

Federdraht und -band im Focus

Veronika Geinitz, Mathias Weiß, Ulf Kletzin

Federstahldraht verändert seine Eigenschaften durch die Wärmebehandlung nach dem Federwinden, das Kugelstrahlen und das Vorsetzen. Bei Federband wirkt sich die Walzrichtung massiv auf die Zugfestigkeit und den E-Modul und damit auf die Funktion von Flachbiegeteilen aus. Eine webbasierte Datenbank enthält alle diese Daten.

Forschungsziele

Materialkennwerte von Federstahldrähten und -bändern sind in der Literatur schwer zu finden. Noch rarer sind Aussagen zur Veränderung dieser Kennwerte durch die Arbeitsgänge der Federherstellung wie Wärmebehandlung, Kugelstrahlen mit nachfolgender Wärmebehandlung und Vorsetzen. Die Forschungsgruppe „Draht und Federn“ an der TU Ilmenau untersuchte deshalb zwei Jahre lang Drähte verschiedener Materialien (patentiert gezogene, ölschlussvergütete und nicht rostende Federstähle) und Federbänder aus 1.4310. Ziele dabei waren:

- die **Zug- und Torsionseigenschaften** an Drähten mit $4,5 \leq d \leq 10 \text{ mm}$ zu bestimmen (Parameter: d , Material, Wärmebehandlung, Vorsetzen),
- das **Relaxationsverhalten an Drähten** unter Torsionsbelastung zu bestimmen und mit der Relaxation an **Druckfedern** aus diesen Drähten zu vergleichen (Parameter: d , Material, Wärmebehandlung, Vorsetzen, Kugelstrahlen),
- die Auswirkungen des **Kugelstrahlens mit nachfolgender Wärmebehandlung** auf die **Zug- und Torsionseigenschaften** bei ölschlussvergüteten Drähten zu bestimmen,
- das **Biegeverhalten an Drähten** zu untersuchen (Parameter: d , Material, Wärmebehandlung)
- das **Zug- und Biegeverhalten an Bändern** zu untersuchen (Parameter: Banddicke, Wärmebehandlung, Festigkeit, Probe längs/quer zur Walzrichtung),
- eine **Datenbank** mit den Federdraht- und -bandkennlinien und -kennwerten bei Zug-, Torsions- und Biegebeanspruchung zu erstellen, die über das Internet abrufbar ist,
- die Berechnungsgrundlagen zur **Dimensionierung von Federn** so weiter zu entwickeln, dass das nichtlinear-elastische Werkstoffverhalten von Federstahldraht und dessen Veränderungen während der Federherstellung berücksichtigt werden kann,
- die theoretischen Grundlagen zur **Auswertung von Biegeversuchen** zur Bestimmung des **E-Moduls** an vorgekrümmten Drähten und zur Bestimmung der **Federbiegegrenze** unter Verwendung der **nichtlinearen Biegetheorie** zu entwickeln.

Neue Ausrüstung für Torsionsversuche

Die Torsionsversuche an den Drähten bis $d=10\text{mm}$ wurden an einem neu entwickelten Torsionsprüfstand (Bild 1, Fa. TIRA GmbH) durchgeführt. Dieser Versuchsstand ermöglicht Torsionsversuche bis zu einem maximalen Moment von 500Nm . Um auch Fließgrenzen und den Anstieg der elastischen Geraden bestimmen zu können, wurde ein selbst entwickelter Feinschiebungsaufnehmer (Pendant zum Feindehnungsaufnehmer im Zugversuch) verwendet.



