

OPTIMALIZACE METODIKY TAHOVÉ ZKOUŠKY

METHODOLOGY OPTIMIZATION OF TENSILE TEST

Karel VÍTEK¹

Abstrakt

Výsledky tahové zkoušky mohou mít velký rozptyl měřených dat a tento experiment užívaný k identifikaci elastických konstant materiálů je poměrně drahý (vyrobit vzorky a osadit je tenzometry). Numerické simulace ideálně taženého vzorku MKP ukazují na velký rozdíl v rozdělení deformací při tažení normalizovaného tahového vzorku způsobený tvarem vzorku. Navíc při zkoušce dochází k nesymetrii uložení vzorku v čelistech trhacího stroje i dalším nepřesnostem porušujícím předpoklady ideálního tahu měřeného průřezu vzorku. Uvedená metodika zpřesňuje vyhodnocení tahové zkoušky jednak modelem kombinovaného namáhání, který je dále modifikován pro vzorky využívající usměrňovací vrub, sloužící k iniciaci porušení vzorku v místě instalovaných měřících prvků, což zvyšuje efektivitu fyzikálních experimentů.

Klíčová slova: tahová zkouška, numerická simulace, metoda konečných prvků.

Abstract

Higher number of tests and test specimen may sometimes bring not higher accuracy but on the contrary some uncertainties. Computational approach to structural or limit state assessment needs better knowledge of material qualities as one of the basic inputs. The methodology of determining the construction materials' elastic constants is based on the mechanical tests, being mostly tensile tests, of partially loaded specimens (macro-specimens). The elastic constants obtained are applied mainly when a computer-aided modeling structure is used which considerably advanced due to computer techniques development in the last years (to obtain a deeper understanding of occurring phenomena, it is necessary to find out the σ - ϵ distribution as far as to the ultimate strength of specimens taken from various structure localities, instead of the simple knowledge of Young's modulus of elasticity and Poisson's ratio). Therefore it is necessary to define more precisely the inputs introduced into the modeling processes, in order to utilize properly the expensive computational analytic-synthetic technologies. In this case, it is demonstrated how to correct results from special specimens by means of notch correction of measured strains. These corrections are based on calculation which uses finite element method.

Keywords: tensile test, numerical simulation, finite element method.

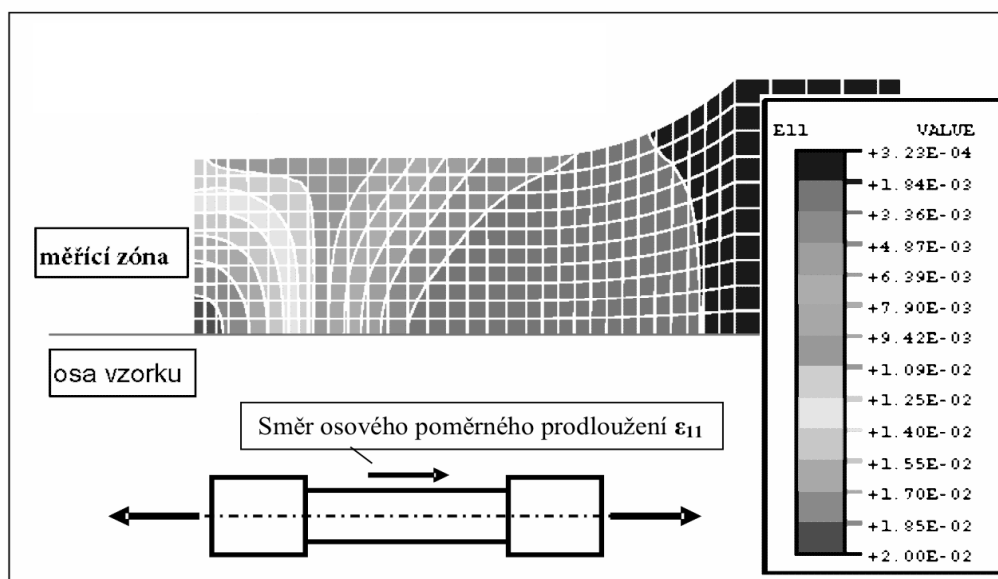
ÚVOD

Tahová zkouška slouží k určení elastických konstant materiálů. Výsledky mohou mít velký rozptyl měřených dat a také samotný test je pro tento účel poměrně drahý experiment, neboť je nutno vyrobit vzorky normovaného tvaru a osadit měřený průřez tenzometrickými snímači. Numerická simulace ideálně taženého vzorku z obr.1 ukazuje na velký rozdíl v rozdělení osového poměrného prodloužení na měřeném obdélníkovém průřezu tahového vzorku způsobený normovaným tvarem vzorku. Při zkoušce dochází také k nesymetrii uložení vzorku v čelistech

¹ Ing. Karel VÍTEK, CSc., ÚMBaM, FSj ČVUT v Praze, Karel.Vitek@fs.cvut.cz

Lektoroval: prof. Ing. František ŠIMČÁK, CSc., KAMaM, SJF TU v Košiciach, frantisek.simcak@tuke.sk

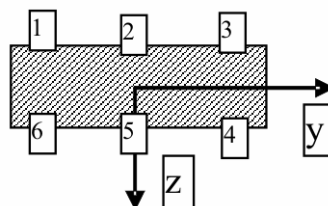
trhacího stroje a podobně i k dalším sekundárním nepřesnostem porušujícím předpoklady ideálního tahu měřeného průřezu vzorku.



