

## **Titel**

# **Realisierung partieller Verschleißschutzmaßnahmen für Schmiedegesenke mit Hilfe belastungsspezifischer Modellversuche**

IGF-Nr.: 17951 N

---

## **Forschungsstellen**

Forschungsstelle 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe,  
Remscheid (IFW)

Forschungsstelle 2: Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen,  
Hannover (IFUM)

Forschungsstelle 2: Institut für Schicht- und Oberflächentechnik,  
Braunschweig (IST)



Ansprechpartner beim IFW-Remscheid:

M. Sc. Dominik Lenz  
02191 / 5921.123  
lenz@fgw.de

Ansprechpartner bei IFUM-Hannover :

Dipl.-Ing Kai Brunotte  
0511 / 762.4958  
brunotte@ifum.uni-hannover.de

Ansprechpartner bei IFUM-Hannover :

Dipl.-Ing. Martin Weber  
0531 / 2155.507  
martin.weber@ist.fraunhofer.de

---

## Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 17951 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 Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



---

## Ausgangssituation

Das Gesenkschmieden ist ein wirtschaftliches Verfahren zur Massenfertigung von vor allem sicherheitsrelevanter Bauteile, wie beispielsweise kleinere Kurbelwellen, Pleuel, Zahnräder oder Spurstangenköpfe, Lenkungsteile, Getriebeteile und Verschleißteile für Baumaschinen. Die Unternehmen der deutschen Schmiedebbranche sind mit einem Anteil von 84 % vorwiegend klein- und mittelständisch geprägt. Sie stehen unter einem hohen Konkurrenzdruck durch internationale Wettbewerber. Um auf dem Markt bestehen zu können, müssen die Fertigungskosten gesenkt und Werkstücke mit zunehmender Komplexität gefertigt werden können. Aufgrund der in den vergangenen Jahren bereits durch einen hohen Automatisierungsgrad stark gesenkten Prozesskosten, bleiben im Wesentlichen die Werkzeugkosten als das Feld mit signifikanter Auswirkung auf die Fertigungskosten. Aufgrund der sehr hohen Werkzeugbelastungen bei Schmiedeprozessen fallen die formgebenden Werkzeugkomponenten oft schon nach wenigen Schmiedezyklen aus und müssen ersetzt bzw. nachbearbeitet werden. Die Anzahl der bis zu diesem Zeitpunkt herstellbaren Teile bestimmt maßgeblich die Wirtschaftlichkeit von Gesenkschmiedeprozessen.

Ursachen für diese Standmengenbegrenzung liegen in den komplexen Beanspruchungen, die im Schmiedeprozess vorherrschen. Diese sind gekennzeichnet durch eine Kombination sehr hoher Prozesstemperaturen (Rohteiltemperatur bis 1200 °C), Temperaturwechselbeanspruchungen (Kühlschmierung mit Wasser-Grafit-Gemischen) und hohen mechanischen Kräften während der Umformung. Daraus resultieren sehr vielfältige Verschleißmechanismen, wie Abbildung 1 zeigt.

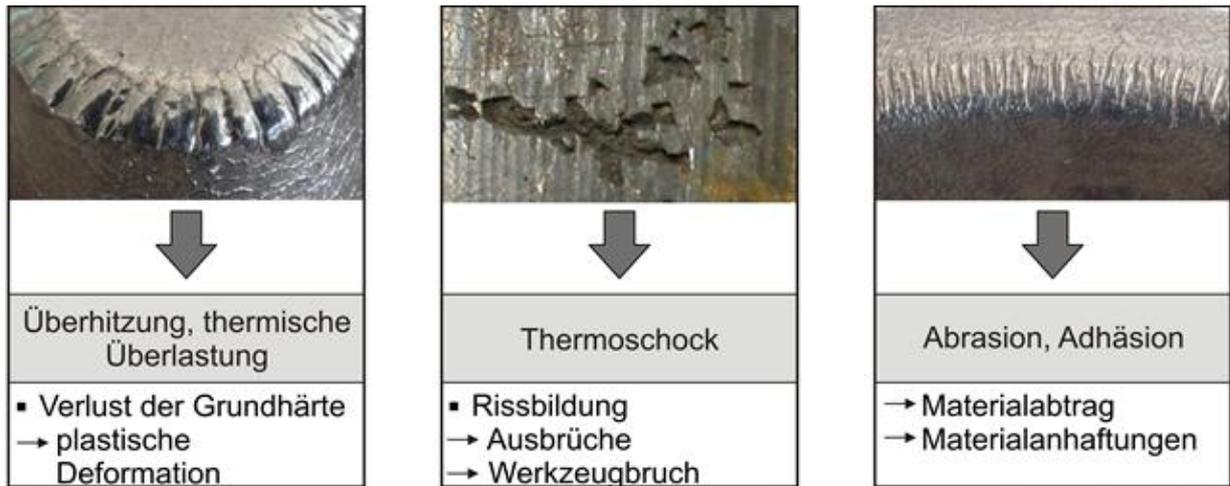


Abbildung 1: Ursachen und Hauptversagensmechanismen an der Oberfläche von Schmiedewerkzeugen