Bild 1: 500-Nm-Torsionsprüfstand mit Feinschiebungsaufnehmer

Biegeversuch und nichtlineare Biegetheorie

Die heute von der Industrie zur Verfügung gestellten modernen Materialien im Bereich der Federstahldrähte und -bänder gestatten sehr große elastische Verformungen. Die Berechnung der großen Verformungen und das Berücksichtigen der Vorkrümmung der Drähte/Bänder sind erst mit der nichtlinearen Biegetheorie möglich. Für einen neu entwickelten 3-Punkt-Biegeversuchsstand wurde die exakte nichtlineare Differentialgleichung für Biegung numerisch gelöst (MAPLE). Mit der Lösung konnte erstmals aus Versuchsdaten sowohl der Biegeelastizitätsmodul E_b (auch für vorgekrümmte Drähte) als auch die Federbiegegrenze exakt ermittelt werden. Untersucht wurden Federdrähte verschiedener Materialien mit $1\text{mm} \leq d \leq 6\text{mm}$ und Federbänder mit $h = 0,5\text{mm}$ nach verschiedenen Wärmebehandlungen und im Zustand ab Drahtwerk.

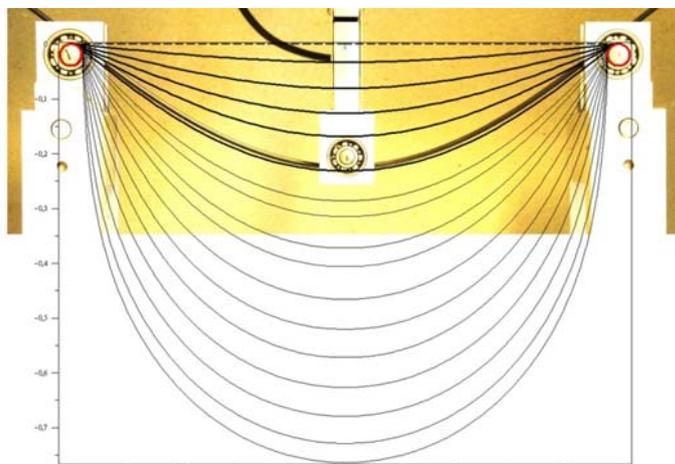


Bild 2: Übereinstimmung des Durchbiegungsverlaufes: Theorie vs. Experiment

Zug- und Torsionsversuche

Die Werkzeugeigenschaften der Drahtlieferanten enthalten i.d.R. nur die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung, die am Draht im Lieferzustand gemessen wurden. Torsionskennwerte fehlen gänzlich. Bild 3 zeigt beispielhaft die Veränderung der Zugfestigkeit R_m und der Zugdehngrenze $R_{p0,2}$ durch eine 30-minütige Wärmebehandlung bei verschiedenen Temperaturen (entspricht der Wärmebehandlung nach dem Federwinden) an patentiert gezogenen Drähten verschiedener Drahtdurchmesser.

