

Mikromagnetische Härtebeurteilung mit Punktsonden für den industriellen Einsatz bei kleinen Stückzahlen

Klaus SZIELASKO^{*}, Meisam SHEIKH AMIRI^{*}, Iris ALTPETER^{*}, Christian BOLLER^{*},
Dieter FISCHER^{**}, Jens HAHN^{**}

^{*} Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren (IZFP), Saarbrücken
^{**} SITEC Industrietechnologie GmbH, Chemnitz

Kurzfassung. Mikromagnetische Prüfverfahren erlauben die zerstörungsfreie Bestimmung der mechanischen Härte ferromagnetischer Werkstoffe. Die hierfür eingesetzten Prüfköpfe müssen bislang stets an die betrachtete Bauteilgeometrie angepasst werden. Nach einer Kalibrierung an Proben mit bekannten Härtewerten ist eine industrielle Serienprüfung möglich.

Bei der Produktion kleiner Stückzahlen mit ständig wechselnden Bauteilgeometrien ist diese Vorgehensweise jedoch nicht rentabel. Es besteht ein Bedarf an Prüflösungen, die eine zerstörungsfreie Härtebeurteilung ohne Prüfkopf-anpassung und aufwändige Kalibrierung gestatten. Im Rahmen eines ZIM-Forschungsvorhabens mit Zusammenarbeit zwischen SITEC und IZFP werden Verfahrensansätze verfolgt, die auf der Erzeugung und Messung von Restmagnetfeldern mit Punktsonden basieren. Die Vorteile sind in der vielseitig einsetzbaren Prüfkopfbauform und in der lateral isotropen, Magnetisierung eines kleinen Messvolumens zu sehen.

Im Rahmen des Vorhabens wurde sowohl an Härtevergleichskörpern als auch an lasergehärteten Testkörpern des Industriepartners SITEC aufgezeigt, dass mit diesem Verfahren eine eindeutige mikromagnetische Härtebeurteilung möglich ist. Darüber hinaus wurde demonstriert, dass sich derartige Sonden zur ortsauflösenden Werkstoffcharakterisierung eignen.

1 Ausgangssituation

1.1 Laserhärten

Neben Tauchhärten, Flammhärten, Induktionshärten und Elektronenstrahlhärten gehört das Laserhärten zu den Randschichthärteverfahren. Charakteristisch für den Laserhärteprozess sind hierbei die drei Phasen:

- Lokale Erwärmung des Bauteils über die Austenitisierungstemperatur
- Haltephase zur Umwandlung des Grundgefüges
- Abkühlung

Besonders herauszuheben ist, dass die Abkühlungsphase maßgeblich für die zu erwartende Härte verantwortlich ist. Mit steigender Abkühlungsgeschwindigkeit bei gleicher Austenitisierungstemperatur erhöht sich die Härte im beeinflussten Materialgebiet. Durch die sehr hohe Selbstabschreckung von Metallen (bis zu 10^6 K/s) führt das Laserhärten durch die nur lokal eingebrachte Wärme zu höchsten Härten im Randbereich. Ein weiterer Vorteil des

Laserhärten besteht darin, dass die Wärme durch den Laserstrahl äußerst lokal und präzise eingebracht werden kann sowie eine geometrisch anspruchsvolle, komplexe Bauteilgestaltung durch entsprechend gesteuerte Laserstrahlführung möglich ist.

Um die Qualität der lasergehärteten Bauteile überprüfen zu können, wird bislang in hohem Maße auf konventionelle Prüfverfahren zurückgegriffen. Die Härte an der Oberfläche kann durch die Messverfahren nach Rockwell, Vickers oder Brinell ermittelt werden, indem Eindrücke mit genormten Prüfkörpern und Kräften erzeugt und vermessen werden. In Oberflächen, die als Funktionsflächen vor dem Härten mit höchster Präzision auf die Endkontur bearbeitet wurden, sind die entstandenen Verformungen meist nicht zulässig. Wird ein Härteverlauf in Tiefenrichtung zur Charakterisierung benötigt, so muss das Bauteil aufgeschnitten werden, um im Querschliff die zerstörenden Härteprüfverfahren durchführen zu können.

1.2 Mikromagnetische Prüfverfahren

Die mikromagnetische Werkstoffcharakterisierung an ferromagnetischen Werkstoffen stützt sich größtenteils auf Analogien zwischen der Wechselwirkung der Mikrostruktur mit Blochwänden und Versetzungen. Da diese Wechselwirkungen sowohl auf der mechanischen Seite als auch auf der magnetischen Seite über jeweils ähnliche Mechanismen ablaufen, ergibt sich u.a. der klassisch bekannte Zusammenhang zwischen der Koerzitivfeldstärke („magnetische Härte“) und der mechanischen Härte [1, 2]. Dieser erlaubt es mitunter, anhand zerstörungsfrei messbarer mikromagnetischer Prüfgrößen auf mechanisch-technologische Kenngrößen wie z.B. die mechanische Härte zu schließen.

