

Optikai mérés technika alkalmazása a közúti járműgyártásban

Kornis János, Papp Zsolt

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. Fizika Tanszék

1111. Budapest, Budafoki út 8.

kornis@phy.bme.hu, papp@phy.bme.hu

Bevezetés

A forgalom elemi összetevői (gépjármű, ember, pálya) dinamikai viselkedése, egymásra gyakorolt hatása rendkívül fontos mind forgalombiztonsági, mind élettani, mind gazdasági szempontból.

A gépjármű, mint rendszer rendkívül összetett. A rendszer nagyszámú komponense és a rendszerben, alrendszerekben található nemlinearitások egyszerűsítéseket tesznek szükségessé a modell alkalmazhatóságához, melyek a mérnöki gyakorlatban közelítéseként jelennek meg növelve a modellbe implementált bizonytalanságokat Péter [1-3].

A biztonság legfontosabb tényezője a vezető viselkedése. Amennyiben a vezető fáradt, nem érzi jól magát, hosszabbá válik reakcióideje, maguk a reakciók pedig egyre megkérdőjelezhetőbbé válnak. Ezért a vezető komfortérzetére nagy figyelmet kell fordítani, különösen a hosszú utakat teljesítő nehéz tehergépjárművek esetében. Péter és Gissinger [4,5]. Nem véletlen tehát, hogy ezeknél a járműveknél a vezetőülést az utaskabinon belül önálló felfüggesztéssel látják el. Az útegyenetlenségek, a kerék-út kölcsönhatások, az aerodinamikai erők és nyomatókok megfelelő modellezése a tudományterület egyik legintenzívebben kutatott része [6-8].

Az optikai mérés technika ma már alapvető fontosságú mérés technikai módszer a fenti problémák vizsgálatában. Tárgyak alakjának, deformációjának érintésmentes, mikrométerestől milliméteres pontosságú mérésére számos optikai eljárás létezik. (1. ábra) A milliméteres, tizedmilliméteres pontosságú tartományban a Moiré módszerek [9] és a csikvetítéses eljárás [10] igen elterjedtek. A mikrométeres pontossági tartományban főként a holografikus módszerek használatosak [10]. A Moiré, vagy a csikvetítéses eljárással összehasonlítva ezeket az eljárásokat, megállapítható, hogy bár érzékenyebbek, de jóval bonyolultabbak.

A holografikus módszerek bonyolultsága az elektronikus szemcsekép interferometria és a digitális holográfia alkalmazásával csökkenthető.

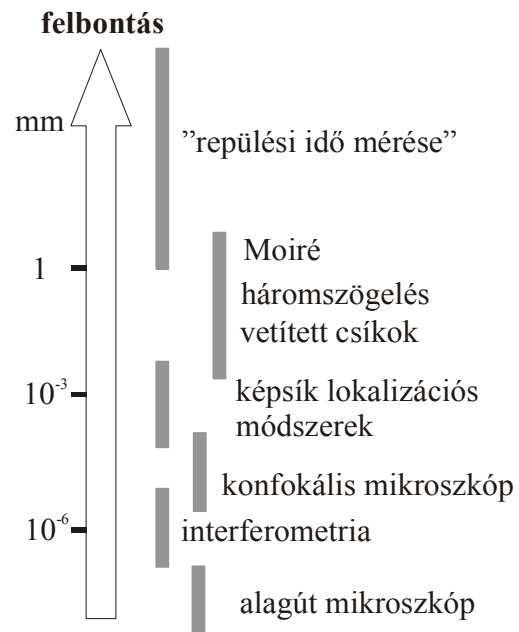
Jelen munkánkban főként a BME Fizika Tanszékén végzett méréseken keresztül szeretnénk bemutatni a lehetőségeket. A számos alkalmazás közül az optikai háromszögelésen alapuló és a holografikus módszereket ismertetjük.

Optikai háromszögelésen alapuló módszerek

A módszer lényege, hogy a tárgyfelületre meghatározott struktúrájú mintázatot (pl. párhuzamos csíkokat) vetítünk (2. ábra) és a mintázat torzulásából (3. ábra) számítjuk ki a tárgyfelület alakját vagy deformációját.

Egy egyszerűbb megvalósításban a tárgyat egy mozgatható tükör, vagy tükörpár segítségével egyetlen fényponttal (lézerponttal) világítjuk meg. Az eljárás hasonló a strukturált fény alkalmazásához, az ott levezetett összefüggések itt is alkalmazhatóak. A tükrök mozgását számítógéppel vezérelt motorok végzik, így az úgynevezett tanítási fázisban a mesterdarab esetén kijelölhetők azok a pontok, amelyekben a mérést egyáltalán el szeretnénk végezni. Így a mérés bár kissé lassabb, mint az előzőek kevesebb képfeldolgozást igényel.

