Prozesseinflüsse beim Federendenschleifen von Schraubendruckfedern

Schraubendruckfedern (SDF) kommen in zahlreichen technischen Anwendungen zum Einsatz, um mechanische Energie zu speichern, Kräfte zu übertragen oder Bewegungen zu steuern. Das Einsatzverhalten und die Lebensdauer der SDF werden hierbei insbesondere durch die Federenden beeinflusst, über welche die Krafteinleitung in die Feder stattfindet.

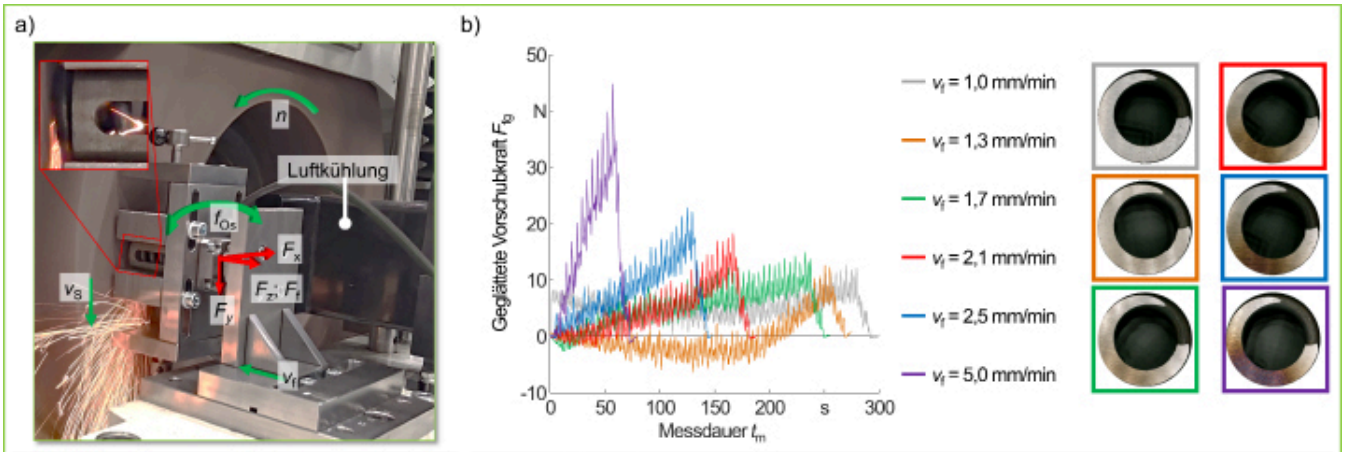


Abbildung 1: a) Analogie-Versuchsstand und kinematische Prozessgrößen; b) Vorschubkräfte F_f und resultierende Schlifffläche in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit v_f beim Federendenschleifen. *© ISF*

Typische Anwendungsgebiete sind unter anderem die Fahrzeugtechnik, der Maschinen- und Anlagenbau, die Schienenfahrzeugtechnik sowie die Elektrotechnik und die Feinwerktechnik [1–3]. Schraubendruckfedern (SDF) sollten so gestaltet sein, dass unabhängig von der jeweiligen Federstellung eine möglichst rein axiale Belastung gewährleistet ist [4,5]. Neben dem Einsatz von Federtellern, die zusätzlichen Bauraum erfordern, werden die Federenden in der Regel durch einen Planschleifprozess bearbeitet, um die gewünschten Anforderungen zu erreichen [6]. Durch einen vergleichsweise hohen Materialabtrag muss hierbei eine definierte Auflagefläche erzeugt werden, um eine möglichst axiale Krafteinleitung zu gewährleisten [6]. Aufgrund der steigenden Anforderungen an die Bauteilqualität und Lebensdauer sowie die Beeinflussung des Schleifprozesses durch die Eigendynamik der Feder ergeben sich besondere Herausforderungen an den Fertigungsprozess. Für eine stabile und prozesssichere Bearbeitung der Federenden ist daher ein umfassendes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen den Einstellparametern des Schleifprozesses und der Federgestalt sowie deren Einfluss auf die resultierende Qualität der Federenden erforderlich.

