

Reproduzierbarkeit der Härtetiefenbestimmung CHD - NHD - SHD

Arnold Horsch, Arnold Horsch e.K., Berghäuser Straße 62, 42859 Remscheid
www.arnold-horsch.de – info@arnold-horsch.de

Die Härtetiefenbestimmung an oberflächengehärteten Bauteilen bietet immer wieder Diskussionsgrundlagen bezüglich der gefundenen Prüfergebnisse. Die Genauigkeit des Prüfergebnisses wird im Allgemeinen als Richtig angenommen ohne zu wissen welche Einflussgrößen das Ergebnis beeinflussen. Bei der Wichtigkeit der Härtetiefenbestimmung CHD - SHD - NHD für die zu überwachenden Prozesse ist die Unsicherheit des Prüfergebnisses der zu prüfenden Härtetiefe eine nicht zu vernachlässigende Größe. Die daraus resultierende offene Frage „Wie groß ist die Unsicherheit des Prüfergebnisses der Härtetiefenbestimmung?“, wird in der Literatur nicht beantwortet.

Ausgehend von dieser Frage wurden Ringversuche (an Proben) durchgeführt. Es wurde bestimmt mit welchen Prüfunsicherheiten bei der Prüfung der Härtetiefe gerechnet werden muss und welche Abweichungen bei verschiedenen Laboren untereinander auftreten. Diese Erkenntnisse sind insbesondere zur Vorgabe einhaltbarer Wärmebehandlungstoleranzen zwingend erforderlich.

The case depth determination on surfaces hardened components always offers a basis for discussion with regard to the test results found. The accuracy of the test is generally accepted as correct without knowing what factors influence the result. Considering the importance of the case depth determination CHD - SHD - NHD for the processes to be monitored, the uncertainty of the test result of the determined case depth is a non-negligible size. The resulting open question "What is the uncertainty of the test result of the case depth determination?", is not answered in the literature.

Based on this question interlaboratory tests were conducted (with samples). It was to be expected with what determines uncertainties when examining the case depth and about any deviations in different laboratories with each other.

1. Einleitung

Die Bestimmung der Randhärtetiefe ist für die Qualitätsbestimmung des Wärmebehandlungsergebnisses des Einsatzhärtens und Nitrierens von elementarer Bedeutung. Bei kaum einer anderen Prüfung eines Wärmebehandlungsergebnisses gibt es so viele Unstimmigkeiten und Diskussionen über die Prüfergebnisse, wie bei der Randhärtetiefenbestimmung.

Die Einflußgrößen auf das Prüfergebnis werden oftmals bei der Betrachtung des Prüfergebnisses, nicht berücksichtigt. Mittels eines Ringversuches sollten mögliche Streuungen an realen Proben ermittelt werden. Die Richtigkeit der Prüfergebnisse der Teilnehmer wurde nicht betrachtet. Ziel des Ringversuches war es, nur Streuungen darzustellen, wie sie bei täglichen Messungen in verschiedenen Laboren auftreten. Eine detaillierte Betrachtung der Einflußgrößen auf das Prüfergebnis wurde ebenfalls durchgeführt.

2. Normung

Zur Bestimmung der Randhärte tiefe sind folgende Normen bei der Prüfung zu beachten:

- DIN 50150 T. 3 [1] Härte tiefe wärmebehandelter Teile;
Ermittlung der Nitrierhärte tiefe
- DIN EN ISO 2639 [2] Stahl-Bestimmung der Einsatzhärte tiefe
- DIN EN ISO 4885 [3] Eisenwerkstoffe – Wärmebehandlung - Begriffe
- DIN EN ISO 6507 T. 1-3 [4] Metallische Werkstoffe-Härteprüfung nach Vickers
- DIN EN ISO 15787 [5] Technische Produktdokumentation –
Wärmebehandelte Teile aus Eisenwerkstoffen -
Darstellung und Angaben

2.1. DIN 50190 Teil 3 – Ermittlung der Nitrier-Härte tiefe – NHD [1]

Die DIN 50190 Teil 3 regelt die Bestimmung der Nitrier-Härte tiefe, sie wird wie folgt bestimmt:

- Nur nationale, keine internationale / europaweite Normung vorhanden
- Normprüflast HV 0,5, andere Prüflasten nach Vereinbarung zulässig
- GH (Grenzhärte ermittelt aus der Kernhärte = Ist Kernhärte+50 HV, (jeweils auf 10 HV gerundet)
- Kernhärte ermittelt in etwa 3x NHD
- Ein Härteverlauf, in Schiedsfällen 2 Härteverläufe
- Wird die Nitrier-Härte tiefe an mehreren Stellen ermittelt, so braucht, wenn der Unterschied der einzelnen Nitrier-Härte tiefen 10% des größten Wertes nicht überschreitet, nur der arithmetische Mittelwert angegeben werden.

