

# Anwendung von Wärmeleitrohren zur alternativen Kühlung von Schmiedegesenken

Bernd-Arno Behrens, Tobias Prüß\*

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover

\*Korrespondenzautor:

Dipl.-Ing. Tobias Prüß

Bereich Massivumformung

Tel: 0511-762 4106, Fax: 0511-762 3007

[pruess@ifum.uni-hannover.de](mailto:pruess@ifum.uni-hannover.de)

**Schlüsselwörter:** Massivumformung, Schmiedegesenke, Wärmerohre, Heatpipes Kühlung, Schmierung

## Einleitung

*Um optimale Schmiedeergebnisse bei einer hohen Standmenge der Schmiedegesenke zu erzielen ist die Schmierung und Kühlung der Werkzeuge notwendig. Da eine kombinierte Funktionserfüllung immer nur ein Kompromiss sein kann, wird hier dargestellt wie beide Funktionen getrennt voneinander erfüllt werden können. Hierzu wird das bewährte Schmiermittel Bornitrid verwendet. Als alternative Kühlmethode werden passiv arbeitende Wärmerohre, wie sie aus der Prozessorkühlung bereits bekannt sind, verwendet.*

## Problemstellung in der Warmmassivumformung

Ein wesentlicher Bestandteil des Prozessablaufes bei der Warm- und Halbwarmmassivumformung an automatisierten Pressen ist das Kühlen und Schmieren der Gesenke (Abb. 1). Aufgrund des Trends zu immer kürzeren Taktzeiten (2 bis 5 Sek.) muss die Aufbringung des Kühl-/Schmiermittels in engen Zeitfenstern mit extremen Abkühlraten erfolgen. Deswegen werden die meisten Kühl-/Schmierprozesse wenig gezielt und mit einem hohen Überschuss an Kühl-/Schmiermittel durchgeführt.

In Abb. 1 ist der gesamte Zyklus eines automatisierten Schmiedeprozesses auf einer Exzenterpresse zu erkennen. Hier ist die Stoßelposition bezogen auf den Kurbelwinkel dargestellt. Nahe dem unteren Totpunkt ist der Zeitraum der Umformung erkenn-

bar. Nach dem Rückzug des Stößels bis zur Auslösung des nächsten Hubes befindet sich der Stößel im oberen Totpunkt. In diesem Zeitraum werden Ober- und Untergesenk geschmiert und gekühlt. Während dieser Zeit wird der Bauteiltransfer mit einem Hubbalkensystem durchgeführt. Die Aktionen des Hubbalkens sind parallel zum Stößelverlauf in einem Zeitstrahl dargestellt.

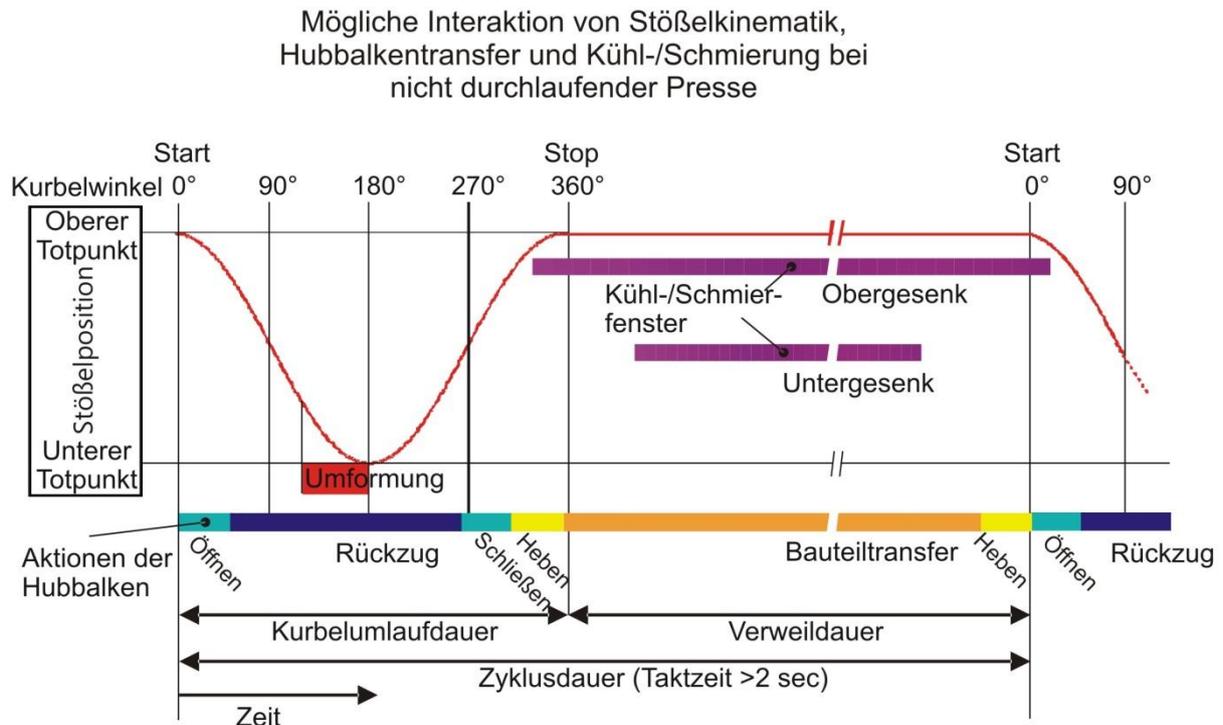


Abb. 1: Qualitativer Ablauf von Pressenkinematik, Hubbalkentransfersystem, und Kühl-/Schmierung [1]

