

Teilprojekt B01

Titel

Algorithmen zur Auslegung eines Temperierlayouts für Spritzgießwerkzeuge unter Berücksichtigung des lokalen Kühlbedarfs

Projektleitung/-bearbeitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hopmann, Christian (Leitung)
Fritsche, Daniel, M.Sc. RWTH (Bearbeitung)
Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung
Seffenter Weg 201
52074 Aachen

Aufgabenstellung

Das Ziel dieses Teilprojekts ist die Entwicklung einer Methodik zur automatisierten und präzisen Auslegung von Kühlkanalsystemen in Spritzgießwerkzeugen. In dieser Methodik wird zunächst ein optimaler thermischer Haushalt im Spritzgießwerkzeug berechnet und anschließend versucht, diesen durch ein optimales Platzieren von Temperierkanälen zu realisieren. Im Jahr 2021 wurden folgende Aspekte der Methodik vertiefend untersucht. Eine Aufgabenstellung war die Anpassung der umhüllenden Formfunktion, also die Ermittlung des Einflusses der Größe und Geometrie des Berechnungsraums sowie eine Generierung eines adaptiven Offsets. Weiterhin wurde die Bewertungsfunktion für die thermische Optimierung weiterentwickelt und simulativ überprüft. In Kooperation mit anderen Teilprojekten wurden weitere Methoden zur Manipulation des Wärmehaushalts untersucht.

Vorgehensweise

Die Kontur um das Formteil beschränkt den Umfang der Informationen über den Wärmehaushalt im Werkzeug, die für die anschließende Temperierkanalpositionierung nötig sind. Somit wurde diese Offset-Dicke in der Vergangenheit angepasst und unterschiedliche Ergebnisse festgestellt. Der Einfluss des Offsets auf das Optimierungsergebnis wurde anhand der Gütefunktion quantifiziert. Dazu wurden Formteile einer u-förmigen Geometrie und passende Konturen mit verschiedenen Wand- und Offset-Dicken erstellt. Mit diesen

wurde jeweils die entwickelte Methodik der inversen thermischen Werkzeugauslegung bis einschl. der thermischen Optimierung durchgeführt. Dieser letzte Schritt wurde mit der Gütefunktion aus Phase 1 und der aktuellen Funktion durchgeführt.

Zudem wird aktuell eine u-förmige Geometrie mit niedrigerem Abstand zwischen den Flanken untersucht. Durch das niedrigere Aspektverhältnis zwischen Wanddicke und Abstand der Rippen ist eine lokale und konturnahe Kühlung effektiver. Zudem wird der Einfluss der Optimierungsvariablen durch einen örtlich größeren Abstand zum Rippengrund mit einem lokalen Höhepunkt des Kühlbedarfs in den Ecken geringer. Zur automatisierten Generierung von Offsets für die Optimierung des Wärmehaushalts wurde ein Algorithmus mit dem Visual Computing Institute der RWTH Aachen entwickelt, welcher eine verbesserte Kontur des Formteils erstellt. Dies ist wichtig, da die manuelle Gestaltung eines Offsets für komplexe Teile nicht rentabel ist.

Die im letzten Jahr vorgenommenen Anpassungen der Gütefunktion wurden genauer geprüft und quantifiziert. Die Gewichtung der einzelnen Terme für die Bewertung der Temperaturverteilung und Kühlrate wurde mit einer Sensitivitätsanalyse untersucht. Zur Feststellung des Einflusses dieser Bewertungen konnte mit mehreren Gewichtungskombinationen das minimale Gesamtergebnis der Gütefunktion festgestellt werden.

Eine praktische Realisierung der Temperierkanäle aus der entwickelten Methodik wurde durchgeführt. Dabei wurden zwei Werkzeugeinsätze gefertigt, um die Verbesserung der Gütefunktion von der ersten mit der zweiten Förderperiode zu vergleichen. Die mit diesen Einsätzen hergestellten Bauteile wurden taktil vermessen und der Formteilverzug beider Ansätze gegenübergestellt.

Zudem wurde das kühlratenabhängige pvT-Modell implementiert und thermische Optimierungen nach dem Ansatz der thermischen Werkzeugauslegung damit durchgeführt.

Für die Evaluierung neuer Technologien zur Einstellung des optimalen Wärmehaushalts im Spritzgießwerkzeug wurden simulative und praktische Untersuchungen durchgeführt. Dazu wurde mit den Teilprojekten A12, A10 und A02 modifizierte Werkzeugeinsätze ausgelegt, gefertigt und teilweise in Spritzgießversuche validiert.

