

УДК 62-144:669.715.004.15

- Мітяєв О. А.** д-р техн. наук, зав. кафедри «Композиційні матеріали, хімія та технології» Запорізького національного технічного університету, Запоріжжя, Україна, e-mail: [mityaev@zntu.edu.ua](mailto:mityaev@zntu.edu.ua);
- Волчок І. П.** д-р техн. наук, професор кафедри «Композиційні матеріали, хімія та технології» Запорізького національного технічного університету, Запоріжжя, Україна, e-mail: [volchok@zntu.edu.ua](mailto:volchok@zntu.edu.ua);
- Лоза К. М.** канд. техн. наук, АТ «Мотор Січ», Запоріжжя, Україна, e-mail: [loza@motorsich.com](mailto:loza@motorsich.com);
- Концур О. О.** аспірант кафедри «Композиційні матеріали, хімія та технології» Запорізького національного технічного університету, Запоріжжя, Україна, e-mail: [tmzntu@gmail.com](mailto:tmzntu@gmail.com)

## ВИСОКОЯКІСНІ ПОРШНЕВІ СПЛАВИ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА

**Мета роботи.** Дослідження властивостей експериментального нового сплаву виробництва АТ «Мотор Січ» та порівняння з кращими світовими аналогами – поршневиими сплавами виробництва Росії та Німеччини.

**Методи дослідження.** Хімічний склад експериментальних і серійних сплавів контролювали спектральним аналізом на іскровому спектрометрі «Spectro-Max». Аналіз макро- та мікроструктури виконували за допомогою оптичних мікроскопів МИМ-7, МИМ-8 і «Neophot-21». Вивчення структури при великих збільшеннях проводили на растровому електронному мікроскопі «JSM-300» (Японія). Мікрорентгеноспектральний аналіз структурних складових виконували на растровому електронному сканувальному мікроскопі «JSM-6360LA» (Японія). Температурний коефіцієнт лінійного розширення визначали за допомогою оптичного кварцового дилатометра Шевенара. Опір високотемпературному руйнуванню визначали за ГОСТ 10145-81.

**Отримані результати.** Розроблено експериментальну технологію підвищення якості поршневих сплавів і збільшення ресурсу, надійності та довговічності поршнів, що виготовлені з них.

**Наукова новизна.** Виявлено основні закономірності зміни структури вітчизняних поршневих сплавів в процесі експлуатації, що дозволило сформулювати критерії надійності при високих температурах. Встановлено, що каркасна структура комірчастого типу, яку було отримано за експериментальною технологією, є термічно стабільною в умовах експлуатації (~ 300...350 °С) обмежує зміння розмірів і геометрії поршня та сприяє підвищенню його довговічності.

**Практична цінність.** Застосування експериментальної технології, у порівнянні з серійною, спростило технологічний процес, знизило витрати на його виконання, позитивно позначилося на стабільності структури поршнів, призвело до зниження температурного коефіцієнта лінійного розширення на 5,60...5,75 % та збільшило час до руйнування при заданих напруженні та робочій температурі в 2,4 рази. Впровадження результатів роботи у виробництво дозволило знизити собівартість поршнів більш ніж у 3 рази.

**Ключові слова:** поршень; поршневі сплави, макро- і мікроструктури; хімічний склад; температурний коефіцієнт лінійного розширення; границя витривалості; лазерна обробка.

### ВСТУП

Науково-технічний прогрес неможливо уявити без винаходу двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). Однією з найважливіших і найбільш навантажених його деталей є поршень, який протягом кожного робочого циклу зазнає значних термоциклічних і знакозмінних динамічних навантажень. Вимоги до матеріалів для виготовлення поршнів багатогранні, важко сумісні, а іноді суперечливі, що робить процес їхнього виробу складним у кожному конкретному випадку.