Obr.1 Numerická simulace tahové zkoušky

MODEL KOMBINOVANÉHO NAMÁHÁNÍ V TAHOVÉ ZKOUŠCE

Tahovou zkoušku optimalizujeme rozšířením metodiky vyhodnocení, kdy je považována tahová zkouška za kombinaci ohybu a tahu. Nad měřeným průřezem vzorku osazeným několika tenzometry - podle čísel ve schématu na obr.2 - je pro měřené veličiny (například osová poměrná prodloužení) formulována regresní plocha.



Obr.2 Měřený průřez osazený tenzometry

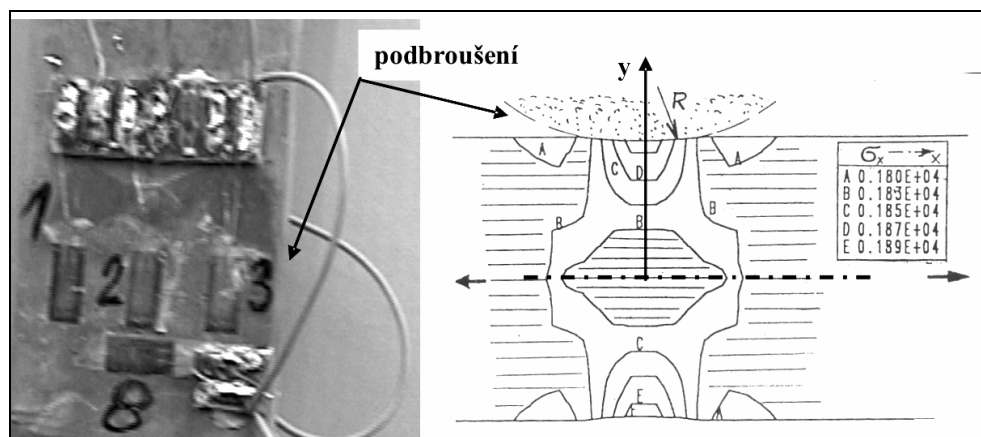
Pak lze vyjádřit pro Hookeovský materiál z regresní roviny měření osového poměrného prodloužení $\varepsilon(y,z)$ osové napětí vzorku $\sigma(y,z)$ způsobené kombinací ohybu a tahu dle rovnice (1). U obdélníkového průřezu z obr.2 uvažujeme kromě tahu danou silou F namáhání silovými dvojicemi M_y, M_z ve směru os y, z . Obě osy y, z průřezu A jsou zde hlavní centrální, J_y, J_z jsou hlavní osové kvadratické momenty průřezu. Ze tří bodů regresní roviny měření určené rovnicí (1) určíme tři neznámé - modul pružnosti materiálu E a oba momenty M_y, M_z ve směru os y, z

$$\sigma(y,z) = \frac{F}{A} - \frac{M_y}{J} \cdot z + \frac{M_z}{J_z} \cdot y = \varepsilon(y,z) \cdot E. \quad (1)$$

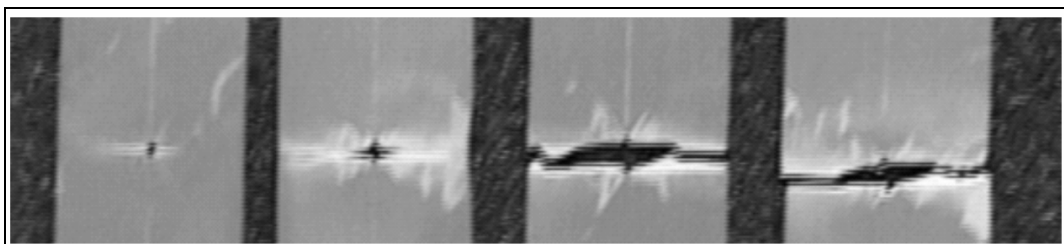
Obě osy y, z průřezu A jsou zde hlavní centrální J_y, J_z . Ze tří bodů regresní roviny měření určené rovnicí (1) určíme tři neznámé - modul pružnosti materiálu E a oba momenty M_y, M_z .

