

Werkzeugoptimierung durch leistungsstarke Kühlsysteme

Mühlbeyer hat bei der Werkzeugauslegung den Wärmehaushalt im Blick

Um in der Spritzgießverarbeitung möglichst kurze Zykluszeiten zu erzielen, ohne dabei die Formteilqualität aufs Spiel zu setzen, muss die Werkzeugtemperierung durchdacht und mindestens durch Simulation abgesichert sein. Am Beispiel eines Steckverbinders für Elektrofahrzeuge wird deutlich: Der Aufwand in einer frühen Phase der Bauteilentwicklung lohnt sich mehrfach.

Die Herstellung präziser Spritzgussteile erfordert ein exaktes und auf das Bauteil abgestimmtes Werkzeug, eine gute Materialvorbereitung und eine optimale Einstellung der Prozessparameter an der Spritzgießmaschine. Abgesehen von den Prozessparametern in der Formfüll- und Abkühlphase wirkt sich auf die Bauteileigenschaften vor allem die Temperatur der formgebenden Werkzeugoberflächen aus. Abhängig vom verwendeten Kunststofftyp kann die Werkzeugwandtemperatur Eigenschaften wie Kristallisationsgrad, Verzug, Schwindung und Oberflächenbeschaffenheit stark beeinflussen.

Maßnahmen gegen Hotspots

Um die Zykluszeit im Zaum zu halten, kommt es auf eine ausgewogene Werkzeugtemperierung an. Die größten Anforderungen an das Kühlsystem stellen beispielsweise schmale Stege, doppelwandige Bereiche, Augen, Dome, zylindrische Formteile mit kleinen Durchmessern und hochstehende Durchbrüche. Einer solchen Bauteilcharakteristik lediglich mit einer Standardkühlung zu begegnen, führt meist zu sogenannten Hotspots, weil an diesen Stellen in der Kavität ein großes Volumen heißer Kunststoffschmelze einer geringen Kühlkapazität gegenübersteht.

Der gängigste Ausweg aus diesem Dilemma besteht darin, für diese Problemzonen eine separate, intensive Kühlung vorzusehen. Dazu stehen dem Werkzeugbauer, je nach Geometrie des Spritzgussteils, verschiedene Materialien und Techniken zur direkten oder indirekten Kühlung zur Verfügung:

Eine Gruppe umfasst Möglichkeiten zur Kühlung mit einem Temperiermedium, zum Beispiel

- Spiralkerne,
- Sprudler,
- Trennbleche und
- intelligent angeordnete Kühlkanäle, seien sie auf konventionellem Weg durch Bohren oder konturnah mit alternativen Fertigungsverfahren erzeugt.

Eine andere Gruppe beinhaltet Möglichkeiten zur Wärmeabfuhr mit gut wärmeleitenden Werkstoffen, wie etwa

- Wärmeleitrohre,
- Kupferstifte in hohen Kernen,
- Kupfereinsätze in Formeinsätzen,
- die Verwendung einer Kupferlegierung oder eines besonders wärmeleitfähigen Stahls für formgebende Bauteile und
- wasserumspülte Halteplatten.

Spezielle Spielarten, um vor allem komplexe dreidimensionale Kühlkanäle konturnah aufzubauen, sind das Vakuumlöten und

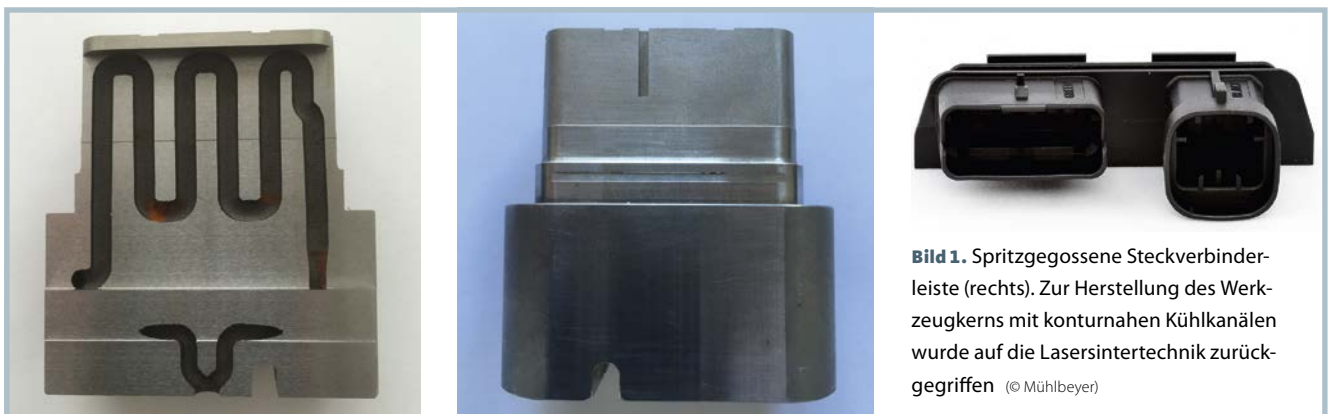


Bild 1. Spritzgegossene Steckverbinderleiste (rechts). Zur Herstellung des Werkzeugkerns mit konturnahen Kühlkanälen wurde auf die Lasersintertechnik zurückgegriffen (© Mühlbeyer)

