

löttechnische Anwendungen wachsen wird.“

**Reinkensmeier:** „Die technologischen Anforderungen an die Fügetechnik werden mit zunehmender Komplexität steigen. Hier hat das Löten prinzipbedingt fortschrittliche Lösungsansätze zu bieten. In unserem Unternehmen hat die Löttechnik deshalb als innovatives Fügeverfahren für komplexe Anwendungen auch heute schon eine hohe Bedeutung, die weiter wachsen wird.“

### Welche technologischen Herausforderungen zeichnen sich für die nächsten Jahre ab?

**Forchert:** „Mit zunehmender Komplexität müssen die anstehenden Themenfelder der Fügetechnik strukturiert werden. Die Themenfelder sollten im Rahmen des Forschungsseminars benannt werden, in denen Industrie und Wissenschaft gemeinsam Lösungen erarbeiten. Dabei

wurde die Multifunktionalität der Löttechnik hinsichtlich mechanischer, elektrischer oder magnetischer Eigenschaften unter schwierigen Anwendungsbedingungen mit betrachtet.“

**Reinkensmeier:** „Die Sicht auf die Fügetechnik hat sich besonders bei generativen Verfahren verändert. Hier wird die Fügetechnik in den Vordergrund gestellt, sowohl das Schweißen als auch das Löten.“

### Was konnten die Teilnehmer für sich mit nach Hause nehmen?

**Forchert:** „Die Ergebnisse des Forschungsseminars bieten Impulse für die Formulierung neuer anwendungsorientierter FuE-Vorhaben. Durch die Abstimmung der Forschungsstellen mit den potenziellen Anwendern können bedarfsrechte Ergebnisse erzielt werden.“

**Reinkensmeier:** „Im Austausch mit anderen Fachleuten wurden gemeinsam

neue Ideen im Rahmen von Workshops und Diskussionen im Forum entwickelt. Dies wird im Fachausschuss Löten des DVS aufgegriffen werden und wird zu neuen bedarfsgerechten Forschungsthemen im Rahmen der industriellen Gemeinschaftsforschung führen.

Weitere Möglichkeiten zu anregenden Gesprächen ergaben sich aber auch im Rahmen des beeindruckenden Abendprogramms. Während eines Besuchs der ‚Classic Remise‘, einem liebevoll restaurierten Straßenbahndepot aus den 1920er Jahren, konnten historische Fahrzeuge bewundert werden. Der Abend wurde beendet mit guten Gesprächen bei einem ausgezeichneten Büffet. Für die hervorragende Organisation der Veranstaltung sei dem Team des DVS, insbesondere Frau und Herrn Weinreich, herzlich gedankt.“

(Das Gespräch führte

Dr.-Ing. Harald Krappitz, Esslingen)

## Temperaturmanagement – Potenzial und Herausforderung für vakuumgelötete Bauteile

Das Vakuumlöten ist eine der universellsten Fügetechnologien überhaupt. Es ermöglicht dem Entwickler und Produktionsverantwortlichen, Bauteile in Modulbauweise zu konstruieren und zu fer-

tigen. Ausgehend von einfachen Halbzeugen können so komplexe Bauteile kostengünstig realisiert und der Aufwand für Vor- bzw. Nachbearbeitung reduziert werden. Die Flexibilität bei der Kombination

von Komponenten mit stark unterschiedlichen Massen, Wanddicken und Geometrien sowie Nutzung unterschiedlicher Werkstoffeigenschaften hinsichtlich Funktion und Kosten wird deutlich erweitert. Eine breite Werkstoffpalette, angefangen bei den einfachen Baustählen, über die hochlegierten Kalt- und Warmarbeitsstähle bis hin zu den Superlegierungen, ebenso Nichteisenmetalle wie Kupfer und Titan und sogar Keramiken und die Schneidstoffe polykristallines kubisches Bornitrid und Diamant, kann gelötet werden.