ZEFEKTIVNĚNÍ TAHOVÉ ZKOUŠKY ŘÍDÍCÍM DEFEKTEM

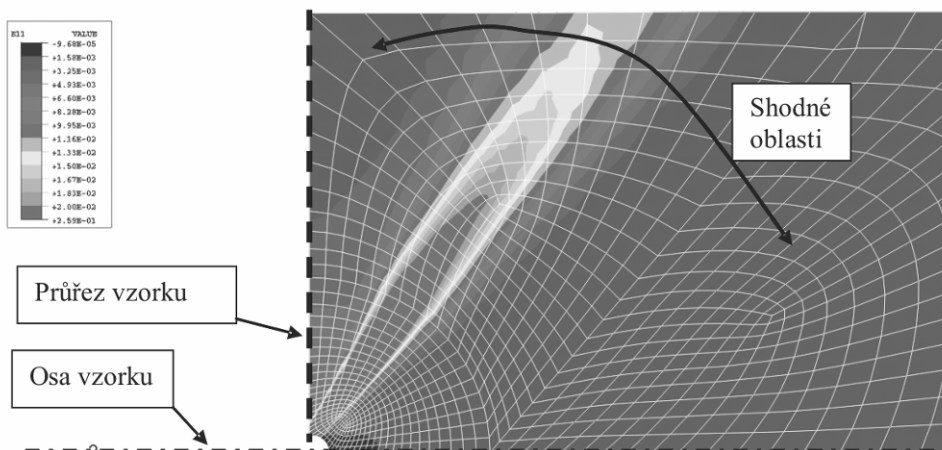
Experimentální měření deformací při tahové zkoušce nebývají dostatečně efektivní, neboť se testované vzorky porušují náhodně. Je problém zachytit měřicími prvky umístěnými v měřeném průřezu zvláště jevy, ke kterým dochází v místě porušení vzorku, neboť předem nevíme, kde se místo porušení na vzorku nachází. Metoda jemného podbroušení měřicího průřezu [1] nepatrně zmenšuje měřený průřez vzorku a tím v něm zvětšuje pravděpodobnost porušení vzorku. Na obr.3 je numerickou simulací tahové zkoušky doloženo, že střední oblast vzorku (označená číslem 8 v ose vzorku) má shodné osově napětí s oblastí vzorku neporušenou podbrušováním, a proto ji lze osadit měřicími prvky. V tomto oslabeném průřezu pak i natahovaný vzorek velmi pravděpodobně praskne. Stanovili jsme experimentálně [2] optimální průměr středové díry jako 3% ze šířky obdélníkového průřezu. Při vyhodnocení měření jsou poměrná prodloužení měřená tenzometry na průřezu vzorku modifikována kompenzační funkcí (odpovídající součiniteli koncentrace deformace zohledňujícímu vliv vrubu), která je stanovena vzhledem k poloze tenzometrů na průřezu (souřadnice y v obr.3) numerickou simulací - metodou konečných prvků tahového vzorku s vrubem - této tahové zkoušky. Průběh osových poměrných prodloužení na vzorku z numerické simulace z obr.5 ukazuje na shodné oblasti v krajích průřezu - výhodné pro umístění tenzometrů, jejichž signál bude až do vysokého stupně napětí vzorku totožný se signálem tenzometrů ve vrubem neporušeném průřezu - navíc měřený vzorek se zde zároveň též poruší.



Obr.3 Podbrušení boků tahového vzorku



Obr.4 Řídící defekt ve tvaru malé středové díry na tahovém vzorku



Obr.5 osové poměrné prodloužení v okolí usměrňovacího defektu tahového vzorku

Teorii kombinovaného namáhání z rovnice (1) zde rozšiřujeme o součinitele koncentrace osového normálového napětí od tahu α_F a od obou rovinných ohybů α_{M_y} , α_{M_z} získané užitím numerické simulace tahové zkoušky vzorku s vrubem a podobně vyjádříme osové napětí v místě tenzometrů

$$\alpha_F \cdot \frac{F}{A} + \alpha_{M_z} \cdot \frac{M_z}{J_z} - \alpha_{M_y} \cdot \frac{M_y}{J_y} = E \cdot \varepsilon = \sigma(z, y) . \quad (2)$$

ZÁVĚR

Podstata vyhodnocení matematického modelu (2) zůstává analogická se vztahem (1) a je vhodné optimalizovat počet měřicích míst v exponovaném průřezu podle nároků užitého regresního modelu rozložení poměrné deformace nad tímto průřezem. Měřicí prvky zmapují s velkou pravděpodobností a tedy velmi efektivně chování materiálu v porušeném místě vzorku.

Tento výzkum podporuje Výzkumné centrum spalovacích motorů a automobilů Josefa Božka II, 1M6840770002 MSMT.

LITERATURA

- [1] VÍTEK, K.: *Optimalizace tvaru tyčí pro tahovou zkoušku*, In: Experimentální analýza napětí. Praha: AV ČR, Ústav teoretické a aplikované mechaniky, 1993, s. 319-320.
- [2] VÍTEK, K., HOLÝ, S., ŠTĚRBA, P.: *Identification of the Tensile Material Test Using the Notched Specimen*, In: 17th Danubia Adria Symposium - Extended Summaries. Prague: CTU, Department of Mechanics, 2000, s. 339-341. ISBN 80-01-02234-X.