

Von der klassischen Härtemessung im Labor zur Lösung komplexer Aufgaben im Feld – Möglichkeiten und Grenzen des UCI-Verfahrens

Manfred TIETZE¹

¹NewSonic GmbH, Unter den Linden 15, 72762 Reutlingen

Kurzfassung. Ursprüngliche Einsatzgebiete der portablen Härtemessung waren ausschließlich große, schwere bzw. unbewegliche Teile, wo keine klassischen Prüfmethoden nach Norm eingesetzt werden konnten. Im Zuge der zunehmenden Komplexität in den Produktionsprozessen und erhöhtem Aufwand in der Dokumentation von Ergebnissen wurde die mobile Härteprüfung aufgrund seiner Schnelligkeit und einfachen Handhabung verstärkt eingesetzt und die Anwendung auch auf kleinere Bauteile ausgeweitet mit dem Ziel, Prüfzeiten und – kosten zu senken und damit die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Vielfach haben jedoch die technischen Möglichkeiten der portablen Geräte und der mangelnde Kenntnisstand der Benutzer nicht mit den gestiegenen Anforderungen an die Aussagefähigkeit der Ergebnisse mithalten können. Erst technische Weiterentwicklungen und die zunehmende öffentliche Diskussion, dann Schulung und Normung haben zum besseren Bewusstsein und gesteigener Akzeptanz geführt.

Am Beispiel des UCI-Verfahrens (Ultrasonic Contact Impedance) wird nun der aktuelle Entwicklungsstand diskutiert beginnend mit einer detaillierten Darstellung des physikalischen Prinzips und der Messwertermittlung und dann den möglichen Anwendungen im Zusammenspiel mit der Norm und der klassischen Härteprüfmethode. An mehreren Beispielen werden gerade im Baustahlbereich die Lösung schwieriger Aufgaben hinsichtlich Oberflächenbeschaffenheit, Materialbearbeitung und Prozesssteuerung (thermische Schnittkanten und Schweißnähte) aufgezeigt. In einem zweiten Teil werden Möglichkeiten diskutiert, komplex geformte Serienbauteile (Federstahlbauteile, Kupplungskomponenten, Schneidwerkzeuge usw.) manuell oder auch in der Linie vollautomatisch zu prüfen und die Ergebnisse umfassend zu dokumentieren.

Schließlich werden Möglichkeiten der Weiterentwicklung in der erfolgreichen Anwendung von mobilen Härteprüfverfahren diskutiert unter Beachtung der Randbedingungen seiner physikalischen Grenzen und den zukünftigen Anforderungen an die Ausbildung des Prüferpersonals.

1. Einführung

Seit nunmehr 50 Jahren wird das UCI-Verfahren (Ultrasonic Contact Impedance) nach Claus Kleesattel in der metallverarbeitenden Industrie mit Erfolg eingesetzt. Die bevorzugten Einsatzgebiete sind große, schwere bzw. unbewegliche Teile, wo klassische Prüfmethode nach Norm nicht oder nur unter großen Schwierigkeiten eingesetzt werden können. Die Prüfungen erfolgen in jeder Richtung, auf engem Raum und auch an schwer



zugänglichen Stellen. Aufgrund seiner Schnelligkeit und hervorragenden Selektivität und der einfachen Handhabung wird die mobile UCI-Härteprüfung verstärkt auch an kleineren Bauteilen verwendet mit dem Ziel, Prüfzeiten und –kosten zu senken und damit die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Hier sind in letzter Zeit auch einige Projekte zur Automatisierung der Härteprüfung in der Produktionslinie umgesetzt worden. Dazu gehören Automobilteile nach Wärmebehandlung wie Achsaufhängungen, Ventile oder dann Motoraufhängungen aus Aluminium und erst kürzlich Aluminiumbänder im Durchlauf ebenfalls nach Wärmebehandlung mit Materialdicken ab ca. 1mm.

Die hohe Bandbreite in den Einsatzmöglichkeiten der UCI-Methode führt dazu, dass die Benutzer sich auf jede Prüfaufgabe entsprechend vorbereiten müssen. Hierbei ist das wichtigste, neben der Funktionsfähigkeit der Prüfausrüstung sicher zu stellen, dass die Bauteilbeschaffenheit und der Oberflächenzustand für die Anwendung der UCI-Härteprüfung geeignet ist – eine Aufgabe, die häufig auch bei Verwendung anderer Oberflächen-Härte-Prüfverfahren leichtfertig vernachlässigt wird. Dann werden eventuell die Erwartungen an das Prüfergebnis nicht getroffen bzw. ist eine Vergleichbarkeit mit anderen Prüfverfahren nicht mehr gegeben.

