

А. П. Марченко, В. О. Пильов, О. Ю. Лінков, С. В. Ликов

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ПОВЗУЧОСТІ ПОРШНЕВИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

В роботі розглянуто питання надійності роботи матеріалів поршнів при форсуванні двигунів. Саме збільшення літрової потужності двигунів, при забезпеченні сучасних екологічних та економічних вимог, є на сьогодні одним з основних напрямів роботи двигунобудування. Згідно з дослідженнями, повзучість матеріалу значною мірою впливає на надійність деталей двигунів внутрішнього згоряння. Найбільш термічно-навантаженим елементом двигуна слід відзначити поршень. Основними критичними зонами для нього можна виділити: кромку камери згоряння, зону поршневих кілець та юбку поршня. Поява задирів на юбці поршня інколи спостерігається навіть в процесі обкатки двигуна при його форсуванні. Таким чином можна говорити про актуальність проблеми виявлення причин досягнення критичного стану матеріалу поршня. На основі цих даних з'являється можливість розробки заходів для забезпечення надійної роботи конструкції поршня. Серед найбільш поширених матеріалів для виготовлення поршнів є сплави алюмінію AL25 і АК4. Хімічний склад цих сплавів значно різниться. У дослідженні отримано коефіцієнти для розрахунку швидкості повзучості, на перших двох стадіях, для цих матеріалів. Проведено ідентифікацію розрахунку деформації повзучості алюмінієвих сплавів при різних рівнях напруження, для різних температур. Визначено верхню межу області адекватності моделі за температурами та напруженнями. Проаналізовано швидкість повзучості алюмінієвих сплавів при різних температурах та навантаженнях. У висновках зроблено порівняння матеріалів поршнів та вказано переваги сплаву АК4 у порівнянні зі сплавом AL25, що проявляються при форсуванні двигуна. Також вказано напрям подальших досліджень пов'язаний з аналізом деформації розглянутих матеріалів на першій стадії повзучості.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння; збільшення потужності; температурний стан; поршень; матеріал поршня; напруження; деформації; повзучість; моделювання.

Вступ

Розвиток двигунобудування постійно вимагає забезпечувати все кращі показники потужності, економічності та екологічності двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Однак, при проведенні заходів з форсування ДВЗ, в багатьох випадках, розробники стикаються із втратою фізичної надійності конструкцій. Одним з найбільш навантажених елементів двигуна є поршень і при форсуванні двигунів до цієї деталі привертається значна увага. При аналізі конструкцій розглядають декілька критичних її зон. В першу чергу це зони кромки камери згоряння, поршневих кілець та юбки поршня. Для кромки камери згоряння та зони кільцевого ущільнення втрата фізичної надійності має місце через значний час експлуатації [1,2]. Водночас поява натирів, ризик і задирів на юбці поршня в деяких випадках спостерігається навіть в процесі обкатки конструкції [3]. З цього приводу актуальною постає проблема виявлення причин досягнення критичного стану матеріалу та на цій основі забезпечення надійної роботи конструкції протягом заданого терміну експлуатації.

Аналіз публікацій та постановка задачі дослідження.

При розв'язанні вище вказаної проблеми застосовують ряд різноманітних підходів. До них можна віднести аналіз надійності конструкцій в початковий період експлуатації [4,5], інтенсифікацію тепловідведення від поршня [6,7], підвищення якості відливок [8,9] та застосування технологій місцевого

зміцнення матеріалу [6,10], використання теплоізолюючого покриття [11,12] тощо. При цьому більша частина підходів заснована на застосуванні порівняльного аналізу працездатних конструкцій з досліджуваними та пошуку шляхів наближення термонапруженого стану досліджуваної конструкції до працездатного аналога.

Слід звернути увагу, що такий підхід відповідає застосуванню концепції гарантованого забезпечення ресурсу. При цьому запаси міцності обраного аналога не є відомими, що суттєво ускладнює вирішення основної задачі підвищення рівня форсування двигуна. Таким чином можна стверджувати, що для ефективного розв'язання означеної проблеми слід переходити від використання концепції гарантованого забезпечення міцності до концепції роботи матеріалу на межі міцності. Це підтверджується і даними [3,13], з яких відомо, що втрата фізичної надійності юбки поршня на практиці може мати місце як з навантаженої, так і з відносно розвантаженої сторони. Таким чином, поршні ДВЗ працюють при значних навантаженнях не тільки від фізичних сил, а і від температури. Саме температурні навантаження є найбільш значущими для поршнів форсованих ДВЗ. Цим також підтверджується необхідність отримання фізичних властивостей матеріалів поршнів щодо їх деформування в часі.

В роботі [14] при аналізі працездатності конструкцій запропоновано здійснювати порівняння рівня термонапруженого стану поршня в його критичних зонах з такою характеристикою матеріалу, як

межа повзучості та виконано дослідження ряду конструкцій поршнів бензинових двигунів та дизелів, виконаних зі сплаву АЛ25. В роботі [13] подано принциповий підхід до такого дослідження щодо юбки поршня також зі сплаву АЛ25. Характеристики повзучості сплаву АЛ25 вперше наведені в роботах [6,15]. Дослідження характеристик повзучості чавунів подано в [15,16]. Однак, для інших алюмінієвих сплавів інформація щодо їх властивостей повзучості в літературних джерелах практично відсутня, що суттєво обмежує можливості наукового пошуку та прийняття раціональних інженерних рішень.

