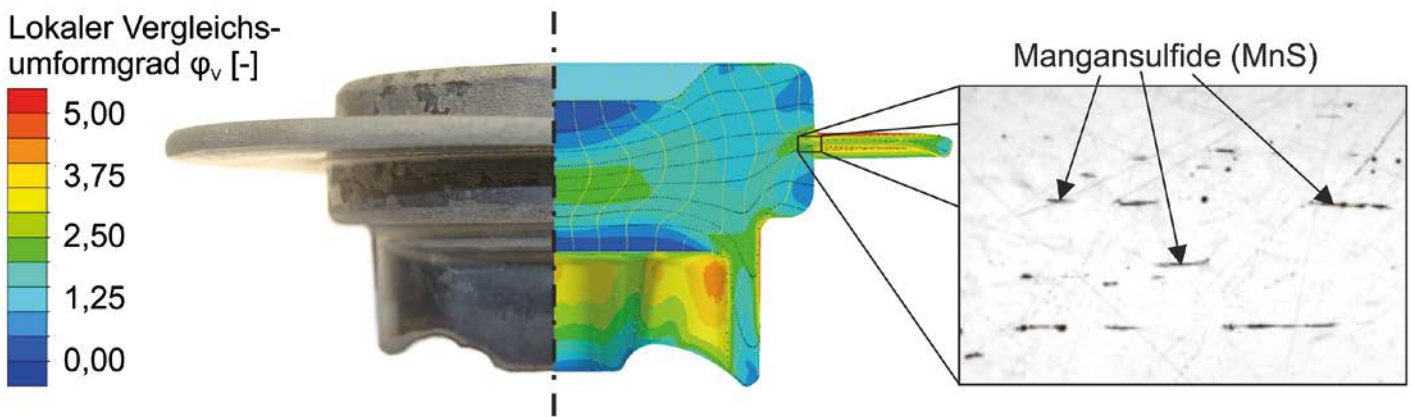


Einfluss von Mangansulfiden auf die statische und zyklische Festigkeit



Mangansulfideinschlüsse in Stählen erhöhen die Standzeiten von Zerspanwerkzeugen und bieten somit Vorteile bei der subtrahierenden Bearbeitung. Bei gesenkgeschmiedeten Stahl-Schmiedebauteilen mit Grat sind diese Einschlüsse im Bereich der Gesenkteilungsebene bei einer entsprechend anliegenden Belastung jedoch zugleich häufig Ausgangspunkt für ein frühzeitiges Bauteilversagen.

AUTOREN



Matilde Scurria, M.Sc.

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin des Fachgebiets Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik SAM der Technischen Universität Darmstadt



Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz

leitet das Fachgebiet Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik SAM der Technischen Universität Darmstadt und des Fraunhofer-Instituts für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt



Christoph Kock, M.Sc.

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover im Bereich Materialcharakterisierung und Simulation.



Dipl.-Ing. Alexander Chugreev

ist Bereichsleiter der Materialcharakterisierung und Simulation am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover



Roman Relge, M.Sc.

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover im Bereich Massivumformung



Dipl.-Ing. Martin Bonhage

ist Bereichsleiter der Massivumformung am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover



Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

leitet das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover

Grund für die Anfälligkeit ist die verfahrensbedingte starke Abflachung der Mangansulfide in diesem Bereich. Diese verringert einerseits die tragende Fläche der Stahlmatrix orthogonal zur Gratbahn und wirkt andererseits als innere Kerbe. Beides verursacht eine reduzierte Schwingfestigkeit orthogonal zur Gratbahn und kann so je nach Anwendung zu einer erheblichen Schwächung des Bauteils führen. Dieser Erkenntnis wird bei der Auslegung von Bauteilen zwar durch entsprechende Sicherheitsrechnungen getragen. Dieser Befund bedeutet aber auch, dass durch konkrete Berücksichtigung des Gratverlaufs während der Konstruktion eine höhere Werkstoffeffizienz erzielt werden kann.

Dementsprechend wird für Schmiedekonstruktionen empfohlen, die Gesenkteilungsebene nicht in höchstbeanspruchte Bauteilbereiche zu legen. Eine genaue Kenntnis des Werkstoffverhaltens geschmiedeter schwefelhaltiger Stähle unter Betriebsbelastungen erlaubt ein optimiertes Bauteildesign unter Beibehaltung der Vorteile bei der Zerspanung. Es hat sich gezeigt, dass insbesondere die Geometrie der Mangansulfide stark von der jeweiligen Umformhistorie abhängt. Die Ermittlung des Einflusses dieser umformbedingten Geometrieänderung der Mangansulfide auf die Betriebsfestigkeit war Gegenstand dieser Untersuchung.

