

TEHNOLOGII MODERNE DE REALIZARE A SUPRAFETELOR OPTICE ASFERICE

*Inginer de cercetare Virginia MĂDUȚĂ
S.C. PROOPTICA S.A*

*Inginer Constantin VLADA
Departamentul pentru Armamente*

1. Introducere

De peste două decenii, proiectanții de sisteme optice au început să aprecieze din ce în ce mai mult avantajele introducerii elementelor cu suprafețe asferice în construcția sistemelor lor. Printre cele mai importante atuuri ale folosirii suprafețelor asferice se pot aminti: reducerea numărului de componente optice din sistem; corecția superioară a aberațiilor, care conduce la o calitate superioară a imaginii și la performanțe înalte ale sistemului în ceea ce privește contrastul și luminozitatea; compactizarea sistemelor optice; reducerea substanțială a masei sistemelor optice; posibilități de miniaturizare. Cu toate acestea, utilizarea lor este încă limitată, din cauza costurilor mari de fabricație și a proceselor tehnologice laborioase.

Odată cu dezvoltarea în ultimul deceniu a unor procese tehnologice reproductibile la scară industrială și a unor tehnici și echipamente specializate pentru testare/măsurare, s-au creat premisele realizării unor producții masive de componente asferice, mai ales pentru aplicații din domeniul bunurilor de larg consum - camere și microcamere fotografice digitale, DVD player, telefoane mobile cu microcameră foto, sisteme pentru telecomunicații. Aceste tehnologii au la bază tehnici neconvenționale de prelucrare a componentelor optice - turnarea sub presiune, presarea la cald și sub presiune înaltă.

Necesitatea realizării unor sisteme optice performante, în care sunt incluse suprafețe asferice de precizie, a condus la dezvoltarea unor tehnologii optice de înalt nivel tehnic, având la bază utilaje și echipamente de testare specializate. Dintre acestea, *polizarea cu dispozitive subapertură*

și *polizarea magnetoreologică* sunt procedee tehnologice importante, derivate din polizarea convențională, care asigură prelucrarea pe baze deterministice a unor suprafețe asferice de mare precizie.

2. Polizarea suprafețelor asferice cu dispozitive de polizare subapertură

Polizarea suprafețelor asferice se face pentru a îndepărta microfisurile din substrat și a nivela asperitățile apărute în urma procesului de generare, cu păstrarea profilului asferic (prepolizare) și/sau pentru a corecta profilul asferic (polizare de corecție).

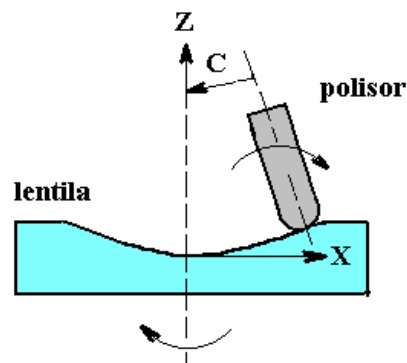


Fig. 1 Polizarea cu dispozitive de polizare subapertură

Datorită particularităților unei suprafețe asferice și anume, schimbarea razei de curbură de-a lungul direcției radiale și existența razelor sagitale și tangențiale diferite, majoritatea proceselor de polizare moderne utilizează dispozitive de polizare flexibile, mult mai mici decât suprafața de prelucrat, denumite dispozitive sub apertură (figura 1).

Tehnica polizării cu dispozitive de polizare subapertură asistată de calculator se bazează pe principiul variației locale a timpului de contact dintre dispozitivul de polizare și suprafața asferică în timpul prelucrării [1]. Metoda constă în stabilirea

exactă a traiectoriei și a timpilor de acționare a dispozitivului de polizare în fiecare punct al suprafeței de prelucrat, astfel încât să se îndepărteze cantitatea necesară de material. Timpul de acționare al sculei este mai întâi prestabilit pe baza legii lui Preston [2], care stipulează că rata de îndepărtare a materialului în fiecare punct al suprafeței prelucrate este direct proporțională cu presiunea dezvoltată de sculă, cu viteza relativă dintre sculă și suprafață și cu timpul în care punctul este expus la această presiune și viteza relativă. Întrucât în timpul procesului de prelucrare apar o serie de variabile, dintre care comportarea materialului substratului, comportarea materialelor de polizare, uzura sculei, se stabilesc în mod experimental niște aproximări, care reprezintă de fapt corecții ale timpului de prelucrare pentru fiecare punct, determinat conform ecuației lui Preston. Traiectoria dispozitivului de polizat este sub formă de spirală pentru suprafețele cu simetrie de rotație și de tip raster pentru suprafețele cu două axe de simetrie (toroide). Polizorul este confecționat din poliuretan, pentru prepolizare, sau din materiale textile, pentru polizarea de corecție [3], iar mărimea diametrului lui reprezintă circa 1% din suprafața de prelucrat [4].

