перед вулканізацією, тоді як клейкість корисна тоді, коли йде збірка різних деталей шини. Як правило, з натурального каучуку можуть проводитися виробы з твердістю між 30 і 95 одиниць по Шору.

#### Синтетичний каучук

Синтетичні каучуки являють собою синтетичні полімери, здатні перероблятися в гуму шляхом вулканізації. Складають основну масу еластомерів [4].

Відмінною особливістю процесу полімеризації є те, що при цьому молекули вихідної речовини або речовин з'єднуються між собою з утворенням полімеру, не виділяючи при цьому будь-яких інших речовин.

Види синтетичних каучуків. Загальноприйнятою вважається класифікація по областям застосування:

- каучуки загального призначення - застосовуються в масовому виробництві виробів, в яких реалізується основна властивість гуми - еластичність (шини, транспортерні стрічки, гумове взуття і ін.);

- каучуки спеціального призначення - застосовуються у виробництві виробів, які поряд з еластичністю повинні володіти стійкістю до дії різних агентів (розчинників, кислот, лугів та ін.), Тепло- і морозостійкістю або іншими унікальними властивостями

Всі відомі в даний час каучуки є полімерами - високомолекулярними сполуками з повторюваними однією або декількома структурними одиницями (ланками). Поведінка і властивості каучуку визначаються в основному будовою, хімічним складом, молекулярною масою, молекулярно-масовим розподілом і взаємним розташуванням макромолекул[4].

Види спеціальних каучуків:

- бутилаткаучуки;
- поліхлорпропілен;
- хлоркаучуки;
- фторкаучуки;
- перфторкаучуки;
- уретанові каучуки.

Розглянемо деякі види спеціальних каучуків більш детально.

Фторкаучуки

Фторкаучуки знайшли найбільш широке застосування у величезній кількості виробів, для яких потрібні високі експлуатаційні характеристики. Фтореластомери забезпечують надійність протягом тривалого часу навіть в агресивних середовищах. Атом фтору, який замінює атом водню в алифатической вуглецевого ланцюга, обумовлює дуже високу термічну і хімічну стабільність полімеру. Такі незвичайні властивості фторполімери залежать від внутріатомної і міжатомної взаємодії, розміру молекул і стеричних факторів.

Фторполімери характеризуються більшою термічною стійкістю в порівнянні з вуглеводневими аналогами. Однією з причин цього є підвищена міцність зв'язку С-С між фторованими атомами вуглецю.

Фтореластомери можуть бути перероблені компресійним формуванням, трансферним литтям і литтям під тиском, а також шприцеванням і каландруванням. Звичайні області застосування фтореластомерів наступні:

- деталі автомобілів (ущільнювачі валів, штока двигуна, контрольно-емісійних пристроїв);
- сполучні для вогнебезпечних і вибухових речовин, з'єднувальні стики газопроводів, деталі для нафтової галузі;
- деталі космічної техніки, такі як ущільнювачі трубопроводів, брендмауерів, захисні покриття, діафрагми паливних баків;
- антикорозійний захист апаратури.

Клас фторполімерів включає найрізноманітніші за властивостями продукти: жорсткі пластики; еластомери і еластопласт, нерозчинні і ненабухаючі полімери та полімери, легко розчинні в звичайних розчинниках; волокна з міцністю, що перевершує міцність високолегованої сталі; корозійні покриття, стійкі до атмосферних впливів; плівки з унікальними діелектричними властивостями і плівки, що витримують температуру рідкого водню; каучуки, здатні працювати в особливо жорстких умовах [4].

Фторполімери володіють унікальним поєднанням властивостей, які забезпечують можливість створення еластичних матеріалів на їх основі, здатних витримати жорсткі умови експлуатації. З точки зору наукоємності та практичної значущості представляють інтерес сополімери з перфторованими вініловими або перфторалліловими ефірами. Причому перфторвінілові ефіри є промисловим продуктом, відомим близько трьох десятиліть, тоді як перфтораллілові до сих пір не отримали широкого поширення, тому залишаються наукомістким матеріалом, гідності якого, можливо, не до кінця розкриті [4].

### Хлоркаучук

Хлоркаучук є хлорований натуральний або синтетичний ізопреновий каучук з вмістом хлору не менше 64,5%.

Основна область застосування хлоркаучуку - лакофарбова промисловість. На основі хлоркаучуку випускаються фарби трьох основних типів: ґрунтувальні, які мають гарну адгезію, особливо до сталевій поверхні і наступним покривним верствам; тонкошарові, так званого «класичного» типу; фарби для «товстошарових» покриттів.

Через високий вміст хлору хлоркаучук не горить. Це робить його цінним матеріалом для вогне- і корозійностійких фарб, які знайшли широке застосування на нафтоочисних заводах. У вогнестійкі фарби додають триоксид сурми, яка під час пожежі реагує з хлоркаучуком. При цьому виділяються летючі хлориди сурми і хлористий водень, які заглушають полум'я.

Також хлоркаучук застосовуються в поліграфії та виробництві клеїв [4].

Особливий науковий інтерес представляють суміші хлоркаучуку з іншими каучуками, такими як хлоропрен, фторкаучук, бутадієн-нітрильні каучуки та ін., з метою отримання матеріалів, що володіють властивостями обох матеріалів. Крім того, виробництво хлоркаучуку і його ринок практично не розвинений. Хоча при проведенні попереднього маркетингу серед виробників лаків і фарб, як найбільш великих його споживачів, на спеціалізованих виставках по лакофарбовим



матеріалами інтерес до його застосування був підтверджений низкою виробників лакофарбових матеріалів, особливо - для промислових лакофарбових матеріалів.

### Уретанові каучуки

Уретанові каучуки отримують взаємодією поліефірів з кінцевими гідроксильними групами і діізоціанатів.

З простих ефірів найбільше застосування знаходять полімери оксиду пропілену і тетрагідрофурану, а з діізоціанатів - 2,4- толуїлендіізоціанат, 4,4-діфенілметадіізоціанат.

Недоліками гум на основі уретанових каучуків є їх схильність до гідролізу і руйнування під дією водяної пари і гарячої води, підвищений теплоутворення при багаторазових деформаціях, порівняно невисока теплостійкість, мала морозостійкість (для поліуретану), а також нездатність до совулканізації з іншими каучуками.

Серед переваг вулканізаторів на основі уретанових каучуків можна відзначити підвищену зносостійкість, що перевершує зносостійкість всіх відомих каучуків, стійкість до ударних навантажень, а також можливість легкої переробки методом лиття без застосування високих тисків.

Пропоную більш детально розглянути один із видів еластомерів з перерахованих вище, а саме уретанові каучуки тобто поліуретан[4].

### Цінні властивості еластомерів:

- висока еластичність матеріалів і виробів;
- досить гарна (для еластомерів) механічна міцність;
- висока газонепроникність;
- висока хімічна стійкість до широкого ряду середовищ;
- можливість створення матеріалів з гарними діелектричними властивостями, або – навпаки, - електропровідних матеріалів (в т.ч. антистатичних гум);
- висока водостійкість;

Недоліки еластомерів (в порівнянні з пластмасами):

- більша схильність до старіння;
- більша складність утилізації відходів і виробів термін експлуатації який збіг виробів[5].

Як правило, при експлуатації виробів з еластомерів до них висуваються жорсткі вимоги, найбільш важливими з яких є:

- зносостійкість;
- міцність на роздираючи;
- стійкість при багаторазових деформаціях;
- теплостійкість;
- висока еластичність;
- високий питомий опір;
- стійкість до впливу ультрафіолетового світла;
- хімічна стійкість.

### **1.2.3 Поліуретан як перспективний матеріал для виготовлення деталі**

Поліуретани - один з нових видів полімерних матеріалів, що мають велике промислове значення. До поліуретанів відносять високомолекулярні сполуки, що містять значну кількість уретанових груп, незалежно від будови решти молекул [6].

В даний час до поліуретанів відносять великий клас полімерів, часто сильно відрізняються хімічною природою, будовою ланцюга і властивостями, але незмінно містять уретанові групи [7].

Іноді з метою уточнення назви через наявність поряд з уретановою інших функціональних груп вживають такі терміни, як поліуретан складноєфірного типу, поліуретан на основі простих олігоефірів, полісечовиноуретани. Хоча ці назви технічно більш точні, користуватися ними незручно, тому застосовують термін "поліуретан", який об'єднує всі полімери, що містять уретановою групу.