A 4. ábrán egy egyszerű profilmérés részeredménye látható. A feladat autóiipari alkatrész terpesz szögének és vályú szélességének mérése volt. A mérőberendezés lézerfényből kialakított fénycsíkot vetít a megfelelő pozícióban lévő alkatrésze és egy képfeldolgozó szoftver elvégzi a szög- és távolságmérést.



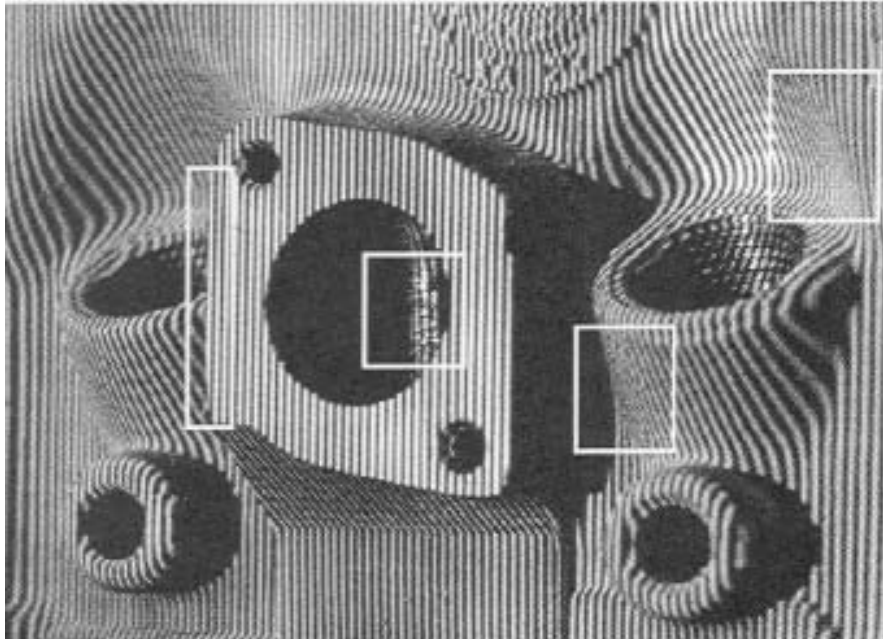
1. ábra

Alak- és elmozdulásmérésre használatos módszerek csoportosítása a megkívánt felbontás szerint

