



## Gewichts- optimierung eines Kolbenbolzens

In den vergangenen Jahren erlangte der technologische Fortschritt beim Leichtbau von Bauteilen des Antriebsstrangs und Fahrwerks moderner Pkw große Bedeutung im Automobilbau. Zugleich führen stetig steigende Anforderungen an Insassensicherheit, Fahrkomfort, Fahrleistung und Platzangebot im Interieur zu einer Erhöhung des Fahrzeuggewichts. Erhebliche Zusatzlasten zum regulären Fahrzeuggewicht sind künftig zudem durch Batteriesysteme zu erwarten. Aufgrund des relativ hohen Anteils kaltumgeformter Bauteile in Fahrzeugen kann eine gewichtsorientierte Bauteiloptimierung zum Leichtbau beitragen.

### AUTOREN



**Dipl.-Ing. Nadezda Missal**

ist ehemalige wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Umformtechnik (IFU) der Universität Stuttgart



**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Mathias Liewald MBA**

ist Institutsdirektor des Instituts für Umformtechnik (IFU) der Universität Stuttgart



**Dr.-Ing. Alexander Felde**

ist Abteilungsleiter Massivumformung am Institut für Umformtechnik (IFU) der Universität Stuttgart

Im Rahmen der Forschungsinitiative „Massiver Leichtbau“ verfolgte das Institut für Umformtechnik der Universität Stuttgart in einem Teilprojekt unter anderem technologische Ansätze, um das Bauteilgewicht von rohrförmigen, hohlen Bauteilen wie etwa einem Kolbenbolzen bei möglichst gleichbleibender Bauteilfestigkeit und Steifigkeit zu reduzieren. Durchgeführt wurden diese Untersuchungen in enger Kooperation mit der MAHLE Group, einem der 20 weltweit größten Unternehmen der Automobilzulieferindustrie.

#### GEWICHTSOPTIMIERUNG EINES KOLBENBOLZENS

Der Kolbenbolzen bildet im Verbrennungsmotor die konstruktive Verbindung zwischen Kolben und Pleuel (Bild 1, oben). Durch die oszillierende Bewegung mit hoher Frequenz und die Überlagerung von Gasdruck- und Massenträgheitskräften unterliegt der Kolben während des Betriebs extrem hohen Belastungen in wechselnder Richtung. Diese Belastungen dürfen allerdings keine unzulässige elastische Deformation durch Biegung oder Ovalisierung des Querschnittes hervorrufen. Um der dynamischen Beanspruchung ohne plastische Verformung oder sonstige Schädigung standzuhalten, müssen Kolbenbolzen eine ausreichende Festigkeit, Zähigkeit und Steifigkeit aufweisen. Zu den weiteren wichtigen Eigenschaften gehören eine hohe Oberflächenhärte und -güte, Formgenauigkeit für einen möglichst niedrigen Verschleiß sowie ein geringes Gewicht, um die Massenkräfte möglichst gering zu halten [1].

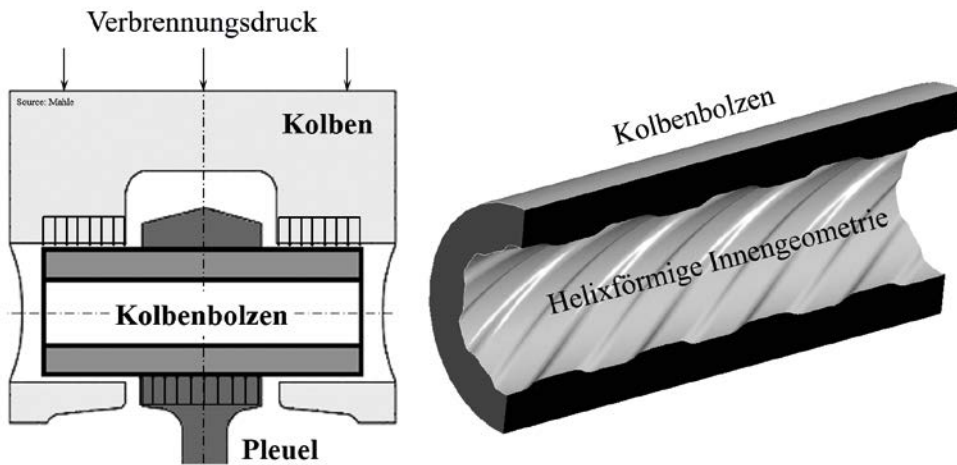


Bild 1: Belastung eines Kolbenbolzens (links) [1], Kolbenbolzen mit neuartiger helixförmiger Innengeometrie (rechts)

