

Titel

Standmengensteigerung von Schmiedegesenken und Warmumformwerkzeugen durch Integration von additiv gefertigten oberflächennahen Kühlelementen aus hochverschleißbeständigen Materialien

IGF-Nr.: 20773 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe
Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid (IFW)

Forschungseinrichtung 2: Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen
An der Universität 2, 30823 Garbsen (IFUM)



Institut für Umformtechnik
und Umformmaschinen

Ansprechpartner beim IFW:

Dr.-Ing. Robin Roj
+49 (2191) 5921-122
roj@fgw.de

Ansprechpartner beim IFUM:

Julius Peddinghaus, M. Sc.
+49 (0) 511 762 2893
peddinghaus@ifum.uni-hannover.de

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 20773 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

Warmumformwerkzeuge unterliegen bei ihrem Einsatz einem hohen Verschleiß, der zu erheblichen Kosten durch die Gesenke selbst sowie durch die Rüstkosten führt. Die Werkzeugmaterialien werden dabei thermisch (1.250 °C beim Warm- und 950 °C beim Halbwarmschmieden) und abrasiv durch Oxidpartikel beansprucht, was zu einer Veränderung der aktiven Fläche der Gesenke führt. Es existieren zahlreiche Ansätze den Werkzeugverschleiß durch adaptierte Materialien oder Randschichtbehandlungen zu mindern, die jedoch nicht zu zufriedenstellenden Standmengen führen.

Abb. 1 zeigt zwei Gesenke für Presshülseköpfe, jeweils im neuwertigen und verschlissenen Zustand. Während beim linken Gesenk abrasive und adhäsive Verschleißerscheinungen am Dorn zu erkennen sind, zeigt das rechte Gesenk klar abrasive Verschleißerscheinungen entlang der Oberfläche, die auf eine thermische Entfestigung in der Werkzeugrandschicht schließen lassen. Im industriellen Serienbetrieb sind Zykluszeiten von ein bis zwei Sekunden pro Hub üblich, sodass die in Abb. 1 gezeigten Gesenke nach weniger als zwei Stunden verschlissen waren und ersetzt werden mussten.

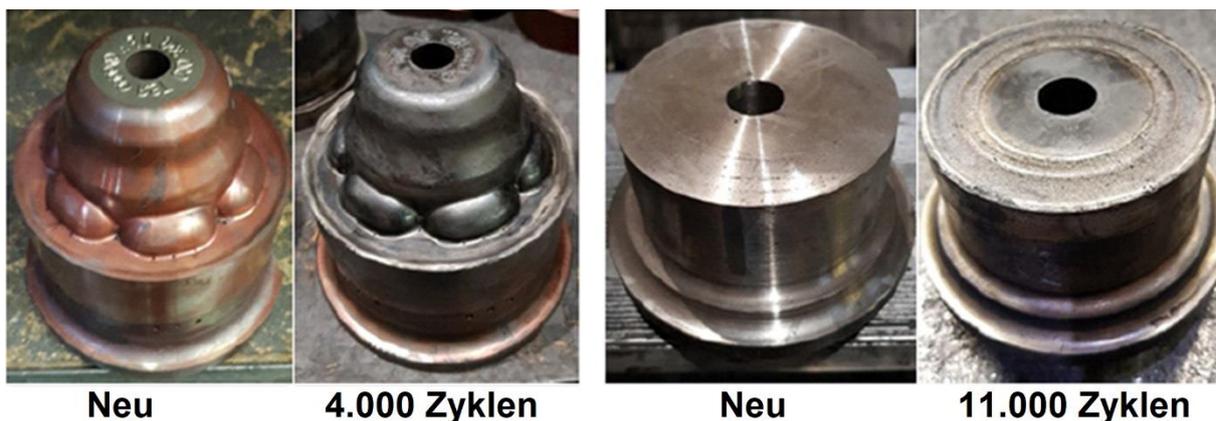


Abbildung 1: Zwei Gesenke für Presshülse-Köpfe aus nitriertem Warmarbeitsstahl, neu und verschlissen nach a) 4.000 Zyklen; b) 11.000 Zyklen