Das IZFP hat in diesem Kontext das 3MA-Prüfverfahren entwickelt (3MA = Mikromagnetische Multiparameter- Mikrostruktur- und Spannungs-Analysen) [3, 4, 5]. Dieses beruht auf einer Kombination mehrerer mikromagnetischer Prüfverfahren (Oberwellen-, Barkhausenrausch-, Überlagerungspermeabilitäts- und Wirbelstromimpedanzanalyse). Durch die Kombination mehrerer Prüfgrößen erzielt 3MA im Vergleich zu einparametrischen mikromagnetischen Verfahren eine höhere Robustheit gegenüber Störeinflüssen.

Die Anwendung von 3MA setzt immer eine Parameteroptimierung und eine Kalibrierung an einer Reihe von Prüfböjekten mit bekannten Eigenschaften voraus. Die Herstellung und Messung der Kalibrierproben sind zeit- und kostenintensive Arbeitsschritte, weshalb das 3MA-Verfahren vorwiegend für die anschließende Prüfung höherer Stückzahlen vorgesehen ist, wo die Zeit- und Kosteneinsparung im Prüfbetrieb den Einrichtungsaufwand mehr als kompensieren.

Die bisherigen 3MA-Prüfköpfe enthalten einen U-förmigen Elektromagneten, eine Hallsonde zur Magnetfeldmessung und -regelung sowie Tastspulen zur Barkhausenrausch- und Wirbelstromanalyse. In der Regel werden diese Prüfköpfe individuell an die jeweilige Bauteilgeometrie angepasst, wie Abbildung 1 anhand zweier Beispiele aufzeigt.

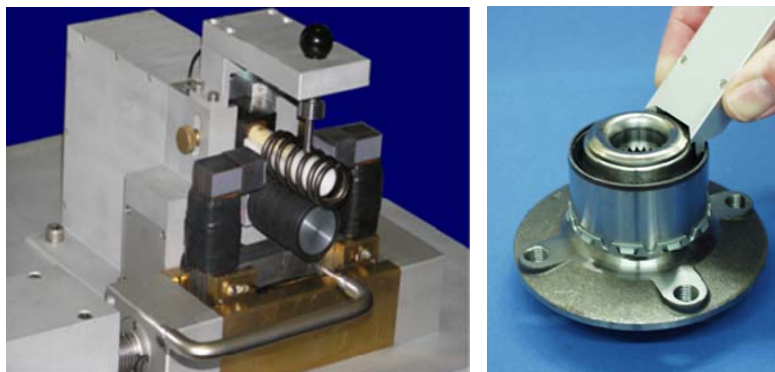


Abbildung 1: Individuell an die Bauteilgeometrie angepasste 3MA-Prüfköpfe

Die Gestaltung der Prüfköpfe besitzt im 3MA-Verfahren jedoch großen Einfluss auf die gemessenen Prüfgrößenwerte, da die Form und Homogenität des Magnetfeldes erheblich von der Geometrie der Magnetisierungsvorrichtung abhängen, die Apertur der Sensorelemente sich mit der individuellen Anpassung ändert und nicht zuletzt auch die Formanisotropie der Bauteile die ferromagnetischen Eigenschaften maßgeblich beeinflusst.

2 Zielsetzung

Um eine wirtschaftliche Härteprüfung an kleinen Stückzahlen in der Lohnfertigung zu erreichen, besteht die Herausforderung darin, ein zerstörungsfreies Messverfahren zu etablieren, welches ohne Geometrieabhängigkeit und mit vernachlässigbar geringem Kalibrierungsaufwand verlässliche Messwerte ermittelt und dessen Sensor kleinste Geometrien erfassen kann. Das übergeordnete Ziel eines zum Zeitpunkt dieser Veröffentlichung noch laufenden Forschungsvorhabens im Rahmen des ZIM-Programms des BMWi war daher die Entwicklung und Demonstration eines derartigen Verfahrens. Im Vergleich zur bisherigen Praxis in der Anwendung des 3MA-Verfahrens wurde hierbei keine quantitative Härtebestimmung angestrebt, sondern vielmehr ein mikromagnetisches Charakteristikum gesucht, welche für viele Werkstoffe vorwiegend von der Härte abhängt, so dass ein qualitativer Test im Sinne einer i.O./n.i.O.-Klassifizierung mit geringem Aufwand möglich ist.

3 Probensatz

Für die Erprobung der mikromagnetischen Sensorik wurden lasergehärtete Proben hergestellt, welche sowohl unterschiedliche Formelemente, Geometrien oder Masseverhältnisse von gehärtetem zu ungehärtetem Material, als auch unterschiedliche Spannungszustände durch verschiedenartige Vorbehandlung aufweisen. Hierfür wurde der weit verbreitete Werkstoff C45 (Nr. 1.0503) verwendet. Zur Ermittlung des Einflusses unterschiedlicher Vorprozesse wurden beispielsweise quaderförmige Testkörper mit den Bauteilabmaßen $38 \times 38 \times 6 \text{ mm}^3$ (L x B x H) benutzt. Die Laserparameter ergaben sich durch Vorversuche, anhand derer ermittelt wurde, bei welcher Vorschubgeschwindigkeit, Fokussierung und Leistung eine maximale Härte im Bauteil ohne ein Anschmelzen der Oberfläche entsteht [6]. Die entstandene Härte wurde in der Laserspur mit einem zertifizierten Verfahren nach Vickers mehrfach gemessen und als Mittelwert bereitgestellt. Zur Kontrolle wurde auf die gleiche Art auch die Härte des Grundwerkstoffes ermittelt.