Beim Vakuumlöten wird kein Flussmittel verwendet, sodass die erzielbaren Festigkeiten im Bereich der Grundwerkstofffestigkeit liegen können. Auch bei hohen Löttemperaturen wird das Bauteil nicht oxidiert. Das Vakuumlöten wird heute in vielen

Anwendungsbereichen eingesetzt, angefangen bei einfachen Massenbauteilen bis hin zu komplexen, hoch belasteten Turbinenkomponenten.

Die Integration von komplexen Kanalstrukturen in medienführende Bauteile findet in der Industrie immer breitere Anwendung und ermöglicht so neue Funktionen oder signifikante Produktivitätssteigerungen. Die Temperaturkontrolle hoch belasteter Bauteile spielt dabei eine überragende Bedeutung.

### Konturnahe Temperierung im Werkzeug- und Formenbau

Hersteller von Kunststoff-Spritzgießteilen sind permanent gefordert, die Stückkosten zu senken und die Qualität zu erhöhen. Eine konturnahe Temperierung der Spritzgießwerkzeuge und -formeinsätze reduziert die Zykluszeit signifikant und verbessert die Formgenauigkeit der Kunststoffbauteile. Soll sich die Temperierung an der Bauteilgeometrie orientieren, so ist eine komplexe Führung der Temperierkanäle in allen drei Dimensionen erforderlich, die konventionell durch Bohren und Verstopfen nicht machbar ist, **Bild 1** [1].

Das Vakuumlöten bietet hier völlig neue Möglichkeiten. Hierfür wird das



Bild 1 • Spritzgusswerkzeug mit temperierten Formeinsätzen zur Herstellung von Joghurtbechern. (Foto: H. Müller-Fabrique de Moules SA, Schweiz)

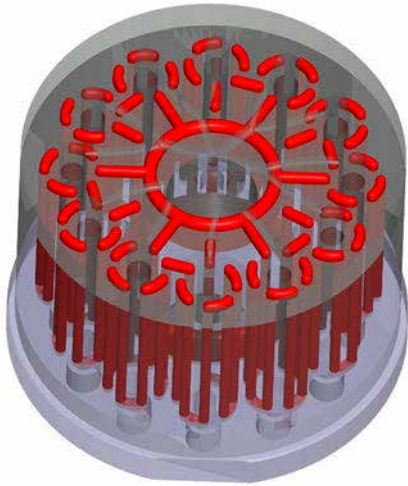


Bild 2 • Auslegung eines Formeinsatzes mit konturnaher Temperierung für die Herstellung von Tintenpatronen. (Foto: Listemann Technology AG, Liechtenstein)

Werkzeug in mehrere Komponenten aufgeteilt, in die dann beliebig komplexe Temperierkanäle durch einfache mechanische Bearbeitung eingebracht werden können. Anschließend werden die einzelnen Komponenten mittels Vakuumlöten dicht und hochfest miteinander zu einer Funktionseinheit verbunden. Das Vakuumlöten hat den Vorteil, dass auch Plattenverbunde mit größerer Fügefläche fehlerfrei gefügt werden können. Die für das Löten typische Kapillarwirkung im Lötspalt ermöglicht auch Verbindungen an Stellen, die durch schweißen nicht erreichbar sind. So lassen sich in einem Fügeprozess Verbindungen in allen drei Dimensionen realisieren. Werden die zu fügenden Komponenten löttechnisch richtig ausgelegt, so kann das an der Oberfläche austretende schmelzflüssige Lot zugleich als Qualitätskriterium für eine erfolgreiche Lötung dienen. Da beim Vakuumlöten kein Flussmittel verwendet wird, ist die Gefahr der Poren- und Lunkerbildung deutlich reduziert. Die Löttemperatur wird vorteilhaft so gewählt, dass sie der Härtetemperatur des verwendeten Stahls entspricht. Somit kann das Härten des Werkzeugs im gleichen Prozess erfolgen. Neben den Kalt- und Warmarbeitsstählen können ebenso pulvermetallurgisch hergestellte und stickstofflegierte Stähle gelötet und gehärtet werden.