Die Standzeit der in der Warmmassivumformung eingesetzten Werkzeuge, welche die Rüst- und Einrichtungskosten bedingt durch Werkzeugwechsel direkt beeinflusst, bestimmt maßgeblich die Wirtschaftlichkeit des gewählten Umformprozesses. Die Standmengen eines Schmiedegesenkes sind begrenzt, da sie einem Kollektiv aus hohen thermischen, mechanischen und tribologischen Belastungen ausgesetzt sind. Die Rohteiltemperaturen von bis zu 1250 °C rufen hohe Temperaturen in den Werkzeugen hervor, so dass an oberflächennahen Bereichen die Anlasstemperatur von konventionellen Werkzeugstählen überschritten wird. Der dadurch hervorgerufene Härteverlust führt zur Erhöhung der Verschleißanfälligkeit, vor allem im Bereich hoher Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug.

Zur Wärmeabfuhr wird in der Regel bei allen automatisierten Schmiedeprozessen eine Kühlschmierung eingesetzt. Da diese Kühlschmierung von Schmiedegesenken bei kurzen Taktzeiten in einem sehr kurzen Zeitfenster stattfinden muss, entstehen

im Zusammenhang mit der hohen Kontakttemperatur zwischen Gesenk und Rohteil große thermische Werkzeugwechselbeanspruchungen.

Die schlagartige Kühlung des Werkzeuges ruft eine Wärmewechselbelastung der Oberfläche hervor. Dies trägt in erheblichem Maße zu den Ausfallursachen von Schmiedegesenken in der Warmmassivumformung bei [2]. In Abb. 2 ist der Temperaturverlauf an der Gravuroberfläche dargestellt.

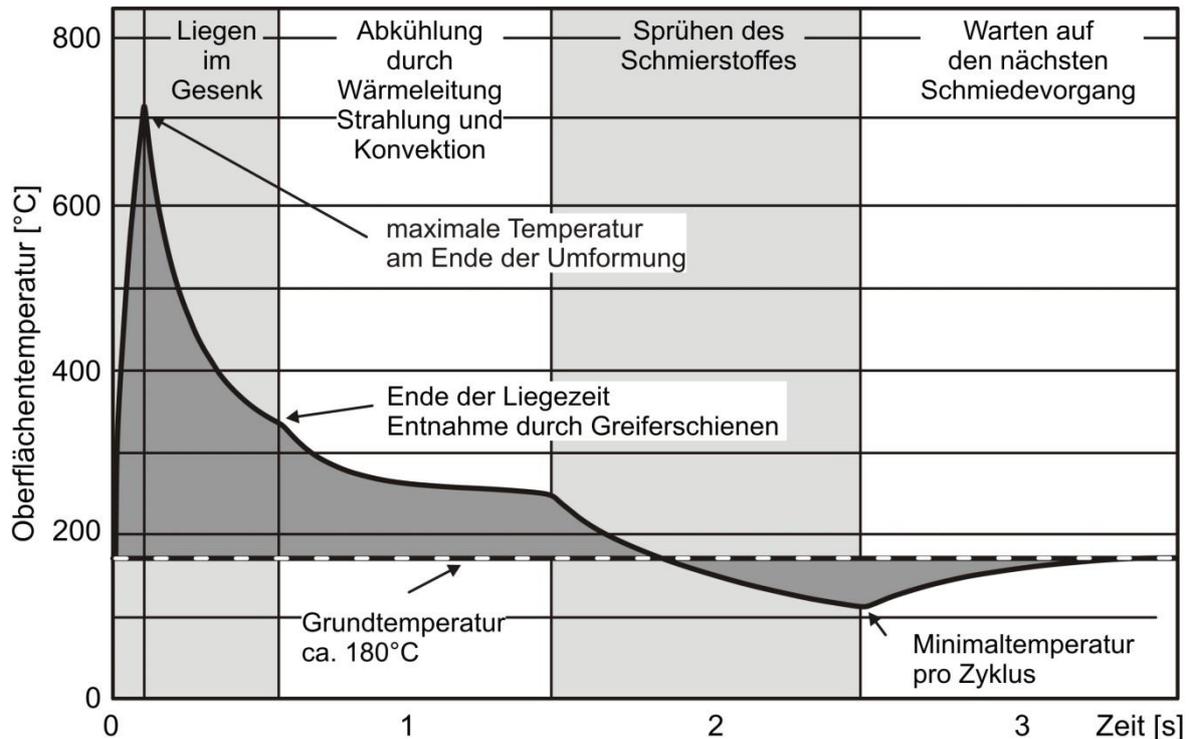


Abb. 2: Temperaturverlauf der Gravuroberfläche über einen Schmiedezyklus [2]

Die wichtigsten Einflussgrößen auf die Temperatur der Gesenkoberfläche während der Kontaktphase sind der Gesenkwerkstoff, die Gesenkmasse, die Werkzeuggrundtemperatur, der Schmiedestückwerkstoff, die Schmiedestückmasse, Schmiedestücktemperatur, die Art der Zwischenschicht, die Normalspannung, Druckberührzeit sowie die Relativbewegung zwischen Schmiedestück und Werkzeug.

Der Anstieg der Temperatur ist umso höher, je größer die Differenz zwischen der Rohteiltemperatur und der Anfangstemperatur des Gesenks ist. Zusätzlich spielt die Länge der Druckberührzeit eine entscheidende Rolle [3, 4]. Die auftretende thermische Wechselbelastung ist auf oberflächennahe Bereiche des Gesenks beschränkt und bildet die Grundlage für eine netzartige Ausbildung von Rissen in der Gesenkoberfläche infolge von thermisch bedingten Zug- und Druckspannungen [5]. Durch die verschiedenen Arten der thermischen Belastung entsteht ein instationäres Temperaturfeld im oberflächennahen Bereich des Gesenks, welches durch interne Wärme-

leitungsvorgänge und die Abgabe von Wärmeenergie an die Umgebung entsteht [4].

