

Wasserbasierte Schmierstoffe für eine umweltfreundlichere Produktion

Die zunehmende Bedeutung von Nachhaltigkeit und CO₂-Bepreisung sowie die Frage nach einem geeigneten Schmierstoff stellt die gesamte Zuliefererbranche vor besondere Herausforderungen. Aus ökologischer und ökonomischer Sicht ist es daher unerlässlich, nach innovativen Lösungen zu suchen, um die inkrementellen Umformverfahren zu revolutionieren und einen grünen Fußabdruck in der Industrie zu hinterlassen. Im Maschinenbau bieten sich den Experten dabei Möglichkeiten, um zu beweisen, dass sie auch nachhaltig mithalten können und so zukunftsfähig bleiben.

AUTORINNEN



**Dr.-Ing.
Nadezda Missal**

ist Head of Innovation Center
bei der Felss Systems GmbH
in Königsbach-Stein



Stefanie Schwertel, B.Sc.

Ist Verfahrensentwicklerin Umformtechnik
im Team Innovation Center,
bei der Felss Systems GmbH
in Königsbach-Stein

Die Reduktion des CO₂-Ausstoßes stellt die Automobilindustrie seit Jahrzehnten vor große Herausforderungen und gewinnt aufgrund aktueller ökonomischer, gesellschaftlicher und politischer Entwicklungen weltweit immer weiter an Bedeutung. In Anbetracht der ambitionierten CO₂-Ziele des European Green Deal und der wachsenden wirtschaftlichen Einflussnahme der CO₂-Bepreisung verstärken sich die Forderungen an die Zulieferer zur Bezifferung des Product Carbon Footprints (PCF) der gelieferten Komponenten, welcher in zunehmendem Maße ausschlaggebend für die Wahl des Herstellungsverfahrens wird. Die Massivumformung spielt bei der Produktion von Fahrzeugkomponenten bezogen auf Leichtbau, Nachhaltigkeit, Genauigkeit und Produktivität weltweit eine wesentliche Rolle. Durch das konsequente Ausnutzen von stofflichem und konstruktivem Leichtbau sowie durch den Einsatz von umweltfreundlicheren, wasserbasierten Schmierstoffen kann die Massivumformung innovative Lösungen entwickeln und so maßgeblich dazu beitragen, den CO₂-Fußabdruck und die Emissionen der gesamten Prozesskette bei akzeptablen Kosten zu reduzieren [1], [2].

Die Felss-Gruppe ist Lösungsanbieter im Bereich der Kaltumformung von metallischen Rohren und Vollmaterialien für die Automobilindustrie. Als etablierter Leichtbauexperte legt sie den Fokus auf Identifizierung und Umsetzung der jeweils individuellen, optimalen sowie nachhaltigen Lösung, und

wendet sie auf die Produktentwicklung an, über die Maschinen bis zum fertigen Bauteil in der Komponentenfertigung. Angesichts der zunehmenden Wichtigkeit der umwelttechnischen Aspekte bündelte das Unternehmen die Entwicklungsressourcen der letzten Jahre sehr stark auf die Generierung von Kundenvorteilen, die gezielt als Innovationstreiber genutzt wurden. Dies resultierte in gänzlich neuen Umformverfahren sowie der Weiterentwicklung der bestehenden Kerntechnologien Rundkneten und Axialformen, unter anderem durch den nun möglichen Einsatz von wasserbasierten Schmierstoffen.

Das überwiegend bei Raumtemperatur durchgeführte Rundkneten und Axialformen unterscheidet sich von den klassischen Kaltumformverfahren dahingehend, dass der Umformprozess und somit auch die Umformung inkrementell verlaufen. Während der inkrementellen Umformung erfolgt keine stetige Werkzeugbewegung. Dadurch besteht während des Umformprozesses kein kontinuierlicher Kontakt zwischen Werkzeug und Werkstück, sodass die Umformzone regelmäßig nachgeschmiert werden kann. Ein Schmierstoffversagen aufgrund der für Kaltumformverfahren typischen hohen Kontaktspannungen und deutlichen Oberflächenvergrößerung kann somit nahezu ausgeschlossen werden. Für den Einsatz von wasserbasierten, komplett ölfreien Schmierstoffen beim Axialformen stellt diese Eigenschaft einen enormen technischen Vorteil dar. Beim Rundkneten sind die Anforderungen an die Schmier-