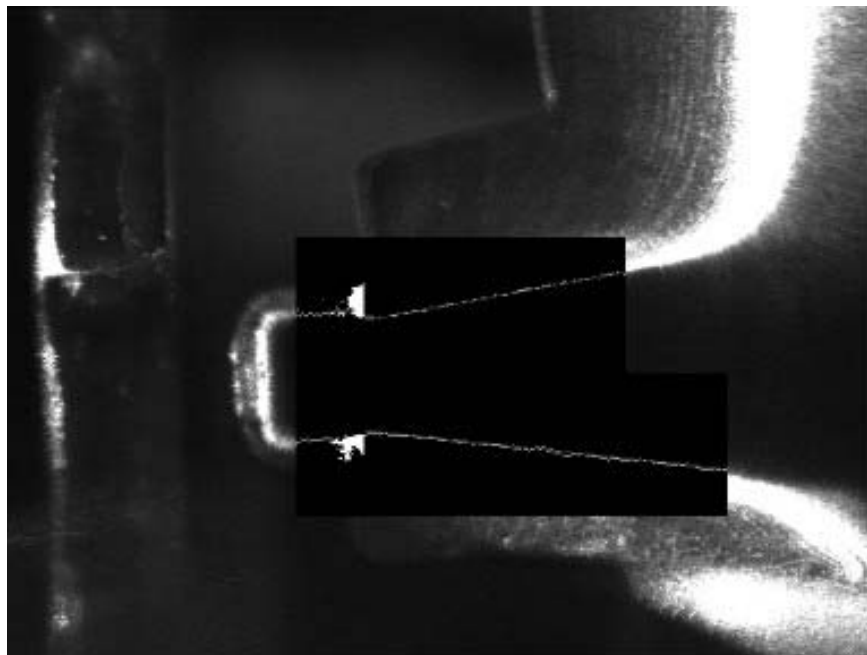


2. ábra

Alakmérésre használatos mobil berendezés fényképe



3. ábra
Alakmérés vetített csikkokkal. Hengerfej vizsgálata

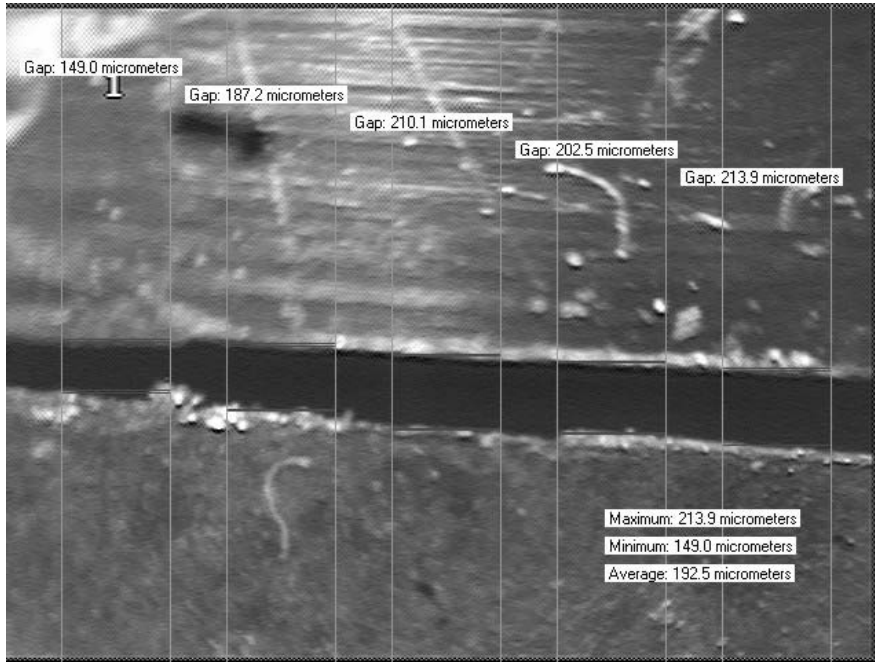


4. ábra
Geometriai paraméterek mérése. A vetített lézercsík alakjából a profil paraméterei (nyílásszög, vályú szélessége) meghatározható

Itt szeretnénk bemutatni egy tisztán optikai leképzésen alapuló mérést. A feladat szelepülékek bepréselési folyamatának ellenőrzése volt. Helyes préselés esetén a hengerfej furata és a szelepülék között nem mérhető rés. Ha rés marad a gyártás során, akkor az hibás motorműködéshez vezethet. Probléma az

ellenőrzés során, hogy a szelepülék igen nehezen figyelhető meg és a préselés során gyakran ferdén kerül a helyére, ami azt jelenti, hogy 360^o-ban kell a vizsgálatot elvégezni.

A kidolgozott berendezésben miniatűr CCD kamera tolódik be a szelep helyére és a detektált képből képfeldolgozó programmal mérjük a hézagot.(5. ábra)



5. ábra

Szelepülék és szelepfészek résmérése. A miniatűr kamerával detektált képből a program automatikusan méri a rés szélességét.

Koherens optikai eljárások

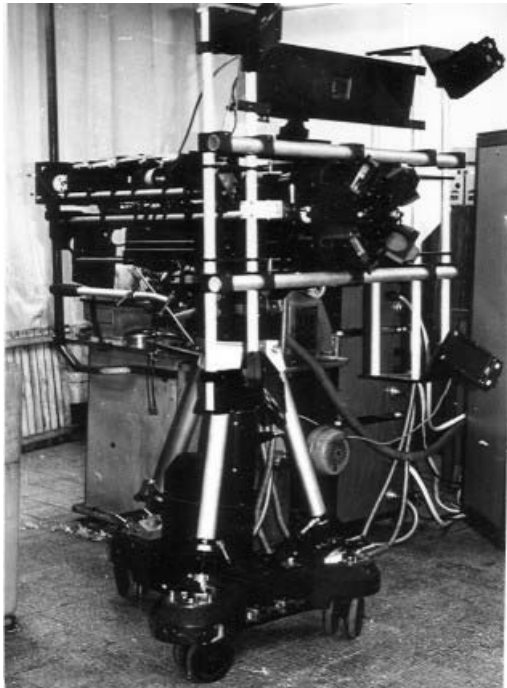
A koherens optikai mérési eljárások lehetővé teszik, hogy tárgyak elmozdulását, deformációját, alakját a fényhullámhossz nagyságrendjébe eső pontossággal mérhessük anélkül, hogy a tárgyfelülethez mérőeszközt érintenénk. A mérési módszerek állandóan fejlődnek, egyre speciálisabb megoldások születnek. Közös tulajdonságuk, hogy eredményül a tárgy csíkrendszerrel borított képét kapjuk. Ennek értelmezése (kiértékelése) nem mindég egyszerű feladat. Általánosságban annyi mondható, hogy az egyes csíkok az azonos elmozdulású, vagy alakmérésnél magasságú pontokat kötik össze, hasonlóan a térkép szintvonalaihoz.

A legismertebb eljárás a holográfiára alapozott holografikus interferometria. A BME Fizika Tanszékén a koherens optika ezen ága több mint harminc éve múltra tekinthet vissza. A tématerület meghonosítása és mintegy huszonöt éves irányítása Füzessy Zoltán nevéhez köthető.