2.2. DIN EN ISO 2639 – Stahl-Bestimmung der Einsatzhärte tiefe – CHD [2]

Die DIN EN ISO 2639 regelt die Bestimmung der Einsatzhärte tiefe, sie wird wie folgt bestimmt:

- Internationale Normung
- Normprüflast Prüflast HV 1, andere Prüflasten nach Vereinbarung zulässig, im Schiedsfall das genormte Verfahren
- Grenzhärte 550 HV1, wenn in 3x CHD die Kernhärte des Fertigteils unter 450 HV1 liegt, liegt sie höher, kann die Grenzhärte in Schritten von 25HV angehoben werden, ansonsten ist eine Vereinbarung zu treffen.
- Mittelwert aus 2 Härteverläufen, zulässige Abweichung < 0,1mm, daraus der Mittelwert
- CHD geprüft nach dem Härten vor einem evtl. Anlassen.
Hier ist die DIN EN ISO 2639 eindeutig darin, an welcher Stelle der Wärmebehandlung die CHD geprüft werden muß. [2] [3]

2.3. DIN EN 10328 Eisen und Stahl - Bestimmung der Einhärtungstiefe nach dem

Die DIN EN 10328 legt das Verfahren zur Bestimmung der Einhärtungstiefe nach dem Randschichthärten fest.

- Europa Normung
- Normprüflast Prüflast HV 1, andere Prüflasten nach Vereinbarung zulässig
- Die Prüfung erstreckt sich nur auf die
 - a) durch Abschrecken gehärtete Schichten mit einer Dicke von mehr als 0,3 mm;
 - b) Werkstücke, deren Härte in dem gegebenen Wärmebehandlungszustand im Abstand $3 \times DS$ von der Oberfläche niedriger ist als: $HV = \text{Härte} < \text{Grenzhärte} \cdot 100$.
- Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, muss die Einhärtungstiefe nach dem Randschichthärten durch besondere
- Vereinbarung festgelegt werden

2.4. DIN EN ISO 6507 Teil 2 [4]

In diesem Teil der Norm wird die zulässige Kalibrierabweichung der Härteprüfmaschine festgelegt, diese beträgt entsprechend der Prüflast:

| Verfahren | Prüflast | Zulässige Grenzabweichung | Wiederholgenauigkeit |
|---|----------|---|----------------------------|
| für die Nitrier-Härtetiefe | HV 0,5 | 200-300 HV = $\pm 5\%$ vom Härtewert 400-500 HV = $\pm 6\%$ vom Härtewert Ist bei 380 HV = ± 19 HV | 24 HV 32-40 HV 31 HV |
| für die Einsatzhärtungs-Härtetiefe | HV 1 | 200-400 HV = $\pm 4\%$ vom Härtewert 400-700 HV = $\pm 5\%$ vom Härtewert 800-1000 HV = $\pm 6\%$ vom Härtewert Ist bei 550 HV = $\pm 27,5$ HV | 44 HV |
| Prüfung auf einer Härtevergleichsplatte nach Teil 3 der Norm, nicht am Bauteil. | | | |

3. Einflüsse auf das Prüfergebniss

Es gibt eine Vielzahl von Einflussgrößen, die das Prüfergebniss der Randhärteiefenmessung beeinflussen können. Dies sind im wesentlichen:

- zulässige Kalibrierabweichung der Härteprüfmaschine
- Probleme bei der Beleuchtung der Härteprüfmaschine
- Abweichungen aus dem Verfahrenweg des Kreuztisches, zulässiger Fehler bei der Härteverlaufsprüfung $\pm 0,025$ mm, DIN EN ISO 2639
- Falsche Startpunktsetzung des Härteverlaufes, unscharfe Kante im Mikroskopbild
- Schwingungen während der Messung des Härteverlaufes
- Streuungen aus der Wärmebehandlung im Bauteil oder in der Wärmebehandlungscharge
- Streuungen innerhalb des Bauteiles, aus der Bearbeitung und den Werkstoffeinflüssen
- falsche metallographische Probenvorbereitung

Oftmals ist eine Kombination verschiedener Fehler vorhanden.