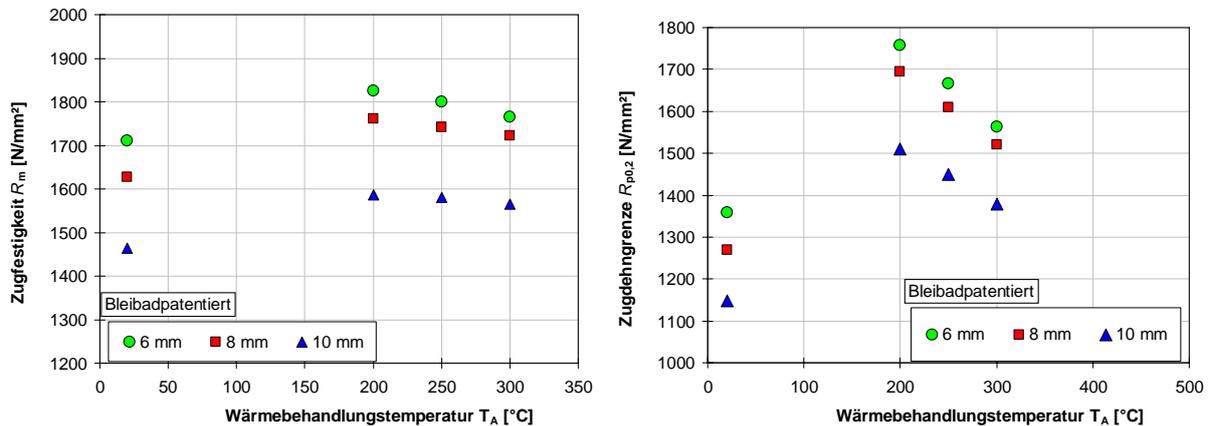


Bild 3: Zugfestigkeit R_m und Zugdehngrenze $R_{p0,2}$ in Abhängigkeit von Temperatur der Wärmebehandlung für $d = 6 / 8 / 10$ mm, patentiert gezogene Drähte aus bleibadpatentiertem Walzdraht

An den Drähten wurden die Torsionsfließgrenzen bestimmt. Die genaue Untersuchung des elastisch –plastischen Übergangsbereiches im Torsionsversuch ermöglicht Rückschlüsse auf den bei vorgegebener Spannung zu erwartenden Setzbetrag von Schraubendruckfedern aus diesem Material. Für diese Untersuchung ist der Torsionsversuch mit Be- und Entlasten geeignet. Das Pendant für die plastische Schiebung am Draht ist der Setzbetrag an der Feder.

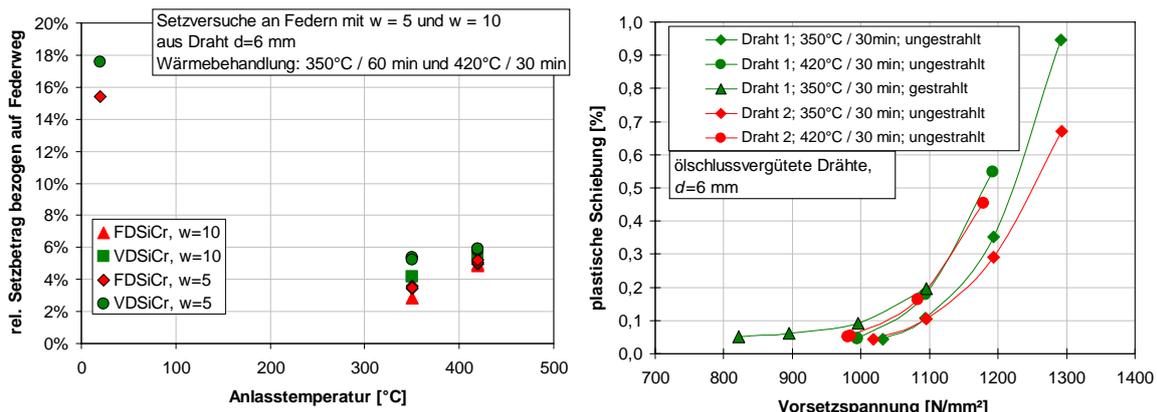


Bild 4: Relativer Setzbetrag von Federn (links) und plastische Schiebung als Funktion der Belastungsspannung (Vorsetzspannung) (rechts) in Abhängigkeit von der Temperatur der Wärmebehandlung und dem Drahtmaterial für $d = 6$ mm, ölschlussvergütete Drähte

Der Vergleich der beiden Drähte im Bild 4 z.B. bei einer Spannung von 1200 N/mm^2 zeigt, dass die Drähte nach einer Wärmebehandlung von $350 \text{ C} / 30 \text{ min}$ (viereckige Symbole) eine geringere plastische Schiebung aufweisen als die bei $420 \text{ C} / 30 \text{ min}$ wärmebehandelten (rund).

Deshalb ist auch bei so wärmebehandelten Federn ein geringerer Setzbetrag zu erwarten, was auch an Federn aus diesen beiden Drähten nachgewiesen wurde. Weiterhin haben die Federn aus dem Draht 2 (rot) einen geringeren Setzbetrag beim Vorsetzen als die Federn aus dem Draht 1 (grün), was ebenso den Untersuchungsergebnissen an den Drähten im Bild 4 entspricht. Der nach der Wärmebehandlung kugelgestrahlte Draht 1 führt ohne eine weitere Wärmebehandlung bereits bei geringen Vorsetzspannungen zum Erreichen der plastischen Schiebung von 0,04% (technische Torsionsfließgrenze).

