

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

ОЦІНКА ТЕПЛОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПОРШНІВ ДВЗ З УРАХУВАННЯМ ПОРОГУ ПОВЗУЧОСТІ ЇХ БІЧНОЇ ПОВЕРХНІ

При створенні нових конструкцій двигунів до них висувають усе більш жорсткі вимоги щодо показників питомої потужності та надійності при забезпеченні сукупності інших експлуатаційних показників. Застосування нових конструктивних рішень або перехід на інший матеріал поршня дозволяє значно підвищити можливий рівень форсування двигуна. Це вимагає обов'язкового аналізу теплонапруженого стану конструкції. Саме такий аналіз може показати, чи буде ефективним те чи інше конкуруюче рішення. Дане дослідження показує можливу ефективність застосування певних конструктивних заходів. За об'єкт дослідження прийнято поршень дизеля 4ЧН12/14. Рівні форсування відповідали 20-30 кВт/л. Виконано моделювання температурного та теплонапруженого станів поршня у двох конструктивних виконаннях і для двох матеріалів – сплавів АЛ25 та АК4. Рівень термічних напружень конструкції встановлено в пружній постановці. Отримані дані дозволяють проводити аналіз стану поршнів і робити висновки на основі концепції гарантованого забезпечення надійності. Проведено аналіз температурного стану у зоні кромки камери згоряння поршня та у зоні канавки під перше поршневе кільце, де можлива втрата фізичної надійності конструкції. Оцінено поріг повзучості матеріалів бічною поверхнею поршня. При аналізі були використані раніше визначені нами межі повзучості матеріалів, що досліджувались. Пояснено факти появи натирів на поршнях в початковий період їх навантажень на основі перевищення порогу повзучості незміцненого матеріалу. Показано, що перевищення порогу повзучості незміцненого матеріалу поршня може мати місце, коли за критеріями температурного стану кромки камери згоряння, зони першого компресійного кільця та порогу повзучості зміцненого матеріалу конструкція є працездатною. За результатами багатоваріантного аналізу зроблено висновки щодо працездатності конкуруючих конструкцій поршня при граничних рівнях форсування дизеля.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння; збільшення потужності; поршень; параметри надійності; результати моделювання теплонапруженого стану; межа повзучості незміцненого і зміцненого матеріалів.

Вступ

Підвищення ефективної потужності двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) призводить до виникнення проблем з надійністю вузлів та деталей [1,2]. Одним з елементів, де вказана проблема проявляється значною мірою, є пара тертя поршня і гільзи циліндру. При цьому випадки появи натирів на поршні, що розвиваються до задирів, можливі навіть на початку експериментальних натурних випробувань нових форсованих дизелів [3,4]. Це свідчить про непрогнозовану поведінку досліджуваної системи в процесі проектування, в першу чергу – на етапі аналізу функціонування.

Вагомим фактором впливу на деформування конструкції поршня при високому рівні термічного навантаження конструкції є повзучість матеріалу. Особливо це стосується дизелів з розвинутими бо-бишками під пальцевий отвір [2]. Можливості відведення теплоти через ці зони поршня є обмеженими. В [5] було доведено, що при розрахункових дослідженнях надійності поршнів форсованих ДВЗ обов'язково слід враховувати дані щодо порогу повзучості матеріалу, з урахуванням його відмінності у незміцненому і зміцненому в процесі навантаження станах. Тому, аналіз можливих зон повзучості бічних поверхонь поршнів перспективних двигунів є актуальною задачею.

З урахуванням наведеного, метою даної роботи є порівняння порогу повзучості бічної поверхні поршнів при використанні різних алюмінієвих

сплавів.

Слід зазначити, що відомості щодо повзучості алюмінієвих сплавів є вкрай обмеженими і це, в свою чергу, стримує розробку прогресивних концепцій гарантованого забезпечення фізичної надійності поршнів на початкових стадіях їх проектування та забезпечення роботи матеріалів поршнів на межі їх міцності.

Аналіз публікацій та постановка задач дослідження

Серед поширених алюмінієвих сплавів, що використовують для створення поршнів форсованих ДВЗ, можна виділити сплави типу АЛ25 і АК4. Вони також мають значну кількість закордонних аналогів [6].

Загальновідомо, що явище повзучості виникає під дією високих рівнів температур і напружень. В класичному вигляді швидкість деформації повзучості в часі є змінною та може бути класифікована трьома характерними стадіями. Тут стадія 1 характеризується зменшенням швидкості повзучості, тобто зміцненням матеріалу. Це означає, що початок цієї стадії відповідає властивостям незміцненого стану матеріалу. Стадія 2 відповідає ділянці сталої швидкості деформації повзучості, тобто стану зміцненого матеріалу. Стадія 3 обумовлена інтенсифікацією процесів накопичення пошкоджень матеріалу та прискоренням швидкості повзучості, тобто зменшенням характеристики міцності відносно стадії 2. В умовах вільних деформацій стадія 3

завершується руйнуванням матеріалу. В [7,8] показано, що для повзучості сплавів АЛ25 і АК4 характерними є усі три стадії. Тут повинно бути ясно, що в умовах термонапруженого стану бічної поверхні поршня та малості зазору в парі тертя поршня і гільзи циліндру втрата параметричної та фізичної надійності конструкції може бути викликана деформацією повзучості на перших двох стадіях. Таким чином, дослідженню підлягають можливі умови повзучості для незміцненого (стадія 1) та зміцненого (стадія 2) матеріалів.

Відповідно задачами даного дослідження є: оцінка порогу повзучості бічної поверхні поршня в зоні пальцевого отвору для незміцнених та зміцнених сплавів АЛ25 та АК4 при різних рівнях форсування дизеля; оцінка порогу повзучості бічної поверхні поршня у вказаній вище зоні залежно від способу масляного охолодження поршня; розробка рекомендацій щодо унеможливлення натирів і задирів на бічній поверхні поршня в зоні пальцевого отвору в ході початкових етапах проектування нових ДВЗ.

Означені задачі вирішуються виходячи з концепції гарантованого забезпечення надійності конструкції. Це дозволяє на початкових етапах проектування не враховувати рівень релаксації термічних напружень та не обчислювати реальну величину деформації бічної поверхні поршня внаслідок повзучості. При цьому, обмеження термонапруженого стану бічної поверхні поршня достатньо встановити за рівнями порогу повзучості, визначеними в [9]:

$$\sigma \leq 21,5 - 0,05 \cdot t ; \quad (1)$$

$$\sigma \leq 40,846 - 0,1055 \cdot t ; \quad (2)$$

$$\sigma \leq 20,5 - 0,05 \cdot t ; \quad (3)$$

$$\sigma \leq 64,615 - 0,1779 \cdot t , \quad (4)$$

В виразах (1)-(4) t – це температурний стан досліджуваної зони бічної поверхні поршня, °С; σ – рівень термічних напружень відповідної зони, встановлений при вирішенні задачі в пружній постановці, МПа.