Відповідно до вказаного метою роботи є дослідження властивостей повзучості поршневого сплаву АК4 у порівнянні зі сплавом АЛ25.

Викладення основного матеріалу дослідження

Повзучість є одним з важливих параметрів матеріалу, що працюють в умовах високих і надвисоких термонавантажень. Криву повзучості, як деформування матеріалу в часі, умовно можна розбити на три ділянки.

Їх подано на рис. 1 [17-19].

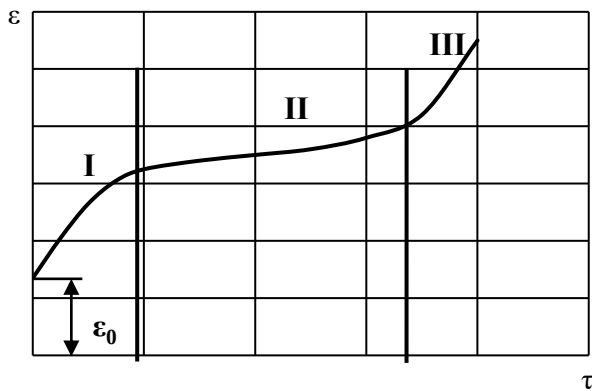


Рис. 1. Загальний вигляд кривої повзучості матеріалу

На рис. 1 позначені: ε_0 – миттєва деформація; зона I – перша ділянка повзучості, стадія зміцнення матеріалу; II – друга ділянка, стадія сталої швидкості повзучості; III – стадія прискореного накопичення пошкоджень та руйнування матеріалу.

При дослідженні параметричної надійності в першу чергу за необхідне є врахування першої та другої стадій, що відповідатиме ефективному наближенню до використання концепції роботи матеріалу на межі міцності. Саме врахування цих стадій також є необхідним щодо запобігання виходу деталі з ладу навіть під час обкатаних випробувань. У процесі експлуатації важливою є друга стадія, саме вона впливає на термін надійної експлуатації деталі.

Залежність для знаходження повзучості, на усіх трьох стадіях, має наступний вигляд [6,19]:

$$\dot{\varepsilon} = A \left[\frac{\sigma}{(1 - \omega r)} \right]^n (1 - D \cdot \varepsilon^{-\alpha}), \varepsilon_0 = 0;$$

$$\dot{\omega} = B \left[\frac{\sigma}{(1 - \omega r)} \right]^n, \omega(0) = 0,$$

де ε – деформація повзучості;

σ – напруження;

D, α – константи матеріалу, що характеризують стадію повзучості що не встановилась;

A, n – константи матеріалу, що характеризують стадію повзучості що встановилась;

r – константа матеріалу, що характеризує процес наростання пошкоджень в матеріалі на третій стадії;

ω – параметр, що характеризує ступінь пошкодження матеріалу (на початку $\omega = 0$, при руйнуванні $\omega = 1$).

Порівняння хімічного складу поршневих алюмінієвих сплавів АЛ25 та АК4 за ГОСТ 1583-93 та ГОСТ 4784 – 97 наведено у табл. 1. Видно, що по основним компонентам ці сплави суттєво розрізняються. Але на сьогодні ці дані не дозволяють кількісно оцінити характеристики повзучості.

На рис. 1 позначені: ε_0 – миттєва деформація; зона I – перша ділянка повзучості, стадія зміцнення матеріалу; II – друга ділянка, стадія сталої швидкості повзучості; III – стадія прискореного накопичення пошкоджень та руйнування матеріалу.

При дослідженні параметричної надійності в першу чергу за необхідне є врахування першої та другої стадій, що відповідатиме ефективному наближенню до використання концепції роботи матеріалу на межі міцності. Саме врахування цих стадій також є необхідним щодо запобігання виходу деталі з ладу навіть під час обкатаних випробувань. У процесі експлуатації важливою є друга стадія, саме вона впливає на термін надійної експлуатації деталі.

Залежність для знаходження повзучості, на усіх трьох стадіях, має наступний вигляд [6,19]:

$$\dot{\varepsilon} = A \left[\frac{\sigma}{(1 - \omega r)} \right]^n (1 - D \cdot \varepsilon^{-\alpha}), \varepsilon_0 = 0;$$

$$\dot{\omega} = B \left[\frac{\sigma}{(1 - \omega r)} \right]^n, \omega(0) = 0,$$

де ε – деформація повзучості;

σ – напруження;

D, α – константи матеріалу, що характеризують стадію повзучості що не встановилась;

A, n – константи матеріалу, що характеризують стадію повзучості що встановилась;

r – константа матеріалу, що характеризує процес наростання пошкоджень в матеріалі на третій стадії;

ω – параметр, що характеризує ступінь пошкодження матеріалу (на початку $\omega = 0$, при руйнуванні $\omega = 1$).