Хімічні виробництва випускають поліуретан в трьох формах[8]:

- твердому, який поділяється на листовий, стрижневий і гранульований;
- рідкому;
- пінистому.

Поліуретан в твердому стані застосовується для виробництва втулок, манжет ущільнювачів пресів, сайлентблоків в машинобудуванні. Твердий листовий і стрижневий поліуретан набув широкого поширення в якості сировини для виготовлення безкамерних шин для спортивної продукції (роликів, скейтбордів), складського пересувного обладнання (електрокари, візки, направляючі для транспортерів), колясок для дітей і т.д. [8].

Перевага литого поліуретану полягає в можливості використання деталей за прямим призначенням і в швидкому виробництві оснащення. Литтєвий поліуретан використовують для виробництва шестерень, деталей для транспорту, різних валів, вібростійких деталей, відбійних молотків та інших виробів для автомобільної, авіаційної, гірничодобувної, будівельної, поліграфічної галузі промисловості, для машинобудування. Для поліпшення механічних характеристик застосовуються армування за допомогою різних тканин: сітками, тканиною і іншими [9].

Затребуваним в самих різних сферах є поліуретан спінений, який на 85-90% складається з інертної газової фази. Список товарів, які з нього виготовляють, можна перераховувати дуже довго. Це і губки для миття посуду, і будівельні матеріали, і еластичні підшви для спортивного взуття, і полегшені шини для малонавантажених конструкцій. Також він виступає в якості сировини для наповнення, матеріалом для теплоізолюючих конструкцій.

Як відомо [9], для порівняння поліуретанів з іншими еластомерами в певних областях застосування корисно підкреслити деякі особливості.

Головною перевагою поліуретану в порівнянні з іншими каучуками є підвищений опір стирання, порізів(стійкість до роздирання, розтягуванню, і підвищена здатність працювати при великих навантаженнях. Крім того, більшість

ливарних уретанів мають натуральний колір від повністю прозорого до темного або бурштинового. При цьому вони забарвлюються різноманітними барвниками, так що колір виходить матеріалу може бути від чорного до блискучого помаранчевого, червоного або зеленого [10].

Це особливо корисно при виготовленні деталей з колірними кодами, наприклад, в рахункових машинах, де ролики і ремені мають кольоровий код для швидкої ідентифікації при заміні. Навіть коли деталь має чорний колір, в ПУ матеріал вводиться так мало пігменту, що він не залишає слідів на бетонних підлогах, човнових корпусах та інших поверхнях. Оскільки уретанові матеріали не містять добавок, що не входять в молекулярну структуру, вони не можуть мігрувати з матеріалу і осідати на інших поверхнях.

Дієнові каучуки схильні до озонового розтріскування, особливо навколо електричного обладнання, де концентрація озону може бути висока. Поліуретани практично не схильні до дії озону. Поліуретанові еластomers, особливо складні полієфіри, так само стійкі до набухання і погіршення властивостей під дією масел, жирів і інших неполярних розчинників.

Для більшості гум збільшення твердості від 85 до 95 за Шором, шкала А до погіршення більшості інших фізичних властивостей. При цьому для поліуретанових еластомерів в діапазоні твердості від 85 до 95 А досягаються максимальні властивості [10].

Полієфірні (прості) уретанові еластomers особливо стійкі до цвілі, грибів і інших мікроорганізмів, що робить їх корисними для застосування в сільському і комунальному господарстві та тропічних умовах.

При механічних навантаженнях відбувається втрата енергії, і відновлюваність при цьому визначається гістерезисними властивостями. Високий гістерезис призводить до теплоутворення в динамічні умови експлуатації призводять до теплоутворення, тобто до високого гістезису [11]. Для поліуретанів цей показник може бути і дуже низьким, і високим.

Різноманітність ливарних поліуретанів незрівнянно ні з жодною іншою групою каучуків. Як правило є можливість змінити одну властивість, в той час як інші будуть близькі до постійних. Наприклад, можна створити еластомер з високою твердістю і низькою відновлюваністю і т.д. Також можна збільшити довговічність при вигині або опорі розтягування без погіршення показника залишкової деформації в широкому діапазоні значень твердості [10].

У уретанових матеріалах відсутні добавки, що входять у молекулярну структуру, тому випаровуватися і осідати на других поверхнях вони не будуть [11].

### **1.3 Технологічний процес поліуретану та приклади застосування**

#### **1.3.1 Отримання поліуретану**

Зазвичай ці полімери отримують при взаємодії поліізоціанатів з речовинами, що мають кілька гідроксильних груп, наприклад з гліколями. Такі речовини можуть містити й інші реакційноздатні групи, зокрема амонієві і карбоксилі. Тому в поліуретанах крім уретанових груп можна виявити амідні, ефірні (прості і складні) групи, а також ароматичні і аліфатичні радикали. Ці полімери називають іноді «поліуретанами», іноді - «ізоціанатними полімерами» [6].

Поліуретани можна синтезувати різними способами, однак в промисловості найбільш поширене отримання їх при взаємодії ді- або поліізоціанатів з сполуками що містять 2 або більше гідроксильні групи в молекулі, наприклад з простими і складними поліефірами з кінцевими ОН- групами.

Однак в даний час через високу вартість безізоціанатні методи не можуть конкурувати з синтезом поліуретану по реакції поліприєднання.

### 1.3.2 Виготовлення деталей з поліуретану

Виробництво деталей з поліуретану може проходити за декількома методами:

- литво під тиском;
- екструзією;
- пресуванням;
- вільне лиття.

Розглянемо кожен з видів виготовлення більш детально.

#### 1.3.2.1 Застосування методу лиття під тиском

Як відомо [12], литво під тиском – процес переробки полімерів під час якого матеріал переводиться у в'язко-текучий стан з подальшим вприскуванням під тиском у форму для придання форми виробу.

Методом лиття під тиском виробляються вироби від долей грама до десятків кілограмів кінцевого виробу. Цей метод можна вважати найбільш поширеним в виготовленні виробів із пластмас.

Основним обладнанням є термопластавтомат оснащений прес-формами.



Рисунок 1.4 – Термопластавтомат фірми Engel [12]

Основні переваги методу литва під тиском:

- універсальність матеріалу для переробки;
- висока продуктивність виготовлення виробів;
- висока якість отриманого продукту;

- можливість виготовлення деталей складної форми, або тонкостінних деталей;
- відсутність додаткової обробки (окрім видалення литникових каналів );
- повна автоматизація процесу;

Недоліки методу:

- висока вартість обладнання для виробництва;
- використання термопластавтоматів для виконання певного технологічного процесу вимагає кваліфікованого обґрунтування .

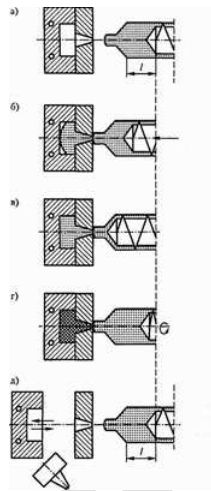


Рисунок 1.5 – Схема процесу литва під тиском [12].

Процес литва можна розбити на такі етапи [12]:

- дозування матеріалу і загрузка його в циліндр;
- пластифікація матеріалу;
- вприскування пластифікованого матеріалу в замкнену форму і витримка його під тиском;
- охолодження виробу в формі;
- розмикання форми і видалення виробу із форми.

### 1.3.2.2 Застосування методу екструзії

Один із популярних видів переробки є екструзіоний метод.

Як відомо [13], екструзія – це спосіб переробки полімерних матеріалів безперервного продавлювання розплаву через формуючу головку вихідний канал якої визначає форму та профіль отриманого виробу або напівфабрикату.

Основним обладнанням екструзійного процесу є черв'ячний екструдер, оснащений формуючою головкою. У екструдері полімерний матеріал розплавляється, пластифікується і потім нагнітається в головку. Найчастіше використовуються різні модифікації одно- і двухчерв'ячних екструдерів.