Викладення основного матеріалу

В якості об'єкта дослідження обрано дизель 4ЧН12/14 з діапазоном форсування 20...30 кВт/л, граничні умови задачі теплопровідності поршня для якого є відомими [7]. Дослідження температурного стану та розподілу термічних напружень поршнів виконано для двох матеріалів – алюмінієвих сплавів АК4 та АЛ25. Граничні умови задачі теплопровідності прийняті вісесиметричними. Основні фізичні властивості матеріалів наведено в табл. 1 [3,10]. З метою отримання порівнювальних результатів розрахунків конструкції поршня для обох сплавів прийняті незмінними. Геометричну модель поршня подано на рис. 1. Розглянуто два варіанти масляного охолодження поршнів – струминне та галерейне.

Таблиця 1. Властивості алюмінієвих поршневих сплавів АЛ25 і АК4

Фізичні властивості	Матеріал поршня									
	АЛ25					АК4				
	Температура дослідження, °С									
	20	100	200	250	300	20	100	200	250	300
Модуль пружності, Н/мм ²	75800	74300	67900	62700	56300	72000	68000	62000	59000	50000
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	137,6	137,9	140,5	142,8	145,7	142,4	146,2	150,7	–	159,0
Коефіцієнт температурного розширення, 1/К·10 ⁵	1,564	2,054	2,270	2,286	2,285	–	2,11	2,23	–	2,40
Густина, кг/м ³	2720					2760				

На рис. 1 також подано розташування основних контрольних точок в зоні під канавкою масляного кільця. В цій зоні очікується поява натирів та розвиток задиру як ознак втрати параметричної та фізичної надійності конструкції відповідно. Контрольні рівні, що показані на рис. 1, а, відмірялись від нижнього торця спідниці поршня. Кути розта-

шування контрольних точок 1-4 показані на рис. 1, б, точки 5 розташовані поблизу отвору під поршневий палець.

Контроль температурного стану поршня також здійснювався в зоні кромки камери згоряння (точка $t_{КЗ}$) та в зоні канавки першого поршневого кільця (точка $t_{ПК}$).

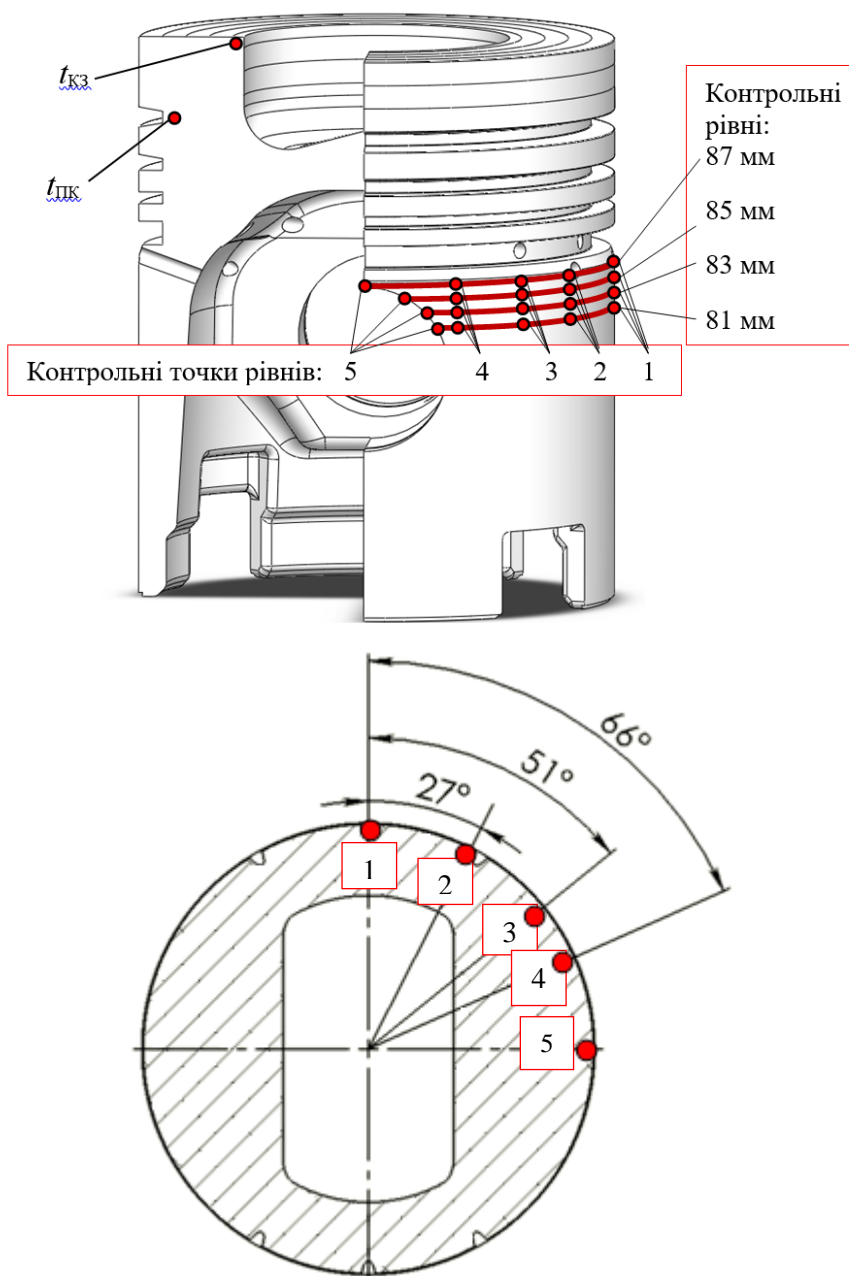


Рис.1. Розташування контрольних точок теплонапруженого стану поршня

Приклади термонапруженого стану конструкцій при рівні форсування дизеля 25 кВт/л подані на рис. 2, 3. Шкали розподілу температур і термічних напружень є однаковими та наведені, відповідно, на рис. 2, а та рис. 2, в.

З рис. 2, 3 чітко видно, що в зоні під канавкою маслоснімного кільця контрольні точки з максимальною температурою не відповідають контрольним точкам з максимальним термічним напруженням. Ці дані потребують розгляду порогу повзучості в кожній з контрольних точок як залежність від параметрів температури і термічних напружень (1)-(4).

Традиційним підходом до аналізу працездат-

ності конструкції поршня є отримання відомостей щодо температурного стану зони кромки камери згоряння та зони канавки першого поршневого кільця. При цьому, в залежності від умов експлуатації дизеля припустимий температурний стан кромки камери згоряння знаходиться в межах $t_{КЗ} = 310...330^{\circ}\text{C}$; температурний стан канавки обмежується значенням $t_{ПК} = 240...245^{\circ}\text{C}$ [7,10].

Результати розрахунку температурного стану кромки камери згоряння поршня наведені на рис. 4. Видно, що при використанні струминного способу масляного охолодження досліджуваного поршня конструкція зі сплаву АЛ25 за цим критерієм може

бути працездатною до $N_d = 20,5-23,5$ кВт/л, а зі сплаву АК4 – до $N_d = 23-26,5$ кВт/л. При використанні галерейного масляного охолодження для

сплаву АК4 кромку камери згорання можна вважати працездатною для усього інтервалу розглянутих форсувань дизеля.

