

Finite-Element-Analyse opto-mechanischer Baugruppen

Thomas Peschel



Thomas Peschel

Einleitung

Die mechanische Aufnahme von optischen Elementen muss unter den unterschiedlichsten externen und internen Einflüssen deren korrekte Form und Position sicherstellen /1/. Wichtige externe Einflüsse sind dabei Gravitation und Umgebungstemperatur. Als interne Störgröße machen sich vor allem Wärmequellen und Klemmkräfte bemerkbar. Insbesondere bei sehr hohen Anforderungen an die Qualität der Optik erweist es sich als vorteilhaft, die durch Umwelteinflüsse auftretenden Deformationen bereits in der Design-Phase der Baugruppe mittels Finite-Element-Verfahren zu überprüfen und gegebenenfalls das mechanische Design zu optimieren.

Insbesondere lassen sich Deformationen im Nanometerbereich durch die Simulation zuverlässig vorhersagen, während ihre Messung in der Regel äußerst aufwändig ist. Die Möglichkeiten einer solchen Simulation sollen im Folgenden anhand eines Beispiels dargestellt werden.

Thermomechanische Simulation einer Laserbaugruppe

Im Auftrag der Firma Lasos /2/ sollte die Stabilität der Strahlausrichtung eines diodengepumpten, frequenzverdoppelten Festkörperlasers unter thermischen Lasten und Montagekräften untersucht werden. Die Baugruppe besteht aus jeweils einem Resonator- und Pumpmodul, dessen jeweilige Temperatur zur Abstimmung des Lasers über Peltier-Elemente separat eingestellt wird. Über Spannschrauben werden die Baugruppen untereinander und mit der Grundplatte verbunden.

Die auf das System wirkenden Lasten ergeben sich in erster Linie aus der Verlustleistung der Pumpdiode, infolge Absorption im aktiven Material und vor allem durch die Peltier-Elemente. In einem ersten Schritt wurde die Temperaturverteilung in der Baugruppe mittels Finite-Element-Methode /3/ analysiert.

Zur Simulation der Peltierelemente bietet das verwendete Programm keine vorgefertigten Elemente. Deshalb wurde der Peltier-Effekt durch je eine flächenhafte Wärmequelle und -senke an den Grenzflächen des Halbleitermaterials beschrieben sowie eine der Ohmschen Wärme entsprechende Volumenquelle einbezogen. Dieses Modell wurde zuerst anhand der Datenblätter des Herstellers an einzelnen Peltierelementen verifiziert und die einzelnen Quellen wurden aufeinander abgestimmt. Dann erfolgte der Einbau in das Gesamtmodell der Baugruppe und die Abstimmung auf die vom Auftraggeber vorgegebenen Temperaturen der einzelnen Module.

Thomas Peschel

Introduction

When mounting optical elements, it is necessary to maintain the elements' correct shape and position under a variety of external and internal influences /1/. The most important external (or environmental) influences are gravitation and ambient temperature while heat sources and clamping forces are the most significant internal disturbance variables.

When high optical quality is required, it is advantageous to use the finite-element method to investigate the deformations induced by environmental influences. This should already be undertaken during the design phase of the optical set-up. If necessary, the mechanical design may be revised. Deformations in the nanometer range may be predicted with particular reliability by the simulation but may be very difficult to measure. In the following, the advantages of such a simulation will be demonstrated using an example.

Thermo-mechanical simulation of a laser assembly

As part of an order for the Lasos company /2/ we investigated the pointing stability of a diode-pumped frequency-doubled solid state laser under thermal and clamping loads. The laser assembly consists of a resonator and a pump module, the temperature of which is adjusted individually using Peltier elements. Clamping screws connect the modules to each other as well as with a base plate.

The loads acting on the optical components are the result of heat generation by the laser diode, absorption by the active material and heat generated by the Peltier elements. As a first step, the temperature distribution in the optical assembly was analyzed using the finite-element method /3/.

The FEM program used does not offer predefined elements for Peltier simulation. The Peltier effect was thus accounted for by a plane heat source and drain, respectively, at both interfaces of the semiconductor material. Heat dissipation inside the semiconductor was simulated by a volume source. This model was verified by comparing the simulation results for single elements with the specifications provided by the supplier of the Peltier elements. The Peltier model was subsequently incorporated into the full simulation of the laser assembly and the source parameters were adjusted to reproduce the correct temperatures in the individual modules.

Ergebnisse

Für das mechanische Verhalten der Baugruppe sind auf Grund der differentiellen thermischen Ausdehnung in erster Linie die Temperaturgradienten in den einzelnen Modulen relevant. Als Maß dafür kann der Wärmefluss verwendet werden. Dieser ist für einen Längsschnitt durch die komplette Baugruppe in Abb. 1 dargestellt.

Unter dem Einfluss der Temperaturverteilung sowie der Vorspannung der Befestigungsschrauben kommt es zu Spannungen in den mechanischen Komponenten (siehe Abb. 2). Die größten Werte treten dabei in den Grund- und Deckplatten der Peltierelemente auf, da zwischen diesen große Temperaturunterschiede bestehen, die auf Grund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung der Platten zu einer Art „Bimetall“-Effekt führen. Die Spannungen in den für die Befestigung der optischen Elemente relevanten Teilen sind deutlich kleiner.

