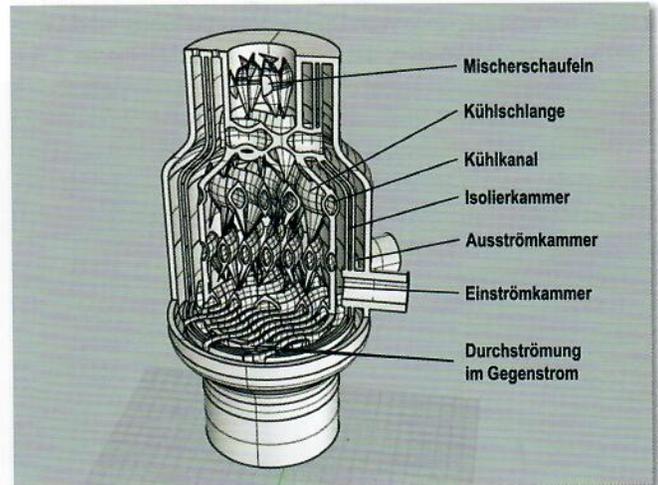


Additiv hergestellte Schmelzekühler für die Schaumextrusion

Dr.-Ing. Heinz Groß

Zahlreiche technische Anforderungen an Schmelzekühler lassen sich mit konventionellen Fertigungsmethoden nur unbefriedigend oder gar nicht bedarfsgerecht lösen. Die additive Fertigung gibt dagegen zahlreiche konstruktive Freiheiten. Mit einer additiven Fertigung lassen sich Schmelzekühler für jede Anwendung maßschneidern, sowohl bezüglich der Größe als auch der technischen Leistungsfähigkeit.

Bild 1: Partieller Längs- und Querschnitt durch den Grundaufbau eines im selektiven Laserschmelzverfahren herstellbaren Schmelzekühlers (Quelle: H. Groß)



So können spezielle für Schmelzekühler optimierte Kühlschlängenquerschnitte realisiert werden, die eine große Übertragungsfläche besitzen und dennoch einen geringen Fließwiderstand erzeugen. Es lassen sich auch ohne Probleme strömungsgünstige Querschnittsgeometrien herstellen, die in Strömungsrichtung der Schmelze gesehen spitz beginnen und auch wieder spitz enden, um störende Stagnationszonen für den Schmelzestrom zu vermeiden. Im selektiven Laserschmelz-

verfahren (Selective Laser Melting, [SLM]) können auch Schmelzekühler gefertigt werden, die für kleine Anlagen im Technikum geeignet sind und mit denen bei einem geringen Fließwiderstand eine große Übertragungsfläche möglich wird. Die Anforderungen, die je nach vorgesehener Anwendung und Größe der Extrusionsanlage an einen Schmelzekühler gestellt werden, können sehr unterschiedlich sein. Idealerweise sollten Schmelzekühler deshalb entsprechend der technischen Notwendigkeiten individuell ausgelegt werden. Mit konventionellen Fertigungsmethoden lassen sich solche Anforderungen insbesondere dann kaum lösen, wenn Aufwand und Kosten der Fertigung nicht ausufern sollen, weil dann meist auf standardisierte Komponenten zurückgegriffen werden muss. Dabei stehen beispielsweise Rohrsysteme mit strömungsgünstiger Querschnittsgeometrie nicht zur Verfügung, so dass quadratische, runde oder bestenfalls ovale Rohre in wenigen Baugrößen zum Einsatz kommen. Auch bestehen in der Praxis Schwierigkeiten, die Kühlschlängen mediendicht in das Kühlergehäuse einzubinden.

Elemente eines neuartigen Schmelzekühlerkonzepts

Unter Nutzung der erweiterten Fertigungsmöglichkeiten, die das SLM-Verfahren bietet, wurde ein von Grund auf neuartiges Konzept für einen Schmelzekühler entwickelt. Bei einem prinzipiell gleichbleibenden Grundaufbau können alle für die Leistungsfähigkeit eines Schmelzekühlers entscheidenden Parame-

