

Laserspallation- eine neue Möglichkeit zur nicht thermischen Gewebeabtragung

Heinz Schmidt-Kloiber, Günther Paltauf

Institut für Experimentalphysik, Abteilung Biophysik
Karl-Franzens-Universität Graz, Universitätsplatz 5, 8010 Graz

EINLEITUNG

Spallationsexperimente werden üblicherweise so durchgeführt, daß man an der Rückseite eines Probekörpers eine elastische Druckwelle auslöst¹. Diese durchläuft den Körper und wird an dessen Vorderseite- eine freie Oberfläche vorausgesetzt- als Zugspannungswelle reflektiert. Liegt die Zugspannung über der Festigkeitsgrenze des Probekörpers, so kommt es zu dessen Zerstörung. In Festkörpern treten zur Oberfläche parallel verlaufende Risse auf, oder es werden größere Materialbereiche abgesprengt. In Flüssigkeiten entstehen Kavitationsblasen, deren weitere Ausdehnung ebenfalls zu Materialauswurf führen kann.

Mit Laserspallation bezeichnet man das Auftreten der oben beschriebenen Vorgänge, wenn sie durch Absorption von Laserstrahlung ausgelöst werden^{2,3}. Dazu muß die Energiezufuhr in den Probekörper so rasch erfolgen, daß die mit der Erwärmung entstehende mechanische Spannung nicht in die Umgebung abgeleitet werden kann; der Vorgang also isochor abläuft.

Betrachtet man das Eindringen von Laserstrahlung in einen Probekörper, so findet man- einfache Absorption vorausgesetzt- eine Intensitätsabnahme, die durch das Beer'sche Gesetz beschrieben wird:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot x} \quad (1)$$

$$\frac{1}{\alpha} = d$$

I_0 : Lichtintensität [W/m^2] an der Stelle $x = 0$

x : Ausbreitungsrichtung des Lichts

α : Absorptionskonstante [m^{-1}]

d : mittlere optische Reichweite [m]

Das bestrahlte Volumen wird durch den Strahldurchmesser und die mittlere optische Reichweite d bestimmt. Der Abbau mechanischer Spannungen erfolgt mit Schallgeschwindigkeit (c). Dividiert man diese Größen durcheinander

$$t_{ak} = \frac{d}{c} \quad (2)$$

c : Schallgeschwindigkeit [m/s]

t_{ak} : akustische Transitzeit [s]

so erhält man die akustische Transitzeit (t_{ak}) als jene charakteristische Zeitspanne, die von der Laserpulsdauer (t_p) nicht überschritten werden darf wenn Spallation auftreten soll.

$$t_p < t_{ak} \quad (3)$$

Gleichung (3) bestimmt die Bedingung, mit deren Hilfe mechanische Spannungen in einem begrenzten Volumen innerhalb eines Körpers aufgebaut werden können. Die dafür notwendige Temperaturerhöhung muß dabei keine großen Werte annehmen. Nach beendeter Lasereinstrahlung setzt die mechanische Relaxation voll ein und führt für den Fall, daß die Probenoberseite an Material mit geringerer akustischer Impedanz grenzt, zum Auftreten der eingangs geschilderten Materialzerstörung durch Zugspannungseffekte. Da die laserinduzierte Spallation an der gleichen Seite auftritt, an der auch die Laserstrahlung das Material trifft, und mit Hilfe der wellenlängenabhängigen mittleren optischen Reichweite optimiert werden kann, bietet sich diese Methode für die Durchführung laserchirurgischer Eingriffe an. Dies umso mehr, da durch die Entwicklung leistungsfähiger optischer parametrischer Oszillatoren (OPO) energiereiche (100 mJ) Laserpulse in einem weiten Wellenlängenbereich auf einfachste Weise erzeugt werden können.

METHODE

Die zeitaufgelöste Untersuchung der Laserspallation erfolgt mit Hilfe piezoelektrischer Folien zur Erfassung von Druck- und Zugspannungswerten. Die Ablenkung bzw. Abschattung eines kontinuierlichen Laserstrahls dient der Messung von Brechzahlgradienten, die analog zu Druck- und Temperaturänderungen auftreten, sowie der Detektion der Kavitationsblasendynamik.

Beschrieben wird im folgenden die zeitaufgelöste Darstellung der Vorgänge mit Hilfe kurzzeitbelichteter photographischer Aufnahmen (Abb.1). Der Laserpuls (1064 nm Wellenlänge, 8 ns Pulsdauer) wird von oben auf eine randvoll mit Probeflüssigkeit gefüllte Küvette gerichtet und löst Spallation aus. Im rechten Winkel dazu tritt durch die Versuchsanordnung zeitverzögert (0 bis 1000 μs) ein aufgeweiteter Laserstrahl (532 nm Wellenlänge, 8 ns Pulsdauer), der für die Belichtung des Filmes