Für die Ausrichtung der optischen Elemente sind die Verkippungen der jeweiligen Referenzflächen wesentlich. Im Ergebnis der Simulation ergeben sich Verkippungen der optischen Elemente im Bereich weniger Bogensekunden. Gleichzeitig kann die Änderung der Ausrichtung beim Wechsel zwischen den unterschiedlichen Betriebszuständen des Lasers verfolgt werden. Im Ergebnis der Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass die Baugruppe den an sie gestellten Anforderungen genügt.

Literatur:

- /1/ P.R. Yoder: „Opto-mechanical systems design“, 2nd ed., New York, 1992.
- /2/ with the generous approval of LASOS Lasertechnik GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, D-07745 Jena, Germany.
- /3/ Finite-element program: ANSYS Version 5.6.2.

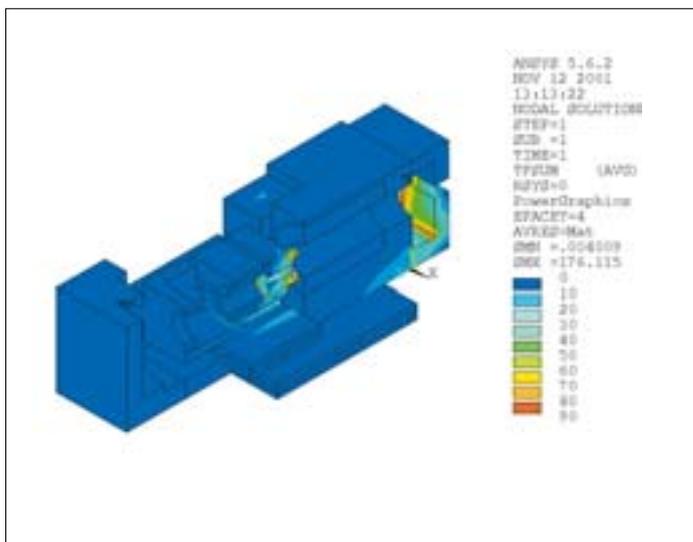


Abb. 1
Wärmefluss in der Laserbaugruppe.

Fig. 1:
Heat flux in the laser assembly (cut view).

Results

The mechanical stresses and deformations in the system are generated primarily by the temperature gradients within the individual modules. The heat flux calculated by the FEM program provides a good comparison for those gradients. The respective results for the complete assembly are given in fig. 1.

Stresses in the mechanical components arise due to the influence of the temperature distribution as well as the pretension of the clamping screws (see fig. 2). Maximum stress values can be found in both the base and cover plates of the Peltier elements because of the large temperature gradients across the Peltier elements which lead to a type of „bi-metal“ effect. The stresses affecting the mounting of the optical elements are considerably weaker.

The adjustment of the optical components is determined by the tilt of the respective reference planes. One result of the simulation was a tilt of the optical elements in the range of a few seconds of arc. Furthermore, changes could be determined in the alignment of the optical elements for different operational states of the laser. The simulation proved that the laser assembly complies with the requirements.

References:

- /1/ P.R. Yoder, Opto-mechanical systems design, 2nd ed., New York, 1992.
- /2/ with the generous approval of LASOS Lasertechnik GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, D-07745 Jena, Germany.
- /3/ Finite-element program: ANSYS Version 5.6.2.

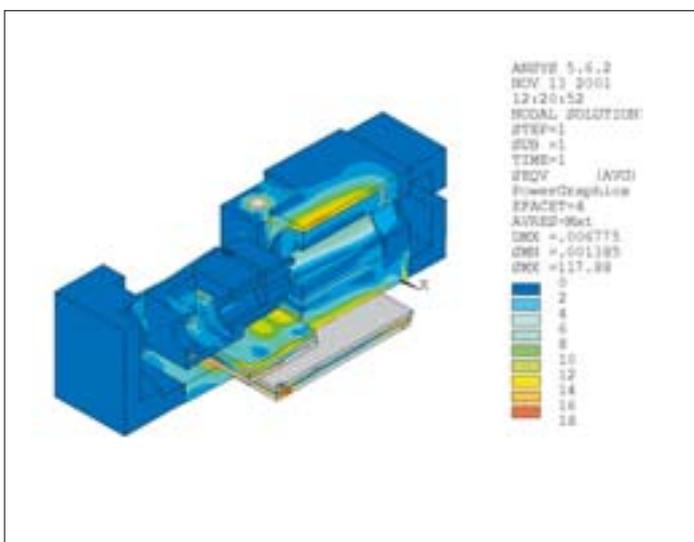


Abb. 2:
Thermisch induzierte Spannungen (Vergleichs-
spannung nach v. Mises) in der Laserbaugruppe.
Spannungen in den Grund- und Deckplatten
der Peltierelemente sind durch die Skalierung
unterdrückt.

Fig. 2:
Thermally induced stress (equivalent stress) in
the laser assembly. Stress in the cover and
base plates of the Peltier elements are suppressed by
the scaling.