Die Produktivitätssteigerung durch eine konturnaher Temperierung zeigt sich an einem Werkzeug zur Herstellung von Tintenpatronen, **Bild 2**. Die Anzahl an Kavitäten wurde von 96 auf 48 reduziert. Gleichzeitig stieg die Ausbringung

von 15.120 auf 17.510 Patronen je Stunde. Ermöglicht wurde dies, indem das Anzugsgewicht von 45 auf 7 g und die Kühlzeit von 12 auf 5 s reduziert wurde [2]. Die Herstellung von Schraubkappen für PET-Flaschen und von Verpackungen im Lebensmittelbereich wären ohne konturnaher Temperierung nicht mehr denkbar.

Dort, wo Vakuumlöten nicht eingesetzt werden kann, zum Beispiel bei sehr filigranen und komplexen Kanalstrukturen, kommen Verfahren der additiven Fertigung (AM) zur Anwendung. In vielen Fällen ist sogar eine Kombination möglich, indem ein Formteil additiv und das Gegenstück durch Vakuumlöten gefertigt wird. Aktuelle Entwicklungen beschäftigen sich mit dem Vakuumlöten von additiv gefertigten Komponenten, um Größenbeschränkungen der AM-Anlagen aufzuheben oder Kostenvorteile zu erzielen [3; 4].

### Werkstoffbasierte Bauteilauslegung im Werkzeug- und Formenbau

Die Werkstoffkombination ist eine weitere Stärke des Vakuumlöten, da sich hiermit auch extrem unterschiedliche Werkstoffe, mit unterschiedlichen Eigenschaften, stofflich verbinden lassen, wie dies bei Keramik-Metall-Verbindungen der Fall ist. Damit wird dem Konstrukteur eine weitere Option geboten, spezialisierte Werkstoffe dort einzusetzen, wo sie tatsächlich benötigt werden.

Ein Paradebeispiel für werkstoffbasierte Funktionsoptimierung sind Mehrfachdüsen in Heißkanalwerkzeugen, **Bild 3**. Diese haben beim Kunststoffspritzgießen die Funktion, den flüssigen Kunststoff gleich-

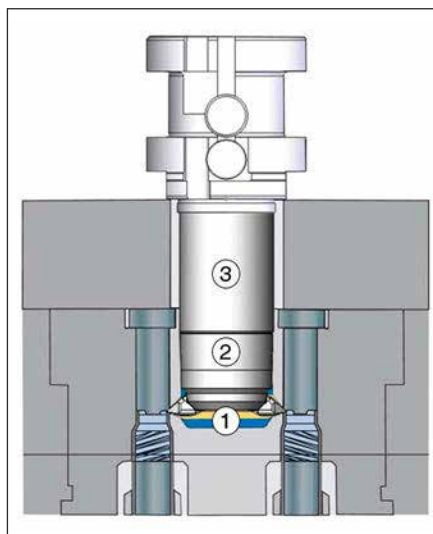


Bild 3 • Mehrfachspitze für Heißkanalwerkzeuge. (Foto: Günther Heißkanaltechnik GmbH)



## Geballte Power gegen Schweißbrauch

### Die neue VAC-Serie



**VACUBE 30**  
Extrem platzsparend



**VACUBE 75 HF**  
XXL-Filterfläche



**VACUBE 125 i**  
Für bis zu 7 Arbeitsplätze gleichzeitig

- Hochvakuumabsaugung für die brennerintegrierte Erfassung von Schweißrauch
- mit bis zu 36.000 Pa Pressung
- als Einzel- oder Mehrplatzlösung
- abreinigbare PTFE-Membran-Filterpatronen

**TEKA Absaug- und Entsorgungstechnologie GmbH**  
Industriestraße 13 · 46342 Velen  
www.teka.eu · info@teka.eu  
+49 28 63 92 82 0

