

Auslegung und Entwicklung einer Werkzeug- und Sprühtechnologie für das Präzisionsschmieden auf schnelllaufenden Kurbelpressen

Bernd-Arno Behrens, Andreas Klassen, Ingo Lüken*

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover

*Korrespondenzautor:
Dipl.-Ing. Ingo Lüken
Abteilung Massivumformung
Tel: 0511-762 2893, Fax: 0511-762 3007
lueken@ifum.uni-hannover.de

Innerhalb dieser Arbeit wurde ein Schmierkonzept entwickelt, das den Anforderungen eines Präzisionsschmiedeprozesses mit automatisierter Kühlschmierung unter kurzer Taktzeit gerecht wird. Es standen dabei hinsichtlich des betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkts die Steigerung der Standmengen sowie geringere Schmierstoff- und Entsorgungskosten neben einer Reduktion der Umweltbelastung durch geringere Sonderabfallmengen im Vordergrund der Untersuchungen. Über eine Analyse eines industriellen Prozesses sowie der Ermittlung des Wärmehaushaltes der formgebenden Umformstufen mittels Kalorimetermessungen konnte der Prozess anhand einer Skalierung im Laborfeld umgesetzt sowie anhand von Parameteruntersuchungen optimiert werden. Verbesserungspotentiale in der Kühlschmier-technologie unter Berücksichtigung von minimalen Schmierstoffeinsatzmengen wurden in Analogie zu bestehenden Strategien auf den ermittelten Ist Zustand angewendet und umgesetzt.

Schlüsselwörter: Massivumformung; Exzenterpresse; Kühlschmierung, Sprühtechnologie, Wärmehaushalt

Einleitung

Die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und Konkurrenzkraft deutscher Schmiedeunternehmen im internationalen Vergleich hängen insbesondere von ihrer Fähigkeit ab, den sehr hohen Qualitätsstandard in einem Optimierungsprozess kontinuierlich zu verbessern sowie ihre Produkte zu einem konkurrenzfähigen Preis anbieten zu können. Aus diesen Gründen gilt es, den gesamten Schmiedeprozess permanent zu optimieren und bisher nicht genutzte Potentiale auszuschöpfen [1].

Für das Kühlen und Schmieren von Gesenken an automatisierten Pressen der Warm- und Halbwarmumformung existiert aufgrund des Trends zu immer kürzeren Taktzeiten, wie in Abbildung 1 dargestellt, eine lediglich enge Zeitfenster, bei dem extremen Abkühlraten erzielt werden müssen. Aus diesem Grund erfolgen die meisten Kühlschmierprozesse wenig gezielt und mit einem hohen Überschuss an Kühlschmiermittel.

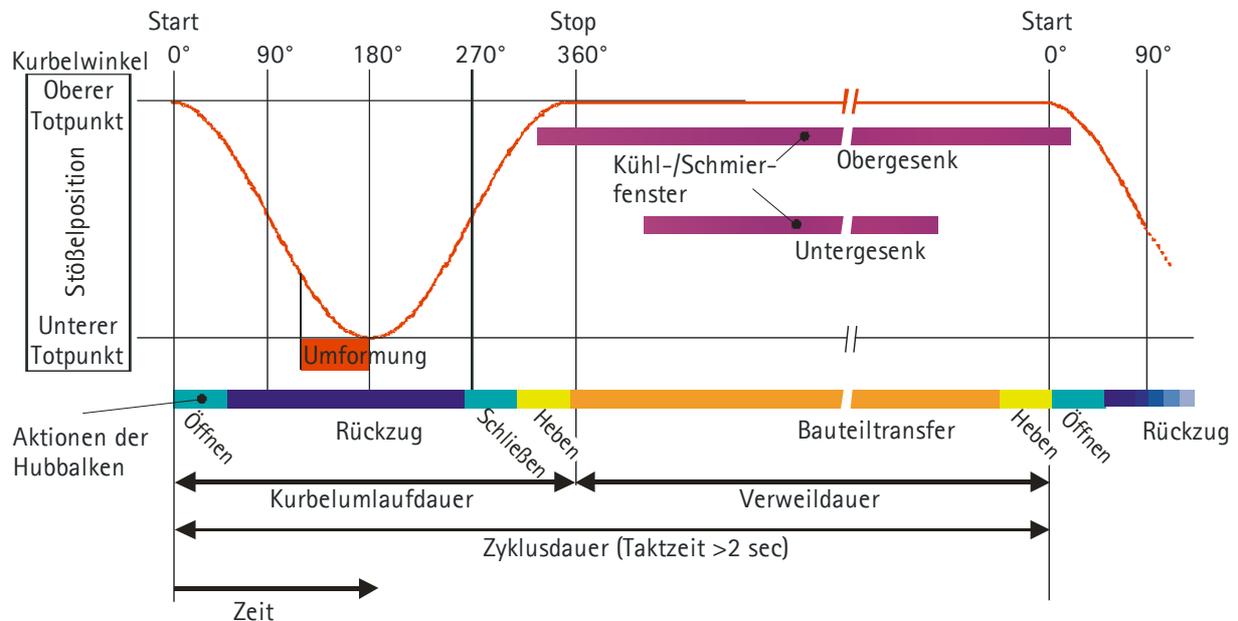


Abbildung 1: Qualitativer Ablauf von Pressenkinematik, Hubbalkentransfersystem und Kühlschmierung

Das Präzisionsschmieden unter sehr kurzen Taktzeiten weist besondere Schwierigkeiten aufgrund der hohen Kontaktdrücke auf. Insbesondere wird die Kühlschmier-technik mit der Tatsache konfrontiert, dass durch die heißen Rohteile ein hoher Wärmeeintrag in die Schmiedegesenke verursacht wird. Dabei bilden das Kühlmedium mit seinen Eigenschaften sowie die Technologie, mit der diese Kühlmittel appliziert werden, die physikalischen Grenzen [2].