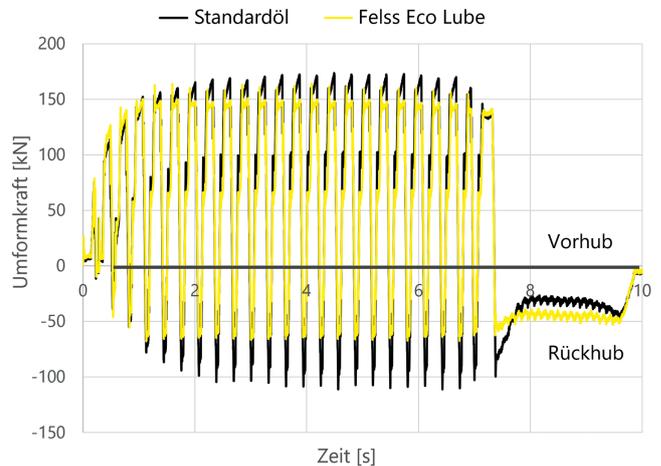
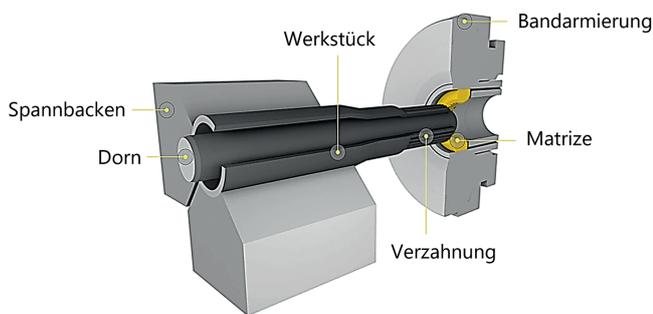


Bild 1: Das Prinzip des Axialformens (links) – Kraftverlauf bei Axialformens mit Frequenzmodulation (rechts)

leistung gering, da die Umformwerkzeuge vollständig vom Werkstück abgehoben werden und der effektive Werkzeughub lediglich in einem Bereich von 0,25 bis 1,5 Millimeter variiert, sodass eine Schmierung am Werkstück selbst nicht zwingend erforderlich ist. Allerdings muss bei diesem Verfahren zur Temperaturstabilisierung und Reinigung des Werkzeuges mit dem Abtransport von Metallpartikeln, eine starke Kühlung des Arbeitsraumes, der Werkzeuge und der Umformzone durch die Umspülung mit dem Schmierstoff erfolgen. Da die Erbringung und Aufrechterhaltung der Schmierleistung unter den höheren Prozesskräften als wesentlich kritischer gegenüber den Anforderungen als Kühl- und Reinigungsmedium erachtet werden, priorisierte das Unternehmen den Entwicklungsfokus der wasserbasierten Schmierstoffe auf den Einsatz bei Axialumformprozessen, deren Prozessgrenzen wesentlich von der Schmierleistung abhängig sind.

Das Axialformen kann als inkrementelles Umformverfahren ausgeführt werden und funktioniert nach einem recht einfachen Prinzip, das in Bild 1 dargestellt ist: Ein Verzahnungswerkzeug, beispielsweise eine Matrize, formt in axialer Richtung die Verzahnung auf ein hohles oder massives Bauteil

