

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 16999 N 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.

Abschlusszusammenfassung

Projektnummer:	IGF 16999 BR	
Projekttitel:	Betriebsfeste Auslegung von Schraubendruckfedern unter Verwendung dynamischer Materialkennwerte aus Umlaufbiegeprüfungen	
Laufzeit:	01.03.2011 – 31.08.2013	
Gesamtmittel:	299.200,00 €	
Forschungsstelle:	TU Ilmenau, Fakultät Maschinenbau Fachgebiet Maschinenelemente, Prof. Dr.-Ing. Ulf Kletzin Max-Planck-Ring 12 (Haus F) 98693 Ilmenau	
Projektleiter:	Dipl.-Ing. René Reich	Tel.: 03677-69 1818
Sekretariat:	Tel.: 03677-69 2473	Fax: 03677-69 1259

Problemstellung

Die Entwicklungszeit von Schraubendruckfedern (SDF) wird maßgeblich durch den Musterprozess bestimmt. Bei der Auslegung von SDF im Rahmen des Musterprozesses müssen die Federgeometrie, die Betriebsbeanspruchung und die zulässige Beanspruchung des Materials berücksichtigt werden. Die größten Probleme bei der betriebsfesten Auslegung von SDF bereitet in der Praxis die Bestimmung der für die Auslegung notwendigen Festigkeitswerte des durch die Federfertigung schrittweise veränderten Drahtmaterials. Gegenwärtig werden aus diesem Grund Probefeder im Rahmen des Musterprozesses gefertigt und zeit- und kostenintensiven Dauerschwingversuchen unterzogen. Nur so kann bisher sichergestellt werden, dass die finale Feder die vorhandenen Beanspruchungen während des Betriebes für eine vorgegebene Lastwechselzahl sicher ertragen kann. Durch Umlaufbiegeprüfungen können auf einfache Weise Materialkennwerte ohne großen Zeit- und Kostenaufwand abgeprüft werden. Gegenwärtig wird durch Umlaufbiegeprüfungen eine dynamische Belastbarkeit im Sinne von Ausgangs- und Eingangsprüfungen festgestellt. Methoden und Zusammenhänge, um aus den Ergebnissen der Umlaufbiegeprüfungen auf die dynamische Federauslastbarkeit zu schließen, sind bisher nicht bekannt. Die dafür notwendigen Methoden sollten in diesem Projekt entwickelt und validiert werden.

Ziele

- Werkstoff-Wöhlerlinien und Dauerfestigkeitsschaubilder aktuell eingesetzter Federstahldrähte
- Methoden und Ansätze zur Übertragung der Ergebnisse aus Umlaufbiegeprüfungen am Federstahldraht auf dynamische Torsionsprüfungen am Draht
- Methoden und Ansätze zur Übertragung der Ergebnisse aus dynamischen Torsionsversuchen am Federstahldraht auf Dauerschwingversuche an Schraubendruckfedern
- Methoden und Ansätze zur Übertragung der Ergebnisse aus Umlaufbiegeprüfungen am Federstahldraht auf Dauerschwingversuche an Schraubendruckfedern
- Berechnungsbeziehung zur betriebsfesten Auslegung von Schraubendruckfedern auf Basis der ermittelten Zusammenhänge und Materialkennwerte
- Konkrete Hinweise zur Optimierung des Fertigungsschrittes Kugelstrahlen als ein wesentlicher Herstellungsschritt zur Steigerung der Lebensdauer dynamisch belasteter Draht- und Federproben unter Berücksichtigung der Wärmebehandlungsparameter
- Reduzierung von Dauerschwingversuchen an Schraubendruckfedern durch Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Umlaufbiegeprüfungen und Torsionsschwellversuchen am Draht und zwischen Torsionsschwellversuchen und Dauerschwingversuchen an Schraubendruckfedern

