

УДК 617.546:004.92



**С. О. Якушенко,**  
викладач Херсонського  
політехнічного коледжу,  
Одеського національного  
політехнічного університету  
Yakushenkosa82@ukr.net



**І. В. Федіна,**  
викладач Херсонського  
політехнічного коледжу,  
Одеського національного  
політехнічного університету



**П.С. Носов,**  
к.т.н., доцент, Херсонська  
державна морська академія  
pason@ukr.net

## ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРШНІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ З КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

**С. О. Якушенко, І. В. Федіна, П. С. Носов.**  
**Доцільність виготовлення поршнів**  
**автомобільних двигунів з композитних**  
**матеріалів.** Розглянуто питання  
класифікації та особливості застосування  
композитних матеріалів в машинобудуванні.

**S. Yakushenko, I. Fedina, P. S. Nosov. The**  
**expediency of manufacturing automobile**  
**engines' pistons of composite**  
**materials.** The questions of classification and  
peculiarities of the composite materials usage  
in mechanical engineering are considered.

**Вступ.** Покращення потужнісних, економічних та екологічних показників двигуна внутрішнього згорання в умовах зростаючого попиту в автомобільній промисловості являється одним з актуальних завдань.

Це завдання вирішується за рахунок вдосконалення робочого процесу двигуна, так і оптимізації основних вузлів та деталей.

Тому саме під час створення двигуна особливу увагу приділяють конструкції та матеріалу виготовлення поршня, від роботи якого залежать основні показники двигуна [1].

**Основний матеріал дослідження.** Металевими сплавами називають речовини, що складаються не менше ніж з двох компонентів і одним з них обов'язково повинен бути метал. Металеві сплави мають надзвичайно велике значення, оскільки в техніці застосовують звичайно не чисті метали, а сплави. Серед них найбільш поширені сплави на основі заліза і алюмінію.

Перші алюмінієві сплави отримані в 50-х рр. 19 сторіччя. Вони представляли собою сплав алюмінію з кремнієм і характеризувалися невисокою міцністю і корозійною стійкістю. Переваги поршнів з алюмінієвих сплавів наведені [2].

Евтектичні сплави мають добрі ливарні властивості – високу рідкоплинність, невелику усадку, малу здатність до утворення гарячих тріщин, високу герметичність. Найкращими ливарними властивостями відзначаються силуміни – сплави системи Al-Si.

Виливки із подвійних силумінів відпалюють для зняття напруг. Підвищення механічних властивостей цих сплавів досягається їх модифікуванням (сплав АК12 (АЛ2)). У сплавах без модифікування в структурі присутні кристали крихкого кремнію, що знижує міцність та пластичність. Введенням модифікатора – натрію (біля 0,06%, як правило, вводиться у вигляді хлористих та фтористих солей) евтектична концентрація зміщується з 11,6 % до 14 %Si, тому замість  $\beta$ -фази (кремній) при кристалізації утворюються пластичні кристали  $\alpha$ -фази (рисунок 1).



Немодифікований силумін

Модифікований силумін

Рисунок 1 – Мікроструктура силумінів

До переваг цих матеріалів належать високі ливарні властивості. В промисловості використовують подвійні силуміни або леговані (Mg, Cu, Mn, Ni). За структурою розрізняють доевтектичні силуміни та евтектичні сплави. Легування Cu, Mg, Zn сприяє підвищенню міцності, особливо після гартування та старіння; Ti, Zr, В – подрібнюють зерно та підвищують дисперсність евтектичних складових; Mn підвищує корозійну стійкість; Ni, Fe підвищують жароміцність ливарних алюмінієвих сплавів [3].

Для виготовлення поршнів автомобільних ДВЗ в даний час в основному використовують алюмінієві сплави, рідше сірий або ковкий чавун, а також композиційні матеріали.

Алюмінієві сплави мають малу щільність, що дозволяє знизити масу поршня і, отже, зменшити інерційні навантаження на елементи циліндро-поршневої групи і КШМ.

Однак поршням з алюмінієвих сплавів властивий ряд серйозних недоліків, основними з яких є невисока втомна міцність, зменшується при підвищенні температури, високий коефіцієнт лінійного розширення, менша, ніж у чавунних поршнів, зносостійкість, порівняно велика вартість.

Чавун як матеріал для поршнів в порівнянні з алюмінієвим сплавом володіє наступними позитивними властивостями:

- більш високими твердістю і зносостійкістю, жароміцністю;
- однаковим коефіцієнтом лінійного розширення з матеріалом гільзи.

Останнє дозволяє істотно зменшити і стабілізувати по режимам роботи зазори в з'єднанні юбка поршня – циліндри.