### 1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На сьогодні моторесурс поршнів автомобільних і тракторних двигунів повинен перевищувати

6000 годин [1]. Впродовж цього часу напруги у поршні за знаком та величиною змінюються більш ніж у  $4 \cdot 10^8$  разів [1], що значно перевищує число циклів, які приймають за базу при проведенні випробувань на втому [2, 3]. Так для легких сплавів, при визначенні границь витривалості, база складає  $10 \cdot 10^7$  циклів, а при проведенні порівняльних випробувань –  $10 \cdot 10^6$  циклів [3, 4].

Значення величин тиску газів і термічних напружень на поверхні днища поршня можуть сягати 20...30 МПа [5, 8]. Поршень контактує з продуктами згоряння палива, температура яких може досягати 2000 °С, при цьому максимальна температура днища поршню залежить від потужності двигуна (табл. 1).

Для ДВЗ малої та середньої потужності поршні виготовляють переважно із алюмінієвих сплавів з вмістом кремнію 11...25 мас. % – евтектичних і заевтектичних силумінів.

Намагання врахувати всі вимоги, які висувають до поршневих матеріалів, було зроблено у роботах [1, 7]:

- мала густина (для зниження навантажень на шатун);
- низький температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР), який забезпечує мінімальний зазор між поршнем та циліндром, що сприяє підвищенню потужності двигуна, знижує витрати паливно-мастильних матеріалів, подовжує термін експлуатації деталей циліндро-поршневої групи;
- висока теплопровідність, для забезпечення швидкого відведення тепла та охолодження;
- висока твердість і висока щільність литва, які попереджають причини швидкого руйнування;
- стабільність структури в діапазоні робочих температур, з метою попередження явища «зростання» (збільшення об'єму), що може викликати заклинювання та руйнування деталей;
- висока статична, динамічна та втомна міцність;
- антифрикційні властивості;
- високий опір корозійному руйнуванню в агресивних рідинних і газових середовищах;
- задовільні технологічні властивості, які дозволяють виготовляти якісні деталі при мінімальних економічних витратах.

## 2 МЕТА РОБОТИ

Метою роботи було дослідження властивостей поршневого сплаву виробництва АТ «Мотор Січ» (Україна, м. Запоріжжя), який отримано за експериментальною технологією та порівняння його властивостей з поршневими сплавами – аналогами виробництва Росії та Німеччини, що наведені у роботі [8].

## 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Світовим лідером і основним постачальником поршнів на міжнародний ринок є фірма «Mahle» (Німеччина), котра розробила шкалу допустимих мікроструктур для сплавів, що є аналогами АЛ25 (АК12М2МгН) та АЛ30 (АК12ММгН) за ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93). Ідеальною з точки зору

даної шкали є зерниста структура з компактними пластинчастими частинками (до 100 мкм) евтектичного кремнію та інтерметалідів визначеної форми, які утворюють «комірчастий» каркас на фоні  $\alpha$ -твердого розчину на основі алюмінію. Дана структура забезпечує опір процесам дифузії та переміщенню дислокацій, що при роботі в умовах робочих температур підвищує показники жароміцності та позитивно відображається на надійності та довговічності виробів.

Аналіз дефектів циліндро-поршневої групи ДВЗ виробництва АТ «Мотор Січ» за 2003...2010 роки зі сплаву АЛ25 дозволив встановити, що основними причинами передчасного руйнування деталей були: незадовільний рівень механічних властивостей сплаву АЛ25 при робочих температурах, а також нестабільність структури сплаву в процесі експлуатації, котра була причиною зміни розмірів поршня та порушення режимів його роботи.

Фахівцями АТ «Мотор Січ» разом зі співробітниками Запорізького національного технічного університету (ЗНТУ) було розроблено експериментальну технологію оброблення розплаву АЛ25, що гарантовано забезпечувала отримання у поршнях каркасної структури комірчастого типу у вигляді рівновісних ділянок  $\alpha$ -твердого розчину на основі алюмінію, які оточені пластинчастими включеннями  $\beta$ -Si та компактними включеннями інтерметалідів розмірами до 100 мкм (рис. 1).