Vorgehensweise

1. Festlegung der Parameter des Drahtherstellungsprozesses, Bereitstellung von Drahtausgangsmaterialien, Festlegung der Federgeometrie auf Basis der Ergebnisse von vorangegangenen Forschungsprojekten
2. Vorbereitung von Versuchsdrähten und Versuchsfedern, Variation der Herstellungsparameter der Wärmebehandlung und des Kugelstrahlens
3. Analyse der Drahtausgangsmaterialien durch Ermittlung statischer Materialkennwerte
4. Durchführung von Eigenspannungsmessungen der unter Punkt 2 präparierten Probedrähte und Schraubendruckfedern zum Abgleich der Herstellungsparameter
5. Durchführung von Umlaufbiegeprüfungen der unter Punkt 2 vorbereiteten Drähte, Ermittlung zulässiger Biegespannungen und Erstellung von Wöhlerlinien

6. Durchführung von Torsionswechselversuchen und Torsionsschwellversuchen der unter Punkt 2 vorbereiteten Drähte, Festlegung von Versuchsparametern (Amplitude, Mittelspannung)
7. Durchführung von Dauerschwingversuchen der unter Punkt 2 vorbereiteten Schraubendruckfedern
8. Erarbeitung von Herangehensweisen zur Übertragung der Ergebnisse aus Umlaufbiegeprüfungen am Draht auf das finale Endprodukt Schraubendruckfeder
9. Validierung der unter Punkt 8 entwickelten Herangehensweise mittels zusätzlicher Stichprobenversuche an Draht- und Federproben
10. Aufbereitung der Ergebnisse des Projektes in Zwischenberichten und einem Abschlussbericht

Ergebnisse

Zug- und Torsionsversuche für verschieden wärmebehandelte Drähte

Die statischen Materialkennwerte wurden für zwei Ausgangsmaterialien (VDSiCr, d=3,7 mm; FDSiCr, d=7,9 mm) im Ausgangszustand und nach einer Wärmebehandlung bei verschiedenen Temperaturen und Zeiten ermittelt. Nachfolgend exemplarisch ein Auszug der Ergebnisse.

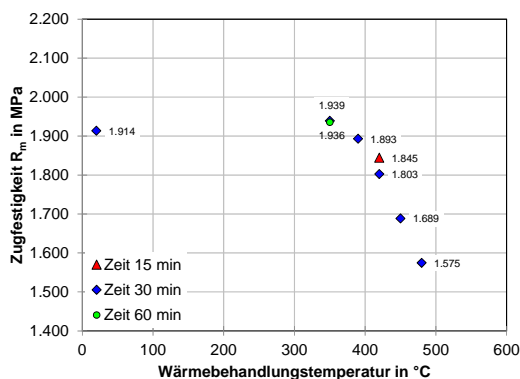


Abbildung 1: Zugfestigkeit R_m von VDSiCr Drähten mit $d=3,7$ mm

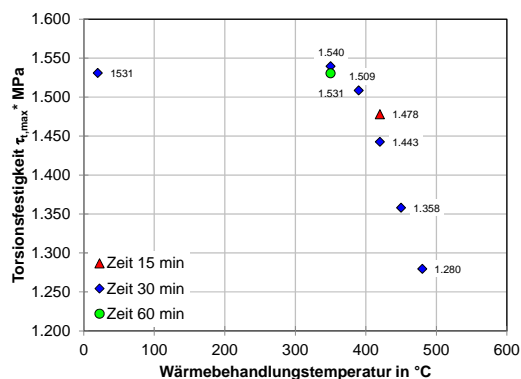


Abbildung 2: Torsionsfestigkeit $\tau_{t,max}^*$ von VDSiCr Drähten mit $d=3,7$ mm

Die Zugfestigkeit R_m fällt gegenüber 350°C Wärmebehandlungstemperatur mit steigenden Temperaturen kontinuierlich ab. Die Streckgrenze $R_{p0,2}$ zeigt ein mit der Zugfestigkeit R_m ähnliches temperatur- und zeitabhängiges Verhalten. Die Gleichmaßdehnung A_g , die Gesamtdehnung bis Bruch A und der E-Modul zeigen nur eine geringe Temperatur- und -zeitabhängigkeit.