Die Durchführung einer UCI-Härteprüfung erfordert trotz einfacher Anwendung vom Bediener eine gewisse grundlegende Fertigkeit, wenn dieser die Mess-Sonde manuell führen muss. Aufgrund dessen wird in jedem Fall empfohlen, generell mobile Härte-Prüfverfahren im Betrieb zunächst auf Eignung zu testen und sich nicht allein auf Werbeaussagen und Prospektangaben der Anbieter zu verlassen. Dies ist insofern wichtig, als der Bediener stets wichtiger Teil der Mess-Apparatur ist mit dem notwendigen Verständnis für ein Präzisions-Messwerkzeug.

Die UCI-Härteprüfung ist ein sogenanntes vergleichendes Verfahren, das z.B. relativ zur klassischen Vickers-Härteprüfung sehr genau auf die Prüfaufgabe eingestellt werden kann und somit den „verlängerten Arm“ der klassischen Messtechnik in die Produktion darstellt.

Heute zeichnen sich UCI-Messsonden durch hohe Präzision aus und haben eine hohe Langzeitstabilität für aussagefähige Messungen. Das Mess-System deckt den gesamten Härtebereich der klassischen Vickers-Skala ab für Metalle, Industrie-Keramiken und mit gewissen Einschränkungen auch von stark inhomogenen Werkstoffen, wie Guss-Eisen (Kugelgraphit Grauguss GGG50). Die Anwendungsgrenzen für die UCI-Messtechnik sind sehr weit gefasst und es gibt keine andere Messmethode, die so variantenreich eingesetzt werden kann wie diese (Abb. 1). Das UCI-Prüfverfahren ist genormt nach DIN 50159-1,-2-2015 und ASTM A1038-2012.

UCI-Härteprüfung: Richtungsunabhängig in engen Platzverhältnissen



Gehärtete Oberflächen, komplexe Geometrie, Beschichtungen, Schweißnähte

Abb. 1: Die Messanordnung rechts zeigt, wie der Bediener sich bei guter Ausleuchtung der Prüfposition auf die Führung der Sonde konzentriert. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt später im Prüfgerät.

2. UCI (Ultrasonic Contact Impedance) - ein Messverfahren mit Tradition – und Konzept der Justierzahl „CAL“

Das UCI-Verfahren (Ultrasonic Contact Impedance oder modifiziertes Vickers-Verfahren) – 1965 erstmals unter dem Namen „SonoDur“ eingesetzt - wertet den Vickers-Härteprüfeindruck innert Sekundenbruchteilen elektronisch aus und zeigt ihn digital an. Das bedeutet, der entstehende Härtewert in Einheiten Vickers wird unter Last bestimmt und bei definierter Kraft (Eindringkraft) ein Härtewert berechnet, der der Eindruck-Oberfläche nach Entlastung entspricht. Durch den vollen Materialkontakt spielen Rückfedereffekte wie bei der optischen Vickers-Prüfung keine Rolle und die Messungen sind daher über den gesamten Härtebereich auch bei geringen Prüfkraften nahezu gleichbleibend genau. Ebenso können UCI-Messungen auf walzrauem Untergrund, geschliffenen Oberflächen oder auf dunklem Untergrund noch ausgeführt werden, wenn die klassische Vickers-Prüfung schon nicht mehr sinnvoll ist. Selbst Bearbeitungsriefen stören wenig, solange das Bauteil nicht gehärtet ist.

Während die Mess-Sonde auf das Material gedrückt wird, führt der Schwingstab der Sonde mittels piezoelektrischer Anregung longitudinale Ultraschall-Schwingungen aus bei ca. 78kHz. Durch die Materialankopplung des Vickersdiamanten entsteht ein Kontaktwiderstand, der eine Dämpfung der Schwingungsamplitude bewirkt und gleichzeitig die Schwingungsfrequenz in charakteristischer Weise ansteigt (Abb. 2). Diese Frequenzverschiebung wird genau bei Erreichen einer vorgegebenen Prüfkraft bestimmt und daraus sofort die Vickershärte berechnet.

Portable Härtemessung mit UCI

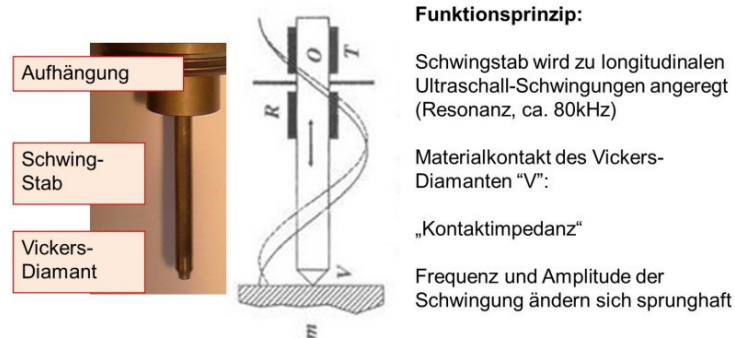


Abb. 2: Die Messanordnung vereinfacht.

