

Josef Beneš, Helena Šebková
Ústav termomechaniky ČSAV, Praha

KOMPLEXNÍ EXPERIMENTÁLNĚ-TEORETICKÝ ZPŮSOB ŘEŠENÍ NESTACIONÁRNÍ DYNAMICKÉ NAPJATOSTI

Snaha o vytvoření tohoto postupu vychází z potřeby prakticky použitelného řešení problematiky nestacionární napjatosti systému dvourozměrných útvarů modelujících problémy inženýrské praxe. Jednotlivé výpočetní i experimentální postupy jsou dnes vyvinuty do té míry, že umožňují určit řadu veličin popisujících rázové problémy. Žádný z postupů však nemůže být jednoznačně preferován. Lze však volit takovou kombinaci, které umožní efektivní úplné řešení širší třídy úloh i s potřebnými ověřovacími kontrolami. Takováto kombinace nebude tedy absolutně nejvýhodnější, ale bude vytvořena na základě vybavení pracoviště vhodnými výpočetními systémy i vhodnou experimentální technikou.

Popíšeme postup, který vychází především z dynamické fotoelasticimetrie a z metody sítí. Principiálně můžeme celou metodiku rozdělit do těchto dílčích úloh:

1) Určení mechanických vlastností modelových materiálů; ρ - hustota, μ - Poissonovo číslo ze statického měření, E-modul pružnosti z rychlosti šíření charakteristické vlny.

2) Experimentální zjištění okrajových podmínek; měření časových průběhů zatěžujících sil a sil v podporách.

3) Záznam isochromat v celé ploše modelu pro různé časy a změření časových průběhů dvojlohu v jeho určitých bodech.

4) Výpočty rozložení napjatosti v celé zkoumané oblasti pro různé časy; časové průběhy napěťových veličin v určitých bodech tělesa.

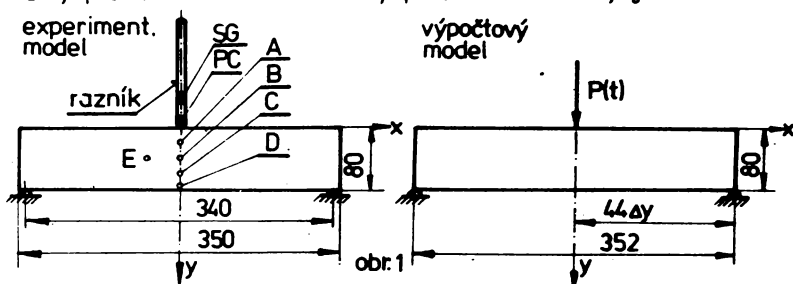
5) Stanovení optické konstanty.

6) Kontrolní vykreslení isochromat z vypočtených hod-

not napětí. Určení oblastí dostatečné shody a posouzení zajímavosti oblastí s rozdíly mezi vypočtenými a změřenými isochromatami.

7) Případné doměření potřebných veličin v oblastech nezvládnutelných výpočty např. separace metodou šikmého prosvícení, tensometrická měření prodloužení apod.

Ověření celého postupu jsme uskutečnili na řešení úlohy příčného rázu na stěnový pás. Schema úlohy je na obr.1.



Popíšeme nyní podrobněji některé dílčí problémy a uvedeme výsledky konkrétního řešení.

ad 1)

Měření některé z charakteristických rychlostí je možné uskutečnit buď na speciálních vzorcích anebo přímo na zkušebním tělese. Měření na speciálních vzorcích je možné provést přesněji. Při naší snaze zavést kvazielastické konstanty pro chování zkoumaného modelu však přenos na jiný typ namáhání může být určitým zdrojem chyby, proto jsme se rozhodli pro měření rychlostí přímo na zkoušeném tělese. Vycházíme z předpokladu, že rychlost šíření čela obecného pulsu v tenké desce, ze které je model zhotoven, je rovna rychlosti šíření dilatační vlny v dvourozměrném kontinuu.

ad 2)

Vyšetřujeme-li napjatost soustavy těles, snažíme se vzájemné účinky mezi jednotlivými tělesy měřit. Výpočet těchto vzájemných účinků by byl složitý a asi také značně nepřesný. V případě, že zatěžování uskutečňujeme razníkem tvoře-

ným tenkou tyčkou, je měření působících sil snadné. Půjde-li o stanovení sil v kontaktu mezi složitějšími tělesy jako je např. kyvadlo Charpyho kladiva a vzorek pro trojbodový ohyb, musíme na některém z těles (v tomto případě na kyvadle kladiva) nalézt tzv. dynamometrické místo, tj. místo, kde signál z uloženého čidla je tvarově podobný a lineárně závislý na síle působící ve zkoumaném kontaktu. Tento signál pak využíváme pro stanovení příslušných kontaktních sil.

Známe-li síly působící mezi tělesy, zůstává ještě otázkou problém kontaktu, tj. rozložení síly po určité části povrchu. Je opět zřejmé, že modelování skutečných poměrů by bylo obtížné. Předpokládáme proto, že pro napjatost v tělese bude v podstatě rozhodující průběh vnášené práce; vlastní rozložení sil v kontaktu ovlivní jen jeho malé bezprostřední okolí. Pro ověření tohoto předpokladu jsme připravili jednak metodiku zjišťování průběhu vykonané práce zatěžovacího razníku, jednak jsme uskutečnili testovací výpočty pro různá rozložení zadané síly.

