

Extrém méretű optikai felületek nagypontosságú vizsgálata

Antal Akos, Samu Krisztián, Czmerk András – BME-MOGI

Az összetett optikai rendszerek fejlesztési irányai egyre inkább a nagypontosságú felületek alkalmazásának irányába mutatnak.



Anagy, akár az egy méteres átmérőt is meghaladó optikai elemek alkalmazása is egyre szélesebb körű, így természetesen ehhez kapcsolódó igény a konvencionális gömb-, illetve aszférikus, esetleg szabad alakítású, úgynevezett freeform felületek precíziós mérés technikájának fejlesztése is.

Kutatócsoportunk a CORNET projekt keretén belül első körben a következő paraméterrel rendelkező felületek mérését tűzte ki célul:

Tükörrátmérő	Görbületi sugár
2 m-ig	$-6000 \text{ mm} < R < \infty$
1 m-ig	$R > -5000 \text{ mm}$

A mérés pontosságául kitűzött néhány tíz nanométeres tartomány számos mechanikai és termikus vizsgálat elvégzését igényelte, melyek eredményei magát a megmunkálásra kerülő és így a mérés tárgyaként szolgáló tükör anyagának kiválasztását is behatárolták.

A választás egy áttetsző, speciális optikai feladatokra használt üvegkerámiára, a Zerodurra esett. Ebből az anyagból, amellet hogy az általánosan felhasznált anyagokhoz képest több nagyságrenddel kisebb hőtágulási együtthatójú – mely normál üzemi körülmények között $0 \pm 0,10 \times 10^{-6}/\text{K}$ értékű –, a mérések elvégzéséhez – és a későbbi alkalmazásokhoz –, ideális felület képezhető ki.

A felület pontosságának megállapítása a megmunkálás fázisai, az egyes

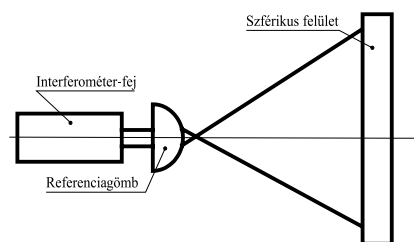
polírozási lépések között szükséges. A mérés során a hiba, azaz a tervezett és a mért felület mérete és alakja közötti eltérés jellege két csoportra, felületi, valamint alakhibákra osztható. A felületi hibákat a közepes vagy rövid hullámhossz jellemzi, melyekkel leggyakrabban egy felület karcossága (néhány nanométer szélességű hibakiterjedés) esetén találkozunk. Ez a hiba a konvencionális, jellemzően néhány tíz centiméteres mérőfelület esetén meghatározható. Felületek mérésekor a nagy hullámhosszú hiba vagy alakhiba (periódusa 50-100 milliméter) is meghatározandó, hiszen a polírozási

eljárás során ez korrigálható. Gyakorlati tapasztalat, hogy ez az érték a polírozó szerszám átmérőjének hozzávetőlegesen ötszöröse.

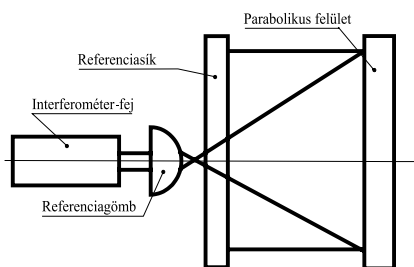
Ugyan a készülő felületek gyártás közbeni, illetve a már elkészült felületek precíziós vizsgálatára többféle mérési eljárás is ismert, alkalmazásuk azonban ilyen nagy kiterjedésű felületek mérésekor számos problémát vet fel. Mivel az ilyen kismértékű, nagyságrendileg 10 nanométeres pontosságot igénylő mérési eljárások mindössze 20 centiméteres átmérőjű mérőfelület mérésére alkalmasak, a több méteres átmérőjű felületek méréséhez – különösen a freeform felületek esetében – önmagukban nem alkalmazhatóak.

Az említett problémákat kiküszöbölve, a felületek rekonstrukciója abban a jövőbe mutató eljárásban rejlik, mely a mérést egyrészt a különböző mérés technológiák kombinált alkalmazásával, másrészt az egyes mérési eljárások ismételt, részfelületeken történő kivitelezésével valósítja meg. Az így kapott részek összehelyesítése – az úgynevezett „stitching” eljárás – külön erre a célra fejlesztett algoritmussal valósítható meg, biztosítva így a teljes felület rekonstrukcióját.

Más megközelítésben a mérés alapvetően lehet érintéses-felületi tapintós vagy érintésmentes, optikai elvű. Napjainkban az egyes mérések, még a tapintós mérések alkalmazása esetén is, a mikrométernél kisebb bizonytalansággal valósíthatók meg. Érintésmen-



1. ABRA Interferométeres összeállítás szférikus felület vizsgálatára



2. ABRA Interferométeres összeállítás parabolikus felület vizsgálatára

tes távolság meghatározásához lézer fényforrást alkalmazva, a konfokális mikroszkópia mellett a lézer interferométer alkalmazása jön számításba. Mindkét mérés technológia pontossága nanométeres felbontóképesség-tartományt jelent.

Egy felület tulajdonságáról komplexebb képet ad a deflektometrius és az interferometrius kép.

A deflektometria olyan képalkotó eljárás, melynek során egy előre meghatározott struktúrának a vizsgált felületen tükröződött képét vizsgáljuk. A tárgyra vetített struktúrát a legtöbb esetben egy TFT monitorral állítjuk elő, míg a képet egy kamerával rögzítjük.