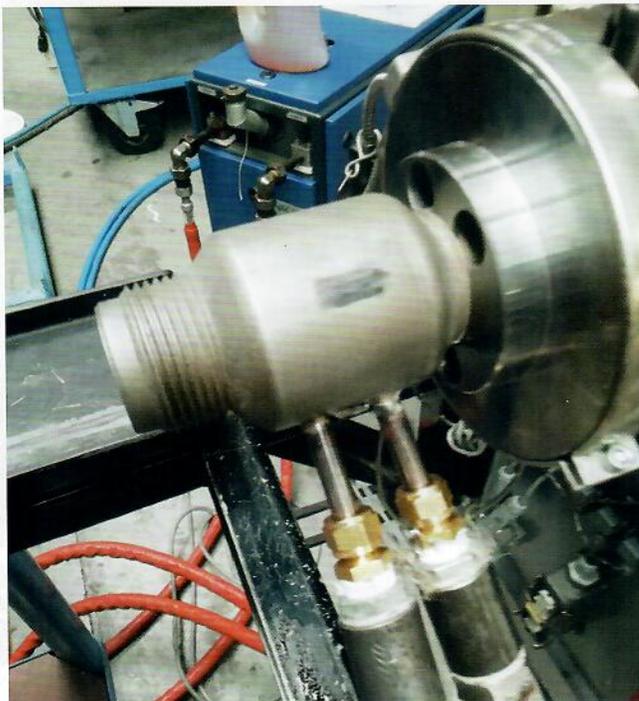


Bild 2: Spezieller im SLM-Verfahren hergestellter Schmelzekühler angeflanscht an einen kleinen Doppelschneckenextruder, der für die Versuche verwendet wurde

ter stufenlos variiert werden, um dem jeweiligen Anforderungsprofil gerecht zu werden.

Das Gehäuse besitzt eine Einström- und eine Ausström- kammer für das Kühlmittel (Bild 1). Beide Kammern erstrecken sich jeweils über die gesamte Länge und über den gesamten Umfang des Schmelzekühlers. Die komplette Außenoberfläche der Fließkanalwand wird somit einheitlich temperiert. Um Verluste zu minimieren, werden die Kammern mit Hilfe von zwei Wänden getrennt, zwischen denen sich ein isolierender Luftspalt befindet.

Das Temperiermittel wird über kurze Kühlschlangen, die jeweils von der einen Seite der Fließkanalwand zur gegenüberliegenden verlaufen, geleitet. Die Kühlschlangen sind zur Vergrößerung der Oberfläche sinusförmig gewandelt und besitzen eine strömungsgünstige, in Fließrichtung langgestreckte Form, um bei einer möglichst großen Übertragungsfläche den Fließwiderstand des Schmelzekühlers gering zu halten. Zur Vermeidung von Stagnationszonen sind die Kühlschlangen am Anfang und am Ende spitz ausgeführt. Im Inneren der Kühlschlangen folgt die Geometrie der Kühlkanäle der Außenform der Kühlschlangen und die Wanddicke der Kühlschlangen ist bewusst klein gehalten. Dadurch steht auch im Inneren der Kühlschlangen eine große Oberfläche für die Energieübertragung von der Schmelze zum Temperiermittel zur Verfügung, und es besteht nur ein geringer Wärmeleitwiderstand durch die Wand der Kühlschlangen.

Die Kühlschlangen verlaufen quer zum Schmelzestrom. Sie werden auf der einen Seite des Fließkanals über den Einströmkanal gespeist und enden auf der gegenüberliegenden Seite im Ausströmkanal des Schmelzekühlers. Dadurch besitzen die Kühlschlangen im Fließkanal nur eine sehr kurze Länge, so dass sich das Temperiermittel vom Eintritt bis zum Austritt nur geringfügig erwärmt. Um trotz dieser nicht vermeidbaren Erwärmung eine möglichst gleichmäßige Abkühlung der Schmelze zu erreichen, werden benachbarte Kühlschlangen vom Temperiermittel jeweils im Gegenstrom durchflossen. Die Größe und der Abstand zwischen den einzelnen Kühlschlangen können nun frei gewählt werden. Dabei muss ein für die jeweilige Anwendung akzeptabler Kompromiss zwischen einem möglichst geringen Fließwiderstand und einer möglichst homogenen Schmelztemperatur gefunden werden. Bei einem größeren Abstand der Kühlschlangen voneinander verringert sich der Fließwiderstand, aber auf der anderen Seite nehmen die Temperaturunterschiede in der Schmelze zu.