Die Torsionsfestigkeit $\tau_{t,max}^*$ bleibt bei 350°C Wärmebehandlungstemperatur nahezu unverändert. Mit zunehmenden Temperaturen erfolgt ein deutlicher Abfall dieses Wertes. Die Torsionsfließgrenzen $\tau_{t0,04}$ und $\tau_{t0,4}$ nehmen bei 350°C Wärmebehandlungstemperatur deutlich zu und fallen mit weiter steigenden Temperaturen wieder stark ab. Die Verwindzahl, als Äquivalent der Bruchdehnung im Zugversuch, reagiert deutlich auf die Wärmebehandlung. Nach einer Reduzierung der Verwindzahl bei 350°C Wärmebehandlungstemperatur erfolgt bei 420°C Wärmebehandlungstemperatur ein sprunghafter Anstieg. Der G-Modul ist nur geringfügig von der Wärmebehandlungstemperatur und -zeit abhängig.

Werkstoffkennwerte aus Umlaufbiegeprüfungen (UBP), Torsionswechselversuchen (TWV) und Dauerschwingversuchen (DSV)

Die dynamischen Versuche wurden an nicht kugelgestrahlten (NK) und kugelgestrahlten (KS) unterschiedlich wärmebehandelten Drähten aus VDSiCr und FDSiCr der genannten Durchmesser und daraus gefertigten SDF durchgeführt. Da die Oberflächenrauheit und der Druckeigenstressverlauf der Draht- und Federproben deutliche Auswirkungen auf die dynamischen Materialkennwerte haben, wurden in einem ersten Schritt diese beiden schwingfestigkeitsbeeinflussenden Größen zwischen den verwendeten Draht- und Federproben abgeglichen und notwendige Strahlparameter festgelegt.

Die UBPs wurden an nicht kugelgestrahlten Drähten mit $d=3,7$ mm (VDSiCr) bis maximal 10^7 Lastwechsel und an kugelgestrahlten Drähten des gleichen Durchmessers bis 5×10^7 Lastwechsel durchgeführt. Die Ergebnisse der Biegewechselfestigkeit σ_{bw} für 10^6 und 10^7 Lastwechsel und der Festigkeitszuwachs $\Delta\sigma_{bw}$ durch den Kugelstrahlprozess sind in **Tabelle 1** für eine Überlebenswahrscheinlichkeit $P_{\bar{U}}=90\%$ zusammengefasst.

Tabelle 1: ULB, σ_{bw} bei $P_{\bar{U}}=90\%$ und $\Delta\sigma_{bw}$ durch den Kugelstrahlprozess, $d=3,7$ mm VDSiCr

WB	10^6 (NK) σ_{bw} in MPa	10^7 (NK) σ_{bw} in MPa	10^6 (KS) σ_{bw} in MPa	10^7 (KS) σ_{bw} in MPa	10^6 $\Delta\sigma_{bw}$ in MPa	10^7 $\Delta\sigma_{bw}$ in MPa
350°C/60 min	761	693	910	851 (873)	149	158 (180)
390°C/30 min	729	697	921	876	192	179
420°C/30 min	715	678	882	882	167	204

() Auswertung ohne Berücksichtigung von Brüchen aufgrund nichtmetallischer Einschlüsse (gilt auch für **Tabelle 2** bis **5**)

Die UBP an nicht kugelgestrahlten und kugelgestrahlten Drähten mit $d=7,9$ mm (FDSiCr) wurden bis 10^6 Lastwechsel durchgeführt. Die Ergebnisse der Biegewechselfestigkeit σ_{bw} für 10^5 und 10^6 Lastwechsel und der Festigkeitszuwachs $\Delta\sigma_{bw}$ durch den Kugelstrahlprozess sind in **Tabelle 2** für eine Überlebenswahrscheinlichkeit $P_{\bar{U}}=90\%$ zusammengefasst.

Tabelle 2: ULB, σ_{bw} bei $P_{\bar{U}}=90\%$ und $\Delta\sigma_{bw}$ durch den Kugelstrahlprozess, $d=7,9$ mm FDSiCr

WB	10^5 (NK) σ_{bw} in MPa	10^6 (NK) σ_{bw} in MPa	10^5 (KS) σ_{bw} in MPa	10^6 (KS) σ_{bw} in MPa	10^5 $\Delta\sigma_{bw}$ in MPa	10^6 $\Delta\sigma_{bw}$ in MPa
350°C/60 min	466	406	865	805 (823)	399	399 (417)
420°C/30 min	520	468	861	808 (818)	341	340 (350)

Die TWV wurden aus zeitlichen Gründen ausschließlich an nicht kugelgestrahlten und kugelgestrahlten Drähten des Durchmessers $d=3,7$ mm (VDSiCr) durchgeführt. Die Ergebnisse der Torsionswechselfestigkeit τ_a für 10^6 und 10^7 Lastwechsel und der Festigkeitszuwachs $\Delta\tau_a$ sind in **Tabelle 3** für eine Überlebenswahrscheinlichkeit $P_{\bar{U}}=90\%$ zusammengefasst.