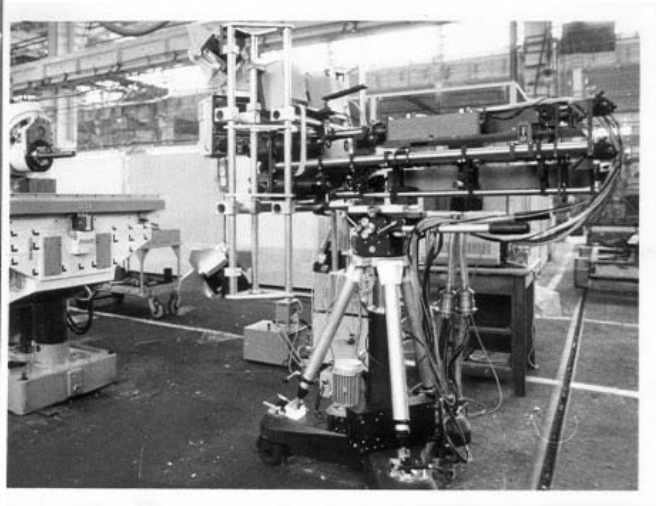
Az első bemutatandó példa a tanszéken kifejlesztett ipari holografikus interferométerhez (6. ábra) kapcsolódik. Ez a berendezés ipari körülmények között képes volt mintegy 3m²-es tárgyfelületek 0,1µm pontosságú elmozdulás mérésére. Fényforrása egy nagyteljesítményű rubinlézer volt, amely lehetővé tette tranziens folyamatok vizsgálatát is.

Egyik alkalmazási példa a 7-8 ábrákon látható. Ebben az esetben marógép teljes részegységéről készítettünk interferogramot, amely a terhelés hatására bekövetkezett alakváltozást méri.

A 9. ábrán a témához kissé közelebb álló alkalmazás eredménye látható. Különböző motorfelfüggesztések esetén vizsgáltuk a Wartburg személykocsi karosszériájának rezgését csökkentendő az utastér zaját. A felvételeken jól megfigyelhető a két motorfelfüggesztés hatása.



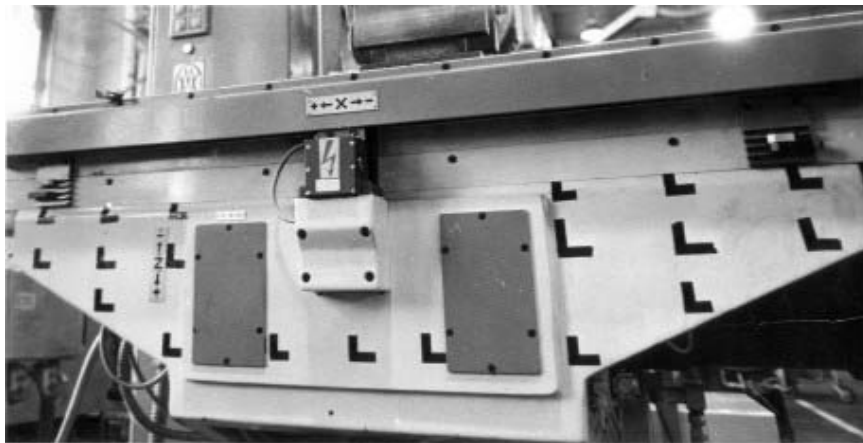
a.



b.

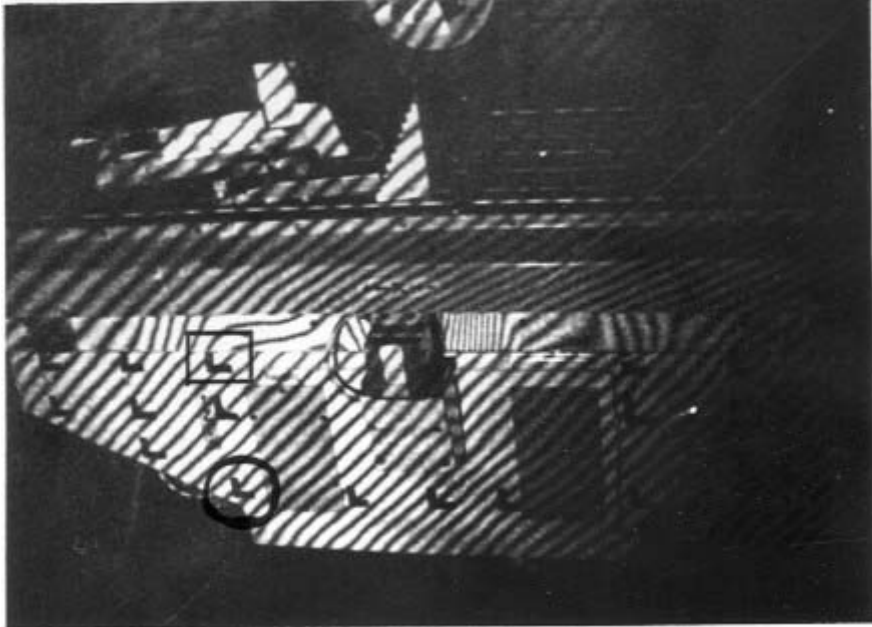
6. ábra

A HIM-3 ipari holografikus interferométer. A1 interferométer fényképe (a); az interferométer mérés közben