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der Umweltverträglichkeit von Schmiedeprozessen ist es nicht akzeptabel, hohe Überschussmengen zu entsorgen oder in einem geschlossenen Kreislauf zu führen und aufzubereiten [3]. Als Ansatz für die Bewertung des thermischen Gesenkaushaltes der zu untersuchenden Werkzeugsysteme ist es erforderlich, einerseits die zu entziehende Wärmemenge und andererseits die erforderliche Kühlmittelmenge zur definierten Einstellung eines stationären Schmiedeprozesses zu bestimmen.

Die Messung von Umformkraft und Umformweg dient der Bestimmung der im Werkstück eingebrachten Umformenergie und lässt sich durch Integration der Kraft über dem Weg ermitteln. Aus der Bestimmung der Werkstückenthalpie (Kalorimetermessung, Abbildung 2) 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 Aufbringen und Verdampfen des Schmierstoffträgermediums Wasser (Mindestkühlmittelmenge) erfolgt.

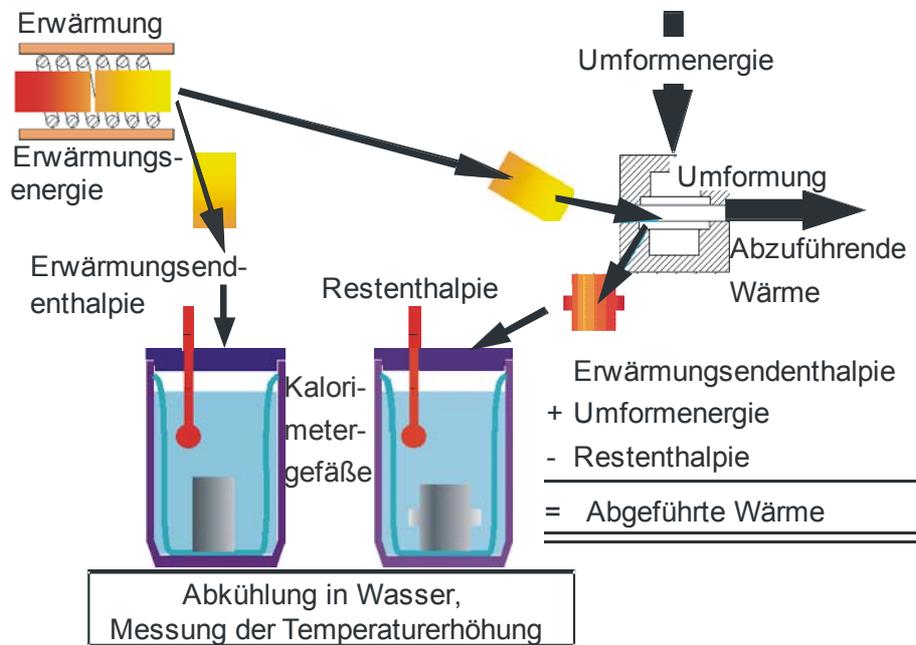


Abbildung 2: Bestimmung der abzuführenden Wärmemenge durch Kalorimetermessungen (Enthalpiebestimmung)

Die Bestimmung der Mindestkühlmittelmenge wird zur statistischen Absicherung wiederholt (mindestens 5 Versuche je Variation) durchgeführt, wobei sich der Schmiedeprozess im stationären Zustand befinden muss.

Anforderungen und Gestaltung der Kühlschmiereinrichtung

Das Kühlschmiersystem für die bestehende SpeedForge PK100S Exzenterpresse (siehe Abbildung 3) des Instituts für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) soll sowohl für die Napf- als auch für die Zahnradherstellung konzipiert werden. Die Sprühdauer zur Kühlung und Schmierung der Werkzeuge soll $t = 1 \text{ s}$ nicht überschreiten, um den automatisierten Schmiedeprozess nicht zu verlangsamen.

Insbesondere die Ober- und Unterstempel aller Schmiedestufen werden thermisch und mechanisch stark beansprucht, da sie die gesamte Umformkraft übertragen. Die Auswerfer der Zwischen- und Fertigschmiedestufe werden zusätzlich während des Ausstoßvorgangs thermisch belastet. Eine ausreichende Kühlung ist aus diesem Grund notwendig. Eine möglichst feine Zerstäubung des Kühlschmierstoffs steht bei der Aufbringung auf die Umformwerkzeuge im Vordergrund. Bei der Entwicklung der Kühlschmiereinrichtung ist zu berücksichtigen, dass die Zugabe von Luft und wasser-

basiertem Kühlschmierstoff separat steuerbar ist, so dass ein optimaler Sprühzyklus in der automatisierten Fertigung gefunden und eingestellt werden kann.