Отримана мікроструктура з точки зору шкали допустимих мікроструктур фірми «Mahle» (Німеччина) вважається допустимою (майже ідеальною). Результати порівняльного аналізу (табл. 2) засвідчили, що експериментальна технологія забезпечує більш високі та стабільні результати, ніж серійна.

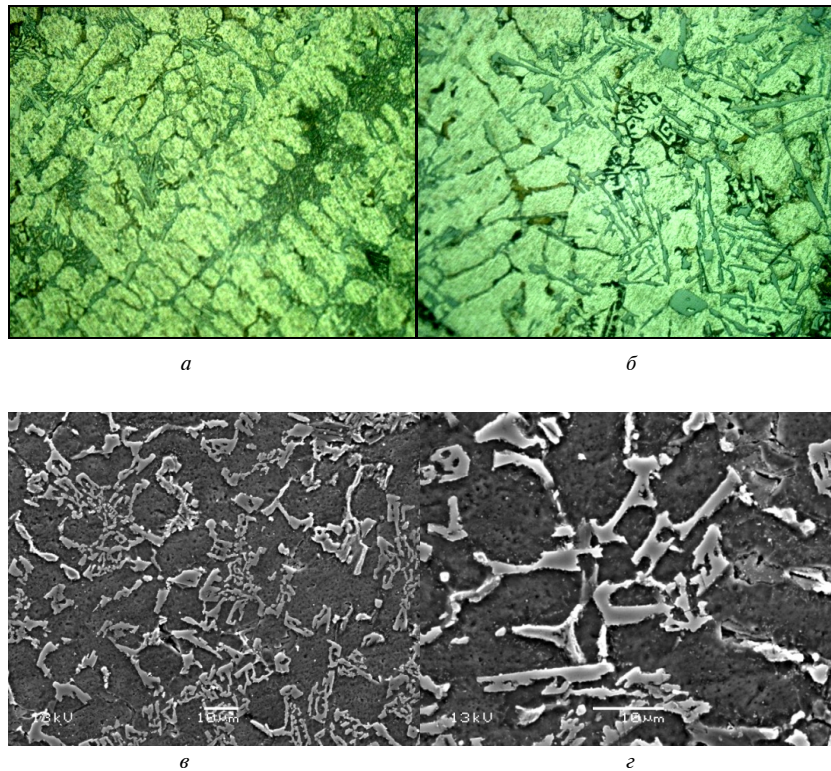
Поршні, що були виготовлені за експериментальною технологією, характеризуються більш дисперсною макроструктурою (рис. 2), а мікроструктура, котра являє каркас із кремнієвої евтектики та інтерметалідів, забезпечує гальмування дифузійних процесів і обмеження довжини пробігу дислокацій, що позитивно позначилося на стабільності структури при робочих температурах (до 350 °С) і призвело до зниження ТКЛР на 5,60...5,75 %.

Хімічний склад та властивості експериментальних сплавів було порівняно (табл. 3 та табл. 4) з даними, що наведено у роботі [8].

Таблиця 1. Температурне поле днища поршнів [1]

Потужність ДВЗ, к.с. (кінські сили)	50	100	130	165	175
Діапазон температури, °С	165...230	190...260	215...275	230...310	235...345

Примітка. В умовах холостого ходу температурне поле знаходиться у діапазоні 140...180 °С для двигунів усіх номенклатурних потужностей.

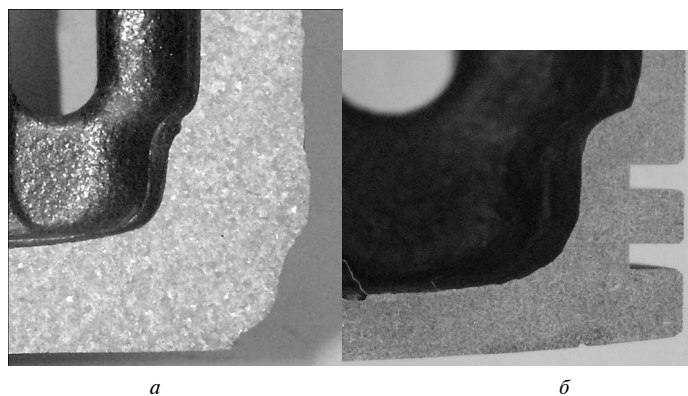


**Рисунок 1.** Мікроструктура сплаву АЛ25 [9]: *а* – традиційна технологія,  $\times 500$ ; *б*, *в*, *г* – експериментальна технологія,  $\times 500$ ,  $\times 1000$ ,  $\times 2000$  (відповідно)

