VLIV NESOUHLASU STŘEDNÍ A KLIDOVÉ POLOHY V HOLOGRAFICKÉ METODĚ PŘÍDAVNÉHO STATICKÉHO OSVITU

Ing. Karel Antropius, CSc, Stavební fakulta ČVUT, Praha.

Byla odvozena zobecněná intenzitní funkce /rovnice (5)/ zahrnující i případy, kdy při záznamu hologramů metodou přídavného statického osvitu střední poloha kmitání a klidová poloha povrchu nejsou shodné. Z rozboru vyplývá, že vliv nesouhlasu obou těchto poloh je periodickou funkcí hodnoty jejich rozdílu a že tento rozdíl ovlivňuje jak kontrast tak i umístění interferenčních pruhů v interferogramu.

1. Úvod

Je-li během osvitu hologramu fáze referenční vlny konstantní a fáze předmětové vlny $\varphi(t)$ obecně časově proměnná, pak při rekonstrukci světelná vlna vytvářející obraz předmětu je

$$W_\Sigma = W_S \cdot \frac{1}{\tau}\int_0^\tau \exp\left\{i[\varphi(t) - \varphi(0)]\right\} dt \qquad (1)$$

kde τ je celková doba osvitu a W_S je světelná vlna, která by byla rekonstruována z hologramu stacionárního předmětu. Intenzity světelných vln je možno vyjádřit jako $I_\Sigma = W_\Sigma^* \cdot W_\Sigma$, $I_S = W_S^* \cdot W_S$, kde $*$ je symbol pro výraz komplexně sdružený. Funkce M ve vztahu

$$I_\Sigma = I_S \cdot M \qquad (2)$$

se nazývá intenzitní funkce. Z jejího průběhu je možno určit vlastnosti interferenčních proužků v obraze předmětu. Z rovnice (1) je možno odvodit intenzitní funkci pro jakoukoliv časovou změnu předmětu během osvitu, tedy např. i pro změnu skokem v tzv. metodě dvojnásobného osvitu. Je-li změna předmětu během jediného osvitu plynulá, jde o záznam tzv. metodou kontinuálního osvitu (=time-average) . Je známo, že v případě harmonického kmitání je intenzitní funkce

$$M_O = J_O^2(\Phi) \qquad (3)$$

kde J_O je Besselova funkce řádu nula a Φ je amplituda fázového rozdílu předmětové vlny. Z průběhu funkce J_O^2 vyplývá závažný nedostatek interferogramů, kterým je nízký kontrast intenferenčních pruhů omezující rozsah měřitelných amplitud kmitání jen asi do 3 μm.

. Metoda přídavného statického osvitu

V r. 1980 autor publikoval /1-2/ tzv. metodu přídavného statického osvitu, která výše uvedený nedostatek odstraňuje a jejímž principem je to, že po záznamu kmitajícího předmětu je na tentýž hologram proveden ještě přídavný záznam tohoto předmětu v klidu. Intenzitní funkce má tvar

$$M_1 = [S + (1 - S)J_o(\Phi)]^2 \qquad (4)$$

kde S je poměr osvitu předmětu v klidu a celkového osvitu. Z průběhu této funkce /1/ je zřejmé, že pro $0{,}15 \leq S \leq 0{,}25$ je ve srovnání s metodou kontinuálního osvitu vzdálenost interferenčních pruhů dvojnásobná a jejich kontrast je podstatně vyšší. Oba tyto faktory natolik zvyšují rozlišitelnost pruhů, že rozsah měřitelné amplitudy kmitání se zvýší asi desetkrát.

Vztah (4) i uvedené vlastnosti pruhů platí jen za podmínky, že klidová poloha povrchu je shodná se střední polohou kmitajícího povrchu. Při praktických aplikacích této metody /3/ je však někdy možno pozorovat, že průběh intenzity světla v obrazci neodpovídá odvozené intenzitní funkci M_1. Příčinou těchto odchylek je zřejmě nedodržení přesné shody střední a klidové polohy, a proto byl vliv nesouhlasu obou poloh na interferenční obrazec podrobněji studován.

3. Intenzitní funkce při nesouhlasu střední a klidové polohy

Uvažujme, že po dobu $(1-S)\tau$ předmět harmonicky kmitá, ale po zbytek osvitu, tj. po dobu $S\tau$ je v klidu tak, že rozdíl mezi střední polohou kmitání a klidovou polohou odpovídá přírůstku δ fáze předmětové vlny. Fázový rozdíl v rovnici (1) lze zapsat ve tvaru

$$\varphi(t) - \varphi(0) = \begin{cases} \delta & \text{pro} \quad 0 \leq t \leq S\tau \\ \Phi \sin \Omega t & \text{pro} \quad S\tau < t \leq \tau \end{cases}$$

Provedením integrace naznačené v rovnici (1) a dalšími úpravami lze odvodit zobecněnou intenzitní funkci ve tvaru

$$\boxed{M_2 = [S + (1 - S)J_o(\Phi)]^2 - 4S(1 - S)J_o(\Phi) \sin^2\frac{\delta}{2}} \qquad (5)$$

První člen této funkce je shodný s M_1, takže lze psát

$$M_2 = M_1 - 4S(1 - S)J_o(\Phi) \sin^2\frac{\delta}{2} \qquad (6)$$

4. Vlastnosti interferenčního obrazce vyplývajícího z funkce M_2

Je zřejmé, že změna vzniklá nesouhlasem střední a klidové polohy je periodickou funkcí δ s periodou 2π. Z rozboru vyplývá:

a/ Je-li $\delta = k.2\pi$, kde k je číslo celé, nesouhlas obou poloh se v interferenčním obrazci nijak neprojeví.