Angestrebt wird eine Werkzeuggrundtemperatur der formgebenden Werkzeugkonturbereiche im automatischen Prozess von 120 bis 180°C, die maschinenseitig mit Hilfe von Heizpatronen gesteuert auf 120°C vorgeheizt wird. Bei diesem relativ niedrigen Temperaturunterschied zwischen dem Kühlmedium, welches eine Temperatur von ca. 20°C aufweist, und dem zu kühlendem Werkzeug ist eine annähernd vollständige Verdampfung des Kühlmediums zur Verschleißminderung zu erreichen, da sich ansonsten aufgrund von Rest-Kühlmitteln eine unvollständige Gravurfüllung ergeben kann.

Die bestehende Mehrstufenpresse weist vier Umformstufen auf (Stauchstufe, Vorschmiedestufe, Fertigschmiedestufe und Lochstufe). Die Ober- und Unterwerkzeuge dieser Stufen sind nach jedem Arbeitstakt des Umformprozesses zu kühlen und schmieren. Um die Abkühlzeit der Werkzeuge zu minimieren, ist eine parallele Wasser- und Schmiermittelbeaufschlagung der Werkzeuge zu beachten. Die Sprühdüsen werden für jede Umformstufe einzeln angesteuert und beim Kühlvorgang so nah wie möglich an das zu kühlende Werkzeug gebracht. Um lange Stillstandzeiten der Maschine zu vermeiden, werden die Düsen in der Umformmaschine direkt an das Werkstücktransportsystem angebracht. Diese Konstruktion ermöglicht durch parallel ablaufendes Transportieren und Kühlen in einem Arbeitsschritt kürzere Stillstandzeiten.

Schmiedewerkzeugsystems für den Laboreinsatz

Anhand von Bauteilen aus der Industrie wurde ein Werkzeugsystem für die am IFUM vorhandene SpeedForge Schmiedepresse (Abbildung 3) abgeleitet. Der Industrieprozess wurde auf einer automatischen Exzenterpresse mit automatisiertem Transfer mit einer Presskraft von 31.500 kN durchgeführt. Des Weiteren wurde das Bauteil in der Presse 5-stufig geschmiedet. Aufgrund der geringeren Pressenkräfte, der geringeren Leistung des Induktionsofens sowie der 4-stufigen Stadienfolge, die die Umformmaschine am IFUM aufweist, wurde das Bauteil anhand des Volumens skaliert.



Technische Daten

max. Presskraft	12500 kN
Arbeitsvermögen zwei Punkt Antrieb	225 kJ
Stößelhub	300 mm
Hubzahl/Minute	30-60
Tischfläche	1050 x 1100 mm
Werkzeugstufen	4
Höhe der Stößelverstellung	+/- 5 mm
Auswerferhub	55 mm
Auswerferkraft	3 x 100 kN

Abbildung 3: Automatische Exzenterpresse; SpeedForge PK1000S

Zunächst erfolgte eine taktile Vermessung der Querschnitte der Vor- und Fertigform des Originalbauteils auf 4 Messbahnen. Mit Hilfe dieser Ergebnisse konnte anschließend die Auslegung und Konstruktion der Werkzeugeinsätze abgeleitet werden.

Anhand des vorgegebenen Maximalvolumens durch die Erwärmungseinrichtung der Firma SMS Elotherm GmbH wurde zunächst die Fertigform skaliert. Aufgrund des Durchsatzes von bis zu 1200 bzw. 2700 kg/h wurde ein Rohteildurchmesser von 40 mm ausgewählt und das Volumen wegen der vorgegebenen Maximallänge der Rohteile von 98 mm auf maximal 123 cm³ beschränkt.

Die Auslegung der Stadienfolge und die darauf aufbauende Konstruktion der konturgebenden Werkzeuggeometrie wurden durch die numerische Materialflusssimulation unterstützt. Als Simulationssoftware wurde hierzu die FE-Software simufact.forming 9.0 von simufact.engineering eingesetzt. Das Ergebnis der Auslegung von Vor- und Fertigform des zu schmiedenden Bauteils am IFUM ist in Abbildung 4 als dreidimensionale Objekte dargestellt.

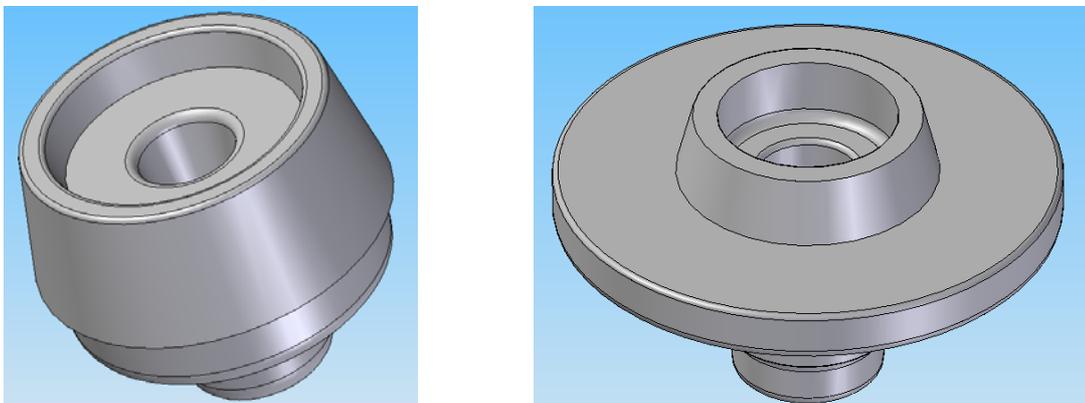


Abbildung 4: Skalierte Vor- (links) und Fertigform (rechts) in 3D (IFUM-Bauteil)

Das Endvolumen beträgt dabei 106 cm^3 , so dass sich eine Rohteillänge von 82 mm ergab. Um den Zunder nicht in alle Werkzeugstufen einzubringen und somit einen erhöhten Verschleiß in der konturgebenden Werkzeuggeometrie der Vor- und Fertigform zu vermeiden, wurde ein Vorstauchprozess als erste Werkzeugstufe, angelehnt an den Industrieprozess, ausgelegt und konstruiert. Das Rohteil wird somit in dieser Stufe auf 65 mm gestaucht und zunderfrei der Vorschmiedestufe zugeführt.

