

Гудз Густав Стефанович, д.т.н., професор;
Глобчак Михайло Васильович, к.т.н., доцент;
Коцюмбас Олег Йосифович, к.т.н., НУ «Львівська політехніка»,
o.kotsjumbas@email.ua

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОМІЦНОСТІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ДВЗ ВНАСЛІДОК ЇХ РЕМОНТУ

До найбільш поширеного методу підвищення ресурсу двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) належить метод відновлення їхніх гільз способом розточування до ремонтних розмірів. Він передбачає збільшення діаметру гільз циліндрів, що призводить до зменшення товщини стінок, й, тим самим, до зміни не тільки температурного режиму двигуна, а й міцності гільзи.

При дослідженні динаміки температурних полів контактної середовища «гільза циліндрів – охолодник» ДВЗ потрібно розв'язати систему рівнянь у часткових похідних, які описують процеси тепломасопереносу у складних об'єктах з розподіленими параметрами за відповідних крайових умов:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_1(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_1(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda_1(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial z} \right] + q(x, y, z) = c_1 \rho_1 \frac{\partial t}{\partial \tau}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_2(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_2(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda_2(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial z} \right] = c_2 \rho_2 \frac{\partial t}{\partial \tau}; \quad (2)$$

де індекси $i = 1, 2$ відносяться до матеріалу циліндра (1) та охолоджувального середовища (2); $\lambda_i(x, y, z, t)$, ($i = 1, 2$) – коефіцієнти теплопровідності; $q(x, y, z)$ – густина теплового потоку; $c_i(x, y, z, t) \cdot \rho_i(x, y, z, t)$, ($i = 1, 2$) – об'ємна теплоємність; t – температура, τ – час; x, y, z — поточні координати.

Оскільки рівняння (1), (2) належать до нестационарних контактних задач в областях неklasичної форми за неоднорідних граничних та складних початкових умов, то вони не мають точного аналітичного розв'язку.

Для задач, які не мають розв'язку в замкнутій аналітичній формі або коли отримані розв'язки надто складні, що не можуть бути використані для практичного розрахунку, широко застосовуються методи математичного моделювання.

В Інституті проблем моделювання в енергетиці НАН України ім. Г. Є. Пухова для розв'язування задач стосовно процесів тепломасопереносу розроблений програмний комплекс Фур'є-2 x, y, z , який дозволяє дослідникам, без попереднього програмування, розв'язувати двовимірні і тривимірні задачі тепломасопереносу в діалоговому режимі та отримувати результати в наочному і зручному для використання вигляді [1]. Цей комплекс за участі авторів доопрацьований для дослідження теплових процесів у ДВЗ.

Програмний комплекс побудований на методі кінцевих різниць та належить до класу сіткових моделей наближеного розв'язку крайових задач. Метод має похибки апроксимації від першого до четвертого порядку відносно кроку.

Створений за допомогою програмного комплексу конфігуратор гільзи циліндра та схема теплообміну на її поверхнях наведені на рис. 1.

