

VYHODNOCOVÁNÍ KŘIVEK ŽIVOTNOSTI

Miroslav Balda¹

Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i.

Abstrakt

Drawing power functions yields sometimes rather unsatisfactory results when only the function $\log\log$ be used. It is also the case of plotting curves of a fatigue lives of materials, so called SN curves. The contribution describes the new function SN.m that improves both resolution and readability of resulting graphs.

1 Úvod

SN křivky vyjadřují životnosti N objektu zkoušeného na únavu na intenzitách namáhání s . Těmi mohou být amplitudy harmonického namáhání, anebo směrodatné odchytky špiček napětí při náhodném zatěžování. SN křivka zobrazená v logaritmických souřadnicích je přímkou

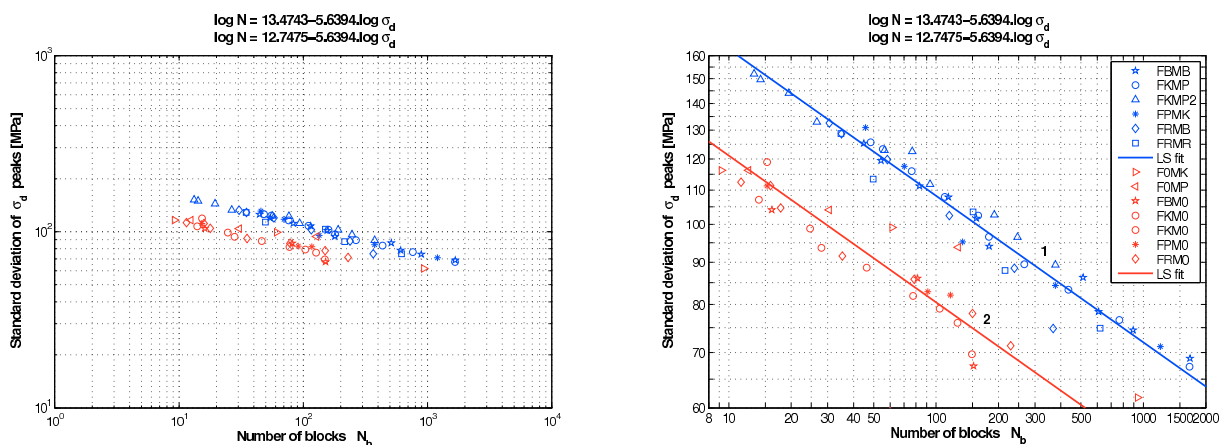
$$\log N = c_1 + c_2 \log s, \quad (1)$$

kde c_1 a c_2 jsou koeficienty lineární regrese aplikované na logaritmy měřených bodů (s, N) .

Zpracování únavových dat do SN křivek je při běžném postupu úlohou relativně snadnou, protože je podporována normou ČSN 42 368 [1]. Horší situace nastává, pokud zpracovatel má z hlediska normy nestandardní požadavky na formu výsledků. Proto se ukázalo účelným sestavit obecný program pro tuto úlohu.

Jedna SN křivka je daná množinou dvojic dat získaných při jinak stejných podmínkách charakterizovaných intenzitou namáhání s a počtem opakování zatěžovacích posloupností do porušení N , tedy dvojicemi $(s, N)_j$ pro $j = 1, 2, \dots, J$ porušených zkušebních těles. Tyto dvojice vytvářejí na grafu body vyznačené zvoleným symbolem (markerem). U standardních únavových zkoušek jsou vektory s amplitudami σ_a harmonicky proměnného napětí v čase a N počty cyklů N_a do poruchy. U zkoušek s náhodným průběhem namáhání jsou s směrodatné odchytky s_d špiček napětí a N počty N_b zatěžovacích bloků.

Může se stát, že i po změně podmínek experimentu nebude jiná množina podobných dvojic dat vykazovat významné odchytky dat od jiných množin. Potom říkáme, že takové množiny vytvářejí jeden *svazek*, který lze popsat jedinou SN křivkou.



Obrázek 1. Obvyklý diagram (vlevo) a vytvořený programem SN (vpravo)

Ukazuje se, že při významnějších změnách podmínek experimentu mohou vznikat další množiny bodů a případně i jejich svazků. Ty pak pro stejný typ materiálu mohou, ale nemusí, mít

¹ Prof. Ing. Miroslav Balda, DrSc., Feng., Veleslavínova 11, 301 00 Plzeň, e-mail: balda@cdm.cas.cz

vzájemnou vazbu s jinými svazky, která se projeví třeba rovnoběžností SN křivek příslušných svazků v logaritmických osách. Mezi ne zcela běžné požadavky patří i zobrazování několika SN křivek do jednoho diagramu s dobrou vypovídací hodnotou spočívající ve vysoké rozlišitelnosti grafů.