Numerische Berechnung der Stadienfolge

Die Auslegung der Werkzeuggeometrien und der benötigten Werkstückmasse erfolgt mit Hilfe der Finite-Element-Methode (FEM). Dieses numerische Berechnungsverfahren ermöglicht durch die thermomechanische Kopplung neben der Berechnung des Stoffflusses auch die Bestimmung der zu erwartenden Temperaturänderung am Werkstück und am Werkzeug. Auf diese Weise ist die Auslegung der gesamten Stadienfolge des Umformprozesses und der Kühlschmierung möglich. Zur Reduzierung der Rechenzeit wird eine axialsymmetrische Modellierung des Umformprozesses ausgeführt. Das Umformmodell besteht aus dem Stempel, der Matrize und dem Werkstück. Als Werkzeugwerkstoff wird der Warmarbeitsstahl X32CrMoV-5 (1.2367) und als Werkstoff der Stahl C45 (1.0503) eingesetzt. Die Werkzeuge haben eine Temperatur von 120°C und das Werkstück wird induktiv auf 1200°C erwärmt.

Der Werkstücktransport für den Schmiedeprozess verläuft automatisiert. Daher können die Taktzeiten sehr genau eingehalten werden und das Einstellen eines reproduzierbaren Schmiedeergebnisses ist möglich. Für die Versuche am IFUM wurde eine Bestückung der Maschine für jeden zweiten Takt vorgesehen. Damit ergeben Taktzeiten innerhalb der Umformstufen von vier Sekunden. Die Transportzeit von der Induktionsanlage zur ersten Umformstufe beträgt acht Sekunden.

In der ersten Umformstufe (Stauchen) erfolgt die Entzunderung und es stellt sich ein Umformgrad von $\varphi_{\max} = 0,4$ ein. Das Werkstück erfährt in der Vor- und Fertigstufe in einen maximalen Umformgrad von $\varphi_{\max} = 5,8$ bzw. $8,0$ (Abbildung 5).

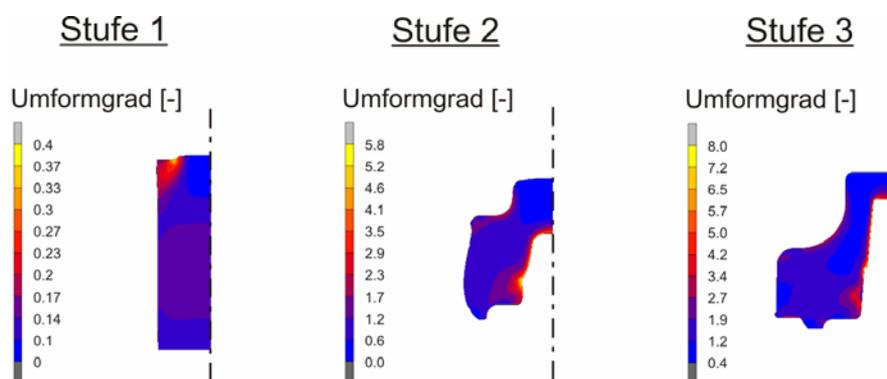


Abbildung 5: Numerische Ermittlung der Umformgrade in den 3 Bauteilen der Stadienfolge

Werkzeugsystem in der PK1000S Exzenterpresse

Basierend auf dem am IFUM ebenfalls vorhandenem Werkzeugsystem einer Präzisionszahnradgeometrie, das für Versuche im Sonderforschungsbereich 489 eingesetzt wird, wurde das neu zu konstruierende Werkzeugsystem modular aufgebaut. So wurde gewährleistet, dass das aufzubauende Kühlschmiersystem mit wenigen Anpassungen kompatibel für die unterschiedlichen Werkzeuggeometrien eingesetzt werden kann. Die Lochstufe wurde ohne Oberwerkzeug konstruiert und gefertigt, da diese auf die Auslegung des Kühlschmiersystems keinen Einfluss hat. In Abbildung 6 ist das gesamte Werkzeugsystem als 3D-Ansicht dargestellt.

