

# Vakuumlöten von Spritzgiesswerkzeugen mit der Materialkombination Titan, Kupfer und Stahl

Dr. Manfred Boretius  
Listemann AG, Eschen/FL

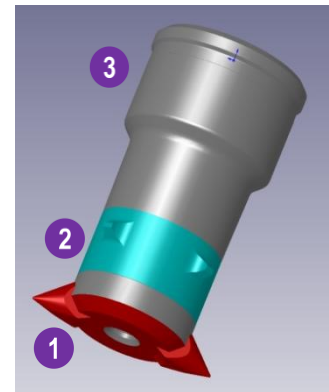
## 1. Einleitung

Das Löten wird oft eingesetzt, um unterschiedliche Materialien stoffschlüssig miteinander zu verbinden. Zielsetzung ist immer, die Funktionalität zu optimieren, die Leistung zu erhöhen und/oder die Kosten zu reduzieren. Heisskanalwerkzeuge haben beim Kunststoffspritzgiessen die Funktion, den flüssigen Kunststoff gleichzeitig und gleichmässig in mehrere Formkavitäten zu verteilen. Mehr Kavitäten erhöhen die Produktivität des Spritzgiessprozesses, bedeuten aber auch, dass mehr Material kontrolliert erhitzt werden muss, so dass die gewünschte Viskosität an allen Angussstellen erreicht wird. Hohe Temperaturen sollen möglichst nur auf den Düsenbereich des Heisskanalwerkzeugs konzentriert werden, um den Energieeinsatz zu minimieren und negative Beeinflussung der Werkzeugumgebung zu vermeiden. Diese Forderung kann nur durch Kombination verschiedener Konstruktionswerkstoffe mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten und –kapazitäten erreicht werden.

## 2. Werkzeugaufbau

Durch Löten soll ein Heisskanalwerkzeug mit Mehrfachdüse realisiert werden, dass folgenden Aufbau hat:

- ① Mehrfachspitze aus einem Kupferwerkstoff mit hoher Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda_{RT}= 217 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ;  $\alpha_{RT}= 17,5\cdot 10^{-6}/\text{K}$ )
- ② Schaftunterteil zum Einbau und Führung in der Werkzeugumgebung aus einer Titanlegierung mit schlechter Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda_{RT}= 6,6 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ;  $\alpha_{RT}= 9\cdot 10^{-6}/\text{K}$ )
- ③ Schaftoberteil zur Montage in die Werkzeugumgebung aus einem verschleissbeständigen Warmarbeitsstahl ( $\lambda_{RT}= 36 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ;  $\alpha_{RT}= 12,5\cdot 10^{-6}/\text{K}$ )



Die geforderte Härte des Warmarbeitsstahls beträgt 43-46 HRC, wobei die empfohlene Härtetemperatur bei Ölabschreckung 830-870°C und bei Luftabschreckung 870-900°C liegt. Die Verbindungsfestigkeit muss so hoch sein, dass ein statischer Innendruck von 300bar problemlos ertragen werden kann.

## 3. Auswirkungen auf den Lötprozess

Die Materialeigenschaften der Fügepartner und die Kundenanforderungen haben zum Teil gegenläufige Auswirkungen auf den Lötprozess. Wesentliche Randbedingungen sind gegeben durch:

- Die Härtebarkeit des Warmarbeitsstahls, die eine Löttemperatur von mindestens 830°C und eine ausreichend lange Zeit für die vollständige Austenitisierung erfordern.
- Die  $\alpha$ - $\beta$ -Umwandlung der Titanlegierung, die eine maximale Löttemperatur von 950°C vorgibt.
- Die Ausdehnungseigenschaften der unterschiedlichen Materialpaarungen, insbesondere die zwischen Mehrfachspitze und Schaftunterteil, die nach einer möglichst niedrigen Löttemperatur verlangen, um den Lötspalt ausreichend eng zu halten.
- Die Bildung intermetallischer Phase zwischen Titanlegierung und Warmarbeitsstahl aber auch zwischen Titanlegierung und Kupferlegierung, die durch möglichst geringe Löttemperaturen und kurze Lötzeiten zu minimieren sind.

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen wurde festgelegt, die Lote AG401 und PD106 auszutesten, und Probebauteile bei einer Löttemperatur von 840°C und Lötzeit von 5min im Vakuumofen zu verlöten. Der Abschreckprozess sollte bei 780°C beginnen, bei einem moderaten  $N_2$ -Gasdruck von 850mbar.

## 4. Ergebnisse der Probebauteillötungen

Mit den gelöteten Probebauteilen wurden Druckversuche und metallographische Analysen der Lötverbindungen durchgeführt, mit folgenden Ergebnissen:

- Eine Löttemperatur von 840°C und Lötzeit von 5min führt zu einer starken Wechselwirkung zwischen Mehrfachspitze (Cu-Legierung) und Schaftunterteil (Ti-Legierung). Die Folge sind Risse im Interface zum Schaftunterteil und ein Versagen der Verbindung bei einer statischen Druckprüfung von 300bar.

- Das palladiumhaltige Lot (PD106) führt tendenziell eher zu druckdichten Verbindungen als das reine Silber-Kupfer-Eutektikum (AG401), hat jedoch ein deutlich schlechteres Benetzungs- und Fließverhalten.
- Die Lötverbindung zwischen Titanlegierung und Warmarbeitsstahl ist nicht die Schwachstelle.