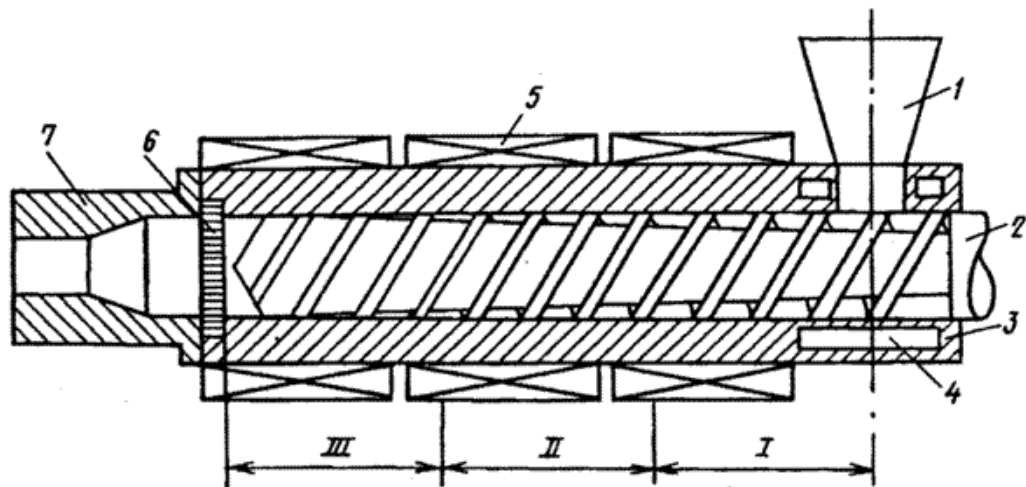


Рисунок 1.6 – Схема одношнекового екструдера: 1- бункер; 2- шнек; 3- циліндр; 4- порожнина для циркуляції води; 5- нагрівач; 6- решітка з сітками; 7- формуюча головка [13].

Метод екструзії можна розбити на такі пункти:

- заповнення сировиною бункерного сховища;
- пластифікації сировини;
- дозування розплаву сировини;
- просовування розплаву в канали формівної головки;

Для даного методу використовують термопласти в формі гранул, приклад характеристик типового поліуретану в гранулах наведений в таблиці 1.1.



## Характеристики поліуретану EPALINE 350D5525 [17].

Властивість	Значення
Щільність	1,22 Кг/дм <sup>3</sup>
Твердість	50 по Шору Д
Модуль 100% подовження	15,5 МПа
Міцність на розрив	55,0 МПа
Подовження при розриві	350%
Міцність на розрив	140 КН/м

Всі вироби, що отримуються на основі термопластів методом екструзії, можуть мати в принципі необмежену довжину. Діаметр виробів обмежується головним чином діаметром шнека екструдера. Чим більше D, тим ширше, товщі можуть виходити вироби[13].

### 1.3.2.3 Застосування методу пресування

При переробці твердого поліуретану такого як листовий поліуретан можна застосовувати метод пресування.

Серед багатьох методів пресування пропоную розглянути вакуумоформування.

Вакуумоформування - процес формування виробів із заготовок у вигляді плівки або листа, нагрітих до температур, при яких полімер переходить у високоеластичний стан. Тиск, необхідний для формування виробів, створюється за рахунок різниці тисків між зовнішнім атмосферним тиском і розрядженням, створюваним в порожнині між листом і поверхнею форми (до 0,07-0,085 МПа) [14].

Основна особливість цього способу переробки полімерів полягає в тому, що формування виробів здійснюється не з розплаву, а з заготовок полімерного матеріалу (листа, плівки), нагрітих до м'якого стану, які потім прикладеним

зусиллям оформлюються в вироби і потім охолоджуються при зберігається зусиллі формування (рис. 1.7).

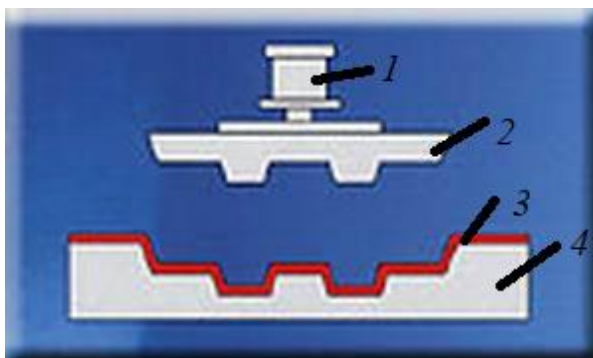


Рисунок 1.7 – Схема процесу вакуумформування: 1-прес 2- верхня напівформа 3- розігрітий лист матеріалу 4- нижня напівформа [14]

Методом формування виготовляють вироби різної конфігурації, що мають однакову товщину всіх стінок (стаканчики, кришки, осередки для упаковки цукерок або медичних інструментів і т.д.). Широко застосовується вакуумформування для виготовлення тонкостінних виробів (пакувальна тара і одноразовий посуд), коли лиття під тиском застосовується через малу товщини стінок. Дуже вигідно використовувати даний метод при дрібносерійному виробництві, так як технологічне оснащення набагато простіше і дешевше, ніж ливарні форми.

До переваг цього методу можна віднести такі ключові моменти:

- відносно невисока вартість обладнання та оснастки для виробництва виробів;
- можливість переробки багатошарових та вспінених матеріалів, також матеріалів з попередньо нанесеним на них маркуванням чи малюнком;
- можливість виготовлення надзвичайно тонкостінних виробів;
- висока продуктивність вакуумформувальних машин;
- економічно вигідне виробництво малих за розмірами виробів;

Проте у цього метода є і недоліки:

- неможливість виготовлення деталей складної форми;
- необхідність додаткової механічної обробки виробів;

- неможливість переробки листів завтовшки більше 6 мм;
- велика кількість відходів (до 50 %) при виготовленні виробів з великою глибиною витяжки.

В даному методі використовують поліуретан в пластинах або листах, основні характеристики типового представника наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2

#### Характеристики листового поліуретану СКУ-7Л [17]

Властивість	Значення
Межа міцності при розтягуванні	350-450 кг/см <sup>2</sup>
Відносне подовження при розриві	550-650 %
Твердість по Шору А	76-86
Опір роздиру	100-140 кН/м
Відносне залишкове подовження після розриву	2-4 %

При вакуумформованні розрізняють наступну послідовність процесів:

1. нагрівання формованого матеріалу до температури, при якій він здатний змінювати форму, тобто до температури високоеластичного стану (для аморфних полімерів) або до температури наближеної до плавлення кристалічної фази (для кристалізуються полімерів);
2. формування на спеціальній оснащенні;
3. охолодження в формі до температури, при якій конфігурація відформованої виробу придбає стабільні розміри;
4. витяг з форми виробу зі стабільними розмірами;
5. механічна обробка виробів.

Для формування виробів з листових і плівкових термопластів характерна значна кількість відходів на різних стадіях процесу (до 30-35%). Переважна

більшість їх може бути успішно використано для вторинної переробки при своєчасному зборі, подрібненні і правильному зберіганні. Відходи подрібнюють на стрічкових або гільйотинних ножицях з подальшою грануляцією або дробленням[14].

#### 1.3.2.4 Огляд методу вільного лиття

Відливанням називається процес переведення полімерного матеріалу при формування виробу з рідкого, пластичного чи, рідше, твердого стану полімеру або олігомеру у твердий стан без використання тиску, або ж під тиском, який загалом не перевищує 0,3 МПа у твердому гнізді форми при кімнатній температурі чи при підвищеній з наступним вийманням з форми виробу, який називається відливкою [15].

Відливання здійснюється з використанням відповідного обладнання для лиття без тиску або ж при використанні лише оснащення – форми з відповідним гніздом для оформлення виробу. Таким методом переробляються як термореактивні так і термопластичні полімери. Метод цей на початку використовувався для формування невеликих серій або ж одинарних виробів, до яких не ставилися високі вимоги точності – це копії художніх виробів, навчальні пакети, стоматологічні вироби, ортопедичні протези, забавки тощо.

Останнім часом метод відливання все частіше використовується для формування виробів технічного призначення, до яких ставляться підвищені експлуатаційні вимоги.

На виробництві найчастіше використовують рідкі двокомпонентні поліуретанові суміші, характеристики типової суміші наведені у таблиці 1.3.