### Kühlen und Schmieren von Schmiedegesenken

Als reiner Schmierstoff ohne Kühlfunktion zeigte Bornitridpulver die mit Abstand besten Schmierungs- und Verarbeitungseigenschaften. Im Vergleich zu konventionell mit Wasser-Graphit-Suspension geschmierten Schmiedegesenken wiesen elektrostatisch mit Bornitrid geschmierte Gesenke deutlich bessere Verschleißcharakteristika auf. Industrienah gestaltete Verschleißuntersuchungen bestätigten diese Ergebnisse [6, 7, 8, 9]. In Abb. 3 ist eine Prinzipskizze der elektrostatischen Pulverschmierung dargestellt [8].

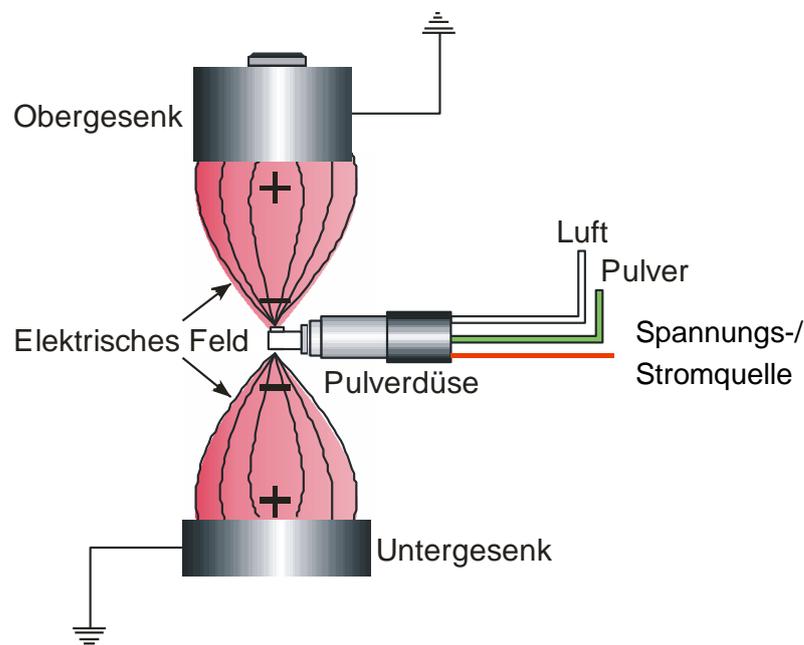


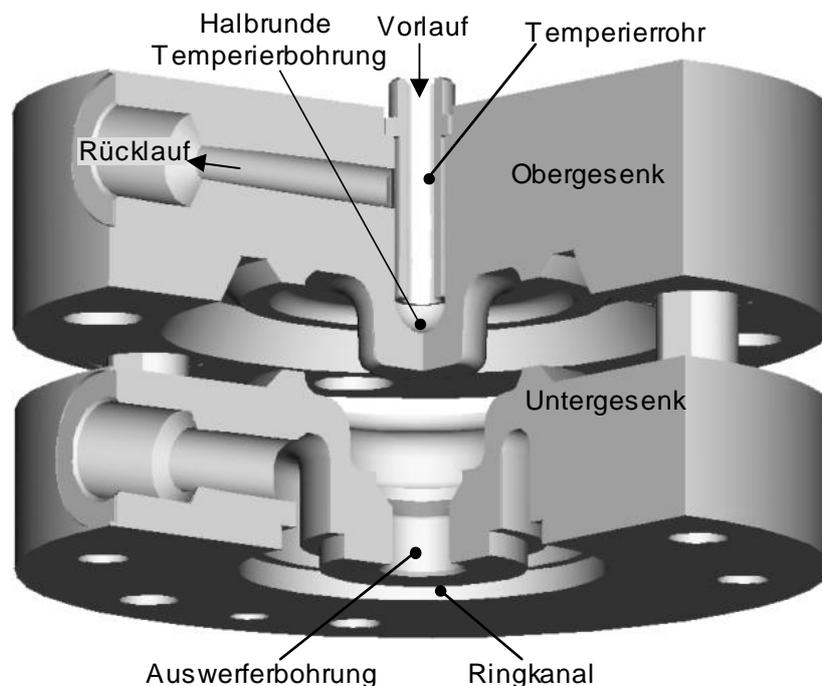
Abb. 3: Elektrostatische Pulverschmierung (Prinzipschema) [10]

Die Pulverpartikel werden bei diesem Verfahren elektrisch aufgeladen. Die Schmiedegesenke sind in der Regel elektrisch neutral. Durch die sich ausbildende Potentialdifferenz zwischen Gesenk und Pulverpartikeln schlägt sich das Pulver auf den Gesenkoberflächen nieder und bleibt dort wegen der verbliebenden Restladung haften [11]. Aufgrund des Faraday-Effekts kommt es an hervorgehobenen Oberflächenkonturen zu einer höheren Feldliniendichte. Dies führt dazu, dass sich mehr Schmierstoffpartikel in diesen Bereichen der Oberfläche anlagern. Da diese Gesenkbereiche in der Regel hochbelastet und somit extrem verschleißgefährdet sind, ist eine vermehrte Schmierstoffanlagerung hier von Vorteil. Der Einsatz dieser Technologie führt zu einer Qualitätssteigerung der Schmiedeteile sowie zu einer erhöhten Werkzeug-

standmenge [12].