Das Institut für Spanende Fertigung (ISF) der TU Dortmund hat im Rahmen eines IGF-Forschungsvorhabens (IGF: Industrielle Gemeinschaftsforschung) Grundlagenuntersuchungen zum Federendenschleifen durchgeführt. Im Rahmen des Projektes wurde ein Analogieversuchsstand konzipiert und in Betrieb genommen. Hierbei konnten mittels Piezosensoren die wirkenden Prozesskräfte sowie mittels Zweifarben-Pyrometer die Temperaturen nahe der Wirkstelle gemessen werden. In Abbildung 1 sind die Kinematik des Analogieversuchsstands sowie Kraftmessschriebe und resultierende Schlifflächen geschliffener Federenden bei variierenden Vorschubgeschwindigkeiten v_f dargestellt.

Die Untersuchungen zum Federendenschleifen zeigen, dass das Bearbeitungsergebnis wesentlich durch die Vorschubgeschwindigkeit, die Federsteifigkeit und die sich verändernde Kontaktfläche abhängt. Durch die Prozesskinematik und die geometrische Beschaffenheit des Federendes nimmt die Kontaktfläche zwischen Werkzeug und Federende sukzessive zu, vgl. Abbildung 2. Die Variation der Vorschubgeschwindigkeit zeigte, dass die Vorschubkräfte mit zunehmendem Vorschub deutlich ansteigen. Bei hohen Vorschubgeschwindigkeiten erfolgt dieser

Anstieg bereits früh im Prozess, während er bei niedrigen Vorschüben erst später sichtbar wird. Ursache ist die während des Schleifvorgangs wachsende Kontaktfläche zwischen Schleifscheibe und Federende. Mit zunehmender Kontaktfläche steigen auch das Zeitspanvolumen, die Reibung und die mechanische Belastung. Höhere Vorschübe führen daher nicht nur zu einem schnelleren Kraftanstieg, sondern auch zu höheren maximalen Prozesskräften.

Die optische Bewertung der Schliffflächen zeigt, dass bei steigenden Vorschubgeschwindigkeiten zunehmend intensivere Anlassfarben auf der Schlifffläche auftreten. Diese Verfärbungen weisen auf hohe thermische Belastungen hin und können ein Indikator für Schleifbrand beziehungsweise eine Schädigung der Randzone sein. Besonders stark ausgeprägt war dieser Effekt bei Federn mit hoher Steifigkeit, was mit den dort ebenfalls höheren gemessenen Prozesskräften korreliert. Federn mit geringerer Steifigkeit zeigten dagegen deutlich weniger Verfärbungen. Querschliffe der bearbeiteten Federenden bestätigten diese Beobachtungen: Bei hohen Vorschüben erschien die Randzone weniger homogen und wies vermehrt Riefen sowie lokale Vertiefungen auf. Diese weisen auf eine zunehmende Beeinträchtigung der Oberfläche und Randzone hin.

Eigenspannungsmessungen lieferten weitere Hinweise auf thermisch bedingte Veränderungen. Mit zunehmender Vorschubgeschwindigkeit nehmen die Druckeigenspannungen tendenziell ab; teilweise entstanden sogar Zugeigenspannungen. Gleichzeitig verringerte sich lokal die Halbwertsbreite der Röntgendiffraktionsmessungen. Dies kann auf eine Gefüge- und Härteveränderung infolge hoher thermischer Belastungen hinweisen. Die Ergebnisse sprechen daher dafür, dass hohe Vorschubgeschwindigkeiten und die damit verbundenen Belastungen zu einer Veränderung der Randzone führen können.

Die Untersuchung des Zerspanvolumens ergab, dass bei höheren Vorschüben zwar in gleicher Zeit mehr Material abgetragen wird, am Prozessende bei niedrigeren Vorschubgeschwindigkeiten jedoch tendenziell höhere Abtragsvolumina erreicht werden. Eine mögliche Ursache ist das stärkere Einfedern der Feder bei hohen Vorschüben. Darüber hinaus stehen bei kürzeren Bearbeitungszeiten weniger Schneidkornüberläufe zur Verfügung. Bei einer Überlastung der Schleifscheibe können verstärkt die Materialabtragsmechanismen Mikrofurchen und Mikropflügen auftreten, während der Anteil an Mikrospanen sinkt. Damit einher geht eine Zunahme der Reibung in der Kontaktzone, was wiederum eine Erhöhung der Prozesstemperaturen bewirkt. Niedrigere Vorschübe begünstigen somit einen gleichmäßigeren Materialabtrag und homogenere Bearbeitungsergebnisse.

