

Zusammenfassung

IGF-Vorhaben-Nr.: 285 ZN

Zerstörungsfreie Spannungsrisssprüfung von Kunststoffen in Kontakt mit therapeutischen und medizinischen Fluiden

Die umgebungsbedingte Spannungsrisssbildung in Kunststoffbauteilen ist Hauptursache für auftretende Bauteildefekte. 25 % aller Schäden sind auf diesen beschleunigten Alterungsmechanismus zurückzuführen. Beständigkeitslisten mit diversen Kunststoff/Fluid-Kombinationen sollen Konstrukteuren und Anwendern eine Hilfestellung bei der Wahl des Werkstoffs in den jeweiligen speziellen Umgebungsmedien geben, jedoch erweisen sich diese als unvollständig. Gerade in der noch jungen, jedoch stark wachsenden Disziplin der Medizintechnik sind viele Kombinationen von sogenannten medical-grade Kunststoffen und in der Medizintechnik auftretenden Flüssigkeiten (z.B. Blut, Desinfektionsmittel etc.) bisher weitestgehend unberücksichtigt.

Auftretende Spannungsrisse können selbst bei transparenten Kunststoffen nicht immer rechtzeitig erkannt werden. Bei eingefärbten oder teilkristallinen Kunststoffen ist eine visuelle Spannungsrisssdetektion im Allgemeinen nicht möglich. Es kommt deshalb häufig zu einem unvorhergesehenen Bauteilversagen durch Spannungsrisssbildung. Ziel des Forschungsvorhabens war deshalb, mit der Phased-Array Ultraschalltechnik ein Prüfverfahren zu entwickeln, welches in der Lage ist Spannungsrisse in Kunststoffbauteilen frühzeitig und zerstörungsfrei zu detektieren. Darüber hinaus sollen wichtige neue Erkenntnisse über die Spannungsrisssbeständigkeit von in der Medizintechnik eingesetzten Kunststoffen in Wechselwirkung mit medizinischen Fluiden gewonnen werden.

Daher wurde am SKZ in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Medizintechnik an der TU München ein Forschungsvorhaben mit dem Thema „Zerstörungsfreie Spannungsrisssprüfung von Kunststoffen in Kontakt mit therapeutischen und medizinischen Fluiden“ durchgeführt, das durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke e.V.“ (AiF) im Rahmen des ZUTECH-Initiativprogramms aus den Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) gefördert wurde.

Die Spannungsrissempfindlichkeit wurde anhand des an die Normenreihe DIN EN ISO 22088 angelehnten Biegestreifenverfahrens evaluiert. Dazu wurde ein spezieller Prüfstand konstruiert, gefertigt und in Betrieb genommen. Besonderheit dabei bilden die gewählten Werkstoffe des Prüfstands, welche das Prüffluid chemisch nicht verändern (z.B. durch Ionenaustausch). Zudem wurde der Versuchsstand mit einem Temperiersystem versehen, das es erlaubt die Prüf Flüssigkeiten auf eine konstante Prüftemperatur (z.B. 37 °C Körpertemperatur) zu erwärmen.

Es wurden Prüfkörper aus Polycarbonat (PC), Methylmethacrylat-Acrylnitril-Butadien-Styrol (MABS), Cycloolefin-Copolymer (COC) sowie Polysulfon (PSU) spritzgegossen und anschließend statisch mit verschiedenen Biegeradien über eine Dauer von 62 Tagen in den gewählten Prüfmedien (Blutplasma, Elektrolytlösungen, voll entsalztes Wasser und diverse Desinfektionsmittel) belastet. Im Anschluss wurden die Prüfkörper visuell auf Spannungsrisssbildung untersucht. Die Prüfung der verbleibenden Restfestigkeit und der Bruchdehnung erfolgte im Zugversuch, um Korrelationen zwischen Schädigungsgrad und resultierenden mechanischen Eigenschaften zu erlangen.

Es zeigen sich wesentliche Unterschiede in der Rissbeständigkeit abhängig von der gewählten Kunststoff/Fluid-Kombination. So erwies sich MABS in Kontakt mit den Prüfmedien als relativ beständig im Vergleich zu PC. Der Hochleistungskunststoff PSU sowie COC zeigten ebenfalls eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Spannungsrisssbildung in den getesteten Fluiden.