Vorangegangene Forschungsprojekte zur Gratnaht [1] und zum Faserverlauf [2] adressierten zwar eine ähnliche Fragestellung, waren aber nicht auf die Verformung der Mangansulfide fokussiert, welche häufig in der Gesenkteilungsebene auftritt.

UMFORMTECHNISCHE VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Wie wirkt sich der Gefügeeinfluss im Bereich der Gratbahn auf die Schwingfestigkeit warm massivumgeformter Bauteile aus? Zur Klärung dieser Frage wurde ein AFP-Stahl (38MnVS6) verwendet, welcher typischerweise im Automobilbau für Pleuel, Achsschenkel oder Radnaben eingesetzt wird. Um den Einfluss verschiedener Mangansulfidgehalte zu untersuchen, lag dieser in zwei Modifikationen vor: S4 mit niedrigem (0,0372 Gew.-%) sowie S7 mit hohem Schwefelgehalt (0,0728 Gew.-%).

Die unterschiedlichen MnS-Abflachungsgrade wurden massivumformtechnisch durch freies Stauchen sowie durch Gesenkschmieden mit Grat bei Schmiedetemperatur erzeugt (Bild 1). Die Proben der Schmiederohteile wurden zuvor quer zur Stranggussrichtung des Halbzeugs entnommen. Durch Variation des Umformwegs wurden verschiedene Stauchgrade erzeugt.

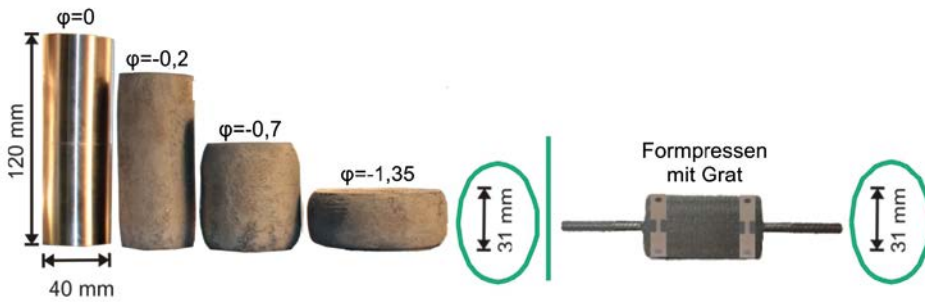


Bild 1: Gestauchte Proben für die statischen und zyklischen Festigkeitsprüfungen: freies Stauchen (links), Formpressen mit Grat (rechts)

EINFLUSS VON UMGEFORMTEN MANGANSULFIDEN AUF DAS WERKSTOFFVERHALTEN

Um den Einfluss verschieden abgeflachter Mangansulfide auf die quasistatische und zyklische Festigkeit zu bestimmen, wurden die Werkstoffproben jeweils aus der Mitte der frei gestauchten Proben sowie nahe der Gratbahn formgepresster Proben entnommen.

Bild 2 stellt die Ergebnisse der quasistatischen Zugversuche dar. Zu erkennen ist, dass die Zugfestigkeit des AFP-Stahls (S4) mit steigendem Umformgrad abnimmt. Dieser Effekt ist mit zunehmendem Schwefelgehalt (S7) sogar noch stärker ausgeprägt. Die Bruchdehnung reduzierte sich für die Legierung S4 ab einem Umformgrad von $\varphi = -1,35$ signifikant. Bei der Legierung S7 erfolgte der Abfall bereits ab $\varphi = -0,2$.

