

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE LIMIT STATE OF
THIN-WALLED GIRDERS "BREATHING" UNDER REPEATED LOAD
EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM MEZNÍHO STAVU TENKOSTĚNNÝCH
NOSNÍKŮ "DÝCHAJÍCÍCH" POD OPAKOVANÝM ZATÍŽENÍM

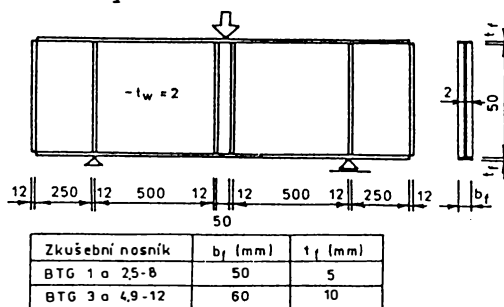
Drdácký M., Škaloud M., Zörnerová M.

The contribution describes the results of the first stage of experiments the objective of which is to study the failure mechanism and limit state of steel plate girders subject to repeated combined shear and bending.

1. Úvod.

Ocelové mostní konstrukce, jeřábové dráhy a podobné konstrukční systémy jsou většinou tenkostěnnými soustavami vystavenými účinkům mnohonásobně opakovaného zatížení. Tenké deskové prvky, z nichž tyto systémy jsou složeny, ztrácejí pod každým zatěžovacím cyklem stabilitu, takže během svého "života" je konstrukce vystavena mnohonásobně opakované ztrátě stability, jež probíhá v interakci s kumulací poškození v nejvíce exponovaných částech. První část zkoumání tohoto jevu je stručně popsána v tomto příspěvku.

2. Zkušební nosníky.



obr. 1

Během první etapy experimentů se má zkoumat 28 nosníků podle obr.1. Dosud bylo vyzkoušeno 14 nosníků.

Rozměry stěn jsou konstantní, kdežto rozměry pásnic jsou dvojí: slabé a silné. Dva druhy pásnic byly zvoleny proto, že jak je známo ze zkoušek nosníků namáhaných statickým smykem při konstantním stíhlostním poměru stěn, je to zvláště rozměr pásnic, který podstatně ovlivňuje chování nosníku při dosažení meze únosnosti. Nosníky byly zhotoveny z oceli řady 37.

3. Uspořádání zkoušky.

Nosníky se zkouší na pulzátoru MTS-250 kN. Frekvence zatěžování je 3 Hz. Zatížení P se mění mezi (i) nulou a (ii) jistou hodnotou $P_{\max}$, která byla zvolena tak, aby byl mezi (α) statickou únosností $P_{\text{ult}}^{\text{exp}}$ (zjištěnou pomocí experimentu na nosníku namáhaném stálým, neopakovaným smykem) a (β) zatížením odpovídajícím počátku povrchového tečení při statické zkoušce. Proto se dalo předpokládat, že stěny zkušebních nosníků budou působit v pružněplastickém oboru, a že při opakovaném zatížení budou tedy vystaveny vlivům nízkocyklické únavy.

Hlavní pozornost se věnovala studiu vzniku a šíření trhlin. U všech experimentů se to provedlo pečlivým vizuálním pozorováním za pomoci lupy.

Počátek plastifikace materiálu stěny nosníků byl zjišťován pomocí měření změn povrchové teploty stěny. Rychlost změny teploty souvisící s rychlostí vývinu tepla v důsledku mechanické práce je popsáno pro isotropní materiál rovnicí

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho c} \left(\frac{dQ}{dt} + K \nabla^2 T \right), \quad (1)$$

kde T je absolutní teplota, t čas, ρ hustota materiálu, c specifické teplo, Q teplo generované v bodě zájmu, K tepelná vodivost a $\nabla^2 = \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial x}$. Při cyklickém zatěžování s dostatečně vysokou frekvencí, (obvykle více než 3 Hz), převládají adiabatické podmínky, tepelný gradient je velmi malý a tudíž

může být v rovnici (1) člen $K \nabla^2 T$ zanedbán.

V daném případě jsou zkušební tělesa v pružno-plastickém stavu a proto se dQ/dt skládá z vratné (termoelastické) a nevratné (termoplastické) složky:

$$\frac{dQ}{dt} = - \frac{1}{3} \alpha T (3\lambda + 2\mu) \dot{E}_{ee} - S_{i\alpha} \left(\frac{\dot{S}_{i\alpha}}{2\mu} - \dot{e}_{i\alpha} \right), \quad (2)$$

kde $(\dot{}) \equiv d/dt$, α je koeficient lineární tepelné roztažnosti, λ, μ Laméovy konstanty, E_{ee} hydrostatické přetvoření, $e_{i\alpha}$ deviatorická složka tenzoru přetvoření, $S_{i\alpha}$ deviatorická složka tenzoru napětí. Při cyklickém zatěžování první člen v rovnici (2) osciluje, druhý je kumulativní a vede ke zvýšení teploty tělesa. Nevratná složka je úměrná energii plastické práce a závisí tudíž na tvaru a velikosti hysterézní smyčky zkoušeného materiálu.