$\omega = 1$).

Порівняння хімічного складу поршневих алюмінієвих сплавів АЛ25 та АК4 за ГОСТ 1583-93 та ГОСТ 4784 – 97 наведено у табл. 1. Видно, що по

основним компонентам ці сплави суттєво розрізняються. Але на сьогодні ці дані не дозволяють кількісно оцінити характеристики повзучості.

Таблиця 1. Вміст компонентів алюмінієвих сплавів (%)

Матеріал	Al	Fe	Si	Mn	Ni	Ti	Cu	Mg	Zn	Інші елементи
АЛ25	79,5-85,5	<0,8	11,0-13,0	0,3-0,6	0,8-1,3	0,05-0,20	1,5-3,0	0,8-1,3	<0,5	Cr: <0,2 Pb: <0,1 Sn: <0,02
АК4	91,2-94,6	0,8-1,3	0,5-1,2	<0,2	0,8-1,3	<0,1	1,9-2,5	1,4-1,8	<0,3	

Аналіз характеристик повзучості вказаних матеріалів виконано в умовах розтягу. Коефіцієнти повзучості сплаву АЛ25, який є достатньо добре експериментально дослідженим, отримані на основі даних [6] і для двох температур подані в табл. 2.

Такі коефіцієнти для сплаву АК4 нами отримано на основі обробки експериментальних даних

[18]. Тривалість проведення експериментів за [6] і [18] співпадає і дорівнює 100 годин. Відповідне порівняння експериментальних (суцільна лінія) та розрахункових кривих (штрихова лінія) щодо сплаву АК4 наведено на рис. 2, 3.

Таблиця 2. Коефіцієнти повзучості порівнювальних поршневих сплавів

Параметр	АК4 при $t=250^{\circ}\text{C}$	АК4 при $t=350^{\circ}\text{C}$	АЛ25 при $t=250^{\circ}\text{C}$	АЛ25 при $t=285^{\circ}\text{C}$
A	$1,40\text{e-}8$	$8,24\text{e-}6$	$2,35\text{e-}13$	$5,69\text{e-}12$
n	2,8	1,5	5,68	5,68
D	0,015	0,015	0,067	0,067
α	-0,95	-0,95	1,502	1,502

З рис.2, що відповідає температурі 250°C , видно, – достовірним є збіг розрахункових і експериментальних кривих при рівні напруження, який не перевищує 65МПа . При 70МПа і вище вже спостерігається інтенсивне формування третьої стадії повзучості. Це означає, що при таких рівнях напружень виникає необхідність визначення відповідних додаткових коефіцієнтів повзучості та врахування пов-

ної математичної моделі. Але такий рівень напружень при 250°C практично не є притаманним для конструкцій поршнів. Тому в даному дослідженні тільки констатуємо встановлений факт. При температурі 350°C маємо аналогічну картину. Тут опис кривих повзучості на перших двох її стадіях є достовірним до величини напруження 40МПа , що також на даному етапі досліджень є достатнім.

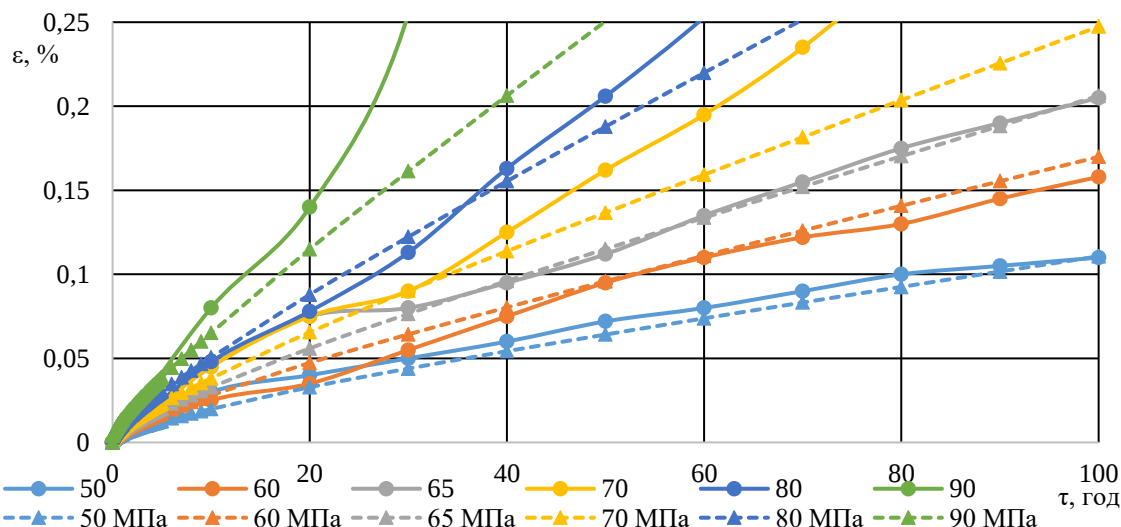


Рис.2. Деформації повзучості алюмінієвого сплаву АК12М2МгН при різних рівнях напруження, для $t=250^{\circ}\text{C}$ (суцільна лінія – експеримент, штрихова – розрахунок)

