

Titel

Entwicklung eines Verfahrens zum Laserspannen und -richten von Kreissägeblättern

IGF-Nr.: 18323 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe (IFW),
Remscheid

Forschungseinrichtung 2: Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH),
Hannover

Ansprechpartner beim IFW-Remscheid: Dipl.- Phys. Ralph Keßler
02191 / 5921.127
kessler@fgw.de



Ansprechpartner beim LZH-Hannover: Dr.-Ing. Rabi Lahdo
0511 / 2788.358
r.lahdo@lzh.de



Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 18323 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

Aufgrund ihres ungünstigen Verhältnisses zwischen Durchmesser und Dicke sind scheibenförmige Werkzeuge wie Kreissägen anfällig für Schwingungen, welche die Schnittfugen auf Kosten von Wirtschaftlichkeit und Qualität verbreitern. Um eine geringere Breite der Schnittfugen und damit einen geringeren Materialverlust beim Trennprozess zu gewährleisten, müssen die Schwingungen minimiert und die Dicke der Kreissägeblätter weiter reduziert werden. Jedoch nimmt die dynamische Stabilität mit abnehmender Kreissägeblattstärke und zunehmendem Sägeblattdurchmesser ab. Um die Schwingungen zu reduzieren, werden die Werkzeuge vom Hersteller je nach Verwendungszweck und Einsatzbedingungen mit angepassten Eigenspannungen versteift. Das Einbringen von Spannungen in Kreissägeblätter wird heute durch ringförmiges Spannungswalzen realisiert. Anschließend werden die Blätter im Zuge des Richtprozesses überwiegend manuell mittels Hammerschlägen nachbearbeitet, um einen ausreichenden Planlauf zu gewährleisten. Dieser Prozess wird in der Regel von langjährig erfahrenen Arbeitskräften durchgeführt oder durch Richtapparaturen unterstützt, die jedoch bei wechselnden Kreissägeblätterchargen aufwändig angepasst werden müssen. Der Aufwand für das reproduzierbare, mechanische Spannen und Richten nimmt mit dünner werdenden Kreissägeblättern signifikant zu. Weiterhin ist die mechanische Verarbeitung von Kreissägen durch die Werkstoffhärte eingeschränkt, da Rissbildungen bei der mechanischen Bearbeitung bei hohen Härten fast unvermeidlich sind.