## Характеристики поліуретанової суміші ЛУР-90 [13]

Властивості	Значення
Межа міцності при розтягуванні	400-450 кг/см <sup>2</sup>
Відносне подовження при розриві	400-450 %
Твердість по Шору А:	85-95
Опір роздиру:	95-140 кН/м
Відносне залишкове подовження після розриву:	3-5 %
Умовне напруження при 100% подовженні:	6,5-10,5 МПа

При формуванні у формах з підігріванням одержують вироби з нижчою концентрацією внутрішніх напружень, а отже з меншим ступенем деформування. Форма для відливання, як правило, одногніздні і їх виготовляють з металу, а для формування поодиноких малогабаритних виробів, можуть бути виготовлені з пластмаси, дерева чи навіть з глини або гіпсу.

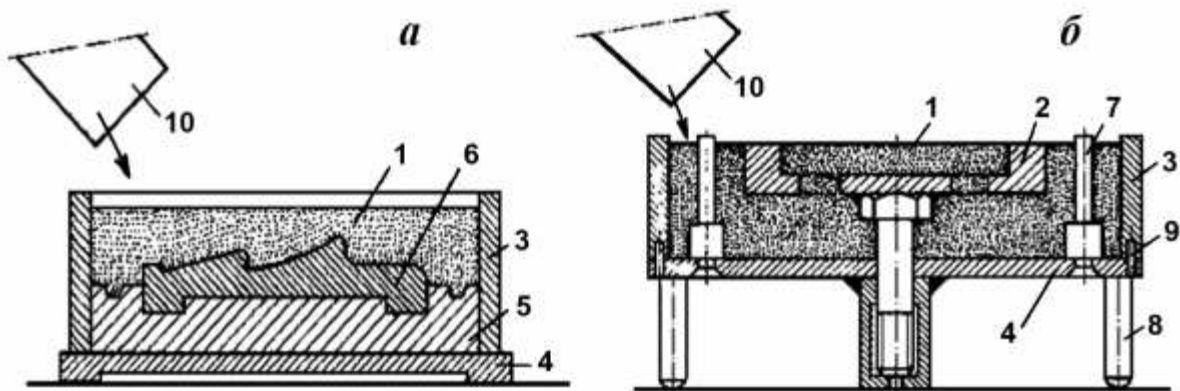


Рисунок 1.6 – Схема вільного лиття у відкриту форму: а) виріб однорідний; б) виріб з металевою арматурою; 1 – відливка; 2 – елемент який заливається; 3 – корпус форми; 4 – підкладка; 5 – матриця; 6 – шаблон; 7 – арматура; 8 – ніжки опору; 9 – центральні штифти; 10 – ємність з заливною композицією [13].

Технологія лиття складається з наступних етапів:

1. виготовлення майстер-моделі виробу;

2. виготовлення форми для лиття ;
3. підготовка компонентів суміші;
4. вакуумація компонентів для усунення газів;
5. змішування компонентів;
6. вакуумація отриманої речовини для усунення газів;
7. підготовка форми для лиття;
8. заливка готової суміші в форму;
9. вакуумація форми з речовиною для усунення газів та кращого заповнення форми;
10. перенос та нагрівання форми з речовиною у термошафі;
11. вилучення виробу із форми;
12. механічна обробка виробу для прибирання дефектів литва.

З перерахованих методів переробки для виготовлення штучних або малосерійних виробів пропоную використовувати вільне литво поліуретану, через простоту процесу та відносно малу ціну на обладнання яке необхідне для процесу лиття.

Для більш масового виробництва пропоную використовувати метод лиття під тиском або ж метод екструзії за можливість автоматизації процесу лиття.

## Висновки

У ході аналітичного огляду було розглянуто та проаналізовано інформацію про неметалічні матеріали та їх властивості.

Виготовлення деталей з поліуретану дає можливість виготовляти деталі різними методами як простими так і складними в залежності від кінцевих потреб до властивостей деталей з даного матеріалу.

Проаналізувавши інформацію можна з легкістю визначитися який тип еластомеру та метод переробки можна використовувати для відповідних задач.

В нашому випадку доцільним є вибір використання поліуретану за його гарні фізико-механічні властивості та технологічність процесу виготовлення виробів з цього матеріалу. Для малосерійного або штучного виробництва пропоную використовувати ливарний поліуретан та вільне литво в форму через нескладність процесу переробки та відносно низької ціни на обладнання та оснастку.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Існує багато методів виготовлення деталей з поліуретану. Ми обрали вільне лиття в форму. Для виготовлення форми також існує багато методів, наприклад виготовлення форми з сталі або чавуну проте цей процес займає багато часу на виготовлення форми і є досить коштовним для малосерійного або штучного виробництва.

Пропоную використати метод лиття в силіконову ливарну форму яка набагато дешевша в виробництві ніж ливарна форма з металу. Нижче описується технологія виробництва деталі методом вільного лиття в силіконову ливарну форму.

На виробництві одною з основних частин є розробка та планування технологічного процесу виготовлення деталі. Технологія виробництва повинна мати всі етапи які проходить деталь від заготовки до готового продукту.

#### **2.1 Технологія виготовлення деталей методом вільного лиття в силіконову форму**

Для виготовлення форми використовувались силіконова двокомпонентна суміш на платиновій основі SKL-30, двокомпонентний поліуретан «КОУТЕКС-ЕПУ-3»,їх основні характеристики наведені в таблиці 2.1, та таблиці 2.2 відповідно.



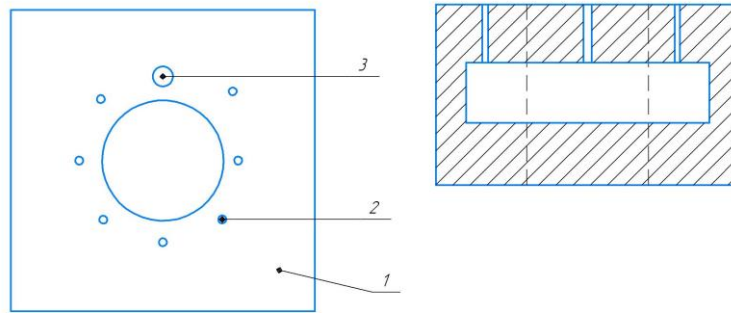


Рисунок 2.1 – схема готової ливарної форми з силіконової суміші: 1-ливарна форма, 2- випари, 3- стояк.

Таблиця 2.1

Характеристики силіконової двокомпонентної суміші SKL-30 [17].



Назва характеристики	Значення
Усереднена в'язкість	6800 СПз при 20°C
Час життя	40 хв при 20°C
Твердість (по Шору А)	30
Опір раздиру	29 кН/м
Відносне подовження при розриві	490 %
Умовна міцність при розриві	6,7 МПа
Лінійна усадка	0,1 %
Щільність	1,09 г/см <sup>3</sup> при 25°C
Час затвердіння	12 годин при 26°C
Основа каталізатора	Платина

## Характеристики поліуретанової суміші КОУТЕКС-ЕПУ-3 [16].





Назва характеристики	Значення
Виробник	НВП «Дайвер»
Густина (кг\л)	1,35 кг/л
Фасування	Компонент А + Компонент Б
Витрати (кг/м.кв.)	2,0-2,5 кг/м <sup>2</sup>
Температура нанесення (°С)	от +15° до +30°С
Час життя (мин)	20-30 хвилин
Время затвердіння	24 години (при температурі от +18° до +24°С)
Температура експлуатації (°С)	от -30° до +60°С

Таблиця 2.3

## Маршрутна технологія виготовлення деталей методом вільного лиття в силіконову форму

№ операції	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання	Ескіз (схема) операції (переходу) обладнання
1	2	3	4	5	6	7
<b>Етап 1 Виготовлення ливарної форми</b>						
1.1	Моделювання підмодельної основи	1	Виготовлення плоского шару пластиліну	Формувальний пластилін,	Пластина з рівною поверхнею	 Рисунок 2.2 Розміщення формувального пластиліну
		2	Встановлення підмодельної плити на скляну основу	Скляна основа, формувальний пластилін		 Рисунок 2.3 Підмодельна основа