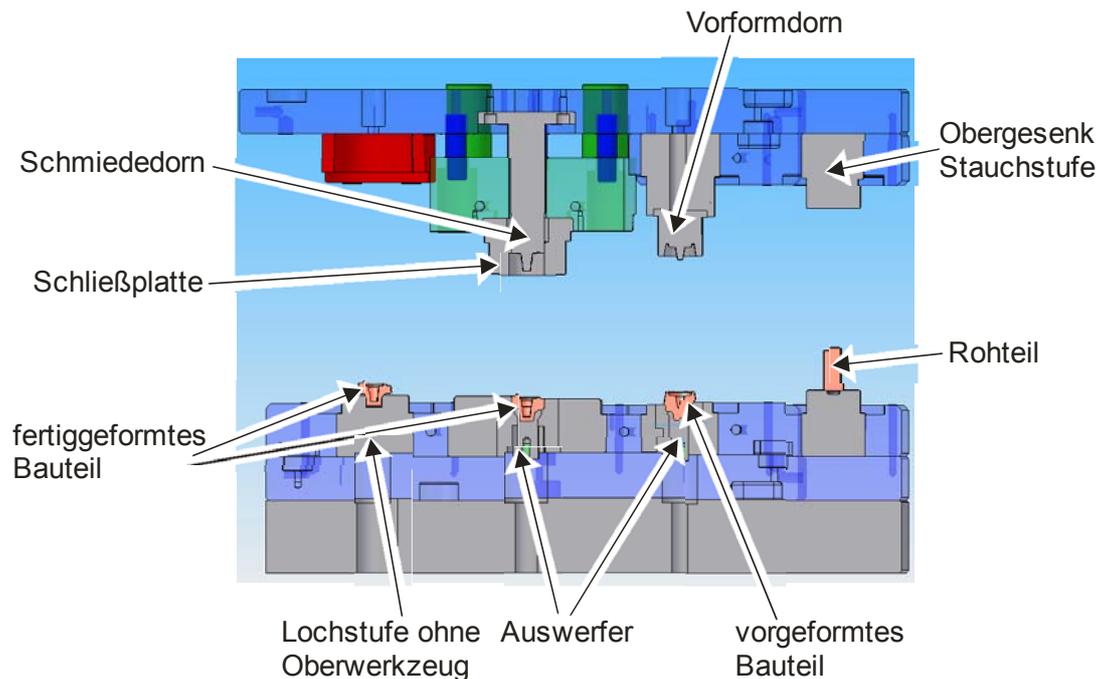


Abbildung 6: 3D-Ansicht des gesamten Werkzeugsystems

Sprühkennfeldaufnahme zur Ermittlung optimaler Kühlschmierparameter

Die von der Sprühanlage ausgebrachten Kühlschmierstoffmengen wurden abhängig von der eingesetzten Düsengeometrie und den eingestellten Parametern ausgewählt. Die Bestimmung der eingesetzten Kühlschmierstoffmengen geschieht durch das Auffangen des Kühlschmierstoffs in einem geeigneten Behälter und Durchführung einer Differenzwägung.

Weiterhin wurden in diesem Arbeitsschritt mögliche Parametervariationen (Druck, Düsengeometrie, Zeiten, Schmierstoffkonzentration etc.) durchgeführt, die die gleiche „Kühlleistung“ und den gleichen Schmierfilmaufbau erbringen. Aus diesen Variationen folgte die Erstellung des für diesen Schmiedeprozess möglichen Kühlschmierkennfeldes. Bei der Auswertung der Versuche wurde die Ausbringung in Gramm pro Sekunde umgerechnet, um die Ergebnisse objektiv betrachten zu können.

Anhand der Messungen im Laborfeld ergibt sich, dass keine Sprühdüse einen linearen Verlauf in Abhängigkeit vom einzustellenden Kühlschmiermitteldruck aufweist. Die explizite Beachtung von Druck und Ausbringung bei der Auslegung steht somit im Vordergrund, um eine erfolgreiche Minimalmengenschmierung zu realisieren. Beispielhaft für die Parametervariation sind in Abbildung 7 die Ausbringungen an Kühlschmiermittel von sieben Düsen in Abhängigkeit vom Bohrungsdurchmesser und des Kühlschmierdrucks gegenübergestellt.