Tabelle 3: TWV, τ_a bei $P_{\bar{U}}=90\%$ und $\Delta\tau_a$ durch den Kugelstrahlprozess, $d=3,7$ mm VDSiCr

WB	10^6 (NK) τ_a in MPa	10^7 (NK) τ_a in MPa	10^6 (KS) τ_a in MPa	10^7 (KS) τ_a in MPa	10^6 $\Delta\tau_a$ in MPa	10^7 $\Delta\tau_a$ in MPa
350°C/60 min	456	397	620	575	164	178
420°C/30 min	480	400*	576	548	96	148

* aus vorliegenden Versuchen abgeschätzter Wert

Die DSV an nicht kugelgestrahlten Federn aus VDSiCr mit $d=3,7$ mm wurden auf zwei Mittelspannungshorizonten ($\tau_{k'm}$) bis maximal 10^7 Lastwechsel durchgeführt. Die Ergebnisse der zulässigen Spannungsamplitude $\tau_{k'a}$ sind für 10^6 und 10^7 Lastwechsel in **Tabelle 4** für eine Überlebenswahrscheinlichkeit $P_{\bar{U}}=90\%$ zusammengefasst.

Tabelle 4: DSV, $\tau_{k'a}$ bei $P_{\bar{U}}=90\%$ an nicht kugelgestrahlten Federn aus VDSiCr Drähten, $d=3,7$ mm, $w=6$

WB	$\tau_{k'm}$ in MPa	$\tau_{k'a}$ in MPa (10^6 LW)	$\tau_{k'a}$ in MPa (10^7 LW)
350°C/60 min	550	350	297
	830	314	258
420°C/30 min	500	-*	297
	770	319	270

* Prüfdaten für statistische Auswertung nicht ausreichend

Die Dauerschwingversuche an kugelgestrahlten Federn aus VDSiCr des Drahtdurchmessers $d=3,7$ mm wurden auf zwei Mittelspannungshorizonten ($\tau_{k'm}$) bis maximal 5×10^7 Lastwechsel durchgeführt. Die Ergebnisse der zulässigen Spannungsamplitude $\tau_{k'a}$ sind für $10^6, 10^7$ und 5×10^7 Lastwechsel in **Tabelle 5** für eine Überlebenswahrscheinlichkeit $P_{\bar{U}}=90\%$ zusammengefasst.

Tabelle 5: DSV, $\tau_{k'a}$ bei $P_{\bar{U}}=90\%$ an kugelgestrahlten Federn aus VDSiCr, $d=3,7$ mm, $w=6$

WB	$\tau_{k'm}$ in MPa	$\tau_{k'a}$ in MPa (10^6 LW)	$\tau_{k'a}$ in MPa (10^7 LW)	$\tau_{k'a}$ in MPa (5×10^7 LW)
350°C/60 min	600	504	431	401
	850	392	361	356
420°C/30 min	580	487	424	421
	820	-*	346	342

* Prüfdaten für statistische Auswertung nicht ausreichend

Auf die Angabe von Festigkeitswerten für die Federn aus FDSiCr des Drahtdurchmessers $d=7,9$ mm wird an dieser Stelle verzichtet, da überwiegend Brüche ausgehend von der Windungsaußenseite und Windungsseitenfläche erzeugt wurden, die für die Ermittlung einer Übertragungsfunktion ungünstig sind. Die Ergebnisse dieser Versuche im Detail sind dem Abschlussbericht zu entnehmen.

Auswertung von Einschlussbrüchen

An den durch dynamische Versuche erzeugten Brüchen an Draht- und Federproben wurden Bruchanalysen durchgeführt. Es ergaben sich für die jeweilige Beanspruchungsart typische Versagensursagen. Bei Umlaufbiegeprüfungen wurde eine deutlich größere Anzahl von Brüchen aufgrund nichtmetallischer Einschlüsse festgestellt, als bei dynamischen Torsionsversuchen am Draht oder DSV an Federn. Die Brüche aufgrund nichtmetallischer Einschlüsse wurden unter Verwendung bruchmechanischer Beziehungen ausgewertet.