A TFT-monitor és a kamera helyzetének ismeretében lehetővé válik a tükröző felület rekonstrukciója. Az így kapott kép abszolút méreteket szolgáltat a monitor-kamera rendszer helyzetéhez képest. Az eljárás pontosságának fokozását célzó fejlesztések jelenleg is folynak; mikrométer alatti mérési pontosságot sikerült elérni.

**Budapesti
Műszaki és
Gazdaság-
tudományi
Egyetem**



A konzorcium többi résztvevője által részletesen vizsgált, fent említett módszerek mellett a BME-MOGI Tanszék feladata az interferometriás megoldások alkalmazhatóságának vizsgálata.

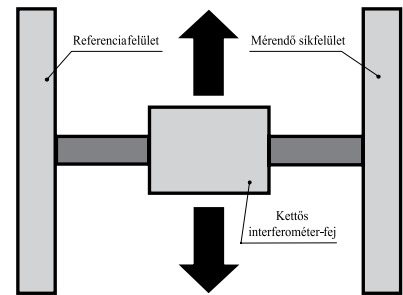
A pályázati feladatkiírásban megfogalmazott elvárások tekintetében, mérés technikai szempontból a mérési elrendezésnek szempontról a mérési igényes és kiélezett paraméterű feladatot kell kielégítenie. A gyártás közbeni ellenőrzés igénye, a termikus viszonyok stabilan tartása, illetve a mérőrendszer

megmunkáló egységgel való összekapcsolása igényel nem konvencionális, sok esetben speciális szerkezeti megoldásokat. Mivel a mérőrendszernek sík, szférikus és különböző aszférikus felületek mérésére is alkalmasnak kell lennie, célszerű a mérőrendszert úgy kialakítani, hogy a felületről kapott információ a lehető legteljesebb legyen, azaz ne kelljen mérési és számítási megoldásokat keresni a lokális mérési adatok egymáshoz viszonyított értelmezésére, illetve összekapcsolására.

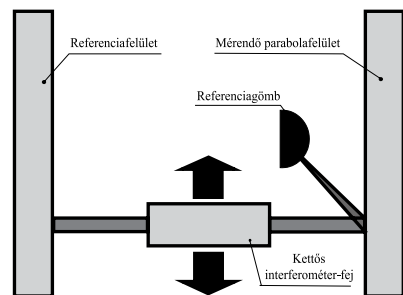
Javaslatunkban kiemeltük, hogy célszerű egy Fizeau interferométeres üzemmódban működő, Zygo típusú Mark II interferométer adaptálása. Az interferometriás mérések során, a klasszikus elvek alapján, két – egy referencia és egy, a vizsgált felülethez kapcsolható – hullámfront interferenciájának kvantitatív értékeléséből határozhatók meg a mérendő felület paraméterei. Az 1. ábrán az interferométeres összeállítás látható szférikus felület vizsgálata esetén. A szférikus felület, illetve a referenciagömb által generált hullámfrontok közötti eltérés adatai alapján értékelhető a felület.

Hasonló elrendezés látható a 2. ábrán is, amely parabolikus felület vizsgálatát teszi lehetővé egy, a vizsgálandó felülettel összemérhető referenciasík segítségével. Mindkét módszer hátránya, hogy mivel az interferométer detektorra az egész felületet érzékeli, annak felbontása jelentősen korlátozza a mérési adatok felhasználhatóságát.

E hibák kiküszöbölése céljából tetünk javaslatot a 3., illetve a 4. ábrán látható elrendezés alkalmazására. Itt a vizsgálandó felület geometriájától függően referenciagömb alkalmazásával vagy anélkül egy – szintén a vizsgálandó felülettel összemérhető – referenciafelület beiktatásával vizsgálható a felület egy kis szegmense. A vizsgált felület mérete az interferométerből kilépő hullámfront méretének függvénye. A kettős interferométer-fej alkalmazásával az interferométert mozgó szerkezet pályájának pillanatnyi állapota viszonyítható a vizsgált felületről kapott adatokhoz. A mérési adatok pontosságát döntően befolyásolja a referenciafelület alakja. A mérés során nyert adatok értékelése a hagyományos interferenciaképfeldolgozási módszerekre épül.



3. ÁBRA Interferométeres összeállítás síkfelület vizsgálatára



4. ÁBRA Interferométeres összeállítás parabolikus felület vizsgálatára

A fent említett mérési eljárások használhatóságának, pontosságának meghatározása mellett fontos szempont annak ismerete, hogy a pontosság függ-e – és ha igen, milyen mértékben – a mérőeszköz tengelye és a mérendő felület érintősíkjá által bezárt szög változásától. Továbbá meghatározandó az egyes eljárások felületi minőségtől függő pontossága is, melyeket kifejezetten az ezen paraméterek megállapítására készülő berendezésen kívánunk vizsgálni.

A szerzők ezúton szeretnék kifejezni köszönetüket dr. Kovács Gábor tudományos munkatársnak az interferométeres mérések kidolgozása során nyújtott hasznos ötleteiért és tanácsaiért.

A CORNET_7_09-1-2009-0078 AZONOSÍTÓ SZÁMÚ PROJEKT A NEMZETI FEJLESZTÉSI ÜGYNÖKSÉG TÁMOGATÁSÁVAL VALÓSUL MEG.

Felhasznált irodalom:

- [1] Malacara D.: Optical Shop Testing, Wiley-Interscience (2007)
- [2] Mark II Interferometer System, 4-inch Operating Manual OMP-0055G, Zygo Corporation (1990)
- [3] E. Hofbauer, H. Linthe, R. Maurer Messunsicherheit bei der interferometrischen Formvermessung, Photonics, vol. 2, AT-Verlag (2011)