Die Auswirkungen des Kugelstrahlens werden beispielhaft am Draht VDSiCr, $d=4,5\text{mm}$ durchgeführt. Für die Zug- und Torsionsversuche wurde der Draht wie folgt präpariert:

- Anlieferungszustand [A]
- Wärmebehandelt 350C / 30min [B]
- Wärmebehandelt 350C / 30min, kugelgestrahlt [C]
- Wärmebehandelt 350C / 30min, vortordiert bis $\tau=1200\text{N/mm}^2$, kugelgestrahlt [D]
- Wärmebehandelt 350C / 30min, kugelgestrahlt, wärmebehandelt 240C / 30min [E]
- Wärmebehandelt 350°C / 30 min, vortordiert $\tau=1200\text{N/mm}^2$, kugelgestrahlt, wärmebehandelt 240C / 30min [F]
- Wärmebehandelt 350C / 30min, kugelgestrahlt, vortordiert $\tau=1200\text{N/mm}^2$, [G]

Die Zugdehngrenze $R_{p0,2}$ verändert sich durch die Drahtvorbehandlungen um ca. 50N/mm^2 , die Zugfestigkeitswerte R_m verändern sich nahezu nicht, im Gegensatz zur Torsionsfließgrenze $\tau_t^*_{0,04}$. Durch die erste Wärmebehandlung wird $\tau_t^*_{0,04}$ leicht erhöht. Das Kugelstrahlen führt zu einer deutlichen Verringerung von $\tau_t^*_{0,04}$, die durch eine nachfolgende Wärmebehandlung vollständig aufgehoben wird. Das Vortordieren bis 1200N/mm^2 als letztem Arbeitsgang [F] bewirkt, dass der Draht bis nahezu zu dieser Spannung elastisch beansprucht werden kann.

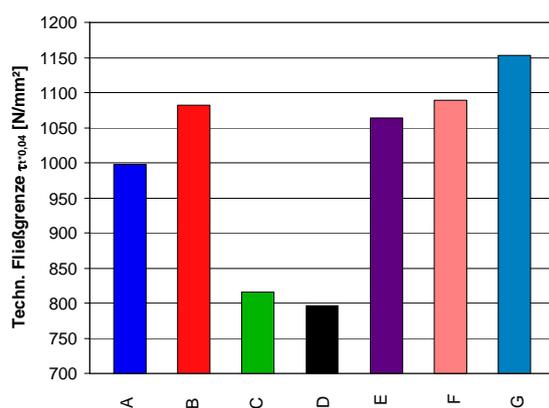


Bild 5: Technische Torsionsfließgrenze $\tau_t^*_{0,04}$ an kugelgestrahlten Drähten $d=4,5\text{mm}$, VDSiCr, Variation: Wärmebehandlungen, Vorsetzen, Kugelstrahlen

Es wurden Berechnungsmethoden entwickelt, die die Spannungs-Dehnungskennlinie des Materials nach allen Behandlungsschritten in der fertigen Feder in Auslegung und Nachrechnung berücksichtigen können.

Relaxationsuntersuchungen an Federstahldrähten

Relaxationsuntersuchungen wurden bisher ausschließlich an Bauteilen durchgeführt. Aus dem Draht einer Charge und Abmessung werden Federn mit verschiedener Geometrie hergestellt, für die jeweils zeitaufwendige Relaxationsuntersuchungen notwendig sind. Deswegen sollte geklärt werden, ob Relaxationsuntersuchungen an Drähten unter Torsionsbelastung Rückschlüsse auf die Relaxation von, aus diesen Drähten hergestellten, Federn zulassen. Relaxationsuntersuchungen an präparierten Drähten gestatten auch, den Einfluss des Drahtmaterials und der verschiedenen Arbeitsgänge der Federfertigung auf den Relaxationsverlust der Feder abzuschätzen.