## Продовження таблиці 2.3

		3	Монтування моделі в підмодельну основу до середини вертикального перерізу моделі	Модель, підмодельна плита		 <p>Рисунок 2.4 Вмонтована модель</p>
1.2	Підготовка до заливання	1	Встановлення центрувальних штирів для запобігання зміщення форми	Підмодельна плита з встановленою моделлю, центрувальні штирі		 <p>Рисунок 2.5 Підмодельна основа з центрувальними штирями</p>
		2	Обробка поверхонь роздільною речовиною	Підмодельна плита з встановленою моделлю, роздільна речовина		 <p>Рисунок 2.6 Оброблена поверхня</p>
		3	Встановлення скляних пластинок які утворюють опоку	Підмодельна плита з встановленою моделлю, скляні пластини		 <p>Рисунок 2.7 Встановлення опоки</p>
		4	Герметизація з'єднань	Опока, підмодельна плита з встановленою моделлю Клей-пістолет	Клей-стержні	

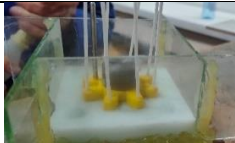

## Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7
1.3	Виготовлення нижньої напівформи	1	Розрахунок необхідної кількості матеріалу	Калькулятор		
		2	Замір необхідної кількості речовини	Електронні ваги	Паперові стакани	 Рисунок 2.8 Зважування силіконових компонентів
		3	Дегазація компоненту 1	Вакуумний насос	Герметична колба	 Рисунок 2.9 Дегазація основи
		4	Дегазація компоненту 2	Вакуумний насос	Герметична колба	 Рисунок 2.10 Дегазація отверджувача
		5	Замішування силіконової суміші	Основа і отверджувач силіконової суміші	Паперові стакани, палиця для перемішування	



## Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7
		6	Дегазация отриманої суміші	Вакуумний насос	Герметична колба	 Рисунок 2.11 Дегазация силіконової суміші
		7	Заливання силіконової суміші в опоку			 Рисунок 2.12 Заливка в форму
1.4	Підготовка заливання верхньою напівформами	1	Роз'єднання опоки			 Рисунок 2.13 Видалення опоки
		2	Виймання нижньої напівформи			 Рисунок 2.14 Нижня напівформа з підмодельною основою
		3	Прибирання пластиліну з нижньої напівформи		Ватні диски, ватні палиці, скальпель	 Рисунок 2.15 Нижня напівформа без підмодельної основи



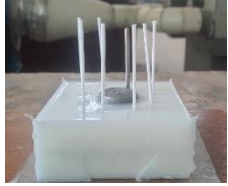

## Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7
		4	Встановлення стояка		Стояк діаметром 4 мм, ціанокрилатний клей	 <p>Рисунок 2.16 Нижня напівформа з моделлю, стояком та випарами</p>
		5	Встановлення випарів		Пластмасовий стержень, ціанокрилатний клей	
		6	Обробка роздільною речовиною поверхні	Нижня напівформа, роздільна речовина	Пензлик, роздільна речовина	
		7	Встановлення скляних пластин для утворення опоки	Нижня напівформа, скляні пластини		
		8	Герметизація з'єднань	Силіконова основа, клей-пістолет	Клей-стрижень	
1.4	Замішування та заливання силіконової суміші	1	Розрахунок необхідної кількості матеріалу	Калькулятор		
		2	Замір необхідної кількості речовини	Електронні ваги	Паперові стакани	 <p>Рисунок 2.17 Зважування силіконових компонентів</p>

## Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7
		3	Дегазація основи	Вакуумний насос	Герметична колба	 <p>Рисунок 2.18 Дегазація основи</p>
		4	Дегазація отверджувача	Вакуумний насос	Герметична колба	 <p>Рисунок 2.19 Дегазація отверджувача</p>
		5	Замішування компоненту 1 та компоненту 2	Основа і отверджувач силіконової суміші	Паперові стакани, палиця для перемішування	

## Продовження таблиці 2.3




1	2	3	4	5	6	7
		6	Дегазація отриманої суміші	Вакуумний насос	Герметична колба	 <p>Рисунок 2.20 Дегазація силіконової суміші</p>
		7	Заливання силіконової суміші в опоку	Силіконова суміш		 <p>Рисунок 2.21 Заливання силіконової суміші</p>
1.5	Підготовка до заливання поліуретанової суміші	1	Роз'єднання опоки			 <p>Рисунок 2.22 Готова ливарна форма без опоки</p>
		2	Виймання моделі, стояку, та випарів			 <p>Рисунок 2.23 Ливарна форма</p>






## Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7
Етап 2 Заливання поліуретану у силіконову форму						
2.1	Підготовка до заливання поліуретану	1	Стягування ливарної форми	Ливарна форма	Гумка, ліпка стрічка	 <p>Рисунок 2.24 Підготовлена ливарна форма</p>
2.2	Замішування поліуретанової суміші	1	Розрахунок необхідного матеріалу	Калькулятор		
		2	Наливання необхідної кількості компонентів	Компоненти і поліуретанової суміші, ваги	Паперові стакани	 <p>Рисунок 2.25 Зважування компонентів поліуретану</p>
		3	Дегазація компоненту А	Вакуумний насос	Герметичний ковпак	 <p>Рисунок 2.26 Дегазація компоненту А</p>

## Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7
		4	Дегазація Замішування компоненту А та компоненту Б	Вакуумни й насос	Герметичн ий паперові стакани, палиця для перемішув ання ковпак	 Рисунок 2.27 Дегазація компоненту Б
		6	Дегазація отриманої суміші	Поліурета нова суміш, вакуумний насос	Герметичн ий ковпак	 Рисунок 2.28 Дегазація поліуретанової суміші
2.3	Заливан ня поліурет анової суміші	1	Заливання поліуретану у ливарну форму	Ливарна форма, поліуретан ова суміш	Шприц	 Рисунок 2.29 Заливання поліуретанової суміші
		2	Дегазація форми разом з поліуретаном	Вакуумни й насос	Герметичн ий ковпак	

## Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7
2.4	Виймання деталі	1	Рознімання ливарної форми			 <p>Рисунок 2.30 Ливарна форма з отриманою деталлю</p>
		2	Виймання деталі			 <p>Рисунок 2.31 Деталь з облоєм та матеріалом у ливниковій системі</p>
2.2	Механічна обробка деталі	1	Видалення ливникової системи та вентиляційної системи	Різець, наждачний папір		 <p>Рисунок 2.32 Готова деталь</p>
2.3	Вихідний контроль	1	Контроль геометричних розмірів	Дільниця контролю	Комплект вимірювальних приладів та інструментів	

Для виготовлення силіконової ливарної форми модель поміщають в формувальний пластилін до середини вертикального перерізу моделі. Для запобігання зміщення форми в пластилін вставляють центрувальні стрижні або утворюють виїмки в товщі пластиліну. Після формування підмодельної

плити закріплюють скляні пластини що будуть утворювати опоку. Таким чином проводиться підготовка до отримання нижньої напівформи у положенні «дном догори»

Всю поверхню яка буде мати контакт з силіконовою сумішшю оброблюють роздільною речовиною.

Щоб запобігти проливанню силіконової суміші стики скляних пластин оброблюють силіконом або клеєм за допомогою клей-пістолета для забезпечення герметичності форми. Потім заготовлюють силіконову суміш яка буде заливатись в опоку для утворення нижньої напівформи.

Розрахунок необхідної кількості речовини проводять за допомогою калькулятора.

Відповідно до розрахунків заміряється необхідна кількість компоненту 1 та компоненту 2. Для запобігання утворення пор в ливарній формі компоненти дегазують за допомогою вакуумного насосу та герметичної колби в якій і проходить видалення повітря з компонентів.

Після дегазації компонентів їх замішують в ємності перемішуючі її постійно, потім переливають в іншу ємність і повторно замішують для запобігання нерівномірного перемішування основних компонентів. Недотримання даної технології може призвести до нерівномірної полімеризації та дефектів наступного лиття поліуретану у форму.

Наступний крок це дегазація силіконової суміші. Дегазовану суміш заливають в опоку і витримують до повної полімеризації.

Після того як суміш повністю полімеризувалась знімають опоку та виймають нижню напівформу з пластиліном, та модель. Для завершення виготовлення силіконової ливарної форми прибирають весь формувальний пластилін проте так щоб модель мала найменшу кількість операцій з вийманням з нижньої напівформи щоб запобігти зміщенню моделі, що приведе до зміни геометричної форми деталей що будуть виготовлятись з цієї форми.