Bei der Entwicklung und Optimierung von zylindrischen, hochbelasteten Motorkomponenten standen Konstrukteure bisher vor dem Problem, dass sich Steifigkeit und Leichtbaumerkmale in einem Bauteil kaum effizient kombinieren lassen. Wird die Wanddicke erhöht, um eine größere Steifigkeit gegen Ovalisierung zu erreichen, steigt zugleich das Bauteilgewicht. Eine mögliche Lösung stellt die Verwendung einer helixförmigen Innenkontur anstelle einer zylindrischen oder konischen Innenoberfläche dar, da sich der Kolbenbolzen während seines Einsatzes im Betrieb langsam dreht [2] (Bild 1, rechts).

Das Leichtbaupotenzial von Kolbenbolzen mit einer komplexen helixförmigen Innengeometrie wurde mithilfe strukturmechanischer Simulationen einer Biegebelastung mit ANSYS Workbench untersucht. Sensitivitätsanalysen und umfangreiche Simulationsrechnungen belegten, dass sich die Masse des Kolbenbolzens durch die Erzeugung einer helixförmigen Innengeometrie bei einer sonst gleichbleibenden konstruktiven Spezifikation um bis zu 8 Prozent verringern lässt [2].

Eine Analyse zum Stand der Technik ergab, dass das Umformverfahren Abstreckgleitziehen bedeutende technologische Vorteile für die Erzeugung von innenprofilierten Bauteilen aufweist [3] – [6]. Das im Rahmen dieses Projekts entwickelte Umformverfahren sieht vor, ein napfförmiges Halbzeug mithilfe

eines Ziehrings über einen helixförmig profilierten Dorn abzustrecken. Während des Umformvorgangs erfolgt neben einer Reduzierung der Wanddicke auch eine Ausformung des Helixprofils auf der Napffinnenseite. Nach dem Rückhub des Ziehrings wird das Pressteil mithilfe einer Auswurfhülse mit einer drehenden Bewegung vom Dorn abgestreift. Das entwickelte Verfahren und die Werkzeuggestaltung zum Abstreckgleitziehen von derartigen Bauteilen sind ausführlich in [7] beschrieben.

Der Umform- und Auswurfprozess eines repräsentativen Pleuellagerbolzens wurde numerisch mit DEFORM™ und experimentell mithilfe eines Versuchswerkzeugs untersucht. Diese Prozessuntersuchungen zeigten jedoch, dass eine durch die strukturmechanische Simulation ermittelte Gewichtsreduzierung von acht Prozent nur mit einer relativ scharf ausgeprägten Innenkontur zu erreichen ist.

Die Vermessung einiger im Versuch erzeugter Pressteile ergab eine Unterfüllung der Innengeometrie (Bild 2). Die unterfüllten Profilbereiche wiesen eine Oberflächenbeschaffenheit auf, die der des relativ rauen Halbzeugs ähnlich war. Für eine hohe Dauerfestigkeit im Betrieb wird jedoch eine möglichst vollständige Formfüllung des helixförmigen Innenprofils sowie eine hohe Oberflächengüte angestrebt.

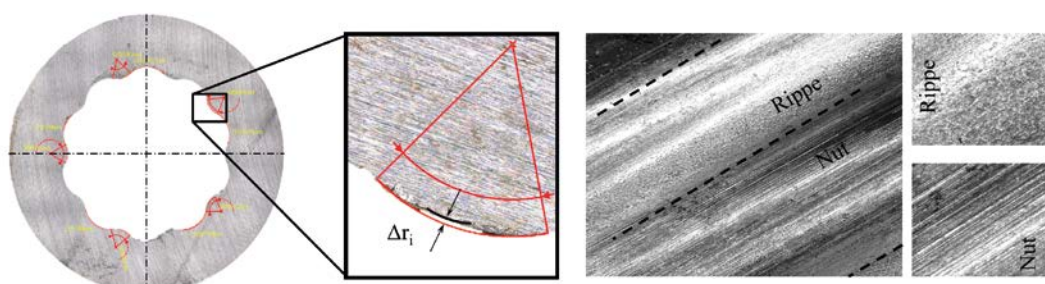


Bild 2: unterfüllte Rippenbereiche (links), Oberflächenqualität der unterfüllten Rippenbereiche (rechts)

Eine Analyse der numerisch ermittelten Prozessgrößen des Abstreckens untersuchte, welche geometrischen Parameter der helixförmigen Dorngeometrie aus umformtechnischer Sicht prozesssicher zu realisieren sind. Dabei konnten die Konstrukteure die Formfüllung der Helixgeometrie verbessern, die Prozesskräfte reduzieren und auch die Spannungsverteilung im Dorn während des Umform- und Auswurfvorganges homogenisieren. Diese Arbeiten zur prozesssicheren Auslegung des Abstreckens führten schließlich zu einer vollständigen Formfüllung der Helix mit niedrigen Oberflächenrauigkeiten und zu einer Reduzierung des Kolbenbolzengewichts um vier Prozent.