Однак велика щільність не дозволяє його широко використовувати для поршнів високооборотних автомобільних двигунів.

Даний недолік може бути частково зневільований включенням в структуру чавуну шаровидного графіту, що дозволяє відливати елементи поршня істотно меншої товщини. Як впливає з вище сказаного, ні силуміну, ні чавун в повній мірі не є оптимальним матеріалами для виготовлення поршнів.

У зв'язку з цим в даний час ведеться активна робота з використанням для виготовлення поршнів з керамічних матеріалів, які найкращим чином відповідають вимогам, що пред'являються до матеріалу поршневої групи [4].

Композиційні матеріали (композити) представляють собою гетерогенні, тобто неоднорідні системи, що складаються з двох або більше фаз-компонентів, причому кожен з компонентів зберігає свої властивості.

Один з компонентів є матрицею, тобто створює цілісний матеріал. Другий є армуючим (підсилює). По виду армуючого матеріалу композити поділяються на дві основні групи: дисперсно-зміцнені і волокнисті .

Композити мають властивості, якими не володіють його компоненти. Варіюючи кількістю зміцнюючої фази, її розподілом в матриці, можна створювати, тобто конструювати, матеріали (або безпосередньо деталі) з наперед заданими характеристиками.

Пластичність, міцність, широка сфера застосування – ось чим відрізняються сучасні композитні матеріали.

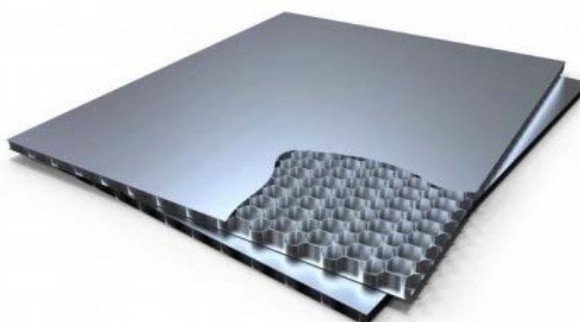


Рисунок 2 – Вигляд композитного матеріалу

Ці матеріали складаються з металевої або неметалевої основи. Для посилення матеріалу використовуються нитки, волокна, пластівці більшої міцності. Серед композиційних матеріалів можна виділити пластик, який армується боровими, вуглецевими, скляними волокнами, або алюміній, армований сталевими або бериллиевими нитками. Якщо комбінувати зміст компонентів, можна отримувати композити різної міцності, пружності, стійкості до абразивів.

Найбільш поширена технологія отримання дисперсно-зміцненого композиту – порошкова металургія. Основними технологічними процесами є отримання порошкових сумішей, пресування порошків з подальшим спіканням і пластична деформація отриманої маси. У процесі пластичної деформації підвищується щільність і зменшується пористість композиту.

Представником найпоширенішого дисперсно-зміцненого виду металевих композитних матеріалів (МКМ) на основі алюмінію є матеріали типу САП (спечена алюмінієва пудра). Матрицею служить алюміній, зміцнювальним компонентом – частинки оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ . Алюмінієва пудра з частинками завбільшки 1 мкм збагачується оксидом алюмінію під час її мелення в кульових млинах, де концентрація кисню менша, ніж в атмосфері. Виготовлення виробів з порошків Al і  $Al_2O_3$  відбувається завдяки пресуванню й подальшому спіканню.

Матеріали типу САП (САП-1, САП-2, САП-3) містять 6 – 17%  $Al_2O_3$ . Зі збільшенням об'ємної концентрації оксиду алюмінію зростають міцність, твердість і жаростійкість і знижується пластичність САП. При температурах експлуатації 300 – 500°C САП перевищують за жаростійкістю всі деформівні промислові сплави алюмінію.

САП добре деформуються у гарячому стані, обробляються різанням, легко зварюються. З них виробляють профільні напівфабрикати, листи, фольгу і штампівки. САП успішно застосовують для деталей з високою питомою міцністю й корозійною тривкістю (штоки поршнів, лопатки компресорів, труби теплообмінників) [3].

Волоконні МКМ на основі алюмінію. Для матриці застосовують алюміній та його сплави марок АМц, АМг2, АМг6, АД33, Д16, В95. Сплави не дорогі, мають малу густину, добру корозійну тривкість й здатність істотно зміцнюватись термічною обробкою.

