

Monitoring the Spray Cooling Effect Online with the Use of a High-speed and Thermographic Camera

In the forging industry, cooling lubrication is used not only to improve removal of the work-piece from the die but also to reduce the surface temperature and wear of the tool. However, no monitoring methods exist for checking the spray to achieve a reduction in lubricant use. Due to a lack of accessibility during

the process as well as high temperatures, the required tool replacement is often only carried out when the tool is damaged. Assistance may be provided by using optical measuring technology in the form of an online monitoring process during forging.

Überwachung der Sprühkühlwirkung mittels parallelen Einsatzes von Hochgeschwindigkeits- und Thermografiekamera

Zahra Mohammadifard M. Sc.,
Dipl.-Ing. Delil Yarcu und
Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens, Hannover

In der Schmiedeindustrie wird die Kühlschmierung neben der Unterstützung der besseren Entformbarkeit des Werkstücks zur Reduzierung der Oberflächentemperatur des Werkzeugs beziehungsweise zur Verschleißreduzierung verwendet. Jedoch sind keine Überwachungsmethoden zur Sprühkontrolle vorhanden, um eine Reduzierung des Schmiermitteleinsatzes zu

erreichen. Der notwendige Werkzeugaustausch erfolgt oft aufgrund der während des Prozesses mangelnden Zugänglichkeit und hoher Temperaturen erst, wenn das Werkzeug beschädigt ist. Unterstützung soll der Einsatz optischer Messtechnik in Form eines Verfahrens zur Online-Überwachung während des Schmiedens liefern.

In der Warmmassivumformung werden die Werkzeuge mechanisch, thermisch, tribologisch und chemisch stark beansprucht. Es entstehen je nach Belastung und der Menge der zu schmiedenden Bauteile unterschiedliche Schädigungen an der Gravur. Wenn eine der Schädigungen einen kritischen Wert erreicht, ist eine Nachbearbeitung oder im Ausnahmefall der Ausbau des Werkzeugs notwendig [2, 3, 4]. Durch den Einsatz einer Kühlschmierung können die Ursachen und Folgen eines Werkzeugaustauschs vermindert werden. Der Einsatz des Kühlschmierstoffs soll einen Abkühleffekt und ein gezieltes Aufbringen von Schmiermittel auf die Werkzeugoberfläche bewirken [1]. Ziele der Gesenkschmierung sind eine gute Schmiedeteilqualität, hohe Werkzeugstandmengen und eine kontinuierliche

Fertigung. Deshalb ist es erforderlich, die Aufbringung des Schmierstoffs auf die Gesenke in die gesamte Prozessüberwachung mit einzubeziehen. Durch die Überwachung des Schmierstoffauftrags kann der Schmierstoffeinsatz auf das technisch erforderliche Mindestmaß reduziert werden. Somit können im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit des Schmiedeprozesses und vor allem auf die Entsorgungsproblematik der eingesetzten Schmierstoffe Ressourcen eingespart werden [1, 3].

Methodischer Ansatz

Zur Realisierung eines Verfahrens zur Prozessüberwachung des Sprühbilds und zur Optimierung des Kühlschmierprozesses wurde eine Messmethodik entwickelt, mit der die Auswirkungen des Sprühnebels auf die

Temperaturverteilung auf der Gesenkoberfläche aufgenommen werden kann.

Der Versuchsaufbau besteht aus einem Sprühkopf, einer Maschinensteuerung, einer Recheneinheit beziehungsweise einer Datenbank, einer Hochgeschwindigkeitskamera (HGK), einer Thermografiekamera (TGK) und einem Laser. Der Einsatz einer Monochromkamera (MCK) kann als kostengünstige Alternative zu der HGK dienen (Bild 1).

Während der Messungen wird das Sprühfeld von einem Laser durchleuchtet. Die Durchleuchtung wird in dem Messsystem dabei als Detektionsfeld für die HGK und MCK genutzt. Die HGK und MCK sind mit einem Filter ausgestattet, der auf den Frequenzbereich der Lichtebeine des Lasers abgestimmt ist. Mit der

HGK und MCK werden die Veränderungen der Dichte in dem Detektionsfeld erkannt, womit sich über mathematische Beziehungen Rückschlüsse auf die Ausbringungsmenge des Sprühnebels pro Flächeninhalt ziehen lassen. Abweichend zur HGK und MCK, ist die TKG direkt auf das Gesenk gerichtet und detektiert dort die Temperaturveränderung infolge des Sprühnebels. Die Maschinensteuerung hat die Funktion, die notwendigen Triggersignale zu senden und mit der gesamten Anlage über eine SPS-Programmierung mit dem System Beckhoff TwinCAT3 zu kommunizieren. Die Recheneinheit gewährleistet ein zeitlich gesteuertes Triggersignal für alle Kamerasysteme und ermöglicht somit die Synchronisierung der Aufnahmen. Die Recheneinheit speichert die aufgenommenen Bilder und legt sie in einer Datenbank ab.