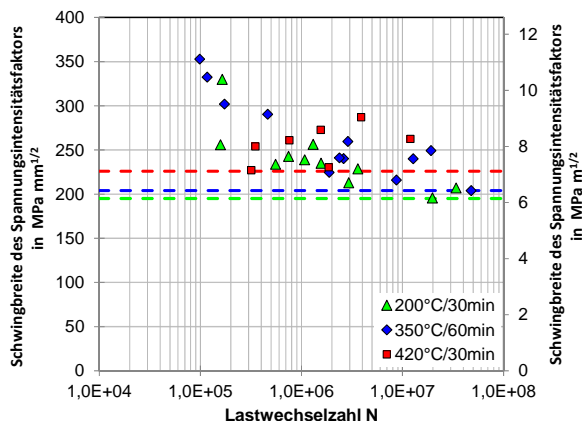


Abbildung 3: Schwingbreite der Spannungsintensität ΔK_I bei ULB für verschieden wärmebehandelte Drähte

Es wurden deutliche Auswirkungen der Wärmebehandlung auf die festgestellten Schwingbreiten der Spannungsintensität ΔK_I festgestellt. Wärmebehandlungstemperaturen, die eine Steigerung der Duktilität des Werkstoffes hervorrufen, wirken sich positiv auf die minimal festgestellten ΔK_I -Werte aus. Dies wurde sowohl bei den Drähten aus VDSiCr des Durchmessers $d=3,7$ mm, als auch bei den Drähten aus FDSiCr des Durchmessers $d=7,9$ mm festgestellt.

Übertragungsmethoden

Für eine Übertragung der Ergebnisse aus Umlaufbiegeprüfungen wurden verschiedene Ansätze vorgeschlagen. Diese basieren auf bruchmechanischen Überlegungen (**Methode 1**) und phänomenologisch abgeleiteten Zusammenhängen (**Methode 2 und 3**).

Mit Hilfe der **Methode 1** können Brüche an Federn aufgrund von nichtmetallischen Einschlüssen ausgewertet und auf Ergebnisse aus Umlaufbiegeprüfungen übertragen werden. Ebenso kann auf diese Weise eine örtlich an der Stelle des Einschlusses zulässige Spannungsamplitude in Abhängigkeit von Einschlussgröße, -lage und Spannungsverhältnis R auf Grundlage von Ergebnissen aus Umlaufbiegeprüfungen ermittelt werden.

$$\Delta K_{I,R,DSV} = \tau_{a,l} \cdot \sqrt{\frac{16}{\pi} \cdot 2a} \quad (1)$$

$$\Delta K_{I,R=-1} = \frac{\Delta K_{I,R,DSV}}{(1-R_{DSV})^{0,31}} \cdot 2^{0,31} \quad (2)$$

Die Schwingbreite der Spannungsintensität $K_{I,R}$ wird bei **Methode 1** mit Hilfe von **Gleichung 1** in Abhängigkeit vom vorhandenen Spannungsverhältnis R_{DSV} ermittelt. Dabei ist $\tau_{a,l}$ die lokal über dem Einschluss vorhandene Torsionsspannungsamplitude und $2a$ der Einschlussdurchmesser. Eine Überführung auf eine rein wechselnde Beanspruchung ($R=-1$), wie sie bei Umlaufbiegeprüfungen vorhanden ist, erfolgt mit Hilfe von **Gleichung 2**.