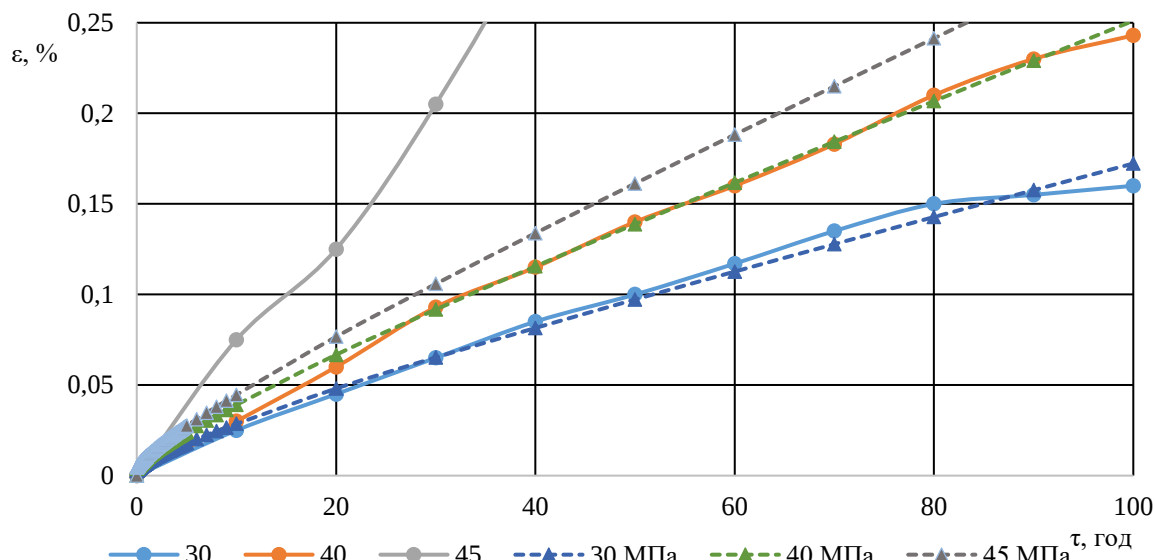


Рис. 3. Деформації повзучості алюмінієвого сплаву АК12М2МgН при різних рівнях напруження, для $t=350^{\circ}\text{C}$ (суцільна лінія – експеримент, штрихова – розрахунок)

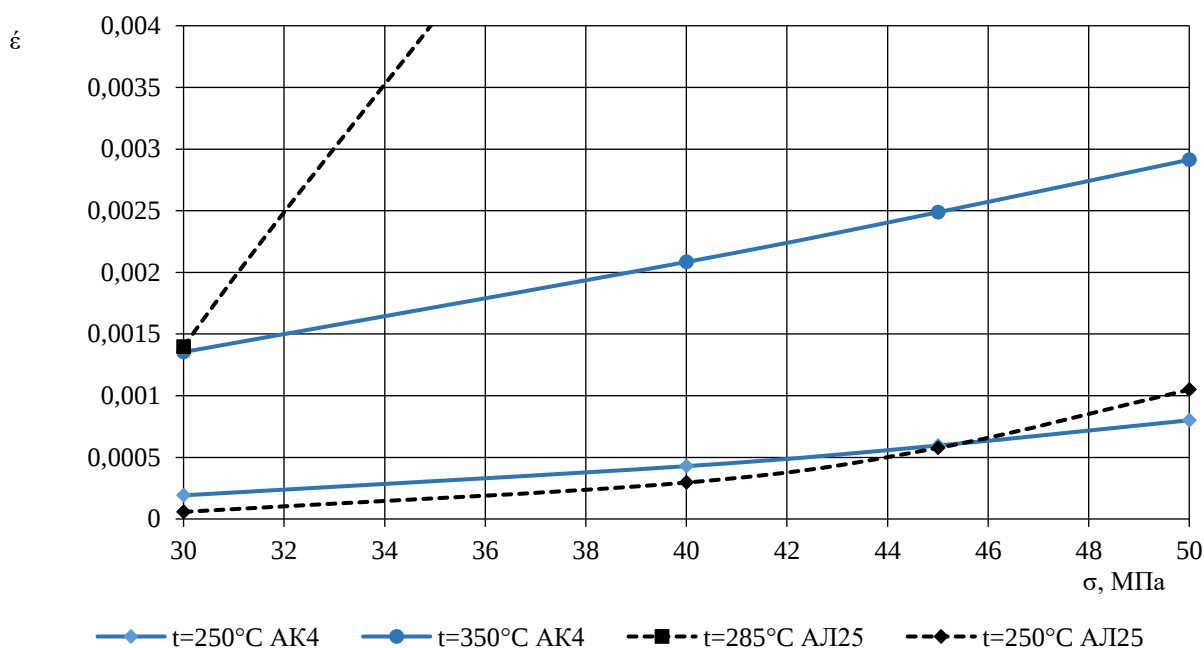


Рис. 4. Швидкість повзучості алюмінієвих сплавів при різних температурах

На рис. 4 подано порівняння означених матеріалів на основі даних про швидкість повзучості на другій стадії. Видно, що при відносно низьких температурах (250°C) властивості матеріалів є близькими. Але при збільшенні температури відбувається значна втрата міцності для сплаву АЛ25 відносно сплаву АК4. При цьому для сплаву АК4 збільшення температури з 250°C до 350°C приводить до зростання швидкості повзучості від 3,5 до 7 разів (при збільшенні напруження від 30 до 50 МПа). У цілому встановлено, що сплав АК4 за критерієм швидкості

повзучості при підвищених температурах має суттєву перевагу над сплавом АЛ25. В роботі отримано чисельні характеристики такої переваги. Вони можуть бути використані для подальших досліджень.