Neben lasergehärteten Testkörpern wurden darüber hinaus Bauteile aus der Praxis sowie Härtevergleichsplatten (Istwerte von 159 HV bis 848 HV gemäß MPA-Zertifikat) untersucht. Abbildung 2 zeigt ausgewählte Fotos der untersuchten Proben.

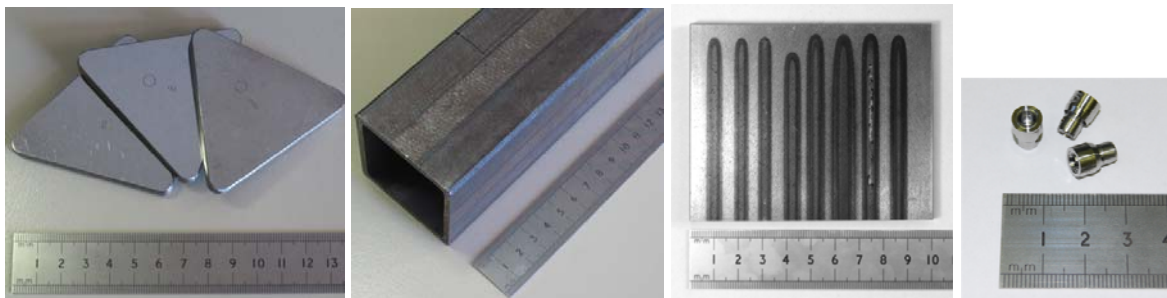


Abbildung 2: Probensatz (v.l.n.r.: Härtevergleichsplatten, lasergehärtetes Vierkantprofil, C45-Platte mit Laserspuren, kleine partiell lasergehärtete Bauteile)

4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

4.1 Prüfkopfkonzept

Die im zugrundeliegenden Vorhaben verfolgte Strategie zur Minimierung des Kalibrieraufwandes beruht im Wesentlichen auf der Schaffung der Voraussetzungen zur Erstellung einer anwendungsübergreifenden Werkstoffdatenbank. Aufgrund der bisher unvermeidlichen Abhängigkeit der Messwerte von Prüfkopf und Bauteilgeometrie waren anwendungsübergreifende Betrachtungen, die zu einer Verallgemeinerung der Zusammenhänge zwischen den mechanisch-technologischen Kenngrößen und den mikromagnetischen Prüfgrößen führen könnten, nicht möglich. Es wurde daher nach einem Prüfkopfkonzept gesucht, welches an nahezu jeder Bauteilgeometrie einsetzbar ist und zudem ein möglichst kleines Werkstoffvolumen analysiert. Eine naheliegende Lösungsmöglichkeit besteht in der Miniaturisierung der 3MA-Sensorik durch Skalierung, so dass das magnetisierte Werkstoffvolumen verkleinert wird (daher kein Einfluss der Geometrie außerhalb der eng begrenzten Messposition) und auch an komplizierten Geometrien ein Großteil der vorstellbaren Prüfpositionen erreichbar ist (daher keine individuelle Sensoranpassung notwendig).

Das bestehende 3MA-Prüfkopfkonzept ist jedoch nicht in beliebigem Maße nach unten skalierbar, u.a. weil die Hallsonde nicht beliebig verkleinert werden kann und die Messwerte mit sinkender Größe des U-förmigen Elektromagneten zunehmend kippempfindlich werden. Ein Lösungsweg besteht darin, nicht den gesamten Prüfkopf, sondern lediglich die Empfangssensorik zu verkleinern. Dies wurde u.a. mit dem am IZFP entwickelten Barkhausenrausch- und Wirbelstrommikroskop (BEMI) demonstriert [7, 8], worin im Falle der Barkhausenrausch-Analyse ein stationärer, großer Elektromagnet in der Regel das gesamte Prüfobjekt einem magnetischen Wechselfeld aussetzt, während ein Präzisionsmanipulator eine miniaturisierte Sonde über die Werkstoffoberfläche führt. Auf diese Weise werden Flächenscans der mikromagnetischen Prüfgrößen erstellt, welche Rückschlüsse auf die lokale Verteilung der Eigenspannungen oder Härte zulassen.

In ähnlicher Weise war die Prüfung der in Abbildung 2 dargestellten kleinen, topfförmigen Bauteile möglich, deren innere Bodenfläche lasergehärtet war. Die Bauteile wurden durch einen stationären Elektromagneten von außen bei einer Frequenz von 50 Hz magnetisiert und das Barkhausenrauschen der gehärteten Fläche mit einer miniaturisierten kernlosen Zylinderspule empfangen (Abbildung 3, links). Die Barkhausenrausch-Profilkurven (Abbildung 3, rechts) gestatteten sowohl eine eindeutige Unterscheidung zwischen gehärteten und ungehärteten Zuständen sowie darüber hinaus eine Erkennung von Gruppen unterschiedlichen Härteerfolgs in weiterführenden Untersuchungen.