Aktuelle Arbeiten haben gezeigt, dass bei Schmiedegesenken ein sehr unterschiedliches Verschleißverhalten abhängig von den lokal vorherrschenden Beanspruchungen auftritt. Durch die Anwendung geeigneter Kombinationsbehandlungen aus Plasmanitrierung und Hartstoffbeschichtung kann in einzelnen Gesenkbereichen eine deutliche Verschleißreduzierung erzielt werden, in anderen Bereichen sind dagegen oft nur geringe bis gegenteilige Effekte nachweisbar. Dies lässt sich auf teilweise lokal gegensätzliche Anforderungen an den Verschleißschutz zurückführen, die in Abhängigkeit von den Prozessbedingungen erfüllt werden müssen. Beispielsweise führen Maßnahmen, die vor den Folgen einer thermischen Überlastung schützen, häufig zu einer geringeren Thermoschockbeständigkeit. Bei ungünstiger Wahl der Behandlungsparameter kann so das Potenzial der Beschichtungen und Nitrierungen nicht ausgeschöpft werden. Für die erfolgreiche Optimierung einer komplexen Gesenkgeometrie unter stark inhomogenen Beanspruchungsbedingungen sind daher lokal angepasste Verschleißschutzmaßnahmen erforderlich. Um die Oberflächenbehandlungen gezielt an die im Schmiedeprozess lokal auftretenden Verschleißmechanismen anpassen zu können fehlten jedoch noch geeignete standardisierte Modellversuche zur Abbildung definierter Belastungen.

---

### Forschungsziel

Das übergeordnete Ziel des Forschungsvorhabens lag in der Steigerung der Standmengen von Werkzeugen der Warmmassivumformung durch belastungsorientierte und lokal angepasste Oberflächen- und Randschichtmodifikationen. Hierdurch konnte die Wirtschaftlichkeit der Prozesse gesteigert werden, welche bei der Warmmassivumformung signifikant von den Gesenkkosten abhängt. Der größte Teil der Branche besteht aus KMU, daher wurde ein verfahrensorientierter

Lösungsansatz angestrebt, um eine weit verbreitete industrielle Anwendung in den KMU zu ermöglichen.

Auch wenn mit vielfältigen Verfahren bereits Steigerungen der Standmengen zu erreichen waren, war die Übertragung in die industrielle Praxis bisher nur bei wenigen Anwendungen zu finden. Ein wesentliches Hindernis stellte hierbei die Übertragung der in Forschungsprojekten erzielten Ergebnisse auf andere Mechanismen bei den Umformvorgängen dar. Aufgrund der hohen Kosten für derartige Untersuchungen konzentrieren sich Forschungsprojekte in der Regel auf wenige bis einen einzigen Prozess mit einem meist stark überlagerten Belastungsprofil. Diese Ergebnisse zeichnen sich dann durch eine starke Prozessabhängigkeit aus, so dass eine Übertragung auf andere Prozesse der Warmmassivumformung erschwert wird.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollten durch lokal angepasste Verschleißschutzmaßnahmen die Werkzeugstandmengen weiter gesteigert werden. PVD- und CVD-basierte Dünnschichttechnologien sollten in Kombination mit Plasmanitrierbehandlungen betrachtet werden. Im Gegensatz zu bereits durchgeführten Untersuchungen sollten die Gesenke jedoch nicht mehr homogen behandelt werden, sondern belastungsspezifisch lokal variierend. Ein Schwerpunkt des Projektes stellte dabei die Verfahrensentwicklung zur partiellen Plasmanitrierbehandlung der Werkzeuge z. B. durch die Verwendung von Maskierungen dar. Das Potenzial solcher Behandlungen für den Verschleißschutz von Schmiedegesenken konnte in einem ersten Industrierversuch nachgewiesen werden.