3.1. Kalibrierabweichung der Härteprüfmaschine

Wird die nach DIN EN ISO 6507 T.2 zulässige Kalibrierabweichung der Härteprüfmaschine in die Härteverlaufsdigramme der geprüften Proben eingetragen, ergeben sich zulässige Abweichungen aus der Härteprüfmaschine auf die NHD – CHD Mittelwertskurve von:

- NHD 0,23 mm = Streuung 0,07 mm = 30 % der NHD, Bild 1
- CHD 0,79 mm = Streuung 0,19 mm = 24 % der CHD, Bild 2

nur aus den zulässigen Kalibrierabweichungen der Härteprüfmaschine.

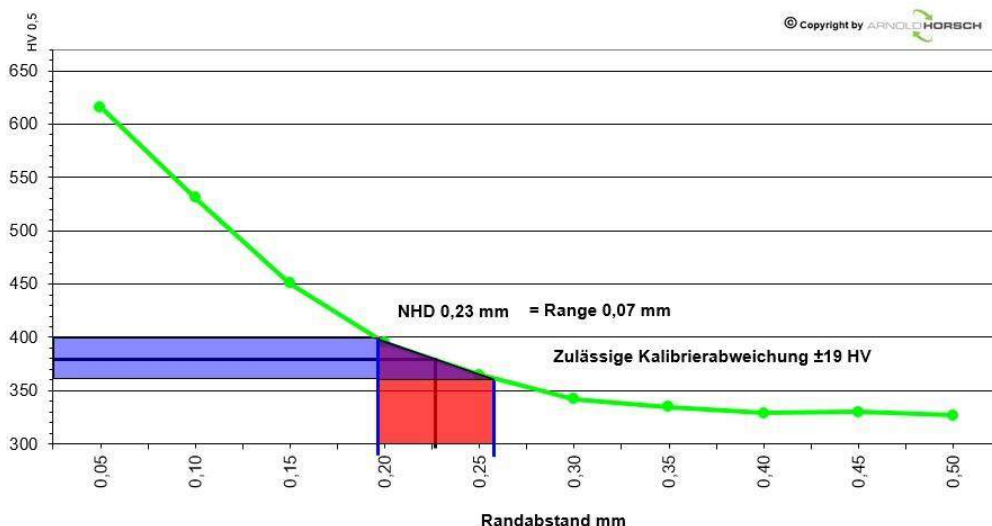


Bild 1

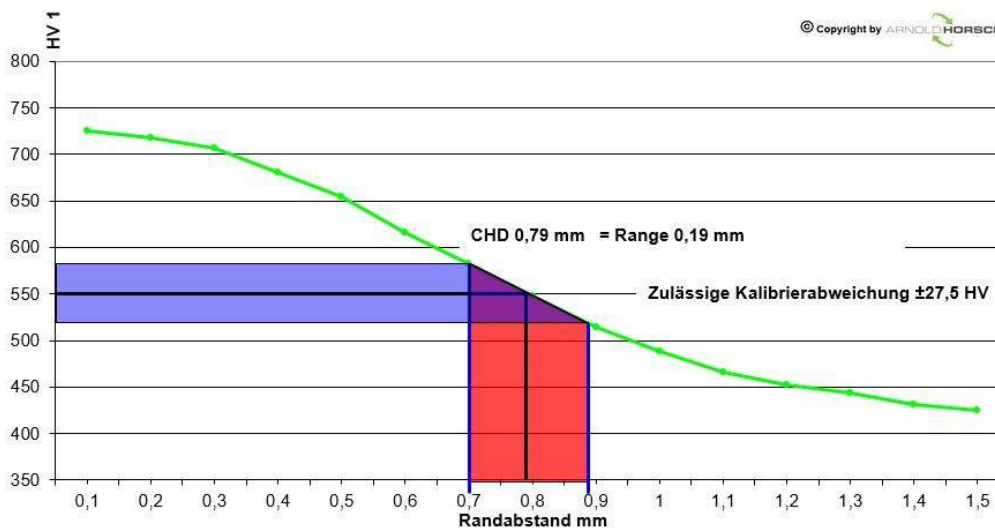


Bild 2

3.2. Beleuchtung der Härteprüfmaschine

Ist die Beleuchtung an einer Härteprüfmaschine nicht korrekt eingestellt, z.B. nach einem Glühlampenwechsel, kann es bei mit Bildanalysesystemen arbeitenden Härteprüfmaschinen zu deutlichen Abweichungen im Prüfergebnis kommen.