Thermische Werkzeugauslegung

Die Spezialisten orientieren sich bei der thermischen Werkzeugauslegung an folgenden Parametern:

- Kühl- und Zykluszeit
- Lage und Größe der Temperierkanäle
- Begünstigen einer turbulenten Strömung bei der Auslegung der Temperierkanäle
- Temperaturverlauf in Formteil und Werkzeug
- Durchsatz und Temperatur des Temperiermediums
- Temperaturhomogenität bzw. Temperaturfehler an der Formnestwand
- Wärmeströme
- Pump-, Kühl- bzw. Heizleistung des Temperiergeräts im Hinblick auf Druckverluste in den Temperierkanälen
- Simulation und Variation einzelner Parameter wie Werkstoff, Temperatur, Verarbeitungsgrößen etc.

die additive Fertigung im Lasersinterverfahren (**Bild 1**). Im einen Fall werden Formeinsätze aus mehreren Platten zusammengefügt, im anderen schichtweise aus Metallpulver aufgebaut. Zur Auslegung des Kühlsystems gehören auch die Wahl des geeigneten Temperiermediums (Wasser, CO₂) und die etwaige Berücksichtigung von Sonderverfahren wie der Impulskühlung oder der dynamischen Temperierung.

Wichtige Erfahrungswerte

Leistungsstarke Kühlsysteme zu verwirklichen, bedarf hoher Fachkompetenz und vielfältiger Erfahrungen. Beim Einsatz der verschiedenen Materialien müssen Vor-, Zwischen- und Nachbehandlungen durchgeführt werden, um z.B. die Festigkeit des Materials zu gewährleisten und damit hohe Werkzeugstandzeiten zu erzielen. Bei Kombinationen aus verschiedenen Werkstoffen ist die Stoffschlüssigkeit ein wichtiger Faktor. Erfahrene Werkzeugbauer wissen außerdem, dass die Außenschicht von Kupferlegierungen mindestens eine Härte von 52 HRC erreichen und dass eine aus einem besonders wärmeleitfähigen Stahl gefertigte Werkzeugkomponente in aller Regel mit einem Korrosionsschutz ausgestattet werden muss.

Im Rahmen ihres Angebots „C-Mold“ (C steht für Cool) wählt die Mühlbeyer Werkzeug- und Formenbau GmbH, Bad Friedrichshall, zusammen mit dem Kunden die qualitativ und wirtschaftlich sinnvollste Kühlsystem-Variante aus. Dabei zieht ein Projektteam für die thermische Werkzeugauslegung einen Katalog definierter Kriterien heran (**siehe Infokasten**). Mithilfe von Füll- und Verzugssimulationen können mögliche Hotspots gefunden und so schon vor der Werkzeugkonstruktion Gegenmaßnahmen gegen die Hotspots eingeleitet werden.

Optimierung des Kühlsystems durch Simulation

Ein Beispiel für dieses gezielte Vorgehen ist ein Steckverbinder für Elektrofahrzeuge (**Bild 2**). Die in einer frühen Entwicklungsphase durchgeführte Spritzgießsimulation mit Autodesk Moldflow zeigt Hotspots und infolgedessen einen nicht tolerierbaren Verzug an den Domen (**Bild 3**). Diesem Ungleichgewicht im Wärmehaushalt des Spritzgießwerkzeugs muss mit einem leistungsstarken Kühlsystem entgegengewirkt werden. »

Bild 2. Das Spritzgießwerkzeug für diesen E-Mobility-Steckverbinder (rechts) beinhaltet mit Kupferstiften bestückte konturnahe Kühldome

(© Mühlbeyer)