Vollfaktorielle Versuche zeigten, dass höhere Schleifscheibenumfangsgeschwindigkeiten die Prozesskräfte verringern können, vgl. Abbildung 2 b. Dies ist auf die Verbesserung der Materialabtragsmechanismen zurückzuführen. Durch die höhere Relativgeschwindigkeit nimmt der Anteil an Mikrospanen zu. Zudem verringert sich die Spanungsdicke, und die Reibung in der Kontaktzone wird reduziert. Gleichzeitig muss jedoch berücksichtigt werden, dass höhere Schnittgeschwindigkeiten die thermische Belastung steigern können. Eine geeignete Prozessauslegung muss deshalb mechanische und thermische

DIE RICHTIGE MATRIZE MACHT DEN UNTERSCHIED

Unsere präzisionsgefertigten Matrizen sind das Herzstück jeder PWM-Kaltpressschweißung. Sie werden in Großbritannien nach exakten Toleranzen für Anwendungen mit Stangen, Drähten, Bändern und Profilen entwickelt und hergestellt.

Mit einem umfassenden Sortiment an verfügbaren Größen und einem schnellen Wechsel zur Minimierung von Stillstandzeiten liefern PWM-Matrizen Schicht für Schicht und Jahr für Jahr gleichbleibende Ergebnisse.

Explore our full dies range at
pressureweldingmachines.co.uk



Pressure Welding Machines

Pressure Welding Machines Ltd
Tel: +44 (0) 1233 820847
info@pwmltd.co.uk

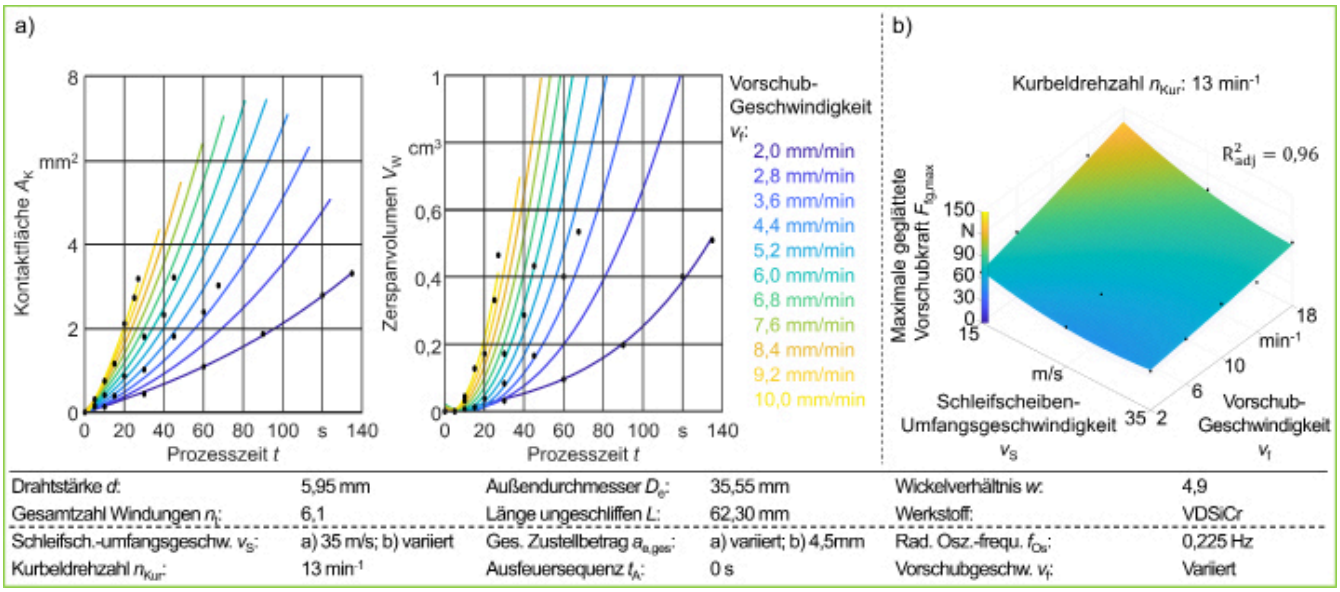


Abbildung 2: a) Veränderung der Kontaktfläche A_K und des Zerspanvolumens V_W über die Prozesszeit in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit; b) Einfluss von Schleifscheibenumfangsgeschwindigkeit v_S und Vorschubgeschwindigkeit v_f auf die maximale Vorschubkraft F_f. © ISF