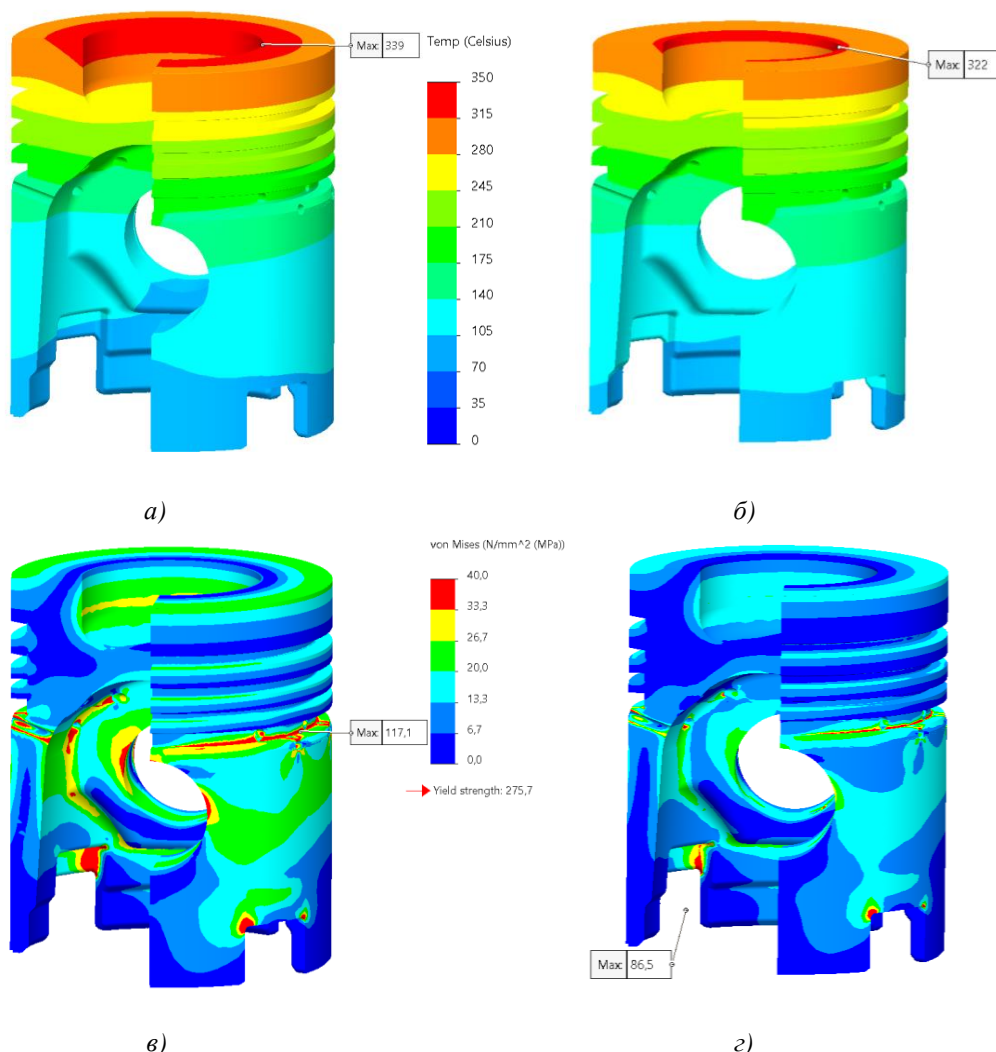


Рис. 2. Результати розрахунку теплонапруженого стану досліджуваного поршня зі струминним масляним охолодженням при форсуванні дизеля 25кВт/л: а – температурний стан, сплав АЛ25; б – температурний стан, сплав АК4; в – напружений стан, сплав АЛ25; г – напружений стан, сплав АК4

Приклад температурного стану поршня в зоні поршневих кілець подано на рис. 5. З аналізу наведених даних видно, що при форсуванні дизеля понад 25 кВт/л використання галерейного масляного охолодження поршня є обов'язковим.

Перейдемо до аналізу нового додаткового критерію оцінки надійності конструкції поршня – порогу повзучості його матеріалу в зоні бічної поверхні під канавкою маслознімного кільця. Термонапружений стан сукупності контрольних точок дослідження подано на рис. 6-11. Тут контрольні точки кожного з досліджуваних рівнів віднесені до відповідної кривої. При цьому загальний напрям зростання номерів контрольних точок для кожного з досліджуваних рівнів, що відповідає нумерації за

рис. 1, – зліва направо. Пороги повзучості незміцненого та зміцненого матеріалів відповідно до (1)-(4) подані пунктирними прямими. За розглянутим критерієм конструкція відповідає вимозі параметричної надійності бічної поверхні поршня тоді, коли досліджена сукупності контрольних точок лежить нижче за поріг повзучості матеріалу.

З рис. 6-9 видно, що коли здійснювати аналіз конструкцій за властивостями зміцненого в часі матеріалу, то усі досліджувані точки лежать нижче порога повзучості (позначено довгим штрихом). З цього можна зробити висновок щодо відсутності можливих натирів і задирів на поршні в досліджуваній зоні. Такий висновок буде недостовірним, бо суперечить фактам, наприклад, наведеним в [3].

