

# Echtzeitholografie mit BSO-Kristall zum Messen der Schichtdickenänderung beim Aushärten von Zwei-Komponenten-Klebstoffen

B.Pfister, H.J.Tiziani

Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 9, D-7000 Stuttgart 80

## Einleitung

Bei Präzisions-Klebeverbindungen empfindlicher Bauteile können infolge der Schichtdickenänderung des Klebstoffs beim Aushärten (Schwinden) neben maßlichen Veränderungen auch erhebliche Spannungen und daraus resultierende unzulässige Bauteil deformationen auftreten.

Um die Schichtdickenänderung quantitativ erfassen zu können, sind insbesondere berührungslos messende Verfahren geeignet, da die Messungen während des Aushärtens des Klebstoffes, d.h. in seiner "flüssigen Phase" erfolgen müssen.

Unter bestimmten noch zu erörternden Voraussetzungen bietet sich die Echtzeitholografie an, diese Meßaufgabe zu lösen.

## Meßverfahren

Es hat sich gezeigt, daß die Gesamtverformung der Klebstoffschicht während des Aushärtens den Meßbereich der Holografie um ein Mehrfaches übersteigt. Der gesamte Aushärtevorgang kann somit nicht mit dem ersten Hologramm (Nullhologramm) verglichen werden. Aus diesem Grunde muß eine Vielzahl von Einzelhologrammen möglichst lückenlos (ohne Informationsverlust) aneinandergereiht werden.

Die aus den Einzelhologrammen errechneten Relativverformungen können dann zur Gesamtverformung aufsummiert werden.

Da die Schichtdickenänderung  $\Delta s(t)$  nach dem Mischen der beiden Komponenten Binder und Härter ein stetiger, nach einer Exponentialfunktion verlaufender Vorgang ist, resultiert vor allem für die Anfangsphase der Aushärtung die Forderung nach sehr kurzen Taktzeiten ( $\Delta T < 1 \text{ min}$ ) für das Echtzeit-Holografieverfahren. Wobei während  $\Delta T$  das Hologramm belichtet und ausgewertet werden muß.

Die erforderlichen kurzen Taktzeiten können dann erreicht werden, wenn die Echtzeitholografie kombiniert wird mit einem Wismut-Siliziumoxid (BSO)-Kristall als Hologrammspeicher sowie einer automatischen Hologrammauswertung nach der Phasenshiftmethode.

### BSO-Kristalle als Hologrammspeicher

Bei der Hologrammspeicherung im BSO-Kristall wird der lineare elektrooptische (Pockels-) Effekt ausgenutzt.

Infolge der Fotoleitfähigkeit des BSO-Kristalls entsteht bei der Belichtung ein Raumladungsfeld entsprechend der Intensitätsmodulation des aus der Interferenz von Objekt- und Referenzwelle resultierenden Mikrointerferenzstreifenmusters. Der elektrooptische Effekt bewirkt dann eine dem Raumladungsfeld entsprechende räumliche Modulation der Brechzahl (Phasenvolumenhologramm) /1/,/2/. Dazu werden freie Ladungsträger an Orten konstruktiver Interferenz in das Leitungsband gehoben, die dann bevorzugt an Orten destruktiver Interferenz getrappt werden.

Die Elektronendrift im BSO-Kristall und damit seine Empfindlichkeit läßt sich durch Anlegen eines konstanten transversalen elektrischen Feldes (ca. 6 kV/cm) erheblich erhöhen. Dann beträgt die Empfindlichkeit im blau-grünen Spektralbereich etwa  $0,3 \text{ mJ/cm}^2$ , für einen Beugungswirkungsgrad von 1% /1/.

Da sich das Brechzahlgitter bereits während der Hologrammbelichtung aufbaut, ist der BSO-Kristall besonders geeignet für die Echtzeitholografie. Er ist, zum großen Vorteil für die Praxis, beliebig oft löschar, also wiederverwendbar; bei langzeitigem praktischem Einsatz sind keine Ermüdungserscheinungen aufgetreten.

### Automatische Hologrammauswertung

Das oben beschriebene holografische Relativmeßverfahren ist mit einem BSO-Kristall nur dann realisierbar, wenn die Einzelhologramme während der minimalen Taktzeit von  $\Delta T < 1 \text{ min}$  ausgewertet werden können.

Dies ist möglich mit einer rechnergestützten Hologrammauswertung nach der Phasenshiftmethode /3/. Damit können Verformungen vorzeichenrichtig aus drei Hologrammen verschiedener aber bekannter Phasenbeziehung berechnet werden.

Die Phasenverschiebung wird hier mit einem Piezospiegel im Referenzstrahl vorgenommen, sie beträgt jeweils  $90^\circ$ .

Bild 1 zeigt schematisch die verwendete Holografieanordnung mit BSO-Kristall (8) und rechnergestützter Hologrammauswertung.

Die für die Berechnung der Verformung erforderlichen drei phasenverschobenen Hologramme werden nacheinander über eine TV-Kamera im Bild-

speicher des Rechners abgespeichert. Aus den Intensitäten  $I_1(x,y)$ ,  $I_2(x,y)$ ,  $I_3(x,y)$  der drei Hologramme kann die Interferenzphase  $\phi(x,y)$  berechnet werden und daraus die Verformung für jeden Objektpunkt.

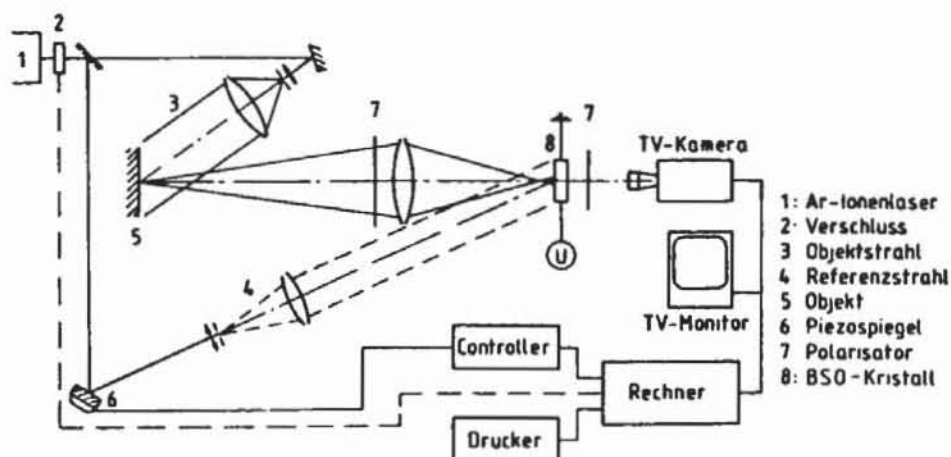


Bild 1. Versuchsanordnung Echtzeitholografie mit BSO-Kristall und automatischer Hologrammauswertung

### Ergebnisse

Die Messungen wurden an einer keilförmigen Klebstoffschicht vorgenommen, bei einer Anfangsschichtdicke von 0,15 mm (max. Keildicke). Um Adhäsionskräfte und daraus resultierende Verformungen an der kreisförmigen Berandung (25 mm) zu minimieren, war die Berandung aus Teflon angefertigt. Da die Holografie diffus reflektierende Oberflächen verlangt, muß der relativ transparente Klebstoff mit einer dünnen mattweißen Lackschicht überzogen werden.

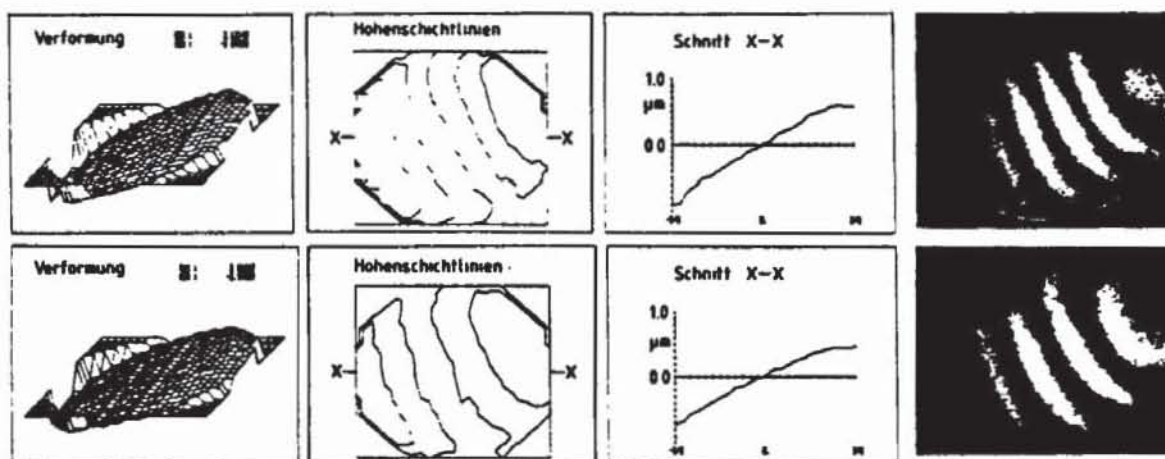


Bild 2. Automatisch ausgewertete Echtzeithologramme "Aushärten eines Zwei-Komponenten-Klebstoffs", a) berechnete Verformung, b) aus der Verformung berechnete Höhenschichtlinien, c) Schnitt durch die Deformation, d) rekonstruierte Hologramme

Bild 2 zeigt beispielhaft zwei zeitlich aufeinanderfolgende, automatisch ausgewertete Hologramme im Verlauf eines Aushärtevorganges. Aufgrund der keilförmigen Klebstoffschicht ergeben sich nahezu parallel verlaufende Interferenzstreifen. Es handelt sich somit um eine Neigung der Oberfläche um die Stelle des Keils mit der Dicke Null, überlagert von einer schwachen Durchbiegung der Fläche. In Bild 3 sind für einen Aushärtevorgang die relativen Verformungen von 35 Einzelhologrammen zur Schichtdickenänderung  $\Delta s$  aufsummiert, für einen Zeitraum von  $t=39$  min bis  $t=250$  min (nach dem Mischen von Binder und Härter) und einer Anfangsschichtdicke von 0,15 mm.

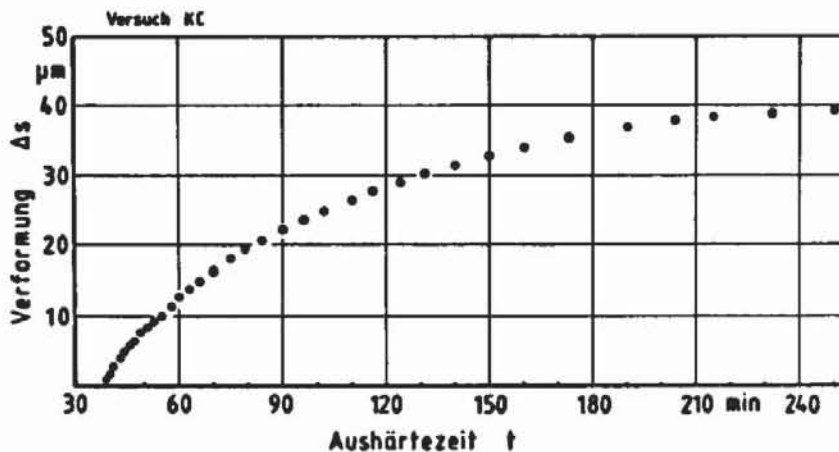


Bild 3. Schichtdickenänderung  $\Delta s(t)$  eines Zwei-Komponenten-Klebstoffs, holografisch gemessen in Echtzeit, ausgewertet mit einer automatischen Hologrammauswertung

Nach 250 min entstehen im rekonstruierten Hologramm auch nach längerer Wartezeit (ca. 20 min) keine Interferenzstreifen mehr, also auch keine Verformung und somit kein weiteres Schwinden der Klebstoffschicht. Die maximale Schichtdickenänderung beträgt nahezu 40  $\mu\text{m}$  nach  $t=250$  min, die Klebstoffschicht schwindet um ca. 26 %, eine Größenordnung, die bei präzisen Klebeverbindungen nicht vernachlässigbar ist.

#### Literatur

- /1/ H.J.Tiziani  
Real-time metrology with BSO crystals, Optica Acta 29(1982), 469
- /2/ F.Höllner, H.J.Tiziani  
A spatial light modulator using BSO crystals, Opt.Comm.58(1986)
- /3/ B.Dörband  
Die 3-Interferogramm-Methode zur automatischen Streifenbewertung  
in rechnergesteuerten digitalen Zweistrahlinterferometern  
Optik No.2 (1982), 161