

UŽITÍ MĚTOUD MOIRÉ PŘI VÝZKUMU
STĚNOVÝCH PRVKŮ

Miloš Ordácký

Referát se zabývá metodami moiré, užívanými při měření křivostí nebo průhybu (tvaru) štíhlých stěn. Je uvedena i aplikace pro řešení funkce napětí v úloze rovinné deformace využitím deskové analogie.

1. Úvod

Jev mechanické interference, nazývaný "moiré", vzniká složením dvou geometrických periodických objektů. Superpozicí dvou systémů čar, t.zv. rastrů nebo mřížek, se objeví dva systémy pruhů moiré. Jevu moiré lze výhodně použít k určení dvourozměrných či trojrozměrných deformací těles ve velké ploše modelu nebo díla.

Při vyšetřování posuvů v rovině nebo v ploše povrchu télesa je třeba zhotovit mřížku přímo na zkoumaném povrchu. Složením této mřížky s mřížkou deformovanou zatížením modelu získáme obrazec moiré, z něhož lze určit posunutí a jejich derivace. Tento postup byl efektivně rozvinut na řadě experimentálních pracovišť a umožňuje při využití principu holografické interferometrie zjišťovat i malé složky přemístění kolmé k rovině rastru /1, /2/. Zabývejme se však metodami moiré užívanými při určování křivostí nebo průhybů tenkých boulových stěn. Jedná se metody, které nevyžadují nanesení rastru na model, ale také neposkytují informaci o přemístěních v rovině modelu.

2. Měření křivostí

Klasickým přístupem k řešení tohoto problému je metoda Ligtenbergova /3/, pro kterou je na obr. 1 znázorněno uspořádání experimentu. Osvětlený rastř navzájem rovnoběžných přímk je nanesen na válcové ploše tak, že přímkы jsou rovnoběžné s osou válce. Rastř se zrcadlí na lesklém povrchu modelu a jeho obraz pozorujeme obvykle otvorem uprostřed refrakčního rastru na matnici fotoaparátu. Zatížením modelu se změní tvar odrázející zrcadlové plochy, který vede k jiné deformaci obrazu rastru. Superpozicí těchto dvou obrazů se vytvoří pruhy moiré. Složení lze vhodně provést dvojí expozicí, tj. záznamem obou obrazů na tentýž negativ. Získané pruhy moiré určují

místa stejných úhlů pootočení povrchu modelu v rovině kolmě k linkové soustavě rastru.

Uvedenou metodu lze někdy použít i pro vyšetření napjatosti stěn při rovinných úlohách. V takovém případě převedeme problém využitím deskové analogie, která se zakládá na podobnosti mezi rovniciemi pro Airyho funkci a rovniciemi pro ohyb tenké desky, na problém vyšetření křivosti nezatížené desky-membrány, splňující okrajové podmínky uložení analogické průběhu Airyho funkce na obvodě stěny /5/. V citované práci byla zkoumána napjatost kruhového disku zatíženého dvěma opačnými diametrálně umístěnými silami. Pro tenkou desku bylo nutno zajistit velikosti průhybů na okraji rovné $w_c = 0,5\text{Pa}(1-\cos)$, obr. 2. Na obrázku jsou naznačeny i výsledné obrazce moiré pro dvě vzájemně kolmě orientace rastru. Z naměřených sklonů lze diferenciace získat křivosti desky.

Ligtenbergova metoda byla modifikována řadou badatelů i pro přímé měření křivostí, např./6/,/7/,/8/. Řešení podle /8/, schematicky vyznačené na obr.3, odstraňuje navíc nutnost dvojí expozice a je tedy použitelné pro přímé pozorování nebo záznam dynamických jevů. V tomto případě se na lesklém povrchu modelu zrcadlí přes polopropustné zrcadlo H průsvitný rastr osvětlený zdrojem rozptýleného světla D. Paprsek dopadající do kamery je dělen soustavou polopropustných zrcadel H_1, H_2 a dvou normálních zrcadel M_1, M_2 . Je-li vzdálenost mezi zrcadly shodná a úhly mezi všemi zrcadly a optickou osou soustavy 45° , pozorujeme v kameře superpozici dvou shodných obrazů rastru bez vzniku moiré. Při posunu jednoho nebo více zrcadel v rovině x-z, či při pootočení okolo osy y, vznikne jev moiré, který přináší informaci o křivosti modelu superpozicí dvou identických, ale vzájemně posunutých obrazů rastru. Vzniklé moiré vyznačuje "vrstevnice" křivostí. Vzhledem k obtížím při adjustaci čtyř zrcadel H_1, H_2, M_1, M_2 a ke ztrátám světla na polopropustných zrcadlech je vhodné nahradit tento dělič např. Wollastonovým hranolem.

3. Měření průhybů

Při měření průhybů boulících stěn se snažíme získat obraz vrstevnic, tj. čar stejných průhybů vzhledem ke vztahné rovině. Z metod moiré jsou nejsnadnější dva postupy - t.z.v. projekční moiré a stínové moiré.