Für die Erprobung von lokal angepassten thermischen Eigenschaften des Werkzeugstahls wurden zuerst ein einfacher Probekörper ausgelegt, welcher durch Anpassung der Wärmeleitfähigkeit einen geringeren Verzug aufweisen soll als ein herkömmliches Werkzeug mit homogener Wärmeleitfähigkeit. Eine Version mit homogener und segmentierter Wärmeleitfähigkeit wurde mit einer Prozesssimulation auf den Verzug untersucht.

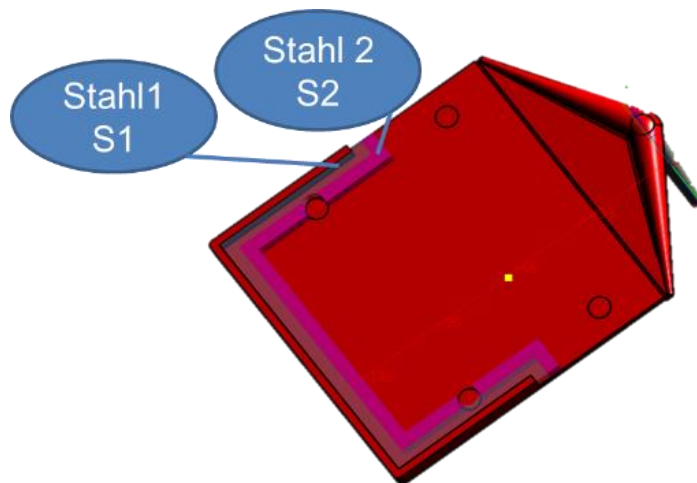


Bild 1: Simulierter Formteilgeometrie mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit

Praktische Versuche wurden bereits im Spritzgießprozess mit der thermisch gespritzten Heizschicht von TP A12 durchgeführt. Hier wurde mit einer Thermografiekamera die Temperaturverteilung und Heizrate untersucht. Anschließend wurden mit und ohne aktive Heizschicht Probekörper hergestellt und taktil vermessen.

Ergebnisse

In den Untersuchungen mit verschiedenen Offset- und Wanddicken zeigt die u-förmige Geometrie die natürliche ungleichmäßige Abkühlung der Ecken innen und außen. Für dieses unterschiedliches Kühlpotenzial eignet sich eine konturnahe Temperierung. Die ersten Optimierungen mit einem hohen Abstand der Flanken zeigen eine besonders hohe Abhängigkeit bei Verwendung der Gütefunktion aus Phase 1. Das Endergebnis der Gütefunktion in der finalen Iteration ist bei niedrigen Offset-Dicken minimal (siehe Bild 2). Bei Wandstärken von 1 mm kann kein numerisch stabiles Ergebnis

erzielt werden. Die Ergebnisse der aktuellen Gütefunktion hingegen zeigen keinen signifikanten Einfluss der Offsetdicke.

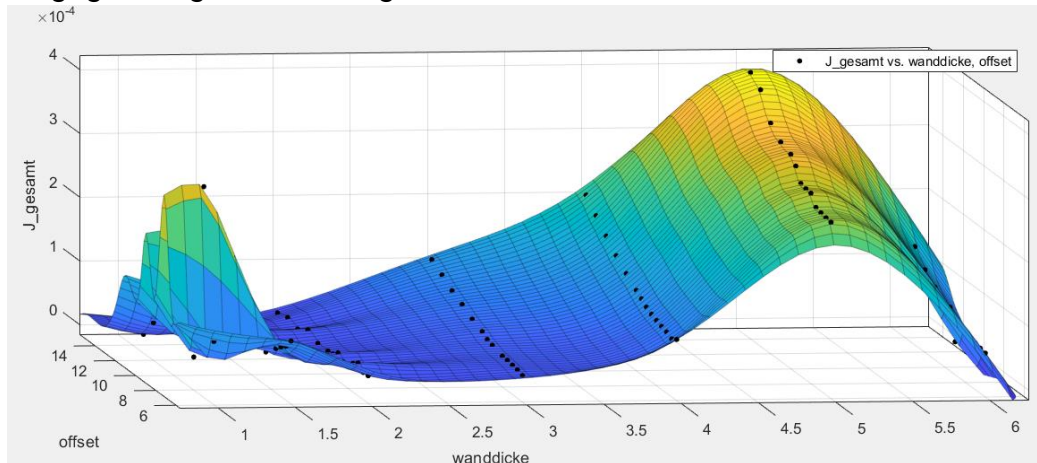


Bild 2: Ergebnisse der Gütefunktion bei unterschiedlichen Wand- und Offset-Dicken