Висновки

В роботі вперше для поршневого сплаву АК4 отримано коефіцієнти математичної моделі опису перших двох стадій повзучості. Встановлена верхня межа області адекватності моделі, що знаходиться в області робочих температур і термічних напружень

поршнів ДВЗ. Для поршневих сплавів АЛ25 та АК4 виконано порівняльний аналіз швидкості повзучості на другій (сталій) її стадії. Встановлено, при відносно низьких температурах (250°C) швидкості повзучості є близькими, а при збільшенні температури відбувається значна втрата міцності для сплаву АЛ25. Для сплаву АК4 зростання температури від 250°C до 350°C в інтервалі напружень 30-50 МПа приводить до збільшення швидкості повзучості від 3,5 до 7 разів. Таким чином, в зоні поршневих кілець та бобишки під поршневий палець деформація повзучості поршня буде близькою для обох сплавів, а у зоні вогневого донця поршня переваги сплаву АК4 стають очевидними.

Подальший напрям робіт передбачає порівняльний аналіз деформування незміцнених матеріалів у часі, тобто на першій стадії повзучості.

Список літератури:

1. Damage analysis of details of ICE, DFCDIESEL available at. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://www.dfcdiesel.com/warranty-info/failure-analysis>
2. Piston damage –recognizing and rectifying. MS Motorservice International GmbH –50 003 973-02 –EN –07/15 (012020), 92р.
3. Влияние химической неоднородности отливки поршня из сплава АК12М2МГН (АЛ25) на задиорообразование в цилиндропоршневой группе / Булгаков В. П., Чеботарев Ю. В., Рубан И. Н. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2016. – Вып. 5 (39). – с. 151-158 DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-151-158
4. Pylyov V. O. The Influence of Load Modes on the Resource Reliability of Engine Parts of Agricultural Machinery / V. O. Pylyov, O. Linkov, D. Samoilenko, S. O. Kravchenko, V. V. Pylyov, I. Mordivintseva, S. Lykov / Proceedings of 24th International Scientific Conference Transport Means. September 30 – October 02, 2020 Online Conference. – Kaunas, Lithuania. Part 1. Pp. 107–113.
5. Дослідження експлуатаційної надійності тракторів JOHN DEERE серії 8320R в умовах України / В.І. Дирда, О.А. Черній, О.А. Жидик // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – вип. 30. – 2017. – с. 3-9.
6. Пильов В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалості міцності: монографія / В.О.Пильов. –Харків: Видавничий центр НТУ «ХПІ». –2001. –332 с.
7. Лебедев С.В. Формирование мощностных диапазонов применения конструктивного ряда поршней на дизелях ЧН15/15 / С.В. Лебедев, Д.Д. Матиевский, Г.В. Лебедева // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2004. – №2. – с.121-127.
8. Жуков В.А. Влияние износа деталей цилиндропоршневой группы дизеля на температурное состояние поршня / В.А. Жуков, О.В. Мельник, Л.В. Тузов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова. – 2016. – Вып. 5 (39). – с. 1040-1052.
9. Казанцев И.А. Влияние теплофизических свойств поршней на эксплуатационные характеристики двигателей внутреннего сгорания / И.А. Казанцев, В.И. Бычков, А.И. Казанцев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.

- Машиностроение и машиноведение. №2 (46). – 2018. – с. 107-118.
10. Маркович С.І. Аналіз стану та перспективи розвитку технологічних методів зміцнення головок поршнів автотракторних двигунів / С.І. Маркович, С.С. Михайлюта // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, – 2017. – вип. 30. – 2017. – с. 96-102.
11. Упрочнение верхних поршневых канавок двигателей внутреннего сгорания методом искрового упрочнения / Н.Ю. Дударева // Вестник УГАТУ Т.14, – №3(38). – 2010. – с.111-115.
12. Estimation of Strength of the Combustion Chamber of the ICE Piston with a TBC Layer / Andriy Marchenko, Vyacheslav Pylyov, Oleh Linkov // Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – Synergetic Engineering ICTM 2020: Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2020. – pp. 415-426.
13. Пылев В. А. Повышение надежности поршня форсированного быстроходного дизеля / В.А. Пылев, А. В. Белогуб, О. Ю. Линьков, В. В. Пылев, С. В. Лыков, П. С. Баглай, А. А. Терно // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – №2. – с. 55–58.
14. Особенности термомеханического нагружения и учета ресурсной прочности тонкостенного поршня бензинового ДВС / В.А. Пылев, А.В. Белогуб // Двигатели внутреннего сгорания // Научно-технический журнал. – 2010. – №2. – с.74-81.
15. Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности. Под ред. А. Ф. Шеховцова / Ф. И. Абрамчук, А. П. Марченко, Н. Ф. Разлейцев, Е. И. Третьяк, А. Ф. Шеховцов, Н. К. Шокотов. – Київ: Техніка, – 1992. – 272 с.
16. Чайнов Н.Д. Особенности нагружения и ползучесть материалов, образующих камеры сгорания форсированных тракторных дизелей / Н.Д. Чайнов, А.Ф. Шеховцов, А.Ф. Абрамчук, В.А. Пылев // Двигатели внутреннего сгорания. – 1987. – Вып. 46, – с. 19-25.
17. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций // Москва: Наука, – 1966. – 752 с.
18. Булыгин И.П. Атлас диаграмм растяжения при высоких температурах, кривых ползучести и длительной прочности сталей и сплавов для двигателей // Москва: Оборонгиз. – 1957. – 174 с.
19. Закономерности ползучести и длительной прочности: Справочник / Под ред. Шестерикова. – Москва: Машиностроение. – 1983. – 101 с.