Der Verschleiß von Schmiedegesenken ergibt sich aus einem Kollektiv aus hohen thermischen, mechanischen, tribologischen und chemischen Belastungen [LuB90]. Halbzeugtemperaturen von bis zu 1.250 °C in Kombination mit hohen Prozesskräften führen zu hohen Temperaturen in den Werkzeugen, so dass in oberflächennahen Bereichen die Anlasstemperatur von Werkzeugstählen überschritten und thermisch aktivierte Erholungsvorgänge im Werkstoff begünstigt werden. Der dadurch hervorgerufene Härteverlust führt zur Verringerung der abrasiven Verschleißbeständigkeit [KLK05] - insbesondere im Bereich hoher Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück [Mel80]. Zur Wärmeabfuhr wird in der Regel bei automatisierten Schmiedeprozessen eine Kombination aus Kühlung und Schmierung eingesetzt. Da die Kühlschmierung von Schmiedegesenken durch die Vorgabe geringer Taktzeiten in einem kurzen Zeitfenster stattfinden muss [BKL11], entstehen im Zusammenhang mit der hohen Kontakttemperatur zwischen Gesenk und Halbzeug

thermische Wechselbeanspruchungen [Yil15]. Die schlagartige Kühlung des Werkzeuges und die anschließende Aufheizung durch den Kontakt mit dem erwärmten Halbzeug führen zu erheblichen Temperaturdifferenzen während eines Schmiedezyklus [Stu81]. Dies ruft eine starke Wärmewechselbelastung der Oberfläche hervor und trägt in großem Maße zu den Ausfallursachen von Schmiedegesenken beim Gesenkschmieden bei [Pan04].

Ein neuer Ansatz zur Steigerung der Werkzeugstandmengen ist die Integration von Kühlkanälen in die thermisch beanspruchten Bereiche der Gesenke. Durch die Komplexität der Geometrie bietet sich eine additive Fertigung der Gesenke bzw. der zu kühlenden Bereiche an, wie es in der Kunststofftechnik seit einiger Zeit Stand der Technik ist [Hut05, Hac04, Wag06].

Forschungsziel

Das übergeordnete Ziel des Projektes bestand darin, die Kühltechnik für Schmiedegesenke durch additiv gefertigte Hybridkonstruktionen mit verschleißbeständiger Oberfläche weiterzuentwickeln, um wirtschaftlich sinnvolle Gesenkstandmengen zu erreichen und die höheren Kosten der additiven Fertigung mindestens zu kompensieren.

Bezogen auf die Vorgehensweise in der Projektarbeit ergaben sich die Teilziele wie folgt:

1. Gegenüber existierenden Ansätzen sollte erstmals additiv verarbeitete Stellite als verschleißbeständiges Material für die Gesenkoberfläche (Gravur) für das LPBF-Verfahren qualifiziert werden.
2. Da die gewünschte Stellitezusammensetzung für die Schmiedegesenke bei ca. 50 % Karbiden liegt, sollten Maßnahmen getroffen werden, unerwünschte Phasenbildungen zu vermeiden. Dies sollte zum einen durch Bauplattformvorwärmung und zum anderen durch Einsatz von inertem Schutzgas geschehen sowie durch Additive eventuell unterstützt werden.
3. Der Kern des Gesenks sollte für die Verwendung einer 3D-gedruckten Stellitehaube aus Aluminiumbronze gegossen werden. Dieses Material sorgt für einen effektiven Wärmetransport, ist vergleichsweise gut gießbar und der thermische Ausdehnungskoeffizient kann durch Änderung des Legierungsgehalts einfach angepasst werden.
4. Zudem galt es durch die Verbundlösung den LPBF-Anteil des Gesenks zu reduzieren, wodurch die Wirtschaftlichkeit der Gesamtlösung gesichert werden sollte.
5. Zunächst sollten Gesenkgeometrien für ihre Eignung zum Fügen qualifiziert werden. Im Rahmen einer Simulation galt es die zu erwartende Spannungs- und

Temperaturverteilung im Schmiedegesenk zu ermitteln und für eine Auslegung der Schmiedegesenke zu nutzen.