Entwicklung einer Bildverarbeitungssoftware

Mit dem zu entwickelnden Auswerteprogramm auf Basis der Helligkeitsverteilung der Grauwerte in der Software Halcon wurden die unterschiedlichen Aufnahmen bezüglich der Zeit und der Ausbringungsmenge angelegt.

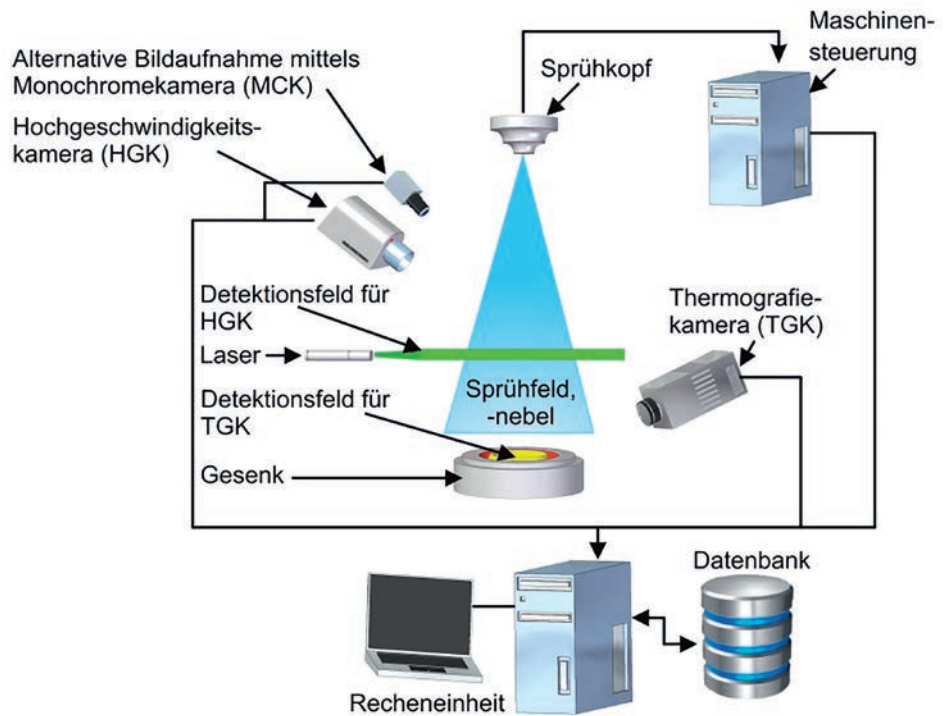


Bild 1: Schematischer Messaufbau.

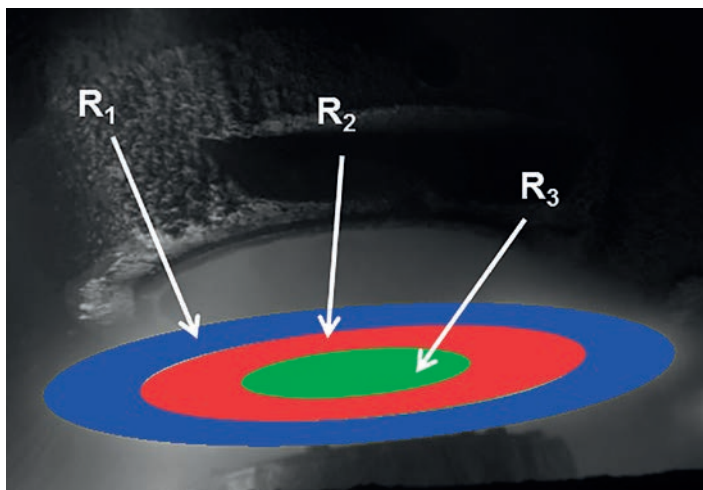


Bild 2: Unterteilung des Sprühnebels des Gesenks in drei Regionen.