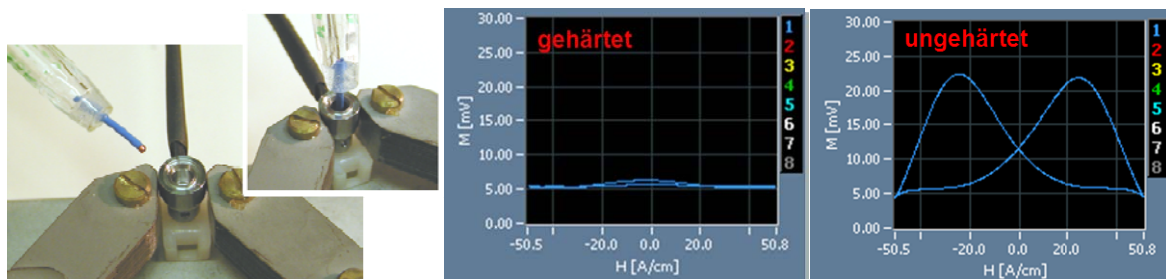


Abbildung 3: Härteunterscheidung auf der lasergehärteten Bodenfläche topfförmiger Bauteile unter Einsatz einer miniaturisierten Barkhausenrausch-Empfangsspule; links: Prüfaufbau mit Elektromagnet, Hallsonde (von hinten) und Miniaturspule (im großen Foto außerhalb, im kleinen Foto innerhalb des Bauteils dargestellt); rechts: bei einer Magnetfeldamplitude von 50 A/cm gemessene Barkhausenrausch-Profilkurven $M(H)$ gehärteter und ungehärteter Bauteile

Im Hinblick auf die in der Praxis häufig wechselnde Bauteilgeometrie erfordert diese Art der Barkhausenrauschenanalyse jedoch eine individuelle Anpassung eines Elektromagneten, um vorwiegend die gehärtete Prüfposition zu magnetisieren. Darüber hinaus sind die Werte der Prüfgrößen vom Messaufbau und den Geräteeinstellungen abhängig.

Im Rahmen des Vorhabens wurde daher ein Prüfkopfkonzept entwickelt, welches das magnetisierte Bauteilvolumen minimiert und bei welchem Magnetisierung und Messung am gleichen Ort erfolgen. Hierbei wurden die in der Elektrotechnik bekannten Gesetzmäßigkeiten zum Übergang der Flussdichte an der Mediengrenze ausgenutzt [9, 10]. Unter anderem besagen diese, dass die Normalkomponente der magnetischen Flussdichte an der Grenzfläche stetig ist. Im Falle einer zur Werkstoffoberfläche senkrechten Magnetisierung gilt demnach, dass die Flussdichte am Ende des Kerns gleich der Flussdichte an der Werkstoffoberfläche ist. Im Falle eines spitz zulaufenden Kerns konzentriert sich die Flussdichte in der Spitze, so dass hohe Flussdichten im Werkstoff erzielbar sind. Abbildung 4 zeigt eine schematische Darstellung sowie Fotos von Punktsonden [11]. Die Primärspule wird hierbei mit einer sinusförmigen Wechselspannung gespeist und die sekundärseitig induzierte Spannung aufgezeichnet. Letztere beschreibt die zeitliche Ableitung der Flussdichte am Ende des Kerns, welche in hohem Maße vom kontaktierten Werkstoff abhängt.



Abbildung 4: Schematischer Aufbau einer Punktsonde (links), Foto eines Realisierungsbeispiels aus dem Labor (Mitte) und 3MA-Punktsonden-Prüfkopf (rechts)

Abbildung 5 zeigt typische Zeitsignale der sekundärseitig induzierten Spannung für die abgehobene sowie für die auf einen ferromagnetischen Werkstoff aufgesetzte Sensor Spitze. Befindet sich die Sensor Spitze in Luft, so wird eine Wechselspannung induziert, welche aufgrund der nichtlinearen Eigenschaften des Kerns mit Oberwellen niedriger Ordnung behaftet ist (blaue Kurve). Befindet sich die Spitze jedoch auf dem Werkstoff, so kommt es in ihr zu einer Flusskonzentration, welche im Wechselfeld zyklisch und in kurzer Zeit vom positiven Sättigungszustand zum negativen wechselt. Die rapiden Übergänge der Flussdichte schlagen sich dann in hohen induzierten Spannungsanteilen nieder, welche als spitze Maxima im Spannungssignal auftreten (rote Kurve).

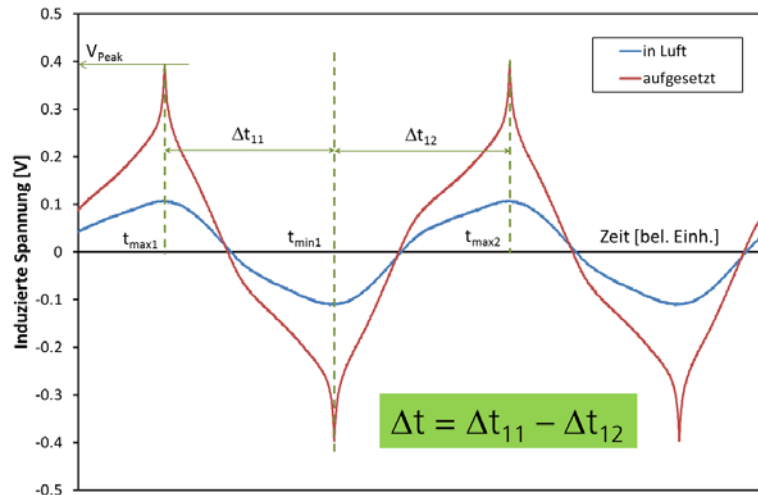


Abbildung 5: Zeitsignale und charakteristische Kenngrößen der sekundärseitig induzierten Spannung im Falle einer vom Werkstoff abgehobenen Spitze sowie im Falle der auf den Werkstoff aufgesetzten Spitze