Um die Wechselwirkung zwischen Mehrfachspitze und Schaftunterteil zu minimieren, sind bei konstanter Löttemperatur, unter Verwendung des Lotes AG401, die Haltezeiten mit folgenden Ergebnissen variiert worden:

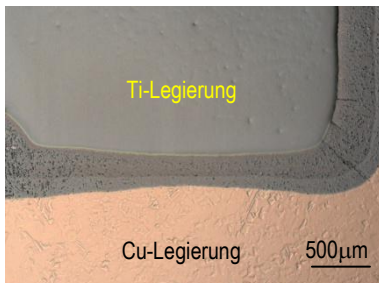
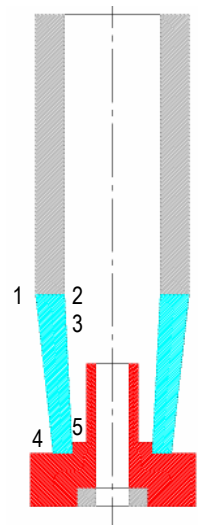
- Eine Haltezeit von 1min bei 840°C führt zu einer vollständigen Spaltfüllung und druckdichten Verbindungen. Jedoch ist das Fließverhalten eingeschränkt und somit die Prozesssicherheit bei grösseren Chargen nicht gegeben.
- Eine Haltezeit von 2min bei 840°C führt bei einer vollständigen Spaltfüllung und ausreichendem Fließverhalten zu druckdichten Verbindungen.

### 5. Ergebnisse der Bauteillötungen

Mit den an Probebauteilen ermittelten Lötparameter sind dann erste Bauteillötungen durchgeführt worden. Dabei wurde festgestellt, dass der Ausschuss durch undichte Bauteile für eine Serienfertigung zu hoch ist. Wiederum war die Lötverbindung zwischen Mehrfachspitze und Schaftunterteil die "Schwachstelle" (siehe Bildreihe). Es zeigte sich, dass der engen Tolerierung der spaltrelevanten Durchmesser eine hohe Bedeutung zukommt, um gleichmässige Lötspaltbreiten zu gewährleisten. Weiterhin wurde offensichtlich, dass bereits die moderaten Abkühlbedingungen, verschärft durch das unterschiedliche Schrumpfverhalten der Materialien, zur Rissbildung führen können.

Daraufhin wurde der Abkühlvorgang modifiziert, erst bis 500°C im Vakuum abgesenkt und dann mit einer forcierten Kühlung bei 850mbar N<sub>2</sub>-Gasdruck fortgesetzt. Die geforderte Härte konnte immer noch erreicht werden, wenn auch im unteren Toleranzbereich.

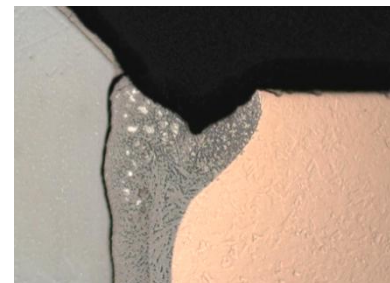
Die Verbindungen erwiesen sich als druckdicht. Daraufhin wurde die Freigabe für die Serienfertigung erteilt.



Verbindung Cu- mit Ti-Legierung  
Pos. 4⇒5



Verbindung Cu- mit Ti-Legierung  
Pos. 4⇒5



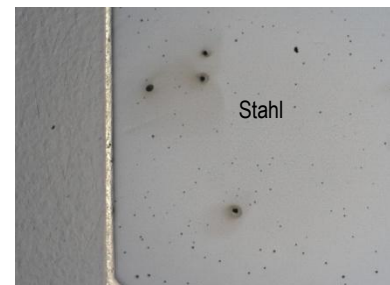
Verbindung Cu- mit Ti-Legierung  
Pos. 5



Verbindung Stahl mit Ti-Legierung  
Pos. 1⇒2



Verbindung Stahl mit Ti-Legierung  
Pos. 2



Verbindung Stahl mit Ti-Legierung  
Pos. 3

## **6. Schlussbemerkungen**

Mehrfachdüsen, bestehend aus der Materialkombination Cu-Legierung, Ti-Legierung und Warmarbeitsstahl werden seit einigen Jahren mit niedrigen Ausschussraten gelötet. Voraussetzung für eine Prozesssicherheit in der Fertigung sind jedoch eine genaue Einhaltung der vorgegebenen Durchmessertoleranzen, eine "eingefrorene" Fertigungsfolge mit sehr guter Reinigung und Vorbereitung der Einzelteile und eine konstante Materialqualität. Gerade Schwankungen in der Materialqualität der Cu-Legierung haben zuletzt zu Benetzungsproblemen und eingeschränktem Fliessverhalten des Lotes geführt. Damit verbunden war ein nicht akzeptierbares Ansteigen der Ausschussrate. Zusammen mit dem Kunden sind die Abweichungen in der Materialzusammensetzung festgestellt und entsprechende Massnahmen eingeleitet worden.

## **7. Danksagung**

Die vorgestellten Untersuchungen sind Bestandteil einer Prozessentwicklung, die im Auftrag der GÜNTHER Heisskanaltechnik GmbH durchgeführt wurde ([www.guenther-hotrunner.com](http://www.guenther-hotrunner.com)). Für die Freigabe der Ergebnisse und Informationen sei gedankt. Die Schliffpräparation und lichtmikroskopische Dokumentation wurden durch den Lehrstuhl für Werkstofftechnologie an der TU Dortmund erstellt ([www.lwt.mb.uni-dortmund.de](http://www.lwt.mb.uni-dortmund.de)).