

Zusammenfassung

Prozesskettenentwicklung für die Replikation und die Qualifizierung komplexer Mikrobauteile mit mikrooptischen Funktionsstrukturen

Mikrolinsensysteme mit einem Linsensurchmesser $d_L \leq 1 \text{ mm}$ sind für industrielle Anwendungen im Bereich der Lasertechnik, des Quantencomputings sowie der biomedizinischen Technik von besonderem Interesse. Die Entwicklung dieser Anwendungen ist jedoch limitiert, da die Integration mikrooptischer Strukturen in komplexe, übergeordnete Bauteile und Systeme noch nicht mit der erforderlichen Prozesssicherheit möglich ist. Ein erheblicher Forschungsbedarf besteht somit in der prozesssicheren Integration mikrooptischer Strukturen in komplexe Kunststoffbauteile sowie in der Entwicklung eines Qualifizierungsprozesses zur Ableitung einer Funktionshypothese.

Das Ziel der Arbeit ist daher die Entwicklung einer Prozesskette für Replikation und Qualifizierung komplexer Mikrobauteile mit mikrooptischen Funktionsstrukturen. Hierzu erfolgt zunächst ein experimenteller Vergleich von Methoden der Mikromesstechnik, aus dem eine Messempfehlung zur Qualifizierung mikrooptischer Strukturen abgeleitet wird. Die Anwendung dieser Messempfehlung ermöglicht die Beurteilung der Fertigungsqualität sowie die Ableitung einer Funktionshypothese. Aus der experimentellen Analyse des Spritzgussprozesses zur Fertigung von Mikrooptiken werden anschließend Aussagen zur Wirkung relevanter Prozessstellgrößen auf die Replikationsqualität abgeleitet. Durch die Erweiterung der Analysen mit den Verfahren der röntgenbasierten particle-image-velocimetry (PIV) und der *in situ* Spannungsoptik wird schließlich ein Replikationsprozess definiert, der die prozesssichere Fertigung eines komplexen Kunststoffbauteils mit mikrooptischen Funktionsstrukturen ermöglicht.

Anhand der Replikation und Qualifizierung eines industriellen, mikrooptischen Faserkopplers wird schließlich nachgewiesen, dass die gleichzeitige Replikation komplexer Merkmale eines Mikrobauteils und der zur Funktion erforderlichen mikrooptischen Funktionsstrukturen möglich ist und die Anwendung der Messempfehlung zur fertigungsbegleitenden Ableitung einer Funktionshypothese geeignet ist.

Klappentext

Process chain development for replication and qualification of complex microdevices with microoptical functional structures

Micro lens systems with a lens diameter $d_L \leq 1 \text{ mm}$ are of special interest for industrial applications in the field of laser technology, quantum computing, and biomedical engineering. However, the development of these applications is limited because the integration of micro-optical structures into complex, higher-level components and systems is not yet possible with the required process reliability. A considerable need for research exists in the reliable integration of micro-optical structures in complex plastic components and in the development of a qualification process to derive a functional hypothesis.

The aim of the work is the development of a process chain for replication and qualification of complex microcomponents with microoptical functional structures. For this purpose, an experimental comparison of methods of micro-measurement technology is carried out, from which a measurement recommendation for the qualification of micro-optical structures is derived. The application of this measurement recommendation enables the assessment of the manufacturing quality as well as the derivation of a functional hypothesis. From the experimental analysis of the injection molding process for the production of micro-optics, statements on the effect of relevant process parameters on the replication quality are then derived. By extending the analyses with the methods of X-ray-based particle-image-velocimetry (PIV) and in situ stress optics, a replication process is finally defined that enables the reliable production of a complex plastic component with micro-optical functional structures.

Finally, the replication and qualification of an industrial, micro-optical fiber coupler is used to demonstrate that the simultaneous replication of complex features of a micro-component and the micro-optical functional structures required for its function is possible. The suitability of the measurement recommendation for deriving a functional hypothesis during production was also demonstrated.