Zur Untersuchung des Einflusses einer dynamischen Belastung wurde ein weiterer Prüfstand konstruiert und aufgebaut. Anschließend wurde das Spannungsrisssverhalten von Polycarbonat bei zyklischer Belastung unter Medienkontakt untersucht und der Vergleich zur rein statischen Belastung aufgestellt. Es zeigte sich, dass eine zyklisch einwirkende Be- und Entlastung die Spannungsrisssbildung in Polycarbonat zeitlich beschleunigt und zu einem früheren Abfall der Restfestigkeiten führt im Vergleich zur statischen Beanspruchung unter ansonsten gleichen Bedingungen.

Um realitätsnahe Beständigkeitsuntersuchungen an Kunststoffbauteilen eines Herzunterstützungssystems durchführen zu können, wurde ein künstlicher Blutkreislauf aufgebaut, der die Bauteile pulsatil mit Blutplasma durchströmt. Nach definierten Zeitabständen wurden die Bauteile einer visuellen Risskontrolle unterzogen. Da keine Alterungserscheinungen an den Bauteilen zu erkennen waren, wurden ergänzend miniaturisierte Zugstäbe des gleichen Materials unter definierten Biegebelastungen den gleichen Umgebungsmedien ausgesetzt und untersucht. Hierbei zeigte sich, dass unter wesentlich höheren mechanischen Belastungen die Spannungsrisssbildung deutlich zunimmt.

Anhand einer web-basierten Bildanalyse-Software wurde die automatisierte optische Rissvermessung evaluiert. Dazu wurde zur reproduzierbaren Bilderzeugung der Prüfflächen ein Versuchsstand aufgebaut und in Betrieb genommen. Das Analysetool konnte jedoch nur ansatzweise zur automatisierten Rissauswertung eingesetzt werden.

Die mit Spannungsrisssen behafteten Prüfkörper wurden mittels Phased-Array-Ultraschalltechnik untersucht. Nach Kalibrierung des Messgeräts und Optimierung des Messaufbaus sowie der Prüfparameter konnte ein Zusammenhang zwischen Ultraschall-Fehleramplitude und den optisch ermittelten Rissabmessungen (Tiefe, Länge, Fläche) aufgestellt werden. Zur Korrelation zwischen Ultraschallsignal und verbleibender Festigkeit des spannungsrisssbehafteten Kunststoffs wurden Zugversuche an den Probekörpern durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass in allen Fällen eine Rissdetektion mittels Ultraschall gegeben war, bevor es zu einem deutlichen Abfall der Festigkeit kommt. Mit zunehmendem Schädigungsgrad nimmt die Höhe der Ultraschall-Fehleramplituden sowie die Anzahl der Einzelanzeigen zu, welche mit der Rissgröße und Rissdichte/-anzahl korreliert werden können. Die Restfestigkeit ist in erster Linie abhängig von der Größe der Risse und lässt sich damit über die Höhe der Ultraschallechos abschätzen.

Neben der Phased-Array-Ultraschalltechnik wurde vergleichend die Mikro-Computertomographie als weitere Methode zur zerstörungsfreien Detektion von Spannungsrisssen in Kunststoffen getestet. Da Spannungsrisse allerdings flächenhafte 2-dimensionale Fehlerbilder darstellen, mit Risspalten von typischerweise nur wenigen Mikrometern, war eine Detektion der Risse im Computertomographen nicht möglich.

In diesem Forschungsprojekt konnte mit der Phased-Array-Ultraschalltechnik somit eine geeignete Prüfmethode entwickelt werden, die es erlaubt Spannungsrisse in Kunststoffbauteilen frühzeitig und zerstörungsfrei zu detektieren. Zudem konnte ein Beitrag zu den bestehenden Beständigkeitslisten von Kunststoff/Medien-Kombinationen geleistet werden, speziell für den Bereich des wachsenden Marktsegments der Medizintechnik. Dies dient Entwicklern und Anwendern hinsichtlich der kunststoffgerechten Bauteilauslegung und Materialwahl.

Danksagung und Bestellhinweis

Das IGF-Vorhaben 285 ZN der Forschungsvereinigung FSKZ e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die gesamten Forschungsergebnisse können einem umfangreichen Forschungsbericht entnommen werden. Dieser kann auf Anfrage beim SKZ zum Selbstkostenpreis bestellt werden. Die Rechnung wird mit dem Bericht zugeschickt.