Таблиця 1 – Характеристика матеріалів [5]

Матеріали	Межа міцності $\sigma_b$ , МПа	Межа текучості $\sigma_{0,2}$ МПа	Відносне видовження $\delta$ , %
1	2	3	4

Продовження Таблиці 1

Силуміни			
1	2	3	4
АК9 (АЛ4)	260 – 290	160 – 200	2 – 4
АК12 (АЛ2)	160 – 190	80 – 120	5 – 7
Дисперснозміцнені металеві композитні матеріали на основі алюмінію			
САП – 1	300	200	8
САП – 2	320	230	4
САП – 3	400	340	3
Волоконні металеві композитні матеріали (МКМ) на основі алюмінію			
ВКА – 1	550 – 600	300 – 350	2 – 3

Один з практичних способів використання кераміки полягає у виготовленні деталей поршня з метало або полімерокомпозиційних матеріалів. Матрицею (основою) першого типу матеріалів є алюміній або магній, а в якості наповнювача використовують керамічні та металеві порошки або волокна пористих матеріалів.

Перспективним є армування елементів поршня керамічними волокнами з оксиду алюмінію та діоксиду кремнію. При вмісті в основному матеріалі до 40...50% оксиду алюмінію виходить аморфне керамічне волокно з діаметром 2...3 мкм, успішно працює при температурі 1200...1300°C.

Основними проблемами, що стримують широке використання кераміки для виготовлення поршнів автотракторних двигунів, є крихкість, низька міцність на вигин, схильність до тріщиноноутворення і втоми, а також висока вартість.

Матеріал поршня повинен бути можливо малої щільності, мати низький коефіцієнт лінійного розширення, володіти зносостійкістю, високою теплопровідністю, в тому числі при підвищених температурах, мати гарну оброблюваність. При цьому важливими є комплексні характеристики матеріалу, а не тільки окремі його властивості. Залежно від призначення двигуна і типу конструкції поршня можуть бути застосовані різні матеріали. Поршні двигунів багатьох типів, насамперед автомобільних і тракторних, виготовляють з легких сплавів литтям в кокіл або штампуванням. У першому випадку застосовуються евтектичних силуміну типу 4Л25 (11-13% Si) і заевтектичних, що містять присадки міді, нікелю, магнію і марганцю.

Якщо вміст оксиду алюмінію перевищує 70%, виходить структура волокна, що наближається до кристалічної, що сприяє високою термічною стабільністю виробу.

Композиційні матеріали мають перевагу гнучкій конструкції, яка може бути адаптована до вимог конкретного проекту.

На рисунку 3 показані переваги застосування композитних матеріалів в порівнянні зі сталю та алюмінію.

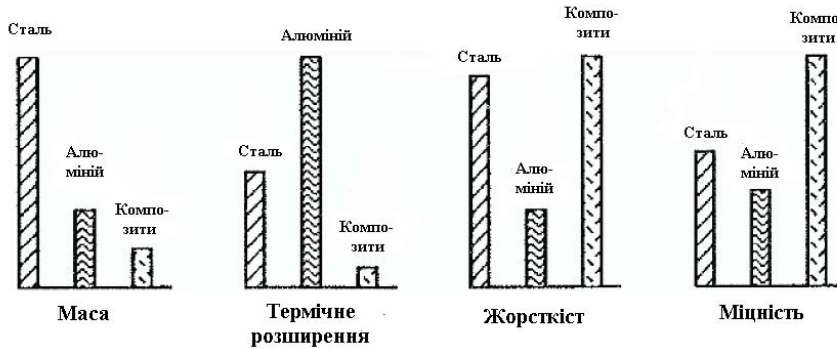


Рисунок 3 – Порівняння композитних матеріалів зі сталю та алюмінію [6].

В даний час знаходять застосування наступні технології: Рідке штампування з наскрізним просоченням волокнистої керамічної вставки. Матеріал керамічної вставки – алюміній-кремнеземісті волокна діаметром 2...4 мкм, модулем пружності 150ГПа, межа міцності 1700МПа, щільністю (об'ємний вміст волокон) 10...20% і вміст неволокнистої складової становить не більше 5%.



Рисунок 4 – Композитний поршень для двигуна внутрішнього згорання

Метод рідкого штампування в поєднанні з зміцненням головки поршня керамічними волокнами порівняно з традиційною технологією кокільного лиття дозволяє:

- знизити витрату металу на 30... 40%;
- отримати щільну і мілкозернисту структуру без дефектів і газової пористості;
- підвищити механічні і фізичні властивості матеріалу поршня на 15 ... 20%;
- домогтися високої термічної стабільності зміцнюючого ефекту;
- істотно підвищити термостійкість і знизити знос робочих поверхонь поршня без появи термічних тріщин на кромках;
- удосконалити конструкцію поршня і підвищити ефективність роботи двигуна.