Das Ergebnis zur Verbesserung der umhüllenden Formfunktion ist ein Algorithmus, der automatisch eine Kontur generiert. Dieser berücksichtigt die geometrischen Eigenschaften und Elemente. Anhand der lokalen der lokalen Wandstärke wird adaptiv dazu die Offset-Dicke berechnet. Zudem wird die mediale Achse der verwendeten Geometrie bestimmt und aus den generierten Offset herausgeschnitten (vgl. Bild 3). Somit kann die Oberfläche erweitert und weitere Optimierungsvariablen genutzt werden. Eingeschlossene Elemente der Geometrie, wie bspw. der Rippengrund zwischen zwei Rippen werden damit gezielt temperiert, da diese im Gegensatz zu weiter entfernten Variablen keinen Kompromiss zwischen unterschiedlichen Kühlbedürfnissen erfüllen müssen. Ein weiteres kleineres Offset wird nicht von der medialen Achse geschnitten und stellt einen gewissen Abstand der neuen Oberfläche vom Formteil sicher.

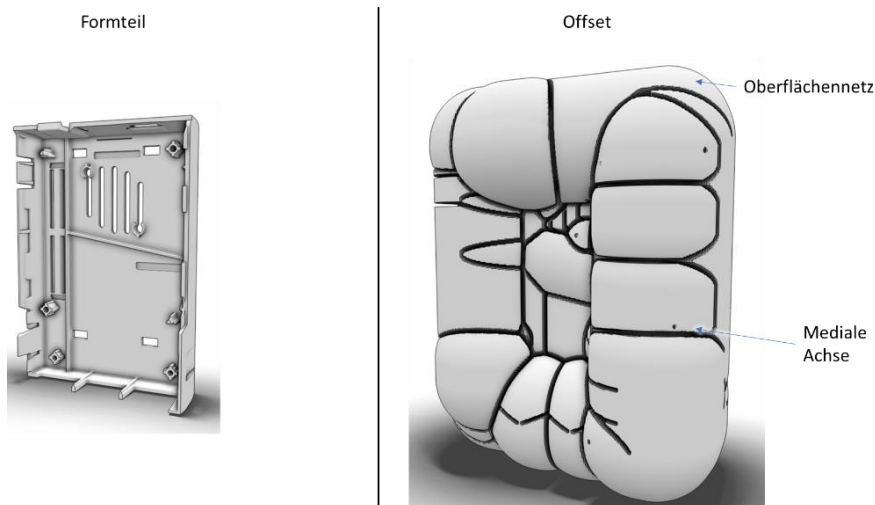


Bild 3: Formteil und dessen generiertes Offset mit subtrahierter medialer Achse und konstanter Dicke

Diese Formteilgeometrie aus Bild 1 zeigt in der Simulation einen Einfall der Rippen (vgl. Bild 4, links). Für Realisierung der segmentierten Wärmeleitfähigkeit zur Kompensation dieses Verzugs wurde von TP A02 beim Auftrags-schweißen durch verschiedene Schweißzusätze ein Rohling gefertigt. Dieser Rohling wird momentan am Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung durch spanende Fertigung zu einem verwendbaren Werkzeugeinsatz verarbeitet (vgl. Bild 4, rechts).

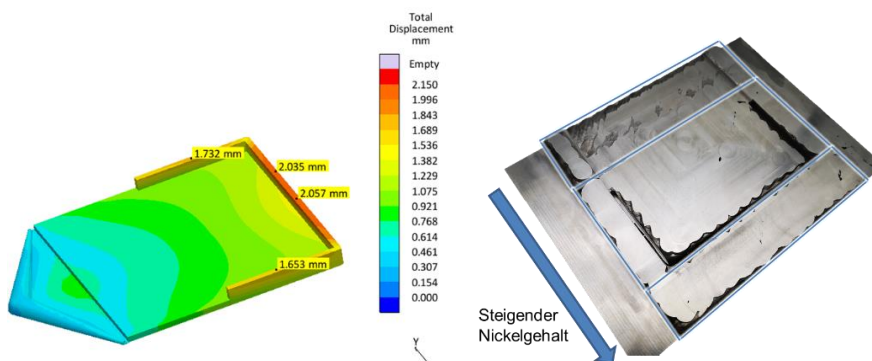


Bild 4: Simulierte Verschiebung aufgrund von Formteilverzug (links), Teilzerspanter Rohling mit sichtbaren Schweißwülsten (rechts)

Bei den Untersuchungen der thermischen Heizschicht zeigt sich bei der Temperaturverteilung ein homogenes Temperaturfeld zwischen der realisierten elektrischen Kontaktierung der Heizschicht. Bei der taktilen Vermessung der Probekörper wird eine niedrigere Krümmung bei den Platten, mit aktiver im Vergleich zur inaktiven Heizschicht während der Fertigung,

festgestellt (siehe Bild 5). Somit wurde eine Kompensation des Verzuges validiert.