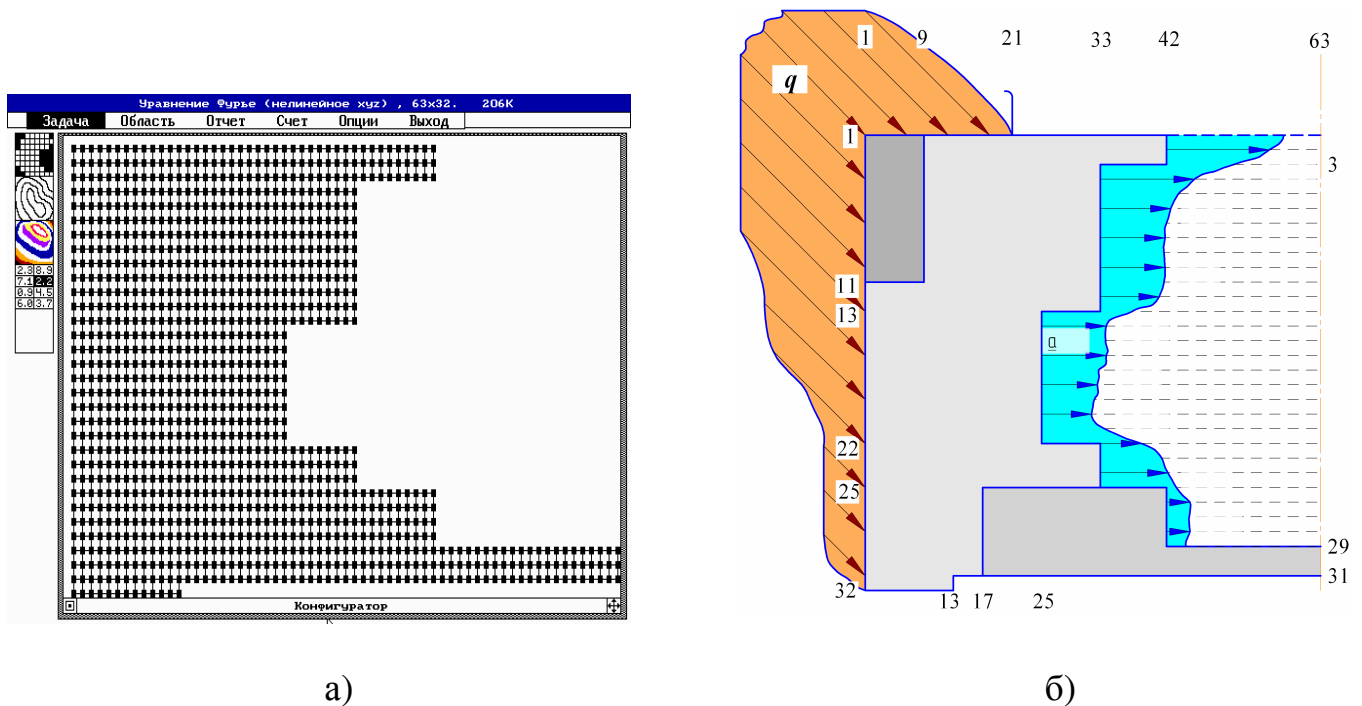


Рисунок 1 – Конфігуратор гільзи циліндра двигуна ЗМЗ-511.10 (а) та схема теплообміну на її поверхнях (б), цифрами позначені координати вузлів

Об'єктом моделювання була гільза циліндра двигуна ЗМЗ-511.10. Кроки за осями x та y прийняті $0,00025$ м і відповідають міжремонтному інтервалу $0,5$ мм, тобто $0,25$ мм на сторону, крок за віссю z — $0,005$ м.

Інтервали часу визначались за частотою обертів колінчастого вала в секунду, а крок за часом Δt повинен відповідати часу, упродовж якого здійснюється половина оберту або повний оберт колінчастого вала, залежно від зміни заданої результуючої за теплопередачею температури. Завдання проміжку часу τ визначалось кількістю обертів колінчастого вала (або тактів) двигуна, яку потрібно здійснити до вимірювання температури. Таким чином, значення температури під час розв'язування можливо отримувати через половину оберту вала.

Крок за часом $\Delta t = 0,0375$ с відповідає одному циклу (двом оборотам) колінчастого вала на номінальному режимі (за $n = 3200 \text{ хв}^{-1}$). На внутрішній поверхні циліндра задані граничні умови другого роду, а на зовнішній — граничні умови третього роду. Коефіцієнти теплопровідності чавунної гільзи $\lambda_1 = 47 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, охолоджувального середовища $\lambda_2 = 0,68 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; об'ємної теплоємності — відповідно $c_1\rho_1 = 3600000$ і $c_2\rho_2 = 4100000 \text{ Дж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$.

Кількісні значення коефіцієнтів тепловіддачі отримані розв'язком зворотної задачі теплопровідності комп'ютерним моделюванням за результатами натурного експерименту [2].

Розглянемо вплив процесу розточування гільзи циліндра за умов квазістаціонарного режиму роботи та осесиметричного нагрівання як найбільш показових. При цьому, відповідно до зазначеної вище першої умови, нехтуємо зміною навантаження відносно осі циліндра.

Головною задачею є оцінювання зміни радіальних та колових нормальних напружень у порівнянні з такими у стінці гільз з номінальними розмірами. Для аналізу виділимо дві ділянки гільзи (див. рис. 1):

1) ділянка аустенітної вставки (два кільця з гарячою посадкою, вузли 1 -11 по вертикалі);

2) суцільна робоча втулка.

Нормальні (радіальні та колові) напруження в розточеній гільзі можна представити у вигляді [3]

$$\begin{cases} \tilde{\sigma}_{rj} = \sigma_{rj} + c \sigma_{rj} \\ \tilde{\sigma}_{tj} = \sigma_{tj} + c \sigma_{tj} \end{cases}, \quad (3)$$

де значком $\tilde{\sigma}$ позначені параметри розточеної гільзи;

j – позначає ділянку гільзи ($j=1,2$);

параметри без \approx відповідають номінальним параметрам гільзи;

r, t – стосуються, відповідно, радіальних та колових напружень;

- значок c перед параметром σ означає, що йдеться про сумарне значення додаткових напружень, зумовлених відповідними ремонтними діями.

Визначивши значення складових рівняння (3) через залежність Ляме-Клайперона [4], можна встановити величину питомого тиску, спричиненого гарячою посадкою аустенітної вставки та перейти до визначення напружень у зменшених за товщиною стінках гільзи внаслідок ремонтних дій.

Література

1. Сорокин Н. А. Программный комплекс для моделирования процессов теплопереноса при аварийных ситуациях / Н. А. Сорокин, А. Г. Тарапон, В. О. Тернавский // Методы и средства компьютерного моделирования. – Сб. научн. трудов ИПМЭ НАНУ – К., 1997. – С. 58-60.

2. Гудз Г. С. Визначення динаміки теплового стану гільзи циліндрів і охолодника за номінальної потужності автомобільного двигуна / Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, О. Й. Коцюмбас // Вестн. Харьковского нац. автом.- дор. ун-та. – Харьков, 2010. – Вып. 51. – С. 180 – 183.

3. Тимошенко С. П. Сопротивление материалов: [в 2 т.]. Т. 2 / С. П. Тимошенко. – М.: Наука, 1965. – 480 с.

4. Шорин С. Н. Теплопередача: монография / С. Н. Шорин. – М.: Высшая школа, 1964. – 492 с.