Um die Temperaturdifferenzen im Schmelzekühler so klein wie möglich zu halten, wird in Strömungsrichtung gesehen jedem kurzen Kühlschlangenbereich ein Mischbereich nachgeschaltet. Über die in Fließrichtung vorhandene kurze Kühllänge wird somit erst einmal auch nur eine geringe Temperaturdifferenz zwischen der Schmelze generiert, die kühl-schlängennah oder kühl-schlängentfern strömt. In dem nachgeschalteten Mischbereich wird die Schmelztemperatur wieder etwas vergleichmäßigt,

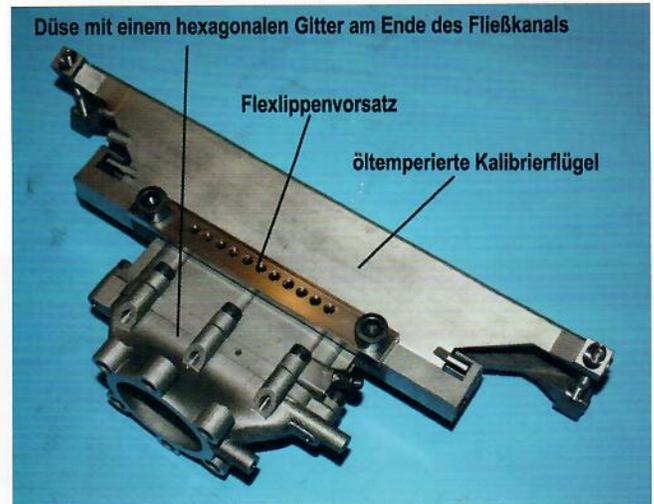


Bild 3: Dreigeteilte Düseneinheit, die speziell zu Forschungszwecken konzipiert wurde

bevor sie dann im nächsten Kühl-Mischbereich weiter abgekühlt wird. Dieser nachfolgende Bereich ist gegenüber dem vorangegangenen jeweils um 45° verdreht angeordnet, um auch darüber die Temperaturunterschiede der Schmelze im Kühler möglichst gering zu halten. Am Ende des Kühlers folgt nach dem letzten Kühlschlangenbereich ein verlängerter Mischbereich, um die Homogenität der Schmelztemperatur am Ende des Kühlers zu verbessern.

Freiheiten bei der Temperierung

Bei einem im SLM-Verfahren hergestellten Schmelzekühler ist es auch problemlos möglich, die einzelnen Kühl-Mischbereiche unabhängig voneinander zu temperieren. Damit kann dann die Temperatur des Temperiermittels von Stufe zu Stufe weiter ab-



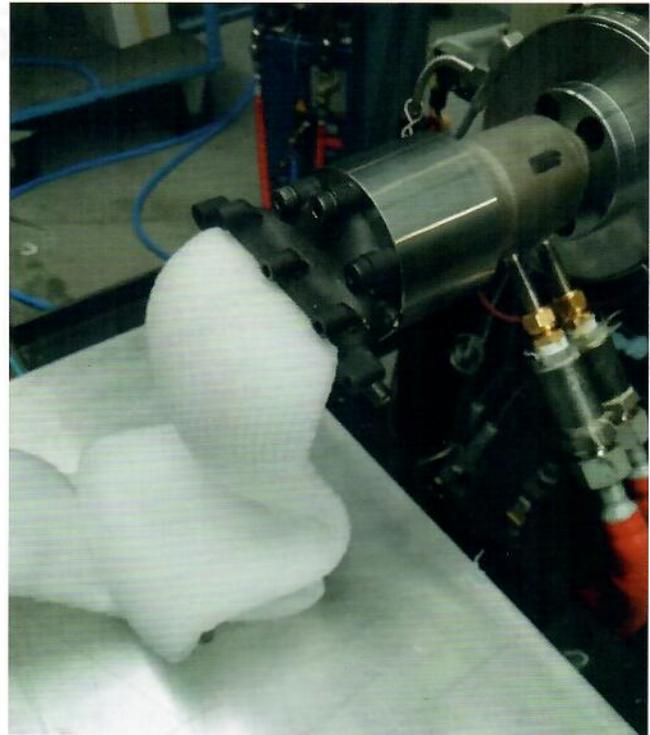
Bild 4: An den Schmelzekühler angeflanschte Forschungsdüse mit einem hexagonalen Fließkanalgitter am Düsenende