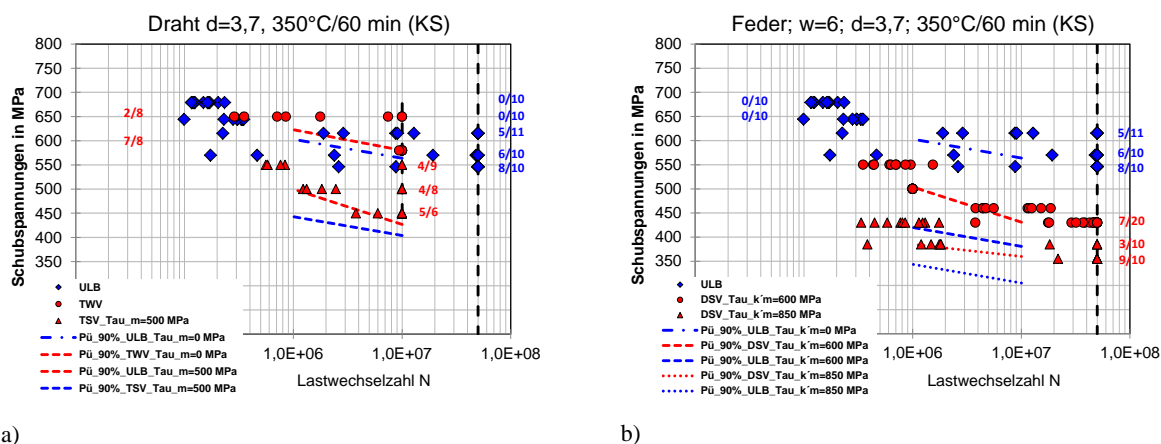
Für die Anwendung der **Methode 2** sind ausschließlich Ergebnisse aus Umlaufbiegeprüfungen an kugelgestrahlten Drähten erforderlich. Durch die im Rahmen dieses Projektes erfolgten Versuche wurde zwischen der Biege-wechselfestigkeit und der Torsionswechselfestigkeit näherungsweise ein Verhältnis von $\sqrt{3}$ bei nicht kugelgestrahlten Drähten und $\sqrt{2}$ bei kugelgestrahlten Drähten festgestellt. Eine Überführung in den Torsionsschwellbereich ($R \geq 0$) erfolgt unter Verwendung der Mittelspannungsempfindlichkeit nach **Gleichung 3** in **4** ($a_M=0,29$; $b_M=-0,1$).

$$M_\sigma = a_M \cdot 10^{-3} \cdot R_m + b_M \quad (3)$$

$$\tau_{k'a} = \tau_w - \frac{\tau_w}{\sigma_{bW}} M_\sigma \cdot \tau_{k'm} \quad (4)$$

Die Berechnung der zulässigen Spannungsamplitude $\tau_{k'a}$ erfolgt unter Verwendung der Wirkzahl k' .

Die **Methode 3** basiert auf Ergebnissen aus Umlaufbiegeprüfungen an kugelgestrahlten und nicht kugelgestrahlten Drähten. Im Gegensatz zur Methode 2 wird bei dieser Methode von einem Verhältnis der Biege-wechselfestigkeit und Torsionswechselfestigkeit an ungestrahlten Drähten von $\sqrt{3}$ ausgegangen.



a)

b)

Abbildung 4: Übertragung der Ergebnisse aus Umlaufbiegeprüfungen an VDSiCr Drähten des Durchmessers $d=3,7$ mm mit Methode 3 auf a) TWV am Draht $350^\circ\text{C}/60$ min b) DSV an Federn $350^\circ\text{C}/60$ min

Weiterhin wird ein betragsmäßig gleicher Anstieg der Festigkeitswerte ($\Delta\sigma$) bei Umlaufbiegeprüfungen und Torsionswechselversuchen durch den Kugelstrahlprozess vorausgesetzt (vgl. **Gleichung 5**).

$$\tau_W^{ES} = \frac{\sigma_{BW}^{o,ES}}{\sqrt{3}} + \Delta\sigma \quad (5)$$

Ein weiterer Vorteil der **Methode 3** ist die direkte Ermittlung der Mittelspannungsempfindlichkeit aus den Umlaufbiegeprüfungen an kugelgestrahlten und nicht kugelgestrahlten Drähten. So kann bei der Übertragung in den Torsionsschwellbereich auf allgemeine Gleichungen (vgl. **Gleichung 3**) verzichtet werden.

Die **Methode 3** liefert aufgrund des größeren bei UBP als bei DSV geprüften Drahtvolumens konservative zulässige Spannungen (vgl. **Abbildung 4**). Vorgeschlagen wird eine Kombination aus **Methode 1** und **3**, bei der die aus beiden Methoden resultierende minimale zulässige Spannung für die Federauslegung Verwendung finden sollte.