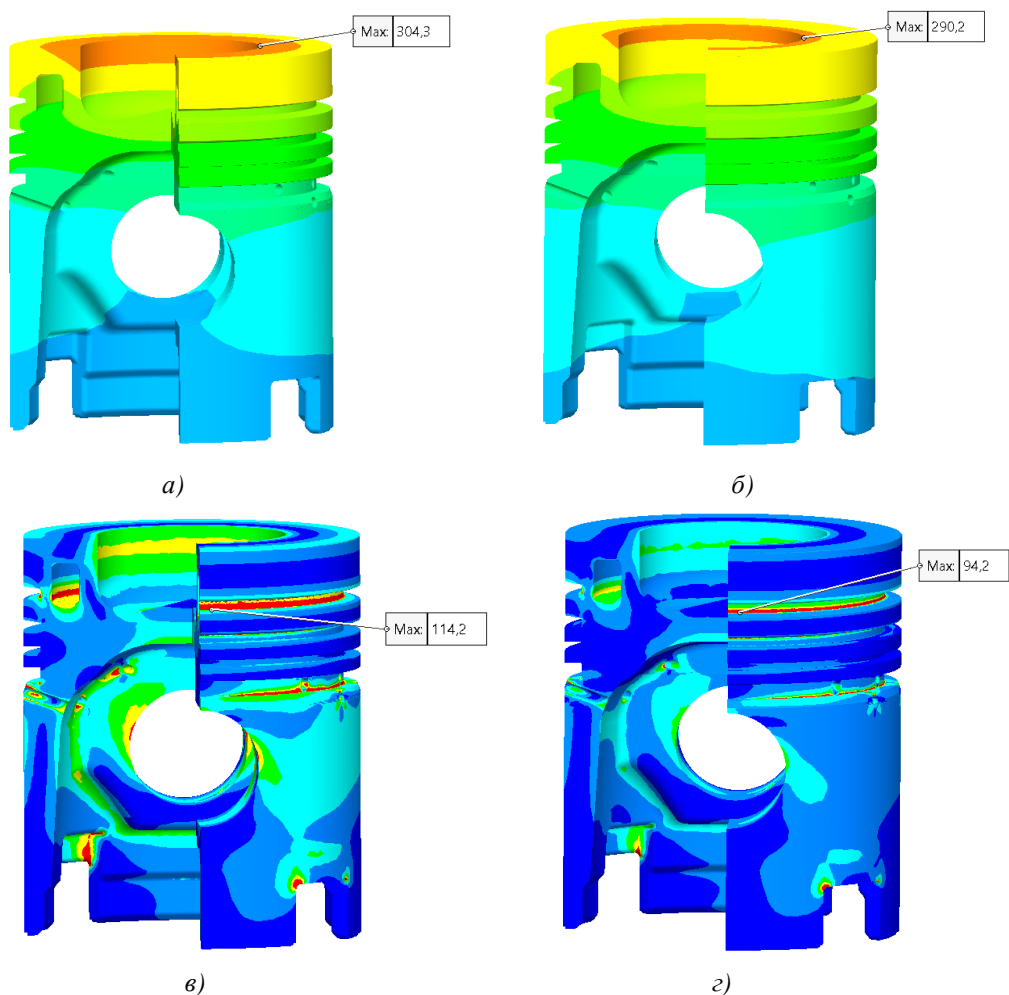


Рис. 3. Результати розрахунку теплонпруженого стану досліджуваного поршня з галерейним масляним охолодженням при форсуванні дизеля 25кВт/л: а – температурний стан, сплав АЛ25; б – температурний стан, сплав АК4; в – напружений стан, сплав АЛ25; г – напружений стан, сплав АК4

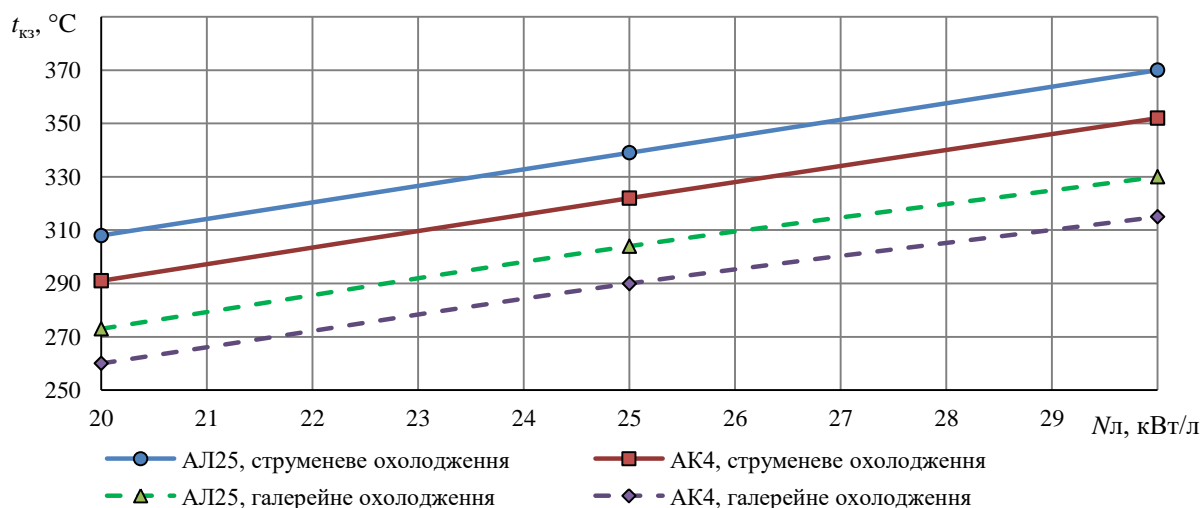


Рис. 4. Температурний стан кромки камери згоряння поршня в залежності від рівня форсування дизеля, матеріалу поршня та способу його масляного охолодження

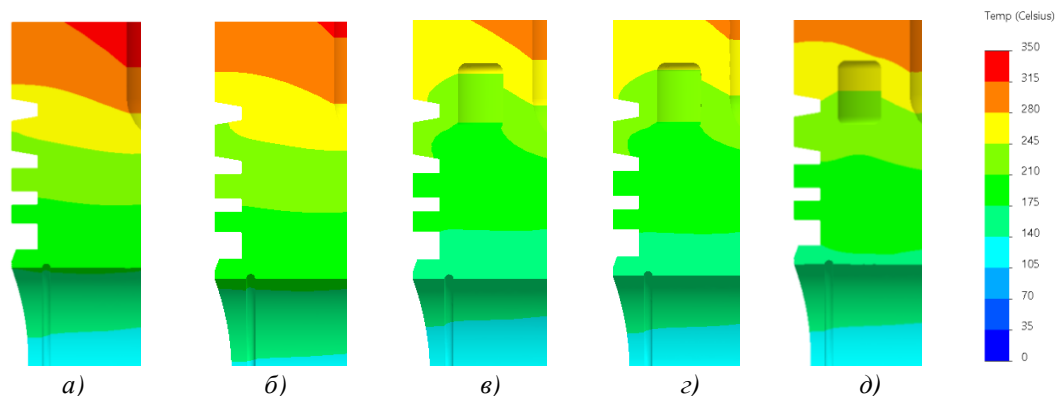


Рис. 5. Температурний стан поршневих канавок: а – АЛ25, струминне охолодження; б – АК4, струминне охолодження; в – АЛ25, галерейне охолодження; г, д – АК4, галерейне охолодження; а-г – $N_d = 25 \text{ кВт/л}$; д – $N_d = 30 \text{ кВт/л}$

Дослідження зміни в часі порогу повзучості сплавів АЛ25 та АК4 подані в [9]. Виходячи з отриманих результатів, за межу повзучості незміцненого матеріалу було обрано значення порогу повзучості на початку термомеханічного навантаження (в дослідженні [9] для моменту часу 5 хвилин). Дані порогу повзучості через 10 годин термонапруженого навантаження прийняті за поріг повзучості зміцненого матеріалу. Це означає, що в період початкового навантаження двигуна при високих рівнях термонапруженості бічної поверхні поршня поріг повзучості є змінним в часі. Відповідно до рис. 6-9 зміцнення матеріалу відбувається в межах, окреслених пунктирними лініями, від порогу повзучості незміцненого матеріалу (штрих-пунктир) до порогу повзучості зміцненого (довгий штрих). Наведене засвідчує, що натири і задири бічною поверхнею поршня в початковий період експлуатації двигуна пояснюються перевищенням термонапруженості досліджуваної зони порогу повзучості незміцненого матеріалу.

Розглянемо термонапруженість сукупності досліджуваних точок відносно порогу повзучості незміцнених матеріалів. На рис. 6 подано термонапружений стан бічної поверхні поршня зі сплаву АЛ25 при наявності струминного масляного охолодження поршня для варіанту форсування дизеля $N_d = 20 \text{ кВт/л}$. Видно, що більшість досліджуваних точок лежить вище за поріг повзучості незміцненого матеріалу. Таким чином, даний варіант дослідження не відповідає сформульованій вимозі дотримання параметричної надійності бічної поверхні поршня. При цьому, слід звернути увагу, що за критеріями температурного стану кромки камери згоряння та зони першого компресійного кільця конструкція є працездатною (див. рис. 4, 5). Це підтверджує необхідність здійснювати оцінку надійності конструкції за усіма трьома вказаними критеріями.