Všechny tyto požadavky má plnit nový program `SN.m` sestavený v jazyku MATLAB operující nad jednou kolekcí dat, ze kterých uživatel operativně vybírá podle aktuálních potřeb.

2 Příprava dat

Aby nový program mohl plnit všechny výše uvedené požadavky, musí mít použitá data jistou pevnou strukturu.

- Výsledky každého experimentu realizovaného za stejných podmínek, tj. jedné množiny dat, budou zaznamenány v samostatném skriptu (m-souboru) o tvaru:

```
% výstižný název skriptu, datum vzniku,
% případně další poznámky
sa = [seznam hodnot intenzit napjatosti];
Na = [seznam hodnot počtů opakování zatěžovací sekvence];
typ = 'krátký název experimentu';
str = 'jednopísmenový kód označení bodu - markeru, viz help plot';
```

Úvodní řádky souboru začínající znakem procento jsou informativní a nevstupují do zpracování dat. Počet položek ve vektorech `sa` a `Na` je stejný. Sobě odpovídající data ve vektorech tvoří výše zmíněné dvojice – body patřící jednomu porušenému zkušebnímu tělesu. Soubor lze vytvořit předem pomocí libovolného textového editoru, nejlépe editorem MATLABu. Soubor má koncovku ".m" a uloží se do podadresáře `Data`, kde ho program bude hledat. V následujících řádcích je otisk konkrétního souboru použitého ke zpracování:

```
% aFKMP.m - 2009-07-08
% zkušební vzorky # 1 - 10
sa = [125.7, 123.3, 116.0, 107.93, 102.45, 96.61, 89.5, 83.38, 76.63, 67.27];
Na = [48.40, 55.43, 76.15, 110.29, 159.72, 180.11, 266, 434.96, 765.16, 1667.04];
typ = 'FKMP';
str = 'o';
```

Název souboru `aFKMP.m` říká, že soubor obsahuje výsledky experimentu patřícího do svazku "a" realizovaného při kombinaci síly F s klesajícím tvarem (K) a kroutícího momentu M s pyramidálním tvarem (P) výkonové spektrální hustoty. V tomto konkrétním případě se za `sa` dosazovaly hodnoty směrodatných odchylek špiček poškozujícího napětí σ_d a za `Na` jim odpovídající počty bloků N_b náhodných procesů, při nichž vzorek prasknul. Proměnná `typ` obsahuje charakteristickou vlastnost zatěžování, která se již vyskytla ve jménu souboru. Řetězec `str` uvádí, že na diagramech bude tato množina bodů označena symbolem "kroužek". Názvy proměnných jsou *závazné*.

- Každý svazek množin bodů se zakončuje speciálním souborem, nesoucím informaci o uživatelských volbách osnov na osách diagramu a o jejich popisech. Jde opět o skript – m-soubor – jehož jméno si opět volí uživatel. Toto jméno by mělo být výrazně jiné, než jsou jména souborů s výsledky zkoušek, aby byl snadno k nalezení. Není chybou, vyskytne-li se v jeho jménu slovo `end`, např. `Zend.m`. Jeho obecná struktura má potom tvar:

```
% jméno souboru, např. Zend.m, datum
stick = {seznam souřadnic osnovy napětí}
slab = {seznam popisů osnovy napětí}
Ntick = {seznam souřadnic osnovy počtů opakování zatěžovacích posloupností}
Nlab = {seznam popisů osnovy počtů opakování}
ylab = řetězec - označení osy napětí
xlab = řetězec - označení osy počtů cyklů
```

Je zřejmé, že první čtyři proměnné obsahují buňková pole (seznamy ve složených závorkách). Důvodem je skutečnost, že buňková pole mohou obsahovat současně reálné i textové položky. Popisy os jsou obyčejné řetězce.

Zatímco pole `stick` a `Ntick` obsahují souřadnice všech uživatelem zvolených čar mřížky plochy diagramu v požadovaných intervalech, pole `slab` a `Nlab` ponesou pouze označení těch čar, které se mají popsat, kdežto pro nepopisované se označení vynechá, anebo se místo něj použije prázdný řetězec. Dolní a horní meze intervalů os se volí tak, aby SN křivka měla vhodný sklon zajišťující dobrou rozlišitelnost zobrazení.