Im Bild 3 ist die automatische Auswertung an einer Härtevergleichsplatte wiedergegeben. Dieselben Härteeindrücke wurden einmal mit optimal zentrierter Beleuchtung und einmal mit dezentrierter Beleuchtung gemessen. Gut erkennbar bei der

roten Linie die teilweise um 20HV abweichenden Härtewerte, von den optimal ausgeleuchteten Härtewerten der blauen Linie.

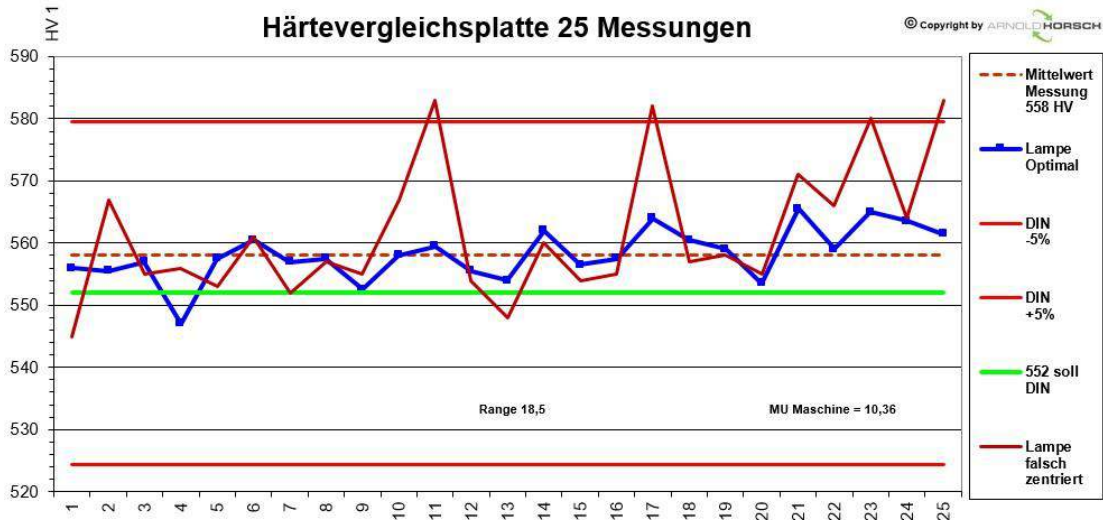


Bild 3

Bei optimaler Beleuchtung - wie in diesem Beispiel - kann eine Härteprüfmaschine mit sehr kleinen Streuungen und Abweichungen vom Sollwert prüfen, wenn Last usw. stimmen.

3.3. Werkstoffeinfluss

Sehr oft wird unterschätzt, welchen Einfluss Ungängen im Werkstoff auf das Prüfergebnis haben können. Dabei ist eine starke Zeiligkeit - wie in Bild 4 - wiedergegeben, ein Problem. Je nachdem, an welcher Stelle in einem bearbeiteten Bauteil hier die Randhärte tiefe bestimmt wird, kommt es aufgrund der Konzentrationsunterschiede in den Legierungselementen zu mehr oder weniger starken Streuungen im Ergebnis der Randhärte tiefenmessung, Werkstoffe sind nicht perfekt.

Gerade beim Nitrieren können sich solche Konzentrationsunterschiede im Ergebnis deutlich bemerkbar machen, da für die Härtesteigerung primär die Legierungselemente verantwortlich sind.



Bild 4 [6]

Beispiel Seigerungsbildung,
1.7225 +AC, 42CRM04 +AC, Längsschliff Rand-Kern-Rand


4. Ringversuch

4.1. Teilnehmer

Drei Labore nahmen am Ringversuch teil. Alle Labore prüfen in der täglichen Praxis Härteverläufe zur Randhärteiefenbestimmung.