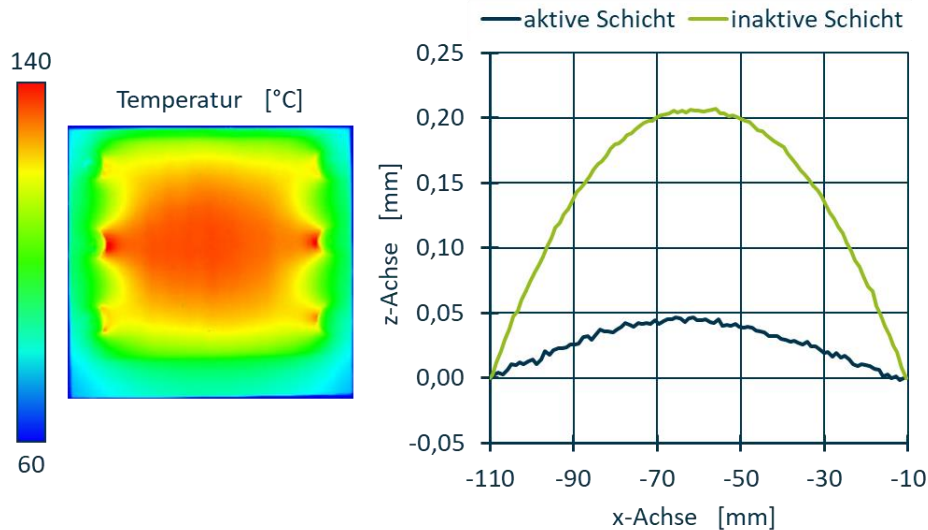


Bild 5: Temperaturverteilung der aktiven Heizschicht (links), Verzugskompensation des Formteils bei aktiver Heizschicht (rechts)

Zusammenfassung und Ausblick

Im Jahr 2021 wurde zum einen die Generierung eines adaptiven Offsets fokussiert und erfolgreich ein Algorithmus zur automatischen Erstellung des Offsets unabhängig von der Formteilgeometrie entwickelt. Mit der medialen Achse wurde eine Methodik identifiziert und implementiert, die eine lokalere Auflösung der möglichen Temperaturverteilung verspricht. Dieser Algorithmus, die Einstellungsmöglichkeiten und dessen Ergebnisse sollen im folgenden Jahr getestet werden.

Des Weiteren wurden besonders die keramische Heizschicht auf der Kavitätsoberfläche erprobt. Die Ergebnisse zeigen eine gute Einstellbarkeit des Heizbereiches und des Formteilverzugs.

Die geplanten Versuche sollen sich auf höhere und damit für die Industrie relevante Heizraten konzentrieren. Auch die anderen gefertigten Werkzeugeinsätze werden im Jahr 2022 verwendet und die Probekörper untersucht.

Veröffentlichungen

HOPMANN, CH.; GERADS, J.; HOHLWECK, T.: Investigation of an inverse thermal injection mould design methodology in dependence of the part geometry. *International journal of material forming*, 2021.

HOPMANN, CH.; HOHLWECK, T.: Path-Planning Algorithm for the Automatic Generation of a Cooling Channel Layout in Injection Moulds. *Proceedings of the ANTEC Conference*. 5.-7. Mai 2021. Denver, 2020.

ZWICKE, F. HOHLWECK, T.; HOPMANN, C.; Elgeti, S.: Inverse Design Based on Nonlinear Thermoelastic Material Models. *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics*, 2021.

HOPMANN, CH.; HOHLWECK, T.: Thermal Optimisation of Injection Moulds by Solving an Inverse Heat Conduction Problem. *Enhanced Material, Parts Optimization and Process Intensification. EMPOrIA 2020. online*. 2021

HOPMANN, CH.; FRITSCHKE, D.; KAHVE, C.; BOBZIN, K.; HEINEMANN, H.; SCHACHT; HOHLWECK, T.: Einsatz und Einflussnahme von thermisch gespritzten Heizschichten im variothermen Spritzgießprozess. Technomer 2021, Chemnitz