6. Basierend auf den Ergebnissen sollten die Fügezone ausgelegt und Demonstratorgesenke gefertigt werden.
7. Diese galt es auf Beanspruchung sowie thermischen Eintrag zu untersuchen. In Serienschmiedeversuchen sollte eine Verschleißanalytik zur Charakterisierung des Einsatzverhaltens von Schmiedegesenken aus Stellite erfolgen.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Das übergeordnete Ziel wurde erreicht und die genannten Teilziele wurden wie folgt umgesetzt:

1. Als additiv zu verarbeitendes Material wurden die beiden Stellitesorten Celsit 21 und Celsit F gewählt. Bei beiden handelt es sich um Co-Basislegierungen - mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,25 m% bei Celsit 21 und 1,8 m% bei Celsit F. Zur Qualifikation beider Legierungen wurde eine Vielzahl von Parameterstudien durchgeführt, bei denen Prüfkörper in Form von Quadern gedruckt und anschließend metallographisch analysiert wurden. Diese Untersuchungen dienten der Parameterfindung zur Verarbeitung beider Legierungen sowie zur Erzielung qualitativ hochwertiger Ergebnisse.
2. Zur Verarbeitung beider Stellitesorten kamen zwei unterschiedliche LPBF-Drucker der Hersteller O.R. Laser und Aconity zum Einsatz. In beiden wurde Argon als Schutzgas zur Erreichung einer sauerstoffarmen Atmosphäre verwendet. Die Maschine von Aconity verfügt des Weiteren über eine Bauplattformheizung bis 800 °C. Im Rahmen der Parameterstudien zur Qualifizierung beider Stellitesorten wurden die Maschinenparameter sowie die Temperatur der Bauplattformheizung variiert.
3. Während die Untersuchungen für die Qualifikation beider Stellitesorten noch andauerten, wurde das Layout des hybriden Schmiedegesenks entworfen und mittels CAD-Software konstruiert (vgl. Abb. 2). Das Gesenk wurde dabei so aufgebaut, dass die Kühlmittelanschlüsse am Träger aus Nickelbronze befestigt werden und das Kühlmittel somit durch Träger und additiv gefertigte Gravur geleitet wird. Der Träger wurde so ausgelegt, dass eine Fertigung mittels Gusses oder mittels Fräsens möglich ist. Im Projektverlauf wurden Werkzeuge gefertigt, deren Träger gefräst wurden. Als Trägermaterial wurde eine Nickelbronze namens Hovadur K220 gewählt.
4. Bereits in der Entwurfsphase des hybriden Werkzeugs wurden die wirtschaftlichen Aspekte zur Fertigung sowie zum Betrieb berücksichtigt. Bei der Entwicklung von Träger und Gravur wurde entsprechend darauf geachtet, dass einerseits beides für die mechanischen Belastungen im Schmiedeprozess

ausgelegt ist und andererseits das Volumen der additiv zu fertigenden Komponente möglichst klein ist. Somit wurde die Druckdauer soweit wie möglich reduziert und die entsprechenden Kosten für die additive Fertigung so gering wie möglich angesetzt.