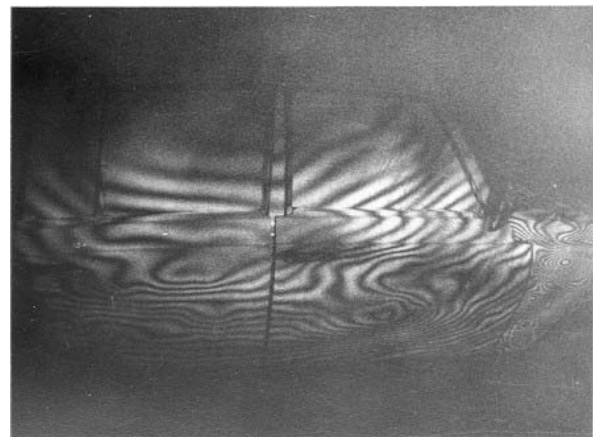
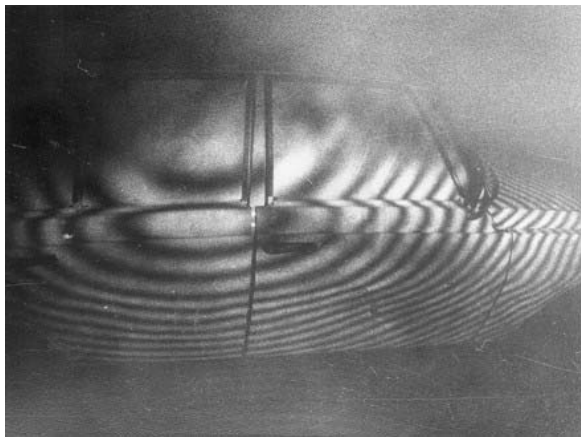
7. ábra

Az interferométer akár 3m^2 -es tárgyfelületek vizsgálatára is alkalmas



8. ábra

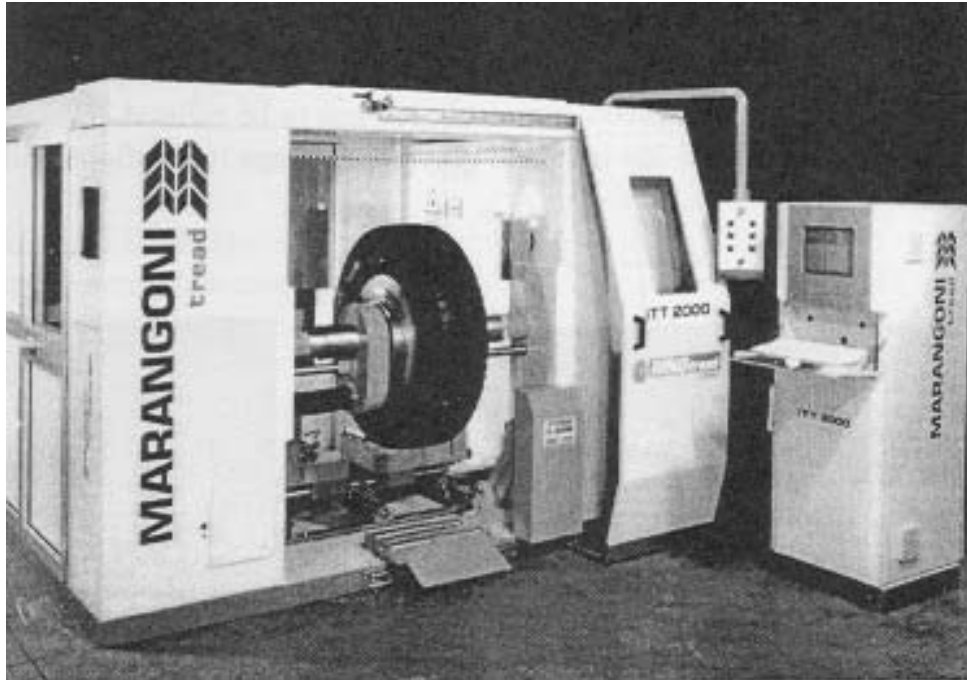
Az előző felvételen szerepelt maróról készült interferogram. Az interferenciacsíkok az azonos elmozdulású pontokat kötik össze



9. ábra

Wartburg személykocsi karosszériájának rezgésállapotai két különböző motorfelfüggesztés esetén

Alkalmazási példákat természetesen a nemzetközi irodalomban is találhatunk. Egy ilyen jelentős alkalmazás a holografikus tesztelő berendezés, amely gumiabroncs gyártásakor ellenőrzi az elkészült darabokat (10. ábra).