На рис. 7 подано термонапружений стан бічної поверхні поршня аналогічно до рис. 6, але при галерейному масляному охолодженні конструкції.

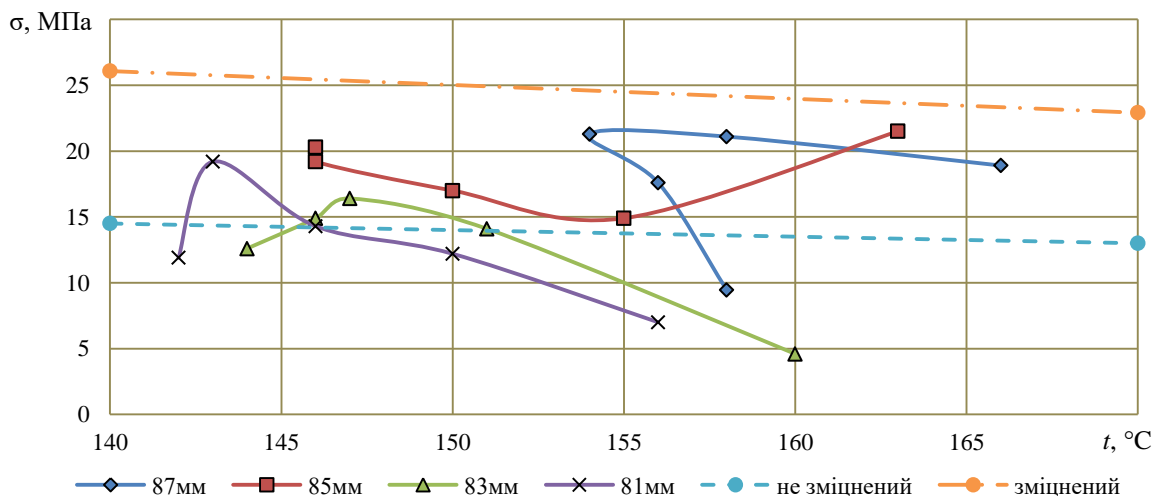


Рис. 6. Термонапружений стан бічної поверхні поршня зі сплаву АЛ25, масляне охолодження поршня – струминне, рівень форсування дизеля – 20 кВт/л

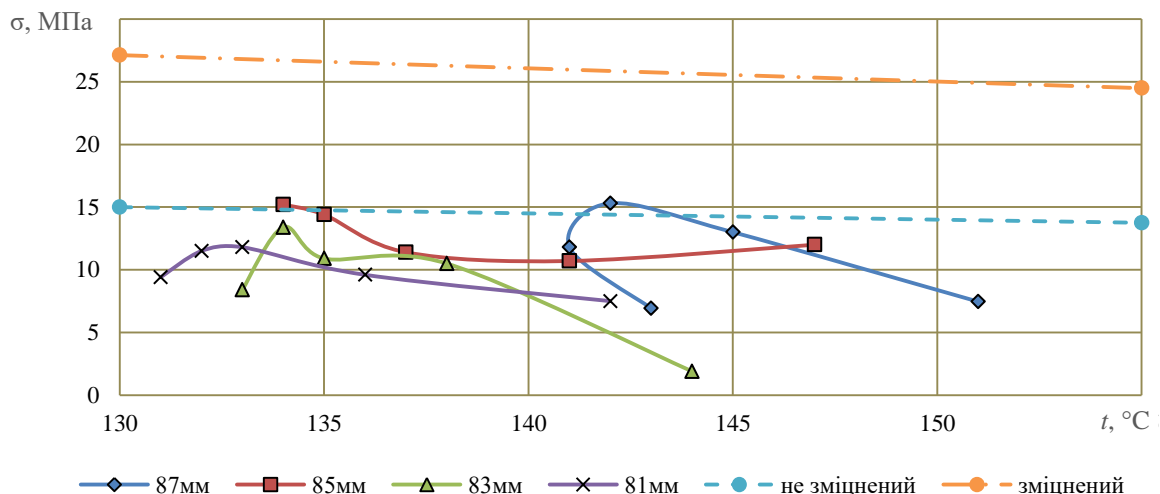


Рис. 7. Термонапружений стан бічної поверхні поршня зі сплаву АЛ25, масляне охолодження поршня – галерейне, рівень форсування дизеля – 20 кВт/л

З рис. 7 видно, що застосування галерейного масляного охолодження забезпечує достатню надійність бічної поверхні поршня зі сплаву АЛ25 при форсуванні дизеля до 20 кВт/л. Очевидно, що при подальшому збільшенні літрової потужності слід очікувати деформування бічної поверхні внаслідок повзучості незміцненого матеріалу поршня. Вказане підтверджується даними, наведеними на рис. 8 при рівні форсуванні дизеля 25 кВт/л.

Розглянемо аналогічні дані при зміні матеріалу поршня на АК4.

На рис. 9 подано результати обчислень для поршня зі струминним масляним охолодженням при рівні форсуванні дизеля 25 кВт/л. Порівняємо наведені дані для рис. 8 та 9. Видно, що поріг пов-

зучості зміцненого сплаву АК4 на 10 МПа перевищує такий поріг для сплаву АЛ25, але пороги повзучості незміцнених матеріалів є близькими. При цьому температурний стан бічної поверхні поршня зі сплаву АК4 для випадку струминого масляного охолодження є на 20 °C вищим за температурний стан конструкції зі сплаву АЛ25 при галерейному масляному охолодженні. Саме тому значна кількість досліджуваних точок для сплаву АК4 перевищує поріг повзучості незміцненого матеріалу. Таким чином, отримані результати за рис. 9 засвідчують невідповідність принципу гарантованого забезпечення надійності розглянутого варіанту конструкції, принаймні з використанням моделювання термічних напружень в пружній постановці.