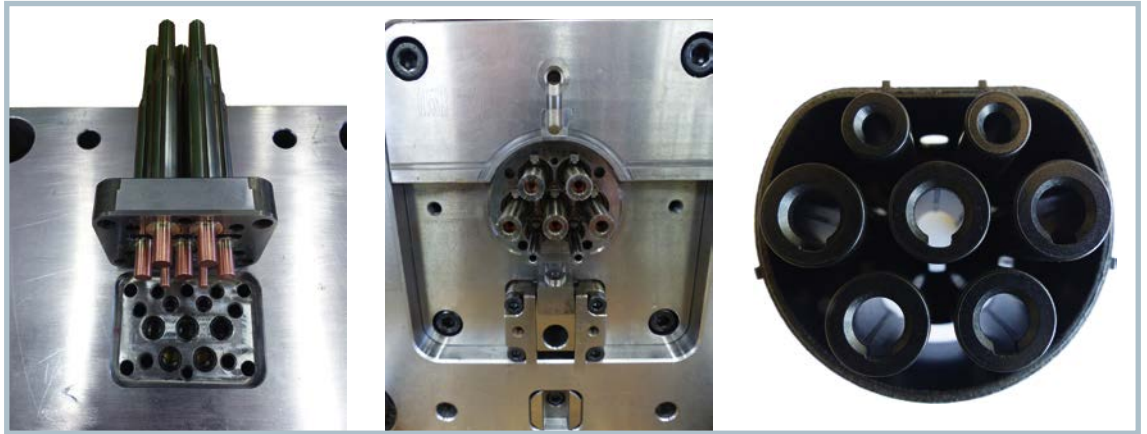
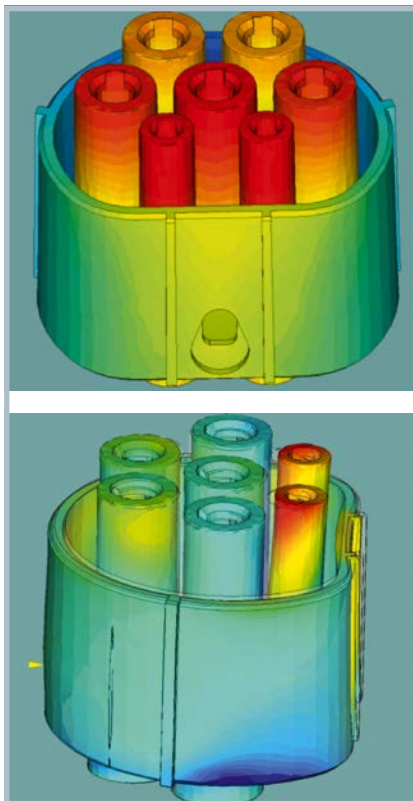


Bild 3. In der Füllsimulation für den Steckverbinder wurde der Verzug in Relation zum zeichnungsgerechten Spritzgussbauteil zum leichteren Verständnis farbig dargestellt. Die blauen Stellen sind verzugsfrei, grün gefärbte haben einen Verzug von 0,1mm, gelb bedeutet 0,2mm Verzug; rote Stellen haben einen Verzug von 0,3mm und entsprechen hier den Hot-spots (© Mühlbeyer)



Der Autor

Stefan Dürr ist Geschäftsführer der Mühlbeyer Werkzeug- und Formenbau GmbH, Bad Friedrichshall.

Im Profil

Die **Mühlbeyer Werkzeug- und Formenbau GmbH** ist spezialisiert auf langlebige und wartungsfreundliche Spritzgießwerkzeuge mit leistungsstarken Kühlsystemen, z. B. für die Herstellung von Steckverbindern. Das Unternehmen mit Sitz in Bad Friedrichshall nahe Heilbronn fertigt u. a. Mehr-Kavitäten- und Etagenwerkzeuge für Kunststoffteile mit einem Schussgewicht bis 300 g und Spritzgießwerkzeuge für Kunststoff-Metall-Hybridbauteile. Seit den Anfängen vor über 30 Jahren hat sich das Unternehmen vom reinen Formenbauer zum breit aufgestellten Systemlieferanten rund um das Spritzgießen entwickelt.

www.muehlbeyer.de

Service

Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/3727194

Sobald das im ersten Ansatz angedachte Werkzeugkonzept mit dem vorgesehenen Angussystem und Kühlsystem konstruktiv festgelegt ist, wird eine praxisnahe Simulation durchgeführt. Dabei werden sowohl die einzelnen Prozessphasen wie Füll-, Nachdruck- und Kühlphase als auch Bauteileigenschaften wie Schwindung und Verzug simuliert.

Hier zeigt sich, dass die angenommene gleichmäßige Werkzeugtemperatur nur in der Theorie vorherrscht. Im konkreten Beispiel werden die Kerne der Dome noch heißer als in der Erstsimulation berechnet. Anhand der neuen Ergebnisse wird die Werkzeugkonstruktion einschließlich des Kühlsystems nochmals optimiert – durch eine konturnahe Kühlung der Kerne mit Kupferstiften.

Nun kann die realitätsnahe Werkzeugtemperatur über die Zykluszeit simuliert werden. Mithilfe analytischer Gleichungen und Finite-Elemente-Programme des Simulationsprogramms wird die Werkzeugtemperierung überprüft.

Dreifacher Nutzen

Thermisch balancierte Spritzgießwerkzeuge gestalten die Produktion von Spritzgussteilen preiswerter und sicherer. Eine optimierte Kühlung an der konturgebenden Oberfläche eines Werkzeugs macht sich in dreifacher Hinsicht bezahlt. Erstens verkürzt sie die Zykluszeit um ca. 10 bis 40 %, denn Formteile können aufgrund der effektiveren Kühlung früher aus dem Werkzeug entnommen werden. Zweitens verlängert sie die Werkzeugstandzeit, weil die konturgebende Werkzeugoberfläche wesentlich geringeren thermischen Spannungen ausgesetzt ist und das Werkzeug damit geschont wird. Und schließlich erhöht sich durch ein nahezu konstantes Temperaturniveau an der Kavitäts-oberfläche die Formteilqualität, indem eine gleichmäßige Gefügeausbildung befördert wird. Auf diese Weise werden Eigenspannungen im Formteil sowie Verzug und Maßabweichungen, die nachträgliche Werkzeugkorrekturen erfordern, vermieden. ■