

Henning Katte, ilis gmbh, Erlangen

Präzise Messung der Spannungs-Doppelbrechung in optischen Gläsern

In der industriellen Optik, insbesondere im Bereich der Mikrolithographie, Astronomie und Laseroptik, kommen hochhomogene optische Gläser zum Einsatz. Material- oder fertigungsbedingte Eigenspannungen beeinflussen über den Effekt der Spannungs-doppelbrechung die Polarisation des Lichts, was in anspruchsvollen optischen Anwendungen, bei denen es auf höchste Präzision ankommt, unerwünscht ist. Die produktionsnahe Prüfung der Restspannungen ist deshalb ein wichtiger Bestandteil der Qualitätskontrolle.

Einleitung

Oft erfolgt die Prüfung noch manuell unter Verwendung von einfachen Polariscope, die Spannungs-doppelbrechung in Form von Intensitätsunterschieden oder Interferenzfarben sichtbar machen. Allerdings ist diese Form der Messung stark vom jeweiligen Benutzer abhängig und die Ergebnisse können nicht automatisch dokumentiert werden.

Bei hohen Genauigkeitsanforderungen kommen daher bereits automatische Messsysteme zum Einsatz, die mit einem Laserstrahl den Prüfkörper abrastern. Da die Anforderungen an die Oberflächengüte und die Umgebungsbedingungen jedoch hoch sind und die Messgeschwindigkeit aufgrund der spannenden Arbeitsweise eher gering ist, sind solche Systeme für eine 100%-Prüfung nicht immer einsetzbar. Mit den Messgeräten der StrainMatic® M2 und M3 Reihe bietet ilis bereits seit einigen Jahren automatisierte, bildgebende Polarimetersysteme an, die eine schnelle und genaue Messung und Auswertung der Spannungs-doppelbrechung in Glas und Kunststoff ermöglichen. Allerdings waren die bisher verfügbaren Modelle eher auf die Anforderungen der Hohlglasindustrie abgestimmt (das Haupt Einsatzgebiet ist dort die Kühlbahnoptimierung zur Senkung des Energieverbrauchs).

Im Rahmen der Weiterentwicklung wurde die Modellpalette um die M4-Reihe erweitert, die an die speziellen Anforderungen der Optikindustrie angepasst ist. Das erste Messsystem vom Typ StrainMatic® M4/300 mit einem zeichnungsfreien Messfeld von 300 mm Durchmesser wurde an einen großen Hersteller von optischen Gläsern geliefert und wird dort zur schnellen und genauen Prüfung von großformatigen Rohgläsern, aber auch zur Analyse von mechanischen Spannungen in komplex bearbeiteten Bauteilen aus Glas oder Glaskeramik eingesetzt.

Messprinzip

Bild 1 zeigt den grundlegenden Aufbau eines Polarimeters zur Messung der Spannungs-doppelbrechung nach dem Photoelastizitätsprinzip. Die Pro-

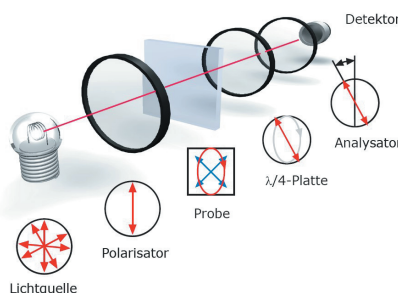


Bild 1: Prinzipieller Aufbau eines Polarimeters zur Messung der Spannungs-doppelbrechung

be wird mit linear polarisiertem Licht durchleuchtet, welches von einer monochromatischen Lichtquelle und einem Polarisator erzeugt wird. Durch Spannungs-doppelbrechung im Prüfkörper wird dieses linear polarisierte Licht in elliptisch polarisiertes Licht umgewandelt. Eine Viertelwellenplatte wandelt das elliptisch polarisierte Licht wieder in linear polarisiertes Licht zurück, dessen Polarisationsebene gegenüber der ursprünglichen Polarisationsrichtung jedoch um einen Winkel gedreht ist, der proportional zur zugrunde liegenden Spannungs-doppelbrechung ist. Der Polarisationswinkel kann mit einem drehbaren Analysator bestimmt und daraus der optische Gangunterschied berechnet werden.

In Grundstellung ist der Analysator im rechten Winkel zum Polarisator angeordnet. Ohne Spannungs-doppelbrechung erhält man also ein schwarzes Bild, da das Licht vollständig vom Analysator blockiert wird. Spannungen im Prüfkörper führen zu lokalen Aufhellungen, da ein Teil des Lichtes vom Analysator durchgelassen wird. Dreht man nun den Analysator, vermindert sich die Intensität, siehe Bild 2. Die minimale Intensität ist erreicht, wenn die Polarisationsrichtung des Analysators wieder senkrecht zur Polarisationssebene des Lichtes steht.

Gemäß der Beziehung $R = \alpha \cdot \lambda / 180^\circ$ (α ist der Drehwinkel in Grad und λ die Wellenlänge des verwendeten Lichts in nm) lässt sich der Gangunterschied R in nm als Maß für die Spannungs-doppelbrechung bestimmen.