Mit den im Rahmen des Projektes erzielten Ergebnissen können nun prozessunabhängige Bewertungen von Verschleißschutzmaßnahmen durch geeignete Schmiedegesenke durchgeführt werden. Zum Abschluss des Projektes wurden Behandlungsempfehlungen für die Endanwender bereitgestellt, auf Basis derer eine Auswahl geeigneter Behandlungen (z. B. Art der Oberflächenbeschichtung, Nitrierhärte) getroffen werden kann.

---

### **Vorgehensweise und Forschungsergebnisse**

Die Vorgehensweise zum Erreichen des Forschungsziels, gliederte sich in 6 Arbeitspakete. Im ersten Arbeitspaket wurden belastungsspezifische Modellwerkzeuge auf Basis von Gestaltungsrichtlinien ausgelegt und die Belastungssituationen durch FE-Analysen sowie experimentelle Versuche validiert. Ziel war es, Hauptverschleißmechanismen möglichst isoliert abbilden zu können. Für jedes Modellgesenk wurde auf Basis der Finite-Element-Methode (FEM) eine Belastungsanalyse durchgeführt, um die lokalen Belastungen quantitativ bewerten zu können. Zusätzlich erfolgten Serienschmiedeversuche, um die Verschleißarten und -intensitäten als Referenz ohne zusätzliche Verschleißschutzmaßnahmen zu definieren. Parallel wurden in AP 2 globale Verschleißschutzmaßnahmen gegen tribologische, thermische und mechanische Beanspruchungen entwickelt (AP 2.1) und anschließend Strategien zur lokalen Werkzeugbehandlung ausgelegt (AP 2.2). Die entwickelten Verschleißschutz-

behandlungen wurden anschließend auf die jeweiligen Modellwerkzeuge appliziert und das Einsatzverhalten in umfangreichen Serienschmiedeversuchen (AP 3) sowie der anschließenden zerstörungsfreien und zerstörenden Verschleißanalytik unter definierten Belastungen charakterisiert.

Auf Basis der Ergebnisse der Serienschmiedeversuche wurden lokale Behandlungsstrategien gegen definierte Beanspruchungen abgeleitet und diese in produktionsbegleitenden Industrierversuchen eingesetzt, um das Einsatzverhalten lokaler Behandlungsstrategien unter realen Bedingungen abschließend bewerten zu können (AP 4). Für diese Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit dem PA komplexe Werkzeuge ausgewählt, die eine lokale Behandlung aufgrund der inhomogenen Belastungssituation erforderten. Die Bewertung erfolgte durch eine umfassende Verschleißanalytik in AP 3.