Für die Auswertung wird der Sprühnebel der Werkzeugoberfläche in drei Regionen (R_i mit $i = 1, 2, 3$) unterteilt (Bild 2).

Mit dieser Unterteilung kann das Programm die Anzahl der Wasserpixel pro Region berechnen und jeweils einen Graphen erstellen. Die Berechnung erfolgt über eine Grauwertanalyse, das heißt das Programm errechnet die Grauwerte der Regionen und erkennt anhand dessen die Anzahl der Wasserpixel. Somit ist ein Vergleich zwischen den einzelnen Regionen bezüglich der ausgebrachten Wassermenge möglich.

Experimentelle Untersuchungen im industriellen Umfeld

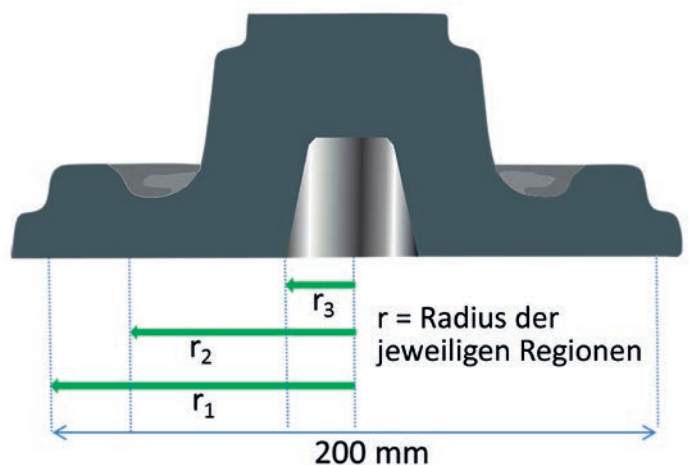
Zur Validierung der dargestellten Methodik wurden Versuche bei einer Pilotfirma durch-

geführt, wobei ein dreistufiger Gesenkschmiedeprozess zur Fertigung eines rotationssymmetrischen Bauteils verwendet wurde.

Zur Ermittlung der Sprühkühleffizienz sind drei Schritte notwendig. Im ersten Schritt wird mit der TKG eine Aufnahme vor und nach der Kühlung des Gesenks erstellt. Im zweiten Schritt wird die Wasserpixelanzahl mit der HGK aufgenommen. Im dritten Schritt wird die Sprühkühleffizienz errechnet.

Temperaturmessung

Entsprechend dem ersten Schritt erfolgten Temperaturentnahmen auf der Gesenks-oberfläche. Die daraus resultierende Temperaturverteilung im Gesenk der 2. Stufe des betrachteten Prozesses vor und nach der Kühlung ist in Bild 3 dargestellt.



Mit der TKG wurden die Mittelwerte der Temperaturen der einzelnen Regionen für die variierten Sprühzeiten vor und nach der Kühlung ermittelt. Hierbei erfolgte die Ermittlung der Mittelwerte der Temperaturen jeweils 0,5 Sekunden vor (t_1) und nach (t_2) dem Sprühkühlprozess. Aus den Temperaturen zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 lässt sich die Kühlrate (ΔT) ableiten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Aus der tabellarischen Darstellung ist die maximale Temperaturdifferenz (ΔT) bei einer Sprühzeit von 0,5 Sekunden zu entnehmen. Bei höheren Sprühzeiten sinkt die Temperaturdifferenz aufgrund der Bildung eines Dampfkissens beziehungsweise des Leidenfrosteffekts ab.