Um den Bezug zur klassischen Vickers-Härteprüfung herstellen zu können, werden die Sonden auf einem Satz MPA kalibrierter Härtevergleichsplatten justiert. SonoDur2 beispielsweise ist für Stahl zwischen ca. 150 und 900 HV mit E-Modul ca. 210 GPa kalibriert (s. Abb. 3). Dies entspricht dem größten Teil der technischen Stähle.

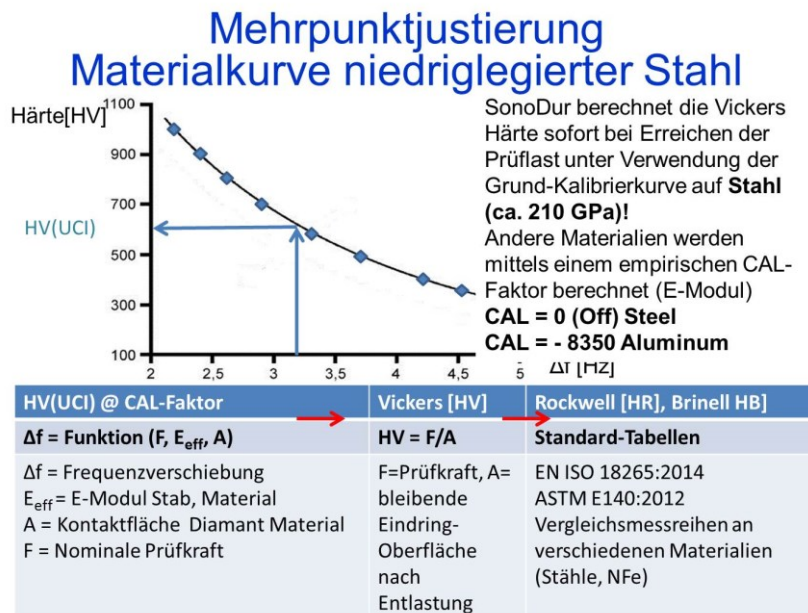
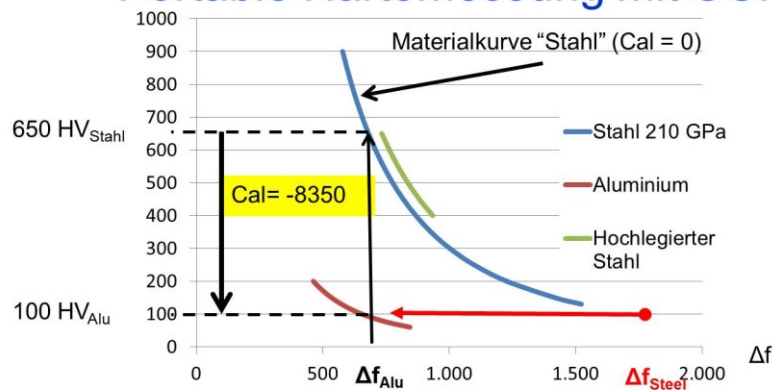


Abb. 3: Mittels der Justierkurve an Stahlplatten wird aus der Frequenzverschiebung die Vickershärte berechnet.

Durch diese Werksjustierung werden bei der Frequenzverschiebung der Beitrag der einwirkenden Kraft, der entstehenden Kontaktfläche zwischen Diamant und Prüfteil, des elastischen Moduls vom mitschwingenden Prüfmaterial und alle Beiträge aus der Schwingstabgeometrie- bzw. -aufhängung berücksichtigt. Eine Gerätejustierung auf Materialien mit abweichendem E-Modul (Kupfer, Aluminium, Chrom etc.) ist einfach über eine Vergleichsmessung möglich und muss nur ein einziges Mal ausgeführt werden, denn die Justierparameter lassen sich im Klartext abspeichern und sogar per Email für andere Härtemess-Geräte verschicken. Für die Materialanpassung wird das Konzept der sogenannten Justierzahl „CAL“ verwendet mit deren Hilfe die Vickershärte aus der originalen Justierkurve neu berechnet wird (Abb.4).

Portable Härtemessung mit UCI



Wirkung der Justierzahl „Cal“

Beispiel Messung auf Aluminium: E-Modul ~ 70 GPa, Härteanzeige würde ca. 650HV auf der „Stahl“-Kurve bedeuten wegen der geringen Kopplungskonstante für Aluminium mit E-Modul ca. 70GPa verursacht ein deutlich kleineres Signal als Stahl, was durch Vergleich mit der Stahljustierung zu falschen Ergebnissen führen würde.

Abb. 4: Materialien mit abweichendem E-Modul müssen dem Prüfgerät antrainiert werden. Die Kopplungskonstante für Aluminium mit E-Modul ca. 70GPa verursacht ein deutlich kleineres Signal als Stahl, was durch Vergleich mit der Stahljustierung zu falschen Ergebnissen führen würde.