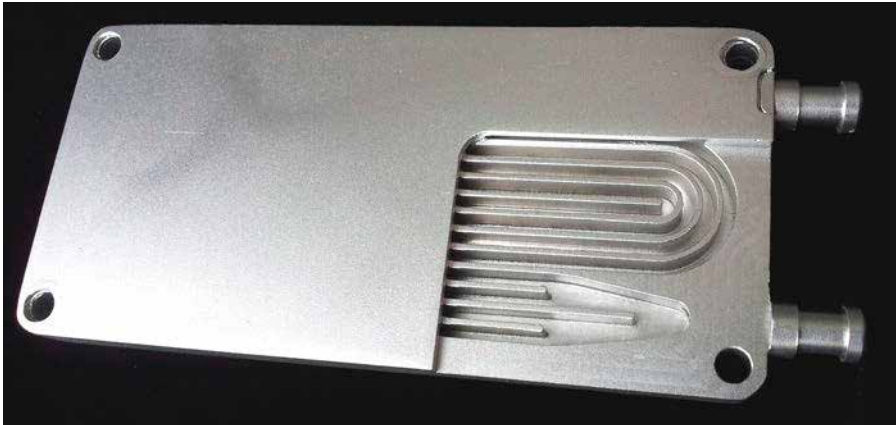


Bild 4 • Aluminiumkühler für das Temperaturmanagement der Leistungselektronik eines Formula Student Electric-Rennwagens. (Foto: Listemann Technology AG, Liechtenstein)

zeitig und gleichmäßig in mehrere Formkavitäten zu verteilen. Mehr Kavitäten erhöhen die Produktivität des Spritzgießprozesses, bedeuten aber auch, dass mehr Werkstoff kontrolliert erhitzt werden muss, sodass die für den sicheren Prozessablauf erforderliche Viskosität an allen Angussstellen erreicht wird. Hohe Temperaturen sollen möglichst nur auf den Düsenbereich (1) des Heißkanalwerkzeugs konzentriert werden, um den Energieeinsatz zu minimieren und eine negative Beeinflussung der Werkzeugumgebung zu vermeiden. Diese Forderung kann nur durch Kombination verschiedener Konstruktionswerkstoffe mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten und -kapazitäten erreicht werden. Durch Vakuumlöten wird eine Mehrfachdü-

se realisiert, die thermisch optimiert ist und folgenden Aufbau hat:

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

Die Herausforderung für den Lötprozess liegt in der Beherrschung der unterschiedlichen Ausdehnungen, die zu Rissen in der Lötverbindung und zum Bauteilversagen

führen kann. Die Löttemperatur ist gleich der Härtetemperatur des Werkzeugstahls, 870 bis 900°C, wenn mit Gas abgeschreckt wird. Bei diesem Temperaturniveau ist das Diffusionsverhalten der unterschiedlichen Grundwerkstoffe sowie des Lots und die Sprödphasenbildung eine weitere Herausforderung [5].

Neueste Entwicklungen ermöglichen auch das Löten aushärtbarer Kupferlegierungen untereinander oder mit Stahl. Der bisherige Nachteil des Härteverlustes kann weitgehend vermieden werden. Durch eine spezielle Wärmebehandlung werden etwa 90% der Ursprungshärte wieder erreicht. Somit kann zum einen die überragende Wärmeleitfähigkeit der Kupferwerkstoffe mit konturnah geführten Kühlkanälen kombiniert und zum anderen die überlegene Festigkeit der Werkzeugstähle genutzt werden.

### Bauteilgenauigkeit und Prozessstabilität durch temperierte Laserstrahlspiegel

Die Chip-Industrie gilt als Motor für das globale Wachstum, weil die Elektronik in immer neue Anwendungen vordringt und Treiber für die Digitalisierung von Geschäftsprozessen ist. Bisher war es möglich, die Leistungsdichte von Chips durch optimierte Belichtungsprozesse kontinuierlich zu erhöhen. Mit der bisherigen 193-nm-Immersionslithografie werden jedoch technische Grenzen erreicht. Diese lassen sich durch die sogenannte EUV-Lithogra-



### Fügetechnisches Basiswissen – verständlich erklärt! „Grundlagen der Fügetechnik – Schweißen, Löten und Kleben“

In unserem neuen Standardwerk der Fügetechnik erklären die erfahrenen Autoren ausführlich und verständlich die drei Fügetechniken Schweißen, Löten und Kleben.

