

Zusammenfassung

IGF-Vorhaben-Nr.: 16333 N

Analyse der Werkzeugatmung

Ausgangslage

Im Zentrum dieses Forschungsprojekts standen die Verformungen des Werkzeughohlraums, die beim Rückfedern durch die volumenermindernde Wirkung verdichtend auf die Formmasse wirken. Vom Verdichtungsprozess bei der Formteilbildung hängen viele elementare Qualitätsmerkmale wie Schwindung, Verzug, Einfallstellen und Lunker, aber auch strukturelle Eigenschaften und Eigenspannungszustände ab. Die Verdichtung wird vom Verlauf der physikalischen Zustandsgrößen Druck, Temperatur und Volumen bestimmt. Während die Zustandsgrößen Druck und Temperatur in den letzten Jahrzehnten gründlich erforscht wurden, blieb die dritte Zustandsgröße, das Werkzeugvolumen, und deren Veränderung weitgehend unbeachtet.

Forschungsziel

Das Hauptziel des Vorhabens bestand darin, die Kenntnis über die Werkzeugatmung und ihre Einflussgrößen umfassend zu erweitern, deren Auswirkungen auf die Formteilqualität und die zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten zu erkennen und für eine wirtschaftlichere Produktion nutzbar zu machen.

Lösungsweg

Für die Untersuchungen wurde ein spezielles „Atmungs“-formteil entwickelt, das Flächen in 0°, 45°- und 90°-Ausrichtung zur Trennebene aufweist, um die Richtungsabhängigkeit des Atmungseffektes erkennen zu können. Durch Rippen, Masseanhäufungen und Durchbrüche konnten weitere Auswirkungen der Atmung geprüft werden. Das zugehörige Werkzeug wurde so konstruiert, dass die Steifigkeit durch austauschbare Zwischenplatten, Stützsäulen und Leisten auf der Auswerferseite variiert werden konnte. Zum Nachweis des Atmungseffektes von Schiebern wurde eine der 90°-Flächen mit und eine ohne Schieber geformt. Von den Spritzparametern erwiesen sich Nachdruck und Schließkraft als besonders einflussreich. Ein wichtiger Aspekt war auch der Einfluss der Schließeinheit. Deshalb wurden die Versuche auf drei Maschinen mit prinzipiell unterschiedlichen Schließeinheiten durchgeführt.

Messtechnik

Um die Atmung an den unterschiedlich zur Trennebene liegenden Formteilmflächen quantifizieren zu können, wurden hochpräzise Wegsensoren im Werkzeug verbaut. Die zu messende Atmung entsteht dabei durch die Abstandsänderung zweier gegenüberliegenden Werkzeugelemente. Um zusätzlich die Bewegung der Werkzeughälften und der Aufspannplatten der Maschine messen zu können, wurden zwei zusätzliche Messeinrichtungen entwickelt. Ein sogenannter Messarm dient zur Aufzeichnung der Abstandsänderung der Maschinenaufspannplatten beim Aufbringen der Schließkraft und während des gesamten Spritzgießprozesses. Zur äußeren Messung der

Relativbewegungen zwischen Werkzeughälften oder zwischen verschiedenen Werkzeugteilen wurde ein Messspin entwickelt, der es ermöglicht, die Werkzeugbewegung in drei translatorischen und rotatorischen Freiheitsgraden zu unterscheiden. Das SKZ verfügt somit über eine bewährte Messtechnik und das nötige Know-How, um die Atmung im Inneren des Werkzeuges wie auch äußere Verformungen oder Verschiebungen von Schließereinheit und Werkzeug zu analysieren. Die Messtechnik und das erworbene Wissen wird der Industrie bei Bedarf zur Verfügung gestellt. Dies dürfte besonders für KMUs interessant sein, die weder Zeit noch Mittel für derartige Messung haben.

Verhalten der Werkzeugatmung

Je nach Parameterkombination betrug die Werkzeugatmung 20 – 350 μm . Der Betrag ist stark richtungsabhängig. Die höchsten Werte treten in axialer Richtung auf, weil die Auswerferseite des Werkzeugs durch den erforderlichen Freiraum für den Hub der Auswerfer Elemente naturgemäß geschwächt ist und die Plattenverschiebung der Schließereinheit hinzukommt. Die Atmung der 45°-Fläche ist um den Kosinus des Winkels zur Trennebene geringer als die der 0°-Fläche. Die Werte in radialer Richtung (90°-Flächen) sind um das zwei- bis dreifache kleiner, mit Schieber aber größer als ohne.

Einfluss von Steifigkeit, Schließkraft und Schließereinheit

Den größten Einfluss auf die Werkzeugatmung zeigte bei den durchgeführten Untersuchungen die Werkzeugsteifigkeit. Insbesondere die Atmungswerte der 0° und 45°-Fläche konnten bei gleicher Schließkraft um 250 μm und 155 μm reduziert werden. In radialer Atmungsrichtung hingegen waren nur Reduzierungen bis maximal 10 μm zu beobachten. Der Schließkrafteinfluss zwischen minimaler und maximaler Kraft wirkte sich bei einem weichen Werkzeug mit einer Verminderung um 80 μm in der 0°-Fläche deutlich größer aus als bei einem steifen Werkzeug mit 50 μm . Die radiale Atmung an den 90°-Seiten konnte durch die Schließkraft im Schnitt um 20 - 30 μm verringert werden. Der Einfluss der unterschiedlichen Schließsysteme spielte sich ebenfalls eher bei niedrigeren Atmungswerten zwischen 20 und 30 μm ab.

