



Einsatz von Ultraschall zur zerstörungsfreien Bestimmung der Materialeigenschaften an Stahlwerkstoffen

Mathias Stolzenberg, SZMF Salzgitter
Daniel Fingerhut, TU Carolo-Wilhelmina Braunschweig

Graz, 19.09.2012 DACH Tagung

Materialcharakterisierung mit Ultraschall, Motivation



Zerstörungsfreie Prüfverfahren erlauben:

Werkstoffprüfung direkt am Produkt ohne Beeinträchtigung der Gebrauchseigenschaften

Online Prüfung während der Produktion bzw. in allen Produktstufen

Bestimmung diverser Gefügeeigenschaften durch Nutzung physikalischer Zusammenhänge

EWMP 506, Folie 2, 14. Okt. 2010

Zerstörungsfreie online Verfahren, Motivation

Entwicklungsziele

Optimierung von Prozessen (Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit)

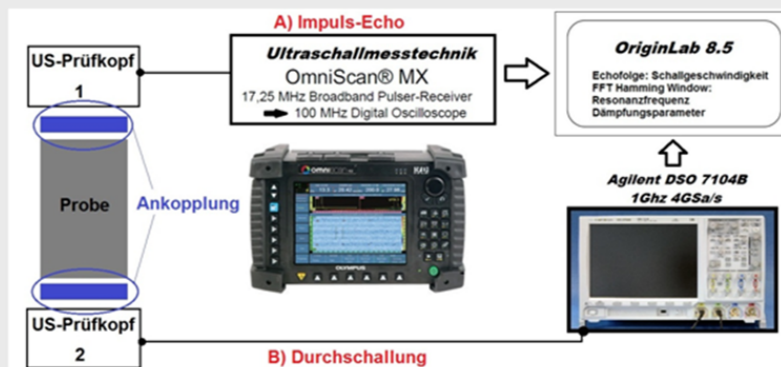
Optimierung der Produktqualität (Kundenzufriedenheit)

Entwicklung neuer Werkstoffe (neue Anwendungen)
ggf. über neue Prozess – Routen

Notwendig: neue Methoden der Werkstoffcharakterisierung
online Methoden
zerstörungsfrei

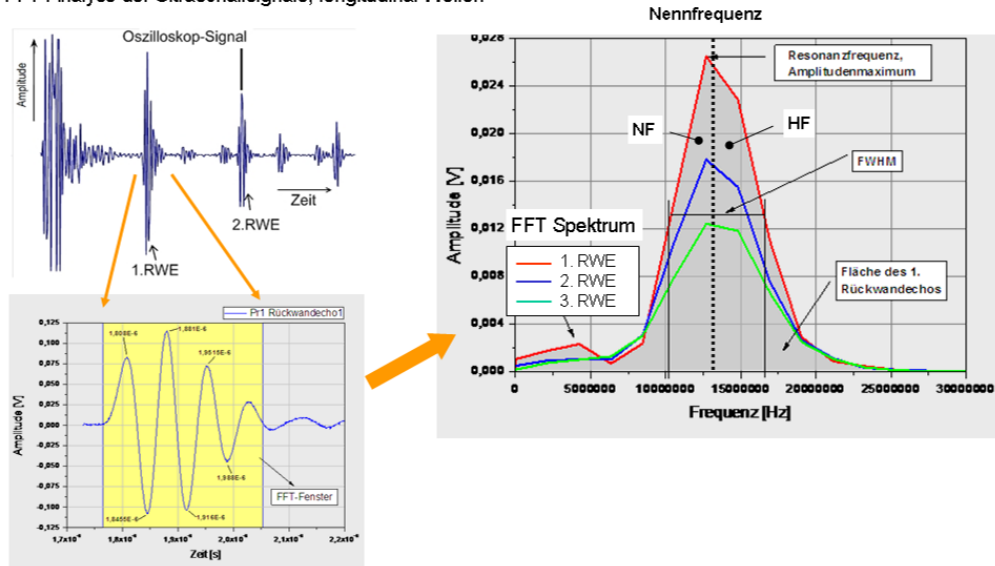
ESWIP 506, Folie 3, 14. Okt. 2010

Erfassung der Ultraschallsignale



ESWIP 506, Folie 4, 14. Okt. 2010

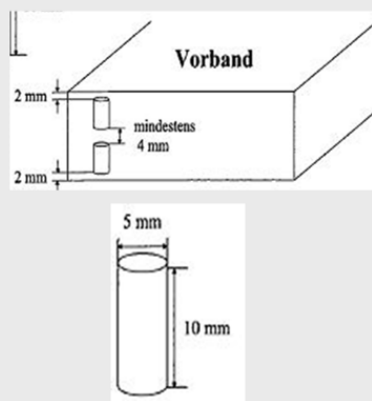
FFT-Analyse der Ultraschallsignale, longitudinal Wellen