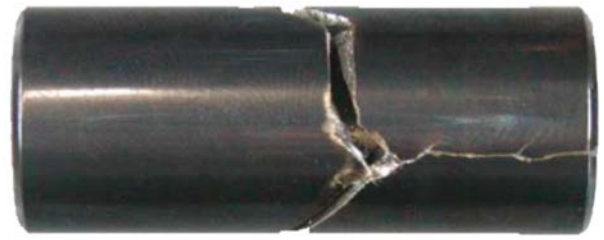


Bild 3 : Auftretende Kolbenbolzenrisse bei der Dauerfestigkeitsuntersuchung

Im Rahmen des Teilprojekts untersuchte die MAHLE Group die Dauerfestigkeit der Kolbenbolzen mit helixförmiger Innengeometrie, die mithilfe des aufgebauten Versuchswerkzeugs entstanden waren. Dazu diente ein Modellversuch, der die Betriebsbelastung des Kolbenbolzens im Verbrennungsmotor nachbildet [1]. Um für die Dauerfestigkeitsuntersuchung identische Werkstoffeigenschaften wie Zugfestigkeit, Härte und Oberflächenbeschaffenheit sicherzustellen, wurden die konventionellen Kolbenbolzen und die Bauteile mit der helixförmigen Innengeometrie aus derselben Werkstoffcharge angefertigt und gemeinsam einsatzgehärtet. Die Kolbenbolzen mit helixförmiger Innengeometrie, die vier Prozent leichter sind, erfüllten in diesem Versuch die geforderte Mindestschwingspielzahl. Jedoch reduzierte die helixförmige Innengeometrie des Kolbenbolzens die Dauerfestigkeit um etwa 25 Prozent. Begründet wird dies mit einer – für diese Belastungsart untypischen – Rissinitiierung auf der Außenoberfläche des Kolbenbolzens (Bild 3). Nach aktuellem Kenntnisstand lässt sich diese Rissbildung vermutlich auf eine im Umformprozess entstandene Unterfüllung der Innengeometrie in Wechselwirkung mit einer ungünstigen Einstellung von Prozessparametern des Einsatzhärtens zurückzuführen. Durch eine Optimierung der Formfüllung der Innengeometrie und eine Anpassung von Wärmebehandlungsparametern wird diese Versagensursache in aktuellen Arbeiten derzeit kompensiert, um höhere Schwingspielzahlen im Dauerfestigkeitsversuch zu erreichen.

## TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNG

Neben hohen Ansprüchen an die Bauteileigenschaften muss die Kolbenbolzenfertigung auch wirtschaftliche Anforderungen

moderner Prozessketten erfüllen. Die konventionelle Kolbenbolzenfertigung bei der MAHLE group besteht aus 16 Fertigungsstufen, welche sich in Umform-, Wärmebehandlungs- und Zerspanungsoperationen unterteilen lassen. Gegenüber dieser etablierten Fertigungsfolge verspricht die jetzt entwickelte Prozesskette zur Herstellung von Kolbenbolzen mit helixförmiger Innengeometrie sowohl technische als auch wirtschaftliche Vorteile (Bild 4). Da die helixförmige Innengeometrie durch Abstreckgleitziehen erzeugt wird, weisen die Pressteile eine hohe Maßgenauigkeit, eine hohe Oberflächengüte sowie eine gute Werkstoffausnutzung auf. Nachfolgende spannende Bearbeitungsschritte können dadurch wesentlich reduziert werden (Bild 4). Eine vergleichende Kostenbewertung für die konventionelle und die neu entwickelte Prozesskette zeigte, dass die Prozesszeit zur Fertigung des neu entwickelten Kolbenbolzens um zirka 33 Prozent kürzer ist. Weil mehrere Fertigungsstufen entfallen, verringern sich zudem Werkzeugkosten und Energieeinsatz.