10. ábra

Gumiabroncs gyártás utáni ellenőrzésére szolgáló ipari interferométer

A digitális holográfia [12] szinte egyidős a lézerekkel és a hagyományos holográfiával, első megjelenése a hatvanas évek végére tehető. Fejlődését sokáig hátráltatta a számítástechnika és a digitális képrögzítési illetve képmegjelenítési technológiák kezdetlegessége vagy hiánya. A személyi számítógépek megjelenése, rohamos fejlődése, valamint nagy felbontású digitális kamerák kifejlesztése nagy lendületet adott a terület fejlődésének az elmúlt évtizedben, egy új eszközcsalád, a térbeli fénymodulátorok megjelenése pedig új távlatokat nyitott. Ma már a digitális holográfia teljesítőképessége elérte azt a szintet, hogy mérés-technikai alkalmazásai is léteznek. Alakot és elmozdulásmezőt szintén interferometrikus érzékenységgel mérhetünk digitális holográfia alkalmazásával, kiváltva a hologramlemezt a nagyfelbontású CCD kamerával.

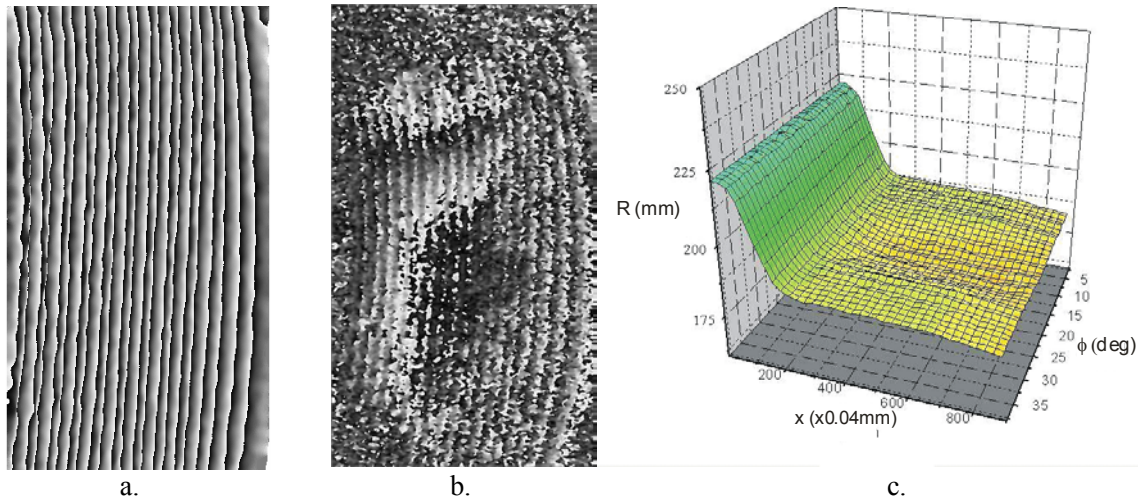
A digitális holográfia alkalmazására egy kopásvizsgálat eredményét szeretnénk bemutatni.

Ebben a mérésben tárgyunk egy vasúti jármű kerekének 1:4 arányú modellje volt. Mérésünkben a kerék futófelületének alakját kívántam meghatározni. A mérés során két digitális hologramot rögzítettünk a nem koptatott kerékről, a megvilágítási irányt megváltoztatva a felvételek között. Ezután kicseréltük a kereket egy erősen kopottra. Ekkor is az előzőekhez hasonlóan két felvétel készült. A felvételekből sikeresen előállítottuk az alakkülönbségre jellemző kontúrvonalak intenzitás- és fázisképét. Az eredmények a 11. ábrán láthatóak.

Végezetül az úgynevezett szemcsekép interferometria [13] egy alkalmazását szeretnénk bemutatni. A szemcsekép interferometria a holografikus interferometriából nőtt ki és ma már főként gyorsaságának köszönhetően számos területen alkalmazzák.