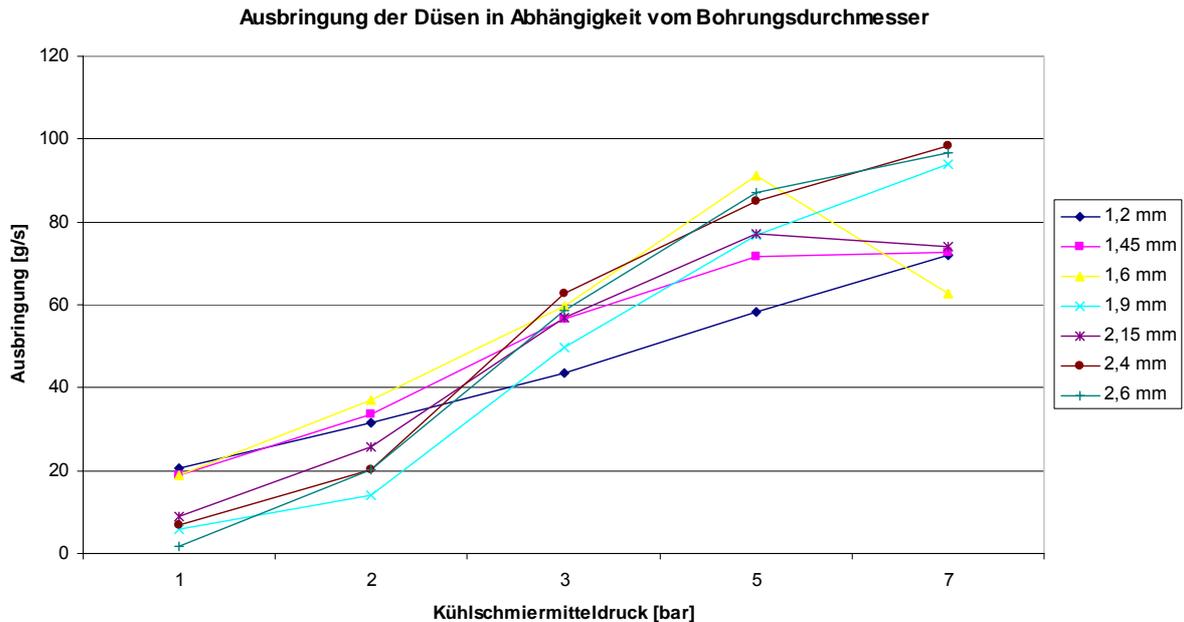


Abbildung 7: Gegenüberstellung der Düsen in Abhängigkeit vom Bohrungsdurchmesser

Insbesondere bei Betrachtung der drei Düsen mit den höchsten Ausbringungen ist festzustellen, dass die Düsen mit einem 60°-Strahlenwinkel einen sehr ähnlichen Ausbringungsverlauf haben und auch die mit einem 45°-Strahlenwinkel den anderen beiden ähnelt. Das Ergebnis dieser Versuche zeigt, je höher der eingestellte Druck ist, desto höher wird die Ausbringung, lediglich bei der Düse mit einem 60° Strahlenwinkel und einem Bohrungsdurchmesser von 1,6 mm ist ein Abfall bei einem Kühlschmiermitteldruck von 7 bar festzustellen. Zudem steigt mit höherem Bohrungsdurchmesser ebenfalls die Ausbringung an.

Kalorimetermessungen der skalierten Bauteile

In Abbildung 8 ist die Stadienfolge Rohteil-Vorstufe-Fertigstufe des Bauteils, hergestellt auf dem angepassten Laborwerkzeugsystem, dargestellt.



Abbildung 8: Stadienfolge Rohteil-Vorstufe-Fertigstufe (IFUM-Laborbauteil)

Die Werte der wiederholten Kalorimetermessungen weisen eine gute Reproduzierbarkeit auf. Die exakte Vorhersage der benötigten Schmiermittelmengen kann somit gewährleistet werden. In Tabelle 1 sind die Mittelwerte für die Kalorimetermessungen der Laborversuche der Fertigstufe sowie die mittlere Energiedifferenz dargestellt.

Tabelle 1: Kalorimetermessungen der Laborversuche für die Vorformschmiedestufe

Mittlere Energie des Werkstücks vor der Vorformstufe	Mittlere Energie des Werkstücks nach der Vorformstufe	Mittlere Energiedifferenz
59,89 kJ	44,42 kJ	15,47 kJ

In Tabelle 2 sind die Mittelwerte für die Kalorimetermessungen der Laborversuche der Fertigstufe sowie die mittlere Energiedifferenz dargestellt.

Tabelle 2: Kalorimetermessungen der Laborversuche für die Fertigschmiedestufe

Mittlere Energie des Werkstücks vor der Fertigformstufe	Mittlere Energie des Werkstücks nach der Fertigformstufe	Mittlere Energiedifferenz
44,42 kJ	40,61 kJ	3,79 kJ

Berechnung der Wärmemenge Q [J]

Die in der Auswertung der Kalorimetermessung dargestellte Wärmemenge Q wurde aufgrund folgender Gleichung berechnet:

$$Q = C_M \cdot m_M \cdot \Delta T$$

ΔT berechnet sich aus der Temperaturdifferenz vor und nach jeder Schmiedestufe. Sie wurde in der Auswertung als T_{Verlust} bezeichnet.

Hinzugerechnet werden muss die Umformarbeit, während der Fertigschmiedestufe in Form von Wärmeenergie in das Werkstück eingebracht wird. Für die ideale Umformarbeit W_{id} gilt unter Vernachlässigung der Temperaturerhöhung infolge Reibung zwischen Werkstück und Werkzeug sowie in Form von Verfestigung und Eigenstressungen gespeicherte potentielle Energie [2]:

$$W_{id} = V \cdot k_{fm} \cdot \varphi_{mittel}$$

Dabei steht k_{fm} für die mittlere Fließspannung, V für das Volumen und φ_{mittel} bezeichnet den Mittelwert für den Umformgrad.

Vorformschmiedestufe

Mit Hilfe der numerischen Methoden wurde für den in der Vorformstufe eingebrachten Umformgrad φ_{mittel} ein Wert von:

$$\varphi_{mittel} = \varphi_{Vorform} - \varphi_{Stauchen} = 0,971 - 0,073 = 0,898$$

ermittelt. Das Volumen des Werkstücks beträgt $V = 32400 \text{ mm}^3$. Für die mittlere Fließspannung bei im Mittelwert vorherrschenden 1100°C wird eine konstante Fließspannung $k_{fm} = 200 \text{ N/mm}^2$ bei elasto-plastischer Betrachtung für die Warmumformung eingesetzt. Daraus folgt eine durch die Umformung eingebrachte Wärmeenergie von:

$$W_{id} = 30400 \text{ mm}^3 \cdot 200 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,898 = 5,46 \text{ kNm},$$

so dass sich für die Gesamtwärmemenge

$$Q_{ges} = 15,47 \text{ kJ} + 5,46 \text{ kJ} = 20,93 \text{ kJ}$$

ergibt.