Zahlreiche Relaxationsuntersuchungen an verschieden präparierten Federstahldrähten und an daraus gefertigten Druckfedern zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen beiden Versuchen. Die Relaxationsversuche an den Drähten ermöglichen vergleichende Untersuchungen zwischen verschiedenen Materialien oder Verarbeitungsschritten.

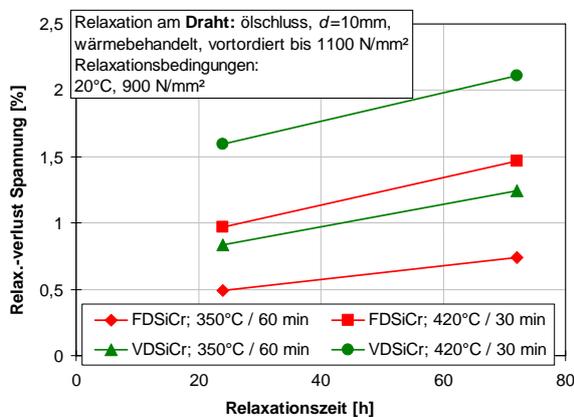


Bild 6: Relaxationsverlust (Spannung) an ölschlussvergüteten Drähten mit $d = 10\text{ mm}$

Zug- und Biegeversuche an Bändern

Für diese Versuche standen Bänder aus 1.4310 mit Banddicken $0,1\text{mm}$ und $0,5\text{mm}$ und variierter Festigkeit zur Verfügung. Die Proben wurden jeweils längs und quer zur Walzrichtung entnommen.

Sowohl bei den Zugversuchen als auch bei den 3-Punkt-Biegeversuchen überraschte der deutliche Unterschied im ermittelten Anstieg der elastischen Geraden (E-Modul) zwischen den längs zur Walzrichtung und den quer zur Walzrichtung geschnittenen Proben. Bei den NS-Bändern liegt der E-Modul der quer geschnittenen Probe um ca. 15GPa , bei HS-Bändern sogar um 30GPa über den der längs zur Walzrichtung geschnittenen Proben. Untersuchungen an Biegefedern aus den entsprechenden Materialien haben das bestätigt. Es wurden auch deutliche Veränderungen der Zugkennwerte mit der Wärmebehandlungstemperatur festgestellt.

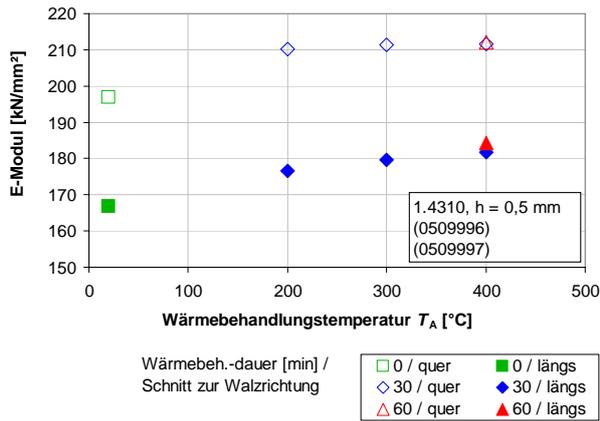


Bild 7: Zugfestigkeit R_m , Zugdehngrenze $R_{p0,2}$, Elastizitätsmodul E , Gleichmaßdehnung A_g in Abhängigkeit von Temperatur und Dauer der Wärmehandlung sowie vom Schnitt zur Walzrichtung für Band $h = 0,5$ mm, hohe Festigkeit 1.4310