**Таблиця 2.** Вплив технології виробництва на властивості сплаву АЛ25

Технологія	$\sigma_B$ , МПа		НВ, МПа		НВ, МПа після витримки 100 год при 300°C		Час до руйнування при $\sigma = 50$ МПа та $T = 300^\circ\text{C}$ , $\tau_{50}^{300}$ , год	
	границі зміни	середні значення	границі зміни	середні значення	границі зміни	середні значення	границі зміни	середні значення
АТ «Мотор Січ»	210,6...307,7	260,6	950...1340	1164	570...770	710	36...172	91
ЗНТУ*	249...269	257,2	1070...1370	1166	760...770	768	138...411	240

*Примітка.* \* – результати наведено для плавок з присадками модифікувального комплексу 0,10; 0,15; 0,20 мас. %.



**Рисунок 2.** Макроструктура поршнів,  $\times 5$ : *а* – серійна технологія виготовлення; *б* – експериментальна

**Таблиця 3.** Хімічний склад поршнів, що досліджували

Країна виробник	Вміст елементів у сплаві, мас. %							
	Si	Mg	Cu	Ni	Fe	Mn	Ti	Al
Україна	11,25...11,60	0,80...0,97	2,57...2,64	0,98...1,15	0,65...0,69	0,51...0,52	0,20	решта
Росія*	11,2	1,15	2,70	2,20	0,36	< 0,05	-	решта
	11,4	1,13	2,74	2,45	0,47	< 0,05	-	решта
Німеччина*	11,7	0,73	2,89	2,26	0,34	-	-	решта

Примітка. \* – наведено дані з роботи [8].

**Таблиця 4.** Властивості поршневих сплавів

Країна виробник	Твердість НВ			ТКЛР, $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ( $T=20\text{--}350 \text{ } ^\circ\text{C}$ )		
	донна частина	«спідниця»	середні значення	донна частина	«спідниця»	середні значення
Україна	107,0...137,0 (див.табл.2)		116,6	19,39	20,64	20,02
Росія*	79,6	99,0	89,3	20,7	24,0	22,3
	80,1	89,3	84,7	21,5	20,6	21,0
Німеччина* «Mahle 124»	96,0	103,0	99,5	20,8	21,0	20,9

Примітка. \* – наведено дані з роботи [8].

Порівняльний аналіз засвідчив високі показники властивостей вітчизняних сплавів, які не поступаються кращим світовим аналогам (див. табл. 2 та табл. 4). Слід зазначити, що для виготовлення сплавів вітчизняного виробництва було використано шихту, яка складалася з 100 % вторинної сировини.

Важливу роль у прогнозуванні надійності та довговічності конструкційних матеріалів та виробів з них відіграють випробування з визначення опору руйнуванню. Відомі методи низько-частотних втомних випробувань потребують значних матеріальних і часових витрат. Особливо це проявляється за необхідністю врахування додаткових факторів (температура, властивості матеріалів, вид напруженого стану моделей та ін.), які суттєво ускладнюють фізичну картину розвитку процесів втомного руйнування. З метою зниження трудомісткості та значного скорочення часу проведення випробувань на втому, особливо при великих базах, перспективним є використання високих частот механічних коливань, що дозволяє за значно менший проміжок часу забезпечити напрацювання значної кількості циклів.