Jako příklad uveďme konkrétní soubor `SNend.m` použitý pro zpracování série měření životnosti vrubovaných trubkových vzorků vystavených kombinovanému namáhání. Soubor `SNend.m` definuje v proměnných `slab` a `Nlab` pouze popisované linky osnovy. Alternativně lze nepopisované souřadnice osnovy v těchto proměnných zapsat jako prázdné řetězce `''`. Důvodem pro tuto dvojí volbu je kompatibilita s původními datovými soubory, které tyto prázdné popisy vyžadovaly. Nová verze programu si je generuje sama.

```
% SNend.m      2010-03-05      nová verze ukončovacího souboru
stick = {60:5:130};                                     % souř. osnovy sigma
slab = {60:10:130};                                    % popis osnovy sigma
Ntick = {8,9,10,15,20,25,30,40,50,60,70,80,90,100,...   % souř. osnovy N
        150,200,250,300,400,500};
Nlab = {8,10,20,30,40,50,100,200,300,500};             % popis osnovy N
ylab = 'Standard deviation of \sigma_d peaks [MPa]'; % popis vertikální osy
xlab = 'Number of blocks N_b';                         % popis osy cykl;
```

- Jako poslední ve skupině skriptů v podadresáři `Data` může být nepovinný soubor `ZZ.m`. Ten může být i prázdný, anebo obsahovat libovolnou textovou informaci, která se ale nikde ve zpracování neobjeví. Účelem tohoto souboru je, aby se při jeho vyvolání místo datového nebo ukončovacího souboru běh programu ihned ukončil. Uživatel jeho existenci uvítá v případě, když po chybné manipulaci chce zpracování úlohy ihned ukončit bez dalšího zdržování a případně i vyhodnocování chybného zadání.

3 Obsluha programu SN.m

Program pracuje výrazně interaktivně s uživatelem. To umožňují funkce z knihovny File Exchange firmy MathWorks [2]. Po nastartování programu příkazem `SN` z aktuálního podadresáře se na obrazovce objeví nabídka se jménem úlohy

```
Task name = T11523V =>
```

kteřou buď přijmeme, zpracováváme-li měření životnosti vrubované trubky z materiálu 11523.1, anebo zadáme aktuální název úlohy. Ten se objeví jak na protokolu, tak i na diagramech.

V následující výzvě

```
colors rgb = brgmck =>
```

se nabízí pořadí barev, které budou použity pro označování svazků měření v grafu (b = modrá, r = červená, g = zelená, m = fialová, c = tyrkysová, k = černá). Tuto nabídku lze potvrdit stiskem klávesy `ENTER`, anebo zadat jinou kombinaci složenou ze stejných písmen. Další nabídka

```
crossed SN = yes =>
```

je dotazem, zda svazky mají být ponechány bez vazby, tedy s různoběžnými SN křivkami, anebo s paralelní vazbou. V prvním případě se nabídka potvrdí a v druhém zamítne vložením libovolného znaku (např. `n`) a jeho potvrzením. Dále vystoupí

```
figure pos = 4 =>
```

nabízející, aby okno diagramu SN křivek vystoupilo v pravém dolním rohu obrazovky. Jiný kód polohy je možno získat před vlastním během programu SN po vložení příkazu `help fig` z klávesnice.

Po zadání pozice obrazového okna vstoupí program do podadresáře `Data` a nabídne okénko pro výběr datového souboru ze seznamu dvojitým poklepem na jeho název myši. Soubory se vybírají postupně až do zadání posledního souboru ve svazku. Nato se svazek ukončí výběrem – poklepnutím na jméno ukončovacího souboru (výše uvedeno jméno `Zend.m`).

Po každém výběru jména datového souboru vystoupí tabulka jeho obsahu, vypočteného počtu opakování N_r stanoveného z regrese, skutečná i procentuální odchylka N_r od měřeného počtu opakování. Následuje výstup regresní funkce pro právě přečtenou množinu měřených bodů. Po přečtení ukončovacího souboru vystoupí ještě podobná tabulka všech dat ve svazku následovaná regresní funkcí celého svazku. Tabulky s regresními funkcemi jsou navzájem oddělovány vodorovnými čarami (separátory) s názvy dílčích datových souborů. Za regresní funkcí celého svazku vystoupí ještě separátor se jménem ukončovacího souboru (`Zend.m`) následovaný dotazem

```
Continue = yes =>
```

zda se má pokračovat ve čtení dat dalšího svazku. V případě, že je již konec zpracování, vloží se z klávesnice libovolný znak a potvrdí se. Tím se zpracování protokolu ukončí. Závěr běhu programu tvoří série dotazů na ukončovací činnosti. První z nich

```
Equations = yes =>
```

se ptá, zda se mají do hlavičky obrázku vložit rovnice regresních SN křivek. Potvrzením nabídky `yes` se říká, že ano. Následuje výzva

```
where legend = NorthEastOutside =>
```