4.2. Proben

Es wurden zwei Probenwerkstoffe für die Erstellung der Härteverläufe eingesetzt.

| Probe | Werkstoff | Wärmebehandlung | Probenabmessung | Oberflächenhärte |
|-------|-----------------------------|--------------------------------------|---|------------------|
| NHD | 1.7225+ QT 42CrMo4 + QT | gasnitriert | Rund Ø 70mm am aussen Ø geschliffen  © Copyright by ARNOLD HORSCH Bild 5 | 615-668 HV 10 |
| CHD | 1.7131 + AC 16MnCr5 + AC | Einsatzgehärtet Bil auf 0,7 - 0,9 mm | Flach 40x15x1000 mm geschliffen (Präziflach)  © Copyright by ARNOLD HORSCH Bild 6 | 58-60 HRC |

4.3. Probenvorbereitung

Alle Proben wurden wie folgt vorbereitet:

- Trennen mit einer Bornitrid Trennscheibe auf einer Niedertouren Diamantsäge
- Warmeingebettet bei 180°C, in Epoxydharz mit Mineralverstärkung
- Schleifen auf SiC Papier 120-1200 Korn
- Polieren mit Diamantsuspension 6µm auf hartem Seidentuch, 3µm auf NAP Tuch
- Feinpolieren mit, basischer Oxid-Polier-Suspension (pH~9,8, SiO₂) 0,05µm, auf Chem Tuch

Die Probenvorbereitung erfolgte zentral durch den Verfasser und nicht bei den Laboren, die die Randhärteiefenmessung durchgeführt haben.

4.4. Durchführung der Messungen

Drei vollautomatische Härteprüfmaschinen in drei verschiedenen Laboratorien führten auf jeweils einer Probe - ohne neue Präparation - eine Messung von jeweils 5 Härteverläufen durch. Alle Messungen wurden also mit der gleichen Probenpräparation durchgeführt.

Alle Labore haben die Messungen an Maschinen, die im täglichen Einsatz sind, durchgeführt. Für die Richtigkeit der Messung waren die Labore selbst zuständig. Die

Proben wurden zweimal zugesandt, um die Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten wiederholt durchzuführen.

| Zum Einsatz gekommene Härteprüfmaschinen | | |
|--|-------------------------|--|
| <p>Foto Fritz Müller GmbH</p> | <p>Foto EMCOTEST</p> | <p>Foto KB Prüftechnik</p> <p>Foto Zwick</p> <p>© Copyright by ARNOLD HORSCH</p> |
| DURASCAN 70 Emcotest | KB 30 KB Prüftechnik | FM300+PRECIDUR FUTURE TECH |

4.5. Prüfergebnisse

4.5.1. Nitrierte Probe

An der nitrierten Probe wurde den Teilnehmern die Kernhärte mit 330HV vorgegeben. An beiden Teilen wurden im Schliiff Härteverlaufmessungen an verschiedenen Positionen durchgeführt. Die Lage konnten die Teilnehmer selbst bestimmen.

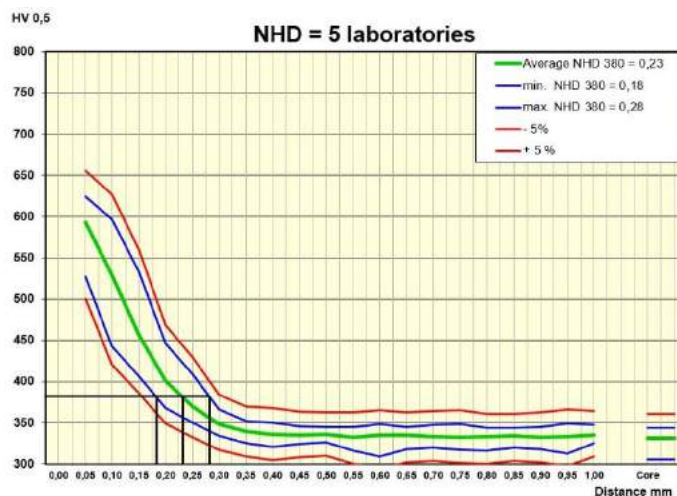


Bild 10

- Grüne Kurve Mittelwert aller Randhärtebestimmungen
- Blaue Kurven Streuungen aus allen Messungen
- Rote Kurve zulässige Kalibrierabweichung der Härteprüfmaschinen
- NHD 0,23mm, Streuung 0,1mm = 40%

4.5.2. Einsatzgehärtete Proben

An der einsatzgehärteten Probe konnten die Teilnehmer die Messpunkte, an denen sie die Härteverlaufsmessungen durchführten, auf der Längsseite selbst bestimmen.