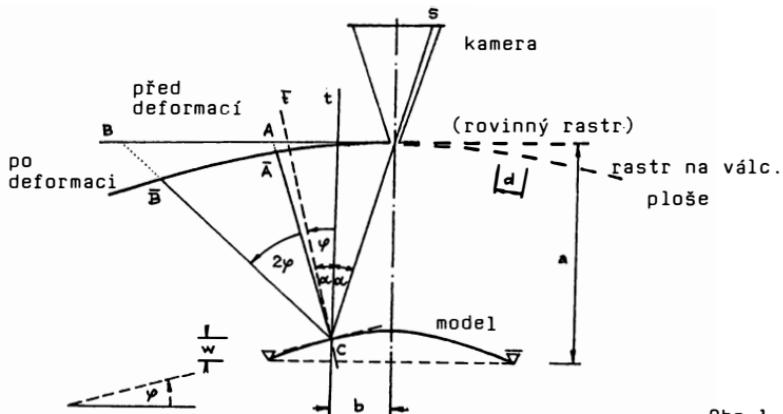
Při projekčním moiré se vizualizují vrstevnice "in situ" pro-

mítnutím dvou soustav zkřížených rastrů na povrch modelu. Tato metoda je vhodná pro vyšetřování ploch jednoduché křivosti, ale umožňuje provádět měření i na rozměrných tělesech, např./9/.

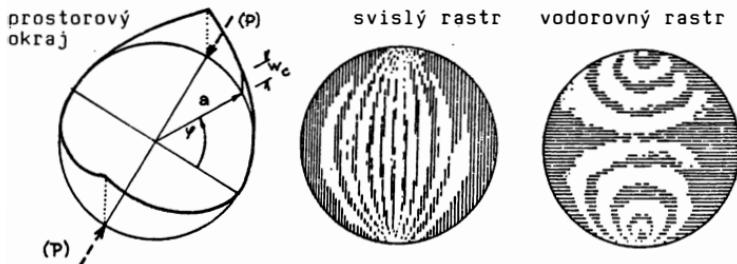
Stínové moiré se požívá častěji a při výzkumu tenkých stěn byla tato metoda použita jak pro modelová měření /10/, tak pro měření na stěnách kovových nosníků /11/. Princip metody byl nedávno přednášen na několika konferencích EAN, např./10/, proto pouze poznamenejme, že efekt moiré vzniká v tomto případě interferencí mřížky umístěné před modelem se stínem této mřížky na matném povrchu modelu. Vzniklé pruhy moiré odpovídají místům povrchu stejně odlehlym od roviny rastrov.

4. Literatura

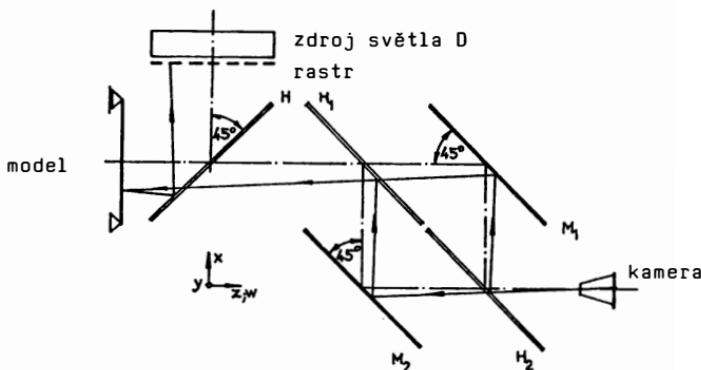
- /1/ Post,D.: High Sensitivity Displacement Measurements by Moiré Interferometry, Sborník 20.konf.EAN,III.díl, str.103-114,1982.
- /2/ Basehore,M.L.,Post,D.: Moiré Method for In-plane and Out-of-plane Displacement Measurements, Exp.mech.,Sept.1981.
- /3/ Ligtenberg,F.K.: The Moiré Method - A New Experimental Method for Determination of Moments in Small Slab Models, Proc.SESA, 12(2),1955.
- /4/ Šlechta,J.: Experimentální ověřování staveb, SNTL Praha, 1967.
- /5/ Drdácký,M.: Vyšetření a experimentální ověření napjatosti ve válci posuvného ložiska, Diplomní práce FSv ČVUT, 1968.
- /6/ Riedér,G.,Ritter,R.: Krümmungsmessung an belasteten Platten nach dem Ligtenbergschen Moiré-Verfahren, Forsch.Ing.-Wes., 32(2), s.33-44, 1965.
- /7/ Heise,U.: A Moiré-Method for Measuring Plate Curvature, Exp. mech., Jan.1967.
- /8/ Ritter,R.,Schettler-Koehler,R.: Curvature Measurement by Moiré Effect, Exp.mech.,June 1983.
- /9/ Wasowski,J.J.: Badanie ugięcia płyt metodą mory, Mech.Teor. i Stosowana, 4(16), 1978.
- /10/ Kratěnová,M.,Kratěna,J.: Použití metody stínového moiré při řešení stabilitních problémů tenkostenných nosníků, Sborník 20.konf.EAN, III.díl, str.51-56, 1982.
- /11/ Drdácký,M.,Weinberg,O.: Vliv štíhlosti na chování tenkých stěn zatížených soustředěným zatížením, (v tisku).



Obr. 1



Obr. 2



Obr.