Předpokládali jsme tři rozložení zatěžovací síly; v jednom bodě sítě uprostřed ($IK=1$), přes 3 body sítě ($IK=3$) a přes 11 bodů ($IK=11$); celkový počet uzlů na horní hraně je 89.

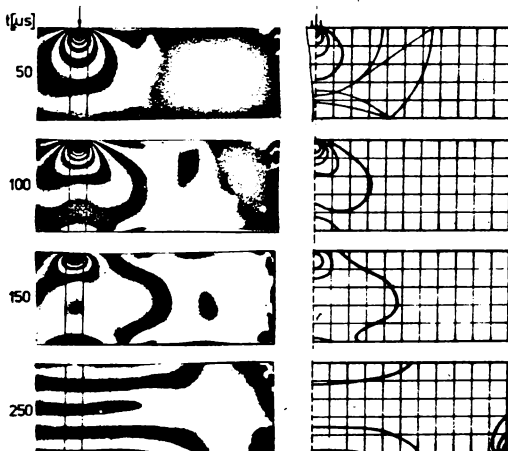
ad 3)

Experimentálně pořídíme záznam isochromat z celé plochy modelu v určitých časech. Tyto záznamy pořídíme pomocí aparatury pro synchronisovanou fotografii u dějů, které je možné dobře opakovat anebo u dějů, kdy dochází k trvalým změnám v modelu (např. šíření trhlin) pomocí složitějších kinematografických zařízení jako jsou např. zrcátkové kamery, Cranz-Schardinova kamera či různá moderní elektrooptická záznamová zařízení. Ze serie snímků (ukázka viz levá část obr.2) si můžeme vytvořit rychlou představu o celém nestacionárním procesu, tj. můžeme nalézt místa a dobu maximálních koncentrací napětí, doby trvání zatížení, podporových reakcí i celkovou dobu děje. Přesnější měření dvojlohu

v zajímavých místech provedeme fotoelektricky - získáme tedy časové průběhy dvojlomu v určitém místě modelu.

ad 4)

Pro experimentálně zjištěné okrajové podmínky vypočteme závislost napětí na čase v prostorových souřadnicích. Z těchto hodnot můžeme vyhodnotit rozdíly hlavních napětí jak v celé ploše modelu pro určitý čas tak i závislost těchto rozdílů na čase v určitém bodě modelu.



obr.2

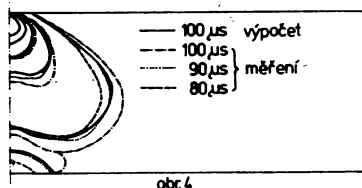
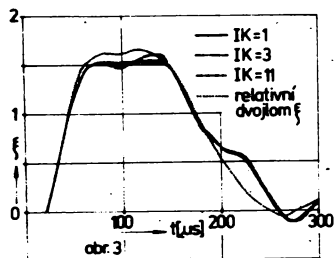
ad 5)

Srovnáním výsledků experimentů uvedených v bodě 3 s výsledků výpočtů uvedených pod bodem 4 zjistíme optickou citlivost použitého materiálu. Můžeme volit různá přiřazení a různá kriteria shody. Při naší úloze jsme volili jedno z jednoduchých a to srovnání příslušných časových průběhů (rozdíly hlavních napětí a relativní dvojlom) v jednom bodě desky - ve středním bodě. Z průběhu rozdílů hlavních napětí ve středním bodě (pro různé IK) byly přepočteny hodnoty relativního dvojlomu pro optickou citlivost K_{IK} takovou, aby součet odchylek mezi hodnotami přepočtenými a hodnotami zjištěnými experimentem v intervalu $t=20$ až

300 μs pro $t=10 \mu\text{s}$ byl nulový. Výsledky srovnání jsou v obr.3. Max. odchylka dosahuje hodnot asi 15% max. amplitudy. ad 6)

Z optické citlivosti zjištěné způsobem výše popsaným byly vykresleny vypočtené isochromaty a srovnány s isochromatami zjištěnými experimentem.

V obr.4 jsou uvedené isochromaty vypočtené pro čas $t=100 \mu\text{s}$ a překreslené isochromaty pro časy $t=80, 90, 100 \mu\text{s}$. Je patrné, že souhlas mezi vypočtenými křivkami pro $t=100 \mu\text{s}$ a změřenými pro $t=90 \mu\text{s}$ leží prakticky v mezích překreslovacích chyb. Rozdíl může být způsoben jak nepřesným určením času při získávání záznamu synchronizovanou fotografií tak rozdílným průběhem vnášené práce popisovaným v předchozích odstavcích. Větší nesouhlas lze pozorovat v bezprostřední blízkosti místa rázu, kde však napjatost musí mít v době silového působení razníku výrazně prostorový charakter a bylo by ji třeba vyšetřovat jinými postupy.



ad 7)

V oblastech, ve kterých se projeví větší nesouhlas mezi výpočty a experimentem, je potřeba provést rozbor příčin nesouhlasu a podle jeho výsledků volit případně další doplňkovou metodu pro zjištění dalších veličin, potřebných k úplnému vyřešení dynamické napjatosti.

Závěrem můžeme říci, že byla navržena a ověřena koncepce praktické kombinované experimentálně-teoretické metodiky, umožňující řešit s dobrou inženýrskou přesností řadu praktických problémů, modelovatelných systémem dvojrozměrných útvarů.