auf. Die aufgebrachte Verzahnung ist dabei hochpräzise, da alle Zähne gleichzeitig durch ein einteiliges Werkzeug mit entsprechender Negativkontur direkt auf dem Bauteil erzeugt werden. Das hier beschriebene Axialformen erfolgt inkrementell und unterscheidet sich vom konventionellen Axialformen durch die frequenzmodulierte Bewegung des Umformwerkzeugs. Dabei besteht der Umformprozess aus einer stetigen Wiederholung eines Vorhubs, der die eigentliche Umformung des Werkstücks bewirkt, und einem darauffolgenden, geringfügig kürzeren Rückhub. Während des Rückhubs besteht kein Kontakt zwischen Werkzeug und Umformzone, wodurch eine Nachschmierung der Umformzone ermöglicht wird, die einem Schmierfilmabriss entgegenwirkt. Somit können die Reibungskräfte im Vergleich zum konventionellen Axialformen um bis zu 30 Prozent reduziert werden. Entsprechend ist der Einsatz der Frequenzmodulation insbesondere für die Fertigung einer Verzahnung auf langen, dünnwandigen Bauteilen geeignet, ohne zum typischen Stauchen oder Ausknicken des Bauteils zu führen.

Für den Einsatz von wasserbasierten Schmierstoffen beim Axialformen müssen diese neben den allgemeinen Voraus-

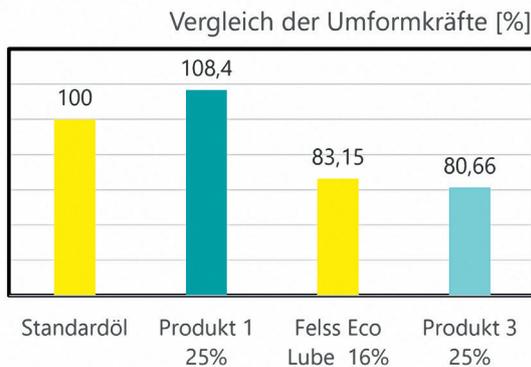


Bild 2: Ermittelte Umformkräfte wasserbasierter Schmierstoffe im Vergleich zum Standardöl (links) – Rotorwelle für die Betrachtung der gesamten Prozesskette (rechts)

setzungen, wie gesundheitlicher Unbedenklichkeit, Umweltverträglichkeit sowie der Beständigkeit von Werkstück und Werkzeug gegen Korrosion, auch die höheren Anforderungen während des gesamten Umformprozesses erfüllen [3]. Selbst etablierte Standardöle, die auf Mineralöl mit hinzugefügten Additiven basieren, werden nicht immer den Forderungen nach einem niedrigen Reibungskoeffizienten und einer Beständigkeit des Schmierfilms unter höheren Kontaktspannungen gerecht. Darüber hinaus erfordert das Felss-Axialformen eine niedrige Viskosität des Schmierstoffs, um eine Benetzung der Umformzone in der kurzen Zeit des Rückhubs zu gewährleisten. Inwiefern wasserbasierte Schmierstoffe die benötigten Eigenschaften unter den vorherrschenden Prozessbedingungen aufrechterhalten können, muss zunächst in einer experimentellen Untersuchungsreihe ermittelt werden.

In Zusammenarbeit mit verschiedenen Schmierstoffherstellern wurden drei wasserbasierte, vollständig ölfreie Schmierstoffe auf Polymerbasis entwickelt, die in unterschiedlichsten Konzentrationen einem Standardöl in ihrer Eignung zum Axialformen gegenübergestellt wurden. Als

repräsentativer Umformprozess für die Erprobung wurde die Herstellung einer Außenverzahnung mit einem Modul von 1,5 am Werkstoff 42CrMo4+QT durch Axialformen mittels einer Standardfrequenzmodulation gewählt und unter Betrachtung der Kraftverläufe verglichen und bewertet. Neben der mehrfachen Variation der jeweiligen Konzentrationen der wasserbasierten Schmierstoffe, um das günstigste Mischungsverhältnis für den Umformprozess zu ermitteln, erfolgte nach jeder Versuchsdurchführung eine Anpassung der Additive durch die Schmierstoffhersteller zur Verbesserung der zuvor festgestellten Defizite.