BWWP 506, Folie 5, 14. Okt. 2010

Materialcharakterisierung mit Ultraschall, Probenübersicht

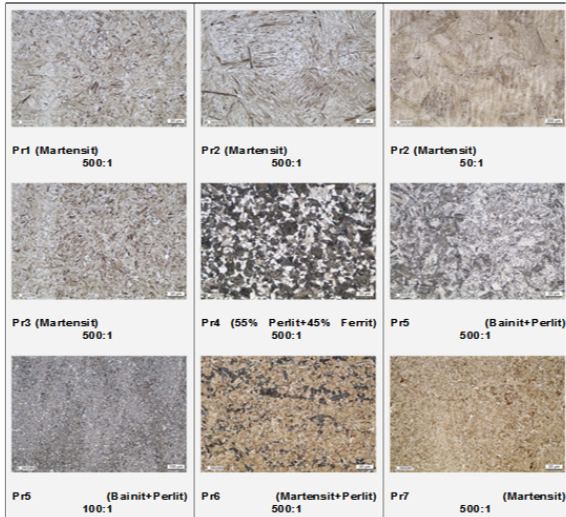
Material und Herstellung der Proben



Nr.	Versuchswerkstoff	Probenbezeichnung (RT)
1	42CrMo4	Pr1-Pr5
2	C60	Pr6
3	51CrV4	Pr7
4	HS	HS1-HS7
5	Cr 1	V363
6	Cr 2	V365

BWWP 506, Folie 6, 14. Okt. 2010

Gefügepräparation für die Untersuchungen, Proben Pr1-Pr7



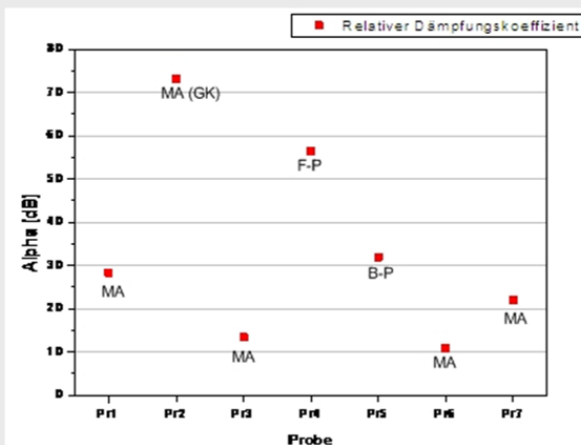
Probe	Wärmebehandlung ¹⁾	Mikro-struktur und KG ²⁾
Pr1	LG: 860 ° C für 5 min / H ₂	MS
Pr2	LG: 1200 ° C für 10 min / H ₂	MS (KG: -1..0)
Pr3	LG: 860 ° C für 5 min WB: 750 ° C für 2000s / N ₂	MS
Pr4	LG: 860 ° C für 5 min WB: 650 ° C für 800s / N ₂	45% F + 55% P (KG: 10)
Pr5	LG: 860 ° C für 5 min WB: 425 ° C für 1000s / N ₂	B+P inhomogen
Pr6	LG: 860 ° C für 5 min / H ₂	MS+P inhomogen
Pr7	LG: 860 ° C für 5 min / H ₂	MS

MS: martensitisch; B+P bainitisch perlitisch
F+P: ferritisch perlitisch
LG: Lösungsglühen

ESWIP 596, Folie 7, 14. Okt. 2010

Materialcharakterisierung mit Ultraschall, Ergebnisse P1-P7

Rel. Dämpfungskoeffizient in Abh. von der Korngröße und Phase



Rel Dämpfungskoeffizient:

$\Sigma f_{ft}(NF - \text{Anteil})$

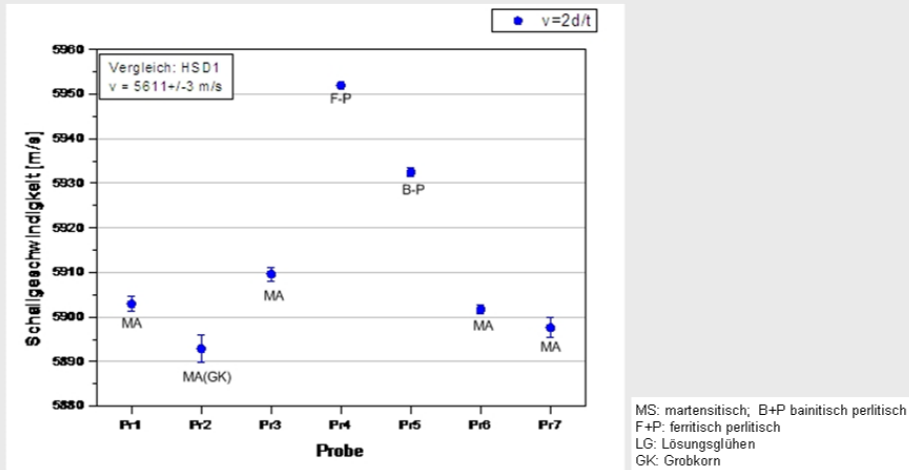
$\Sigma f_{ft}(HF - \text{Anteil})$

MS: martensitisch; B+P bainitisch perlitisch
F+P: ferritisch perlitisch
LG: Lösungsglühen
GK: Grobkorn

Mit steigender Korngröße nimmt der niederfrequente Anteil zu, die Frequenzverhältnisse ändern sich mit dem Phasengemisch

ESWIP 596, Folie 8, 14. Okt. 2010

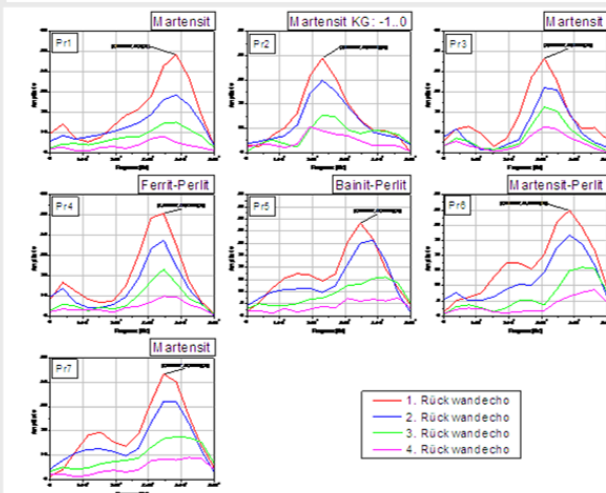
Schallgeschwindigkeit in Abh. vom Gefüge



Die Schallgeschwindigkeit sinkt von
ferritisch/perlitischem Gefüge → bainitisch/perlitischem Gefüge → martensitischem Gefüge

ESWIP 550, Folie 9, 14. Okt. 2010

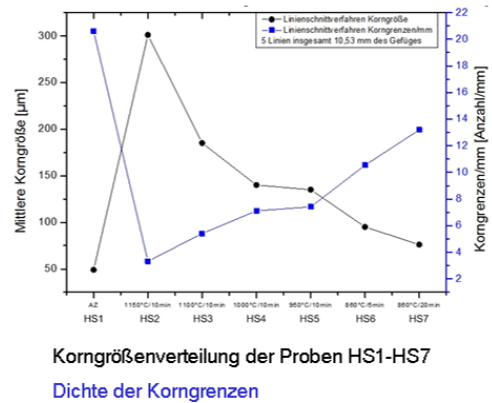
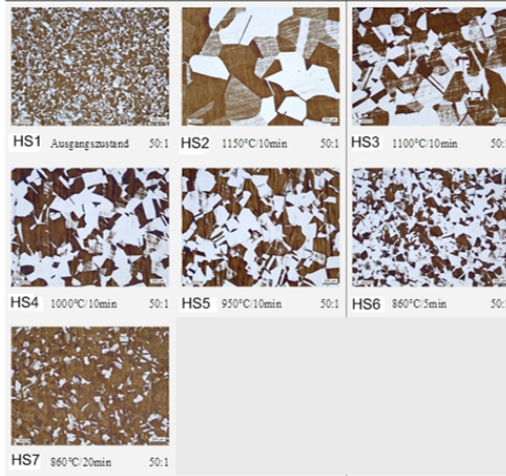
Fourierspektren der RWE's in Abhängigkeit vom Gefüge