In Vorversuchen wurden zwei zur mikromagnetischen Werkstoffcharakterisierung nutzbare Zusammenhänge erkannt:

- Die Amplitude der induzierten Spannung hängt vorwiegend von der Permeabilität des untersuchten Werkstoffs ab und wird maßgeblich durch die spitzen Maxima geprägt. Die Amplitude der Maxima wird im folgenden Text mit V_{Peak} bezeichnet.
- Auf einem feldfreien Werkstoff ist das Signal symmetrisch gemäß $f(t) = -f(t+T/2)$, wobei t die Zeit und T die Periodendauer angeben. Auf die in Abbildung 5 eingetragenen Größen beziehend, gilt hier $\Delta t_{11} = \Delta t_{12}$. Ist das Prüfobjekt an der Kontaktstelle jedoch magnetisiert, so verschieben sich die Maxima des Signals. Es wurde eine Kenngröße Δt definiert, welche diese Verschiebung als $\Delta t = \Delta t_{11} - \Delta t_{12}$ wiedergibt.

4.2 FEM-Simulation

Anhand einer Simulation mittels Finite-Elemente-Methoden (FEM) wurde die Eindringtiefe des Magnetfeldes ermittelt. Hierbei wurde die Nadelspitze vereinfachend als Kreisscheibe mit einem Durchmesser von $100\ \mu\text{m}$ angesetzt, was qualitativ gut mit mikroskopischen Aufnahmen der eingesetzten Nadeln übereinstimmt. Zur Vereinfachung der Berechnung wurde eine ebene Kontaktfläche angenommen.

Zunächst zeigten die Ergebnisse, dass die Flussdichte im Werkstoff unmittelbar unter der Spitze, wie erwartet, gleich der Flussdichte in der Nadelspitze ist. Darüber hinaus ist ein rapider Abfall der Flussdichte mit der Tiefe zu erkennen, welcher in Abbildung 6 dargestellt ist. Analog zur Berechnung der Standardeindringtiefe im Falle des Skin-Effekts elektromagnetischer Wechselfelder wurde die Eindringtiefe auch hier als diejenige Tiefe definiert, in welcher die Flussdichte auf den Faktor $1/e$ abgefallen ist. Für das gegebene Modell wurde eine Eindringtiefe von $50\ \mu\text{m}$ ermittelt. Das Ergebnis wird hierbei jedoch, im Gegensatz zum Skin-Effekt, durch die Geometrie der Nadelspitze definiert und war zumindest im betrachteten Frequenzbereich bis $f = 100\ \text{Hz}$ nahezu frequenzunabhängig.

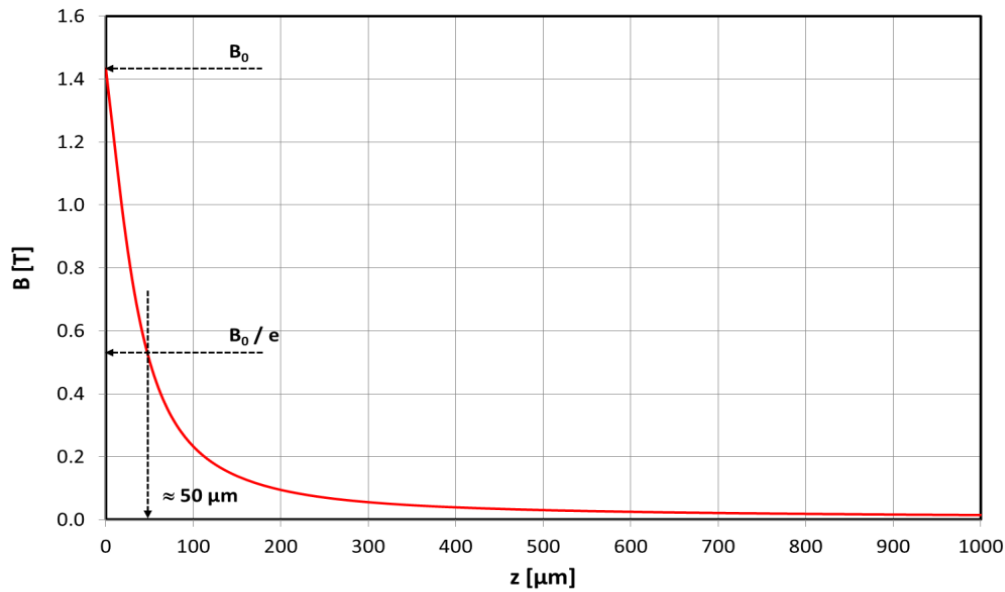


Abbildung 6: Ermittlung der Eindringtiefe aus dem Verlauf der Flussdichte B über der Werkstofftiefe z , ausgehend von der Werkstoffoberfläche (Nadelspitze als Kreisscheibe mit einem Durchmesser von $100 \mu\text{m}$ modelliert)