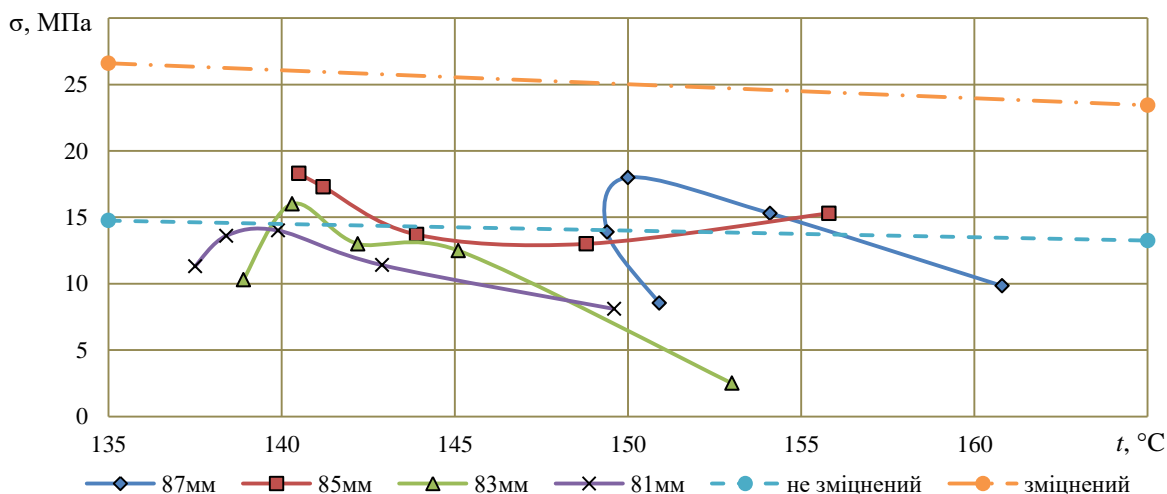


Рис. 8. Термонапружений стан бічної поверхні поршня зі сплаву АЛ25, масляне охолодження поршня – галерейне, рівень форсування дизеля – 25 кВт/л

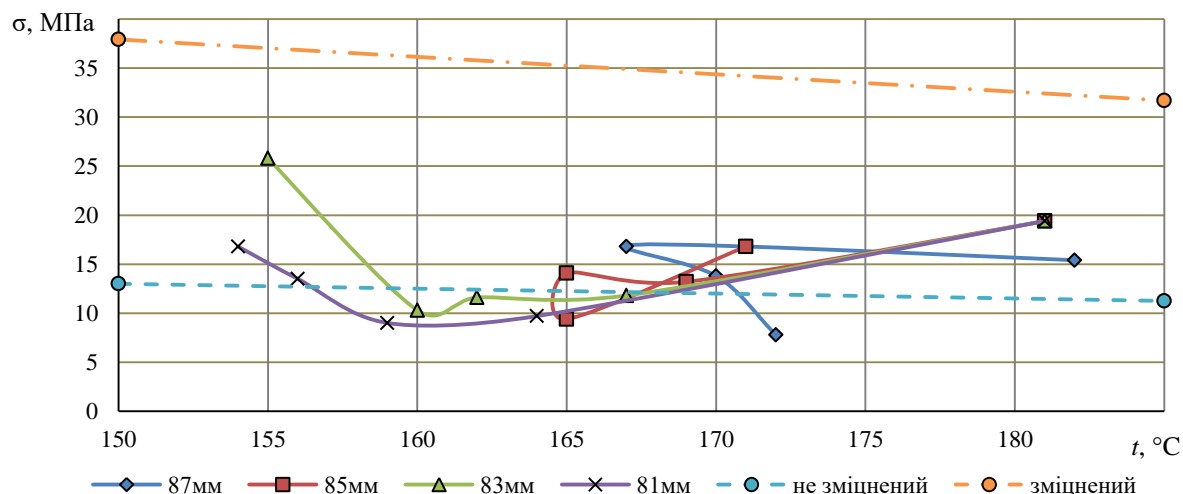


Рис. 9. Термонапружений стан бічної поверхні поршня зі сплаву АК4, масляне охолодження поршня – струминне, рівень форсування дизеля – 25 кВт/л

На рис. 10 подано термонапружений стан бічної поверхні поршня зі сплаву АК4 при наявності галерейного масляного охолодження поршня для варіанту форсування дизеля $N_d = 25$ кВт/л. Видно, що на відміну від застосування струминного масляного охолодження (поданого на рис. 9) практично уся досліджувана зона знаходиться нижче за поріг повзучості незміцненого матеріалу.

Подальше форсування дизеля до $N_d = 30$ кВт/л збільшує рівень теплонапруженого стану конструкції, що може призводити до втрати параметричної надійності бічної поверхні поршня. Ці дані наведені на рис. 11. При цьому слід відзначити, що в даному випадку поршень втрачатиме свою надійність також за критерієм температурного стану поршневої канавки (див. рис. 5). Тут покращення умов ро-

боти поршневого кільця потребує використання конструкції з кільцетримачем. В свою чергу, застосування кільцетримача приведе до зміни температурного стану кромки камери згоряння та бічної поверхні поршня. Тому подальше забезпечення сукупності критеріїв якості конструкції потребуватиме також зміни форми поршня в зоні бобишек пальцевого отвору.

Результати проведеного дослідження з урахуванням трьох критеріїв якості конструкції поршня зведені до табл. 2. Тут знаком «+» позначено задоволення умов критеріїв відповідно до концепції гарантованого забезпечення надійності, знак «±» відповідає перехідній зоні, знак «-» вказує на перевищення припустимого рівня теплонапруженості конструкції.

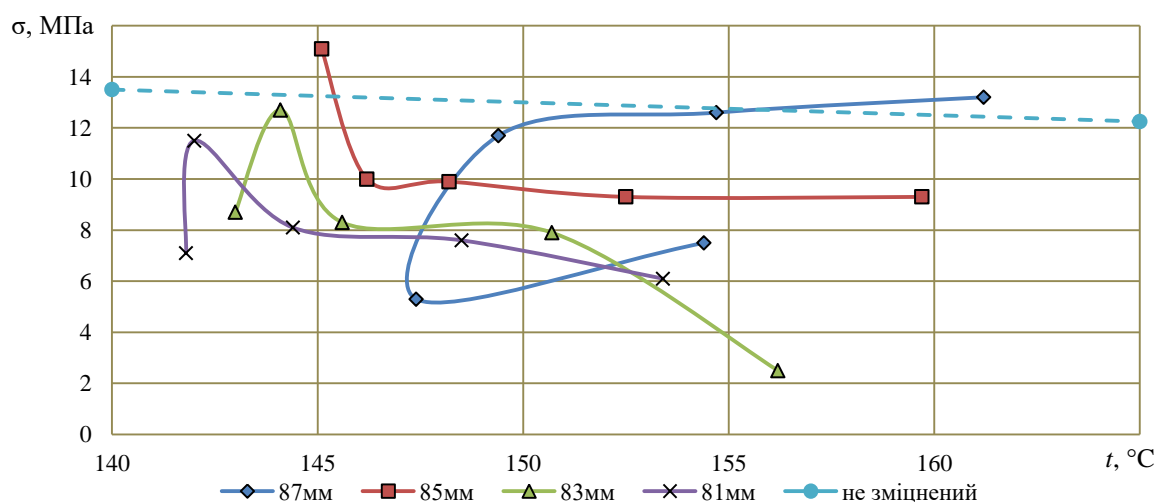


Рис. 10. Термонапружений стан бічної поверхні поршня зі сплаву АК4, масляне охолодження поршня – галерейне, рівень форсування дизеля – 25 кВт/л

