

## МЕТОД ЗА ОЦЕНКА ЕКСПЛОАТАЦИОННИЯ ЖИВОТ НА ГУМЕНИ ЕЛЕМЕНТИ В ПОДВИЖЕН ЖЕЛЕЗОПЪТЕН СЪСТАВ

Добринка Атмаджова  
[atmadzhova@abv.bg](mailto:atmadzhova@abv.bg)

Катедра „Транспортна техника”,  
Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
Гео Милев 158, София 1574,  
БЪЛГАРИЯ

*Ключови думи:* ефективно напрежение, умора на гума,  $S-N$  крива, експлоатационен живот.

*Abstract:* Методът „напрежение-цикли на разрушаване” ( $S-N$ ) широко се използва за определяне умората на материалите в железопътната промишленост. Когато този метод е приложен за материали като гума, той се оказва нетолкова успешен както когато е приложен за метални материали. Методът на механиката на континуума (общия живот) е използван, за характеризиране умората на материала от гледна точка циклическия диапазон на напреженията (крива  $S-N$ ). Предлага се, че ефективното напрежение  $\sigma_f$ , може да бъде използвано като параметър за оценка на уморно разрушаване. Изходната проверка на този метод е направена за два типа гумени пружини. Резултатите показват добро съгласуване между изпитанията на умора на компонентите и моделирането, основано на този метод.

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Методът „напрежение-цикли на разрушаване” ( $S-N$ ) широко се използва за определяне умората на материалите в железопътната промишленост. Един много успешен случай е динамическото моделиране в реално време на талигова рама от подвижен железопътен състав (ПЖПС) за метро [1]. Този метод се оказва не приложим за материали като гума в сравнение с материали от метал.

Има два пътя за определяне умората на гума в зависимост от предизвиканата механическа неизправност: механиката на континуума (общия живот) и механиката на счупване [2]. Грубо казано, общият живот на умора в механиката на континуума се определя като сума от количеството цикли, които водят до пукнатини от умора и отказ на детайла. Отклоняването от допуска в механиката

на счупване е основан на това, че съществуват недостатъци в проектирането водещи до появата на разрушаване на детайлите.

Полезният живот до умора е определен като количеството на цикли за разпространението на доминираща пукнатина от този начален размер до някаква критична стойност. Главните различия могат да бъдат зависими от изборния метод и избраните етапи за количественото определяне.

Предложеният тук метод се опитва да свърже сложното силово натоварване със значително проста ситуация, като например изпитание на умора при едносово натоварване.

## 2. ЕФЕКТИВНО НАПРЕЖЕНИЕ

За определяне живота до умора на компонентите независимо от геометрията им, или от условията на натоварване е необходимо обвързването им в обща база. Следователно, предлага се ефективното напрежение  $\sigma_f$  (като функция на 3-те главни напрежения), да бъде използвано като параметър за оценка на отказ от умора. Ефективното напрежение се определя по следния израз:

$$(1) \quad \sigma_f = \sqrt{\sigma_1^2 + A\sigma_2^2 + B\sigma_3^2}, \quad \sigma_1 > 0, \quad \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3, \quad A \leq 1, \quad -1 < B \leq 1$$

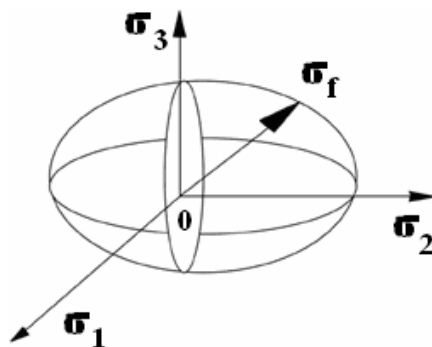
където:  $A, B$  – параметри на ефективното напрежение;  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главни напрежения.

Даденото погоре определение приема:

1. Няма повреда от умора когато точката е под натиск във всички направления.

2. Параметърът  $A$  се приема за положителен когато главното напрежение  $\sigma_2$  е положително и параметърът  $B$  се приема за положителен когато главното напрежение  $\sigma_3$  е положително.