Bibliography (transliterated):

1. Damage analysis of details of ICE, DFCDIESEL available at. [Electronic resource]. – Access mode <http://www.dfcdiesel.com/warranty-info/failure-analysis>
2. Piston damage –recognizing and rectifying. MS Motorservice International GmbH –50 003 973-02 –EN –07/15 (012020), 92p.
3. Bulgakov, V. P., Chebotarev, Yu. V., Ruban, I. N. (2016) Influence of chemical inhomogeneity of casting of the piston from the AK12M2MGN alloy (AL25) on bullying in the cylinder-piston group [Vliyaniye khimicheskoy neodnorodnosti otlivki porshnya iz splava AK12M2MGN (AL25) na zadiroobrazovanie v cilindroporshnevoj grupe] Bulletin of the State University of Maritime and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov. Issue. 5 (39). pp. 151-158. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-151-158.
4. Pylyov, V.O., Linkov, O., Samoilenko, D., Kravchenko, S.O., Pylyov, V.V., Mordivintseva, I., Lykov, S. (2020) The Influence of Load Modes on the Resource Reliability of Engine Parts of Agricultural Machinery. Proceedings of 24th International Scientific Conference Transport Means. September 30 – October 02, Online Conference. – Kaunas, Lithuania. Part 1, Pp. 107–113.
5. Dyrda, V.I., Chernii, O.A., Zhydyk, O.A. (2017) Research of operational reliability of JOHN DEERE tractors of the 8320R series in the conditions of Ukraine [Doslidzhennia ekspluatatsiinoi nadiynosti traktoriv JOHN DEERE serii 8320R v umovakh Ukrainy] Collection of scientific works of Kirovograd National Technical University. Ma-

chinery in agricultural production, industrial engineering, automation. issue 30, p. 3-9. 6. Pylov, V.O. (2001) Automated design of pistons of high-speed diesels with the set level of duration of durability: the monograph [Avtomatyzovane proektuvannia porshniv shvydkokhidnykh dizeliv iz zadanyim rivnem tryvalosti mitsnosti: monohrafiia] Kharkiv: NTU "KhPI" Publishing Center. 2001, 332p. 7. Lebedev, S.V., Matievskij, D.D., Lebedeva, G.V. (2004) Formation of power ranges for the use of a design series of pistons on diesel engines ChN15 / 15 [Formirovanie moshhnostny'kh diapazonov primeneniya konstruktivnogo ryada porshnej na dizelyakh ChN15/15] Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Series "Mechanical Engineering". No. 2, Pp. 121-127. 8. Zhukov, V.A., Mel'nik, O.V., Tuzov, L.V. (2016), Influence of wear of parts of the cylinder-piston group of a diesel engine on the temperature state of the piston [Vliyanie iznosa detalej tsilindroporshnevoj gruppy' dizelya na temperaturnoe sostoyanie porshnya] Bulletin of the State University of Maritime and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov. Issue 5 (39), pp. 1040-1052. 9. Kazanczev, I.A., By'chkov, V.I., Kazanczev, A.I. (2018) Influence of thermophysical properties of pistons on the performance of internal combustion engines [Vliyanie teplofizicheskikh svoystv porshnej na e'kspluatatsionny'e kharakteristiki dvigatelej vnutrennego sgoraniya] Proceedings of higher educational institutions. Volga region. Technical science. Mechanical engineering and engineering science, No. 2 (46), p. 107-118. 10. Markovych, S.I., Mykhailiuta, S.S. (2017) Analysis of the state and prospects of development of technological methods for strengthening the piston heads of tractor engines [Analiz stanu ta perspektyvy rozvytku tekhnologichnykh metodiv zmitsnennia holovok porshniv avtotraktornykh dyhuniy] Machinery in agricultural production, branch engineering, automation, issue 30, p. 96-102. 11. Dudareva, N.Yu. (2010) Reinforcement of the upper piston grooves of internal combustion engines by the spark hardening method [Uprochnenie verkhnykh porshnevy'kh kanavok dvigatelej vnutrennego sgoraniya metodom iskrovogo uprochneniya] Bulletin of USATU Vol. 14, No. 3 (38), pp. 111-115. 12. Marchenko, Andriy,