Дослідження процесів руйнування експериментальних сплавів (виробництво АТ «Мотор Січ») під дією циклічних навантажень було проведено на високочастотному стенді «ІП-2» Біло-

русського державного технологічного університету при частоті 18 кГц відповідно до вимог ГОСТ 25.502-79 (під керівництвом к.т.н., доц. Бельського С.Є.).

Було досліджено чотири види зразків, що мали пластинчасту форму у вигляді консоли перерізом  $2 \times 6$  мм та виготовлені із сплавів за:

- серійною (заводською) технологією (№ 1);
- серійною технологією + поверхневе оброблення лазером (№ 2);
- експериментальною технологією (№ 3);
- експериментальною технологією + поверхневе оброблення лазером (№ 4).

Випробування на втому проводили при кімнатній ( $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) та робочій ( $300 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) температурах.

Поверхневе оброблення лазером переслідувало мету підвищення надійності та довговічності, так як відомо, що використання цього підходу дозволяє збільшити фізичні, хімічні та механічні властивості [10, 11]. Оброблення зразків проводили імпульсним лазером «КВАНТ-12» в режимі опалення (час дії імпульсу  $\tau = 4$  мс, довжина хвилі  $\lambda = 0,6943$  мкм) з 30 % перекриттям доріжок в атмосфері навколишнього середовища (обробку виконано під керівництвом д-ра фіз.-мат. наук, проф. Гіржона В.В.).

Аналіз результатів випробувань на втому (табл. 5) дозволив зробити наступні висновки.

**Таблиця 5.** Результати випробувань зразків на втому при кімнатній та робочій температурах

Номер зразків	Температура випробувань, °С	Границя витривалості $\sigma_{-1}$ , МПа (середні значення)	Примітка
№ 1	20	93	База випробувань – $10^7$ циклів. Частота випробувань – 18 кГц (дозволяє значно зменшити час проведення випробувань).
	300	86	
№ 2	20	62	
	300	80	
№ 3	20	104	
	300	98	
№ 4	20	74	
	300	93	

Експериментальна технологія у порівнянні з серійною (заводською) забезпечує отримання показників втомної міцності на більш високому рівні (див. табл. 5 порівняння зразків № 1 та № 3), як при кімнатній так і при робочій температурах. Результати свідчать, що отримання при кристалізації в експериментальних сплавах комірчастої структури у вигляді ділянок  $\alpha$ -твердого розчину на основі алюмінію, які оточені пластинчастими включеннями  $\beta$ -Si та компактними включеннями інтерметалідів розмірами до 100 мкм (див. рис. 1), сприяє гальмуванню дифузійних процесів і обмеженню довжини пробігу дислокацій, що позитивно позначилося на стабільності структури.

Лазерна обробка (ЛО) забезпечує суттєве підвищення твердості, зносостійкості та корозійної стійкості поверхневого шару [10, 11], але в той же час спричиняє збільшення шорсткості поверхонь, що у комплексі викликає зниження показників втоми (див. табл. 5 порівняння зразків № 1 та № 2; № 3 та № 4). Крім того, зразки оброблені лазером показують більш високі значення границі витривалості при робочих температурах ніж при кімнатній у порівнянні зі зразками без лазерного оброблення. Вочевидь високі стабільність і гомогенність структури поверхневого шару, що утворився внаслідок ЛО, зберігаються і при високих температурах, а підвищення пластичності, як матеріалу основи так і поверхневого шару, збільшує енергоємність процесу руйнування.

Результати досліджень доводять високу спадковість алюмінієвими сплавами структури та властивостей, які передаються при різних видах їх оброблення (див. табл. 5).

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз робочих характеристик поршнів для малопотужних ДВЗ, які виготовлені різними виробниками при застосуванні різних технологій, показав, що основними причинами зниження показників надійності та довговічності є: недосконала технологія виробництва; невідповідність та нестабільність структури при робочих температурах у поєднанні з високим температурним коефіцієнтом лінійного розширення.