3. Повреда от умора се предизвиква от което и да е от двете главни напрежения  $\sigma_2$  или  $\sigma_3$ , непревишаващи главното напрежение  $\sigma_1$ .



Фиг. 1 Елипсоид на напреженията.

Този критерий включва всички компоненти на напрегнатото състояние ( $\sigma_1, \sigma_2$  and  $\sigma_3$ ). Уравнение (1) описва елипсоида на напреженията при отказ, изобразен на

фиг. 1. Всяка точка от обвивката ще даде същата повреда от умора предизвикана от циклично натоварване.

Тук има някои нови процедури за определяне стойността на компонентите А и В. В една от процедурите се изказва предположение за свободна повърхнина, А и В се изисква да имат максимална стойност от 1 за сигурното осигуряване на това  $\sigma_2 > 0$ ,  $\sigma_3 > 0$  и стойността от 0 ако  $\sigma_2 \leq 0$ ,  $\sigma_3 \leq 0$ ; т.е:

$$(2) A = 0 \text{ когато } \sigma_2 \leq 0, A = 1 \text{ когато } \sigma_2 > 0$$

$$(3) B = 0 \text{ когато } \sigma_3 \leq 0, B = 1 \text{ когато } \sigma_3 > 0$$

Направлението d на нормалния вектор на равнинна пукнатина може лесно да бъде получена по следната процедура. Нека определим трите главни напрежения от вида:

$$\sigma_1 = [\sigma_{1i}, \sigma_{1j}, \sigma_{1k}]$$

$$\sigma_2 = [\sigma_{2i}, \sigma_{2j}, \sigma_{2k}]$$

$$\sigma_3 = [\sigma_{3i}, \sigma_{3j}, \sigma_{3k}]$$

където:  $\sigma_{1i}$  (1, 2, 3), (i, j, k) проекции на главните напрежения в системата на тензора.

Съгласно уравнения (2) и (3) направлението d (перпендикулярно на равнината) е:

$$d = [\sigma_{1i}, \sigma_{1j}, \sigma_{1k}] \text{ когато } \sigma_2, \sigma_3 \leq 0$$

$$d = [a, b, c] \text{ когато } \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 > 0$$

където

$$(4) a = (\sigma_{1i} + \sigma_{2i} + \sigma_{3i})/M$$

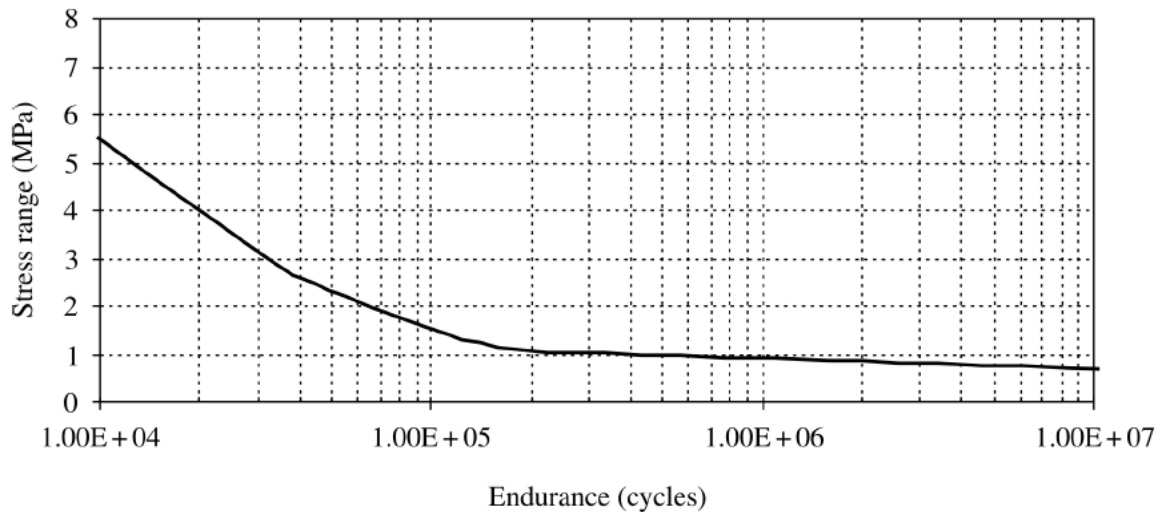
$$(5) b = (\sigma_{1j} + \sigma_{2j} + \sigma_{3j})/M$$