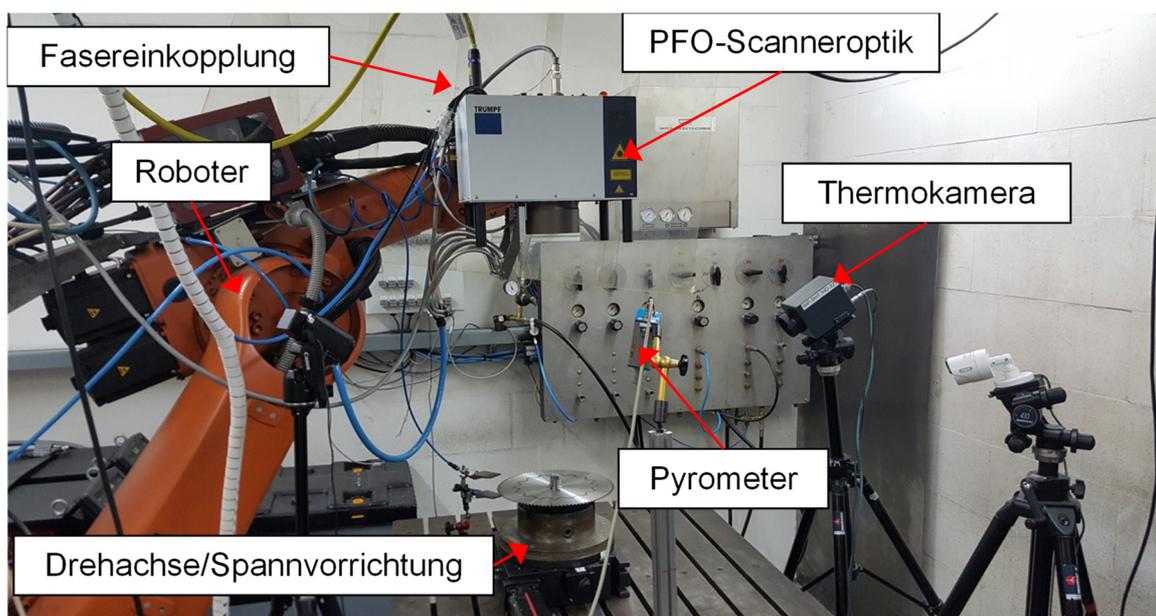


Abb.1: Versuchsaufbau für das laserbasierte Spannen und Richten von Kreissägeblättern mit den zugehörigen Systemkomponenten

Eine vielversprechende Alternative kann das Werkzeug Laser bieten. Hierdurch können die Eigenspannungen thermisch in das Kreissägeblatt induziert werden.

Forschungsziel

Ziel des Forschungsvorhabens war es, für ausgesuchte Stähle der Sägenindustrie das Laserspannen und -richten als alternatives Fertigungsverfahren zum mechanischen Walzspannen und mechanischen Richten mit wesentlich höherer Effektivität zu entwickeln. Hierdurch sollten gleichzeitig Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit des Spannens und Richtens von Kreissägeblättern signifikant gesteigert werden, so dass sich ein Potenzial zur Automatisierung bei der Kreissägeblattfertigung ohne die Notwendigkeit einer manuellen Nachbearbeitung ergibt. Dadurch sollen letztlich die Fertigungskosten gesenkt werden. Neben der Herstellung von Kreissägeblättern ist auch ihre Instandsetzung als Einsatzfeld für die entwickelte Methode denkbar.

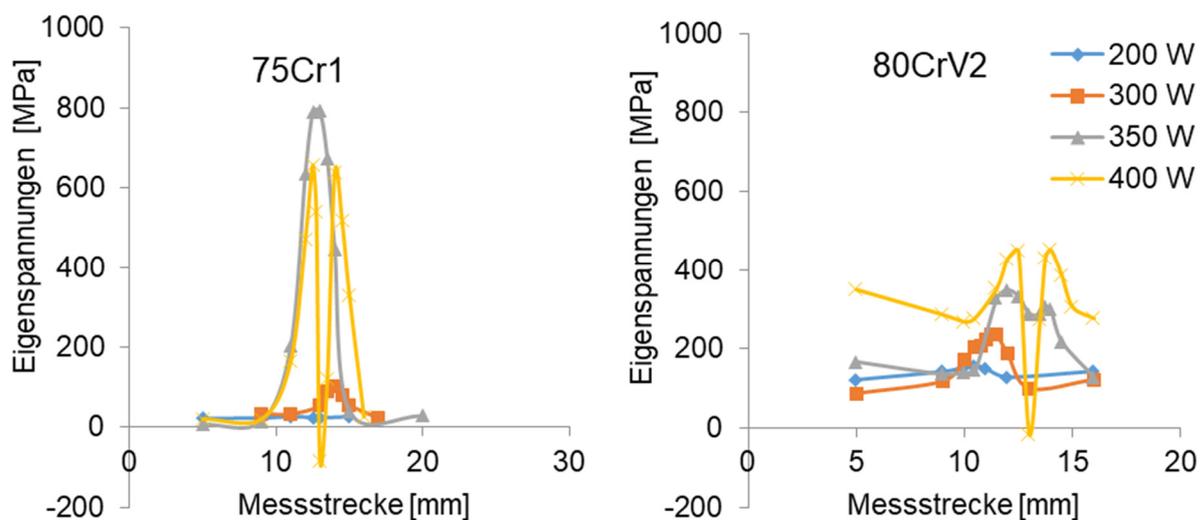


Abb. 2: Eigenspannungen in Abhängigkeit von der Laserleistung für zwei unterschiedliche Werkstoffe 75Cr1 (angelassener Martensit, links) und 80CrV2 (normalisiert, rechts).