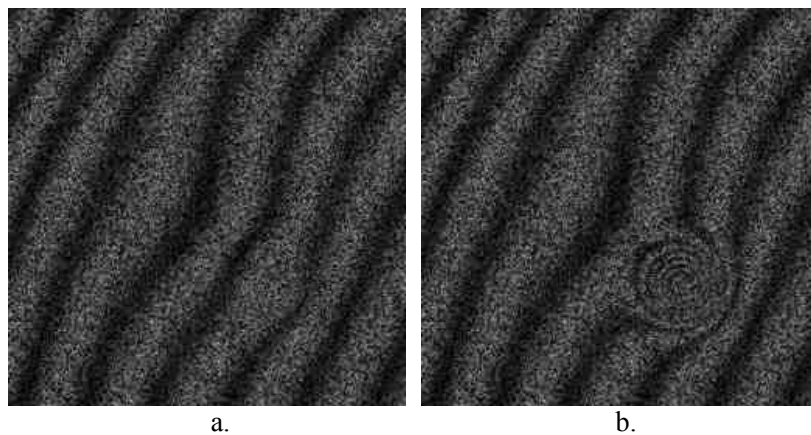
A bemutatott példában lemezek rejtett anyaghibáját kerestünk. A mérés során deformáltuk a lemezeket (12. ábra), és a csíkrendszer alakjából következtettünk az anyaghibára. Közel hibátlan lemez esetén párhuzamos csíkokat kaptunk (12.a ábra), míg hibás lemezek esetén lokális deformációkomponensek jelentek meg (12. b.ábra).

Mint a 12.b. ábrán is látható az interferometrikus alkalmazásokban a nagy érzékenység következtében igen hamar olyan sűrű csíkrendszer alakulhat ki, amely már nem kiértékelhető.



11. ábra

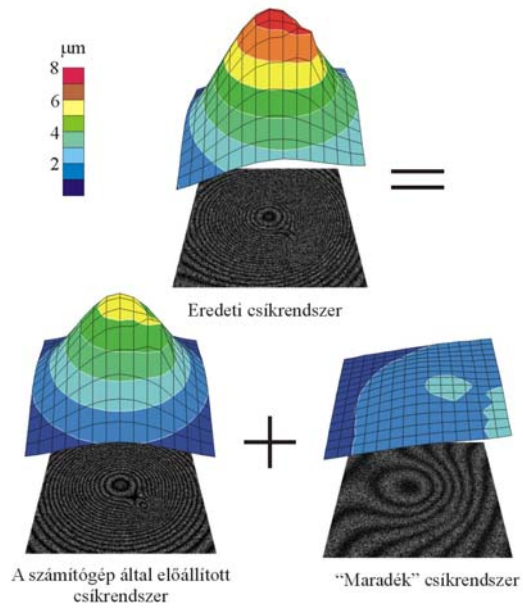
Vasúti járműkerék kopásvizsgálata. Kopás előtt a futófelület kontúrúcsíkjai párhuzamosak (a) Koptatás után a csíkok torzulnak (b). A kiértékelés során rekonstruált kopott felület.



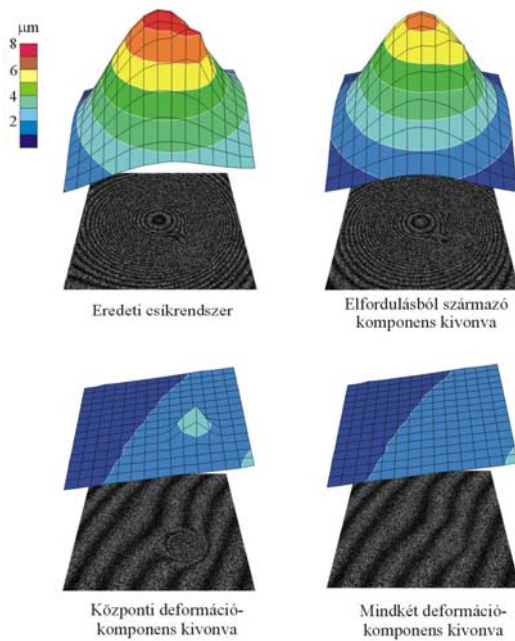
12. ábra

Rejtett anyaghiba vizsgálata. Hibátlan tárgy esetén a deformált tárgy csak meghajlik (párhuzamos csíkok) Az anyaghiba járulékos deformáció formájában jelentkezik (b).

Tanszékünkön sikeresen kifejlesztettük az úgynevezett fázisszintetizáló interferometriát [14], amely képes a egyes módszerek méréshatárát megnövelni. A 13. ábra egy sikeres mérés eredményét szemlélteti. A mérésben összetett deformációmezőt vizsgáltunk. A tárgy deformációja két tengely körüli elfordulásból és két pontban ható deformációból tevődött össze. A csíkrendszer bizonyos területeken már olyan sűrű volt, hogy kiértékelő programmal már nem tudtuk a kiértékelést elvégezni (13.a ábra felső, középső kép). A kiértékelő programmal szintetizáltunk egy olyan csíkrendszert, amely közelíti a két pontbeli deformáció eredőjét (13.a ábra alsó, baloldali ábra). A fennmaradó csíkrendszer (13.a ábra alsó jobboldali kép) már a számítógéppel kiértékelhető volt. A kiértékelésből származó elmozdulásmezőhöz a szintetizált elmozdulásmezőt hozzáadva a teljes elmozdulásmező megkapható. Mint látható, az eljárás alkalmazásával méréseink érzékenysége a mérés elvégzése után változtatható. Így olyan csíksűrűséget állíthatunk elő, amely kiértékelő programunknak optimális. A módszer lehetővé teszi azt is, hogy összetett deformációkat részekre bonthassunk és így a deformáció-komponenseket külön-külön vizsgálhassuk; így például speciális csíkrendszerek esetére kidolgozott kiértékelési eljárások esetén a járulékos elfordulásból származó interferenciacsíkok kiszűrhetők (13.b. ábra).



a.



b.