4.3 Messungen mit hoher Ortsauflösung

Die Permeabilitätsempfindlichkeit der Größe V_{Peak} und die lokale Begrenzung der Magnetisierung gestatten im rastermikroskopischen Verfahren die Abbildung von Gefügemerkmalen und Eigenspannungen mit Ortsauflösungen von ca. $20 \mu\text{m}$ [11]. Abbildung 7 zeigt Flächenscans von V_{Peak} an einer Probe von Spiegeleisen sowie an einer Probe des Werkstoffs X20Cr13 mit laserinduzierten Eigenspannungen. Im Falle des Spiegeleisens werden die Zementitnadeln sichtbar, welche in die austenitische Matrix des Werkstoffs eingebettet sind. Im Falle der laserbehandelten Werkstoffprobe treten Eigenspannungsfelder hervor, welche die vom Laser erwärmten Punkte umgeben. Die Behandlung erfolgte derart, dass keine Gefügeumwandlung stattfand. Röntgendiffraktometrische Messungen zeigten Eigenspannungsvariationen von -300 bis $+600$ MPa.

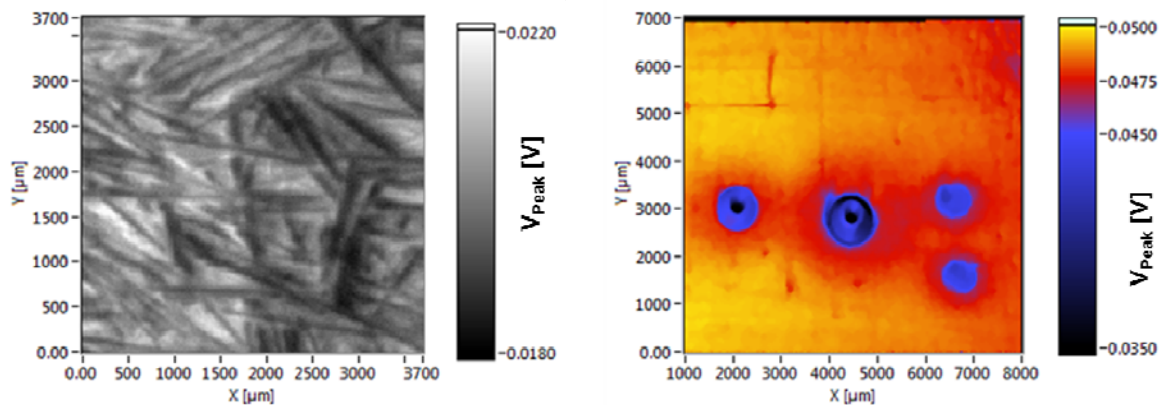


Abbildung 7: Flächenscans der Prüfgröße V_{Peak} auf einer Probe aus Spiegeleisen (links) sowie auf einer Probe des Werkstoffs X20Cr13 mit laserinduzierten Eigenspannungsfeldern

4.4 Härtebestimmung

Die Möglichkeit, mittels Punktsonden lokale Magnetfelder zu messen, wurde zur Härtebestimmung herangezogen. Hierbei wurde der Werkstoff an der Messposition durch kurzzeitiges Aufsetzen eines kleinen zylinderförmigen NdFeB-Permanentmagneten (Durchmesser = 3 mm, Höhe = 3 mm) bleibend magnetisiert. Die Signalform der induzierten Spannung wurde jeweils am entmagnetisierten Werkstoff und nach Aufsetzen des Magneten gemessen. Wie in Abbildung 8 dargestellt, ruft der Magnetisierungszustand des Werkstoffs eine Asymmetrie des Signals hervor. Entsprechend Abbildung 5 lässt sich die Asymmetrie als ein von 0 abweichender Wert der Kenngröße Δt beschreiben. Die Differenz der Δt -Werte zwischen magnetisiertem und entmagnetisiertem Zustand ist hierbei ein Maß für die remanente Magnetisierung des Werkstoffs und spiegelt die Härte wider.

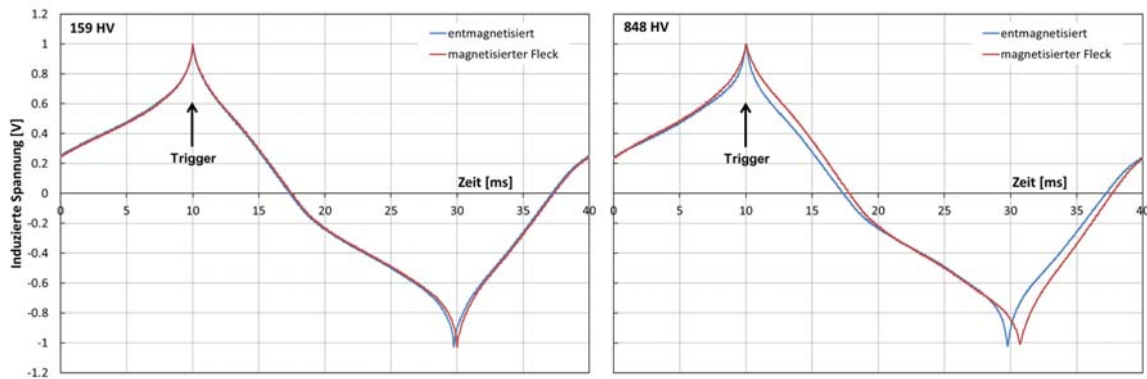


Abbildung 8: Durch lokale Magnetisierung mittels eines kleinen Permanentmagneten hervorgerufene Asymmetrie und Peakverschiebung im induzierten Spannungssignal (links: Härtevergleichsplatte mit 159 HV, rechts: Härtevergleichsplatte mit 848 HV)