## ZUSAMMENFASSUNG

Der Einsatz der neu entwickelten, helixförmigen Innengeometrie bietet die Möglichkeit, das Gewicht eines Kolbenbolzens zum Beispiel für einen 1,2-Liter-Verbrennungsmotor um vier Prozent zu reduzieren, ohne dabei andere Betriebseigenschaften wie Festigkeit und Steifigkeit zu verändern. Erforderlich ist allerdings noch eine Optimierung des Umformprozesses und eine Anpassung der Parameter der Wärmebehandlung. Die entwickelte Technologie kann leicht auf weitere hohl gestaltete Bauteile des Antriebsstrangs übertragen werden und dadurch auch zu einer Gewichtsoptimierung des gesamten Fahrzeugs beitragen.

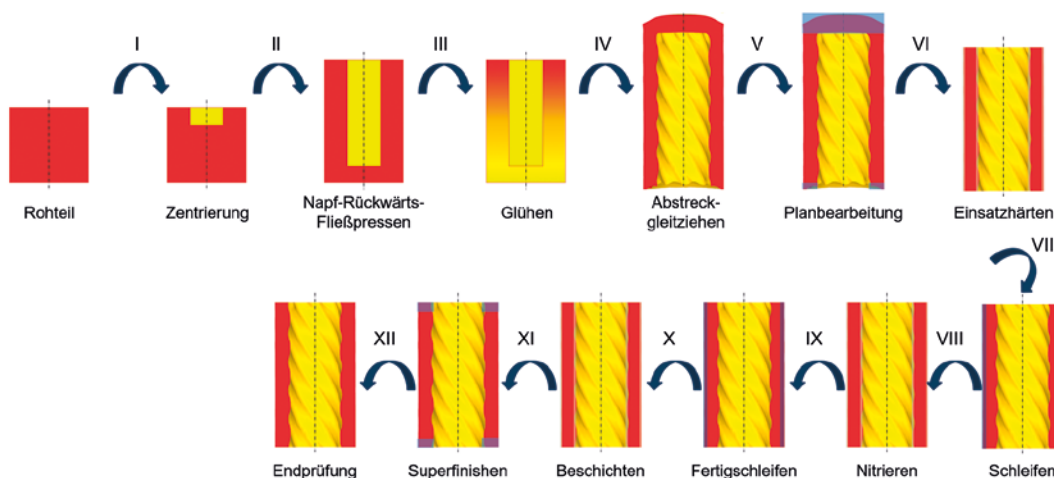


Bild 4: Neue Prozesskette zur Herstellung von Kolbenbolzen

Bilder: Autoren



Die Forschungsprojekte IGF 18225N und IGF 18229N wurden von der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA), der Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik e.V. (AWT), der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) und der Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. (FSV), aus Fördermitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) sowie der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen („Otto von Guericke“) e.V. (AiF) im Rahmen des Programms zur industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichts kann bei der FOSTA, Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf, angefordert werden.



Gefördert durch:  
**Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie**



aufgrund eines Beschlusses  
des deutschen Bundestages



- [1] MAHLE group: Zylinderkomponenten Eigenschaften, Anwendungen, Werkstoffe. In: Vieweg+Teubner, Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media, Stuttgart, 2009
- [2] Missal, N.; Liewald, M.; Felde, A. et al.: Piston pin optimisation with respect to lightweight design. In: International Cold Forging Group, 49th Plenary Meeting, pp. 157 – 161, Stuttgart, September 4 – 7, 2016
- [3] Renault Automobiles Peugeot: Improvement in methods of manufacturing helical gear blanks by cold extrusion process. In: Patent Office London 1 373 547, 1971
- [4] Lange, K.: Verfahren und Werkzeuge zum Kalt-, Halbwarm- und Warmquerfließpressen von Werkstücken mit genauen Verzahnungen aus Stahl, vorzugweise Stahl. In: Deutsches Patentamt DE 37 18 884 A1, 1988
- [5] Gueydan, H.: Outillage pour la fabrication de pieces fritees a surfaces helicoidales. In: European Patent Office 0 050 576 B1, 1981
- [6] Schwager, A.; Kammerer, M.; Siegert, K. et al.: Kaltumformen schräg innenverzahnter Hohlräder in: MAT-INFO Werkstoff-Informationsgesellschaft, S. 517 – 531, Frankfurt/M., 2003
- [7] Missal, N.; Liewald, M.; Felde, A. et al.: Massiver Leichtbau-Erweiterung technologischer Grenzen bei der Massivumformung in unterschiedlichen Temperaturbereichen. In: Neuere Entwicklungen in der Massivumformung, Fellbach, 15. – 17. Mai 2017