

DKV-Forschungsbericht Nr. 88

Thomas Knipping

Kühlen kleiner Kavitäten mit verdampfenden Fluiden

2018

978-3-932715-20-4



Kurzfassung

Die Kühlung bei hohen Wärmestromdichten bekommt in technischen Anwendungen immer stärkere Bedeutung. Dies liegt zum einen daran, dass der zur Verfügung stehende Bauraum aufgrund einer fortschreitenden Miniaturisierung immer kleiner wird, zum anderen an den immer höheren Leistungen, welche in technisch anspruchsvollen Prozessen wie der Inconel-Zerspanung abgeführt werden müssen. Um dieser Herausforderung zu begegnen, wurde eine neue Verdampferform – der Spot-Verdampfer – entwickelt.

Beim Spot-Verdampfer handelt es sich um einen zylindrischen Verdampfer mit einem Innendurchmesser zwischen 1 – 3 mm, der in Bauteile mit hoher Wärmeentwicklung als Sackloch eingebracht wird. Das Kältemittel wird über eine konzentrisch orientierte Kapillare in das Sackloch geführt, im Bohrgrund um 180° umgelenkt und strömt gegen die Zuströmrichtung wieder aus dem Verdampfer heraus. Durch dieses Design des Verdampfers kann eine kompakte Baugröße erzielt werden, wodurch der Verdampfer in vielfältigen technischen Anwendungen einsetzbar ist.

Die Motivation für diese Arbeit war die Entwicklung eines Simulationsprogrammes, um die mit Spot-Verdampfern erzielbaren Kühlleistungen berechnen zu können. Aufgrund der besonderen Bauform des Spot-Verdampfers überlagern sich zwei verschiedene Wärmeübertragungsmechanismen, eine Sprühkühlung und eine Rohrströmung, wofür von anderen Forschern bisher noch kein Simulationsprogramm veröffentlicht wurde.

Die wesentlichen Zielgrößen des Simulationsprogrammes sind zum einen der Massenstrom, der den Verdampfer durchströmt und zum anderen der mittlere Wärmeübergangskoeffizient, um die Kühlleistung des Verdampfers berechnen zu können. Die Berechnung des Massenstroms ist unter anderem abhängig von der Tiefe der Bohrung, der Kapillarlänge, sowie der Druckdifferenz zwischen Verdampfungs- und Kondensationsdruck und muss deshalb für jeden Spot-Verdampfer individuell errechnet werden. Der mittlere Wärmeübergangskoeffizient wird berechnet aus einem Wärmeübergangskoeffizient für den Bereich der Sprühkühlung und einem für die Rohrströmung. Die errechneten Wärmeübergangskoeffizienten für diese Bereiche werden über die zugehörigen Wärmeübertrageroberflächen zueinander ins Verhältnis gesetzt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Simulationsmodell geeignet ist, um die im Spot-Verdampfer ablaufenden Vorgänge zu beschreiben. Die Massenströme konnten mit einer Genauigkeit von $\pm 3,5\%$ berechnet werden und die Validierung der Wärmeübergangskoeffizienten ergab eine Abweichung von maximal $\pm 20\%$.

Die Übertragung des Simulationsmodells auf einen Anwendungsfall zeigt, dass Spot-Verdampfer geeignet sind, technische Anwendungen mit hoher Wärmelastung zu optimieren. In dem

dargestellten Fall konnte die Zielsetzung einer Reduzierung der Temperatur an der Schneide eines CBN-Drehwerkzeuges durch den Einsatz von SpotVerdampfern sehr gut erfüllt werden. Dadurch konnte eine Standzeitverbesserung von ca. 50 % erzielt werden, die durch Verschleißmessungen beim Projektpartner nachgewiesen wurde.