Der in Bild 1 rechts dargestellte Kraftverlauf zeigt das beste durch wasserbasierten Schmierstoff erreichte Ergebnis im Vergleich zum Standardöl. Da das Felss-Axialformen überwiegend mit Frequenzmodulation durchgeführt wird, unterteilt sich der Kraftverlauf in mehrere Sequenzen des Vor- und Rückhubs, die sich durch das Vorzeichen unterscheiden. Während beim Vorhub ein klassischer Umformprozess mit einer positiven Kraft- beziehungsweise Druckkomponente der Umformkraft zu finden ist, wirken beim Rückhub bei der Abhebung der Matrize von der Umformzone lediglich

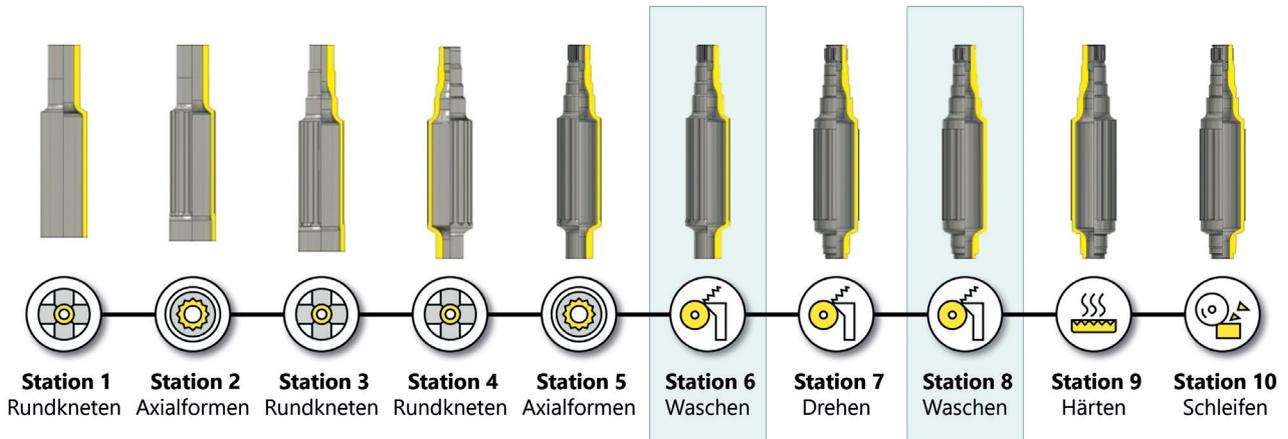


Bild 3: Optimierte Prozesskette zur Herstellung einer hohlen Rotorwelle durch Rundkneten und Axialformen mit hervorgehobenen Reduktionspotenzial durch den Einsatz von wasserbasierten Schmierstoffen

die Reibungskräfte zwischen Werkzeug und Bauteil, die die negativen Komponenten des Kraftverlaufes hervorrufen. Je niedriger der Reibungskoeffizient des Schmiermittels, desto geringer fallen die Reibungskräfte während des Rückhubs und die Minima im Kraftverlauf aus. Im Rahmen dieser experimentellen Untersuchung wurde ermittelt, dass im Gegensatz zum Standardöl das neu entwickelte Felss Eco Lube nicht nur einen niedrigeren Reibungskoeffizienten bietet, sondern diesen bereits bei einer geringen Lösungskonzentration von nur 16 Prozent aufweist (Bild 2, links). Somit konnte mit dem Felss Eco Lube eine signifikante Kraftreduzierung im Vorhub um 15 Prozent und 45 Prozent im Rückhub erreicht werden, was in einer niedrigeren Werkzeugbelastung bei gleichzeitiger Standzeiterhöhung der Werkzeuge resultiert, und sich maßgeblich positiv in der TCO-Berechnung niederschlägt. Die beiden weiteren betrachteten wasserbasierten Schmierstoffe wiesen auch nach Anpassung der Additive erhöhte Umformkräfte auf oder benötigten zur Gewährleistung eines sicheren Prozessablaufes eine deutlich höhere Konzentration und wurden als überwiegend ungeeignet erachtet.