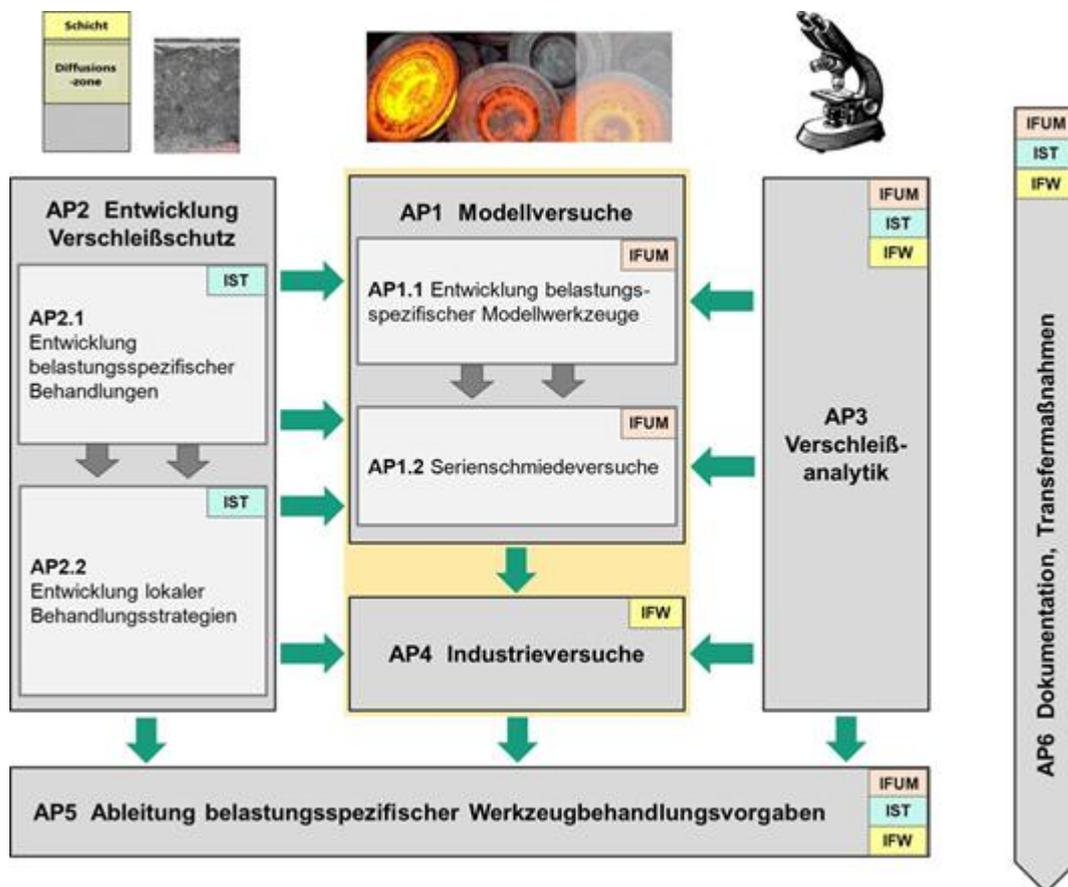


Abbildung 2:Vorgehensweise im Forschungsvorhaben in der Übersicht

Alle erzielten Ergebnisse fließen anschließend in die Ableitung belastungsspezifischer Werkzeugbehandlungsvorgaben ein (AP 5), welche die leichte Übertragbarkeit auf andere Prozesse gewährleisten. Begleitet wurden die Arbeitspakete durch die Dokumentation der Ergebnisse und durch Transfermaßnahmen in die Wirtschaft (AP 6).

## Prozessparameter der entwickelten Modellprozesse

Durch die Einhaltung von Gestaltungsrichtlinien in Kombination mit einer FE-basierten Optimierung konnten Modellversuche für die Hauptbeanspruchungsarten eines Schmiedeprozesses ausgelegt werden. Die Beanspruchungssituation wurde durch Serienschmiedeversuche mit prozessbegleitenden zerstörungsfreien sowie zerstörenden Analysen eindeutig charakterisiert. In Abbildung 3 sind die entwickelten Modellgeometrien sowie die für die nachfolgend beschriebenen Versuchsreihen gewählten Rohteiltemperaturen in der Übersicht dargestellt.

### ▪ Tribologisch belastetes Gesenk

- Lange Gleitwege, hoher Materialfluss
- Offene Gesenkgeometrie mit großen Radien
- Halbzeugtemperatur: 1050 °C



### ▪ Thermisch belastete Gesenke

- Dorngeometrie mit kleinen Radien, erhöhter Wärmestau
- Steile Flankenwinkel
- Halbzeugtemperatur: 1150 °C



### ▪ Mechanisch belastetes Gesenk

- Schroffe Querschnittsübergänge
- Enge Gratbahn mit hohem Gesenkinnendruck
- Formfüllung durch steigenden Materialfluss
- Halbzeugtemperatur: 900 °C



Abbildung 3: Übersicht über die entwickelten und im Serienschmiedeprozess validierten Modellprozesse

## Entwicklung lokaler Behandlungsstrategien

In diesem Arbeitspaket wurden belastungsspezifische Behandlungen ausgelegt und lokale Behandlungsstrategien für Schmiedegesenke entwickelt. Es ging um die Bereitstellung von belastungsspezifischen Nitrier- und Beschichtungsbehandlungen für Werkzeuge mit bekannten Lastfällen. Im Vordergrund stand die Auslegung von belastungsspezifischen Nitrierbehandlungen, welche die jeweilige Gesenkgeometrie bestmöglich vor Verschleiß schützt.

Zunächst wurden Plasmanitrierprozesse auf unterschiedlich großen Plasmanitrieranlagen durchgeführt. Zum einen wurde eine Plasmanitrieranlage im Labormaßstab und zum anderen eine Plasmanitrieranlage im industriellen Maßstab verwendet.

Die Verwendung der größeren Anlage ermöglichte im Verlauf des Projektes auch die Behandlung von größeren Schmiedegesenken. Hierzu wurden Prozessreihen beider Anlagentypen verglichen. Querschliffe an eingebetteten Proben haben gezeigt, dass sich die Härtetiefenprofile der jeweiligen Anlagentypen auf der jeweils anderen reproduzieren lassen. Die Ausbildung einer Verbindungsschicht konnte bei vergleichbaren Anlagenbedingungen ebenfalls bestätigt werden.