5. Noch vor der Produktion der hybriden Werkzeuge kamen virtuelle Simulationstechniken auf FEM-Basis zum Einsatz, um einerseits die Einwirkung der im Schmiedeprozess wirkenden Kräfte zu simulieren und um andererseits die thermisch bedingten Ausdehnungen des Materials zu erkennen. In der Entwurfsphase wurden für die Verbindung von additiv gefertigter Gravur aus Stellite sowie gefrästem Träger aus Nickelbronze unterschiedliche Möglichkeiten, wie z. B. eine Verschraubung, eine Verlotung oder ein Aufschrumpfen, in Betracht gezogen.
6. Nach der Untersuchung der Kräfteverhältnisse mittels einer thermo-mechanisch gekoppelten Simulation wurde festgelegt, dass die Verbindung durch eine Verlotung beider Komponenten hergestellt werden sollte. Des Weiteren wurden Untersuchungen zur Ermittlung des Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) von beiden Materialien durchgeführt. Diese ergaben, dass die gewählten Legierungen Celsit 21, Celsit F und Hovadur K220 zwar über unterschiedliche WAK verfügen, die unterschiedlichen wärmebedingten Ausdehnungen jedoch beim Verlöten sowie beim Schmieden zu keinen nennenswerten Spannungen führen.
7. Nach der Fertigung der Schmiedewerkzeuge wurden mit der automatisierten Exzenterpresse der Fa. Eumuco Serienschmiedeversuche, sowohl mit als auch ohne Kühlmittel, durchgeführt. Neben der Variation des Kühlmittelflusses wurde auch der Einfluss der Halbzeugtemperatur auf das Verschleißverhalten der gedruckten Schmiedewerkzeuge untersucht.

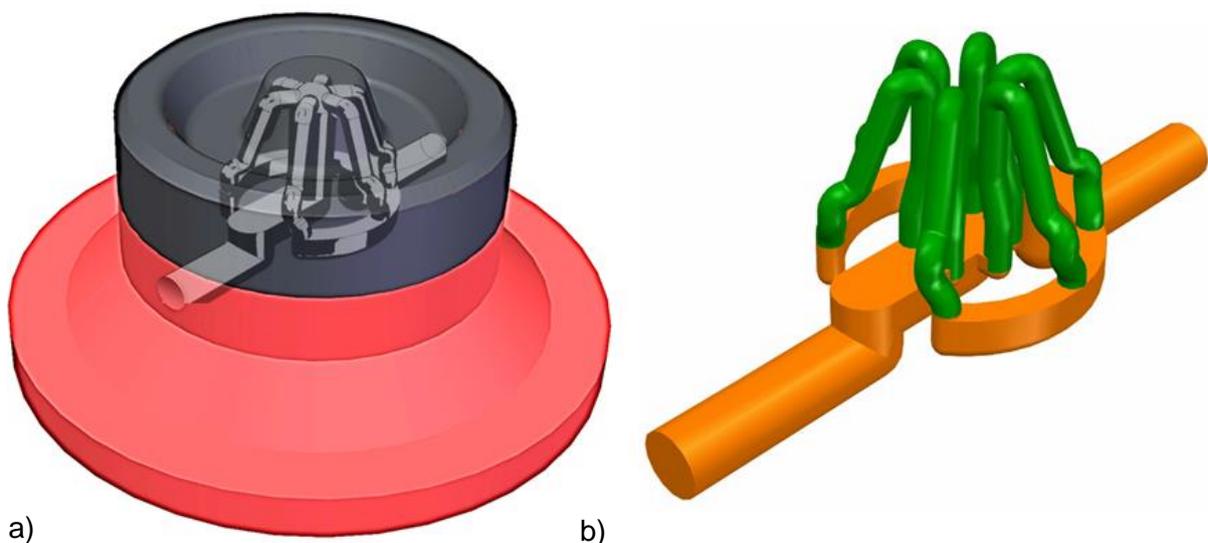


Abbildung 2: a) CAD-Modell des Schmiedewerkzeugs mit integrierten Kühlkanälen; b) Finale Struktur der Kühlkanäle

Zusammenfassung

Das im Rahmen der Projektbearbeitung entwickelte hybride Schmiedegesenk mit konturoptimierten Kühlkanälen demonstriert die generelle Machbarkeit der folgenden Teilaspekte (vgl. Abb. 3):