Fertigungsformschmiedestufe

Mit Hilfe der numerischen Methoden wurde für den in der Fertigstufe eingebrachten Umformgrad φ_{mittel} ein Wert von:

$$\varphi_{mittel} = \varphi_{Fertigform} - \varphi_{Vorform} = 1,759 - 0,971 = 0,788$$

ermittelt. Für die mittlere Fließspannung bei im Mittelwert vorherrschenden 1050°C wird ebenfalls eine konstante Fließspannung $k_{fm} = 200 \text{ N/mm}^2$ eingesetzt, da sich für die Warmumformung bei Betrachtung der Fließkurve bei diesen Temperaturen kaum

Änderungen ausmachen lassen. Daraus folgt eine durch die Umformung eingebrachte Wärmeenergie von:

$$W_{id} = 30400 \text{ mm}^3 \cdot 200 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,788 = 4,8 \text{ kNm},$$

so dass sich für die Gesamtwärmemenge

$$Q_{ges} = 3,79 \text{ kJ} + 4,8 \text{ kJ} = 8,59 \text{ kJ}$$

ergibt.

Berechnung der erforderlichen Kühlmittelmenge

Um die benötigte Menge an Kühlmittel zu berechnen wird folgende Formel verwendet, wobei Q_{ges} für die gemessene Energie der Bauteile, welche in die jeweilige Schmiedestufe eingebracht wird, steht und c_w die spezifische Wärmekapazität des Wassers ist und bei Raumtemperatur einen Wert von $c_w = 4,19 \text{ kJ/(kgK)}$ annimmt. [4]:

$$m_w = \frac{Q_{ges}}{r + c_w \cdot \Delta T}$$

Die Temperaturdifferenz ΔT ergibt sich aus der Erwärmung des verwendeten Kühlmittels (Wasser) von Umgebungstemperatur $T_U = 20^\circ\text{C}$ auf Siedetemperatur $T = 100^\circ\text{C}$. Daraus folgt eine Temperaturdifferenz $\Delta T = 80^\circ\text{C}$. Die Verdampfungsenthalpie r ergibt sich nach [5] bei einem Umgebungsdruck von $p_u = 1,01325 \text{ bar}$ zu $r = 2257 \text{ kJ/kg}$.

Nach dem Einsetzen aller Werte in die o.g. Formel ergibt sich eine Kühlmittelmenge für die Vorform- sowie die Fertigschmiedestufe von:

$$m_{wVorform} = \frac{20,93 \text{ kJ}}{2,257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 353,15 \text{ K}} = 0,014 \text{ kg} = 14 \text{ g}$$

$$m_{wFertig} = \frac{8,59 \text{ kJ}}{2,257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 353,15 \text{ K}} = 0,006 \text{ kg} = 6 \text{ g}$$

Um die Gesamtmenge des benötigten Kühlschmiermittels zu erhalten, werden zu den Ergebnissen des Kühlmittels noch ca. 15% der Gesamtmasse an Schmiermittel addiert, welches aus dem Mischungsverhältnis Wasser zu Schmiermittel resultiert. Daraus folgt, dass für die Vorformstufe eine Kühlmittelmenge von 16 ml und für die Fertigformstufe eine Kühlmittelmenge von 7 ml erforderlich ist, um die Gesenkstufen ausreichend zu kühlen und zu schmieren. Dieser Wert stimmt sehr gut mit den in der FEM errechneten Kühlschmiermittelmengen überein. In der Praxis wird grundsätzlich mehr Kühlschmiermittel eingesetzt, da ansonsten das Kühlschmiermittel nicht jeden

Bereich der Gravur erreicht, der Leidenfrosteffekt aufgrund zu geringer kinetischer Energie einsetzt oder das Kühlschmiermittel von der Gesenkooberfläche abprallt bzw. abläuft ohne vollständig verdampft zu sein.

Auswahl geeigneter Sprühdüsen, Befestigung und Justierung am Transfer

Nach der Berechnung der nötigen Kühlschmiermengen wurde entschieden, das Ausblasen und den Kühlschmierprozess zu trennen. Die Handhabung der Sprühdüsen im Presseninnenraum sollte aufgrund der geringen Taktzeiten und des begrenzten Platzangebots nicht über einen zusätzlichen Manipulator erfolgen. Die Befestigung der Düsen und der Zuführungen erfolgte somit direkt auf dem Transferbalken, welcher aus Carbon gefertigt ist. Zusätzlich zu den Kühlschmierdüsen erfolgte die Befestigung von Rohren für die Ausblasluft ebenfalls direkt auf dem Transferbalken (Abbildung 9). Da die Stauch- und die Lochstufe nicht verschleißrelevant sind und eine Kühlschmierung nicht benötigt wird, wurden diese lediglich mit Ausblasluft beaufschlagt, um diese Stufen vom Zunder zu befreien. Für weitere Werkzeugsysteme ist allerdings eine Implementierung von Sprühdüsen für diese beiden Stufen durch die Steuerung und die benötigten Komponenten (Ventile, Schläuche usw.) gewährleistet. Die Befestigung der Düsen am Transferbalken ist in Abbildung 9 dargestellt.

