

# Prefață

---

Lucrarea de față se dorește o bază de plecare pentru studiul metodei optice bazate pe fenomenul interferometriei granulare. Interferometria electronică granulară (ESPI) este o metodă optică de câmp, non-contact care oferă posibilitatea măsurării cu mare precizie a deplasărilor suprafețelor obiectelor și generarea informațiilor legate de distribuția deformațiilor specifice. Metoda se aplică cu succes în cercetare, universități dar și industrie în domeniul încercării și caracterizării materialelor, stabilirea zonelor de concentrare a tensiunilor, studiul deplasărilor produse de solicitările termice, analiza nedistructivă a materialelor compozite, vibrații armonice sau solicitări dinamice tranzitorii.

Lucrarea se adresează în primul rând cercetătorilor și cadrelor didactice cu preocupări în domeniul mecanicii experimentale dar și inginerilor mecanici care activează în departamente de proiectare și testare. Bazată pe cunoștințele teoretice dar mai ales pe experiența practică a autorului în utilizarea metodei interferometriei electronice granulare, lucrarea prezintă într-o succesiune logică aspectele teoretice ale metodei, sistemele de măsurare prin ESPI și numeroase aplicații practice ale acesteia. În capitolul 1 se prezintă câteva noțiuni de optică necesare înțelegerii fenomenelor legate de interferența undelor luminoase. Capitolul 2 intitulat „Fenomenul granular” prezintă aspecte legate de apariția specklelor, mărimea lor, granularitate obiectivă și subiectivă. Principiile metodei interferometriei granulare, construcția interferometrelor, vectorul sensibilitate, franje de corelație și determinarea tridimensională a deplasărilor unei suprafețe sunt prezentate în capitolul 3. Capitolul 4 prezintă procedeul decalajului de fază respectiv de demodulare al acesteia pentru evaluarea cantitativă a interferogramelor granulare. Sistemul de măsurare prin ESPI precum și numeroase aplicații practice sunt prezentate în detaliu în capitolele 5 și 6.

S-a încercat o prezentare accesibilă a noțiunilor teoretice considerate de către autor relevante din punctul de vedere al utilizatorului metodei, noțiuni fără de care nu este posibilă formarea unei imagini privind aplicabilitatea, potențialul dar și limitările metodei ESPI. În sprijinul celor care doresc o aprofundare a noțiunilor prezentate în lucrare, la fiecare capitol, se oferă o bibliografie actualizată și cuprinzătoare.

Fără priceperea și pasiunea unor renumiți profesori și specialiști din industrie, de la care autorul a descifrat și aprofundat secretele acestei metode, lucrarea de față nu ar fi existat. Un rol important a revenit recenzorului cărții, Prof.dr.ing. Ioan Păstrav, care prin sugestiile și observațiile făcute, a contribuit la îmbunătățirea calitativă a lucrării. Tuturor acestora autorul dorește să le adreseze calde mulțumiri.

În mod deosebit autorul adresează mulțumirile și recunoștința sa D-lor Prof.Dr.-Ing. Jochen Naumann și PD. Dr.-Ing. Martin Stockmann de la Universitatea Tehnică din Chemnitz, Germania, cu care autorul a avut o excelentă colaborare, și care l-au susținut și încurajat în elaborarea acestei lucrări.

De asemenea, autorul adresează calde mulțumiri și celui care prin încredere și profesionalism a făcut posibilă intrarea în universul fascinant al metodei ESPI, D-lui Dr. Hans-Reinhard Schubach de la firma Dr. Ettemeyer GmbH (actualmente Dantec Dynamics GmbH), firmă recunoscută mondial pentru sistemele sale de analiză tridimensională a deplasărilor prin metoda interferometriei electronice granulare.

Un sprijin important, sub forma a patru granturi de cercetare de care a beneficiat autorul, a venit din partea Comunității Europene prin programul FP5 și FP6 (Marie-Curie Actions) și al Fundației Alexander von Humboldt din Germania.