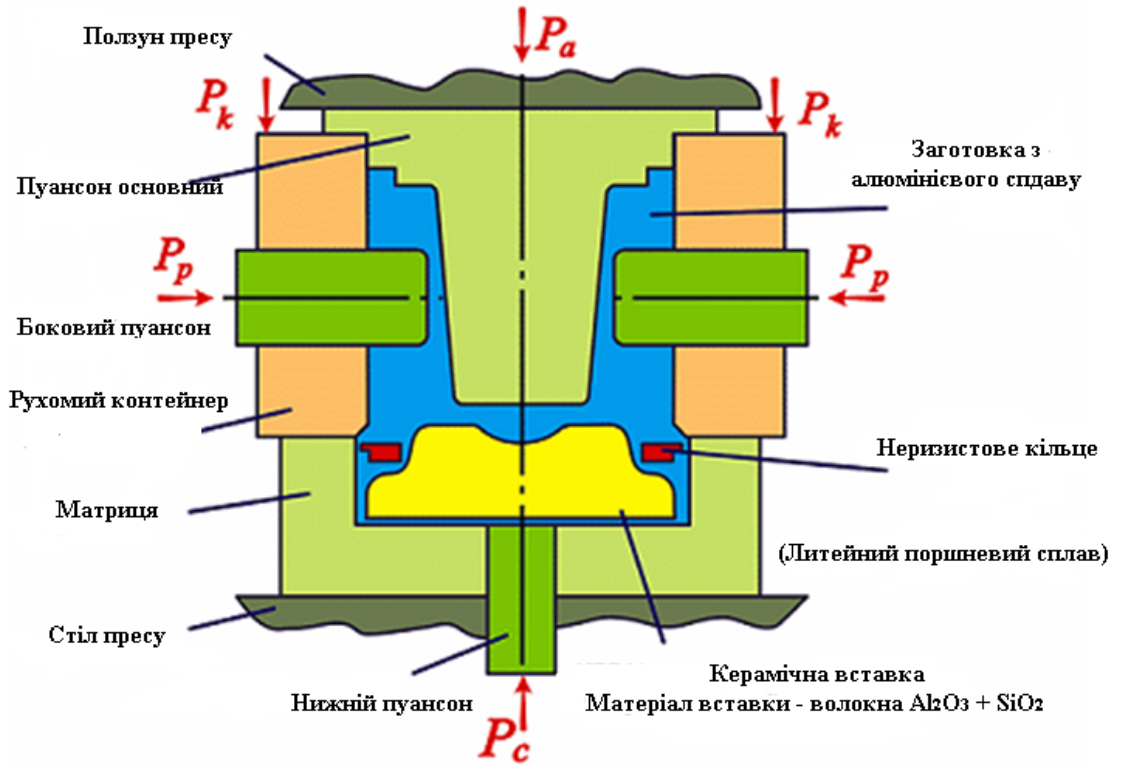


Рисунок 5 – Схема рідкого штампування поршня на спеціальному пресі

Результати порівняльних випробувань композитного і стандартного поршнів, %:

- межа міцності при 350° С +50;
- опір зносу +700;
- опір термовтомлюваності +100;
- гаряча твердість +30;
- коефіцієнт термічного розширення -15;

– теплопровідність -25 [4].

**Висновок.** Вивчення, створення та використання композитних матеріалів в двигунобудуванні – перспективна сфера сучасного матеріалознавства, що швидко розвивається. Використання композитних матеріалів у двигунобудуванні дозволить розширити межі їх використання за рахунок переваг над алюмінієвими сплавами та сплавами на основі заліза.

Розробка методів впливу на властивості матеріалу в залежності від його складу, будови компонентів та технології виготовлення дасть можливість створювати конструкції, які максимально враховують особливості роботи поршнів у циліндрі двигуна.

В теперішній час перешкодою для застосування композитів у ДВЗ являється його висока вартість.

### Література

- 1) CYBER LENINKA [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://cyberleninka.ru/article/n/konstruksionnye-materialy-dlya-porshney-dvs>
- 2) С. О. Якушенко, І. В. Федіна Вплив режимів роботи двигуна на зміну механічних властивостей поршнів // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць [Текст]. – Вип. 5(10) – О.: Наука і техніка, 2015. – С. 79 – 83
- 3) Попович В.В., Попович В.В. «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство»: [Текст] Підручник. – Львів: Світ, 2006.- 624с.: Іл.
- 4) Технология производства деталей двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие / А.С. Ненишев, С.В. Мельник, В.П. Расщупкин, М.С. Корытов, Ю.К. Корзунин. – Омск: СибАДИ, 2009. – 92 с.
- 5) <http://www.splav-kharkov.com/main.php>
- 6) Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении. В. А. Рогов, М. И. Шкарупа, А. К. Велис. Вестник РУДН, серия Инженерные исследования, 2012, №2 – С. 41 – 49

*Надійшла до редакції 25.01.2018*