Validierende Versuche

Die vorgeschlagene **Methode 2** wurde an patentiert gezogenen Drähten mit Zugfestigkeiten zwischen 1600 MPa und 2300 MPa und daraus gefertigten Federn validiert.

Tabelle 6: Vergleich von aus UBP berechneten und durch DSV an Federn abgeprüften Festigkeitswerten

aus ULB berechnete Werte						aus DSV ermittelte Werte	
σ_{bW} [MPa]	R_m [MPa]	$\tau_{k'm}$ [MPa]	τ_w [MPa]	M_σ	M_τ	$\tau_{k'a}$ [MPa]	$\tau_{k'a}$ [MPa]
701	1642	560	495	0,38	0,27	344	385
696	1586	560	492	0,36	0,25	352	371
750	1663	560	530	0,38	0,27	378	368
693	1607	560	490	0,37	0,26	344	339
866	2240	560	612	0,55	0,39	394	411
808	2166	560	571	0,53	0,37	363	411

Die in **Tabelle 6** zusammengefassten, aus UBP ermittelten zulässigen Spannungsamplituden (blau) zeigen eine gute Übereinstimmung mit den durch DSV an Federn ermittelten Werten. Tendenziell erfolgt auch in diesem Fall eine leicht konservative Abschätzung der zulässigen Spannungen.

Praktischer Nutzen / Wirtschaftlichkeit

- Mit dem Prüfstand für dynamische Torsionsbelastungen können dynamische Materialkennwerte als wichtige Kenngröße zur Auslegung dynamisch belasteter Schraubendruckfedern aufgenommen werden. Des Weiteren können so auf einfache Weise zyklische Spannungs-Schiebungs-Hysteresen für den jeweiligen Werkstoff ermittelt werden.
- Durch Kenntnis der Zug- und Torsionskennwerte und deren Veränderung durch unterschiedliche Wärmebehandlungen kann der Musterprozess zielgerichteter durchgeführt werden, wodurch eine Verkürzung des Musterprozesses erfolgen kann.
- Dynamisch belastete Schraubendruckfedern werden i.A. kugelgestrahlt. Durch Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Strahlendruck und Strahlmittelgeschwindigkeit können die erforderlichen Parameter des Kugelstrahlprozesses auf das jeweilige Strahlgut angepasst werden.
- Höhere Strahlendrucke (hohe Strahlmittelgeschwindigkeiten) erzeugen nicht zwangsläufig größere Druckeigenspannungstiefen. Aufgrund dieses Zusammenhangs könnten teilweise die verwendeten Strahlendrucke reduziert werden, wodurch sich die Standzeiten der verwendeten Kugelstrahlanlagen erhöhen.
- Aussagen über das Relaxationsverhalten der Eigenspannungen unter thermischer und mechanischer Beanspruchung erlauben genauere Aussagen über den Eigenspannungszustand nach der jeweiligen Form der Beanspruchung. Dadurch kann der jeweilige Eigenspannungszustand bei der Auslegung der Feder berücksichtigt werden.
- Festigkeitswerte aus Umlaufbiegeprüfungen können als Referenz für Umlaufbiegeprüfungen an Drähten aus anderen Materialien dienen. So kann vorab abgeschätzt werden, ob bei Verwendung eines anderen Werkstoffes höhere oder niedrigere zulässige Spannungen bei daraus gefertigten Federn zu erwarten sind.
- Festigkeitswerte aus dynamischen Torsionsversuchen können für die Auslegung von Schraubendruckfedern mit unterschiedlicher Geometrie (Wickelverhältnis w) verwendet werden.
- Die erstellten Wöhler-Diagramme und Dauerfestigkeitsschaubilder (Goodman Diagramme) der verschiedenen wärmebehandelten Federn können als Grundlage der Auslegung neuer Federn mit verschiedenem Wickelverhältnis dienen, da die einzelnen Herstellungsparameter bekannt sind und bei der Darstellung k' -korrigierte Spannungen (bessere Vergleichbarkeit unterschiedlicher w) verwendet wurden.
- Die aus Umlaufbiegeprüfungen ermittelten bruchmechanischen Kennwerte (ΔK_{th}) spiegeln das Leistungsvermögen moderner Federwerkstoffe wider und können unter Verwendung von **Methode 1** direkt für die Federauslegung genutzt werden.
- Durch die beschriebenen Übertragungsmethoden (**Methode 2** und **Methode 3**) ist eine direkte Nutzung der Ergebnisse aus Umlaufbiegeprüfungen an Drähten für die Auslegung von Schraubendruckfedern möglich.