Pylov, Vyacheslav, Linkov, Oleh (2020) Estimation of Strength of the Combustion Chamber of the ICE Piston with a TBC Layer. Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – Synergetic Engineering ICTM 2020: Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering, pp. 415-426. 13. Pylov, V.A., Belogub, A.V., Linkov, O.Yu., Pylov, V.V., Lykov, S.V., Baglaj, P.S., Terno, A.A. (2016) Improving the reliability of the piston of the forced speed diesel engine [Povy'shenie nadezhnosti porshnya forsirovannogo by'strokhodnogo dizelya] Internal combustion engines. No. 2, pp. 55-58. 14. Pylov, V.A., Belogub, A.V. (2010) Features of thermomechanical loading and taking into account the resource strength of a thin-walled piston of a gasoline engine [Osobennosti termomekhanicheskogo nagruzheniya i ucheta resursnoj prochnosti tonkostennogo porshnya benzinovogo DVS] Internal combustion engines. No. 2, p. 74-81. 15. Abramchuk, F.I., Marchenko, A.P., Razlejczev, N.F., Tret'yak, E.I., Shekhovtsov, A.F., Shokotov, N.K. (1992) Modern diesel engines: improved fuel efficiency and durability [Sovremennyye dizeli: povy'shenie toplivnoj e'konomichnosti i dlitel'noj prochnosti] Kyiv: Tehnika, 272 p. 16. Chajnov, N.D., Shekhovtsov, A.F., Abramchuk, F.I., Pylov, V.A. (1987) Features of loading and creep of materials forming combustion chambers of forced tractor diesel engines [Osobennosti nagruzheniya i polzuchest' materialov, obrazuyushchikh kamery' sgoraniya forsirovanny'kh traktorny'kh dizel'ey] Internal combustion engines. Issue. 46, pp. 19-25. 17. Rabotnov, Yu.N. (1966) Creep of structural elements [Polzuchest' e'lementov konstrukcij] Moscow: Nauka, 752 p. 18. Buly'gin, I.P. (1957) Atlas of tensile diagrams at high temperatures, creep curves and creep strength of steels and alloys for engines [Atlas diagramm rastyazheniya pri vy'sokikh temperaturakh, krivy'kh polzuchesti i dlitel'noj prochnosti stalej i splavov dlya dvigatelej] Moscow: Oborongiz. 174 p. 19. (1983) Creep and Long-Term Strength Patterns: A Handbook [Zakonomernosti polzuchesti i dlitel'noj prochnosti: Spravochnik] Moscow: Mechanical Engineering. 101 p.

Надійшла до редакції 20.06.2021 р.

Марченко Андрій Петрович – доктор техн. наук, професор, проректор з наукової роботи Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua.

Пильов Володимир Олександрович – доктор техн. наук, професор, зав. кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «ХПІ», Харків, Україна, e-mail: pylyov@meta.ua.

Линьков Олег Юрійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри ДВЗ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: linkov@kpi.kharkov.ua , orcid.org/0000-0002-2780-2412

Ликов Сергій Валентинович – аспірант кафедри ДВЗ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: sergsowar@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЛЗУЧЕСТИ ПОРШНЕВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

А. П. Марченко, В. А. Пильов, О. Ю. Линьков, С. В. Лыков

В работе рассмотрены вопросы надежности работы материалов поршней при форсировании двигателей. Именно увеличение литровой мощности двигателей, при обеспечении экологических и экономических требований, является на сегодня одним из основных направлений работы двигателестроения. Согласно исследованиям, ползучесть материала в значительной мере влияет на надежность деталей двигателей внутреннего сгорания. Наиболее термически нагруженным элементом двигателя следует отметить поршень. Основными критическими зонами для него можно выделить: кромку камеры сгорания, зону поршневых колец и юбку поршня. Появление задиров на юбке поршня иногда наблюдается даже в процессе обкатки двигателя при его форсировании. Таким образом можно говорить об актуальности проблемы выявления причин достижения критического состояния материала поршня. На основе этих данных появляется возможность разработки мер по обеспечению надежной работы конструкции поршня. Среди наиболее распространенных материалов для изготовления поршней являются сплавы алюминия АЛ25 и АК4. Химический состав этих сплавов значительно различается. В исследовании получены коэффициенты для расчета скорости ползучести для этих материалов. Проведена идентификация расчета деформации ползучести алюминиевых сплавов при различных уровнях напряжения, для различных температур. Определена верхняя граница области адекватности модели по температурам и напряжениям. Проанализирована скорость ползучести алюминиевых сплавов при различных температурах и нагрузках. В выводах сделано сравнение материалов поршней и указаны преимущества сплава АК4 по сравнению со сплавом АЛ25, проявляющиеся при форсировании двигателя. Также указано направление дальнейших исследований, которое связано с анализом деформации рассмотренных материалов на первой стадии ползучести.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания; увеличение мощности; температурное состояние; поршень; материал поршня; напряжение; деформации; ползучесть; моделирование.