Mit den erzielten Ergebnissen aus den bisherigen Forschungsvorhaben ist das Problem des übermäßigen Einsatzes von Nutzwasser für die Kühlung von Gesenkoberflächen nicht ausreichend gelöst worden. Mit Hilfe der in die Schmiedegesenke eingebrachten Wärmeleitrohre soll der Wasserverbrauch für den Kühlprozess der Werkzeuge drastisch reduziert bzw. ganz vermieden werden.

Zur Verringerung des Gesenkverschleißes durch die Herabsetzung der Werkzeuggrundtemperatur wird in Ausnahmefällen eine Werkzeuginnenkühlung vorgesehen, um die hohen Temperaturwechselbelastungen zu vermeiden. In Abb. 4 ist beispielhaft die Gesenkinnenkühlung eines Napfwerkzeuges dargestellt. Die Einbringung von Kühlkanälen an die zu kühlenden Stellen erfordert bei der Herstellung der Werkzeugsysteme konstruktiven und fertigungstechnischen Aufwand. Im Obergesenk wird dies durch ein Temperierrohr erreicht, während im Untergesenk ein Ringkanal eingebracht wird.



*Abb. 4: Beispiel für eine Gesenkinnenkühlung an einem Napfwerkzeug*

Der Nachteil bei diesem Verfahren liegt in der Schwächung des Werkzeuges, welche durch die im Werkzeug angeordneten Kühlkanäle in Kauf genommen werden muss. Vorteilhaft bei dieser Art der Kühlung ist die deutliche Reduzierung bzw. der Wegfall einer wasserbasierten Oberflächenkühlung.

Die Trennung von Kühlung und Schmierung können beide Funktionen optimal erfüllt werden. Durch eine dosierte Wärmeabfuhr aus dem Gesenk, ist die bessere Einstel-

lung der Gesenktemperatur möglich. Auch lässt sich durch einen exakt definierten Schmierstoffauftrag eine gleichmäßige Schmierschichtdicke ohne Übermengenschmierung erzielen [8]. Einer Verschwendung von Schmierstoffen wird somit vorgebeugt. Ebenso wird die aufwändige und teure Schmierstoffaufbereitung vor der Entsorgung reduziert. Insgesamt werden so die Wirtschaftlichkeit des Schmiedeprozesses gesteigert und natürliche Ressourcen geschont. Bei einer Gesenkinnenkühlung bietet sich der Einsatz neuer Schmierungstechnologien, wie z. B. die Gesenkschmierung mittels elektrostatischer Pulverauftragung an.

### **Technische Funktionsweise von Wärmeleitrohren (Heatpipes)**

Wärmeleitrohre (Heatpipes) sind äußerst effiziente passive Wärmeübertragungselemente, die bei bestehender Temperaturdifferenz große Wärmestromdichten transportieren können [13]. Generell eingesetzt werden Wärmeleitrohre:

- für die Wärmedissipation in Satelliten,
- in elektronischen Bauteilen und Schaltungen,
- in chemischen Reaktoren und
- für die Realisierung isothermer Hohlräume in der Ofentechnik.

Der Hauptschwerpunkt für Wärmeleitrohre ist der Einsatz in der Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung sowie für andere Bereiche der rationellen Energienutzung und effizienzsteigernden Technologien wie z.B. in der Solartechnik [13].

Wärmeleitrohre bestehen aus einem geschlossenen Rohr, das im Inneren mit einem Kapillarsystem ausgestattet ist. Es ist mit einem Fluid im gesättigten zweiphasigen Zustand befüllt (Abb. 5). Am wärmeren Ende verdampft die Flüssigkeit und entzieht der Umgebung dadurch Wärme in Form von Verdampfungsenthalpie [14], [15], 16. Das gasförmige Fluid strömt angetrieben durch unterschiedliche Dampfdrücke zum kühleren Ende des Rohrs und gibt dort die Wärme durch Kondensation an die Umgebung ab [13]. Mit Hilfe der auftretenden Kapillarkräfte in der Kapillarstruktur wird das kondensierte Medium zurück an den Ort der vorherigen Verdampfung geleitet (Abb. 5). Eine solche Art von Wärmeleitrohr ist ein passives Element und bildet ein in sich geschlossenes System.

Über den Einsatz von Wärmeleitrohren in der Schmiedetechnik sind keine Quellen in der Literatur bekannt und auch der Wissensaustausch mit verschiedenen Industrieunternehmen der Massivumformung bestätigte, dass es sich bei dieser Methode zum Kühlen von Gesenken um einen völlig neuen Forschungsbereich handelt.

Wärmeleitrohre können auf einen sehr großen Temperaturbereich ausgelegt werden und arbeiten meist mit dem Medium Wasser sowie mit Wasserstoff bei extrem niedrigen und Natrium bzw. Lithium bei extrem hohen Temperaturen. Die Leistung, die mit

einem Wärmeleitrohr übertragen werden kann, ist abhängig von der Arbeitstemperatur (Temperatur des warmen Ortes) und der Temperaturdifferenz zwischen dem zu kühlenden Objekt (warmer Ort) und Kontaktfläche des Kühlsystems/Wärmetauschers [17].