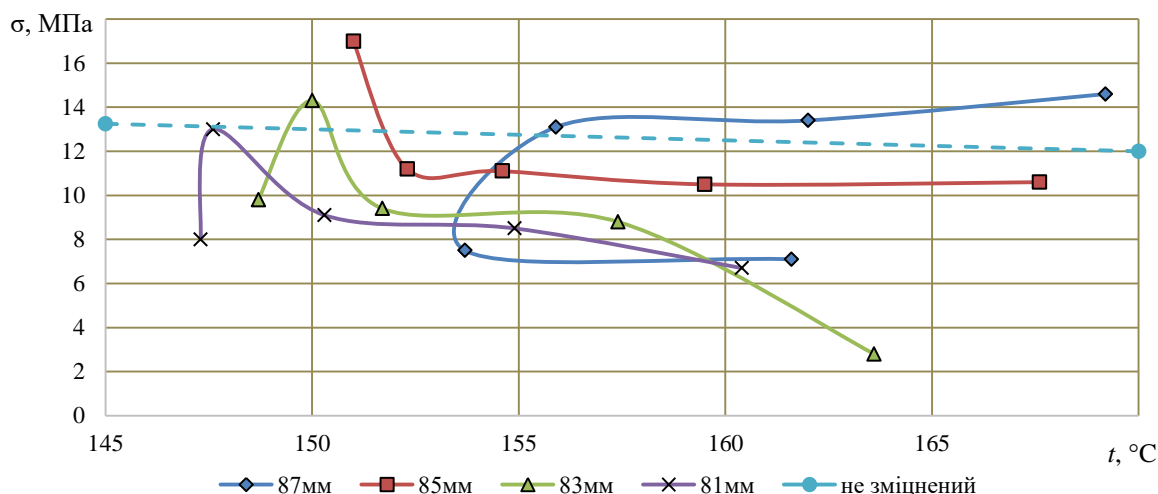


Рис. 11. Термонапружений стан бічної поверхні поршня зі сплаву АК4, масляне охолодження поршня – галерейне, рівень форсування дизеля – 30 кВт/л

Таблиця 2. Оцінка теплонапруженого стану поршнів за розглянутими критеріями якості

№ з/п	N _л , кВт/л	Спосіб масляного охолодження поршня	Кромка КЗ	Зона ПК	Поріг повзучості бічної поверхні	
					Незміцнений матеріал	Зміцнений матеріал
Сплав АЛ25						
1	20	Струминне	+	+	–	+
2	20	Галерейне	+	+	+	+
3	25	Галерейне	+	±	–	+
4	30	Галерейне	±	–	–	+
Сплав АК4						
5	25	Струминне	+	+	–	+
6	25	Галерейне	+	+	+	+
7	30	Галерейне	+	±	–	+

Отримання таких даних дозволяє обґрунтовано обирати напрями удосконалення конструкцій щодо їх надійного функціонування. Таким чином, поставлені в роботі задачі вирішено.

При цьому, слід зауважити, що для усіх варіантів дослідження поріг повзучості зміцненого матеріалу для бічної поверхні поршня не перевищений. Це означає, що поява натиру чи задиру є можливою тільки в перші хвилини максимального навантаження двигуна. Також слід звернути увагу, що запропонована методика оцінки параметричної надійності бічної поверхні поршня базується на концепції гарантованого забезпечення надійності конструкції як розуміння гарантованої відсутності натиру. Невиконання умов запропонованого критерію може привести до натиру, який в подальшому не буде розвиватися. Це може бути пов'язане з двома причинами – зміцненням матеріалу в процесі його термонапруженого навантаження та внаслідок

релаксації термічних напружень. Вирішення такої задачі відповідатиме концепції забезпечення умов роботи матеріалу на межі міцності.

Висновки

В роботі на прикладі дизеля 4ЧН12/14 проведено аналіз теплонапруженого стану поршня з урахуванням порогу повзучості по бічній його поверхні для матеріалів АЛ25 та АК4.

Дослідження виконано для незміцнених та зміцнених в часі сплавів в діапазоні форсувань двигуна 20...30 кВт/л. Оцінено поріг повзучості у вказаній вище зоні залежно від способу масляного охолодження поршня. В результаті встановлено:

– для усіх варіантів дослідження поріг повзучості зміцненого в часі матеріалу для бічної поверхні поршня не є перевищеним. Факти появи натирів на поршнях в початковий період їх навантажень засвідчують за необхідність враховувати поріг повзучості незміцнених матеріалів;

– перевищення порогу повзучості незміцненого матеріалу може мати місце протягом перших 10 годин навантаження дизеля. Час перевищення порогу повзучості потребує уточнення;

– перевищення порогу повзучості незміцненого матеріалу поршня може мати місце, коли за критеріями температурного стану кромки камери згоряння та зони першого компресійного кільця конструкція є працездатною;

– при граничних рівнях форсування дизеля для забезпечення надійності конструкції поршня слід враховувати критерії температурного стану кромки камери згоряння поршня, температурного стану канавки першого поршневого кільця та додаткового критерію повзучості незміцненого матеріалу.

Подальший напрям робіт пов'язаний з визначенням рівнів термічного навантаження бічної поверхні поршнів з урахуванням релаксації напружень, що виникають в умовах повзучості матеріалу, який зміцнюється. Це дозволить здійснювати вирішення поставленої задачі відповідно до концепції забезпечення умов роботи матеріалу на межі міцності.

Список літератури:

1. *Damage analysis of details of ICE, DFCDIESEL*. – 2023 Available at: <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. Алехин С.А. Анализ температурного состояния корпусов составных поршней двухтактных дизелей специального назначения / С.А. Алехин, С.В. Лыков, В.А. Пылёв // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2013. – №1. – С. 33-36. 4. Марченко А.П. Концептуальні положення щодо забезпечення надійності поршнів форсованих дизелів протягом заданого ресурсу / А.П. Марченко, О.Ю. Лінков, В.В. Пильов, С.В. Ликов, Р. Ариан, В.О. Пильов // *Двигуни внутрішнього згоряння*. – 2022. – №1, – С.3-12. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2022.1.01>. 5. Лінков О.Ю. Методика визначення порогу повзучості матеріалу поршня для оцінки параметричної надійності його бічної поверхні / О.Ю. Лінков, В.В. Пильов, С.В. Ликов, В.О. Пильов // *Двигуни внутрішнього згоряння*. –2022. –№2. – С.56-61. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2022.2.10>. 6. *Database of Steel and Alloy*. – 2023. Available at: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=1407 7. Пильов В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалої міцності / В. О. Пильов. – Харків: Видавничий центр НТУ “ХПІ”,

2001. – 332 с. 8. Марченко А.П. Порівняльна оцінка повзучості поршневих алюмінієвих сплавів / А.П. Марченко, В.О. Пильов, О.Ю. Лінков, С.В. Ликов // *Двигуни внутрішнього згоряння*. – 2021. – №2. – С. 43-49. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2021.2.06> 9. Пильов В.О. Порівняння порогу повзучості поршневих алюмінієвих сплавів з урахуванням їх зміцнення в часі / В.О. Пильов, О.Ю. Лінков, С.В. Ликов // *Двигуни внутрішнього згоряння*. – 2023. – №1. – С. 18-24. 10. *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.