Îndepărtarea surplusului de material, atât pentru prepolizare, cât și pentru polizarea de corecție, se bazează pe datele de topografiere a suprafeței, care trebuie să fie cât mai exacte. Pentru aceasta, se măsoară profilul suprafeței asferice cu un profilometru și abaterile locale cu un interferometru de fază

și se trasează harta abaterilor de formă. Se programează apoi deplasarea dispozitivului de polizare în fiecare zonă care trebuie prelucrată, pornind, de regulă, de la centru către margine. Programul PC aferent mașinii cu comandă numerică stabilește traiectoria polizorului, exprimată prin valorile înălțimii și pantei arcelor de cerc care aproximează profilul suprafeței asferice pentru o zonă dată, timpul de contact la prelucrare pentru o trecere, numărul necesar de treceri și presiunea de lucru, parametri care sunt monitorizați. După efectuarea prelucrării, suprafața se măsoară din nou și apoi se stabilesc corecțiile în continuare, până la finisarea completă.

Tehnica de polizare descrisă, inițiată în cadrul Universității din Glasgow – Scoția, de Aspen și Mc Donough la sfârșitul anilor '80, a fost dezvoltată ulterior de firma Zeeko Ltd. - Anglia, care s-a preocupat în mod special de stabilirea unor tipuri îmbunătățite de dispozitive de polizare și de posibilitatea compensării uzurii și aplatizării acestora în timpul procesului de polizare [3]. Tehnologia de polizare perfecționată de Zeeko, denumită *precessions process*, se bazează pe polizarea clasică, utilizând emulsii și suporturi de polizare obișnuite. Utilajele de prelucrare, dezvoltate în colaborare cu firma SATISLOH Optikmaschinen-Germania, sunt mașin-unelte cu comandă numerică, dintre modelul LOH AII/Zeeko IRP 200, are șapte axe comandate numeric. Construcția dispozitivului de polizare care echipează mașina este complexă (figura 2).

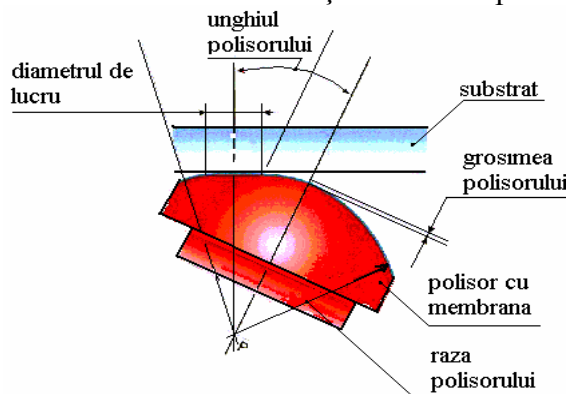


Fig. 2 Dispozitiv de polizare cu membrană, utilizat în cadrul procedurii tehnologic *precessions*

Suportul de polizare, folie de poliuretan sau suport textil, este montat în extremitatea unui dispozitiv cu membrană presurizată hidrostatic sau prin intermediul aerului comprimat. Membrana are un diametru de 40 mm pentru gama de diametre de la 20 mm la 100 mm și de 80 mm pentru piese cu diametrul până la 200 mm. Brațul port - polizor are un motor care asigură turații de până la 1.500 rot. /min. Axul polizorului se reglează astfel, încât să fie permanent perpendicular pe suprafața de prelucrat în punctul de contact, creându-se o funcție gaussiană de îndepărtare a materialului. Pentru a începe procesul de polizare, dispozitivul de polizare cu membrană este poziționat deasupra suprafeței, sub supravegherea unei fotocelule (care asigură o precizie de poziționare pe trei direcții de aproximativ 10μ) și i se stabilește diametrul optim de lucru. Apoi, brațul dispozitivului efectuează o mișcare de precesie în patru pași unghiulari discreți, perpendicular pe profilul suprafeței, pași care constituie o trecere. Parametrii deplasării, diametrul optim al zonei de contact a dispozitivului de polizare cu suprafața și timpii de acționare pentru fiecare secvență de prelucrare sunt determinați automat prin algoritmi bazați pe datele referitoare la erorile măsurate ale profilului suprafeței. Duritatea suportului de polizare este prestabilită, iar uzura sa este monitorizată și compensată automat. Se obțin suprafețe asferice cu textură de ordinul a 1 nm și cu abateri "peak-and-valley" de la forma asferică dată de $0,5\mu$, în condiții de reproductibilitate foarte bună [5].