2. З урахуванням змін структури при робочих температурах (~300...350 °С) розроблено експериментальну технологію виготовлення в умовах АТ «Мотор Січ» поршнів, яка забезпечує отримання при кристалізації зеренної комірчастої структури у вигляді рівновісних ділянок  $\alpha$ -твердого розчину на основі алюмінію, що оточені пластинчастими включеннями  $\beta$ -Si та компактними включеннями інтерметалідів розмірами до 100 мкм. Дана мікроструктура відповідає кращим еталонним структурам за шкалою фірми «Mahle» (Німеччина).

3. Експериментальна технологія дозволяє використовувати у шихті до 100 % дешевої вторинної сировини, збільшити час до руйнування при  $\sigma = 50$  МПа та  $T = 300$  °С більш ніж у 2,4 рази, в порівнянні із заводською технологією.

4. Оброблення лазером знижує втомну міцність зразків при кімнатній температурі, що обумовлено суттєвою зміною мікроструктури поверхневого шару, підвищенням його шорсткості, твердості та міцності, зниженням пластичності. У той же час при робочих температурах, за рахунок високої стабільності структури поверхневих шарів, що оброблені лазером, а також підвищення пластичності втомна міцність зразків значно зростає, що може бути використано у двигунах з тривалим терміном безперервної роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1]. Повышение ресурса работы поршней двигателей внутреннего сгорания /Б. М. Неменюк, В. А. Калиниченко, М. А. Садоха [и др.] // Литье и металлургия. – 2005. – № 2. – С. 175–178.
- [2]. Строганов Г. Б. Сплавы алюминия с кремнием /Строганов Г. Б., Ротенберг В. А., Гершман Г. Б. – М. : Металлургия, 1977. – 272 с.
- [3]. Розрахунки та випробування на міцність. Опір втомі. Терміни та визначення: ДСТУ 2444-94. [Чинний від 1995-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1994. – 71 с. – (Національний стандарт України).
- [4]. ГОСТ 25.502-79. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. – [Введ. 1981-01-01]. – М. : Издательство стандартов, 1980. – 32 с.
- [5]. Костров А. В. Оценка теплонапряженности днища поршня карбюраторного двигателя / А. В. Костров, А. Р. Макаров, А. Д. Шишаев // Автомобильная промышленность. – 1986. – № 11. – С. 10–12.
- [6]. Щурков В. Е. Теплонапряженность поршней автомобильных двигателей ДВС / В. Е. Щурков, С. С. Воробьев // Автомобильная промышленность. – 1986. – № 11. – С. 10–12.
- [7]. Зильберг Ю. Я. Алюминиевые сплавы в тракторостроении / Зильберг Ю. Я., Хрущова К. М., Гершман Г. Б. – М. : Машиностроение, 1971. – 151 с.
- [8]. Белов В. Д. Влияние специальной модифицирующей обработки на микроструктуру и механические свойства поршневого эвтектического силумина /В. Д. Белов, А. А. Селиванов, С. А. Кучеряев // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2005. – № 4. – С. 32–34.
- [9]. Лоза К. М. Вплив модифікування та термічної обробки на формування структури і властивостей вторинного поршневого сплаву АЛ25: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.01 – матеріалознавство /К.М. Лоза. – Запоріжжя, 2012. – 16 с.
- [10]. Volchok I. P. Increasing of microhardness of Al-Si alloys by laser treatment /I. P. Volchok, V. V. Girzhon, I. V. Tantsiura // Металлофизика и новейшие технологии. – 2011. – Т. 33, № 8. – С. 1111–1118.
- [11]. Широкобокова Н. В. Поверхневе зміцнення вторинних силумінів методом лазерної обробки: дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.01 / Широкобокова Наталія Вікторівна. – Запоріжжя, 2013. – 158 с.