Im nächsten Schritt wurden vielversprechende Nitrierbehandlungen für den Verschleißschutz von Schmiedegesenken ausgewählt. Die in einem ersten Schritt zunächst auf Flachproben partiell entwickelten Nitrierbehandlungen wurden im nächsten Schritt auf Schmiedegesenke appliziert. Die nachfolgend beschriebenen partiellen Nitrierbehandlungen wurden am tribologisch belasteten Gesenk entwickelt. Die dargestellte Vorgehensweise kann auf andere Gesenkgeometrien übertragen werden.

Eine Überlagerung einer schwachen durch eine starke Nitrierung ist möglich. Daher können Gesenkbereiche, die in einer ersten Nitrierbehandlung ausschließlich schwach nitriert wurden in einem zweiten Nitriervorgang in weiteren Geometriebereichen einer stärkeren Nitrierung unterzogen werden.

Zur Abdeckung von bestimmten Gesenkgeometriebereichen wurden Pasten verwendet, die mit einem Pinsel aufgetragen wurden. Um scharfe Übergänge zwischen abgedeckten Bereich und blanker Metalloberfläche zu ermöglichen, kann ein Klebeband zu Hilfe genommen werden. Etwaige Klebebandrückstände können nach der Trocknungszeit von 30 Minuten mit Lösemittel entfernt werden.

Vor und nach einer Nitrierbehandlung werden Gesenke in der Regel einer Strahlbehandlung mit Glaskugeln unterzogen. Dies dient zum einen dem Reinigen der Oberfläche und zum anderen wird die beim Nitrieren häufig entstehende Verbindungsschicht entfernt. Das letzte Strahlen vor einem Beschichtungsprozess begünstigt die Schichtanbindung durch eine definiert eingestellte Rauheit sowie einer oxidfreien Oberfläche.

In Abbildung 4 ist die gesamte Prozesskette zum partiellen Nitrieren eines tribologisch belasteten Gesenkes dargestellt.

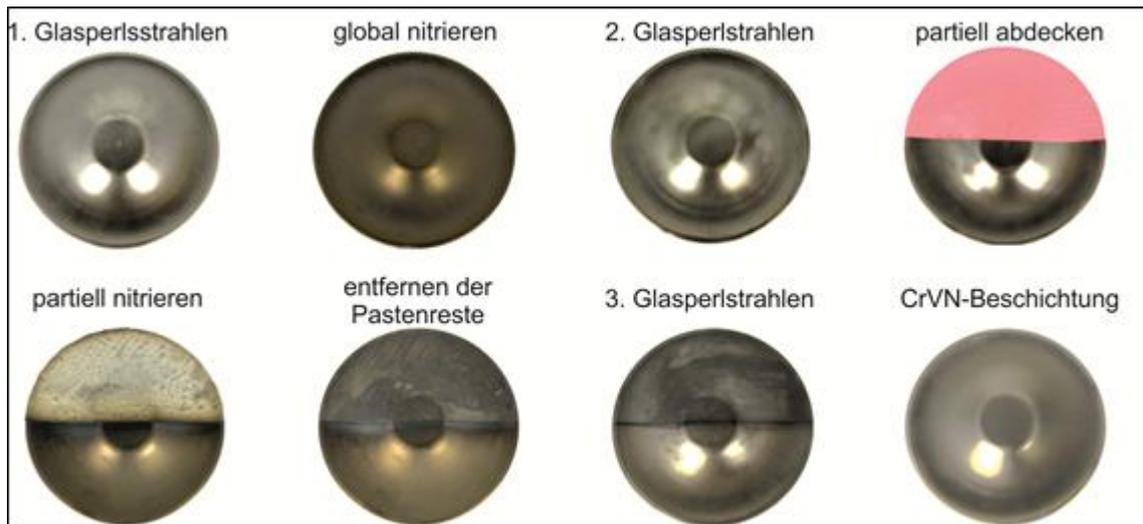


Abbildung 4: Allgemeiner Prozessablauf mehrfach nitrierter und beschichteter Schmiedegesenke

### Serienschmiedeversuche an Modellwerkzeugen und Verschleißanalytik

Zur eindeutigen Charakterisierung des Einsatzverhaltens der entwickelten Verschleißschutzbehandlungen unter realen Beanspruchungen wurden zahlreiche Serienschmiedeversuche durchgeführt. Die prozessbegleitend durchgeführten zerstörungsfreien Analysemethoden in Kombination mit der zerstörenden Analytik nach Erreichen des Standmengenkriteriums ermöglichten eine eindeutige Bewertung der Wirksamkeit der entwickelten Behandlungen unter definierten Beanspruchungen.