Um das dargestellte Ziel zu erreichen, wurde der Laserprozess mit seinen passiven und aktiven Parametern Wellenlänge, Leistung, Spotdurchmesser, Bearbeitungsgeschwindigkeit etc. so gestaltet, dass die Kreissägeblätter die geforderten statischen (z.B. Planlauf, Steifigkeit) sowie dynamischen Eigenschaften (z.B. Eigenfrequenzen, Moden) erhalten. Die Induzierung der Eigenspannungen und der damit verbundenen Verzüge sollen dabei durch Einhaltung eines bestimmten Temperaturregimes keine Gefügeveränderungen hervorrufen.

Für die Verbesserung der Einstellung des dynamischen Verhaltens des Kreissägeblattes wurden Laserspuren anhand ihrer Eigenspannungsmaxima verglichen und daraus die geeigneten Laserparameter ermittelt. Ziel ist es dabei, in die radial äußeren Bereiche des Kreissägewerkzeuges Zugeigenspannungen einzubringen. Wichtig war es dabei, Parameter zu wählen, die zu keiner Neubildung von Martensit führen, da diese Druckeigenspannungen induzieren, die den gewünschten Zugeigenspannungen entgegenwirken. Anhand der Untersuchungen zum Einfluss des Spotdurchmessers wurde erkannt, dass die maximale Zugeigenspannung weitgehend unabhängig vom Spotdurchmesser ist. Hauptsächlich die Laserspurbreite und damit die Breite des Plateaus der Zugeigenspannung sind anhand des Spotdurchmessers einzustellen.

Die Haupteinflussgröße auf die induzierten Eigenspannungen ist die, durch die Laserstrahlungsabsorption erzeugte, Temperatur. Bei Temperaturen nahe der Austenitisierungsgrenze treten demnach die maximalen Zugeigenspannungen auf. Bei der Sichtprüfung der zuerst bestrahlten Seite des Kreissägewerkzeuges wurden Anlauffarben auf der gegenüberliegenden Seite der im ersten Schritt bestrahlten Fläche festgestellt, die einen starken Einfluss auf die im zweiten Schritt darauf aufgebrauchte Laserspurbreite hinsichtlich der Laserstrahlungsabsorption und damit auch der Temperatur haben. Hierauf wurde mit einer integrierten Temperaturüberwachung reagiert, welche die Scanneroptik (Fokussieroptik PFO 3d-2 PO der Firma Trumpf GmbH & Co. KG) der Laserstrahlung und damit die eingebrachte Temperatur steuert.



Abb. 4: Programmierbare Fokussieroptik (PFO 3D-2 PO)

Da die kreisförmige Laserspurradius Unregelmäßigkeiten hinsichtlich der Temperatur auf der Vorder- und Rückseite in Abhängigkeit von den Parametern aufwies, wurden mit Hilfe der Drehachse und der damit gesteuerten Vorschubgeschwindigkeit des Lasers temperaturgeregelte Laserspuren erzeugt. Dabei wurden auf beiden Seiten des Werkzeugs Solltemperaturen von bis zu 700 °C gewählt. Die dynamischen Messungen haben ergeben, dass sich die kritische Drehzahl durch die Erhöhung der Solltemperatur und vom größer werdenden Laserspurradius zu höheren Werten verschiebt.

Für die Untersuchung einer konstanten Wärmeausbreitung, wurde das Kreissägeblatt weiterhin quasi-simultan erwärmt. Bei einer mehrfachen, zeitlich direkt aufeinander folgenden Bearbeitung mit einem hohen Vorschub von 1000 mm/s hat sich das Kreissägeblatt derart stark aufgeschwungen, dass sich eine unregelmäßige Laserspurradius ausgebildet hat. Weiterhin wurde ein zu hoher Gesamtwärmeeintrag festgestellt, weil das Erreichen der Solltemperatur im Vergleich zu der mit langsameren Vorschubgeschwindigkeit in nur einem Umlauf eingebrachten Spur, nur langsam erfolgte. Eine Verschiebung der kritischen Drehzahl fand dabei nicht statt.