In der StrainMatic® wird dabei nicht ein einzelner Punkt, sondern das ge-

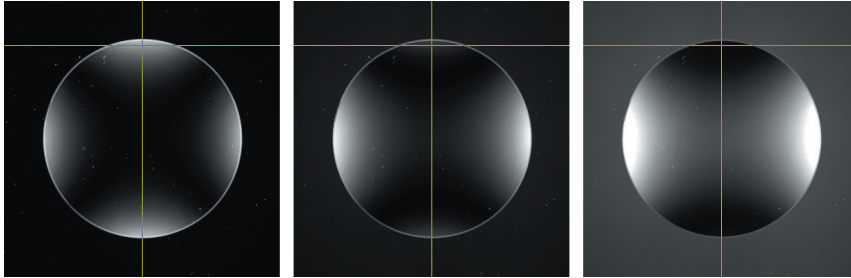


Bild 2: Intensitätsbilder eines Spannungsnormals, einer sogenannten „Strain Disc“, unter 0°, 4° und 8° Analysatorstellung

samte Messfeld gleichzeitig betrachtet. Anstelle eines Lasers kommt eine Flächenlichtquelle und statt eines Photodetektors eine CCD-Kamera zum Einsatz. Die laterale Auflösung wird dabei durch die Größe des Messfeldes und der Auflösung der Kamera bestimmt.

Prinzipbedingt lassen sich mit dem beschriebenen Aufbau nur Spannungen bestimmen, die in 45° zur Polarisatorachse orientiert sind. Alle anderen Orientierungen sind abgeschwächt oder werden vollständig unterdrückt. (In Bild 2 ist der Polarisator quer zu den Bildachsen angeordnet. Die eigentlich rotationssymmetrische Spannungsverteilung erscheint deshalb als „Spannungskreuz“.)

Aus diesem Grund werden mehrere Messungen unter verschiedenen Polarisatorstellungen durchgeführt (statt das Messobjekt zu drehen, rotiert die Optik quasi um die Probe),

und die Teilergebnisse werden zu einem Gesamtergebnis kombiniert. Bild 3 zeigt das Ergebnis einer solchen Messung. Die Messwerte werden farbcodiert dargestellt (blau für kleine, grün und gelb für mittlere und rot für große Werte). Die Farbskala kann dabei vom Anwender frei gewählt werden.

Besondere Anforderungen

Die Spannungsdoppelbrechung wird bei optischen Gläsern meist in der Einheit nm/cm angegeben, d.h. auf eine feste Schichtdicke von 1 cm bezogen. Dazu wird der Messwert durch die jeweilige Probendicke dividiert. Diese Normierung ist natürlich nur zulässig, wenn sich die Spannung entlang der Z-Achse nicht ändert. Typische Rohgläser in Scheiben- oder Blockform erfüllen diese Bedingung näherungsweise, allerdings muss bei

der Messung sichergestellt werden, dass der Strahlengang auch senkrecht zur Probenoberfläche verläuft. Bei Verwendung von Standardobjektiven ist diese Bedingung nur im Zentrum des Messfeldes erfüllt, wie in Bild 4 links zu sehen ist. In der StrainMatic® M4 Serie kommen daher telezentrische Objektive zum Einsatz, die einen parallelen Strahlengang über das gesamte Messfeld gewährleisten (siehe Bild 4 rechts).

Des Weiteren muss sichergestellt sein, dass die Temperatur in der Probenkammer während der Messung stabil bleibt, da bereits geringe Temperaturänderungen eine deutliche Veränderung der Spannungsverteilung bewirken können.

Realisiertes Messsystem

Bild 5 zeigt das realisierte Messsystem vom Typ StrainMatic® M4/300. Die Messfeldgröße beträgt hier standardmäßig 232 x 174 mm². Bei einer Kameraauflösung von 640 x 480 Pixel ergibt dies eine Ortsauflösung (horizontaler und vertikaler Pixelabstand) von ca. 0,36 mm. Das Messobjekt lagert auf einem Probenträger, der in X- und Y-Richtung frei verschoben werden kann. Dadurch können auch Objekte vermessen werden, die deutlich größer als das Messfeld sind. (Die Einzelergebnisse können dabei

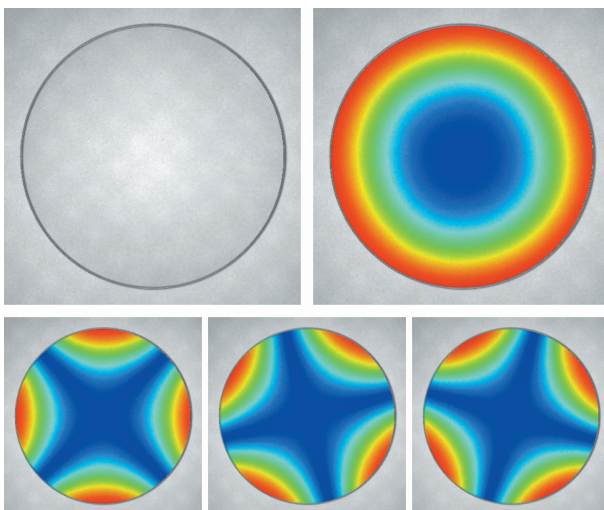


Bild 3: Kamerabild eines Spannungsnormals mit Messergebnis (obere Zeile) sowie die zugehörigen Teilergebnisse unter 0°, 30° und 60° Polarisatorstellung (untere Zeile)