Статья поступила в редакцию 28.03.2018

<b>Митяев А. А.</b>	д-р техн. наук, зав. кафедрой «Композиционные материалы, химия и технологии» Запорожского национального технического университета, Запорожье, Украина, e-mail: mityaev@zntu.edu.ua;
<b>Волчок И. П.</b>	д-р техн. наук, профессор кафедры «Композиционные материалы, химия и технологии» Запорожского национального технического университета, Запорожье, Украина, e-mail: volchok@zntu.edu.ua;
<b>Лоза К. М.</b>	канд. техн. наук, АО «Мотор Сич», Запорожье, Украина, e-mail: loza@motorsich.com;
<b>Концур О. А.</b>	аспирант кафедры «Композиционные материалы, химия и технологии» Запорожского национального технического университета, Запорожье, Украина, e-mail: tmzntu@gmail.com

**ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ПОРШНЕВЫЕ СПЛАВЫ  
ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Цель работы.** Исследование свойств экспериментального нового сплава производства АО «Мотор Сич» и сравнение с лучшими мировыми аналогами - поршневыми сплавами производства России и Германии.

**Методы исследования.** Химический состав экспериментальных и серийных сплавов контролировали спектральным анализом на искровом спектрометре «Spectro-Max». Анализ макро- и микроструктуры выполняли с помощью оптических микроскопов МИМ-7, МИМ-8 и «Neophot-21». Изучение структуры при больших увеличениях проводили на растровом электронном микроскопе «JSM-300» (Япония). Микрорентгеноспектральный анализ структурных составляющих выполняли на растровом электронном сканирующем микроскопе «JSM-6360LA» (Япония). Температурный коэффициент линейного расширения определяли с помощью оптического кварцевого дилатометра Шевенара. Соппротивление высокотемпературному разрушению определяли по ГОСТ 10145-81.

**Полученные результаты.** Разработана экспериментальная технология повышения качества поршневых сплавов и увеличения ресурса, надежности и долговечности поршней, изготовленных из них.

**Научная новизна.** Выявлены основные закономерности изменения структуры отечественных поршневых сплавов в процессе эксплуатации, что позволило сформулировать критерии надежности при высоких температурах. Установлено, что каркасная структура ячеистого типа, полученная по экспериментальной технологии, является термически стабильной в условиях эксплуатации ( $\sim 300...350^\circ\text{C}$ ), ограничивает изменение размеров и геометрии поршня и способствует повышению его долговечности.

**Практическая ценность.** Применение экспериментальной технологии, по сравнению с серийной, упростило технологический процесс, снизило затраты на его выполнение, положительно сказалось на стабильности структуры поршней, привело к снижению температурного коэффициента линейного расширения на 5,60...5,75% и увеличило время до разрушения при заданных напряжении и рабочей температуре в 2,4 раза. Внедрение результатов работы в производство позволило снизить себестоимость поршней более чем в 3 раза.

**Ключевые слова:** поршень; поршневые сплавы; макро- и микроструктуры; химический состав; температурный коэффициент линейного расширения; предел выносливости; лазерная обработка.

**Mityaev O. A.** Dr. Sc. (Tech.), Prof., Head of the Composite Materials, Chemistry and Technology Department of Zaporozhye National Technical University, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: mityaev@zntu.edu.ua;

**Volchok I. P.** Dr. Sc. (Tech.), Professor of the Composite Materials, Chemistry and Technology Department of Zaporozhye National Technical University, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: volchok@zntu.edu.ua;

**Loza K. M.** Bach. Sc. (Tech.), «Motor Sich» JSC, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: loza@motorsich.com;

**Kontsur O. A.** Post-graduate of the Composite Materials, Chemistry and Technology Department of Zaporozhye National Technical University, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: tmzntu@gmail.com

## HIGH-QUALITY PISTON ALLOYS OF DOMESTIC PRODUCTION

**Purpose.** Investigation of the properties of the experimental new alloy produced by Motor Sich JSC and its comparison with the best world analogues – piston alloys produced in Russia and Germany.