13. ábra

Összetett elmozdulásmező és módosulatai. Az eredeti elmozdulásmező 5cmx5cm méretű szimulált tárgy függőleges és vízszintes tengely körüli elfordulásából és két helyi deformációból épül fel. Szintetizált mestertárgy elmozdulásmező segítségével a csikrendszer kiértékelhető sűrűségűvé tehető (a). A módszer segítségével a különböző elmozdulásmező összetevők szétválaszthatók (b).

Irodalom

- [1.] Péter Tamás, Komplex célfüggvény és ekvivalencia osztályok alkalmazása gépjármű lengőrendszerek térbeli sztochasztikus modelljeinek optimalására. *MAGYAROK SZEREPE A VILÁG TERMÉSZETTUDOMÁNYOS ÉS MŰSZAKI HALADÁSÁBAN III. Tudományos találkozó 1992.142-144.p.*
- [2.] Péter Tamás, Gépjármű lengőrendszerek felfüggesztésparamétereinek optimalása. *MTA, Budapest, Kandidátusi értekezés, 1997.*
- [3.] Péter Tamás, Mathematical Transformations of Road Profile Excitation for Variable Vehicle Speeds. *Studies in Vehicle Engineering and Transportation Science. A Festschrift in Honor of Professor Pál Michelberger on Occasion of his 70th Birthday. Hunfarian Academy of Sciences – Budapest Univ. Of Technology and Economics 2000. 51-69 p.*
- [4.] Gérard GISSINGER, Tamás PÉTER and Antoine RACLE, NON-LINEAR MODELLING, IDENTIFICATION AND VALIDATION OF DRIVING COMFORT IN A MOTOR VEHICLE. *8TH MINI CONF.ON VEHICLE SYSTEM DYNAMICS, IDENTIFICATION AND ANOMALIES, 11-13 November,2002. BUDAPEST 227-240 p.*
- [5.] Péter Tamás, JÁRMŰ RENDSZEREK FOLYTONOS DINAMIKUS MODELLJEINEK ELŐÁLLÍTÁSA, *Intelligens közúti közlekedési és járműrendszerek modern, rendszer- és irányításméleti kutatásai, 2003.Szeptember 10. BUDAPEST OM, Alkalmazott kutatás-fejlesztés pályázati jelentés 1-28 p.*
- [6.] Péter Tamás, Fuzzy and Anytime Signal Processing Approaches for Supporting Modeling and Control, *3rd International Conference on Computational Cybernetics 2005 April 13-16, 2005, Mauritius, pp. 6.*
- [7.] Péter Tamás, JÁRMŰVEZETŐI TULAJDONSÁGOKAT FIGYELEMBE VEVŐ ANALÍZIS, KÖZÚTI KÖZLEKEDÉSI RENDSZEREK SZTOCHASZTIKUS SZIMULÁCIÓJÁVAL *Intelligens közlekedési rendszerek és jármű-controll. Előírások a közlekedés biztonságának növelésére. Bp. 2005. pp433-443. Magyar Mérnökakadémia Symposium*
- [8.] Péter Tamás, KÖZÚTI KÖZLEKEDÉSI HÁLÓZAT GENERÁLÁSA ÉS A MODELL SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATA *Intelligens közlekedési rendszerek és jármű-controll. Előírások a közlekedés biztonságának növelésére. Bp. 2005. pp444-464. Magyar Mérnökakadémia Symposium*
- [9.] Takasaki, Moire topography, *Applied Optics, Vol. 9, 1970, pp. 1467-1472..*
- [10.] Kjell J. Gasvik, *Optical Metrology, John Wiley & Sons, 1995.*
- [11.] R. Jones, C. Wykes, *Holographic and speckle interferometry, Cambridge U. P., 1983.*
- [12.] U. Schnars, W. Jüptner, "Digital holography," *Springer-Verlag Berlin 2005.*
- [13.] J. N. Butters, R. C. Jones, C. Wykes, "Electronic Speckle Pattern Interferometry," in *Speckle metrology, R. K. Erf, ed., Springer Verlag, 1975, pp. 146-151.*
- [14.] J. Kornis, A. Németh, "Fringe compensation displacement measurement using synthesized reference beam TV holography," *Optics Communications Vol. 167, 1999, pp. 203-210..*