- Der Einsatz der additiven Fertigung führt zu einer geometrischen Formfreiheit, die kein konventionelles Fertigungsverfahren erreicht.
- Die Integration von konturnahen Kühlkanälen sorgt für ein optimiertes Verhalten des Schmiedewerkzeuges im Prozess und somit für eine erhöhte Standzeit.
- Ein hybrider Werkzeugaufbau und die damit verbundene Fügetechnik stellt eine Innovation in der Werkzeugfertigung dar und eröffnet neue Möglichkeiten zur Konstruktion und zur Gestaltung von Werkzeugen.
- Die im Rahmen der Studien erarbeitete Definition der Maschinenparameter zur additiven Verarbeitung von beiden Stellitesorten kann für die Produktion von beliebigen Komponenten (auch branchenübergreifend) eingesetzt werden.
- Der Einsatz von Stellite als verschleißfestes Material für die Gravur sowie die Verwendung von Hovadur als Trägermaterial zeigen die Möglichkeiten zur Qualifikation von alternativen Materialien bzw. Materialpaarungen für die Schmiedeindustrie bzw. für die additive Fertigung.

Für die Technologieentwicklung zur Verbesserung von Effizienz und Qualität in der Schmiedeindustrie können alle genannten Teilaspekte separiert voneinander betrachtet werden. Für Unternehmen der Schmiedeindustrie bedeutet dies bspw. nicht zwangsläufig, dass additiv gefertigte Komponenten zum Einsatz kommen müssen, sondern bereits ein hybrider Aufbau aus mindestens zwei Materialien kann einen Kosten-, Qualitäts- oder Effizienzvorteil bieten. Als weiteres Beispiel dient dabei der denkbare Einsatz der im Projekt betrachteten Fügetechniken.

Während das im Rahmen der Laufzeit entwickelte Schmiedegesenk alle Teilaspekte für die Anwendung in Schmiedewerkzeugen vereint, ist es denkbar die Ergebnisse auch in Unternehmen jenseits der Schmiedeindustrie zu verwerten. Die Qualifikation von Stellite für das LPBF-Verfahren führt zu der Möglichkeit beliebige Bauteilgeometrien für jegliche Industriezweige zu fertigen. Ein innovativer Einsatzbereich ist hier der Verschleißschutz von Komponenten oder die Integration in hochbelastete Werkzeuganwendungen.

Auch die weiteren am PA beteiligten Unternehmen verschiedener Branchen profitieren von den Erkenntnissen. Beispiele hierfür sind durch die konstruktive Entwicklung der konturoptimierten Kühlkanäle mit Hilfe der thermo-mechanischen Simulationen oder den Einsatz der Fügetechnik der entsprechenden Materialpaarung gegeben. Denkbare Anwendungsgebiete jenseits der Schmiedeindustrie ist die Kühlung von anderen

Werkzeugtypen, wie z. B. Spritzguss-, oder Tiefziehwerkzeugen in der Kunststoffindustrie.

Zusammengefasst unterstreichen die Projektergebnisse die Verwertungspotenziale auf wissenschaftlich-technischer sowie wirtschaftlicher Ebene für KMU. Während der Einsatz aller genannter Teilbereiche im Rahmen von Schmiedegesenken insbesondere eine Effizienzsteigerung und somit Verbesserung der Wirtschaftlichkeit ermöglicht, besitzen die untergeordneten Themen für KMU das Potenzial die wissenschaftlichen und technischen Möglichkeiten optional zu erweitern. Mit der Verwertung der Ergebnisse können auf einer wissenschaftlich basierten Grundlage KMU eigenständig und mit geringem Aufwand von den Ergebnissen profitieren und die aufgelisteten Teilbereiche unabhängig voneinander nutzen.