Die Schwingfestigkeitsversuche wurden mit sehr kleinen, ungekerbten Proben mit einem hochbeanspruchtem Volumen $HbV_{90\%} = 38,78 \text{ mm}^3$ durchgeführt, bedingt durch die Stauchhöhe des höchsten Umformgrads (Bild 1). Die Ergebnisse zur Schwingfestigkeit unterliegen großen Streuungen und gestalten sich sehr heterogen (Bild 3). Während die Wöhlerlinien unter Wechselbelastung, $R_\sigma = -1$, für die Umformgrade $-0,70 \geq \varphi \geq -1,50$ im Rahmen der Streuung für die Varianten S4 und S7 als vergleichbar bezeichnet werden können, liegt die Schwingfestigkeit im Ausgangszustand für die Variante mit dem erhöhten

über der mit niedrigem Schwefelgehalt. Dies führt zunächst zu einem höheren Schwingfestigkeitsverlust für die schwefelreichere Variante, aber zu dennoch vergleichbaren Absolutwerten bei erhöhten Umformgraden und unterschiedlichen Schwefelgehalten. Der scheinbare geringe Einfluss des Umformgrads auf die Schwingfestigkeit der Gratbahn ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass auch die Proben mit $\varphi = 0$ aus der Mitte des nicht umgeformten Ausgangsmaterials entnommen wurden und deren Schwingfestigkeiten unterhalb bekannter Kennwerte liegen [2].

Die Bruchflächenanalyse zeigt, dass die Verteilung des Länge-Breite-Verhältnisses im Anlieferungszustand $\varphi = 0$ sowohl bei niedrigem als auch bei hohem MnS-Gehalt gleich ist (Bild 4). So liegen mehrheitlich runde MnS-Querschnitte mit einem Länge-Breite-Verhältnis $\gamma \approx 1$ vor. In den Stauchproben mit dem Umformgrad $\varphi = -0,2$ findet sich eine zum Anlieferungszustand vergleichbare Verteilung des Länge-Breite-Verhältnisses γ wieder. Demzufolge sind die meisten MnS-Querschnitte rund, und ihre Form ist bisher nicht von der Verformung beeinflusst worden. Ein Einfluss der MnS-Anzahl aufgrund der unterschiedlichen Schwefelgehalte ist nicht zu erkennen.

Ab einem Umformgrad von $\varphi = -0,4$ beeinflusst der MnS-Gehalt die Entwicklung des Länge-Breite-Verhältnisses γ . Während im S4 nur eine leichte Zunahme von abgeflachten MnS und der

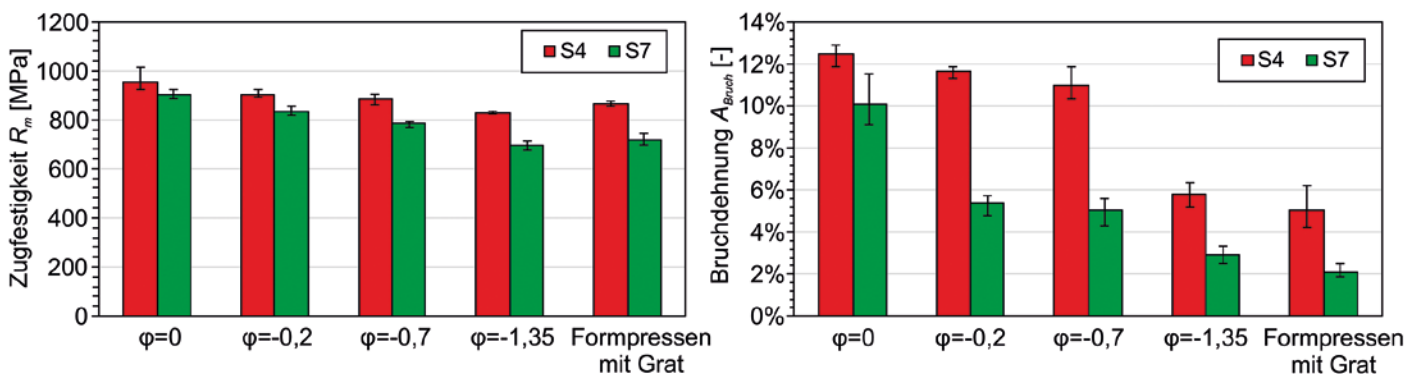


Bild 2: Ergebnisse der quasistatischen Zugversuche: Zugfestigkeit (links), Bruchdehnung (rechts) in Abhängigkeit des globalen Umformgrads

