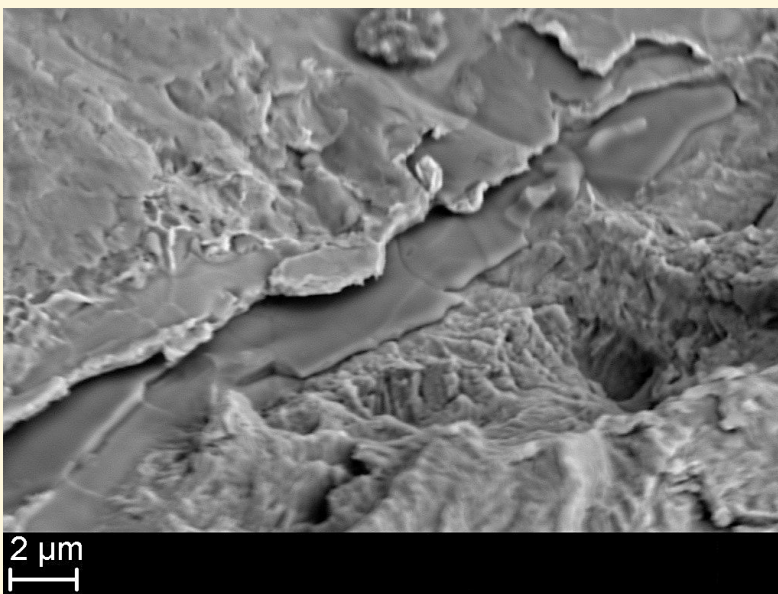


Gesteigerte Sicherheit bei massivumgeformten Bauteilen

# Ausfälle durch verformte Mangansulfide

Massivumgeformte Bauteile finden sich in zahlreichen automobilen und industriellen Anwendungen. Ihre Eigenschaftskombination aus hoher Festigkeit bei hoher Zähigkeit prädestiniert sie für Anwendungen, in denen hohe Spannungen ertragen werden müssen. Durch die Möglichkeit, die Randzonen durch Einsatz- oder Induktivhärten oder Nitrieren auf höchste Härten einzustellen, werden auch Wälz- oder Verschleißbeanspruchung ertragbar. Im Automobil werden massivumgeformte Bauteile mit ihren vorteilhaften Eigenschaften deshalb im Antriebsstrang, Getriebe, Fahrwerk, Motor und in der Kraftstoffeinspritzung eingesetzt.



**Bild 1**  
Gestauchte Mangansulfide auf der Dauerbruchfläche eines Bauteils aus einem Lebensdauerstest

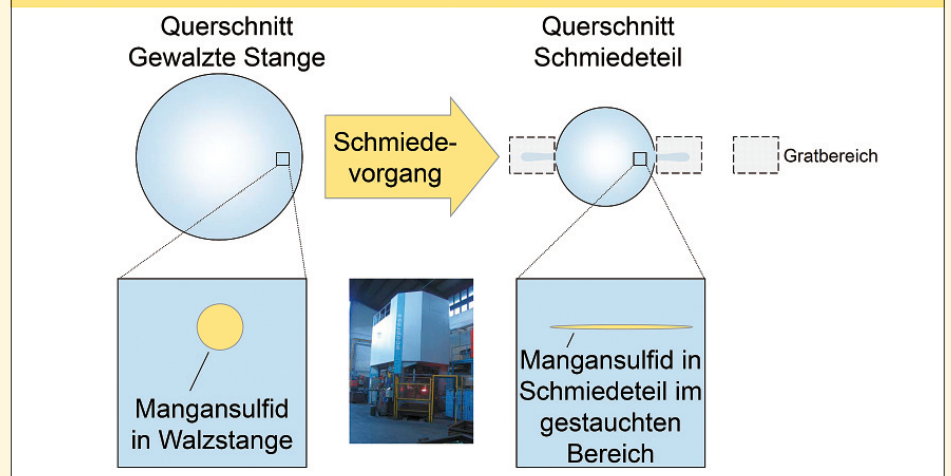
Bauteilbereich [4]. An anderen geschmiedeten Bauteilen werden im Torsionsversuch ebenfalls Ausfälle in Bereichen mit rechnerisch geringer Spannung identifiziert [5]. Ein gleiches Phänomen wurde auch an anderen Bauteilen beobachtet [6]. Auch die Abhängigkeit der Ermüdungsfestigkeit von der Richtung des Faserverlaufes von bis zu 13 % [7, 8] kann die genannten Fälle nicht erklären. Zwar werden diese besonderen Fälle heute bereits in der Bauteilprüfphase entdeckt und natürlich in dieser Form nicht in die Anwendung gelangen. Jedoch besteht in Einzelfällen eine Diskrepanz zwischen der rechnerischen Auslegung und den Ergebnissen des Schwing- oder Pulsversuchs. Die jetzt gelungene Aufklärung dieses Phänomens kann jedoch dazu beitragen, Bauteile vor

