

Maßgeschneidert kühlen und mischen

Konstruktionskonzept für die additive Fertigung von Schmelzekühlern

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.

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 den 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 meistens auf standardisierte Komponenten zurückgegriffen werden muss.

Denn dabei stehen beispielsweise Rohrsysteme mit strömungsgünstiger Querschnittsgeometrie nicht zur Verfügung, sodass quadratische, runde oder bestenfalls ovale Rohre in wenigen Bauformen zum Einsatz kommen. Schwierigkeiten bestehen in der Praxis auch, die Kühlschlangen mediendicht in das Kühlgehäuse einzubinden.

Elemente eines neuartigen Schmelzekühlerkonzepts

Unter Nutzung der erweiterten Fertigungsmöglichkeiten, die das SLM-Verfahren bietet (siehe Kasten), wurde ein von Grund auf neuartiges Konzept für einen Schmelzekühler entwickelt. Bei einem prinzipiell gleichbleibenden Grundaufbau können alle für die Leistungsfähigkeit eines Schmelzekühlers entscheidenden Parameter stufenlos variiert werden, um dem jeweiligen Anforderungsprofil gerecht zu werden.

Das Gehäuse besitzt eine Einströmkammer und eine Ausströmkammer für das Kühlmittel (**Bild**). Beide Kammern er-

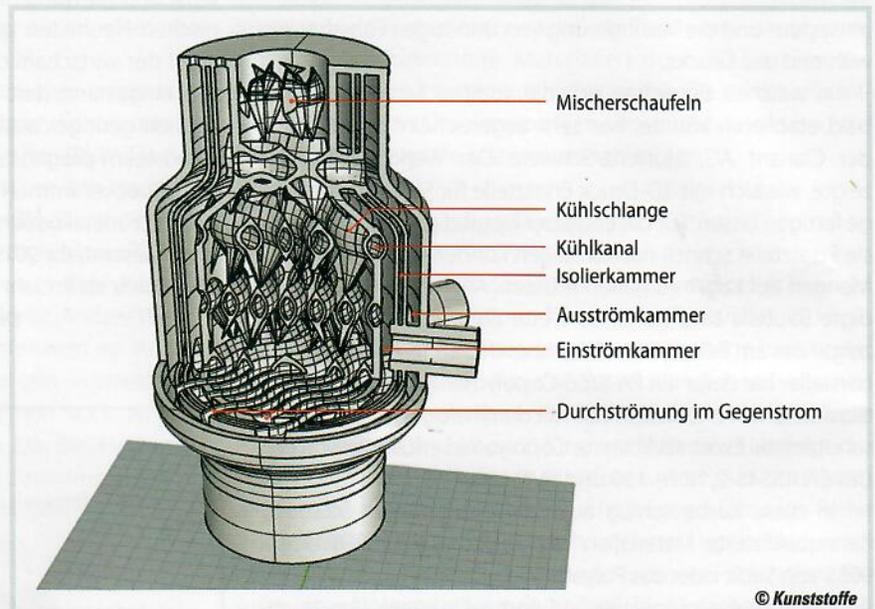


Bild Partielle Längs- und Querschnitt durch den Grundaufbau eines im selektiven Laserschmelzverfahren herstellbaren Schmelzekühlers (Quelle: H. Groß)

strecken 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 mithilfe zweier Wände getrennt, zwischen denen sich ein isolierender Luftspalt befindet.

Die Geometrie der Kühlschlangen und der Kühlkanäle

Das Temperiermittel wird über kurze Kühlschlangen geleitet, die jeweils von der einen Seite der Fließkanalwand zur gegenüberliegenden verlaufen. 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.

Temperiermitteleinsatz in Gegenstromrichtung

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, sodass 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.

Größe und Abstand zwischen den einzelnen Kühlschlangen können nun frei gewählt werden. Dabei muss ein für die jeweilige Anwendung akzeptabler Kompromiss zwischen einem möglichst geringen Widerstand und einer möglichst homogenen Schmelzetemperatur 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.

Geringe Temperaturdifferenzen durch nachgeschaltetes Mischen

Um die Temperaturdifferenzen im Schmelzekühler so klein wie möglich zu halten, wird jedem kurzen Kühlschlangebereich ein kurzer Mischbereich nachgeschaltet. Über die in Fließrichtung vorhandene kurze Kühllänge wird somit erst einmal auch nur eine geringe Temperaturdifferenz zwischen der Schmelze, die kühl-schlannennah oder kühl-schlannenger fern strömt, generiert.

In dem nachgeschalteten Mischbereich wird die Schmelzetemperatur wieder etwas vergleichmäßig, bevor sie dann im nächsten Kühl-Mischbereich weiter abkühlt. Dieser nachfolgende Bereich ist gegenüber dem vorangegangenen jeweils um 45° verdreht angeordnet, um auch darüber die Temperaturunterschiede im Schmelzekühler möglichst gering zu halten. Am Ende des Schmelzekühlers folgt nach dem letzten Kühlschlangebereich ein verlängerter Mischbereich, um die Homogenität der Schmelzetemperatur am Ende des Kühlers zu verbessern.

Freiheiten beim Temperieren

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 abgesenkt 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 Gegendruck als auch die Kühlleistung den speziellen Erfordernissen des jeweils geplanten Versuchs anpassen zu können.

Flexibilität in der Auswahl von Material und Kühlmedium

Generativ hergestellte Schmelzekühler können je nach Anforderungen sowohl aus normalem Werkzeugstahl oder aber aus korrosionsfestem Edelstahl gefertigt werden.

Flexibilität besteht auch beim Kühlmedium: Hier steht es dem Anwender frei, sich für Luft, Wasser oder ein Thermoöl zu entscheiden oder je nach Anwendungsfall auch das Temperiermittel zu wechseln.

Umsetzung des Konzepts

Es wurde sowohl ein Schmelzekühler für eine große Produktionsanlage als auch einer für eine Laboranlage konzipiert. Anhand der 3D-Daten werden für den großen Schmelzekühler die zu erwartenden Fließwiderstände bei Variation der Temperaturen mithilfe von Simulationsrechnungen ermittelt, um auf den Ergebnissen aufbauend die Geometrie so zu modifizieren, dass die gewünschten Werte erreicht werden.

Der kleine Schmelzekühler befindet sich bereits im Bau. Er wird direkt in eine Laboranlage eingebaut und erprobt. Dieser spezielle Kühler ist relativ kurz und modular konzipiert. Dies hat den Vorteil, dass je nach den erzielten Versuchsergebnissen ein weiterer identischer oder in der Geometrie etwas modifizierter Kühler gebaut werden kann, der sich direkt an den ersten Kühler anschrauben lässt, um damit eine höhere Kühlleistung zu erreichen. ■

Vorteile der additiven Fertigung

Mit additiver Fertigung lassen sich Schmelzekühler für jede Anwendung maßschneidern, sowohl bezüglich der Größe als auch der technischen Leistungsfähigkeit. So können spezielle für Schmelzekühler optimierte Kühlschlangenquerschnitte 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 Laserschmelzverfahren (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.

Der Autor

Dr.-Ing. Heinz Groß ist Inhaber eines Ingenieurbüros in Roßdorf; heinz-gross@t-online.de

Service

Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-02