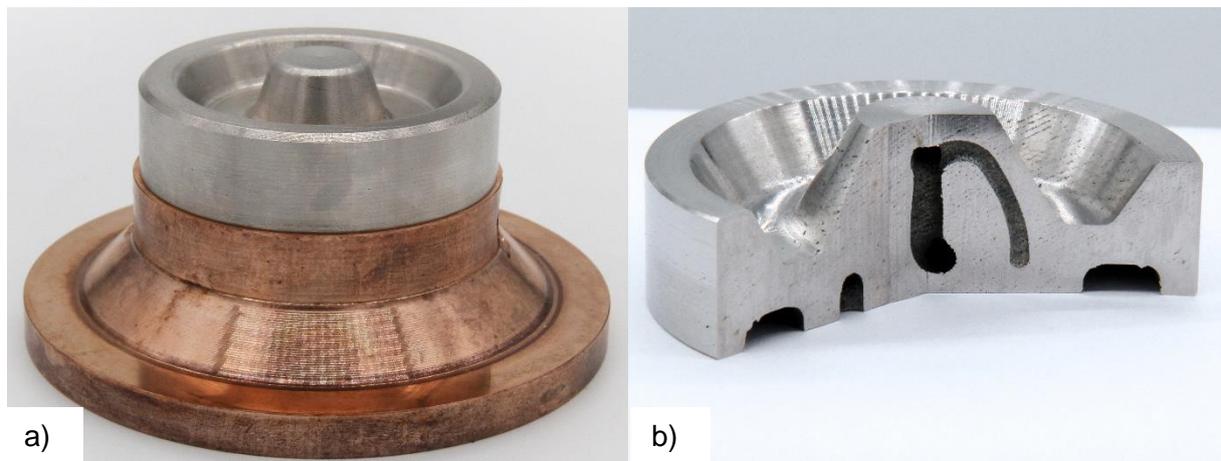


Abbildung 3: a) Gefügtes Hybridschmiedewerkzeug mit einer Gravur aus Celsit F; b) Aufgetrennte Gravur aus Celsit 21 mit integrierten Kühlkanälen

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Dr.-Ing. Robin Roj unter +49 (2191) 5921-122.

Literatur:

- [BKL11] B.-A. Behrens, A. Klassen, I. Lüken, „Auslegung und Entwicklung einer Werkzeug- und Sprühtechnologie für das Präzisionsschmieden auf schnelllaufenden Kurbelpressen,“ in *utscience III/2011*, Meisenbach Verlag Bamberg, 2011, S. 1-14.
- [HaK72] Hahn, T. A.; Kirby, R. K. (1972) Thermal Expansion of Platinum from 293 to 1900 K, *AIP Conference Proceedings* 3, S. 87-95.
- [Hut05] J. Hutfless, „TRUMPF Laserformen - Anwendung generativer Laserverfahren für den Werkzeug- und Formenbau,“ *RT eJournal*, S. 1-17, 2 2005.
- [KLK05] D. Kim, H. C. Lee, B. Kim, K. Kim, „Estimation of die service life against plastic deformation and wear during hot forging process“, *Journal of Materials Processing Technology* 166, S. 372-380, 2005.
- [LuB90] H. Luig, T. Bobke, „Beanspruchung und Schadensarten an Schmiedegesenken,“ *Tribologie und Schmierungstechnik* 37, S. 76, 1990.
- [Mel80] R. Melching, „Verschleiß, Reibung und Schmierung beim Gesenkschmieden,“ Dissertation, Universität Hannover, 1980.
- [Pan04] M. Pant, „Erhöhung der Standzeit von durch Thermoschock und Verschleiß hoch beanspruchten Warmarbeitswerkzeugen aus Stahl 1.2365“, Dissertation, Shaker-Verlag, RWTH Aachen, 2004.
- [Stu81] W. Stute-Schlamme, „Konstruktion und thermomechanisches Verhalten rotationssymmetrischer Schmiedegesenke“, Dissertation, Universität Hannover, 1981.
- [Wag06] R. Wagner, „Temperierbares Werkzeug aus einem gegossenen metallischen Werkstoff zur Formgebung von Werkstücken“. Deutschland Patent DE102006008359A1, 21 02 2006.
- [Yil15] T. Yilkiran, „Verschleißmechanismen oberflächen- und randschichtmodifizierter Gesenkschmiedewerkzeuge“, Dissertation, Universität Hannover, 2015.