**Methodology.** The chemical composition of experimental and serial alloys was controlled by spectral analysis on spectrometer «Spectro-Max». The analysis of macro- and microstructure was performed using optical microscopes MIM-7, MIM-8 and «Neophot-21». Study of the structure at large magnifications was performed on a raster electron microscope JSM-300 (Japan). Micro-X-ray analysis of structural components was performed on a raster electronic scanning microscope JSM-6360LA (Japan). The temperature coefficient of linear expansion was determined with the aid of the Shevenar optical quartz dilatometer. The resistance to high-temperature fracture was determined according to GOST 10145-81.

**Findings.** The experimental technology of improving the quality of the piston alloys and increasing the service life, reliability and durability of the pistons made of them is developed.

**Scientific novelty.** The basic regularities of the structure changes in domestic piston alloys during operation were revealed, which allowed to formulate reliability criteria at high temperatures. It was established that the frame structure of the cellular type, which was obtained by experimental technology, is thermally stable under operating conditions ( $\sim 300$  to  $350^\circ\text{C}$ ), restricts changes of the piston size and geometry and improves its durability.

**Practical value.** The application of experimental technology, compared with the serial one, simplified the technological process, reduced its implementation cost, had a positive effect on the stability of the pistons structure, decreased the temperature coefficient of linear expansion by 5.60 to 5.75 % and extended the time to destruction at given stress and operating temperature by 2.4 times. Implementation of the findings in production allowed to reduce the pistons production cost by more than 3 times.

**Keywords:** piston; piston alloys; macro and microstructures; chemical composition; temperature coefficient of thermal expansion; fatigue strength; laser treatment.

REFERENCES

- [1]. B. M. Nemenenok, V. A. Kalinichenko, M. A. Sadoha. (2005). Povyshenie resursa raboty porshnej dvigatelej vnutrennego sgoranija. Lit'e i metallurgija, 2, 175–178.
- [2]. Stroganov G. B., Rotenberg V. A., Gershman G. B. (1977). Splavy aljuminija s kremniem, Moscow : Metallurgija, 272.
- [3]. Rozrahunki ta vi probuvannja na micnist' .(1994). Opir vtomi. Termini ta viznachennja: DSTU 2444-94. [Chinnij vid 1995-01-01]. K.: Derzhstandart Ukrayini, 71, (Nacional'nij standart Ukrayini).
- [4]. GOST 25.502-79. Metody mehanicheskikh ispytanij metallov. Metody ispytanij na ustalost. (1980). [Vved. 1981-01-01], M: Izdatel'stvo standartov, 32.
- [5]. Kostrov A. V., Makarov A. R., Shishaev A. D. (1986). Ocenka teplonaprjazhennosti dnishha porshnja karbjuratornogo dvigatelja. Avtomobil'naja promyshlennost'. 11, 10–12.
- [6]. Shhurkov V. E., Vorob'ev S. S. (1986). Teplonaprjazhennost porshnej avtomobil'nyh dvigatelej DVS. Avtomobil'naja promyshlennost', 11, 10–12.
- [7]. Zil'berg Ju. Ja., Hrushhova K. M., Gershman G. B. (1971). Aljuminievye splavy v traktorostroenii. Moscow: Mashinostroenie, 151.
- [8]. Belov V. D., Selivanov A. A., Kucherjaev S. A. (2005). Vlijanie special'noj modificirujushhej obrabotki na mikrostrukturu i mehanicheskie svojstva porshneвого jevtekticheskogo silumina. Cvetnaja metallurgija, 4, 32–34.
- [9]. Loza K. M. (2012). Vpliv modifikuvannja ta termichnoyi obrobki na formuvannja strukturi i vlastivostej vtorinnogo porshneвого splavu AL25: avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.02.01 – materialoznavstvo: Zaporizhzhja, 16.
- [10]. Volchok I. P., Girzhon V. V., Tantsiura I. V. (2011). Increasing of microhardness of Al-Si alloys by laser treatment: Metallofizika i novejshe tehnologii, 33(8), 1111–1118.
- [11]. Shirokobokova N. V. (2013). Poverhneve zmicnennja vtorinnih siluminiv metodom lazernoï obrobki (Diss. kand. tehn. Nauk). Zaporizhzhja, 158.