Diese Peakverschiebungsdifferenz $\Delta t_{mag} - \Delta t_{demag}$ wurde für alle Härtevergleichsplatten ermittelt und als Funktion der Härte aufgetragen (Abbildung 9, links). Mit Ausnahme zweier Härtevergleichsplatten (537 HV und 606 HV), welche evtl. aus einem anderen Werkstoff bestehen, besteht offenbar ein linearer Zusammenhang zwischen der Peakverschiebungsdifferenz und der Härte. Darüber hinaus besteht eine lineare Korrelation ($R^2 \approx 0.97$) zwischen der Koerzitivfeldstärke H_{CM} (mittels Barkhausenrauschenanalyse ermittelt) und der Peakverschiebungsdifferenz (Abbildung 9, rechts).

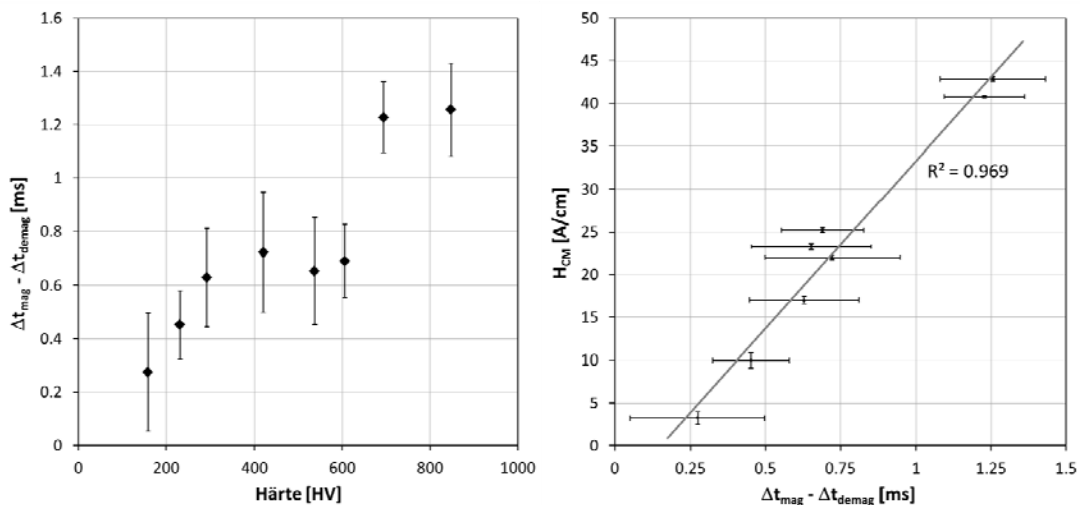


Abbildung 9: Korrelation der Peakverschiebung zwischen magnetisiertem und entmagnetisiertem Zustand mit der Vickershärte (links) und mit der Koerzitivfeldstärke gemäß Barkhausenrauschenanalyse, H_{CM} (rechts)

Am praxisnahen Beispiel der lasergehärteten Proben konnte aufgezeigt werden, dass man die Peakverschiebungsdifferenz zur Erkennung gehärteter Bereiche heranziehen kann. Um den Messeffekt zu vergrößern, erfolgte die Differenzbildung hierbei nicht zwischen entmagnetisiertem und magnetisiertem Zustand, sondern zwischen den Zuständen nach Magnetisierung mit Nord- und Südpol des Magneten. Hierdurch entfällt der Vorgang der Entmagnetisierung, und der Messeffekt verdoppelt sich. Abbildung 10 zeigt die Messwerte der entsprechenden Peakverschiebungsdifferenz $\Delta t_N - \Delta t_S$ entlang der gelben Geraden auf dem lasergehärteten Rechteckprofil (links) sowie den gekennzeichneten Positionen eines dreieckförmigen Testkörpers mit einer lasergehärteten Spur (rechts). Im Rahmen des im weiteren Projektverlauf noch zu minimierenden statistischen Messfehlers ist eine eindeutige, für beide Testkörper gleichartige Unterscheidbarkeit der Härtezustände gegeben. Es deutet sich eine äußerst geringe Geometrieabhängigkeit der Messwerte an, welche zukünftig durch Flächenscans abgesichert werden soll.