Die **Methode 2** wurde an Drähten aus patentiert gezogenem Material und daraus gefertigten Federn angewendet und validiert.

- Durch das im Rahmen des Projektes entwickelten Excel Tool zur Abschätzung des Setzbetrages kann der Musterprozess deutlich verkürzt werden.

Alle genannten Ergebnisse können nach Anpassung auf die betrieblichen Besonderheiten sofort genutzt werden. Dadurch kann eine deutlich genauere Auslegung der Schraubendruckfedern erfolgen, wodurch zeit- und kostenintensive Dauerschwingversuche teilweise entfallen können. Zudem kann die Veränderung des dynamischen Verhaltens infolge unterschiedlicher Wärmebehandlungen besser abgeschätzt werden, wodurch Wärmebehandlungszeiten reduziert, Durchlaufzeiten gesenkt und Energiekosten eingespart werden können.

Umsetzung und Ergebnistransfer

Die Forschungsstelle wurde bei der Durchführung des Vorhabens durch den PA aus leitenden Mitarbeitern der Federn- und Federstahldrahtindustrie, dem Verband der Deutschen Federnindustrie (VDFI) und der Eisendraht- und Strahldrahtvereinigung e.V. (ESV) unterstützt. Damit garantiert die Zusammensetzung des PA mit 16 teilnehmenden Firmen bereits das Bekanntmachen von Untersuchungsergebnissen in einem großen Anwenderkreis.

- Schriftlicher Bericht und ausführlicher Vortrag zu den laufenden Forschungsaktivitäten und –ergebnissen (PA-Treffen) Tischvorlagen verschickt am 01.04.2011, 13.10.2011, 19.04.2012, 18.10.2013, 11.04.2013, 21.08.2013
- Kurzbericht im Tätigkeitsbericht der VDFI-Jahreshauptversammlung: VDFI-Bericht JHV 2010-2013
- Vortrag: Internationales Wissenschaftliches Kolloquium Ilmenau 2011, 13.09.2011
- Seminar Kaltgeformte Federn 2012, 17.-19.09.2012
- Vortrag auf der VDFI-Fachtagung zu Federn: Ilmenauer Federntag 2013, 25.-26.09.2013
- Abschlussbericht über die Homepage der Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V.
- Information des Technischen Ausschusses der Eisendraht und Stahldrahtvereinigung e.V.
- Ausführliche Ergebnisdarstellung (Tagesveranstaltung) über Ziele, Ergebnisse und deren industrielle Nutzungsmöglichkeiten, Diskussion zur Überführungsstrategie am 18.03.2014
- VDFI Kurzdarstellung bis 12/2013
- Vortrag auf Sitzung des technischen Ausschusses des ESV (in Planung: I. Quartal 2014)
- Übernahme in die akademische Lehre
- Veröffentlichung in Fachzeitschrift „Draht“ (in Vorbereitung)
- Darstellung der Forschungsergebnisse auf Plakaten am Stand des VDFI anlässlich der WIRE, II. Quartal 2014
- Dissertation, wissenschaftliche Qualifikation des Bearbeiters

Dokumentation

R. Reich, U. Kletzin: Fatigue Damage Parameters and their use in estimating lifetime of helical compression springs. 56th International scientific colloquium, Ilmenau 2011

URN: urn:nbn:gbv:ilm1-2011iwk:5

R. Reich, U. Kletzin: Möglichkeiten zur Übertragung von dynamischen Materialkennwerten aus Umlaufbiegeprüfungen auf Schraubendruckfedern. Tagung Ilmenauer Federntag 2013, ISBN 978-3-938843-78-9

Ilmenau, den 08.11.2013

Ort, Datum

Unterschrift des Leiters und Stempelabdruck
der Forschungsstelle

Attendorn, den

Ort, Datum

Unterschrift des Leiters des projektbegleitenden
Gremiums