Procedeul tehnologic *precessions process* se aplică la prepolizarea, polizarea finală și de corecție în serie a suprafețelor asferice cu diametre de la 20 la 300 mm, dar și la polizarea de corecție a suprafețelor asferice cu diametre de până la 1000 mm [6].

Recentele dezvoltări tehnologice ale procedurii permit generarea și șlefuirea fină a suprafețelor asferice, utilizând scule diamantate de diferite granulații. Prelucrările se fac pe centre de prelucrare CNC, care execută operațiile de generare a suprafeței asferice, șlefuire fină/prepolizare și prelucrare

a conturului pentru centrarea suprafețelor. Programul de calculator încorporează toate etapele necesare realizării unei șlefuii fine deterministice, bazată pe parametrii controlabili ai suprafeței și ai sculei, introducând și corecțiile necesare cauzate de uzura sculei; de asemenea, optimizează parametrii procesului de prelucrare, astfel încât să se asigure o rată constantă de îndepărtare a materialului [7],[8].

Un astfel de centru CNC este format din mașini cu comandă numerică produse de firma Schneider-Germania, specializate în prelucrarea suprafețelor asferice. Centrul CNC include un generator CNC tip SCGA 121, o mașină de polizat SCPA 121, un profilometru PG 11240 Taylor-Hobson. Generatorul SCGA 121 este o platformă cu șapte axe CNC care șlefuieste gros și fin suprafețe asferice în serie, fiind prevăzut cu: sistem automat de încărcare a semifabricatelor; sisteme automate de schimbare a sculelor; echipamente standard pentru măsurarea grosimilor la centru; profilometru cu vârf de diamant de 2μ și rezoluția deplasării pe verticală de 1 nm, pentru măsurarea în timp real și corectarea profilului asferic; sistem automat de compensare a uzurii sculelor. Se obțin suprafețe asferice de diferite profiluri șlefuite fin, cu abateri de la forma prescrisă de $1-2\mu$ [9].

3. Polizarea magnetoreologică (MRF)

Polizarea magnetoreologică este un proces tribochimic, patentat la începutul anilor '90 de o echipă internațională la Center for Optics Manufacturing (COM) - Universitatea Rochester-SUA și comercializat la scurt timp de firma QED Inc. SUA, care a stabilit tehnologia industrială și a construit primele mașini MRF pentru comercializare. Se bazează pe acțiunea unui fluid magnetoreologic vâcos, a cărui vâcositate poate fi variată controlat [10], de la consistența mierii de albine până la consistența unui clei, atunci când este pompat într-o regiune cu un câmp magnetic de 2Kg. Fluidul constă într-un amestec de micropulberi abrazive-oxizi de aluminiu sau nanopulberi de diamant - și particule de oțel

carbon în suspensie în apă. Dacă se plasează pentru două secunde o piesă martor din sticlă șlefuită fin, montată pe axul port-piesă, la distanța de 0.5 ± 0.025 mm în interiorul jetului de fluid vâscos gros de 2 mm, se obține o porțiune polizată ale cărei dimensiuni servesc apoi la determinarea precisă a ratei de îndepărtare a materialului. Cunoscând rata de îndepărtare a materialului și profilul suprafeței ce urmează a fi prelucrată, se programează traiectoria substratului prin dreptul jetului de fluid și timpii de acționare a fluidului magnetoreologic pentru o secvență de prelucrare.