Einflüsse gleichermaßen berücksichtigen. Darüber hinaus beziehen sich die dargestellten Ergebnisse ausschließlich auf Versuche im Analogieversuchsstand.

Die industrienahen Versuche bestätigten die grundlegenden Ergebnisse der Analogieversuche. Jedoch fallen die thermomechanischen Belastungen bei der Bearbeitung im Doppelseiten-Planschliff insgesamt geringer aus. Dies ist aufgrund der Bearbeitung einer größeren Anzahl an Federn sowie der höheren Relativgeschwindigkeiten erklärbar. Zusätzlich lässt sich für die Bearbeitung im Doppelseiten-Planschliff jedoch ein Einfluss der vertikalen Lage des Federendes sowie der radialen Position im Ladeteller feststellen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die thermomechanische Belastung beim Federendenschleifen das Bearbeitungsergebnis maßgeblich beeinflusst. Aufgrund des elastischen Werkstückverhaltens, der sich verändernden Kontaktbedingungen sowie der Prozesskinematik liegen komplexe Wechselwirkungen vor, die für eine Optimierung des Schleifprozesses weitergehend zu analysieren sind. Das Verständnis dieser Wechselwirkungen wird als essenziell angesehen, um den Prozess des Federendenschleifens zukünftig zu optimieren und so die Produktivität und Fertigungsqualität zu erhöhen. Gemeinsam mit dem Verband der Deutschen Federnindustrie (VDFI e.V.) arbeitet das ISF an einer Fortsetzung der Forschungstätigkeiten im Rahmen eines IGF-Vorhabens, um die thermomechanischen Belastungen beim Federendenschleifen weitergehend zu analysieren und Lösungen zur Reduktion dieser zu erarbeiten.

Förderhinweis und Danksagung

Gefördert durch Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages: Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des IGF-Vorhabens 22902 N|1 „Entwicklung einer Schleif- und Abrichtstrategie zum wirtschaftlichen Schleifen der Federenden von Schraubendruckfedern unter Berücksichtigung der hohen Qualitätsansprüche – Federendenschleifen“ erzielt.

Literatur

[1] Budynas R. G., and Nisbett K. J., 2015. Shigley’s mechanical engineering design, 10th ed., McGraw-Hill Education, New York, NY.

[2] Niemann G., Winter H., Höhn B.-R., and Stahl K., 2019. Maschinenelemente 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 5th ed., Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

[3] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2013,“Zylindrische Schraubendruckfedern aus Runddraht – Berechnung und Konstruktion: Teil 1: Druckfedern,” DIN EN 13906?1.

[4] Blum T., and Fries S., 2001. A5-Federendenschleifen: Ein Teil in der Prozesskette zur Herstellung einer Druckfeder, Ein Leitfaden zur Maschinen- und Verfahrenstechnik, TC Druck, Tübingen, Reutlingen.

[5] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2009, „A6 Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten – Gütevorschriften für kaltgeformte Druckfedern; Deutsche Fassung EN_15800:2008,” DIN EN 15800.

[6] Meissner M., Schorcht H.-J., Kletzin U., and Wanke K., Eds., 2015. A1-Metallfedern: Grundlagen, Werkstoffe, Berechnung, Gestaltung und Rechnereinsatz, 3rd ed., Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Die Autoren des Beitrags sind Meik Tilger und Dirk Biermann.

Technische Universität Dortmund
Institut für Spanende Fertigung, MB III | 3.014
Baroper Straße 303
44227 Dortmund
Ansprechpartner ist Dirk Biermann
Tel.: +49 231 755-2784
dirk.biermann@tu-dortmund.de