$$(6) c = (\sigma_{1k} + \sigma_{2k} + \sigma_{3k})/M$$

$$(7) M = \sqrt{(\sigma_{1i} + \sigma_{2i} + \sigma_{3i})^2 + (\sigma_{1j} + \sigma_{2j} + \sigma_{3j})^2 + (\sigma_{1k} + \sigma_{2k} + \sigma_{3k})^2}$$

### 3 ИЗПИТВАНЕ НА УМОРА ПРИ ЕДНООСОВО НАТОВАРВАНЕ

Целта на това изпитване на умора е създаване на база за съпротивление срещу умора на пружини от гума. Теста за умора на гума натоварена с едноосов товар е направен в НИТИЖТ-София (секция „Вагоностроене и вагонно стопанство”). Резултатите са представени в диаграма „напрежения-цикли на разрушаване” (S–N крива), показана на фиг. 2. Всяка точка от тази крива представлява компонента на повреда на ниво натоварване (във формата на обхвата на напреженията) при определено количество цикли.



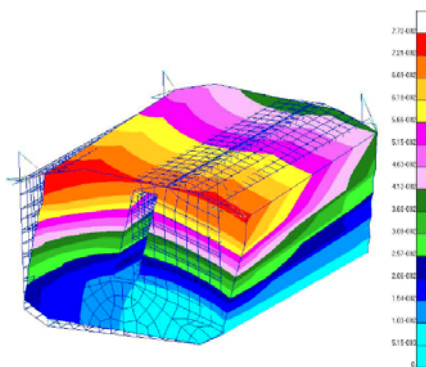
Фиг. 2. Диаграма „напряжения-цикли на разрушаване” (S–N крива).

## 4 ПРИЛОЖЕНИЯ

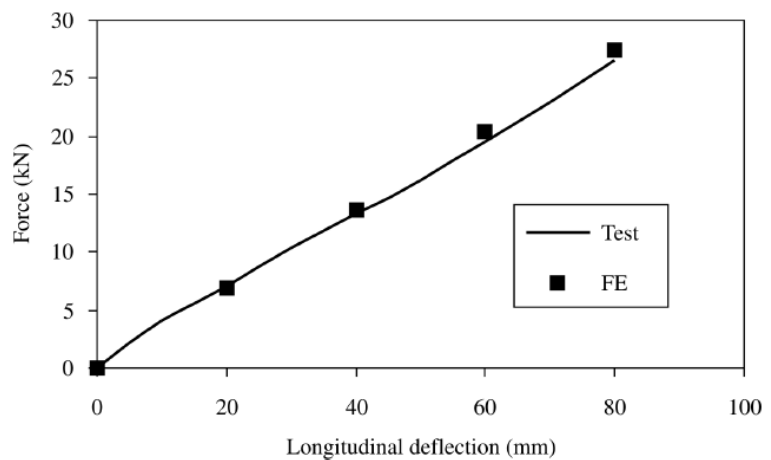
За потвърждение на изложената методология са проведени два вида изследвания на пружини от гума. Едното изследване е на металогумен пакет като носеща пружина представляваща еластична плъзгалка монтирана на талига, а другото изследване е на металогумен пакет монтиран в централен лагер на талига.

### 4.1 Носеща пружина

Тази пружина поддържа масата на коша върху талигата и е подложена на натиск. Талигите се завъртат и преместват напречно и надлъжно спрямо коша на ПЖПС и натоварват плъзгалките в хоризонтална равнина. Пружините могат да бъдат установявани непосредствено между коша и талиговата рама, или между коша и надресорната греда или на завъртащата греда при ПЖПС с принудително завъртане на коша.



