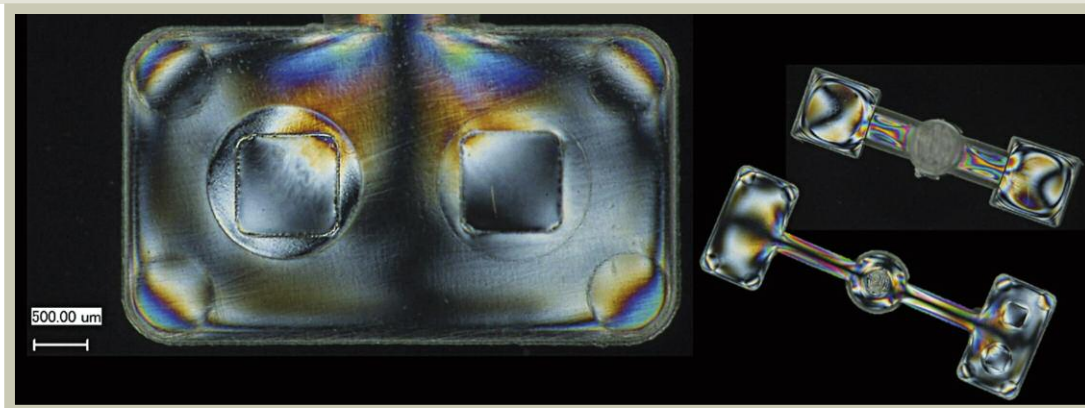


Durch Mikrospritzprägen zu höherer Formteilqualität

Mit dem Mikrospritzgießen lassen sich mikrostrukturierte Bauteile aus Polymerwerkstoffen herstellen. Problematisch hierbei sind jedoch Unterschiede des Werkzeuginnendrucks, die zu Einfallstellen, Bauteilverzug, **ANISOTROPIEN** oder auch zur Schädigung von zu umspritzenden Einlegeteilen führen können.

Bild 1. Doppelbrechungseffekte an einem spritzgegossenen mikrooptischen Formteil aus PC Lexan



STEFFEN JACOB

Um Unterschiede des Werkzeuginnendrucks zu vermeiden, wird bei vielen Formteilen das sogenannte Spritzprägen verwendet. Dabei wird in einem Spritzgießprozess bei partiell geöffnetem Werkzeug ein definierter Preform innerhalb der Kavität erzeugt und dieser mittels eines Kompressionsformprozesses zum fertigen Bauteil ausgeformt.

Ziel eines Forschungsprojekts zum Mikrospritzprägen am Kunststoff-Zentrum in Leipzig (KUZ) war es, die Möglichkeiten des Spritzprägens bei der Fertigung von Mikroformteilen zu untersuchen. Die Basis bildete die modulare Maschinenplattform mit Kolbenspritzeinheiten ›FormicaPlast‹, die am KUZ für das Mikrospritzgießen entwickelt wurde. Zur Verfügung stand ein vertikaler Maschinenaufbau mit elektrischen Antrieben.

Bauteilspannungen schwer beherrschbar

Für Mikrooptiken hoher Abbildungsgüte aus Kunststoff, zum Beispiel für anspruchsvolle Applikationen in der Mess- und Medizintechnik, sind Bauteilspannungen häufig schwer zu beherrschen. Innere Spannungen und Molekülorientierungen in spritzgegossenen Kunststoffoptiken verursachen Doppelbrechungseffekte (**Bild 1**). Diese führen zu uner-

wünschten Polarisations- und damit Transmissions-effekten, müssen jedoch nicht immer mit Deformationen der Formteile einhergehen.

Unerwünschte Doppelbrechungseffekte in Formteilen können in verschiedenen Phasen des Spritzgießens entstehen und werden durch Orientierungen und Eigenspannungen hervorgerufen. Diese Eigenspannungen werden dabei hauptsächlich in der Nachdruckphase, während des Schwindungsausgleichs, eingefroren.

Spritzprägen reduziert Bauteilspannungen

Das Spritzprägen ist das Verfahren der Wahl, um Bauteilspannungen zu reduzieren und mikrooptische Formteile zu fertigen. Auch beim Spritzgießen von hybriden Mikroformteilen kann das Spritzprägen positive Effekte hervorrufen. Durch die geringere Druckbelastung von filigranen Einlegeteilen während des Spritzprägeprozesses im Vergleich zum Spritzgießen sind diese besser vor Deformationen oder Positionsverschiebungen geschützt.

Modernes Mikrospritzgießen bietet zwar die Möglichkeit, die Formfüllung einer Mikrokavität mit geringen Schussvolumina zu kontrollieren, doch führt das Spritzprägen von Mikroformteilen eher ein Schattendasein. Dies begründet sich in dem engen Zeitfenster, das zur Druckbeaufschlagung der Kunststoffschmelze vor der kompletten Erstarrung zur Verfügung steht.

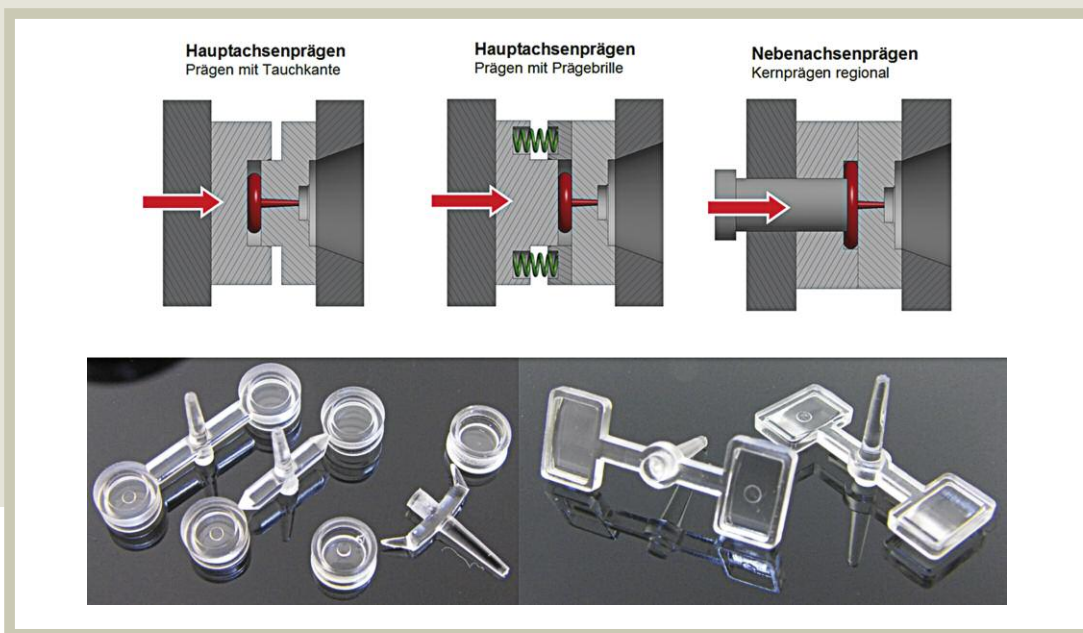


Bild 2. Schemadargestellungen der realisierten Prägevarianten mit den beiden Demonstrationsformteilen

Außerdem ist eine sehr exakte und sensible Regelung des kleinen Prägehubs erforderlich.

Prägevarianten beeinflussen das Kavitätsumfassen

In Anlehnung an die Bewegungsachsen von Spritzgießmaschinen wird zwischen dem Haupt- und dem Nebenachsenprägen unterschieden. Die Schließbewegung des Werkzeugs ist als Hauptachse definiert, Kernzüge und Auswerferbewegungen werden den Nebenachsen zugeordnet.

Beim Hauptachsenprägen beeinflusst die Bewegung der Schließeinheit das Kavitätsumfassen. Traditionelle Werkzeuge dichten dabei die Kavität über eine sogenannte Tauchkante ab. Dabei tauchen beide Werkzeughälften über die Schließbewegung ineinander, und es wird somit eine Abdichtung der Kavität nach außen ermöglicht.

Bei einer weiteren Prägevariante ist das Werkzeug vollständig geschlossen. Über eine Nebenachse, in diesem Falle der Auswerferantrieb, wird das Kavitätsumfassen über bewegliche Bereiche (Prägekern) innerhalb der Kavität verändert. Die in **Bild 2** gezeigten Prägevarianten wurden werkzeug- und verfahrenstechnisch untersucht.

Versuchsaufbau zum Vergleich der Varianten

Ebenfalls in **Bild 2** abgebildet sind die Demonstrations-

formteile A und B. Das Demonstrationsformteil A dient dem Vergleich beider Prägevarianten (Haupt- und Nebenachsenprägen). Das Werkzeug dazu wurde als 2-fach-Werkzeug mit einer Tauchkante um die Formteilkontur und mit einem beweglichen Konturkern im Bereich der optisch aktiven Fläche ausgeführt.

Die Kontur des Formteils entspricht einer dünnwandigen Rechtecklinse mit Außenabmaßen von 5 mm x 3 mm. In einem der beiden Konturfächer wurde eine Dummykavität mit integriertem Werkzeuginnendrucksensor (verbaut im beweglichen Konturkern) untergebracht. Das Demonstrationsformteil B wurde werkzeugtechnisch nur für das Nebenachsenprägen mittels Prägekern auf der optisch aktiven Fläche ausgelegt. Die Formteile entsprechen dabei in den Abmaßen typischen rotationssymmetrischen Mikrolinsen mit einem Durchmesser von 5 mm.

Das Spritzprägen von dünnwandigen Mikrokavitäten stellt eine besondere Herausforderung hinsichtlich der Dynamik der Maschine im Prägeprozess dar. Durch das rapide Erkalten der Fließfront kann sich eine Druckbeaufschlagung des Schmelzekuchens bei Teilfüllung der Kavität sehr negativ auf die Bauteileigenschaften auswirken. Dies kann bei unzureichender Prozessdynamik zu Oberflächendefekten und den eigentlich vermeidbaren inneren Spannungen und Orientierungen führen.

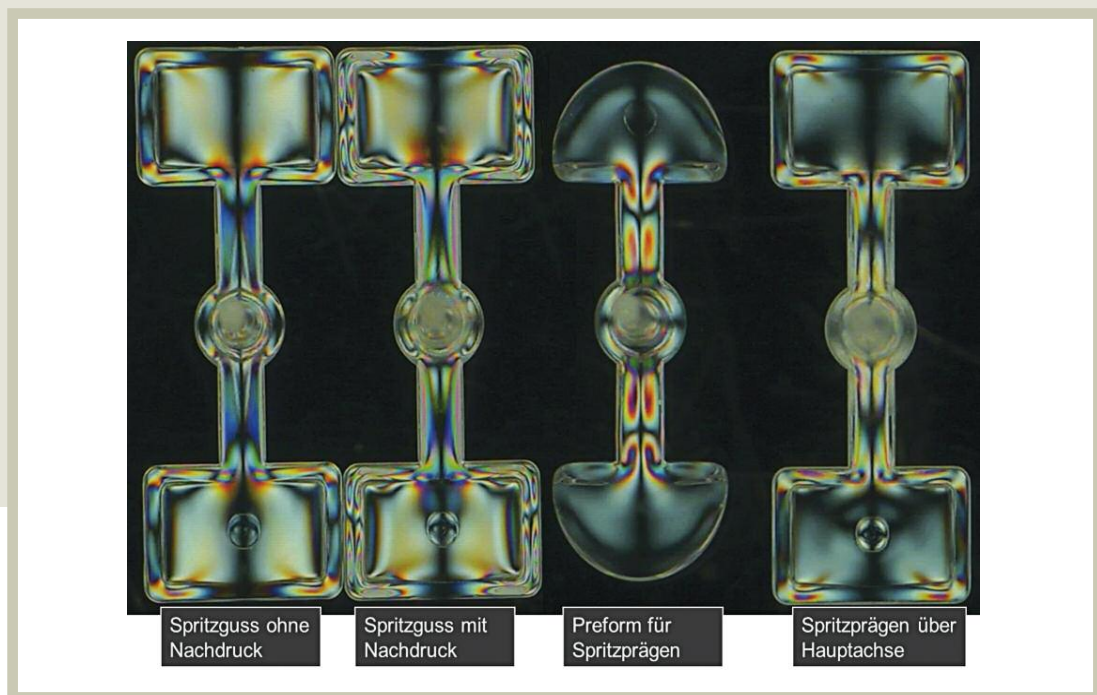
Dynamik lässt Teilfüllung der Mikrokavität zu

Daher werden Mikroteile bisher hauptsächlich nach der vollständigen Füllung der Kavität mit dem Prägedruck beaufschlagt. Die Dynamik der FormicaPlast lässt jedoch auch eine Teilfüllung der Kavität zu, um mit dem Prägedruck einen eingespritzten Schmelzekuchen (Preform) zum Formteil auszuformen. Dies setzt ebenfalls eine reproduzierbare präzise

> KONTAKT

INSTITUT
Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH
04229 Leipzig
Tel. +49 341 4941-500
Fax +49 341 4941-555
www.kuz-leipzig.de

Bild 3. Vergleich der Doppelbrechungseffekte mittels Polarisationsmikroskopie von links spritzgegossenen und rechts einer spritzgeprägten Rechtecklinse mit Preform aus PC



Dosierung der Kunststoffschmelze voraus. Die Möglichkeit simultaner Bewegungen zwischen Einspritzkolben und Prägeantrieb, die ab bestimmten Weg- oder Druckpunkten parallel ablaufen können, lässt viel Spielraum bei der Optimierung des Prägeprozesses. Im dünnwandigen Mikrobereich ermöglichen erst diese Voraussetzungen eine Prozessführung des Prägevorgangs mit Teilfüllung der Kavität (Bild 3).

Reduzierte Doppelbrechungseffekte und höhere Formtreue

Vergleichende Untersuchungen von spritzgegossenen und spritzgeprägten Chargen der Rechtecklinse ergaben eine deutliche Reduzierung der Doppel-

brechungseffekte für die im Tauchkantenwerkzeug geprägten Formteile. Die geprägten Formteile wiesen auch eine höhere Formtreue in der optischen Kontur gegenüber den spritzgegossenen Formteilen auf. Qualitative Aussagen zu den Eigenspannungen und Orientierungen konnten über die Betrachtung der Doppelbrechungseffekte mithilfe der vergleichenden Polarisationsmikroskopie getroffen werden.

Dickwandige Mikrokavitäten

Das regionale Kernprägen dient dazu, die mit Druck beaufschlagte Kontur geometrisch exakt und spannungsarm abzuformen. Nicht beeinflusste Randregionen können durchaus spritzgießtypische

Bild 4. Druck-Temperatur-Weg-Diagramm des Kernprägezyklus einer spritzgeprägten Zylinderlinse aus PC im Vergleich mit einer spritzgegossenen Version

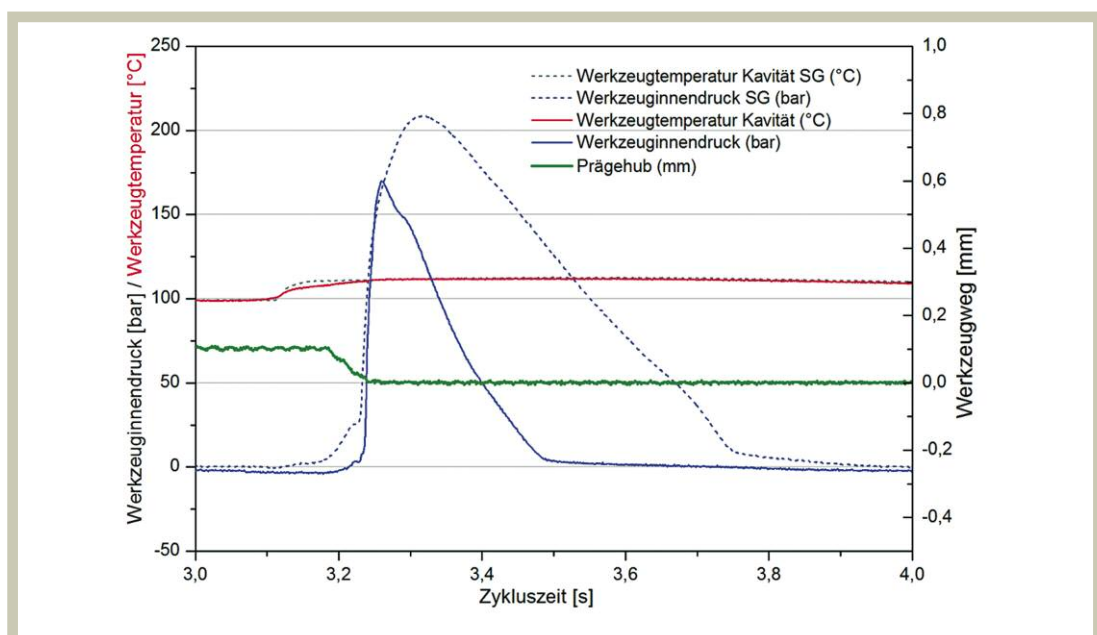




Bild 5. Vergleich der Eigenspannungen mittels Polarisationsmikroskopie einer Zylinderlinse aus PC, hergestellt in verschiedenen Verfahrensvarianten

Fehlerbilder aufweisen, werden aber auch durch zurückdrückendes Material während des Prägens beeinflusst. In **Bild 4** ist der typische Druck-Temperatur-Werkzeugweg-Verlauf im Prägezyklus ersichtlich. Die gestrichelten Linien stellen vergleichend die Druck- und Temperaturverhältnisse beim Spritzguss dar. Eine Beeinflussung der Spannungsdoppelbrechungseffekte der dickwandigen Zylinderlinsen ist auch hier mittels der Polarisationsmikroskopie gut zu erkennen.

Mit der Verfahrensvariante des Kernprägens können im druckbeaufschlagten Konturbereich nahezu alle Doppelbrechungseffekte vermieden werden. Dieser Effekt konnte jedoch nur bei einer zum Einspritzvorgang synchron ablaufenden Stempelbewegung nachgewiesen werden. Gut ersichtlich ist auch in **Bild 5**, dass durch eine zu hoch gewählte Prägekraft die positiven Effekte des Spritzprägens aufgehoben werden können.

Etablierung des Spritzprägens für Mikroteile

Die Untersuchungen ergeben, dass auch bei sehr kleinen Kavitäten ein Prägevorgang gut realisierbar ist. Der Prozess bietet eine reproduzierbare Abformung der Konturen mit einer hervorragenden Oberflächenqualität und Konturtreue. Orientierungen und innere Spannungen werden deutlich verringert.

Einen Vorteil des Spritzprägens stellt das flächige Nachdruckverhalten beim Verpressen der Kunststoffschmelze im Werkzeug dar. Der so erzielte gleichmäßigere Werkzeuginnendruck kann der Schwindung lokal konstanter entgegenwirken. Ein geringerer maximaler Forminnendruck und das frühere Einbringen von Bauteilendvolumen können sogar die Schließkraft und die Zykluszeit reduzieren. Zusätzlich kann ein geringerer Füll- und Nachdruck die inneren Spannungen und Orientierungen bei optischen oder verstärkten Bauteilen reduzieren. Dies verbessert die Langzeitmaßtoleranz und senkt die Verzugsneigung. Oberflächenstrukturen im Miniaturbereich können über den Bauteilquerschnitt homogener abgebildet werden.

Wesentliche Einflussfaktoren im Prägeprozess sind die Einstellparameter Prägegeschwindigkeit, Prägeweg und Prägekraft. Alle aus der konventionellen Spritzgießtechnik bekannten Prägeverfahren sind auch im kleinen Maßstab umsetzbar und damit für Mikroformteile geeignet. Dies setzt jedoch eine sehr dynamische Regelung des Prozesses seitens der Maschinenteknik voraus (**Bild 6**). ■ MI110384

AUTOR

Dipl. Ing. STEFFEN JACOB ist Wissenschaftler im Bereich Mikrokunststofftechnik beim Kunststoff-Zentrum in Leipzig; Jacob@kuz-leipzig.de

Bild 6. Vertikale Mikrospritzgießmaschine ›Formica-Plast‹ mit dynamischer Regelung, wie sie beim Spritzprägen benötigt wird