Nu în cele din urmă autorul adresează mulțumiri familiei sale pentru sprijinul și înțelegerea acordată în timpul elaborării acestei lucrări.

Mircea Cristian DUDESCU

# Cuprins

---

Prefață .....	vii
1. Noțiuni introductive de optică .....	1
1.1. Introducere .....	1
1.2. Vibrații și unde .....	1
1.3. Interferența undelor .....	2
1.4. Reprezentarea complexă a undelor luminoase .....	3
1.5. Interferometrul Michelson .....	4
1.6. Determinarea fazei în lumină coerentă .....	5
2. Fenomenul granular (speckle) .....	9
2.1. Introducere .....	9
2.2. Descrierea statistică a fenomenului granular .....	11
2.2.1. Granularitatea obiectivă .....	11
2.2.2. Granularitatea subiectivă .....	15
2.2.3. Observații privind mărimea specklelor .....	20
3. Interferometria electronică granulară (ESPI) .....	27
3.1. Prezentarea metodei .....	27
3.2. Geometria interferometrului pentru măsurarea deplasărilor .....	30
3.3. Legătura dintre deplasări și diferența de drum optic .....	31
3.4. Vectorul sensibilitate .....	34
3.5. Matricea geometrică .....	39
3.6. Deplasările tridimensionale ale unei suprafețe în cazul iluminării divergente .....	44
3.7. Interferograma granulară .....	49
3.8. Franjele de corelație .....	54

4.	Analiza interferogramelor granulare .....	61
4.1.	Noțiuni generale .....	61
4.2.	Principiul decalajului de faza (phase shifting) .....	63
4.2.1.	Decalajul temporal al fazei (TPS) .....	64
4.2.1.1.	Algoritmul în patru pași .....	67
4.2.1.2.	Algoritmul în cinci pași .....	71
4.2.1.3.	Algoritmul lui Carré .....	71
4.2.1.4.	Alți algoritmi pentru calculul fazei .....	72
4.2.1.5.	Determinarea fazei utilizând transformata Fourier ..	73
4.2.2.	Decalajul spațial al fazei (SPS) .....	77
4.2.2.1.	Interferograme separate spațial .....	78
4.2.2.2.	Speckle cu frecvență purtătoare .....	78
4.3.	Analiza cantitativă a interferogramelor .....	82
4.3.1.	Generalități .....	82
4.3.2.	Calculul diferenței de fază .....	84
4.3.3.	Calculul fazei diferenței dintre interferograme .....	85
4.3.4.	Filtrarea tabloului fazei .....	87
4.3.5.	Demodularea (unwrapping) .....	90
4.3.2.	Postprocesarea fazei demodate .....	94
5.	Sistemul de măsurare prin interferometrie electronică granulară .....	103
5.1.	Sistemul optic, hardware și software .....	103
5.1.1.	Configurația optică pentru măsurarea deplasărilor în afara planului .....	111
5.1.2.	Configurația optică pentru măsurarea deplasărilor în plan	114
5.1.3.	Configurația optică pentru măsurarea tridimensională a deplasărilor .....	118
5.2.	Interferometrul pentru determinarea gradientului deplasărilor .....	120
5.3.	Influențe externe asupra măsurătorilor .....	124
5.4.	Erori de evaluare ale tabloului fazei .....	130

6. Aplicații ale interferometriei electronice granulare .....	135
6.1. Introducere .....	135
6.2. Determinări statice utilizând ESPI .....	136
6.2.1. Determinarea deformațiilor și tensiunilor. Concentratori de tensiuni .....	136
6.2.2. Studiul deplasărilor produse de solicitările termice .....	142
6.2.3. Analiza nedistructivă prin metoda șerografică .....	146
6.3. Determinarea conturului utilizând ESPI .....	149
6.4. Determinări dinamice utilizând ESPI .....	153
6.4.1. Achiziția mediată în timp (time-average) .....	153
6.4.2. Iluminare stroboscopică .....	154
6.4.3. Laser cu dublu puls .....	157