Qualität

Der Atmungseinfluss zeichnete sich am deutlichsten beim Gewicht der Formteile ab. Bei niedriger Schließkraft liegen die Gewichtsunterschiede zwischen weichem und steifem Werkzeug bei 4,2 % des größten Bauteilgewichtes. Durch die maximale Schließkraft konnte diese Differenz zwischen den Varianten auf 2 % verringert werden. Analog zu anderen Parametern wirkt sich mehr oder weniger Verdichtung vorwiegend in Wanddickenrichtung aus. Davon betroffen sind die Qualitätsmerkmale Wanddickenschwindung und Tiefe der Einfallstellen. Die Wanddickenschwindung reicht von -11% bis + 5 %. Negative Werte bedeuten, dass die Wanddicke des Formteils größer ist als die des Werkzeughohlraums. Das Formteil wird durch das rückfedernde Werkzeug eingeklemmt, was durch Restdruck und Restatmung bewiesen wird. Die Veränderung der Formteilabmessungen (Längen, Breiten und Tiefen) ist zwar verzugsbedingt uneinheitlich, beträgt aber zwischen 0,1 und 0,6 %, was im Vergleich von Toleranzen für Präzisionsteile von etwa 0,3 % zu viel sein kann. Weiterhin war zu beobachten, dass mit steigender Schließkraft und zunehmender Werkzeugsteifigkeit die Standardabweichung der Qualitätsmerkmale minimiert werden konnte. Daraus folgt, dass für Präzision steife Werkzeuge und hohe Schließkräfte erforderlich sind.

Nutzung zur Prozessüberwachung und –steuerung

Die durchgeführten Untersuchungen auf zwei unterschiedlichen Spritzgießmaschinen mit verschiedenen Schließsystemen zeigten, dass die Werkzeugatmung neben den in der Vergangenheit bereits identifizierten Einflussgrößen Druck und Temperatur maßgeblich zur Verbesserung der Reproduktionsgenauigkeit beiträgt. Durch die atmungsabhängige Nachdruckumschaltung konnte das Formteilmgewicht zwischen Maschine A und B auf 20 mg angenähert werden. Bei ein- und derselben Maschine allerdings konnte durch die atmungsabhängige Umschaltung keine signifikante Verbesserung der Standardabweichung des Formteilmgewichts gegenüber der volumenabhängigen Umschaltung erzielt werden.

Berechenbarkeit

Die Ergebnisse der Verformungsberechnung zeigten, dass mit Hilfe von analytischen geschlossenen Lösungsgleichungen, wie sie in dem Berechnungsprogramm Mold-mech angewendet werden, eine erste Vorabschätzung der zu erwartenden Größenordnung der Werkzeugatmung möglich ist. Die Schließenheit der Spritzgießmaschine und deren Einfluss auf die Atmung, die bei der analytischen Berechnung nicht mit eingeht, konnte mit der FEM-Simulation sehr gut nachgestellt werden. Die errechneten Messwerte zeigten trotz vereinfachter Modellierung sehr gute Übereinstimmung mit der Realität.

Einfluss auf Simulationsergebnisse

Mit Hilfe des Spritzprägemodul ist es in Moldflow möglich, die Auswirkungen der Werkzeugatmung tendenziell darzustellen. Der Einfluss der Lage der Formteilmflächen zur Trennebene wird aber bislang im Berechnungsalgorithmus nicht berücksichtigt. Bei der konventionellen Schwindungs- und Verzugssimulation wurde im Vergleich zu der mit Prägemodul bzw. der Realität ein tendenziell falscher Verzug vorhergesagt. Daraus lässt sich schließen, dass die Simulation durch Berücksichtigung der Werkzeugatmung verbessert werden kann.

"Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht"

Danksagung und Bestellhinweis

Das IGF-Vorhaben 16333 N der Forschungsvereinigung Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung.

Wir danken auch den Firmen, die uns durch die Bereitstellung von Materialien und Geräten sowie durch anderweitige Dienstleistungen maßgeblich bei der Durchführung der Arbeiten unterstützt haben. Insbesondere sind hier die Firmen Wittmann Battenfeld GmbH, GHD Präzisions-Formenbau, Schmidt Gesellschaft für Werkzeug- und Formentechnik, TAKATA Petri PlasTec GmbH und Braun GmbH zu nennen.

Ebenso gilt unser Dank den Damen und Herren des Projektbegleitenden Ausschusses für die unterstützenden Anregungen und Diskussionen bei den Ausschusstreffen. Ein weiterer Dank gilt allen beteiligten Mitarbeitern des SKZ, vor allem Herrn Prof. Dr.-Ing. Siegfried Stitz, Herrn Dipl.-Ing. Manfred Popp und Herrn Sven Ehrke.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die gesamten Forschungsergebnisse können einem umfangreichen Forschungsbericht entnommen werden, der zum Selbstkostenpreis beim SKZ bestellt werden kann. Die Rechnung wird mit dem Bericht zugeschickt.