Durch die Erstellung eines geeigneten FEM-Modells, welches auf den vorher experimentell ermittelten Werten an Probeblechen erfolgte, konnten die Parameter für die Laserstrahlbehandlung für das Spannen und Richten von Kreissägewerkzeuge eingegrenzt werden. Bei der anschließenden Validierung des Modells an Kreissägewerkzeugen zeigte sich eine gute Übereinstimmung des Modells mit den experimentell ermittelten Werten.

Mit den erarbeiteten und gewählten Parametern wurden Kreissägeblätter kreisförmig und beidseitig bestrahlt. Die Bearbeitung bei Laserspurradien von 65 %, 70 % und 80 % des Kreissägeblattradius haben gezeigt, dass die kritische Drehzahl mit zunehmendem Bearbeitungsradius von 6600 min^{-1} (65 %) auf 7310 min^{-1} (80 %) steigt.

Die Verwendung eines Spotdurchmessers von 12 mm hat ergeben, dass sich das Kreissägeblatt aufgrund des hohen Gesamtwärmeeintrags thermisch verzieht. Bei einem Spotdurchmesser von lediglich 5 mm wurde kein makroskopischer Verzug

festgestellt, jedoch konnte die kritische Drehzahl aufgrund der schmalen Laserspurr nicht genügend angehoben werden. Ein Spotdurchmesser von 8 mm in Kombination mit einem Laserspurradius von 80 % des Sägeblatradius hat die kritische Drehzahl auf einen hinsichtlich der industriellen Anforderungen ausreichend hohen Wert oberhalb von 7000 min^{-1} verschoben, was schon nahe an der Grenze zur Überspannung liegt.

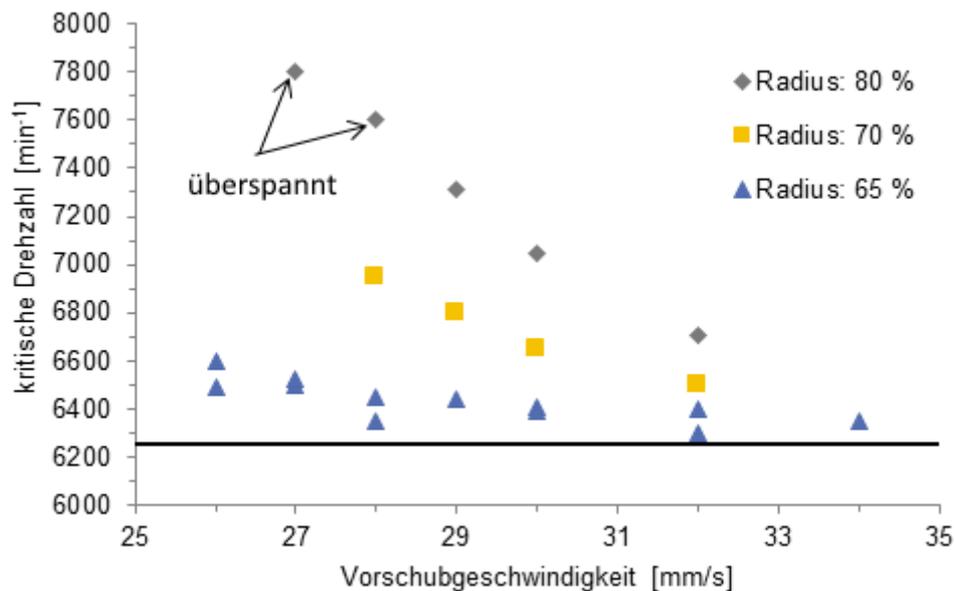


Abb. 5: Kritische Drehzahl lasergespannter Kreissägeblätter in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit des Laserstrahls für drei verschiedene Bearbeitungsradien bei einem Spotdurchmesser von 8 mm.

Wie sich gezeigt hat, ist dabei dann ein nachträglicher Richtprozess unumgänglich. Das mehrfache Bestrahlen eines Kreissägeblattes hat ergeben, dass sich mit zunehmender Anzahl an kreisförmigen Laserspuren die kritische Drehzahl auch weiter in den überspannten Bereich verschieben lässt.