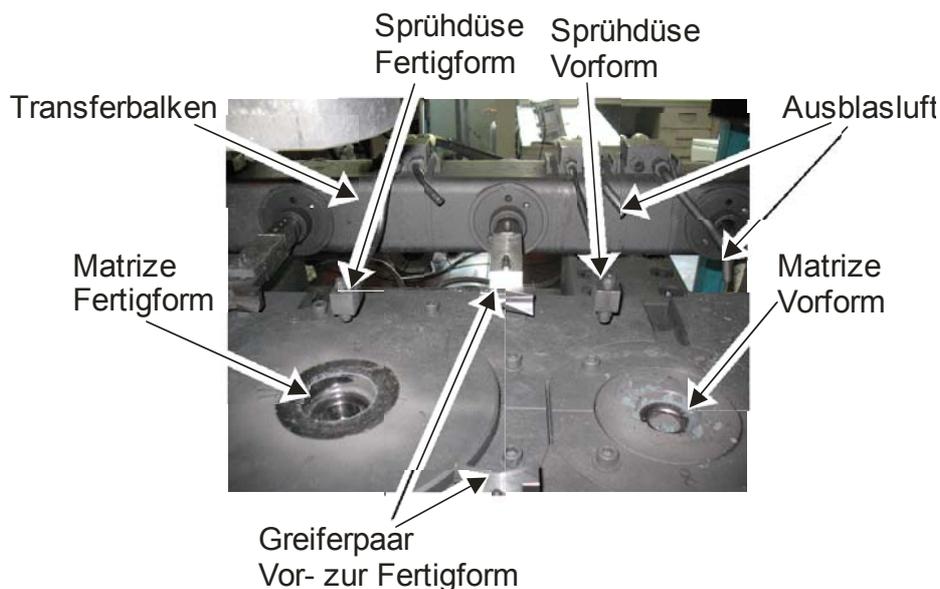


Abbildung 9: Befestigung der Sprühdüsen am Transferbalken

Als Düsen für die Vorform- sowie die Fertigschmiedestufe wurden die Düse mit einem Durchmesser von 2,4 mm und einem Winkel von 60° sowie die Düse mit einem Durchmesser von 1,9 mm und einem Winkel von 45° ausgewählt. In der Vorform musste in der Praxis der Dorn des Obergesenkes und in der Fertigform die untere Gesenkhälfte stärker gekühlt werden, so dass an diesen Stellen, die Düsen mit dem größeren Durchmesser und somit größerer Ausbringung eingesetzt wurden. Das Schalten der Ventile wird anhand des Kurbelwinkels des Stößels festgelegt.

Daraus ergibt sich eine Sprühdauer für die Vorform- von 0,3 s und für die Fertigform-

geometrie von 0,2 s. Anhand der Ausbringungen der gewählten Düsen und dem eingestellten Kühlschmiermitteldruck von 2 bar ergibt sich für die Vorformgeometrie eine Kühlschmiermittelmenge von 15 ml und für die Fertigformgeometrie von 10 ml. Die Differenzwägungen bestätigen einen leichten Überschuss an Schmiermittel, so dass nicht von einer 100%-igen Minimalmengenschmierung ausgegangen werden kann. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass aufgrund der Randbedingungen, wie der starren Befestigung der Düsen auf dem Transfer und den steuerungsseitig vorgegebenen Transferkurven, nicht alle Bereiche der Gravuren beider Gesenkstufen bei Minimalmengen Kühlschmierung ausreichend geschmiert und gekühlt wurden, so dass es zum Festkleben von Bauteilen am Obergesenk kam und unregelmäßige Temperaturverteilungen aufgetreten sind.

Danksagung

Die Ergebnisse dieser Publikation wurden im Rahmen des Forschungstransferprojektes „Auslegung und Entwicklung einer Werkzeug- und Sprühtechnologie für das Präzisionsschmieden auf schnelllaufenden Kurbelpressen“ im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 489 „Prozesskette zur Herstellung präzisionsgeschmiedeter Hochleistungsbauteile (SFB 489)“ erzielt.

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung dieses Teilprojektes sowie des gesamten SFB 489.

Literatur:

- [1] Paschke, H.; Stueber M.; Ziebert C.; Bistron M.; Mayrhofer P.: *Composition, microstructure and mechanical properties of boron containing multilayer coatings for hot forming tools*, Surface and Coatings Technology, 2011
- [2] Behrens, B.-A.: *Handbuch Umformtechnik, Grundlagen, Technologien, Maschinen*, Springer Verlag, Berlin, 2010
- [3] Stute-Schlamme, W.: *Konstruktion und thermomechanisches Verhalten rotationssymmetrischer Schmiedegesenke*, Dissertation, Universität Hannover, 1980
- [4] Puschmann, F.: *Experimentelle Untersuchung der Spraykühlung zur Qualitätsverbesserung durch definierte Einstellung des Wärmeübergangs*, Dissertation, Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2003
- [5] Czechowski, D: *Modell zur Bestimmung der Leidenfrosttemperatur bei der Sprühkühlung von Schmiedewerkzeugen*, Dissertation, Leibniz Universität Hannover, 2007

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens studierte Maschinenbau an der Universität Hannover und promovierte am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) in Hannover. Er war Leiter der Abteilung Umformtechnik bei der Salzgitter AG. Im Jahr 2002 ist sein Verantwortungsbereich auf die gesamte Anwendungstechnik des Konzerns erweitert worden. Seit Oktober 2003 ist er Leiter des IFUM der Leibniz Universität Hannover.

Dipl.-Ing. Andreas Klassen studierte Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover. Seit 2009 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Numerische Methoden am IFUM.

Dipl.-Ing. Ingo Lücken hat an der Leibniz Universität Hannover Maschinenbau studiert. Seit Mitte 2010 ist er stellvertretender Leiter der Abteilung Massivumformung am IFUM.