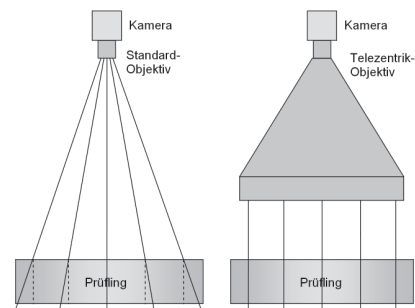


Bild 4: Vergleich des Strahlengangs bei Verwendung von Standardoptiken (links) und telezentrischen Objektiven (rechts)



Bild 5: StrainMatic® M4/300 Polarimeter-System mit Messobjekt

chung) ist besser als 0,1 nm (bei einer Probendicke von 50 mm entspricht dies 0,02 nm/cm).

Zur Steuerung und Auswertung kommt eine einfach zu bedienende Windows-Software zum Einsatz, siehe Bild 6. Alle Messergebnisse werden automatisch in einer Datenbank archiviert und stehen so jederzeit für eine nachträgliche Auswertung zur Verfügung.

Weitere Modellvarianten

Für die Untersuchung von kleineren Probengrößen sind die Modelle M4/130 mit 104 x 78 mm² Messfeldgröße (0,16 mm Ortsauflösung) und M4/50 mit 40 x 30 mm² Messfeldgröße (0,06 mm Ortsauflösung) verfügbar. Beide Modelle sind auch in speziellen, besonders robusten Varianten lieferbar, die für den Dauerbetrieb direkt in der Produktions- oder Prüflinie ausgelegt sind.

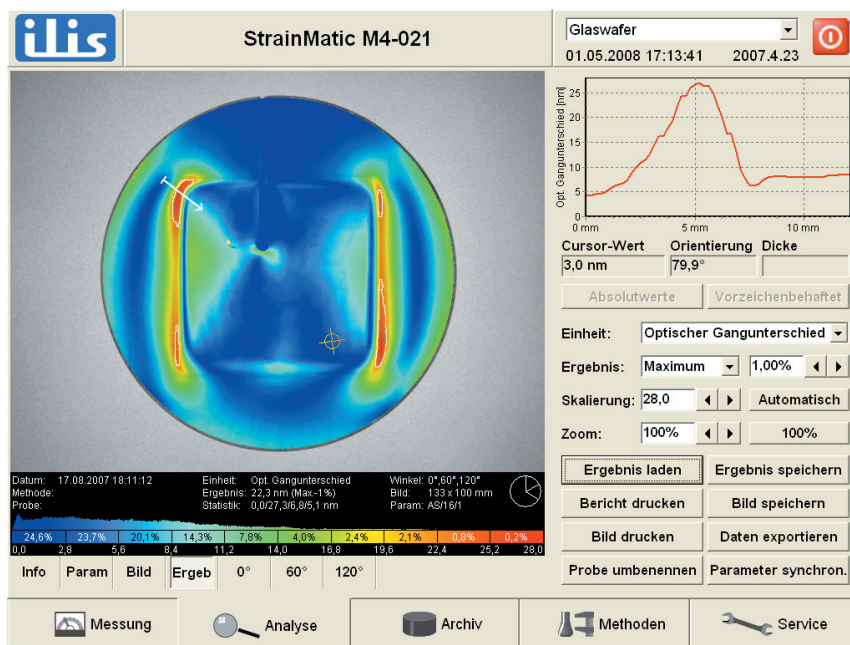


Bild 6: Bedienoberfläche mit farbcodierter Darstellung des Messergebnisses und Linescan-Auswertung

mit einer Stiching-Software zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden.) Zum einfacheren Beladen kann der Probenträger aus dem Gerät fast

vollständig herausgefahren werden. Die typische Messzeit liegt bei ca. 30 Sekunden. Die Reproduzierbarkeit (bezogen auf die mittlere Abwei-

Zusammenfassung

Die Messgeräte der StrainMatic® M4 Serie automatisieren die Messung und Auswertung der Spannungsdoppelbrechung und ermöglichen die schnelle und genaue Bestimmung der Eigenspannungen in klein- und großformatigen optischen Materialien. Die Vorteile für den Anwender: objektive und verlässliche Ergebnisse, einfache und sichere Bedienung, Qualitätsverbesserung durch produktionsnahe Messung, Rückverfolgbarkeit durch automatische Archivierung aller Ergebnisse sowie Kostenreduzierung durch Optimierung des Produktionsprozesses.

Weitere Informationen:
 ilis GmbH,
 Konrad-Zuse-Str. 12,
 D-91052 Erlangen,
 T: 09131 9747790, F: 09131 9747799,
 e-Mail: info@ilis.de,
 www.ilis.de