Після того як нижня напівформа була очищена її ставляють у робоче положення і знову оброблюють роздільною речовиною та встановлюють опоку. Різниця між попередньою операцією заливання силіконової суміші складається в встановленні або закріпленні на моделі стояків та системи випарників.

Приготовану форму заливають силіконовою сумішшю виготовленою за технологією описаною раніше.

Після закінчення полімеризації силікону знімають опоку та виймають отриману ливарну форму.

Отриману ливарну форму рознімають та виймають модель, стояки та випарники.

Якщо виготовлена форма задовольняє виробництво то наступним кроком є заливання поліуретанової суміші в форму.

Виготовлення поліуретанової суміші схоже до утворення силіконової суміші, його також треба замішувати в декількох ємністях та дегазувати.

Заливання проводять в сухому приміщенні тому що поліуретан втрачає свої характеристики при контакті з вологою.

При заливанні поліуретану беруть більшу кількість матеріалу щоб запобігти «непроливанню» що веде до браку. Для зменшення кількості повітря в всередині ливарної форми її дегазують разом із поліуретановою сумішшю.

Після поновної полімеризації поліуретану форму рознімають та виймають готову модель. При повній заливці ливникова система може бути заповнена поліуретаном, тому потрібна механічна обробка для видалення зайвого матеріалу.

Також для усунення дефектів лиття в силіконову ливарну форму можна застосовувати металеву форму.

### **2.1.1 Переваги і недоліки методу вільного лиття в силіконову форму**

Головними перевагами методу вільного лиття в силіконову форму є:

- низька вартість виготовлення ливарної форми;

- простота виготовлення ливарної форми;
- ливарна форма гарно копіює модель;
- отримані виливки мають дуже малу кількість дефектів на поверхні;
- висока стійкість ливарної форми до вологи;
- велика зносостійкість.

Недоліки даного методу:

- обов'язкова наявність моделі для утворення ливарної форми;
- недоцільність використання для масового виробництва;
- неточність форм та розмірів;
- обмежена стійкість;
- неможливість використання для поліуретанів гарячої полімеризації.

## **2.2 Технологія виготовлення деталей методом вільного лиття до металевій форми**

Як альтернативу литтю в силіконову ливарну форму можна використовувати металеву ливарну форму або її іншу назву кокіль.

Кокіль виготовляють із сталі 40Х. Сталь 40Х – середньовуглецева, низьколегована конструкційна сталь, зі вмістом приблизно 0,4% вуглецю, та приблизно 1% хрому. Характеристики даної сталі наведені у таблиці 2.4

## Характеристики сталі 40Х [16].

Назва характеристики	Значення
Питома вага	7820 кг/м <sup>3</sup>
Твердість матеріалу	НВ 10 -1 = 217 МПа
Температура критичних точок	Ac <sub>1</sub> = 743°C , Ac <sub>3</sub> (Ac <sub>m</sub> ) = 815°C , Ar <sub>3</sub> (Arc <sub>m</sub> ) = 730°C , Ar <sub>1</sub> = 693°C
Флокеночутливість	Чутлива
Зварюваність	Важкозварювальна
Оброблюваність різанням	в горячекатаному стані при НВ 163-168 и $\sigma_B=610$ МПа, $K_{v\text{ тв. спл}}=1,2$ и $K_{v\text{ б.ст}}=0,95$
Температура кування	початок 1250, кінець 800
Схильність до відпускнуї крихкості	Схильна

Розглянемо технологію виготовлення деталей методом вільного лиття в металеву форму що наведена в таблиці 2.5

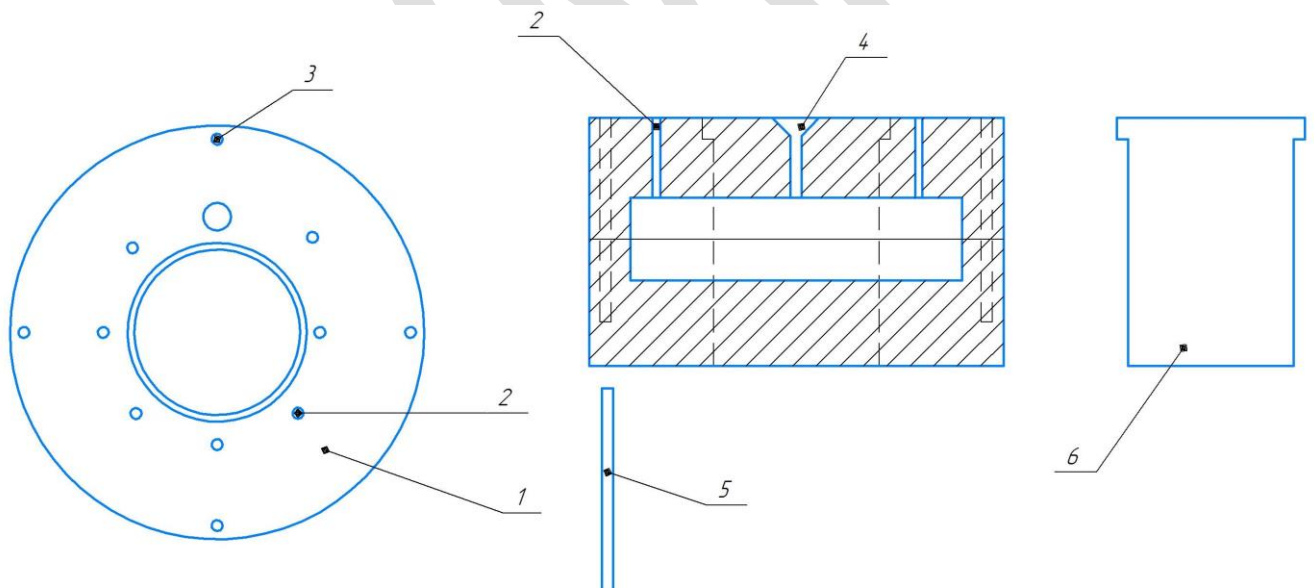


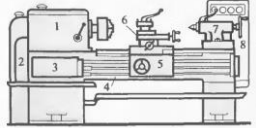
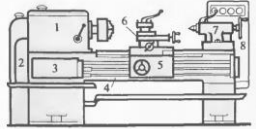
Рисунок 2.33 – схема металевої форми 1-ливарна форма, 2,- випари, 3-центрувальні отвори, 4- ливарна чаша, 5 центрувальний стержень, 6 сержень.

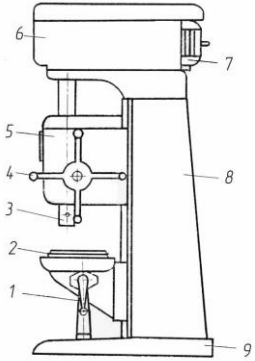
Маршрутна технологія виготовлення деталей методом вільного лиття в металеву форму .

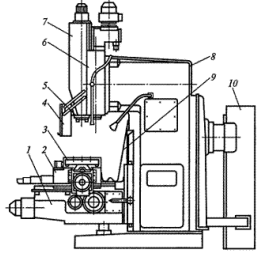
№ операції	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання	Ескіз (схема) операції (переходу) обладнання
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1 Виготовлення металевої форми для лиття						
1.1		1	Вхідний матеріал у формі круг зі сталі 40X			
1.2	Заготівельно-розділова	1	Нарізання необхідних заготовок з прокату для утворення	Стрічкопильний верстат		 <p>Рисунок 2.34 Схематичне зображення стрічкопильного верстату</p>
1.3	Попередня термічна обробка	1	Відпалювання заготовок (половинки форми, стрижня, центрувальних штирів)	Камерна піч Ш-30 при 820-840 °С охолодження з піччю	Піддон для деталей	 <p>Рисунок 2.35 Схематичне зображення камерної пічч:</p> <p>1- нагрівальні елементи; 2-вогнетривка частина кладки; 3- теплоізоляція; 4- жаротривка подова плита</p>

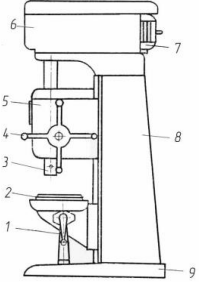
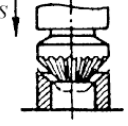