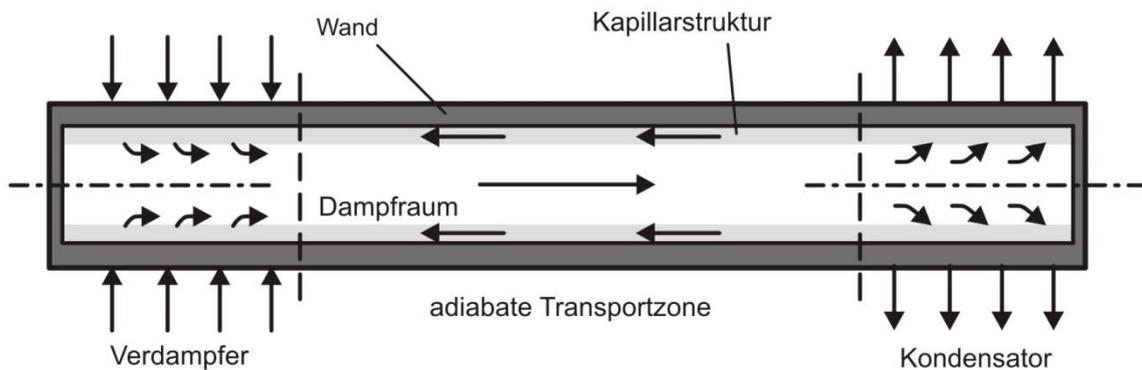


Abb. 5: Funktionsweise von Wärmeleitrohren [15]

Wärmeleitrohre für einen für Schmiedeprozesse relevanten Temperaturbereich werden aus Kupfer hergestellt und sind entweder vernickelt oder besitzen eine Antioxidationschicht und werden mit dem Medium Wasser bis zu einer Temperatur von ca. 400°C betrieben. Abhängig von ihrem Durchmesser können sie unterschiedliche Wärmemengen abführen. Wie in Abb. 6 abgebildet können Wärmeleitrohre je nach Kundenwunsch und Anforderung gebogen oder auch konfektioniert sein.



Standard-Heatpipes

Ausgangszustand  
Heatpipes

Gebogene Heatpipes  
nach Kundenwunsch

Abb. 6: Bauformen von Wärmeleitrohren (Heatpipes) [18]

## Ziel des Forschungsvorhabens

Das Ziel des hier vorgestellten Forschungsvorhabens ist es, Wärmeleitrohre grundsätzlich als Werkzeug zur Kühlung von Schmiedegesenken zu qualifizieren.

Zur Erzielung einer großen Standmenge ist auf eine minimierte Schwächung der Gesenke zu achten. Hierzu ist eine sinnvolle Anordnung der Aufnahmebohrungen der Wärmerohre zu gestalten. Eine enge Verknüpfung während des Konstruktionsprozesses mit der Simulation soll hierbei eine wichtige Instanz zur Vermeidung von Gesenkschäden darstellen. Der Einsatz von Wärmeleitrohren in der Massivumformung soll das Kühlmedium Wasser möglichst komplett ersetzen. Somit ist ein großer Beitrag für die Ökonomie und Ökologie des gesamten Schmiedeprozesses zu erwarten. Eine effiziente Nutzung der Abwärme der Wärmeleitrohre soll des Weiteren im zweiten Antragszeitraum erarbeitet werden, so dass der im ersten Antragszeitraum entwickelte Schmiedeprozess energieeffizienter wird. Mit Hilfe der elektrostatischen Pulverschmierung soll eine Standmengensteigerung erzielt werden, um neben den eigentlichen Werkzeugkosten auch die Rüstkosten und -zeiten für die Werkzeugwechsel gering halten zu können.

Aus wissenschaftlicher Sicht sind für dieses Vorhaben die folgenden Teilziele von großem Interesse:

- Simulative Abschätzung der abzuführenden Wärme und Überprüfung am realen Prüfstand,
- Konstruktion und Aufbau eines Werkzeugsystems mit konzeptioneller Anordnung zur Einbringung der Wärmeleitrohre.
- Konzeption eines angepassten Kühlschmierprozesses mit dem Ziel des Einsatzes einer elektrostatischen Pulverschmieranlage für einen ökonomischen und ökologischen Schmiermittelmengeneinsatz.
- Festlegung von geeigneten Kenngrößen zur Modellbildung für das Schmieden mit durch Wärmerohre gekühlten Gesenken.

Zur Erreichung dieser Teilziele ist zunächst ein Schmiedewerkzeugsystem auszulegen und zu konstruieren, welches die Möglichkeit vorsieht, im Rahmen der nachfolgenden Arbeitsschritte Wärmeleitrohre zu integrieren. Der geplante Aufbau des einstufigen Werkzeugsystems ist in Abb. 7 dargestellt.

Die Geometrie der Gravur wird am IFUM üblicherweise für Verschleißuntersuchungen verwendet. Sie soll auch in diesem Vorhaben verwendet werden, da die Ergebnisse mit denen aus anderen Versuchen verglichen werden können. Das Schmiedewerkzeug ist für den Einsatz auf einer automatisierten Exzenterpresse mit integrierter induktiver Erwärmung ausgelegt. Dies ermöglicht die Durchführung von praxisnahen

Langzeitschmiedeversuchen zur Untersuchung des Verschleißverhaltens.