Bild 5: Durch die spezielle Gestaltung des Fließkanals am Ende der Düse lassen sich in der Extrusion auch Schäume mit einer größeren Dicke herstellen

gesenkt werden. Sollen beispielsweise Schmelzekühler in kleinen Laboranlagen möglichst flexibel eingesetzt werden, empfiehlt es sich, den Schmelzekühler modular auszuführen, um darüber sowohl den vom Schmelzekühler erzeugten Gegen- druck als auch die Kühlleistung den speziellen Erfordernissen des jeweils geplanten Versuchs anpassen zu können. Generativ hergestellte Schmelzekühler können je nach Anforderungen aus normalem Werkzeugstahl oder aber aus korrosionsfestem Edelstahl gefertigt werden. Auch beim Kühlmedium steht es dem Anwender frei, sich für Luft, Wasser oder ein Thermoöl zu entscheiden, oder je nach Anwendungsfall auch das Temperier- mittel zu wechseln.

Es wurde ein erster Schmelzekühler für eine kleine Laboranlage konzipiert. **Bild 2** zeigt den Schmelzekühler angeflanscht an den Extruder. Erste Labortests wurden mit SABIC LDPE 1905UO durchgeführt. In einem Nullversuch wurde lediglich der Schmel- zekühler an den Extruder angeflanscht und auf 115 °C tempe- riert. Dabei ergab sich im stationären Zustand bei einem Durchsatz von 8,0 kg/h eine Schmelzeaustrittstemperatur von 115 °C und ein Druckabfall von 3,5 N/mm² (35 bar). Durch Temperierung des Kühlers mit einer Temperiermitteltemperatur von 97°C konnte die Schmelze auf 107,5 °C abgekühlt werden, wobei der Druck auf 3,9 N/mm² (39 bar) anstieg. Mit ange- flanschter Düse (siehe **Bild 4**), die nach dem Aufheizen, das zum Anfahren erforderlich war, weder aktiv beheizt noch ge- kühlt wurde, ergab sich bei sonst unveränderten Versuchsbe- dingungen im stationären Zustand eine an der Außenoberflä- che gemessene Düsentemperatur von 96°C und eine Schmel- zeaustrittstemperatur von 110°C sowie ein Druckabfall von 8,3 N/mm² (83 bar).

Nach Ermittlung dieser Daten wurde an den Schmelzemischer eine ebenfalls im SLM-Verfahren hergestellte Labordüse ange- flanscht, die aus drei Teilen besteht, der eigentlichen Düse, ein- em Flexlippenvorsatz und zwei Kalibrierflügeln, mit einem bei laufendem Versuch stufenlos veränderbaren Kalibrierwinkel (**Bild 3**). In einem ersten Schritt wurde lediglich die Düse ange- flanscht, die am Düsenmund eine Fließkanalspalthöhe von 7 mm besitzt. Um dennoch den zum Schäumen erforderlichen hohen Fließwiderstand zu gewährleisten, wurde am Ende des Fließkanals ein spezielles hexagonales Gitter eingebaut (**Bild 4**).



Damit konnte bestätigt werden, dass prinzipiell mit einer Düse, die eine geeignete Fließkanalgestaltung besitzt, auch dickere Schäume direkt im Extrusionsverfahren hergestellt werden kön- nen (**Bild 5**).

Die ersten Versuche haben bestätigt, dass im adaptiven Ferti- gungsverfahren Schmelzekühler hergestellt werden können, die ganz spezifisch für die jeweils vorgesehene Anwendung op- timiert sind. Mit dem gefertigten Kühler konnte die Schmelze effektiv abgekühlt werden, wobei der dabei erzeugte Fließwi- derstand in einem akzeptablen Rahmen blieb. Es konnte ge- zeigt werden, dass es möglich ist selbst für kleine Laboranlagen einen Kühler zu konzipieren, der eine gute spezifische Kühllei- stung besitzt und mit dem auch eine gute Homogenität der Schmelzetemperatur erreicht werden kann. Da der Kühler aus einem Stück gefertigt ist und somit weder Löt- noch Schweiß- verbindungen besitzt, besteht auch keine Gefahr, dass im Be- trieb Leckagen auftreten können.

Dr.-Ing. Heinz Groß Kunststoff-Verfahrenstechnik
Ringstr. 137, 64380 Roßdorf, Deutschland
www.gross-k.de