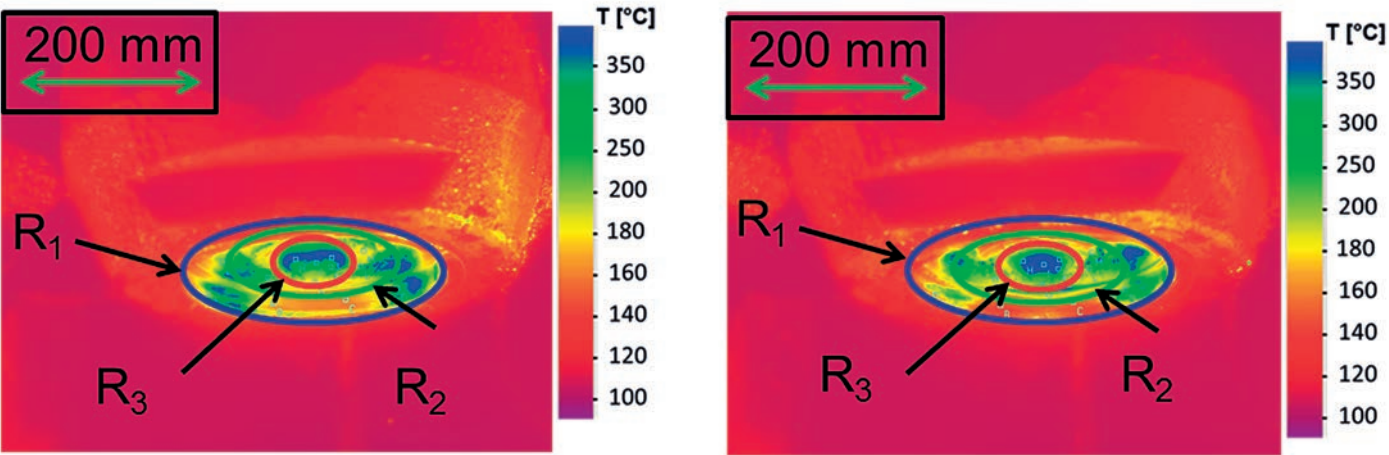


Bild 3: Temperaturemittlung vor (links) und nach (rechts) der Kühlung.

		Sprühzeit 0,3 s	Sprühzeit 0,5 s	Sprühzeit 0,7 s	Sprühzeit 1 s
Region 1	Kühlrate ΔT [K]	44	45	37	33
Region 2		49	100	59	29
Region 3		64	88	53	49

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung der Temperaturdifferenz (ΔT).

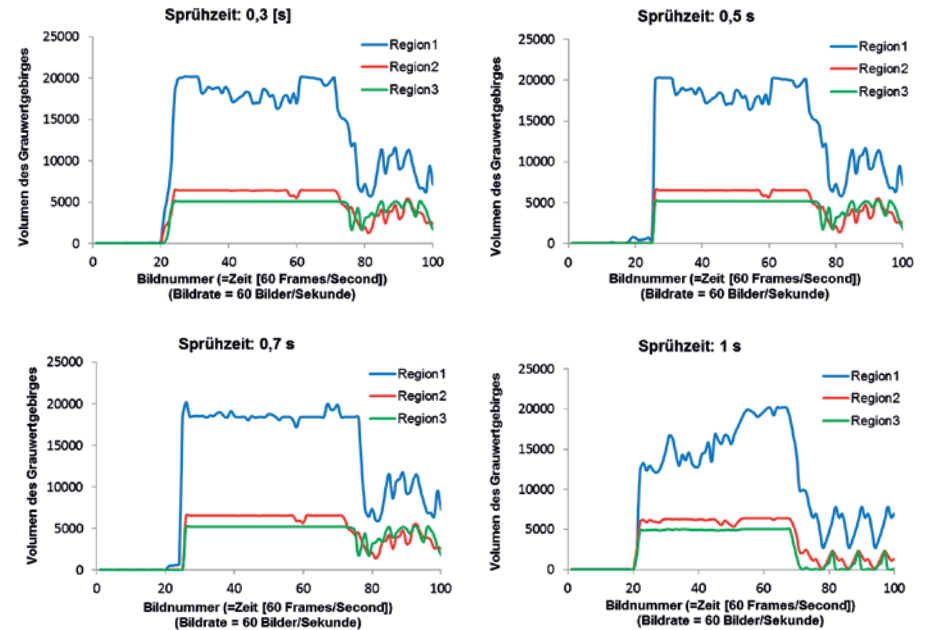


Bild 4: Ergebnisse der Grauwertbestimmung bei unverstopfter Düse.

Bilder: Autoren

		Unverstopfte Düse	Verstopfte Düse
Region 1	Anzahl Pixel Mittelwert [nR _i]	18.336,809	11.207,68
Region 2		6.335,31	5.964,40
Region 3		5.065,87	4.791,44

Tabelle 2: Vergleich der Wasserpixelanzahl bei Sprühzeit 0,5 Sekunden.

		Unverstopfte Düse	Verstopfte Düse
Region 1	Sprühkühleffizienz [K·mm ²]	48	18
Region 2		15.945	3.208
Region 3		13.145	4.710

Tabelle 3: Sprühkühleffizienz bei Sprühzeit 0,5 Sekunden.