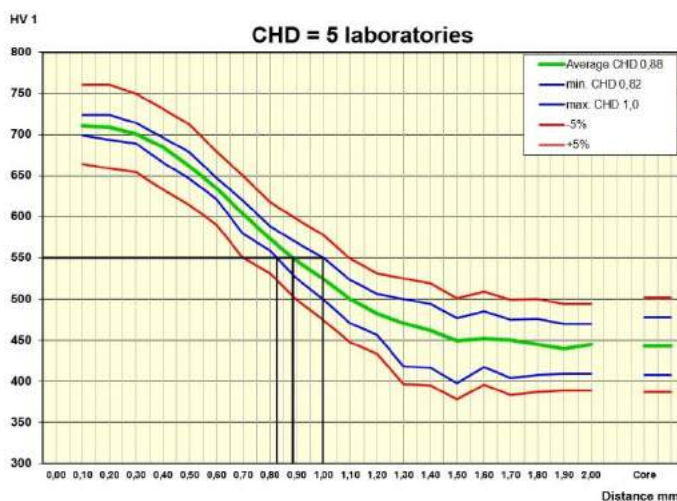


Bild 11

- Grüne Kurve Mittelwert aller Randhärteiefenbestimmungen
- Blaue Kurven Streuungen aus allen Messungen
- Rote Kurve zulässige Kalibrierabweichung der Härteprüfmaschinen
- CHD 0,88mm, Streuung 0,22mm = 19%

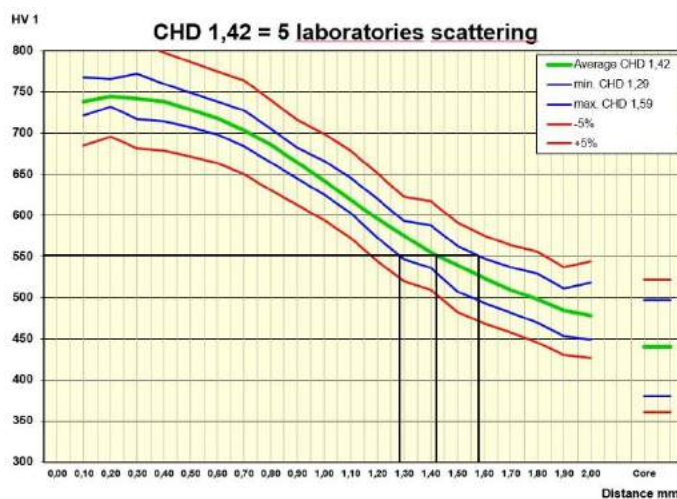


Bild 12

- Grüne Kurve Mittelwert aller Randhärteiefenbestimmungen
- Blaue Kurven Streuungen aus allen Messungen
- Rote Kurve zulässige Kalibrierabweichung der Härteprüfmaschinen
- CHD 1,42mm, Streuung 0,30mm = 21%

4.6.

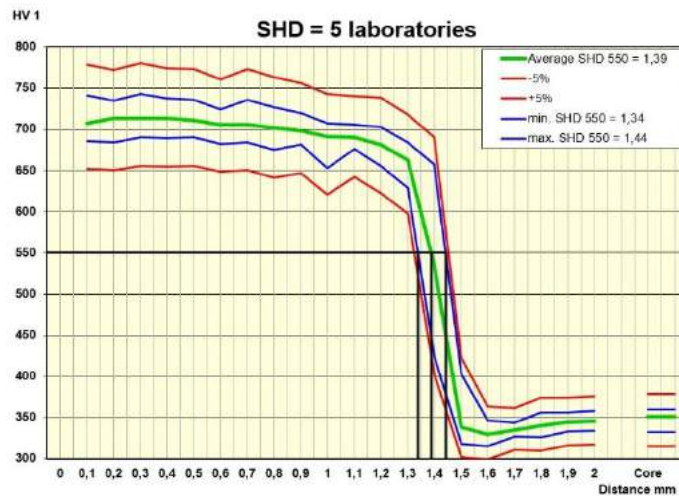


Bild 13

- Grüne Kurve Mittelwert aller Randhärte-tiefenbestimmungen
- Blaue Kurven Streuungen aus allen Messungen
- Rote Kurve zulässige Kalibrierabweichung der Härteprüfmaschinen
- SHD 1,39mm, Streuung 0,10mm = 7%