Webbasierte Datenbank

Die im Vorgängerprojekt [1] erstellte Datenbank, die bereits die Parameter von Zug- und Torsionsversuchen an Drähten mit $1,0 \leq d \leq 4,5$ mm enthält, wurde nicht nur durch die neuen Daten, sondern auch in der Bedienung erweitert. Die Datenbank enthält sowohl die Kennwerte der Zug- und Torsionsversuche an den patentiert gezogenen, ölschlussvergüteten und nicht rostenden Drähten mit $1 \leq d \leq 10$ mm, als auch die kompletten Kennlinien, die z.B. zur Materialbeschreibung in FEM-Simulationen verwendet werden können. Die Kennwerte und -linien wurden an Drähten ab Werk, an wärmebehandelten, vorgesetzten und kugelgestrahlten Drähten ermittelt. Der Nutzer der Datenbank kann damit die Veränderung eines ihn interessierenden Parameters durch die verschiedenen Arbeitsschritte der Federfertigung verfolgen. Damit können Rückschlüsse zum einen auf die Dimensionierung der Federn aus Draht und Bandmaterial und zum anderen auch auf die Parameter der Federfertigung gezogen werden.

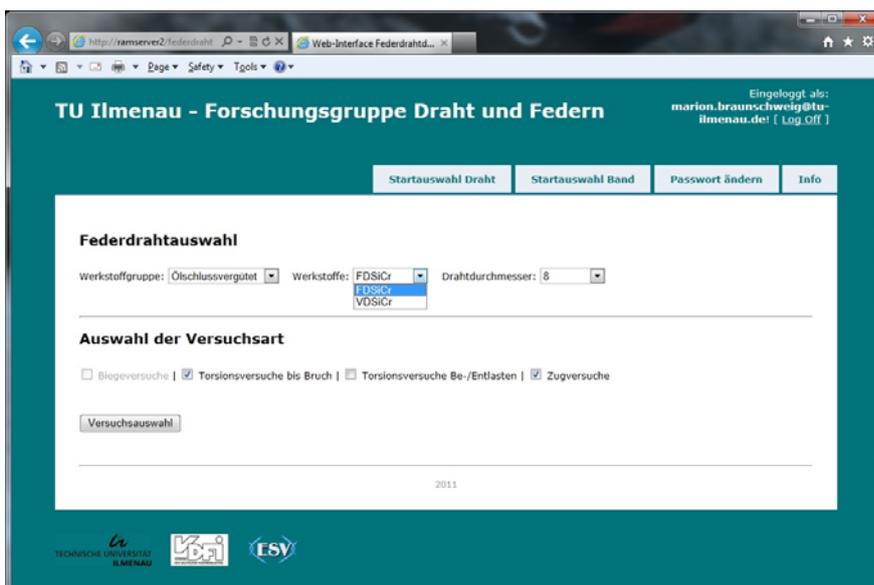


Bild 8: Auswahlmenü der Datenbank: DropDown Listen mit dynamischem Inhalt

Die Datenbank enthält auch erste Ergebnisse von Untersuchungen an Bändern aus 1.4310.

Parameter sind die Lage der Probe zur Walzrichtung, die Wärmebehandlung und die Festigkeit.

Literatur

- [1] Weiß, M.; Geinitz, V. u.a.: Ermittlung von funktions- und fertigungsrelevanten Federdrahtkennwerten. Abschlussbericht Forschungsthema: AiF 14306 BR (2007)

Förderhinweis

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 16217 BR der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. wurde über die AiF im Rahmen des 'Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)' vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichtes kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.

Ein herzliches Dankeschön an den projektbegleitenden Ausschuss unter Leitung von Herrn Freitag!

Die Autoren gehören zur Forschungsgruppe „Draht und Federn“ an der TU Ilmenau, Fakultät Maschinenbau.

Dr.-Ing. Veronika Geinitz: wissenschaftliche Mitarbeiterin, Projektleiterin
Veronika.geinitz@tu-ilmenau.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Mathias Weiß: Leiter Fachgebiet Rechneranwendung im Maschinenbau

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulf Kletzin: Leiter Fachgebiet Maschinenelemente, Leiter Forschungsgruppe „Draht und Federn“

TU Ilmenau
Fak. Maschinenbau
Postfach 100565
98684 Ilmenau