Prin acest procedeu de polizare neconvențională, cu scula de polizare subapertură și fără a se exercita presiune asupra suprafeței în timpul prelucrării, se obțin suprafețe de orice formă (plane, sferice, asferice) cu abateri de formă și locale, mai mici de 20 nm p-v (peak and valley) / 2 nm rms și rugozități rms sub 0,5 nm, pe substrat de sticlă optică (sorturi de diferite durități), cuarț optic, cristale dure (siliciu) sau foarte

moi și friabile (fluorită, KDP), ceramici optice policristaline (Zerodur, sulfură de zinc, carbură de siliciu). Utilajele construite pe acest principiu de firma QED (figura 3) sunt mașini cu comandă numerică, pe care se pot executa operații de polizare și de polizare de corecție atât pentru suprafețe plane și sferice, cât și pentru suprafețe asferice. Utilajele programează, reglează și mențin parametrii de poziție ai suprafeței prelucrate, calculează timpii de acțiune asupra unei porțiuni de suprafață pentru o secvență de prelucrare și asigură recondiționarea fluidului magnetoreologic, pentru menținerea vâscozității optime cu o precizie de $\pm 1\%$. Scula de polizare subapertură, de natură fluidică, este lipsită de uzură, conformă cu profilul local al suprafeței și i se poate determina dimensiunea optimă de contact cu suprafața de polizare, conducând la finisarea oricărui tip de suprafață asferică. Ea este reprezentată practic de banda de fluid magnetoreologic care este plasată la periferia roții (figura 3).

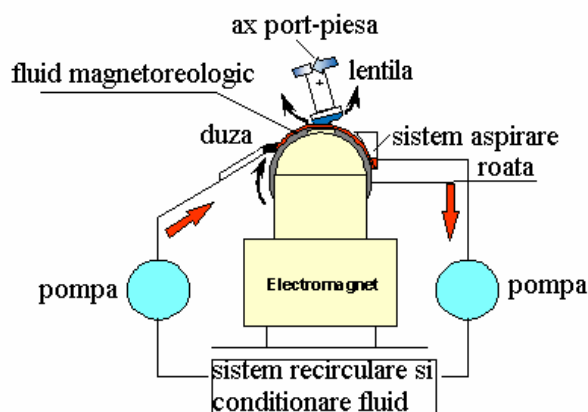


Fig. 3 Schema de principiu a unei mașini MRF pentru polizare

Se asigură un proces de prelucrare pe baze deterministice, în cadrul căruia toți parametrii de lucru sunt cunoscuți și menținuți. Mașinile de polizare tip CNC, construite pe acest principiu de către firma QED Inc.-SUA în colaborare cu firma Schneider-Germania se oferă în două variante și anume:

- modelul Q-22X, pentru piese plane, sferice și asferice cu simetrie de rotație;
- modelul Q-22Y, oferă toate posibilitățile mașinii Q-22X, plus prelucrarea pieselor plane, sferice și asferice cu contur cu formă liberă, a prismelor și opțional și a suprafețelor cilindrice, fiind utilizate împreună cu generatorul de suprafețe tip ALG 200 produs de aceeași firmă.

Utilajele care au patru, respectiv cinci axe comandate numeric, permit realizarea unor suprafețe asferice cu diametre de până la

200 mm, având abateri de formă “peak-and-valley” de ordinul a 100 nm și rugozitatea rms sub 10 nm [10].

Bibliografie

- [1] **ASPEN, R.; MC DONOUGH,** - *Applied Optics*, Vol.13, Nr.11, pg. 2738, 1979;
- [2] **PRESTON F.W.,** - *Journal of Glass Technology*, 1927;
- [3] **WALKER, D.D.,** - *Precessions Asphering Polishing- New Results from the Development Programme*, www.QEDtechnologies .com;
- [4] **RUPP, W.; PLOTAKER, V.,** - *Applied Optics*, Vol.32, Nr. 7, pg. 1048, 1993;
- [5] **R. MATHEWS** - *Optical Works Inc., Optimization with Aspherics*, prospect firma;
- [6] *** - *Prospecte firma Zeeko Ltd., Anglia*;
- [7] **WALKER, D.D.,** - *New Results Extending the Precession Process to Smoothing ground Aspheres and Producing Freeform Parts*, www.QEDtechnologies .com;
- [8]*** - *Prospect de prezentare firma OptiPro Systems, SUA*;
- [9] **TARDIFF, M.,** - *Networked Equipment Makes Spherical and Aspheric Optics Manufacturing Predictable*, NASA Tech Brief, Nov 2005;
- [10] **STEPHEN D. JACOBS,** - *Innovations in Polishing of Precision Optics*, COM Newsletter 2003, University of Rochester, USA.