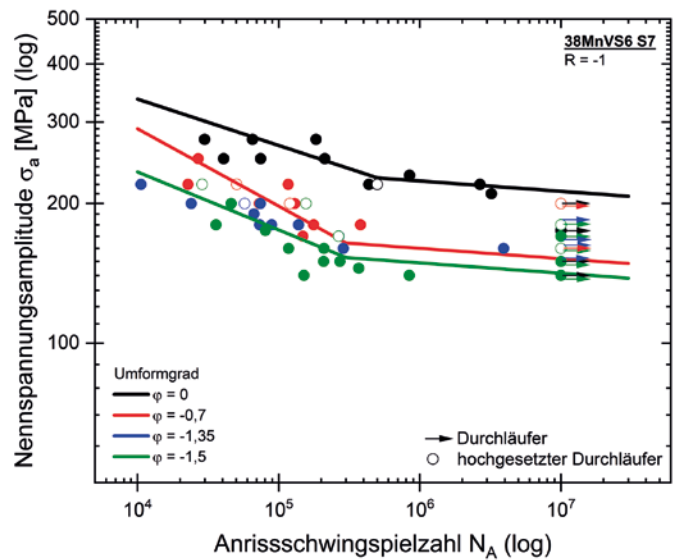
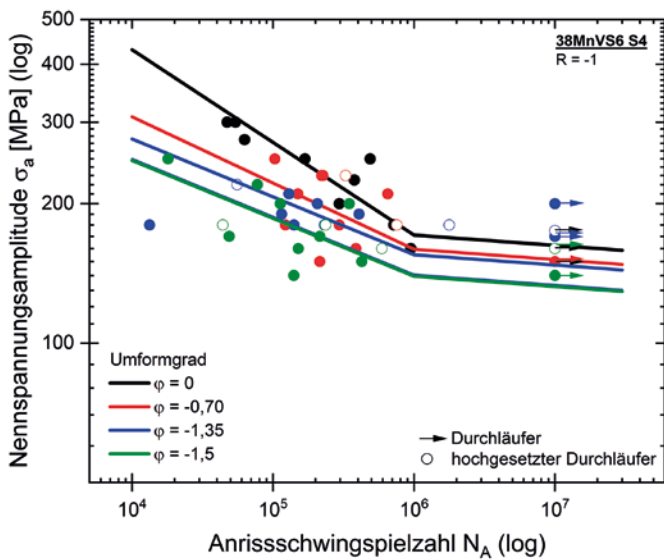


Bild 3: Wöhlerlinien unter Wechselbelastung zu ungekerbten Proben des Werkstoffs 38MnVS6 mit unterschiedlichen Schwefelgehalten und Umformgraden

damit verbundenen Abnahme von runden MnS festzustellen ist, nimmt der Anteil der MnS mit einem Länge-Breite-Verhältnis von bis zu $\gamma \leq 5$ mit dem höheren S-Gehalt zu. Im S7 setzt sich die Zunahme des Länge-Breite-Verhältnisses mit fortschreitender Umformung fort. So nimmt bei einem Umformgrad von $\varphi = -0,7$ die Anzahl der runden MnS weiter ab. Eine nennenswerte Anzahl von MnS mit einem $\gamma \approx 7$ werden gezählt. Die Form der Verteilungsfunktion wird insgesamt fülliger, das heißt, es liegen nicht nur MnS in einem schmalen Bereich des Länge-Breite-Verhältnisses vor, sondern MnS mit unterschiedlichen γ -Werten. Die Abflachung der MnS im Werkstoff mit kleinerem Schwefelgehalt setzt erst bei höheren Umformgraden ein und betrifft zunächst nur wenige Mangansulfide.

Der Trend, dass die MnS im Werkstoff mit hohem Schwefelanteil durch die Verformung stärker abgeflacht werden als die MnS im Werkstoff mit niedrigerem Schwefelanteil, setzt sich auch bei einem Umformgrad von $\varphi = -1,0$ fort. Bei einem Umformgrad von $\varphi = -1,35$ liegen aber auch im S4 Mangansulfide mit Länge-Breite-Verhältnissen von $\gamma \approx 10$ vor. Im Vergleich zu dem niedrigen MnS-Gehalt sind in den Stauchproben mit hohem MnS-Gehalt prozentual mehr abgeflachte Mangansulfide vorhanden. Wird der Umformgrad weiter gesteigert, so nähert sich bei der Variante S7 die Verteilungsfunktion der Länge-Breite-Verhältnisse asymptotisch einem Grenzwert. Für die Variante S4 stellt sich dieser Grenzwert erst bei höheren Umformgraden ein.