Фиг. 3. Резултат от моделирането по МКЕ (напречно отклонение на еластичната плъзгалка).



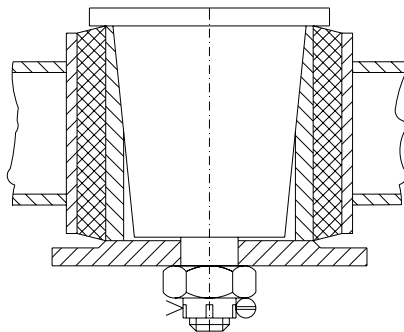
Фиг. 4. Сравнение на съпротивлението на деформация между изпитване и моделиране по МКЕ.

Процедурата на потвърждение е изпълнение, което включва изпитване на умора на реален компонент и моделиране по метода на крайните елементи (МКЕ). Резултатите от моделирането са показани на фиг.3, а сравнение на съпротивлението на деформацията между изпитването и моделирането по МКЕ е показано на фиг.4. След 31000 цикли, се появяват 4 пукнатини (срязвания) в края на гумените елементи от еластичната плъзгалка. Дължината на тези срязвания е в диапазона 2–15 mm. Всички тези срязвания започват от ъглите на гумените елементи.

Критическата област на разположение на деформациите (отклоненията) и срязванията е в двата краища на компонентите, което се потвърждава и от двата метода – моделирането и изпитването. Стойността на ефективното напрежение изчислена от уравнение (1) е 3,86 МПа. Очаква се, че срязвания (пукнатини) от умора ще се появят при около 20000 цикли въз основа на кривата S–N показана на фиг. 2.

#### 4.2 Металогумена пружина

Тази пружина е натоварена от комбинираното действие на срязване и натиск. Когато е приложена като пружина от буксово ресорно окачване, монтират се една или две пружини между талиговата рама и буксата. Такива пружини се монтират и в централен лагер на талигите от ПЖПС (фиг.5).



Фиг. 5. Металогумена пружина монтирана в централен лагер.

Изпитването на умора е осъществено на една пружина с конструктивно изпълнение показано на фиг.5. На горната повърхност на вътрешния слой на гумата се появяват няколко срязвания (пукнатини) след 0,5 милиона цикли натоварване. Ефективното напрежение  $\sigma_f$  получено по МКЕ 1,2 МПа е в същата област. От кривата S–N [3, 4] пукнатините от умора се появяват приблизително при около 0,3 милиона цикли. Направлението на пукнатините може да бъде определено по изрази (4) и (7). Стрелата оказва направлението на ефективното напрежение  $\sigma_f$ . Наблюдението на реални пукнатини потвърди това твърдение.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Представеният тук метод предлага решение за приложение в промишлеността, особено за компоненти с гума, използвани в ресорното окачване или общо в ходовата част на релсови возила. Понятието ефективно напрежение взето като функция на трите главни напрежения, може да повиши надеждността против умора когато бъде определено по изложените методи. Изчисленията получават практическо потвърждение. По-нататъшната разработка и реализация на проверката е необходимо да бъде осъществена за повече случаи, за предсказване появата на пукнатини или повреди от умора на материала на елементи с наличие на гума, които в експлоатация са с трудно наблюдение.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] LUO, R. K., GABBITAS, B. L. AND BRICKLE, B. V. Fatigue life evaluation of a railway vehicle bogie using an integrated dynamic simulation. Proc. Instn Mech. Engrs, Part F: J. Rail and Rapid Transit, 1994.
- [2] SURESH, S. Fatigue of Materials, 1998.
- [3] LUO, R. K., COOK, P. W., WU, W. X. AND MORTEL, W. J. Fatigue design of rubber springs used in rail vehicle suspensions. Proc. Instn Mech. Engrs, Part F: J. Rail and Rapid Transit, 2003.
- [4] WU, W. X., COOK, P. W., LUO, R. K. AND MORTEL, W. J. Fatigue life investigation in the design process of metacone rubber springs. Paper presented at Service Life Prediction of Elastomer Components, 2001.