Das Spannungsfeld zwischen den technischen Möglichkeiten und Notwendigkeiten, den Werkstoffen, der konstruktiven Gestaltung und den wirtschaftlichen Randbedingungen wird dabei immer berücksichtigt. Einsteiger und Experten erhalten damit verlässliche, umfassende Hinweise, um für jede

Anwendung das passende Fügeverfahren zu wählen.

Das Buch wendet sich an Ingenieure und Techniker mit Aufgaben in Konstruktion, Arbeitsplanung sowie Fertigung oder Qualitätssicherung aus Industrie und Handwerk.

Mit seinen mehr als 400 Seiten ist das Fachbuch sowohl Nachschlagewerk als auch vorlesungsbegleitendes Lehrbuch. Vor allem für Studierende der Ingenieurwissenschaften wird es damit zur echten Lernhilfe.



Fachbuchreihe Schweißtechnik

U. Reisgen, L. Stein  
472 Seiten, 334 Bilder und Abb.  
Best.-Nr. 100161, 1. Auflage 2016  
**Preis: 88,00 Euro**  
Auch als E-Book erhältlich.

DVS Media GmbH • Aachener Straße 172 • 40223 Düsseldorf • T +49 211 1591-162 • F +49 211 1591-150 • vertrieb@dvs-media.info • www.dvs-media.eu



fie (extrem ultraviolett) überwinden. Hierfür ist eine kurzwellige Plasmastrahlung erforderlich, die durch Beschuss von fliegenden Zinntropfen mit einem Hochleistungslaserstrahl entsteht. Die Laserstrahl lenkung erfolgt über flüssigkeitsgekühlte Metallspiegel. Die Kühlung muss extrem gleichmäßig sein, da an die geometrische Genauigkeit der Spiegeloberfläche höchste Anforderungen gestellt werden. Auch hier kommt das Vakuumlöten zur Anwendung, um Komponenten aus hochreinem Kupfer und austenitischem CrNi-Stahl stofflich und dicht miteinander zu verbinden [6].

### Leistungselektronik mit Aluminiumwärmetauschern unter Kontrolle

Die Elektro-Mobilität erfordert eine Batterietechnik, die große Reichweiten, kurze Ladezyklen und akzeptable Lebensdauern sicherstellt. Hierbei spielt das Temperaturmanagement eine wichtige Rolle, da die aktuellen Batteriesysteme nur in einem bestimmten Temperaturbereich optimal funktionieren. Für das Batteriemangement und somit für die Energieversorgung der Elektromotoren ist eine ausgeklügelte Leistungselektronik erforderlich. Insbesondere im Elektromobil-Rennsport ist die thermische Belastung sehr hoch und kann nur durch aktive Kühlung der Elektronikkomponenten in Grenzen gehalten werden. Universitäten weltweit beteiligen sich mit ihren studentischen Teams am Wettbewerb „Formula Student Electric“. Das „GreenTeam“ der Universität Stuttgart nimmt in der Welt rangliste eine Spitzenstellung ein. Für das Temperaturmanagement der Leistungselektronik werden ölgekühlte Aluminiumwärmetauscher eingesetzt. Aufgrund der komplexen Kanalführung werden vorgefertigte Komponenten durch Vakuumlöten verbunden und so für die Rennserie bereitgestellt, **Bild 4** [7].