Zur Auslegung massivumgeformter Komponenten sind verschiedene Vorgehensweisen etabliert [1–3]. Die grundlegende Annahme der Auslegung ist aber immer ein homogener (gegebenfalls unter Berücksichtigung lokal anderer Eigenschaften nach Randschichtbehandlungen) und isotroper Werkstoffzustand. An

einigen Beispielen in der massivumformtechnischen Praxis zeigt sich nun aber, dass gelegentlich eine Differenzierung erforderlich

ist. So zeigen bestimmte Bauteile der Dieseleinspritztechnik bei der Pulsprüfung einen Riss in einem vergleichsweise gering belasteten

## Stauchung von MnS mit umgebender Matrix



**Bild 2**

Skizzenhafte Darstellung der Verformung eines Mangansulfids zusammen mit der umgebenden Stahlmatrix

**Autoren**

Dr.-Ing. Hans-Willi Raedt  
Dipl.-Ing. (FH) Manfred Herz  
Dipl.-Phys. Andreas Schuster  
Alle: Hirschvogel Umformtechnik

Kontakt:  
Hirschvogel Umformtechnik GmbH  
Dr.-Manfred-Hirschvogel-Straße 6  
86920 Denklingen  
Tel.: 0 82 43/2 91-111  
E-Mail: hug@hirschvogel.de  
www.Hirschvogel.de

dem Hintergrund Leichtbau, Downsizing und Ressourceneffizienz zukünftig noch besser auszuliegen.

## Intensive Bauteiluntersuchung

Anhand des in [4] beschriebenen Falles konnte der beobachtete Effekt nun erklärt werden. Bei einer intensiven rasterelektronischen Untersuchung bei der Hirschvogel Automotive Group konnten Mangansulfide mit einer charakteristischen Form auf der Bruchfläche als Ursache für den Ausfall identifiziert werden.

Im gewalzten Stangenmaterial, dem Ausgangsmaterial für die Massivumformung, liegen Mangansulfide als gestreckte und in Walzrichtung ausgerichtete Ausscheidungen mit einem Durchmesser von wenigen Mikrometern und Längen von bis zu wenigen zehnteln Millimetern vor. Auf den untersuchten Bruchflächen hatten die Mangansulfide aber eine gänzlich andere Form: Ihre Dicke hatte sich stellenweise bis auf 0,1  $\mu\text{m}$  verringert, ihre Breite war aber auf stellenweise weit über 10  $\mu\text{m}$  angewachsen. Die projizierte Fläche der Mangansulfide senkrecht zur Kraft- oder Spannungsrichtung war somit im Vergleich zum Ausgangs-

zustand wesentlich angestiegen (Bild 1). Offenbar hatte sich in diesem Fall der Faserverlauf, das heißt Ausrichtung und Lage der Mangansulfide im Stahl, nicht nur mit dem umgeformten Stahl mitbewegt (ein seit langem bekannter Effekt), sondern die Einschlüsse hatten sich in der Ebene der Gratbahn des Schmiedeteils zusammen mit dem umgebenden Stahl mitverformt (Bild 2), da dort eine große Stauchung des Stahls auftritt, die sich offenbar auch auf die Mangansulfide auswirkt.