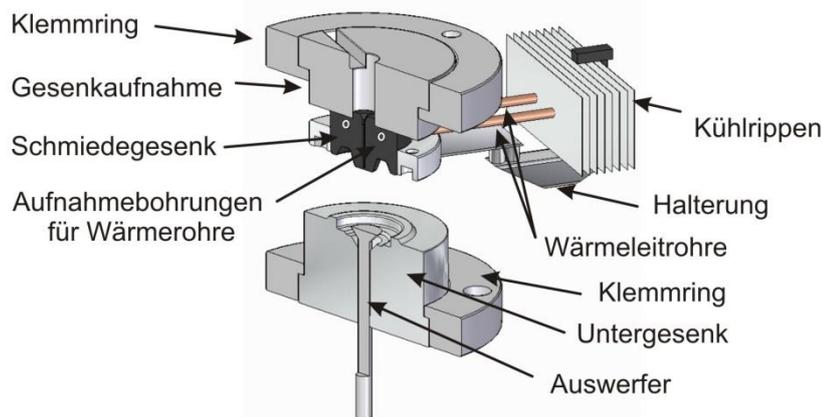


Abb. 7: Beispielhaftes Werkzeug für die Untersuchungen (Schnittdarstellung)

Zur Auslegung der Kühlelemente und der Wärmeleitrohre wird die aus dem Werkzeug abzuführende Wärmemenge ermittelt und darauf aufbauend die tatsächlich benötigte Kühlleistung bestimmt. Dafür werden klassische Kalorimetermessungen (Abb. 8) für das konventionelle Kühl-Schmieresystem einer automatisierten Exzenterpresse eingesetzt.

Um eine optimierte Kühlung der Gesenke auslegen zu können, werden Messungen von Umformkraft und -weg vorgenommen, so dass die in dem Werkstück dissipierte Umformenergie durch die mathematische Integration der Kraft über dem Weg ermittelt werden kann. Aus der Bestimmung der Werkstückenthalpie (Kalorimetermessung, Abb. 8) vor und nach dem Schmieden und der aufgewendeten Umformenergie lässt sich der in die Werkzeuge in Form von Wärme eingebrachte Energieanteil bestimmen. Um die mittlere Temperatur des Werkzeugs nicht ansteigen zu lassen, muss genau dieser Energieanteil abgeführt werden, was durch das Erwärmen und Verdampfen des Schmierstoffträgermediums Wasser erfolgt. Dies ergibt die so genannte Mindestkühlmittelmenge.

Unter Vernachlässigung der geringen Verluste während des Bauteiltransfers durch die Umgebungsluft, gilt diese Methode als hinreichend genau zur Bestimmung der erforderlichen Mindestkühlmittelmenge. Die Bestimmung der Mindestkühlmittelmenge erfolgt im stationären Zustand des Schmiedeprozesses. Belegt wird der stationäre Zustand durch Temperaturmessungen am Werkzeug und der Umformpresse ( $T = \text{konst.}$ ).

Die von der Sprühanlage ausgebrachte Kühl-/Schmierstoffmenge wird durch Auffangen des Kühl-/Schmierstoffs in einem geeigneten Speichermedium (z.B. Zellulosefließ) und Differenzwägung bestimmt. Aus der festgestellten Mindestkühlmittelmenge kann die tatsächlich benötigte Kühlleistung abgeleitet werden.

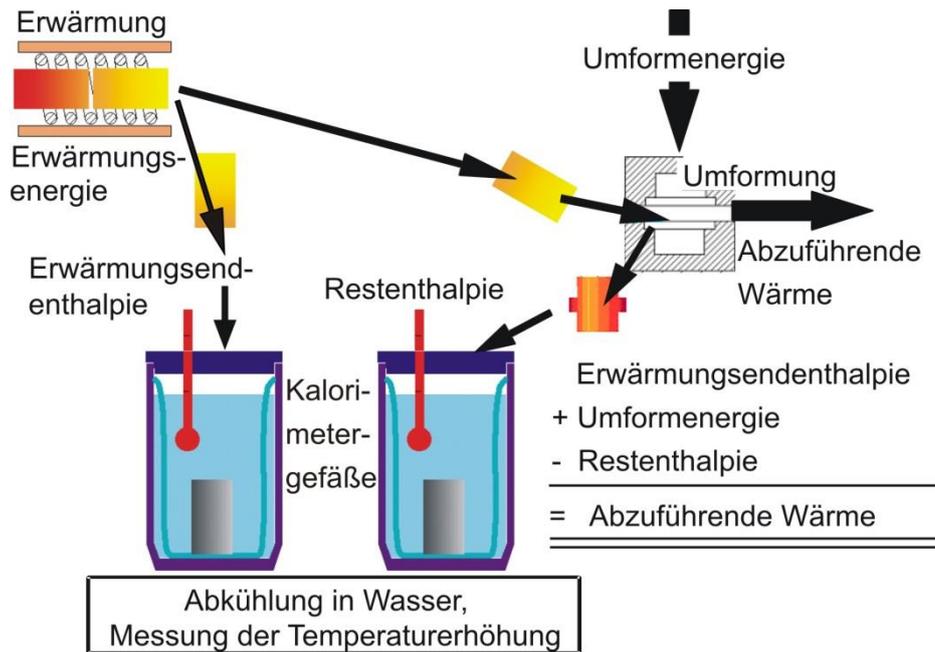


Abb. 8: Bestimmung der abzuführenden Wärmemenge durch Kalorimetermessungen (Enthalpiebestimmung)

Die Temperaturmessung der Gesenkoberfläche mittels Kontaktthermometer ist im automatisierten Prozess nahezu unmöglich. Zur Überprüfung der benötigten Kühlleistung und zur Visualisierung der thermisch hochbelasteten Gesenkbereiche, sollen die Oberflächentemperaturen des Schmiedewerkzeuges mit einer am IFUM vorhandenen hochauflösenden Thermografiekamera der Fa. Thermosensorik GmbH ermittelt werden.

Auf Grundlage der mittels Thermografieaufnahmen ermittelte Oberflächentemperaturen soll im weiteren Verlauf der Untersuchungen die Anordnung der Kühlkanäle optimiert werden, so dass eine gleichmäßige Oberflächentemperatur des Schmiedegesenks erzielt wird und so eine hohe Standzeit des Gesenks gewährleistet werden kann.