říkající, že obdélník legendy bude po potvrzení vložen vpravo nahoře, vně pole diagramu. Operátor může tuto nabídku nahradit jinou ze seznamu:

<code>EastOutside</code>	vpravo, vně
<code>SouthEastOutside</code>	vpravo, dole, vně
<code>NorthWestOutside</code>	vlevo, nahoře, vně
<code>WestOutside</code>	vlevo, vně
<code>SouthWestOutside</code>	vlevo, dole, vně
<code>West</code>	vlevo, uvnitř
<code>SouthWest</code>	vlevo, dole, uvnitř
<code>North</code>	nahoře, uvnitř
<code>South</code>	dole, uvnitř
<code>NorthEast</code>	vpravo, nahoře, uvnitř
<code>East</code>	vpravo, uvnitř

Následuje nabídka na eventuální popis svazků textem (třeba číslicí):

```
Insert text = 0 =>
```

Potvrzením nuly (0) žádný text nevystoupí a program pokračuje dále. Vložení textu se však v ploše diagramu objeví nitkový kříž ovládaný myši. Do jeho průsečíku se po umístění do vybraného místa vloží dvojitým poklepem na levé tlačítko myši zadaný text a cyklus zadávání se opakuje pro další SN křivku až do potvrzení nabízené nuly.

Poslední nabídka vystoupí se seznamem koncovek grafických souborů, které se mohou uložit do podadresáře `RecFig` (`records, figures`):

```
save job = {'fig', 'png', 'eps', 'pdf'} =>
```

Pokud uživatel nabídku potvrdí, uloží se do podadresáře `RecFig` protokol a čtyři soubory s nabídnutými koncovkami. V opačném případě může uživatel vložit z klávesnice ve složených závorkách jen vybrané koncovky. Pro zjednodušení zadávání je k dispozici ještě i verze, při níž uživatel ve složených závorkách vloží pořadová čísla koncovek z původního seznamu. Takže povolený zápis volby je např.:

<code>{'fig','eps'}</code>	uložení obrázku jen ve formátu <code>fig</code> a <code>eps</code>
<code>{1,3}</code>	uložení obrázku jen ve formátu <code>fig</code> a <code>eps</code>
<code>{2,4}</code>	uložení obrázku jen ve formátu <code>png</code> a <code>pdf</code>
<code>{}</code>	neukládej žádné obrázky ani protokol

Tím se program ukončí a je připraven ke zpracování další úlohy.

4 Závěr

V předcházejících odstavcích se popisuje příprava dat, funkce a ovládání programu `SN.m` pro zpracování únavových zkoušek a výstup protokolu a diagramů životnostních únavových křivek.

Program, který je přílohou tohoto příspěvku, využívá ještě další funkce, `inp`, `fig`, `deal2`, `separator` a `closejob` z již zmíněné knihovny `File Exchange` [2], která je volně přístupná. Je sestaven velmi obecně, takže v interakci s uživatelem umožňuje zpracovat takřka libovolnou sérii únavových zkoušek do SN křivek. Jeho přednosti jsou:

- možnost zpracování jedné i několika únavových zkoušek do jednoho diagramu,
- možnost zpracování jedné SN křivky z více únavových zkoušek jako vlastnosti svazku při zachování identity zkoušek,
- možnost kladení požadavku na paralelnost SN křivek svazků v logaritmických osách,
- možnost volby intervalů zobrazení výsledků zpracování a tím ovlivňovat jejich dobrou rozlišitelnost.

Program nemá jen samé přednosti. Jeho slabým místem jsou větší nároky na operátora při přípravě dat a zejména pak při jeho ovládání při běhu programu. Příčinou těchto nároků na operátora je schopnost programu řešit značnou šířku zadání. I když je program nazván `SN.m`, takže by mohl vyvolávat dojem, že jím lze zpracovávat pouze úlohy spojené s SN křivkami, je jím možno vyhodnocovat libovolné úlohy, které se zobrazují v logaritmických souřadnicích jako přímkami. Mezi ně patří např. i zobrazování rychlosti šíření únavových trhlin v závislosti na rozkmitu faktoru intenzity napětí aj.

Poděkování

Program vznikl v rámci prací na grantovém projektu GAČR 101/09/0904

Reference

- [1] ČSNI: ČSN 42 0368 - Zkoušky únavy kovů. Statistické vyhodnocování výsledků zkoušek únavy kovů. Český normalizační institut Praha, 1973
- [2] MathWorks: `File Exchange` - knihovna uživatelských funkcí.
<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/>