Die kritischen Drehzahlen wurden dabei mittels eines Laserdopplervibrometers und einer Einheit ermittelt, die das rotierende Werkzeug optisch in den Stillstand versetzt. So konnten die unaufgespalteten, drehzahlabhängigen Eigenfrequenzen wiederum drehzahlabhängig ermittelt werden. Schnittpunkte Eigenfrequenzlinien mit den höheren Ordnungen der Drehzahl sind in der Abbildung 6 dargestellt und markieren die kritischen Drehzahlen.

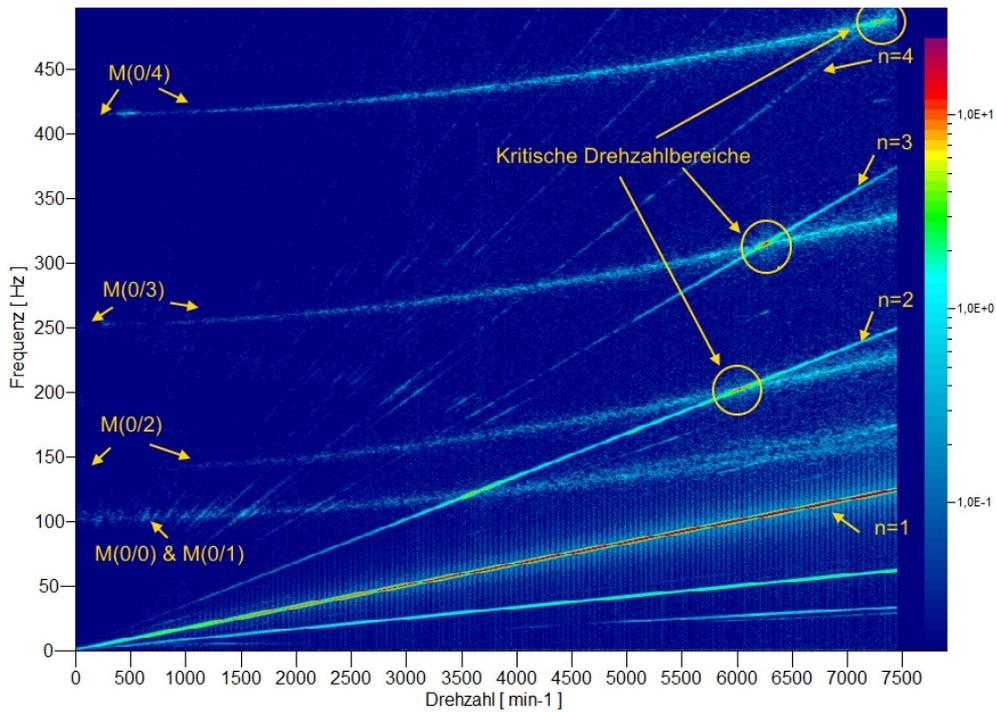


Abb. 6: Gemessenes Campbell-Diagramm eines ungespannten Versuchswerkzeuges, \varnothing 300 mm, $d = 1,8$ mm, unbestückt.

Im Zuge weiterer Untersuchungen wurden Kreissägeblätter mit verschiedenen Freiformgeometrien, wie beispielsweise einer Sinus-Form, einer Halbkreis-Form sowie einer S-Form erzeugt und mit kreisförmigen Laserspuren verglichen.

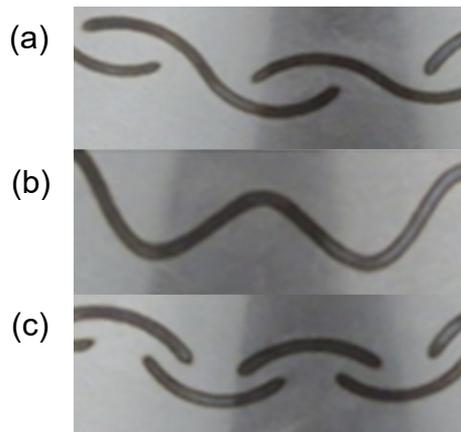


Abb. 7: Freiformgeometrien S-Form (a), Sinusform (b) und Halbkreisform (c)