Dies führt zu folgenden werkstofftechnischen Effekten: Im Bereich stark gestauchten Stahlwerkstoffs (besonders in der Ebene der Gratbahn eines Gesenkschmiedeteils) erhöht sich der Flächenanteil der Mangansulfide senkrecht zur Stauchrichtung. Es ist bekannt, dass Mangansulfide eine geringe mechanische Haftung zur Stahlmatrix aufweisen [9], der tragende Flächenanteil des Stahls verringert sich also. Zudem weisen die flachen Einschlüsse an ihren Kanten einen Kerbradius von nur circa 50 nm auf. Spannungen senkrecht zu diesen flachen Einschlüssen werden an deren Kanten also signifikant überhöht. Die Kombination beider Effekte kann zu einer deutlichen Absenkung der lokalen Schwingfestigkeit in Stauchrichtung führen.

## Sichere Dimensionierung

Die Berücksichtigung dieses Effektes führt schon in der Auslegungsphase zu einer sichereren Dimensionierung und verhindert zusätzliche Entwicklungsschleifen. Bei der Hirschvogel Automotive Group kann die Analyse der Umformung im Hinblick auf diesen unerwünschten Effekt mit Hilfe der

FEM-Stoffflusssimulation des Umformvorgangs durchgeführt werden. Des Weiteren können die verformten Einschlüsse sichtbar gemacht werden und bisher eventuell nicht verstandene Schwingfestigkeitsabfälle im Rasterelektronenmikroskop untersucht werden. Damit können auf Basis der dargestellten Erkenntnis fundierte Vorschläge zur Abhilfe unterbreitet werden.

## Literatur

- [1] Hänel, B.; Haibach, E.; Seeger, T.; Wirthgen, G.; Zenner, H.: FKM-Richtlinie – Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile aus Stahl. Eisenguss- und Aluminiumwerkstoffen, 4., erweiterte Ausgabe 2002, VDMA-Verlag, Frankfurt am Main, ISBN 3-8163-0424-9
- [2] Jung, T.; Liu, J.; Maescher, G.; Mauch, H.; Stolze, F.-J.: Betriebsfestigkeit in der Fahrzeugentwicklung – von der Theorie zum Produkt – Mat.-wiss. Untersuchung. Werkstofftechnik 2003, 34, Nr. 9
- [3] Grubisic, V.; Sonsino, C. M.: Einflußgrößen der Betriebsfestigkeit geschmiedeter Bauteile. VDI-Z 134 (1992), Nr. 11, S. 105–112
- [4] N. N.: Interne Bauteiluntersuchung. Hirschvogel Automotive Group, 2009
- [5] Pers. Kommunikation mit Dr. H. Kaufmann. Unveröffentlichte Ergebnisse Fraunhofer LBF Darmstadt, 2011
- [6] Pers. Kommunikation: Diverse Quellen. Unveröffentlichte Ergebnisse
- [7] Bouchard, P.-O.: Intégration de la phase de mise en oeuvre dans le dimensionnement des pièces industrielles forgées. La forge, no 32, Avril 2008
- [8] Exel, N.; Türk, M.: Einfluss von Faserverlauf und Gefüge auf die Schwingfestigkeit warmmassivumgeformter AFP-Stähle. Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF & Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen PTU, 2010, Forschungsprojekt AVIF A245
- [9] Hosseini, S. B.; Temmel, C.; Karlsson, B.; Ingesten, N.-G.: An In-Situ Scanning Electron Microscopy Study of the Bonding between MnS Inclusions and the Matrix during Tensile Deformation of Hot-Rolled Steels. Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 38A, May 2007, No. 5, S. 982–989