Die Form der Spektren ändert sich mit der Zusammensetzung des Gefüges

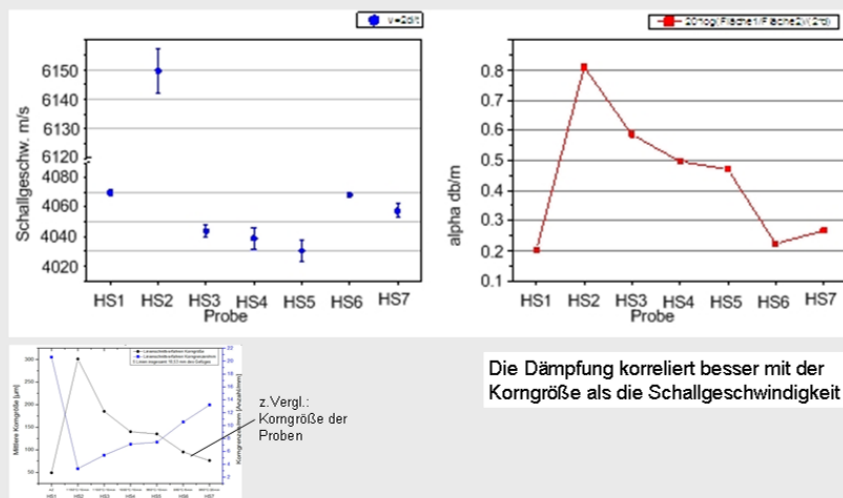
ESWIP 550, Folie 10, 14. Okt. 2010

Gefügepräparation für die Untersuchungen, Proben HS1-HS7, V363, V365



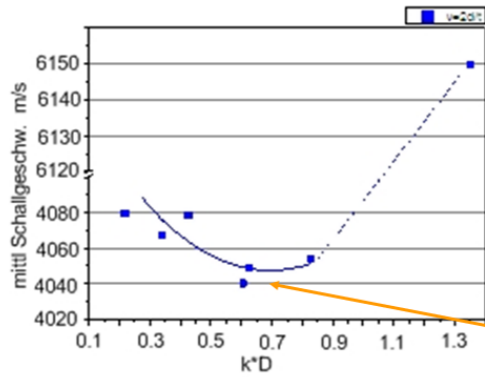
BSW 506, Folie 11, 14. Okt. 2010

Schallgeschwindigkeit und Dämpfung in Abh. von der Korngröße

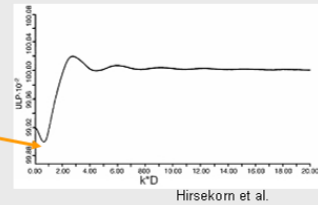


BSW 506, Folie 12, 14. Okt. 2010

Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Produkt aus Wellenzahl und Korngröße

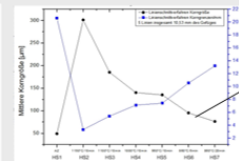
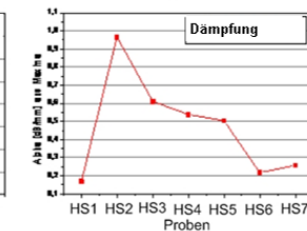
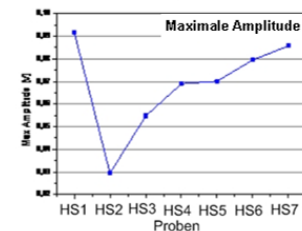
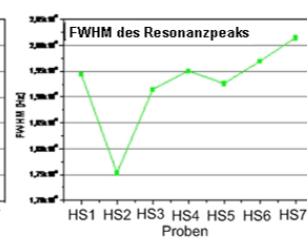
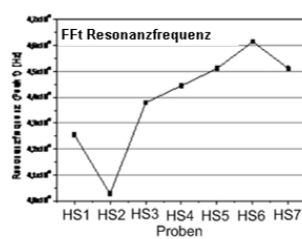


Vergleich mit Ergebnissen von Hirsekorn et. al. zeigt gute Übereinstimmung zu Literaturwerten