Pro praktické aplikace je si nutno uvědomit, že změny teploty pružnou deformací dosahují řádu 0,001–0,2°K a jsou tudíž velmi obtížně měřitelné. Naopak změny teploty způsobené plastickou deformací i na oceli (tedy materiálu s dobrou vodivostí), dosahují hodnot od desetin po desítky stupňů Kelvina, podle frekvence zatěžování a jsou tudíž měřitelné průmyslovými metodami. V našem případě byly použity dvě metody – detekce změny teploty kapalnými krystaly a měření termovizní kamerou AGEMA. Rozsah článku neumožňuje podrobnější hodnocení, proto se omezíme na konstatování, že metoda kapalných krystalů se ukázala jako nevhodná z důvodu velké citlivosti na teplotu zkušebny a naopak termovizní měření poskytlo možnost dobrého kvalitativního sledování rozvoje plastifikace a vzniku trhlin ve stěnách nosníků.

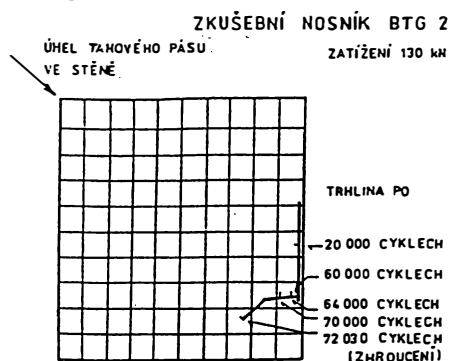
4. Výsledky zkoušek.

Experimenty ukázaly, že šíření trhliny probíhá jedním z těchto čtyř způsobů:

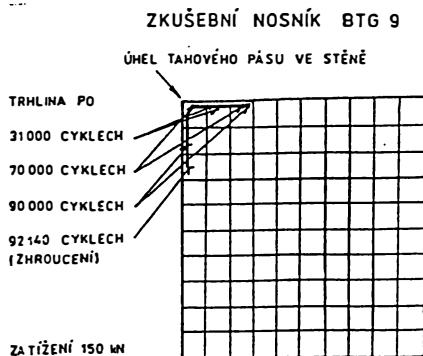
(i) Trhlina vznikne přímo v diagonálním pásu pokritického působení štíhlé stěny a rychle roste, šíříc se ve směru kolmém na diagonální pás.

(ii) Nebo trhlina vznikne poblíž příčné výztuhy stěny, a to v té části, do níž je diagonální pás pokritického působení stěny zakotven a šíří se pomalu podél této výztuhy. Po

několika dalších tisících cyklů se trhлина "otáčí" dovnitř stěny, a to tak, že postupuje více méně kolmo k diagonálnímu pásu ve stěně.



obr. 2a



obr. 2b

(iii) Nebo se trhлина vytvoří v těsné blízkosti krčního svaru spojujícího horní (zatíženou) pásnici s plechem stěny, potom se šíří (nejprve v obou směrech) podél krčního svaru, a to tak dlouho, až na jedné straně dosáhne rohu stěny. Tam se otáčí dolů a pokračuje v růstu podél svislého krčního svaru spojujícího plech stěny s příčnou výztuhou, a to tak, že roh "dýchající" stěny se odtrhne od obvodového rámu (tj. horní pásnice a vnější výztuhy) nosníku.

(iv) V některých případech jev (iii) probíhá v interakci s jevem (ii), tj. s trhlinou postupující (s jistým zpožděním) vzhledem k první trhlině) podél příčné výztuhy.

Hlavním faktorem dosažení mezního stavu únosnosti "dýchajícího" tenkostěnného nosníku namáhaného kombinací smyku a ohybu je přetržení diagonálního tahového pásu pokritického působení stěny postupně narůstající trhlinou, ať již k tomu přetržení dojde uvnitř plechu stěny a nebo (ve velké většině případů) v tom jejím rohu, kde plech stěny je připojen k obvodovému rámu nosníku a zároveň slouží jako zakotvení diagonálního tahového pásu pokritického působení stěny.

Ing. Miloš Drdáký, CSc., Prof. Ing. Miroslav Škaloud, DrSc.

Ing. Marie Zörnerová, CSc.

ÚTAM AVČR, Vyšehradská 49, 128 49 Praha 2

Telefon: 29 64 51 / Fax: 29 59 03