b/ Je-li $\delta = \pi + k.2\pi$, má intenzitní funkce tvar

$$M_2(\pi) = [S - (1 - S)J_o(\Phi)]^2 \qquad (7)$$

Tato funkce se od M_1 liší tím, že jejich maxima a minima jsou zaměněna, takže tmavé interferenční pruhy jsou na místě světlých a obráceně. Kontrast pruhů zůstane nezměněn:

c/ Je-li $\delta = \pm \frac{\pi}{2} + k.2\pi$, má intenzitní funkce tvar

$$M_2(\pi/2) = S^2 + (1 - S)^2 J_o^2(\Phi) \qquad (8)$$

Tato funkce dosahuje lokálních maxim i minim pro stejné hodnoty Φ jako funkce J_o^2, světlé i tmavé interferenční pruhy se proto objeví na stejných místech jako při použití metody kontinuálního osvitu, kontrast pruhů je však ještě mnohem nižší, takže jejich vzdálenost je minimální.

Průběh intenzitních funkcí M_o, M_1 a funkce M_2 pro parametry $\delta = \pi/4$, $\pi/2$, $3\pi/4$, π, a $S = 0{,}20$, je uveden na připojeném obrázku.

5. Závěr

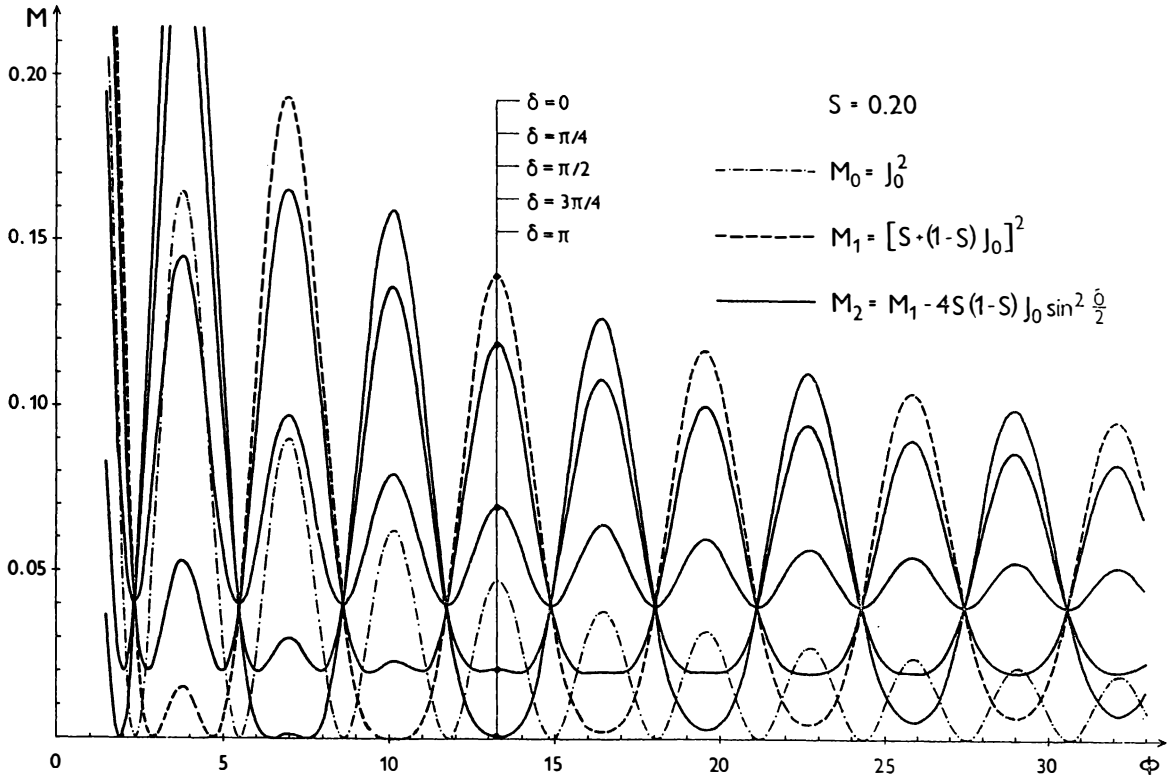
Pozorované odchylky intenzity světla v interferenčním obrazci od intenzitní funkce M_1 mohou být kvalitativně vysvětleny jako důsledek nedodržení přesné shody střední a klidové polohy povrchu předmětu. Experimentální kvantitativní ověření je v současné době prováděno v autorově laboratoři.

Literatura

/1/ Antropius K., Paslerová A.: Zvýšení kontrastu pruhů v holografické interferometrii kmitajících povrchů. Sborník 18. čs. konf. EAN, B. Bystrica 1980, 145-154.

/2/ Antropius K., Paslerová A.: A Method of Additional Static Exposure in Holographic Analysis of Higher Amplitude Vibrations. 3.Frühjahrsschule Exp.Meth.der Festkörper Mechanik, Report R-07, AdW der DDR, Berlin 1980, 98-103.

/3/ Antropius K., Paslerová A.: Holographic Mode Shape Investigation of Aircraft Engine Impellers. Proc. IUTAM Symp. Liblice, Springer-Verlag 1985, 35-41.


M
0.20
0.15
0.10
0.05
0
5
10
15
20
25
30
Φ
δ = 0
δ = π/4
δ = π/2
δ = 3π/4
δ = π
S = 0.20
$M_0 = J_0^2$
$M_1 = [S + (1-S) J_0]^2$
$M_2 = M_1 - 4S(1-S) J_0 \sin^2 \frac{\delta}{2}$