5. Auswertung

5.1. Einflüsse auf das Prüfergebnis

Wie in Kap.3 gezeigt, können die Einflüsse auf das Prüfergebnis der Randhärte-tiefenbestimmung aus den zulässigen Abweichungen der Prüf-systeme erheblich sein. Die zulässigen Summenfehler an den geprüften Proben betragen:

- NHD Messung
Hier schwankt der zulässige Fehler abhängig von der Kernhärte. Er kann an der geprüften Probe 0,07 mm betragen zuzüglich $\pm 0,025$ mm aus der zulässigen Abweichung des Kreuztisches (in der DIN 50190 T.3 nicht genormt). Zulässiger Gesamtfehler aus dem Prüf-system 0,12 mm, bei einer NHD von 0,23 mm $\approx 50\%$.
- CHD Messung
Aus der Grenzabweichung der Härteprüfmaschine, im gezeigten Beispiel 0,19 mm zuzüglich $\pm 0,025$ mm aus der zulässigen Abweichung des Kreuztisches. Zulässiger Gesamtfehler aus dem Prüf-system 0,24 mm, bei einer CHD von 0,88 mm $\approx 30\%$.

5.2. Gemessene Proben

Die im Ringversuch geprüften Proben liegen mit Ihren Ergebnissen besser als der zulässige Fehler der Prüfmaschinen. Jedoch zeigt sich, dass die Spannweite aller Labore zusammen doch erheblich sein kann.

| Verfahren | Mittelwert | Geprüfte Spannweite | | Bild |
|-----------|---------------|---------------------|----------|-------|
| NHD | 0,23 mm | 0,1mm | 40% | 10 |
| CHD | 0,88 / 1,42mm | 0,22 / 0,30 mm | 19 / 21% | 11+12 |

| | | | | |
|-----|------|--------|----|----|
| SHD | 1,39 | 0,1 mm | 7% | 13 |
|-----|------|--------|----|----|

6. Zusammenfassung

Die Streuung der Randhärteiefenmessung verschiedener Labore kann erheblich sein. Der Fehler kann bis zu 40% des Prüfergebnisses betragen. Ursachen können die Kalibrierabweichung der Härteprüfmaschine, der Einfluss des Probenmaterials sowie der Probenpräparation u.v.m. sein.

Anhand der Prüfergebnisse wurde gut dargestellt, dass viele Diskussionen über die Prüfergebnisse wahrscheinlich nichts mit dem Ergebnis der Wärmebehandlung zu tun haben, sondern oftmals Diskussionen über die Streuung der Prüfgeräte und Probenmaterialien sind.

Im Streitfall ist eine genaue Betrachtung der Prüfsysteme vorzunehmen. Eine Schiedsmessung in einem anderen Labor ist hier nicht immer die Lösung, insbesondere wenn dessen Abweichung nicht bekannt ist.

7. Ausblick

Im nächsten Schritt wird die Anzahl der Labore und die Anzahl der Proben mit verschiedenen Randhärteiefen für einen erweiterten Ringversuch erhöht.

Zusätzlich wird der Einfluss der Probenpräparation durch die Prüflabore einbezogen. Die Prüflabore werden die Proben selbst präparieren und anschließend auswerten.

Literatur

- [1] DIN 50150 Teil 3
- [2] DIN EN ISO 2639
- [3] DIN EN ISO 4885
- [4] DIN EN ISO 6507 Teil 1-3
- [5] DIN EN ISO 15787
- [6] <http://metallograph.de/>
- [7] *Arnold Horsch, Thomas Asam*, Reproduzierbarkeit der Härteiefenbestimmung CHD - SHD – NHD, Vortrag auf dem Härtereikongreß 2016