Ermittlung der Wassermenge (Wasserpixelanzahl)

Unter Variation der Sprühzeiten und der Düsenverstopfung wurden die Sprühfelder mit der HGK detektiert. In Bild 4 sind die Ergebnisse der Sprühfelddetektion einer unverstopften Düse in Abhängigkeit von der Sprühzeit dargestellt. Die Diagramme stellen auf der vertikalen Achse das Volumen des Grauwertgebirges und auf der horizontalen Achse die Bildnummern in 60 Bildern pro Sekunde dar. Das Volumen des Grauwertgebirges ist hierbei die Anzahl der Wasserpixel im Sprühfeld bezogen auf die Fläche der jeweiligen Regionen. Anhand von Bild 4 ist zu erkennen, dass bei allen Sprühzeiten für die drei Regionen sehr ähnliche Verläufe resultieren. Die lokale Detektion des Sprühnebels wird somit durch die Sprühdauer nicht beeinflusst, was als Hinweis auf einen konstanten Sprühstrom dienen kann.

Um zu prüfen, ob das System dazu in der Lage ist, die Veränderungen der Sprühmittelmenge infolge der Verstopfung zu detektieren, wurde ein Vergleich zwischen den Ergebnissen einer verstopften und unverstopften Düse durchgeführt. Hierbei wurde exemplarisch die Sprühzeit von 0,5 Sekunden herangezogen (Tabelle 2). Diese Ergebnisse bestätigten die Eignung des Systems zur Detektion einer Veränderung der Sprühmittelmenge im industriellen Einsatz.

Ermittlung der Sprühkühleffizienz

Die Ermittlung der Sprühkühleffizienz erfolgt durch eine Berechnung, die sich aus der Kühlrate (ΔT) in Abhängigkeit von den jeweiligen Flächen (AR_i) und der Anzahl der Wasserpixel (nR_i) zusammensetzt. Bei der Betrachtung der Ergebnisse (Tabelle 3) fällt auf, dass die Verstopfung Einflüsse auf die Sprühkühleffizienz hat. Der Grund hierfür liegt darin, dass durch eine fehlerfreie Düse mehr Kühlmittel gelangt, sodass die Gesenkenoberfläche eine höhere Abkühlung erfährt. Folglich nimmt die Kühleffizienz einer unverstopften Düse höhere Werte an.

Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Projekt wurde eine Methodik entwickelt, die es dem Anwender ermöglicht, die Auswirkung der verwendeten Kühl-/Schmier-technik objektiv auf die Gesenkoberfläche zu bewerten. Es wurde ein Konzept zur parallelen Erfassung der lokalen Kühlschmiermittelmengen und der resultierenden Gesenko-oberflächentemperaturen entwickelt und daraus ein Kennwert zur objektiven Bewertung der Sprüheffekte abgeleitet. Dieser Kennwert beschreibt die Ergebnisse der Sprühkühlung in Bezug auf die in Abhängigkeit von den Sprühparametern (Sprühdauer und Schmiermitteldruck) zu erzielenden lokal aufgelösten

Temperaturdifferenzen vor und nach der Sprühkühlung. Der langfristige Einsatz einer Systematik zur Überwachung von Sprühkühlprozessen und weiterführende Untersuchungen der Temperaturentwicklung im Prozess und Steuerungsmöglichkeiten der Sprühkühlung eröffnen den Anwendern die Möglichkeit, den an den eingesetzten Werkzeugen entstehenden

Verschleiß zu reduzieren, den Bedarf an Schmiermitteln zu optimieren und somit die Ausfallrate von Gesenken zu mindern. ■



Zahra Mohammadifard



Delil Yarcu



Prof. Dr. Bernd-Arno Behrens

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 17376 N der Forschungsgesellschaft Stahlverformung e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichts kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.

Literatur

- [1] Behrens, B.-A.; Klassen, A.; Lüken, C.: Sprühtechnik für Pressen, Umformtechnik 2011.
- [2] Behrens, B.-A.; Lüken, I.; Holz, F.: Erfassung des Sprühnebels bei Warmmassivumformprozessen mit Hilfe eines Hochgeschwindigkeitskamerasystems; SchmiedeJOURNAL 2009.

- [3] Behrens, B.-A.; Lüken, C.; Vieregge, T.: Methodik zur Verschleißreduzierung beim Gesenkschmieden, Metall Forschung 2012.
- [4] Doege, E.; Behrens, B.-A.: Handbuch Umformtechnik: Grundlagen, Technologien, Maschinen; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2010.