Begleitend hierzu sollen die Auswahl und die Anordnung der Wärmeleitrohre im konstruierten Werkzeugsystem mit Hilfe der FEM erfolgen. Unter Berücksichtigung der ermittelten Prozessparameter wird hierzu ein thermisch-mechanisch gekoppeltes FE-Modell der betreffenden Stadien des Schmiedeprozesses aufgebaut. Prozessbedingt wirken hohe Lasten auf das Werkzeugsystem, welche Geometrieabweichungen an der Gesenkoberfläche hervorrufen, die z. T. veränderte Kontakt- und somit auch Wärmeübergangsbedingungen nach sich ziehen. Daher wird sowohl das Fließverhalten des eingesetzten Werkstückwerkstoffs als auch das elastische Werkstoffverhalten der zu kühlenden Gesenke modelliert. Darüber hinaus sollen realistische Kenn-

werte für die Wärmeübergangs- und Reibbedingungen in der Wirkfuge zwischen Werkzeug und Werkstück in die Simulation einfließen. Auf dieser Grundlage kann die Wärmeenergie, die zum Einen durch das erwärmte Werkstück eingebracht und zum Anderen durch tribologische Effekte verursacht wird, in der Prozesssimulation realitätsgetreuer abgebildet werden. Auch die Wärmeübergangsbedingungen an den Kontaktflächen zwischen den Kühlkanälen und den Kühlstäben sollen geeignet modelliert werden.

Basierend auf diesem FE-Modell sollen die Kühlkanäle in den Gesenken so ausgelegt werden, dass eine maximale Wärmeenergieabfuhr realisiert wird, ohne eine relevante Absenkung der globalen Struktursteifigkeit des Werkzeugsystems zu verursachen. Die genaue Anordnung und die Richtung der Bohrungen werden mittels der FEM ausgelegt und im weiteren Verlauf der Arbeiten mit Hilfe der Langzeituntersuchungen validiert und optimiert.

Um die Funktion des mittels Wärmeleitrohren gekühlten Werkzeugs zu charakterisieren und die Ergebnissen der Vorauslegung abzugleichen, wird eine Reihe von Schmiedeversuchen durchgeführt. Dabei werden sowohl im Werkzeug (Thermoelemente) als auch an der Gesenkoberfläche (Thermografiekamera) Temperaturen aufgenommen und ausgewertet.

Anhand der Thermografieaufnahmen der Werkzeugoberfläche kann das Temperaturverhalten des neuen Werkzeugkühlsystems bewertet werden. Dabei ist sowohl die Höhe der Randschichttemperaturen von Interesse als auch das Vorliegen großer Temperaturgradienten im Oberflächenbereich des Gesenks. Sollte dies der Fall sein, muss eine Optimierung Anordnung der Wärmeleitrohre bzw. deren Dimensionierung durchgeführt werden. Im Rahmen dieser Optimierung besteht die Möglichkeit, Teilkomponenten des Werkzeugsystems neu zu fertigen.

Durch die Gesenkkühlung mit Hilfe von Wärmeleitrohren soll im Optimalfall der Kühl-/Schmierprozess nach seinen Funktionen Kühlen und Schmieren getrennt werden.

Nach der Durchführung einer ausreichend hoher Anzahl von Schmiedeversuchen soll ermittelt werden, ob eine zusätzliche Kühlung der Gesenkoberfläche weiterhin benötigt wird oder eine Schmierung ohne Kühlung der Gravur ausreichend ist. Für diesen Fall soll ein angepasstes Schmierkonzept erarbeitet werden, so dass der minimale Schmiermitteleinsatz im Vordergrund steht, um Ressourcen und Kosten einsparen zu können. Darüber hinaus ist das Ziel, eine maximale Standmenge für die Schmiedegesenke zu gewährleisten. Sollte weiterhin eine Gesenkoberflächenkühlung durch die Verdampfung von Wasser benötigt werden, wird der zusätzliche Aufbau einer Minimalmengenkühlung zusätzlich integriert.

Die Schmierung der Schmiedegesenke soll mittels einer elektrostatischen Pulver-

schmierung umgesetzt werden. Eine geeignete Pulverbeschichtungsanlage der Fa. ITW/ Gema, bestehend aus Versorgungs-, Zuführ-, und Steuereinrichtung, steht dem IFUM inkl. Sprühpistole zur Verfügung. Anhand des geforderten Sprühbildes folgt die Auswahl der Düsenform. Die Steuerung des Schmierprozesses erfolgt durch Regulierung des anliegenden Spannungspotentials, der Sprühdauer sowie des Sprühdruks. Die gleichmäßige und reproduzierbare Aufbringung des Pulverschmierstoffes ist durch eine automatisierte Zuführung zu gewährleisten.

Die geplanten abschließenden Langzeitschmiederversuche dienen der Ermittlung des auftretenden Verschleißfortschritts und der erreichbaren Standmenge der Schmiedegesenke unter Einsatz des angepassten Kühl-/ Schmierprozesses. Die Beurteilung des festgestellten Verschleißfortschritts und der erreichbaren Standmenge erfolgt durch Vergleich der ermittelten Verschleißbeträge mit denen eines Referenzprozesses. Als Referenz dient das Verschleißverhalten von herkömmlichen Schmiedegesenken unter Verwendung eines konventionellen Kühl-/ Schmierprozesses. Das ausgewählte und entwickelte alternative Kühlschmierkonzept soll im Schmiedeprozess erprobt werden. Die Ermittlung des Verschleißfortschritts erfolgt durch prozessbegleitendes taktiles Vermessen der eingesetzten Schmiedegesenke nach einer zu definierenden Anzahl von Schmiedezyklen. Die taktile Vermessung der Gesenke wird versuchsbegleitend auf einer 3D-Koordinatenmaschine vom Typ PMM864 der Firma Leitz durchgeführt. Zur Ermittlung prozessbedingt auftretender Gefügeveränderungen werden nach Abschluss der Schmiederversuche die Randbereiche der eingesetzten Schmiedegesenke metallografisch untersucht.