## Продовження таблиці 2.5

1.4	Чорнова механічна обробка	1	Точіння заготовки стержня	Токарний верстат	Прохідний різець	 <p>Рисунок 2.36 Схематичне зображення токарного верстата; 1- передня бабка з коробкою передач, 2- гітара змінних колес, 3- коробка подач, 4- станина, 5-фартук, 6-супорт, 7- задня бабка, 8- шафа з електрообладнанням</p>
		2	Точіння заготовки центрувальних штирів із кругу	Токарний верстат	Прохідний різець	 <p>Рисунок 2.37 Схематичне зображення токарного верстата; 1- передня бабка з коробкою передач, 2- гітара змінних колес, 3- коробка подач, 4- станина, 5-фартук, 6-супорт, 7- задня бабка, 8- шафа з електрообладнанням</p>

1	2	3	4	5	6	7
		3	Свердління отворів для встановлення центрувальних штирів	Вертикально-свердлувальний верстат,	Спіральне циліндричне свердло	 <p>Рисунок 2.38 Схематичне зображення вертикально-свердлувального верстата: 1-квадрат для ручного переміщення стола, 2- Стіл, 3-Шпиндель, 4-Штурвал подачі шпинделя, 5-Кронштейн з коробкою передач, 6-Корпус коробки передач, 7- Електродвигун, 8-Колонна, 9-Фундаментна плита</p>

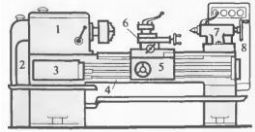
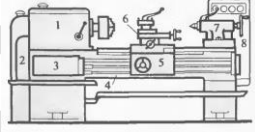
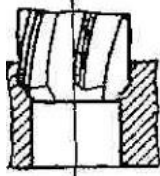
1	2	3	4	5	6	7
		4	Фрезерування робочого об'єму нижньої та верхньої напівформи	Вертикально - фрезерувальний верстат з числовим управлінням	Кінцева фреза	 <p>Рисунок 2.39 Схематичне зображення вертикально-фрезерувального верстата з числовим програмним управлінням: 1- консоль, 2- салазки, 3- захисний щиток, 4- шпиндель, 6- фрезерна бабка, 7- повзун, 8- станина, 9- кожух, 10- шафа з електрообладнанням</p>

1	2	3	4	5	6	7
		6	Свердління отвору для утворення стояка та випарів	Вертикально - свердлувальний верстат	Спіральне циліндричне свердло	 <p>Рисунок 2.40 Схематичне зображення вертикально-свердлувального верстата: 1-штурвал для ручного переміщення стола, 2- стіл, 3-шпиндель, 4-штурвал подачі шпинделя, 5-кронштейн з коробкою передач, 6-корпус коробки передач, 7-електродвигун, 8-колонна, 9-Фундаментна плита</p>
		9	Зенкування стояка для утворення ливникової чаші	Вертикально - свердлувальний верстат	Зенкер	 <p>Рисунок 2.41 Схематичне зображення зенкера</p>

## Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7
1.4	Зміцнювальна термічна обробка	1	Гартування заготовок (половинки форми, стрижня, центрувальних штирів)	Камерна піч Н-15 при 840-875 °С охолодження в маслі	Піддон для деталей, гартувальний бак з оливою	 <p>Рисунок 2.42 Схематичне зображення камерної піччї: 1-нагрівальні елементи, 2-вогнетривка частина кладки, 3- теплоізоляція, 4-жаротривка подова плита</p>
		2	Відпуск заготовок (половинки форми, стрижня, центрувальних штирів)	Камерна піч Н-15 при 450-650 °С охолодження на повітрі	Піддон для деталей	 <p>Рисунок 2.43 Схематичне зображення камерної піччї: 1-нагрівальні елементи, 2-вогнетривка частина кладки, 3- теплоізоляція, 4-жаротривка подова плита</p>

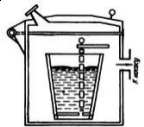
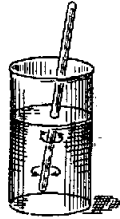
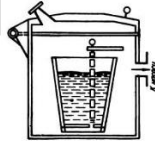
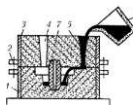
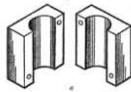
## Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7
1.5	Чистова механічна обробка	1	Точіння заготовки стрижня, центрувальних штирів	Токарний верстат	Прохідний різець	 <p>Рисунок 2.44 Токарний верстат: 1- передня бабка з коробкою передач 2- гітара змінних колес 3- коробка подач 4- станина 5- фартук 6- супорт 7- задня бабка 8- електрошафа</p>
		2	Точіння заготовки центрувальних штирів	Токарний верстат	Прохідний різець	 <p>Рисунок 2.45 Токарний верстат: 1- передня бабка з коробкою передач, 2- гітара змінних колес, 3- коробка подач, 4- станина 5- фартук, 6- супорт 7- задня бабка 8- електрошафа</p>
		3	Зенкерування отворів для встановлення центрувальних штирів	Вертикально-свердлувальний верстат,	Спіральне циліндричне свердло	 <p>Рисунок 2.46 Схематичне зображення зенкера</p>

## Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7
		4	Чистове фрезерування робочого об'єму нижньої та верхньої напівформи	Вертикально-фрезерувальний верстат з числовим управлінням	Кінцева фреза	 <p>Рисунок 2.47 Схематичне зображення вертикально-фрезерувального верстата з числовим програмним управлінням 1- консоль 2- салазки 3- захисний щиток 4- шпиндель 6- фрезерна бабка, 7- повзун 8- станина 9- кожух 10- шафа</p>
Розділ 2 Заливка поліуретана						
2.1	Підготовка поліуретанової суміші до заливки	1	Розрахунок необхідної кількості матеріала	Калькулятор		
		2	Дегазація компонента А	Вакуумний насос	Герметична ємність	 <p>Рисунок 2.48 Схематичне зображення герметичної ємності</p>

## Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7
		3	Дегазація компонента Б	Вакуумний насос	Герметична ємність	 <p>Рисунок 2.49 Схематичне зображення герметичної ємності</p>
		4	Змішування компонента А и компонента Б		Скляна палиця, Скляний стакан	 <p>Рисунок 2.50 Схематичне зображення перемішування рідини</p>
		5	Дегазація отриманої поліуретанової суміші	Вакуумний насос	Герметична ємність	 <p>Рисунок 2.51 Зображення герметичної ємності</p>
2.2	Заливка поліуретанової суміші	1	Заливка поліуретанової суміші в ливарну форму			 <p>Рисунок 2.52 Схематичне зображення заливання матеріалу в ливарну форму</p>
		2	Рознімання ливарної форми			 <p>Рисунок 2.53 Схематичне зображення роз'єднаної форми</p>



## Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7
2.2		3	Вийманн я готової деталі з ливарної форми			
2.3	Механічн а обробка деталі	1	Видален ня стояків	Стрічкопильн ий верстат		
		2	Видален ня випарів			
		3	Видален ня облою			
						<p>Рисунок 2.54 Схематичне зображення стрічкопильного верстату 1- приводний шків 2- холостий шків 3- робоча пильна гілка 4- холоста пильна гілка 5- заготівка 6- нерухомий стіл 7- механізм автоматичного натягу 8- верхні направляючі обмежувачі 9- нижні направляючі обмежувачі</p>
2.4	Контроль якості	1	Вимірюв ання геometri чний розмірів			

## 2.3 Різниця методів лиття

### 2.3.1 Переваги і недоліки методу вільного лиття в металеву форму

Перевагами цього методу є:

- можливість багаторазово використовувати ливарну форму без зміни властивостей форми;
- висока точність отриманих деталей або виливків;
- використання металевої ливарної форми покращує технічні, економічні та екологічні показники виробництва;

Проте цей метод має і характерні недоліки:

- висока складність в виготовленні металевої ливарної форми;
- велика вартість готової ливарної форми;
- висока теплопровідність що може впливати на терморектопласти;
- необхідність підігріву форми для терморектопластів;

### 2.3.2 Порівнювальний аналіз технологій лиття в силіконову і металеву форму

Виготовлення деталей обома методами проходить в два основні етапи:

1. виготовлення ливарної форми;
2. заливання необхідного матеріалу, у нашому випадку в обох методах використовували поліуретанову суміш.

Хоч і процес виготовлення деталей однаковий, проте різниця полягає в методі виготовлення ливарної форми. Виготовлення металевої форми дуже складне в порівнянні з виготовленням силіконової форми.

Розглянемо шляхи виготовлення ливарних форм цими двома методами які наведені в таблиці 2.3

Процес заливання поліуретанової суміші однаковий для двох методів. Він складається з таких етапів:

Замірювання необхідної кількості компонентів поліуретанової суміші;

- дегазація компонентів поліуретанової суміші;
- замішування двох компонентів поліуретанової суміші;
- дегазація отриманої суміші;
- заливання суміші в ливарну форму;
- після повної полімеризації рознімання та виймання готової деталі;
- видалення стояків, стрижнів, випарів та облою з деталі.

Отже основною різницею методів є саме виготовлення ливарної форми. Металева форма складніша в виготовленні ніж силіконова, проте має кращі технологічні властивості.

Таблиця 2.6

## Порівняння методів вільного лиття

Етапи виготовлення	Метод вільного лиття в силіконову форму	Етапи виготовлення	Метод вільного лиття в металеву форму
Моделювання підмодельної основи	Виготовлення підмодельної плити	Розділова	Заготовлення необхідної кількості заготовок для виготовлення ливарної форми
Підготовка до заливання	Монтаж моделі	Попередня термічна обробка	Відпал заготовок термічної обробки
	Встановлення опоки		
Виготовлення нижньої напівформи	Заливання силіконової суміші	Чорнова механічна обробка	Точіння центрувальних штирів, стрижня
	Прибирання опоки		Свердління отворів для встановлення центрувальних штирів
	Видалення підмодельної плити		Фрезерування робочого об'єму нижньої напівформи
Виготовлення верхньої напівформи	Встановлення опоки, стояків, випарів	Свердління отворів для утворення стояка, та випарів	Фрезерування робочого об'єму верхньої напівформи

	Заливання силіконової суміші
	Рознімання опоки
	Виймання отриманої форми
	Виймання моделі, стояків, випарів
	Ливарна форма готова

	Зенкування отвору стояка для утворення ливарної раковини
Остаточна термічна обробка	Гартування заготовок ливарної форми
	Відпуск заготовок ливарної форми
Чистова механічна обробка	Зенкування отворів для встановлення центрувальних штирів
	Фрезерування робочого об'єму нижньої та верхньої напівформи

## 2.5 Використане обладнання

Для виготовлення деталей методом вільного лиття в силіконову форму використовувалось таке обладнання:

- вакуумний насос;
- герметична ємність;

Для виготовлення деталей методом вільного лиття в металеву форму використовувалось таке обладнання:

- стрічкопильний верстат;
- камерна піч Ш-30;
- токарний верстат;
- вертикально-свердлувальний верстат;
- вертикально-фрезерувальний верстат з числовим управлінням;
- вакуумний насос;
- герметична ємність;
- стрічкопильний верстат;

## Висновки

1. Проведений аналіз умов роботи вузла «стійка стабілізатору» автомобіля. Показано, що основними вимогами до вузла є висока міцність, що забезпечує тривалу роботу вузла. Кріплення стійки стабілізатору повинно мати демфуюче з'єднання, завдяки якому подовжується термін експлуатації вузлу стійки стабілізатору.
2. Матеріал елементів стійки повинен забезпечувати довговічність конструкції, корозійну стійкість в атмосферних умовах, низьку вартість елементів стійки. Сійка стабілізатору – це вузол, що складається з таких елементів: стержня П-видної форми, тяги, кріплення, ущільнювальної втулки. Між тягою та кріпленням встановлюється ущільнююча втулка, що виконує роль демпфера і є відповідальною деталлю.
3. Основними матеріалами для виготовлення ущільнювальних втулок є неметалічні, такі як гуми, полімерні матеріали, композиційні матеріали на неметалевій основі, каучуки та різні види пластичних мас. Проведений ґрунтовний аналіз матеріалів, що використовуються для виготовлення ущільнювальної втулки стійки стабілізатору автомобіля. Дослідження показали, що перспективним матеріалом є поліуретан, тому що він має такі переваги як широкий температурний інтервал експлуатації, високу еластичність при високій твердості, має низьку масу, високу стійкість до кислот.
4. Літературно-патентний пошук дозволив визначити можливі методи отримання поліуретану та нові технології виробництва деталей із поліуретану. Це литво під тиском, екструзія, пресування та вільне лиття. Метод вільного лиття є найдешевшим, не потребує спеціального обладнання. Володіє такими перевагами порівняно з іншими: простота методу, низька вартість обладнання, можливість використовувати як для масового виробництва так і для штучного або малосерійного виробництва. Тому в роботі запропоновані технології вільного лиття поліуретану в металеву та силіконову форму.

5. Показано, що застосування технології вільного лиття в металеву форму дозволяє отримувати виливки з гарною точністю геометричних розмірів та мінімальну кількість поверхневих дефектів у виливці. Але є такі недоліки: висока вартість методу, складність виготовлення ливарної форми, необхідність підігріву форми для терморектопластів. Цей метод лиття поліуретану рекомендовано застосовувати для масового виробництва.
6. Застосування технології вільного лиття в силіконову форму дозволяє зменшити час на виготовлення ливарної форми та має меншу ціну виготовлення ливарної форми. Також ця технологія дозволяє виготовляти ливарні форми складної форми. Цей метод лиття поліуретану рекомендовано застосовувати для малосерійного або одиничного виробництва.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стойки стабилизатора: что это такое, расположение и принцип работы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nissan-modus.ru/shiny/stojki-stabilizatora-cto-eto-takoe-raspolozhenie-i-printsip-raboty.html>
2. Стойки стабилизатора поперечной устойчивости [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://blamper.ru/auto/wiki/hodovaya-chast/stoyki-stabilizatora-poperechnoy-ustoychivosti-3112/>
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П., Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.: ил.
4. Осовская И.И., Савина Е.В., Левич В.Е. Эластомеры: учебное пособие/ВШТЭСПБГУТД. СПб., 2016. – 126 с
5. Негодяев Н.Д. Ельцов О.С. Матерн А.И. Основы технологии и применения конструкционных материалов Екатеринбург, 2006 – 126 с.
6. Саундерс Дж.Х., Фриш К.К. Химия полиуретанов. - М.: Химия, 1968. - 470 с.
7. Липатов Ю.С. Структура и свойства полиуретанов. Київ: Наук. думка, 1970. –279 с.
8. Разновидности и типы полиуретанов [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://pkf-elektroplast.com.ua/a410148-raznovidnosti-tipy-poliuretanov.html>
9. Технология литья полиуретана [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://milling-master.ru/litejnye/tehnologiya-litya-poliuretana.html>
10. Сравнение полиуретанов с другими эластомерами [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://xn--80aaigboe2bzaiqsf7i.xn--p1ai/Sravnenie-poliuretanov-s-drugimi-elastomerami/>
11. Сравнение полиуретанов с другими эластомерами [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://silicone.kiev.ua/articls/422-sravnenie-poliuretanov-i-drugikh-elastomerov.html>

12. Описание и технологии переработки – Литьё под давлением [Электронный ресурс] - Режим доступа:  
<http://www.polymerbranch.com/termoplast/view/5.html>
13. Описание и технологии переработки – Экструзия [Электронный ресурс] -  
Режим доступа: <http://www.polymerbranch.com/termoplast/view/5.html>
14. Описание и технологии переработки—Формование [Электронный ресурс] –  
Режим доступа:  
<http://www.polymerbranch.com/termoplast/view/7/12.html#v12>
15. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. – Київ.: 2006. - 270 с.
16. ПК «КОУТЕКС ЭПУ» [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://koutex.com.ua/shop/pk-kouteks-epu-epoksiuretanovoe-pokrytie/>
17. SKL-30 - Харчовий Силікон Для Форм [Электронный ресурс] – Режим  
доступа: [https://silikoni.com.ua/ua/molding\\_silicone/skl-30-silikon-na-platine](https://silikoni.com.ua/ua/molding_silicone/skl-30-silikon-na-platine)
18. ГОСТ 4543-71 ПРОКАТ ИЗ ЛЕГИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ  
СТАЛИ – Введ. 1973-01-01 М.: Издательство стандартов 1971- 39 с.
19. Итальянский Термопластичный полиуретан [Электронный ресурс] – Режим  
доступа: <https://www.uch.com.ua/tpu/>