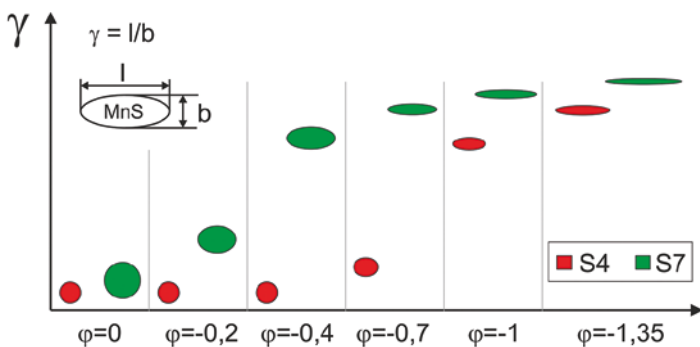


Bild 4: Schematische Darstellung der MnS-Gestalt infolge einer Umformung

Bilder: Autoren

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die verformten, das heißt abgeflachten Mangansulfide beeinflussen sowohl die statische als auch die zyklische Festigkeit. Enthält die Probe Mangansulfide mit einem Länge-Breite-Verhältnis $\gamma \approx 1$, wird die höchste Festigkeit erreicht. Erst nachdem die MnS eine Mindestumformung erfahren und damit einen Grenzwert überschritten haben, der vom MnS-Gehalt abhängig ist, wirken sich die abgeflachten MnS auf die Festigkeit aus. Mit einem zunehmenden Länge-Breite-Verhältnis γ und damit einer zunehmenden Abflachung der MnS nimmt die Schwingfestigkeit ab. Dies führt zu einer Erhöhung der lokalen Kerbwirkung und lässt sich schließlich im Nennspannungssystem als metallurgische Kerbwirkung berücksichtigen.

Unter Wechselbelastung korreliert die Schwingfestigkeit besser mit dem Länge-Breite-Verhältnis γ der Mangansulfide als mit dem lokalen Umformgrad ϕ . Während einer Umformung nehmen Mangansulfide an der Verformung ihrer umgebenden Matrix teil. Ursprünglich runde Mangansulfide werden mit steigendem Umformgrad senkrecht zur Umformrichtung abge-

flacht. Dabei ist das Länge-Breite-Verhältnis γ begrenzt, sodass nach dem Erreichen dieses Grenzwerts bei einem weiteren Anstieg des Umformgrads keine weitere Umformung des MnS mehr stattfindet. Dementsprechend ist auch die Reduktion der Schwingfestigkeit, das heißt die metallurgische Kerbwirkung, begrenzt. Eine Korrelation mit dem Umformgrad konnte nicht nachgewiesen werden. Diese hätte den Schmieden eine einfache Berücksichtigung in der Bauteilauslegung ermöglicht. Die Ermittlung des Länge-Breite-Verhältnisses der Mangansulfide ist derzeit in der Simulation nicht möglich.



Gefördert wurde das Forschungsprojekt „Quantifizierung der Betriebsfestigkeit des Gefüges von Schmiedestahl in der Gesenkteilungsebene (Kerbwirkung Gratbahn)“ von der gemeinnützigen Stiftung Stahlanwendungsforschung im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. Zweck der Stiftung ist die Förderung der Forschung auf dem Gebiet der Stahlverarbeitung und -anwendung in der Bundesrepublik Deutschland. Geprüft wurde das Forschungsvorhaben von einem Gutachtergremium der Forschungsvereinigung der Arbeitsgemeinschaft der Eisen und Metall verarbeitenden Industrie e.V. (AVIF), das sich aus Sachverständigen der Stahl anwendenden Industrie und der Wissenschaft zusammensetzt. Begleitet wurde das Projekt von einem Arbeitskreis des Industrieverbands Massivumformung e.V.

Die Langfassung des Abschlussberichts kann über die Forschungsgesellschaft Stahlverformung e. V. beim WSM Wirtschaftsverband Stahl- und Metallverarbeitung, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.



[1] Doege, E.: Einfluss des Abgratverfahrens und der Nachbehandlung der Gratnaht auf die Bauteilfestigkeit, Universität Hannover, Abschlussbericht zum AiF-Projekt Nr. 4884 (1981)

[2] Hanselka, H.; Groche, P.: Einfluss von Faserverlauf und Gefüge auf die Schwingfestigkeit warmmassivumgeformter AFP-Stähle, Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF und Technische Universität Darmstadt, Abschlussbericht zum AVIF-Projekt A 245) (2010)