ESWIP 550, Folie 14, Okt. 2010

Kennwerte aus der fft-Analyse in Abhängigkeit von der Korngröße

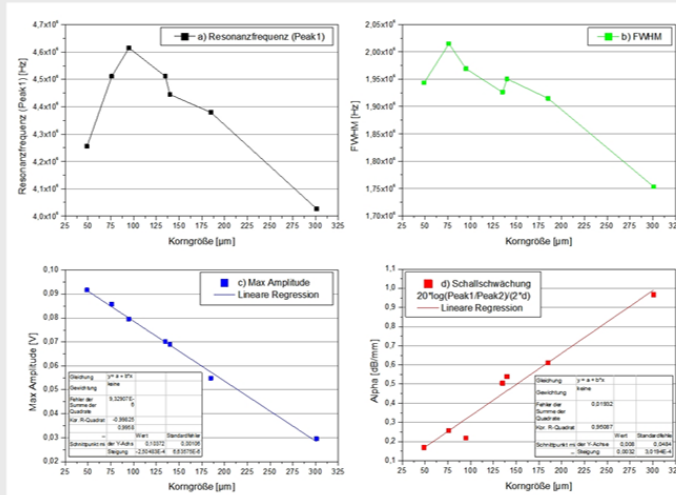


z. Vergl.: Korngröße der Proben

Die Änderungen diverser Kenngrößen aus den fft-Spektren korrelieren gut direkt oder invers zur Korngröße

ESWIP 550, Folie 14, Okt. 2010

Kennwerte aus der fft-Analyse in Abhängigkeit von der gemessenen der Korngröße



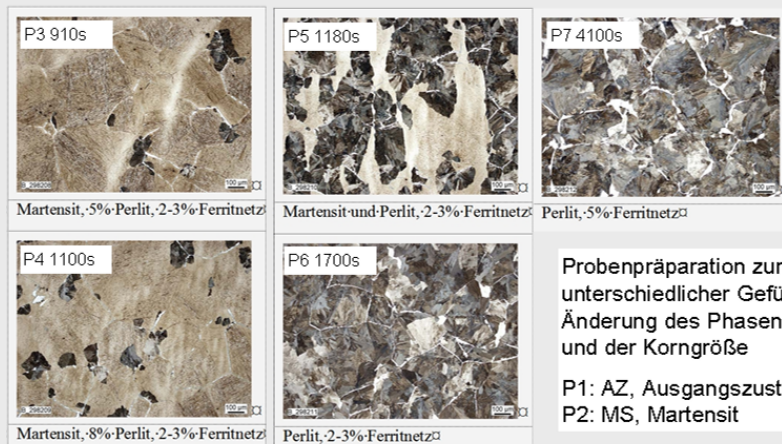
Die Kennwerte korrelieren gut zur gemessenen Korngröße

Direkte Proportionalität der Dämpfung zur Korngröße

Umgekehrte Proportionalität der fft-Maximalamplitude zur Korngröße

BSWIP 050, Folie 15, 14. Okt. 2010

Proben aus 42CrMo4, Glühtemperatur 650° C, verschiedene Haltezeiten, Gefügestand

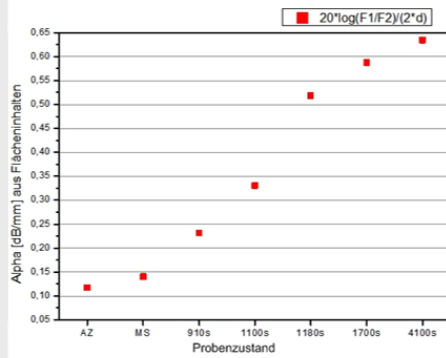


Probenpräparation zur Einstellung unterschiedlicher Gefügestände, Änderung des Phasengemischs und der Korngröße

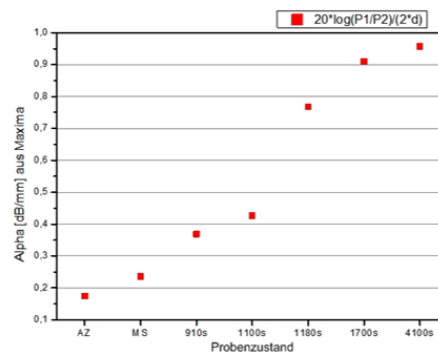
P1: AZ, Ausgangszustand
P2: MS, Martensit