In den Versuchsreihen kamen sowohl lokal als auch global behandelte Werkzeuge zum Einsatz. Parallel zum Serienschmiedeprozess wurden die eingesetzten Gesenke in definierten Schmiedeintervallen einer zerstörungsfreien Analytik unterzogen. Diese bestand aus einer makroskopischen Dokumentation der auftretenden Verschleißerscheinungen sowie einer taktilen Kontur- und Topografievermessungen. Die zerstörungsfreie Analytik wurde im Ausgangszustand sowie nach 10, 50, 100, 250, 500, 1000 und 2000 Schmiedezyklen durchgeführt. Zur mikro- und makroskopischen Dokumentation wurde eine Digitalkamera sowie ein Digitalmikroskop vom Typ VHX-1000 der Firma Keyence verwendet und alle auftretenden Veränderungen der verschleißkritischen Bereiche in unterschiedlichen Vergrößerungsstufen dokumentiert. Die taktilen Vermessungen der Werkzeugoberfläche wurden mit einem kombinierten Kontur- und Rauheitsmessgerät Hommel-Etamic T8000 RC der Firma Jenoptik durchgeführt.

### Erkenntnistransfer auf industrielle Schmiedeprozesse

Um die am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen durchgeführten Serienschmiedeversuche unter Laborbedingungen auf Schmiedeprozesse im industriellen Maßstab übertragen zu können, sind produktionsbegleitende Schmiedeversuche in Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses durchge-

führt worden. Die Eignung der jeweiligen Prozesse für die geplante Validierung der lokalen Behandlungsstrategien, wurde zunächst durch eine umfassende Charakterisierung verschlissener Gesenke überprüft. Dafür wurden die auftretenden Verschleißmechanismen analysiert, dokumentiert sowie die vorliegenden lokalen Werkzeugbeanspruchungen herausgearbeitet. Aus der Vorcharakterisierung wurden anschließend die Behandlungsansätze für die Werkzeuge des Industrierversuches abgeleitet und angewendet. Gemeinsam mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurden drei unterschiedliche Werkzeuggeometrien aus unterschiedlichen Unternehmen ausgewählt und deren grundsätzliche Eignung herausgearbeitet.

---

## Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes war es möglich, die Funktionalität von Beschichtungen in Kombination mit Plasmanitrierbehandlungen als wirksame Verschleißschutzmaßnahme bei Schmiedegesenken der Warmmassivumformung aufzuzeigen. Hierfür wurden belastungsspezifische Modellwerkzeuge ausgelegt und das Einsatzverhalten im Serienschmiedeversuch charakterisiert. Es wurde gezeigt, dass in tribologisch und thermisch beanspruchten Systemen durch eine belastungsangepasste Plasmanitrierbehandlung in Kombination mit einer CrVN-Beschichtung deutliche Verbesserungen im jeweiligen Einsatzverhalten der entwickelten Modellwerkzeuge erzielt werden konnten.

Das Potenzial von belastungsangepassten und lokal applizierten Nitrierbehandlungen und Dünnschichtsystemen konnte darüber hinaus nicht nur auf den belastungsspezifischen Modellwerkzeugen, sondern auch in industriellen Schmiedeversuchen nachgewiesen werden. Im Industrierversuch konnte durch eine angepasste Behandlung auf Basis einer umfassenden Belastungs- und Schadensanalyse eines Referenzwerkzeugs eine deutliche Standmengensteigerung erzielt werden. Der dabei eingesetzte lokale Behandlungsansatz aus unterschiedlichen Plasmanitrierungen in Kombination mit einer CrVN-Beschichtung ist sowohl innovativ als auch zielführend.

Höhere Werkzeugkosten werden zum einen durch deutlich erhöhte Standzeiten und zum anderen durch wegfallende Rüst- und Nebenzeiten kompensiert. Durch den Wegfall von Rüstzeiten werden auch Werkzeuge im Umfeld weniger belastet, da der Schmiedeprozess seltener neu hochgefahren werden muss und gleichmäßiger durchlaufen kann, welches wiederum Standmengensteigerungen mit sich führt.

---

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](http://www.fgw.de), angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Herrn M. Sc. Dominik Lenz unter 02191 5921.123.