Neben den ökologischen sowie den während der Erprobung ermittelten prozesstechnischen Vorteilen beim Einsatz von wasserbasierten Schmierstoffen wurde weiterhin eine

Betrachtung möglicher wirtschaftlicher Vorteile durchgeführt und anhand einer gesamten Prozesskette eines Bauteils analysiert. Für diese Abschätzung wurde der bereits optimierte Fertigungsprozess der Rotorwelle aus Bild 2 rechts herangezogen. Hier konnte bereits durch die Anpassung des Designs – hohl statt voll – mittels der Herstellung durch Rundkneten und Axialformen ein Gewichtersparnis von 2,4 Kilogramm, beziehungsweise 58 Prozent erzielt werden. Mit dem zusätzlichen operationsübergreifenden Einsatz der wasserbasierten Schmierstoffe, sowohl bei den umformtechnischen als auch den spanenden Bearbeitungsschritten, würde eine Entfettung der Bauteile überflüssig, sodass die zwei Waschoperationen aus der Prozesskette nach Bild 3 entfallen könnten. Eine solche Optimierung mit der signifikanten Verkürzung der Prozesskette ist unmittelbar mit den Energiekosten verbunden und führt zu einer erheblichen Verringerung des CO₂-Fußabdrucks, der Verkürzung der Fertigungszeit sowie zu einer Reduzierung der Erstinvestition um zirka. sieben Prozent.

Hinsichtlich der Beschaffungs- und Entsorgungskosten sind weitere wirtschaftliche Potenziale im Einsatz wasserbasierter Schmierstoffe festzustellen. Im Gegensatz zum Standardöl wird der wasserbasierte Schmierstoff beim Umformprozess nur verdünnt und entsprechend der Konzentration

Preisvergleich Fertigmischung/Axialformen			
Produkt	Preis pro Liter (%)	Konzentration (%)	Mischungspreis (%/Liter)
Standardöl	100	100	100
Produkt 1	168	25	42
Felss Eco Lube	261	16	41,8
Produkt 3	883	20	176,6

Bild 4: Kostenvergleich zwischen Standardöl und wasserbasierten Schmierstoffen

als Mischung aus einem definierten Wasseranteil und dem Schmierstoffkonzentrat mit dem Korrosionsschutz eingesetzt.

Der in Bild 4 dargestellte direkte Kostenvergleich zeigt dementsprechend, dass die Beschaffungskosten des wasserbasierten Schmierstoffkonzentrates die des Standardöls deutlich übersteigen, jedoch die Beschaffungskosten aufgrund der sehr geringen benötigten Konzentration signifikant sinken. Der ausgewiesene Schmierstoffpreis der 16-prozentigen Konzentration des Felss Eco Lubes bietet somit neben dem Werkzeugstand- und Fertigungszeiten zusätzlich einen Beschaffungskostenvorteil von zirka 60 Prozent gegenüber dem herkömmlichen Einsatz des Standardöls.

Die mit dem neu entwickelten, wasserbasierten Schmierstoff Felss Eco Lube ermittelten Untersuchungsergebnisse haben die geforderten Ansprüche für den Einsatz bei inkrementellen Umformverfahren wie Rundkneten und Axialformen übertraffen. Insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung von Nachhaltigkeit und CO₂-Bepreisung ist der Einsatz von wasserbasierten Schmierstoffen aus ökologischer und ökonomischer Sicht dem herkömmlichen Standardöl vorzuziehen.



[1] Wurm, T.; Busse, A.; Raedt, H.-W.: Initiative Massiver Leichtbau – Phase III: Werkstofflicher Leichtbau für Hybrid-Pkw und schweren Lkw, ATZ Automobiltech Z 121, S.16 – 23 (2019), <https://doi.org/10.1007/s35148-018-0236-8>

[2] Raedt, H.-W.: Klimapfad Massivumformung – Wege zu CO₂-freien Komponenten, ATZ Automobiltech Z 124, S.26 – 31 (2022), <https://doi.org/10.1007/s35148-022-0831-6>

[3] Fritz, A.-H.; Schmütz, J. (eds): Fertigungstechnik, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. S.1 – 6, S.173 – 183 (2022), <https://doi.org/10.1007/978-3-662-64875-9>



Felss System GmbH
 Dieselstraße 2
 75203 Königsbach-Stein
 Telefon: +49 7232 402-0
 E-Mail: info@felss.com
 Internet: www.felss.com