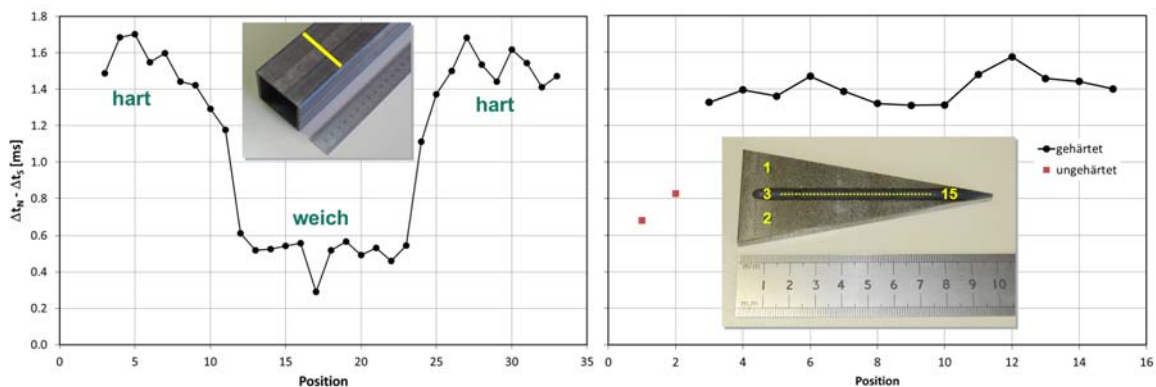


Abbildung 10: Peakverschiebungsdifferenz zwischen den mittels N- und S-Pol des Permanentmagneten aufbrachten magnetischen Flecken für zwei lasergehärtete Testkörper (links: im Kantenbereich lasergehärtetes Vierkantprofil; Positionen äquidistant über die gelbe Linie hinweg verteilt

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer IZFP, Saarbrücken, und der SITEC Industrietechnologie GmbH, Chemnitz, wurde ein zerstörungsfreies mikromagnetisches Prüfverfahren entwickelt, welches eine Härtebeurteilung mit äußerst geringem Kalibrieraufwand und ohne Geometrieabhängigkeit der Messwerte gestattet. Es wurde eine nadelartige Punktsonde aufgebaut, welche mit hoher Ortsauflösung Unterschiede in der Permeabilität und Magnetisierung des Werkstoffs identifiziert. Ein auf der Erzeugung lokaler Restmagnetfelder mit Permanentmagneten und deren anschließender Messung mit der Punktsonde beruhendes Verfahren gestattet die Ermittlung einer Prüfgröße, welche eine lineare Abhängigkeit zur Koerzitivfeldstärke und der Härte besitzt. Das Verfahren wurde an unterschiedlichen lasergehärteten Testkörpern und Härtevergleichsplatten erprobt.

Die nächsten Schritte werden in der Optimierung der Messwertstreuung, der Durchführung von Messungen an einem umfangreichen Probensatz sowie in der Erstellung einer Werkstoffdatenbank bestehen.

Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie dem Projektträger AiF für die Förderung des Vorhabens im Rahmen des ZIM-Programms (Projekt-Nr. KF2455301US9).

Referenzen

- [1] Hanke, E.: *Prüfung metallischer Werkstoffe*, Band 2. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig. 1960.
- [2] Jiles, D.: *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*. Chapman and Hall, London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras. 1991.
- [3] Altpeter, I.: *Spannungsmessung und Zementitgehaltsbestimmung in Eisenwerkstoffen mittels dynamischer magnetischer und magnetoelastischer Messgrößen*. Dissertation. Universität des Saarlandes, Saarbrücken. 1990.
- [4] Theiner, W. A.; Reimringer, B.; Kopp, H.; Gessner, M.: 3MA-Testing Equipment, Application, Possibilities and Experiences. *Characterization of materials* (ed. by P. Höller, V. Hauk, G. Dobmann, C. Ruud, R. Green), Springer-Verlag Berlin. 1989.
- [5] Dobmann, G.: NDT - Do We Have the Potential to Predict Material Properties as Yield Strength, Tensile Strength and Fracture Toughness on the Component? A State of the Art Survey. Proceedings of the 18th European Conf. on Fracture. 2010.
- [6] Freitag, M.: Analyse von Verfahren zur zerstörungsfreien Härteprüfung (Härtemessung). Praktikumsarbeit, TU Chemnitz, 2009.
- [7] Altpeter, I.; Hoffmann, J.; Kopp, M.; Grimm, H.; Nichtl-Pecher, W.: Charakterisierung dünner Ferromagneten mit Hilfe der Barkhausenrausch-Mikroskopie, *Prak. Metallographie* 37 (5), 2000, S. 261-270.
- [8] Szielasko, K.; Kopp, M.; Tschuncky, R.; Lugin, S.; Altpeter, I.: Barkhausenrausch- und Wirbelstrommikroskopie zur ortsaufgelösten Charakterisierung von dünnen Schichten. DGZfP-Jahrestagung 2004. Berichtsband der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP) V13. 2004.
- [9] Tipler, P. A.: *Physik*. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Oxford. 1994.
- [10] Szielasko, K.: *Entwicklung messtechnischer Module zur mehrparametrischen elektromagnetischen Werkstoffcharakterisierung und -prüfung*. Dissertation. Universität des Saarlandes, Saarbrücken. 1990.
- [11] Augenstein, E.: *Mikromagnetische Werkstoffcharakterisierung mit Punktsonden*. Bachelorarbeit. Fachhochschule Osnabrück. 2010.