Bibliography (transliterated):

1. (2023) *Damage analysis of details of ICE, DFCDIESEL*. Available at: <http://www.dfcdiesel.com/warranty-info/failure-analysis> 2. (2020) *Piston damage – recognizing and rectifying*. MS Motorservice International GmbH –50 003 973-02 – EN –07/15 (012020), 92p. 3. Alekhin S.A., Lykov S.V., Pylov V.O. (2013) *Analysis of the thermal state of housings of composite pistons of two-stroke diesel engines for special purposes [Analiz temperaturnoho sostoiannya korpusov sostavnykh porshnei dvukhtaknykh dyzelei spetsyalnoho naznacheniya]* Internal combustion engines. No. 1, Pp. 33-36. 4. Marchenko A.P., Linkov O.U., Pylyov V.V., Lykov S.V., Aryan R., Pylyov V.O. (2022) *Conceptual issues on ensuring the reliability of a forced diesel piston during a given resource [Konseptualni polozhennya schodo zabezpechennya nadlynosti porshniv forsovanih dizeliv protyagom zadanogo resursu]* Internal combustion engines. No. 1, Pp. 3–12. 5. Linkov O.U., Pylyov V.V., Lykov S.V., Pylyov V.O. (2022) *A method for determining the creep threshold of a piston material to evaluate the parametric reliability of its side surface [Metodyka vyznachennia porohu povzuchosti materialu porshnia dlia otsinky parametrychnoi nadynosti yoho bichnoi poverkhni]* Internal combustion engines. No. 2, Pp. 56–61. 6. (2023) *Database of Steel and Alloy*. Available at: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=1407 7. 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 dyzeliv iz zadanym rivnem tryvalosti mitsnosti: monohrafiia]* Kharkiv: NTU "KhPI" Publishing Center. 332p. 8. Marchenko A.P., Pylyov V.O., Linkov O.U., Lykov S.V. (2021) *Ensuring reliable operation of the forced internal combustion engine piston [Porivnyalna otsinka povzuchosti porshnevih alyuminievih splaviv]* Internal combustion engines. No. 2, Pp. 43–49. 9. Pylyov V.O., Linkov O.U., Lykov S.V. (2023) *Determination of the Creep Threshold of Aluminum Piston Alloys Taking into Account Their Strengthening with Time under Thermal Load Conditions [Vyznachennia porohu povzuchosti porshnevnykh aliuminiievnykh splaviv z urakhuvanniam yikh zmitsnennia z chasom v umovakh termichnoho navantazhennia]* Internal combustion engines. No. 1, Pp. 18-24. 10. Abramchuk, F.I., Marchenko, A.P., Razlejczev, N.F., Tret'yak, E.I., Shekhovcov, A.F., Shokotov, N.K. (1992) *Modern diesel engines: improved fuel efficiency and durability [Sovremennye dizeli: povysheenie toplivnoj ekonomichnosti i dlitel'noj prochnosti]* Kyiv: Tehnika, 272 p.

Надійшла до редакції 28.06.2023 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, orcid.org/0000-0001-9746-4634

Лінков Олег Юрійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: Oleh.Linkov@khi.edu.ua, orcid.org/0000-0002-2780-2412

Пильов Вячеслав Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: viacheslav.pylov@khpri.edu.ua , orcid.org/0000-0002-1514-1020

Ликов Сергій Валентинович – аспірант кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: sergsowar@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3234-5970

ESTIMATION OF THE THERMALLY STRESSED STATE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE PISTONS, TAKING INTO ACCOUNT THE CREEP THRESHOLD OF THEIR SIDE SURFACE

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

When creating new engine designs, they are subject to ever more stringent requirements for specific power and reliability indicators while ensuring a combination of other performance indicators. The use of new design solutions or the transition to a different piston material can significantly increase the possible level of engine power. This requires a mandatory analysis of the thermal stress state of the structure. It is this analysis that can show whether one or another competing solution will be effective. This study shows the possible effectiveness of certain constructive measures. The diesel piston 4ChN12/14 was taken as the object of the research. Power levels corresponded to 20-30 kW/l. The analysis of the temperature and heat-stress states of the piston in two designs and for two materials - AL25 and AK4 alloys was carried out. The level of thermal stresses of the structure is set in an elastic setting. The obtained data allow to analyze the condition of the pistons and draw conclusions based on the concept of guaranteed reliability. In the analysis, we used the creep limits of materials that we previously determined. The analysis of the temperature state in the zone of the edge of the combustion chamber of the piston and in the zone of the groove for the first piston ring, where the reliability falling of the piston design is possible, has been analyzed. The creep threshold of materials by the side surface of the piston is estimated. The facts of the appearance of rubbing on pistons in the initial period of their loads are explained on the basis of exceeding the creep threshold of an unhardened material. It is shown that the creep threshold of the non-hardened piston material can be exceeded when, according to the criteria of the temperature state of the combustion chamber edge and the zone of the first compression ring, the design is operable. Based on the results of the analysis, conclusions were drawn about the performance of piston structures during power increasing using two options for oil cooling of the piston and during the transition from aluminum alloy AL25 to alloy AK4.

Keywords: internal combustion engine; power increase; reliability; reliability parameters; simulation; piston; temperature; tension; deformations; creep; creep limit; material properties.

УДК 621.43.016

DOI: 10.20998/0419-8719.2023.2.02

О. В. Триньов, Д. Г. Сівих

ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО БАГАТОКОНТУРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Серія моторних стендових та безмоторних експериментів, проведених на кафедрі двигунів та гібридних енергетичних установок НТУ «ХПІ», показали високу ефективність локального повітряного охолодження теплонпружених деталей ДВЗ, зокрема деталей випускного клапанного вузла газорозподільного механізму в автоматизованому режимі. Однак, в проведених випробуваннях використовувався стаціонарний повітряний компресор з живленням від електромережі ~220 В з накопиченням повітря у балоні великої місткості. Реалізація системи локального охолодження на енергетичних установках, в основному потужних вантажних автомобілів, потребує включення в систему автоматичного керування охолодження автономного, встановленого на транспортному засобі пневматичного компресора з електроприводом із живленням від бортової електромережі та накопиченням повітря у ресивері з компактними розмірами.

Проведено огляд конструктивних рішень та аналіз компонентного складу пневматичних систем автотракторних транспортних засобів. Розглянуті вимоги щодо якості та безпеки пневматичних систем транспортних засобів та їх елементів. Наведені технічні характеристики повітряних компресорів. Обрано схему пневматичної системи локального багатоконтурного охолодження деталей автотракторного дизеля. На прикладі обраного повітряного компресора з електричним приводом Maxitum Performance 24V компанії ARB (Австралія) виконані оціночні розрахунки часу роботи до робочого тиску у ресивері 10 бар. Визначено електричне навантаження на бортову мережу 24 В транспортного засобу у вигляді витрати струму в середньому за цикл наповнення. Визначений максимальний струм споживання компресором, дана оцінка витрати струму за годину за умови сумірного чередування циклів наповнення ресивера та його спустошення.

Ключові слова: дизель; охолодження; автоматичне керування тепловим станом; компресор.

Вступ

Вимоги до автомобільних систем, зокрема

пневматичних, є необхідними для забезпечення безпеки, надійності та ефективності. Коли мова йде