Nach Zusammenführung und Auswertung der Ergebnisse erfolgt die Beurteilung der eingesetzten Kühlung mittels Wärmeleitrohren und der angepassten Kühlschmierung. Durch gezielte Variation der einzelnen Prozessparameter ist der Kühl-/ Schmierprozess an die Bedürfnisse des Werkzeugsystems anzupassen und hinsichtlich der erreichbaren Standmenge zu optimieren. Die optimierte Einstellung der Prozessparameter erfolgt iterativ. Die gewählten Einstellungen sind jeweils durch Schmiederversuche zu validieren und hinsichtlich des resultierenden Verschleißverhaltens und der erreichten Standmenge zu bewerten.

## **Danksagung**

Der vorgestellte Bericht entstand im Rahmen des Forschungsprojektes „Gezielte Gesenktemperaturführung durch die Integration von Wärmeleitrohren in Werkzeuge der Warmmassivumformung“, Projektnummern BE 1691/ 120-1 am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover. Die Autoren

danken der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes.

## Literatur

- [1] Behrens, B.-A.; Klassen, A.; Lüken, I.: „Auslegung und Entwicklung einer Werkzeug- und Sprühtechnologie für das Präzisionsschmieden auf schnelllaufenden Kurbelpressen“, *utfscience III/2011*, Meisenbach Verlag Bamberg, 2011
- [2] Behrens, B.-A.: „Handbuch Umformtechnik, Grundlagen, Technologien, Maschinen“, Springer Verlag Berlin, 2006
- [3] Kaufhold, Th.: „Zum Einfluss der Temperatur auf die Eigenschaften von Gesenkoberflächen“, Dissertation, Universität Hannover, VDI-Verlag GmbH Düsseldorf, 1984
- [4] Luig, H. Bobke, Th.: „Beanspruchung und Schadensarten an Schmiedegesenken“, *Tribologie und Schmierungstechnik* 37 (1990) 2, S. 76 ff
- [5] Stute-Schlamme, W.: „Konstruktion und thermomechanisches Verhalten rotationssymmetrischer Schmiedegesenke“, Dissertation, Universität Hannover, 1980
- [6] Gulde, M.: „Untersuchung alternativer Schmierungstechnologien für Schmiedegesenke“, Abschlussbericht AiF-Vorhaben 11701, 2001
- [7] Gulde, M.; Gröne, S.: „Elektrostatische Pulverschmierung in der Massivumformung“, *Schmiede Journal*, März 2005, S. 34-36
- [8] Gulde, M.: „Elektrostatisches Auftragen von pulverförmigen Schmierstoffen in der Warmmassivumformung und in daran angrenzenden Verfahren“, Dissertation, Universität Hannover, 2006
- [9] Smolik, J.; Walkowicz, J.; Brudinas, R.; Bertrand, C.; Montero, C.: “Results of production tests and analysis of destruction mechanisms of hot forging dies covered by the composite nitriding layer/CrN coating”, *High Temperature Material Processes*, Vol.9 (2005)
- [10] Behrens, B.-A.; Huskic, A.: „Verschleißreduzierung an Matrizen für das Präzisionsschmieden von Zahnrädern durch Mehrlagenbeschichtung (TiN-TiCN-TiC)“, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, März, 2005
- [11] Reddy, V.: “Powder spray technologies and their selection”, *Product Finishing*, April 1992, S.24-28
- [12] N.N.: „Lubricant Passed Environmental“, *Standards Improves Operations Forging*, 1991, S. 38-40

- [13] Groll, M.: „Wärmeleitrohre als Bauelemente in der Energietechnik“, Abfallenergienutzung – Technische, wirtschaftliche und soziale Aspekte, Akademie Verlag Berlin 1995
- [14] Dunn, P. D.; Reay, D. A.: „Heatpipes - Fourth Edition“, British Library Cataloguing Publication Data, Pergamon, 1994 (ISBN 0080419038)
- [15] Faghri, Amir: „Heatpipe Science and Technology“, Library of Congress Cataloguing-in-Publication Data, Taylor an Francis, Washington, 1995 (ISBN 1-56032-383-3)
- [16] Smirnov, H. F.; Kosoy, B. V.; Tkachenko, V. B.: „Heatpipes - Science - Technology - Application“, Proceedings of the 12th International Heatpipe Conference, Russia, 2002
- [17] Stephan, P.: „VDI-Wärmeatlas“, Kapitel „Wärmerohre“, Springer Verlag, Berlin, 2013
- [18] Webseite: <http://quick-cool.de/index.html>, Stand: 10.5.2010

## **Autoren**

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens studierte Maschinenbau an der Universität Hannover und promovierte am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) in Hannover. Nach einer leitenden Tätigkeit bei der Salzgitter AG wurde er im Oktober 2003 als Leiter des IFUM an die Leibniz Universität Hannover berufen.

Dipl.-Ing. Tobias Prüß studierte Maschinenbau an der Technischen Universität Darmstadt. Seit 2008 ist er am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) im Bereich Massivumformung als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig.