LEHRSTUHL
FÜR KUNSTSTOFFTECHNIK
Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer

Spritzgießen von Zahnrädern mit hochdynamischer Werkzeugtemperierung

Motivation

Die Prozessführung beim Spritzgießen beeinflusst die inneren Eigenschaften eines Kunststoffbauteils und wirkt sich dadurch auch auf dessen mechanische Kennwerte aus. So führt eine Erhöhung der Werkzeugtemperatur bei teilkristallinen Kunststoffen insbesondere durch Verbesserung der Kristallisation zu einer höheren Steifigkeit und Festigkeit bei gleichzeitig geringerer Bruchdehnung. Auch auf die tribologischen Eigenschaften kann dadurch gezielt Einfluss genommen werden. Durch Erhöhung der Werkzeugtemperatur wird der Verschleißkoeffizient vermindert und die zulässige Lastspielzahl bei Zahnrädern erhöht, gleichzeitig bleibt das Reibungsverhalten unverändert.

Zur Herstellung hochbelastbarer Maschinenelemente aus thermoplastischen Kunststoffen, z.B. Zahnräder, ist demnach für die Ausbildung möglichst guter Werkstoffeigenschaften eine hohe Werkzeugtemperatur anzustreben. Dem gegenüber steht die wirtschaftliche Forderung nach kurzen Zykluszeiten. Der physikalische Widerspruch aus hohen Temperaturen beim Einspritzen zur guten Morphologieausbildung bis in den Bauteilrandbereich und geringen Temperaturen zum Erreichen geringer Zykluszeiten, kann mit einer hochdynamischen Werkzeugtemperierung, auch variotherme Temperierung genannt, aufgehoben werden.

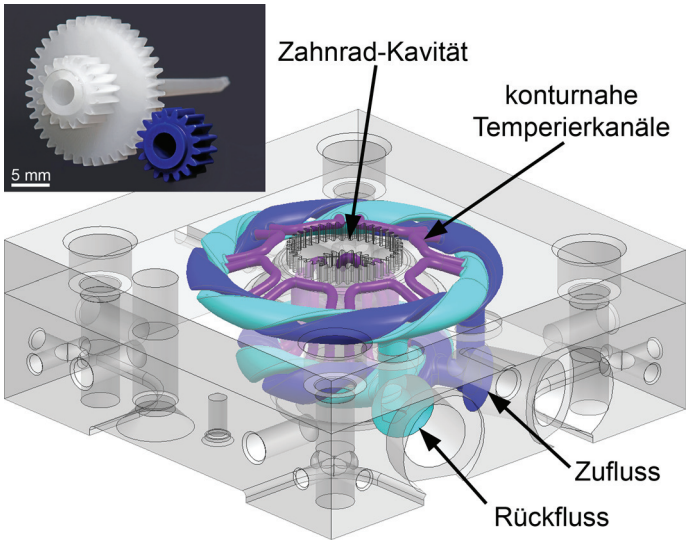

Bild 1: Darstellung der Geometrie eines Werkzeugeinsatzes mit Zahnrad-Kavität und konturnahen Temperierkanalstrukturen; oben links: Zahnrad und Ritzel (POM Hostaform C9021)

Experimentelles

Um in dem für die Untersuchungen verwendeten Werkzeug eine hohe Dynamik der Temperaturwechsel zu erreichen, wird eine konturnahe Temperierung in Kombination mit kompakten, thermisch entkoppelten Einsätzen genutzt.

Die konturnahe Temperierung wird mittels im LaserCusing®-Verfahren hergestellter Einsätze erreicht, deren schichtweise Fertigung es erlaubt, die Geometrie der Temperierkanäle gezielt der Kavität anzupassen, Bild 1. Die kompakten Einsätze sind durch Isolierplatten thermisch vom Stammwerkzeug entkoppelt, so dass die thermisch bewegten Massen möglichst gering gehalten sind, Bild 2. Über Temperatursensoren nahe der Kavitätswand ist eine gezielte Steuerung des Prozesses bzw. die Synchronisierung des Spritzgießzyklus mit den Temperierphasen möglich. Die eingesetzte Wassertemperierung, bestehend aus einem Warm- und einem Kaltkreis, kann durch eine Ventilsteuerung die Kavität heizen oder kühlen.

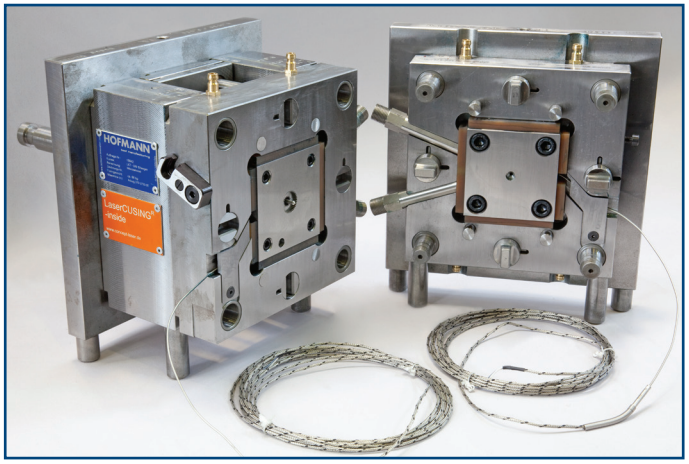

Bild 2: Spritzgießwerkzeug mit im LaserCusing®-Verfahren hergestellten Werkzeugeinsätzen zur konturnahen und hochdynamischen Temperierung

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Prozessführung

Durch die hochdynamische Temperaturführung kann z.B. bei POM eine für den Werkstoff gerechte Entformungstemperatur unter 80°C bei kurzen Zykluszeiten realisiert werden. In Bild 3 ist ein exemplarischer Temperaturverlauf der Kavität während eines Spritzgießzyklus dargestellt.

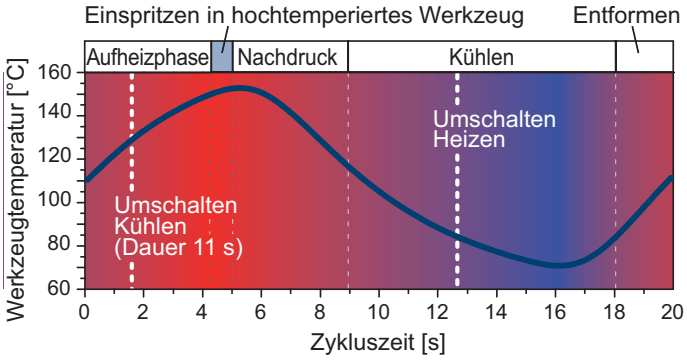

Bild 3: Temperaturverlauf an der Kavität während eines Spritzgießzyklus mit überlagerten Heiz- und Kühlphasen

Da die Heiz- und Kühlphasen näherungsweise die gleiche Zeit in Anspruch nehmen, beginnt bereits am Ende der Kühlphase des vorangegangenen Spritzgießzyklus die Heizphase. Bei Erreichen einer Werkzeugtemperatur im Kristallisationsbereich von POM bei über 150°C wird die Schmelze in die Kavität eingespritzt. Durch die hohe Werkzeugwandtemperatur kann die Ausbildung gering kristalliner (quasi amorpher) Randschichtbereiche vermieden werden.

Nach dem Füllen der Kavität beginnt bereits während der Nachdruckphase das Abkühlen des Bauteils unter eine Entformungstemperatur von 80°C. Gleichzeitig kann sich eine über den gesamten Querschnitt homogene Struktur im Bauteil ausbilden.

Während dem erneuten Aufheizen der Kavität erfolgt die Entformung des Spritzlings.

Morphologie

Der Einfluss der Werkzeugwandtemperatur auf die Ausbildung der Morphologie ist in Bild 4 anhand von Zahnrädern aus POM, (Hostaform C9021, Fa. Ticona) dargestellt. Für technisch anspruchsvolle Bauteile ist eine Werkzeugwandtemperatur von 100°C üblich. Eine sich dabei ausbildende Randschicht kann erst durch eine Temperaturerhöhung auf 140°C vermieden werden. Die dadurch erforderliche längere Kühlphase verdoppelt die Zykluszeit für das untersuchte Zahnrad. Unter Einsatz der hochdynamischen Temperierung kann das Einspritzen bei einer hohen Werkzeugtemperatur auf dem Niveau der Kristallisationstemperatur von ~ 150°C (POM) stattfinden. Infolge hoher realisierter Kühlraten ist eine Entformung bereits nach einer Gesamtzykluszeit von weniger als 20 s möglich.

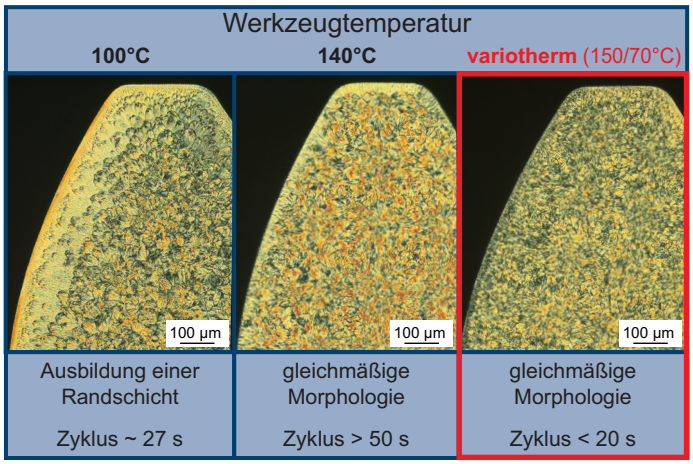

Bild 4: Einfluss der Werkzeugtemperatur auf die Morphologie und die Zykluszeit (POM Hostaform C9021, T_M = 210°C, Dünnschnitt 10 µm, zirkular polarisiertes Durchlicht)

DSC-Messungen (Differential Scanning Calorimetry) bestätigen die Ausbildung gleichmäßiger Kristallisationsgrade über der Zahndicke. So weisen die variotherm hergestellten Zahnräder, insbesondere in der tribologisch beanspruchten Randschicht, eine höhere Kristallinität auf im Vergleich zu Zahnädern, die bei einer Werkzeugtemperatur von 100°C spritzgegossen wurden. Der deutlich schmalere Schmelzepeak belegt ebenfalls die homogenere Größenverteilung der kristallinen Strukturen.

Potential hochdynamisch temperierter Werkzeuge

- Reduzierung der Zykluszeit durch schnelles Kühlen auf Entformungstemperatur
- gezielte Beeinflussung des strukturellen Aufbaus
- Verbesserung der Bauteileigenschaften im Gebrauch

Die Untersuchungen werden unterstützt von

Ticona, OECHSLER, HOFMANN innovation group, ENGEL, DUROTHERM, single simor

Ihre persönlichen Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Michael O. Kobes, Tel.: +49 9131 85-2 97 04, E-Mail: kobes@lkt.uni-erlangen.de

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Steve Meister, Tel.: +49 9131 85-2 97 19, E-Mail: meister@lkt.uni-erlangen.de

Stand: 10/2010

Lehrstuhl für Kunststofftechnik
Am Weichselgarten 9
D-91058 Erlangen-Tennenlohe

Tel.: +49 9131 85-2 97 00
Fax: +49 9131 85-2 97 09
www.lkt.uni-erlangen.de

Partner der
Neue Materialien Fürth GmbH