Die Vickers-Messergebnisse lassen sich nach Ermittlung des HV-Werts mittels Umwertungsfunktionen aus EN ISO 18265-2014 (ehemals DIN 50150) bzw. ASTM E140-13 in anderen Härteeinheiten bzw. Zugfestigkeit anzeigen. Die Problematik der Anwendung von Umwertungen innerhalb der klassischen Härteskalen wird in den Normtexten eingehend diskutiert. Der Oberflächen- bzw. Wärmebehandlungszustand und die Prozessführung können die Materialantwort für die verschiedenen Härteprüfmethode unterschiedlich beeinflussen. SonoDur2 beinhaltet alle Materialtabellen, in denen Vickers-Härtewerte mit anderen Skalen korreliert werden. Darüber hinaus stellt sich das Prüfgerät automatisch mit dem entsprechenden Justierfaktor CAL ein, wenn Erfahrungswerte bekannt sind (z.B. Aluminium, Tabelle F4, F5 oder T9 mit CAL=-8350, E-Modul ca. 70GPa). Von dort aus können Feinjustierungen sehr schnell und einfach bewerkstelligt werden. Das Konzept der Justierzahl CAL birgt noch weitere Vorteile, wenn z.B. die UCI-Prüftechnik in automatischen Prüfeinrichtungen eingesetzt wird und mögliche (gleichbleibende) Beeinflussungen durch die Sondenführung und -halterung kompensiert werden müssen.

Abb. 5 zeigt beispielhaft den Einsatz in Manipulatoren zur Messung von Aluminium-Bändern (ca. 1mm dick) nach Wärmebehandlung im Durchlaufprozess und Aluminium-Komponenten zur Motoraufhängung mit Langsonde SONO-50HL.

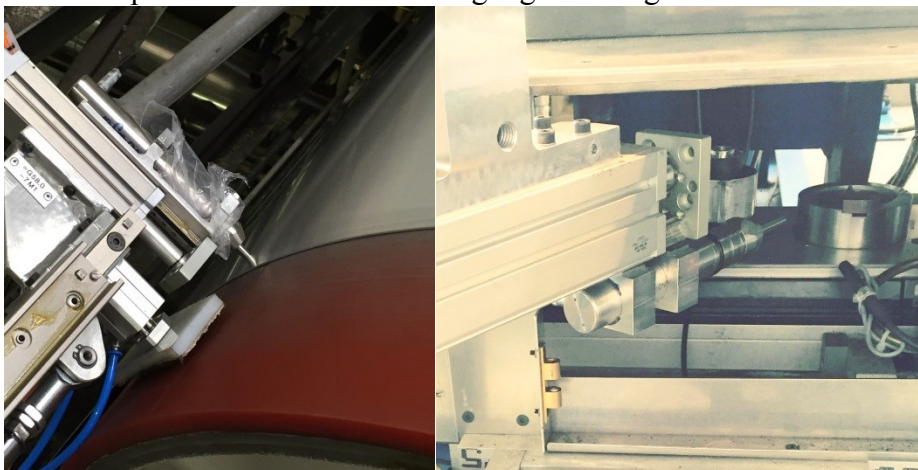


Abb. 5: HV1UCI an Aluminium-Band, HV5UCI (SONO-50HL) an Motoraufhängung

Das Prinzip der Vergleichsmessung und Justierung ist gängige Praxis in der zerstörungsfreien Prüfung mit z.B. Wirbelstrom (σ , μ , Sensordaten) oder Ultraschall (c, Prüfkopfdaten) und UCI (E-Modul, Schwingstab).

Bzgl. Umwertung von Vickers-Härtewerten in andere klassische Härteskalen ist es prinzipiell möglich, auch ohne Normumwertungstabellen Härtewerte in einer anderen Härteskala anzeigen zu lassen. Die Tabellen EN ISO 18265 und ASTM-E140 beziehen sich auf Erfahrungswerte mit bestimmten Werkstoffklassen. Ist beispielsweise der zu prüfende Werkstoff nicht gelistet, kann ein direkter Vergleichstest im Labor mit einer Härteprüfmaschine durchgeführt werden mit Justierung des UCI-Prüfgeräts über die Justierzahl CAL. Diese Justierung gilt dann nur in der gewählten Härteeinheit ohne weitere Umwertungsmöglichkeit.

3. Einige Bemerkungen zur Sondentechnik und Versuchsführung

Die heutigen digitalen UCI Motor- bzw. Hand-Mess-Sonden sind für den täglichen Einsatz konzipiert, wobei man durch manuelle Messung ohne Führungshilfen und Stative nach kurzer Zeit sichere Ergebnisse erzielen kann. Hand-Mess-Sonden (Prüfkraften: 10N, 50N, 100N) stehen für schnelle Messungen mit einer Vielzahl von Messpunkten. Motor-Mess-Sonden (Prüfkraften: 1N, 3N, 8,6N) sind für empfindliche Oberflächen und ermöglichen zu jedem Zeitpunkt eine gleichartige Kraftaufbringung und damit weitgehend bedienerunabhängige Messergebnisse in einem sehr engen Toleranzbereich. Durch die spezielle Charakteristik der Kraftaufbringung (frei wählbare Eindringzeit bei konstanter Prüfkraft) lassen sich Vickers-Eindrücke auch nachträglich noch optisch auswerten.

Messungen werden vor Ort unter teilweise schwierigen Bedingungen ausgeführt, wobei die genaue Positionierung der Messsonde wie bei der klassischen Vickers-Härteprüfung zwingend notwendig, hier nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich ist. Häufig ist der Messpunkt schlecht einsehbar, die Prüfposition geneigt oder wie bei der Schweißnahtprüfung nicht immer eine eindeutig zuordenbare Grenze zwischen den Wärmeeinflusszonen erkennbar. Dies gilt ebenso für die Ränder bei bearbeiteten Prüfflächen (Randentkohlung, induktive Härtung usw.). In jedem Fall ist immer damit zu rechnen, dass Fehlmessungen auftreten – auch durch fehlerhafte Sondenführung, die über eine Analyse aus mehreren Messwerten herausgefiltert werden müssen. Dies war früher schwierig zu erledigen, da die Prüfgeräte vielleicht einen Mittelwert berechnen konnten, jedoch kaum Einzelmesswerte zu Analysezwecken bereitstellen und man somit die Ergebnisse hierfür hätte aufschreiben müssen. Heute stellen die Anzeigeeinstrumente die Daten übersichtlich dar für eine bequeme Kontrolle und gegebenenfalls Löschung von Messwerten – Abb. 6.

Portable Härtemessung mit UCI



Abspeichern und Aufrufen der Materialjustierung Dokumentation der Parameter und der Ergebnisse

Abb. 6: Einfach zugängliche Daten erleichtern die Beurteilung von Ergebnissen bei gleichartiger Versuchsführung – Beispiel: Alu mit Umwertung in Einheiten HB Tabelle F5, EN ISO 18265-2014

Die eliminierten Messwerte (Ausreißer) scheiden für die Betrachtung des Ergebnisses aus, bleiben aber Teil des originalen Prüfprotokolls (Original-Aufschrieb), das nur vom Gerät selbst gelesen und ausgegeben werden kann. Zur Dokumentation in einem freien Format (kundenspezifische Darstellung der Ergebnisse) steht ein entsprechendes, bereinigtes Textprotokoll bereit, das mit jedem beliebigen Programm verarbeitet werden kann.

Die unterschiedlichen Prüfaufgaben erfordern angepasste Vorgehensweisen hinsichtlich Setzen der Messpunkte und Bewertung der Ergebnisse. In den relevanten Normen DIN 50159-1,2-2015 oder ASTM A1038-2012 sind dagegen nur die grundlegenden Vorgehensweisen dargelegt, die aber auch zu beachten sind.

Moderne Datenspeicher lassen Messdaten in nahezu unbegrenzter Menge strukturiert (Ordnungssystem) abspeichern. So ist es möglich und sinnvoll, alle Kalibriermessungen abzuspeichern für ein Langzeit-Monitoring und auch als Nachweis dafür, dass die Kalibriermessungen tatsächlich erfolgt sind (wenn vorgeschrieben).

Der Einsatz der Justierzahl CAL und die optimale Versuchsführung sind neben der richtigen Oberflächenbearbeitung und Handhabung der UCI-Sonden wichtige Pfeiler einer verantwortungsbewussten Tätigkeit des Prüfpersonals.

4. Messungen an Baustahl nach EN ISO 1090 [1]

Die Norm EN ISO 1090 aus dem Jahr 2014 beinhaltet Vorschriften zur Prüfung von thermischen Schnittkanten nach Vickers HV10. Für verschiedene Festigkeiten gelten an den Oberflächen die in Tab. 1 niedergelegten Grenzen.

Tabelle 1: Zulässige Härtegrenzwerte in HV10 (Quelle: EN ISO 1090-2 6.4.4)

Produktnormen	Stahlsorten	Härtewerte
EN 10025-2 bis -5	S235 bis S460	380
EN 10210-1, EN 10219-1		
EN 10149-2 und EN 10149-3	S260 bis S700	450
EN 10025-6	S460 bis S690	
Anmerkung: Diese Werte entsprechen EN ISO 15614-1 für Stahlsorten nach ISO/TR 20172		

Ebenso ist die Festigkeitsüberprüfung von Schraubenverbindungen mittels HV10 oder auch HV0,3 direkt an der Oberfläche vorgeschrieben. Beispielsweise erfordern Schrauben der Klasse HV10.9 eine Härte von 320-380 HV10 und für Scheiben oder Muttern ähnliche Werte.

Bei der Prüfung von thermischen Schnittkanten ist eine gute Ausleuchtung der Messstelle sehr wichtig, damit man die Prüfstelle gut einsehen kann und man auf keine Fehlstellen trifft. Die Materialoberfläche kann auch nach Schleifen noch stark zerklüftet sein. Diese Stellen müssen für eine Härtemessung ausgespart werden. Daneben wird an die Oberflächenbeschaffenheit eine Oberflächen-Reinheit gefordert entsprechend Sa 2 ½ (ISO 8501-1 / DIN 55928) mit einer maximalen Rauigkeit Rz, die vom Härteniveau abhängt. Bei Härtewerten bei etwa 250HV sollte eine maximale Rauigkeit von höchstens einem Drittel der Eindringtiefe vorliegen (entsprechend den Forderungen der ASTM A 1038). Die Eindringtiefe lässt sich anhand dieser Formel berechnen:

$$t [\mu m] = 62 * \sqrt{\frac{F [N]}{HV}}$$

Bei 550HV (z.B. gehärteter Feinkornbaustahl S690) ergäbe sich also mit dem HV10-Verfahren (10kgf/ 100N Prüfkraft) eine Eindringtiefe von ca. $t = 26 \mu m$ und damit eine maximale Rauigkeit von $Rz = 9 \mu m$.

Die Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit sind weniger streng als bei der klassischen Vickers-Härtemessung, da die wirksame Kontaktfläche entscheidend ist und nicht die Auswertung von Diagonalen nach Entlastung. Jedoch gilt auch hier, je besser die Oberfläche geschliffen wird, umso stichhaltiger sind dann die Messergebnisse. Dabei ist nicht zu befürchten, dass durch den Schleifprozess die nachzuweisende Härte in der Oberflächenschicht abgetragen worden ist, da der Materialabtrag mit Schleifscheibe bzw. Fächerschleifer mit 80iger bis 240iger Körnung gemessen an der Dicke der Härteschicht erfahrungsgemäß verschwindend gering ist.

Nach der UCI-Norm DIN 50159-1:2015 findet man eine mittlere Rauigkeit Ra üblicherweise je nach Körnung:

Körnung	120	180	240
Ra [μm]	1,2	1,0	0,6

Ob die Oberflächengüte für verlässliche Messungen ausreicht, stellt man in der Praxis dadurch eindeutig fest, dass bei einem Messwert aus zehn Messpunkten nicht mehr als zwei Messpunkte zu streichen sind und danach keine unakzeptable Streuung mehr vorliegt ($\sigma \leq 5\%$, $R \leq 15\%$ relativ zum Mittelwert). Der Messwert wird in jedem Fall aus den gültigen Messpunkten gemittelt. Bei dünnen Materialstärken ($< 5\text{mm}$) können lokal bedingte Resonanzen auftreten, die das Messergebnis stören. Dies äußert sich in unsinnigen Ergebnissen (meist weit zu hohe stark streuende Messwerte) an einer bestimmten Stelle des Bauteils, die eliminiert werden müssen. Falls möglich sollten in solchen Fällen die Messpunkte an anderer Stelle gesetzt werden und eine gute Gegenlagerung bzw. akustische Kopplung an die Unterlage erfolgen.

Versuche an Prüfstücken, die bei einem Lohnfertiger mit eigener Brenn- und Plasmaschneidanlage im Labor gemessen worden waren, bestätigten mit dem mobilen Verfahren die Erhöhung der Härte an Schnittkanten sowohl an S355 als auch an S690QL. Der maximal zulässige Härtewert nach EN ISO 1090 von 380HV10 bzw. 450HV10 wurde jeweils deutlich überschritten. Dies war an durchweg allen untersuchten Schnittkanten der Fall, wobei an S690QL verlässlich Härtewerte um 550HV10 gemessen wurden (Abb. 7).

Schnittkantenprüfung nach EN ISO 1090 mit HV10 Handsonde



Abb. 7: Messungen an der Laserschnittkante nach unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung

Über lokales induktives Aufheizen auf ca. 300 Grad C der Schnittkanten ist eine Absenkung der Oberflächenhärte (Versprödung) erreichbar.

Hier muss man auf zwei Details achten:

- Blaufärbung flächendeckend
- Kein Aufglühen, auch nicht kurzfristig.

Bekanntlich verliert ein gehärtetes Gefüge mit dem Erreichen von Temperaturen unterhalb AC1 immer mehr an Härte (und damit Versprödung). Ebenso ist bekannt, dass man mit der Tiefenwärme der induktiven Aufheizung sehr schnell in einem Durchlaufverfahren auf Anlasstemperaturen im Bereich 300°C kommen kann (Anlauffarbe blau). Nun sollte geprüft werden, ob ein sehr kurzes Erreichen der Anlasstemperatur schon den gewünschten Effekt hat.

Die Messungen haben ausnahmslos bestätigt, dass mit dem schnellen Induktions-Anlassen eine Verringerung der Härte um etwa 150HV auf das Niveau des Grundwerkstoffes erfolgt. Dabei wurden die bereits gemachten Erfahrungen an Baustahl S235 bestätigt.

Die gemessenen Werte:

S235	Grundwerkstoff/ angelassen	250HV	gehärtet auf 390HV
S355	Grundwerkstoff/ angelassen	340HV	gehärtet auf 480HV
S690QL	Grundwerkstoff/angelassen	380HV	gehärtet auf 550HV

S690QL ist ein vergüteter Feinkornstahl. Bei den höherfesten Feinkornstählen ist eine Enthärtung durch Anlassen auf 300°C vorteilhaft. Allerdings birgt Überhitzen oder zu langes Wärmen das Risiko einer Schädigung durch eine unvermeidliche Versprödung durch Grobkornbildung. Die Überprüfung mit UCI-Härtemessung HV10 bringt den Nachweis der Wirksamkeit des Induktions-Anlassens und verringert somit ein derartiges Risiko.

5. Messungen nach Oberflächen-Härtung

Die nachfolgenden Ergebnisse an Kupplungsteilen nach unterschiedlichen Wärmebehandlungs- und Härtungsprozessen waren nur unter schwierigen Bedingungen zu erhalten (Abb. 8).

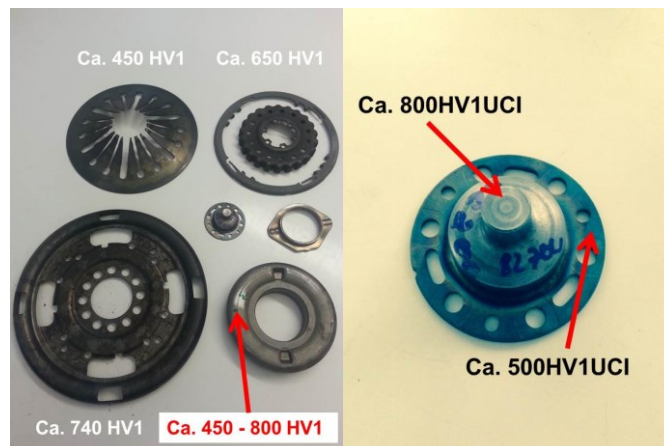


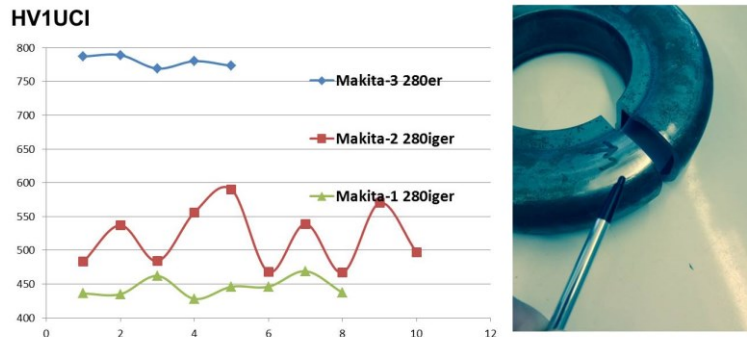
Abb. 8: Kupplungsteile gemessen mit HV1UCI SONO-10H nach unterschiedlicher Wärmebehandlung, Härtungsmethode und teilweise sehr lokal anders gehärtet.

Die Bauteile sind dünner (<3mm) und leichter (<300gr) als in den Anwendungsgrenzen der Norm 50159-1 ohne Ankopplung beschrieben. Sie konnten aber nicht gekoppelt werden bzw. anderweitig fixiert. Darüber hinaus sind teilweise an einem Bauteil lokale unterschiedliche Härteverfahren (nitrieren, induktives Härten) eingesetzt worden, um lokale spezifische Bauteileigenschaften zu erhalten. Diese mussten über Härtemessung nachgewiesen werden. Speziell an einem Teil war die Verbindungsschicht an der Oberfläche weicher als die darunterliegenden Schichten, was nur mit HV10 sicher hätte nachgewiesen werden können. Die Kundenforderung nach HV10UCI-Messungen brachte jedoch kein tragfähiges Ergebnis aufgrund von störenden Bauteilschwingungen.

Die Lösung brachte der Einsatz einer HV1UCI-Sonde, die per se eine geringere Ankopplung von Schwingungsenergie aus der Ultraschall-Resonanz-Anregung hat. Aufgrund der großen Bauteilsteifigkeit gegenüber gleichdicken Stahlbändern bzw. -platten sind Messungen ohne akustische Ankopplung an metallische Unterlagen durchaus möglich. Die Messreihen an dem Teil mit weicher Verbindungsschicht sind in Abb. 9 dargestellt. Zunächst wurde nach einmaligem, vorsichtigem Anschleifen eine viel zu geringe Oberflächenhärte gemessen. Durch eine Messreihe im Querschliff mit klassischer Vickershärte HV1 wurde eine Härte am Rand von ca. 780 HV1 gemessen. Mit der verwendeten UCI-Sonde können so fein aufgelöste Härteverläufe auch aufgrund des Randeffekts nicht gemessen werden. In einem weiteren Schleifprozess konnte allerdings dann die Oberflächenhärte mit ca. 780HV1UCI bestätigt werden, Abb. 9.

Hier ist die Quintessenz der Versuche darin zu sehen, dass bei Messungen der Oberflächenhärte u.U. zwei oder drei Messvorgänge stattfinden müssen in Kombination mit vorsichtigem Schleifen in weiteren Schritten, um sich an das Endergebnis heranzutasten.

UCI Härtemessung Anwendungen



Stufenweises Schleifen mit Fächerschleifer zur Entfernung der weichen Verbindungsschicht

Rote Kurve: Weiträumiges Abtasten der freien Fläche

Abb. 9: UCI-Härtemessreihen nach Überprüfung im Querschliff mittels klassischer Vickersprüfung.

Messungen an C45-Stahl Wälzlagerabschnitten aus Kundenreklamation konnten zeigen, dass das UCI-System mit speziellen Langsonden in der Lage ist auch die innere Laufbahn richtig abbilden zu können. Abb. 10 zeigt die Messanordnung ohne den Einsatz der Schutzhülse, um möglichst zielgenau und störungsfrei die Prüfposition erreichen zu können. Allerdings ist hier wichtig, den Zunder aus der Induktionshärtung zu entfernen und die Spitze der Sonde so zu setzen, dass der Schwingstab nicht die Wandungen berührt. An den seitlichen Abschnitten ist deutlich noch die Wärmeeinflusszone aus der Induktionshärtung zu sehen. Dieser Teil wurde manuell abgescannt, um den Härteverlauf abzubilden mit dem Ergebnis, dass die Härtewerte am Ende identisch waren mit der Messung in der Laufbahn (Abb. 10). Die Ergebnisse in der Laufbahn des Wälzlagers sind sehr schwierig zu erhalten, da man immer einen guten Blick auf die Prüfposition haben muss im Betrieb und natürlich auch Fehlmessungen auftreten können durch das Treffen von Bereichen mit Resten an Zunder. Dies erfordert auch hier wieder die Fähigkeit des Prüfers, die Messergebnisse nach Abschluss einer Reihe von Messungen zu analysieren und die fehlerhaften (zu niedrigen) Messwerte auf einfache Weise zu eliminieren wie in Abb. 6 beispielhaft gezeigt.

UCI Härtemessung Anwendungen

Induktiv Gehärteter Wälzlagerstahl C45

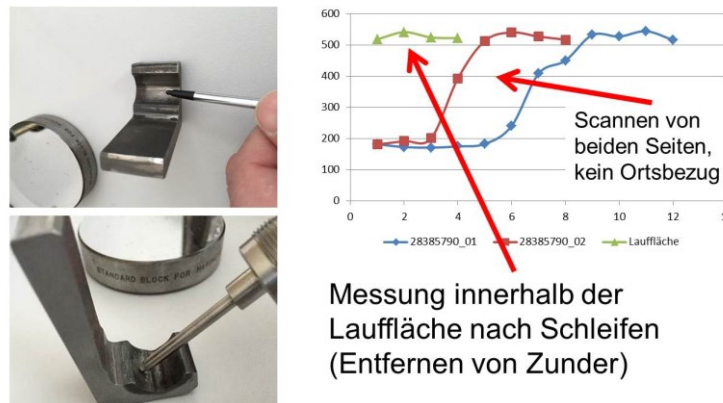


Abb. 10: Das manuelle Scannen der Seitenflächen vom Grundmaterial in die Wärmeeinflusszone der Induktiven Härtung zeigt identisches Verhalten. Die Härte in der Laufbahn konnte mit gleichem Niveau gemessen werden.

6. Zusammenfassung

Das UCI-Verfahren (Ultrasonic Contact Impedance) ist das Härteprüfverfahren, das am flexibelsten in der metallverarbeitenden Industrie einsetzbar ist, wie an Baustählen, Behältern, im Kraftwerksbereich usw. aber auch an komplex geformten Serienbauteilen (Federstahlbauteile, Kupplungskomponenten, Schneidwerkzeuge usw.) manuell oder auch in der Linie vollautomatisch. Jede Prüfaufgabe muss allerdings überlegt geplant werden und mögliche Einflussparameter berücksichtigt. Hierbei ist die Oberflächenbeschaffenheit – wie bei allen anderen Prüfverfahren auch – ein entscheidendes Kriterium einer erfolgreichen Härteprüfung. Dies muss den Bedienern und Qualitätsverantwortlichen bewusst werden. Die Schulungen müssen über die reine Gerätebedienung hinausgehen unter Erläuterung des Messprinzips und Beachtung der Randbedingungen der physikalischen Grenzen von mobilen Härteprüfverfahren. Daher sollte generell vor einem Gerätekauf das fragliche Messverfahren auch gründlich erprobt und deren Ergebnisse am Bauteil im Betrieb auf Sinnfälligkeit überprüft werden.

Referenzen

- [1] T. Vauderwange, M. Tietze, „Thermische Schnittkanten: Hart oder zu hart“ in „Schweißen und Schneiden“, 66(2014), Heft 10, S. 606-609