COMPARATIVE EVALUATION OF THE CREEP OF PISTON ALUMINUM ALLOYS

A. P. Marchenko, V. O. Pylyov, O. U. Linkov, S. V. Lykov

The paper deals with the issues of reliability of piston materials in the process of increasing engine power. It is precisely the increase in the liter power of engines while ensuring environmental and economic requirements that is today one of the main areas of work in engine manufacturing. Studies have shown that material creep has significantly affects on the reliability of internal combustion engine parts. The most thermally loaded engine element is a piston. The main critical areas for it can be identified: the edge of the combustion chamber, the area of the piston rings and the piston skirt. The appearance of seizures on the piston skirt is sometimes observed even during the engine initial tests at the engine power increasing. Thus, we can speak about the relevance of the problem of identifying the reasons for reaching the critical state of the piston material. Based on these data, it becomes possible to develop measures to ensure the reliable operation of the piston. Among the most common materials for the manufacture of pistons are aluminum alloys AL25 and AK4. The chemical composition of these alloys varies considerably. The study obtained coefficients for calculating the creep rate for these materials. The identification of the calculation of the creep deformation of aluminum alloys at different stress levels, for different temperatures is carried out. The upper boundary of the region of model adequacy in terms of temperatures and stresses is determined. The creep rate of aluminum alloys is analyzed at different temperatures. In the conclusions, a comparison of the piston materials is made and the advantages of the AK4 alloy in comparison with the AL25 alloy, which are coming out when the engine power is increased, are indicated. The direction of further research is also indicated, which is associated with the analysis of the deformation of the considered materials at the first stage of creep.

Key words: internal combustion engine; power increase; temperature state; piston; piston material; tension; deformation; creep; modeling.

УДК 539.3

DOI: 10.20998/0419-8719.2021.2.07

М.А. Ткачук, С.О. Кравченко, А.В. Грабовський, М.М. Ткачук, О.В. Веретельник, С.В. Куценко, І.Є. Ключков, М.С. Саверська

КОНТАКТНА ВЗАЄМОДІЯ ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНО ЗМІЩЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

У роботі описані дослідження напружено-деформованого стану дискретно-континуально зміщених деталей двигунів внутрішнього згоряння. Розроблено параметричну модель мікросередку, який містить комірку із двох частин. Перша частина моделює фрагмент алюмінієвої деталі із поверхневим корундовим шаром. Друга частина – це фрагмент чавунної деталі із зоною дискретного зміцнення зі сталі. Варіюються: модуль пружності матеріалу корундового шару та форма зони дискретного зміцнення. Установлені залежності міцнісних та жорсткісних характеристик досліджуваної системи від варіюваних параметрів. Вони є основою для обґрунтування раціональних режимів технології дискретно-континуального зміцнення деталей двигунів внутрішнього згоряння.

У ході досліджень встановлено, що раніше визначені для дискретного зміцнення ефекти сприятливого перерозподілу контактної взаємодії між деталями зберігаються і для дискретно-континуального зміцнення. Визначені характерні залежності характеристик напружено-деформованого стану елементів дискретно-континуально зміщених деталей від варіюваних властивостей поверхневих шарів континуально зміцненої деталі, з одного боку, та форми зони дискретного зміцнення, – з іншого. Це дає можливість визначати чутливість характеристик до цілеспрямованого або випадкового варіювання цих факторів. Установлена також доцільність постановки та розв'язання оптимізаційних задач визначення таких режимів технологічної операції дискретно-континуального зміцнення, які забезпечують підвищення характеристик міцності, довговічності, коефіцієнта корисної дії двигунів внутрішнього згоряння та інших машин, агрегатів і вузлів, що містять зміцнені таким способом деталі.

Розроблений підхід, моделі та методи досліджень у подальшому будуть застосовані до досліджень напружено-деформованого стану контактуючих дискретно-континуально зміщених деталей конструкцій задля підвищення технічних і тактико-технічних характеристик виробів машинобудівних підприємств.

Ключові слова: дискретне зміцнення; континуальне зміцнення; дискретно-континуальне зміцнення; двигуни внутрішнього згоряння; міцність; напружено-деформований стан.

Вступ

Забезпечення міцності та довговічності деталей конструкцій, у т.ч. двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), є однією із провідних тенденцій сучасного машинобудування. У роботі [1], зокрема, відмічається, що серед сучасних методів зміцнення (цементация, азотування, бомбардування низькоенергетичними іонами, епіламінування тощо) [2, 3], виділяється, серед іншого, серія, заснована на електроіскровому легуванні [4-6]. Також привертають увагу

методи дискретного і континуального зміцнення [1].

У той же час традиційні та запропоновані методи зміцнення не вичерпують усіх потенційних можливостей підвищення трибomeханічних характеристик деталей, що працюють у парі за високих навантажень. Це змушує розробляти нові методи зміцнення, а також здійснювати супутні дослідження міцності, тертя і зношування.

Відповідно, запропоновано варіант дискретно-континуального зміцнення контактуючих елементів