### Ausblick

Auch in der angewandten Forschung innerhalb des DVS widmen sich mehr und mehr Projekte der Funktionsoptimierung von Werkzeugen. Ausgehend von den werkstoffspezifischen Wärmebehandlungsvorgaben werden die Lötverfahren und -prozesse optimiert – durch Anwendung von Simulationsmethoden, aber auch durch neue werkstoffkundliche Ansätze wie der Nanotechnologie oder der diffusionsgesteuerten Modifikation von

Lot- und Verbundeigenschaften während des Lötprozesses selbst. Ziel ist hier, bei möglichst niedrigen Temperaturen zu löten, jedoch den Einsatz bei höheren Betriebstemperaturen zu gewährleisten [8].

Das Vakuumlöten zur Realisierung konturnah temperierter Werkzeuge wird sich weiter durchsetzen. Ist bisher primär der Kunststoffspritzguss der Treiber gewesen, so kommen zunehmend Anfragen aus dem Druckgussbereich. Natürlich sind hier die thermischen und mechanischen Belastungen und somit die Anforderungen an eine zuverlässige Fügetechnik nochmals deutlich höher. Hier gilt es durch Lot- und Prozessentwicklungen Antworten zu finden. In diesem Zusammenhang wird das Diffusionsschweißen an Bedeutung gewinnen [9].

Eine weitere Entwicklung ist die „Verheiratung“ der AM-Verfahren mit der konventionellen Fügetechnik. Es zeigt sich, dass die Überschneidungen in der Anwendung sehr gering sind und dass es wesentlich intelligenter ist, das jeweilige Verfahren dort einzusetzen, wo es seine Stärke hat. So werden Hybridtechnologien zukünftig an Bedeutung gewinnen, also die Herstellung sehr komplexer Komponenten durch AM mit anschließendem Fügen von AM-Komponenten miteinander oder mit konventionell gefertigten Teilen [10].

Dr. M. Boretius, BERNER/LIECHTENSTEIN

### Literatur

- [1] Reinkensmeier, I., u. a.: Die Integration der Vakuum-Löttechnik an die Wärmebehandlung – ein innovatives Hybridverfahren. DVS-Berichte Bd. 231, S. 17. DVS Media, Düsseldorf 2004.
- [2] Gogoll, V.: Damit die Tinte nicht kleckst. Form+Werkzeug (2017), H. 4, S. 46.
- [3] N. N.: Am 3D-Druck kommt keiner vorbei. Kunststoffe 2/2017, S. 18.
- [4] Schulz, B.: Optimized conformal cooling. Mold-Making Technology (2017), H. 12, S. 36.
- [5] Boretius M.: Brazing of hot-runner nozzles made of dissimilar materials. Vortragsbd. 4. Int. Brazing and Soldering Conference 2009, S. 387.
- [6] Pieters, M.: Mikrochips: Das ändert sich 2019 – Nächstes Jahr können Sie ein Smartphone mit EUV-Chips kaufen. Firmenschrift Trumpf „Laser Community“ 26 (2018), S. 8/9.
- [7] N. N.: GreenTeam Uni Stuttgart e.V. <https://www.greenteam-stuttgart.de/>.
- [8] Schmieding, M., u. a.: Entwicklung von kupferbasierten Lotsystemen mit niedrigen Verarbeitungs- aber hohen Wiederaufschmelztemperaturen. Schw. Schn. 70 (2018), H. 5, S. 298/307.
- [9] Jahn, S., u. a.: Diffusion bonding – an application review. DVS-Berichte Bd. 325, S. 133. DVS Media, Düsseldorf 2016.
- [10] N. N.: Kombination von Vakuumlöten und additiver Fertigung. <http://www.iqtemp.com/vakuumloeten>.



**LISTEMANN**  
perfecting materials

**VOM PROTOTYP BIS ZUR SERIENFERTIGUNG**  
**Listemann immer dabei!**



Vakuumgelötete und gehärtete Spritzgusswerkzeuge mit konturnaher Temperierung



Vakuumhärten von Schneidmeisseln für den NEAT-Tunnelbau



Elektronenstrahlgeschweisste Komponenten für die Luftfahrt



Vakuumgelötete Wärmetauscher für die Elektromobilität



Listemann Technology AG · [www.listemann.com](http://www.listemann.com)