Die Messung des dynamischen Verhaltens hinsichtlich der kritischen Drehzahl zeigte, dass die Freiformgeometrien erstmal keinen Vorteil gegenüber der Kreisform bieten. Zusätzlich war die eingebrachte Gesamtwärme zu hoch, so dass ein nachträglicher Richtprozess zu einem erhöhten Aufwand führt. Die Möglichkeit, mit dem Laser

Freiformen derart einzubringen, dass die Bearbeitungsspuren abgesetzt werden können, bietet das vorteilhafte Potential, Kreisformen radial weiter außen am Kreissägewerkzeug anzubringen. Somit können Bereiche, in denen Räumschneiden oder Dehnungs- und Dämpfungsschlitz angebracht sind, entsprechend auch abgesetzt gespannt werden. Dieses bietet einen eindeutigen Vorteil gegenüber dem konventionellen, mechanischen Spannen.

Für den Laserrichtprozess wurden die grundsätzlichen Laserparameter und Abhängigkeiten der induzierten Temperaturen zur definierten Verformung der Kreissägeblätter ermittelt.

Zuletzt wurden auf Grundlage dieser Ergebnisse bestückte Kreissägeblätter bearbeitet. Diese wurden hinsichtlich ihrer kritischen Drehzahlen bewertet und zeigten analog zu den unbestückten Kreissägeblätter mit zunehmender Temperatur eine Verschiebung der kritischen Drehzahl zu höheren Werten. So konnten Kreissägeblätter mittels Laser derart gespannt werden, dass sie den Praxisanforderungen gerecht werden. Anschließende praxisnahe Laborversuche haben gezeigt, dass die mittels Laser gespannte Werkzeuge mindestens die gleiche Qualität wie konventionell gespannte Werkzeuge erreichen. Die Vorteile des laserbasierten Spannens von Kreissägewerkzeuge basieren aber einerseits auf der Möglichkeit der Automatisierung und damit einem kontinuierlichen Qualitätsniveau. Andererseits aber auch auf der Möglichkeit, erforderliche Zugeingenspannungen direkt in radial weiter äußeren Bereichen am Werkzeug einzubringen, die durch Räumschneiden, Dehnungs- oder Dämpfungsschlitz unterbrochen sein könnten.

Zusammenfassung

Ziel des Vorhabens war es, die Laserstrahlbehandlung für das Richten und Spannen von Kreissägewerkzeuge zu qualifizieren. Es konnte gezeigt werden, dass durch die Applikation von Laserlicht die Verzüge aus den Kreissägewerkzeugen grundsätzlich herausgerichtet werden können. Zudem wurden Parameter erarbeitet, mit denen ungespannte Kreissägewerkzeuge im gesamten nutzbaren Spannungsbereich prozesssicher und definiert gespannt werden können. Hierdurch sind die kritischen Drehzahlen und damit das dynamische Verhalten der Kreissägewerkzeuge ebenfalls definiert, je nach gefordertem Anwendungsfall einstellbar.

Die Vorteile der thermischen Spannungseinbringung durch die Laserbestrahlung gegenüber dem klassischen mechanischen Verfahren liegen in der höheren Prozesssicherheit durch definiert einstellbarer Prozessparameter und in der Automatisierbarkeit des Richt- und Spannungsprozess. Bei den kreisförmigen Freiformen durch den Laser können so zudem notwendige Spannsuren, beispielsweise an Räumschneiden, Dämpfungs- und Dehnungsschlitzten, prozesssicher, zielführend und automatisiert unterbrochen werden, was einen erheblich geringeren Aufwand bedeutet, als beim konventionellen, mechanischen Spannen. Insgesamt ergibt sich hierdurch das Potential im Herstellungsprozess Kosten einzusparen und durch die Prozesssicherheit qualitativ hochwertigere Kreissägewerkzeuge zu produzieren.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie gerne bei Herrn Dipl.-Phys. Ralph Keßler unter 02191 5921.127.