BSWIP 050, Folie 16, 14. Okt. 2010

Proben aus 42CrMo4, Glüh­temperatur 650° C, verschiedene Haltezeiten, f:10MHz



Dämpfungswert aus fft Flächeninhalt

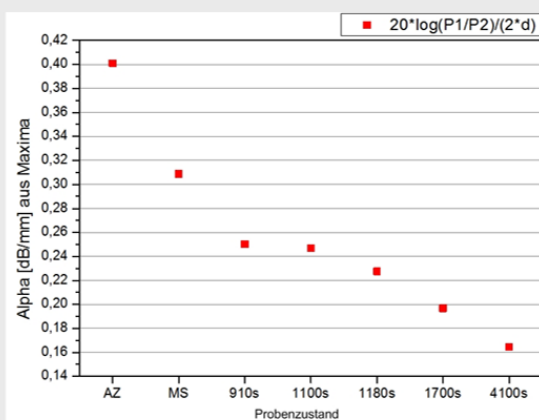


Dämpfungswert aus fft Frequenzmaximum

Dämpfungswerte aus fft Flächeninhalten und fft Maxima unterscheiden sich nur wenig
Zunahme der Dämpfung mit Veränderung des Gefüges von Martensit zu Perlit bei 10 MHz

EWMP 506, Folie 11, 14. Okt. 2010

Proben aus 42CrMo4, Glüh­temperatur 650° C, verschiedene Haltezeiten, f: 4MHz

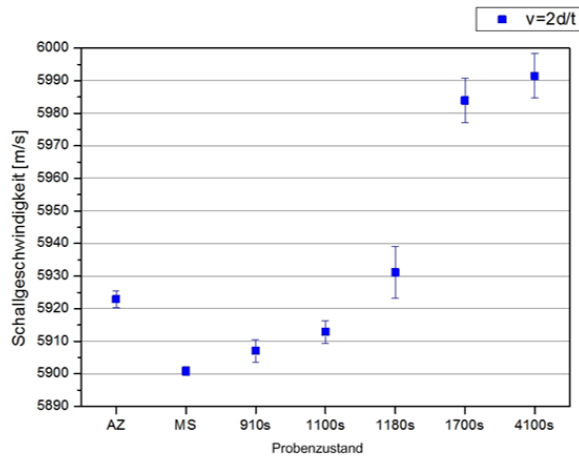


Dämpfungswert aus fft
Frequenzmaximum in Abh.
von der Haltezeit

Bei 4MHz US-Frequenz sinkt die Dämpfung mit der Änderung der Gefügestruktur von Martensit zu Perlit

EWMP 506, Folie 15, 14. Okt. 2010

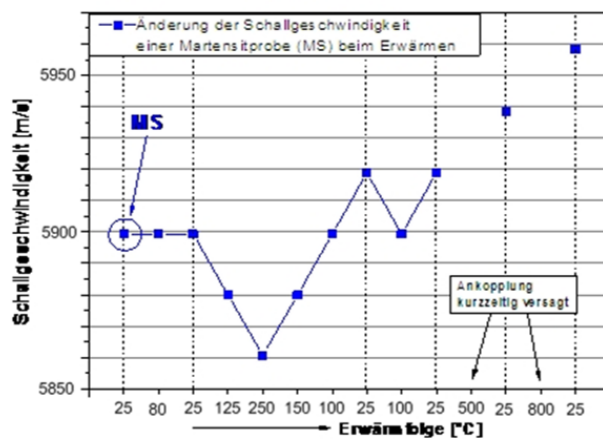
Proben aus 42CrMo4, Glühtemperatur 650° C, verschiedene Haltezeiten, f. 4MHz



Schallgeschw. in Abh. von der Haltezeit

Die Ultraschallgeschwindigkeit steigt bei Übergang vom Martensit zu Perlit/ Ferrit

ESWIP 590, Folie 15, 14. Okt. 2010



Martensitische Probe
Schallgeschwindigkeit nach verschiedenen Temperaturstufen

Ankopplung über Keramikstab, HT-Koppelmittel

Anlasseffekte zeigen sich in nicht reversibler Veränderung der Schallgeschwindigkeit, die Schallgeschwindigkeit erhöht sich mit dem Abbau von Spannungen und Versetzungen

ESWIP 590, Folie 20, 14. Okt. 2010

Zusammenfassung

Auswertung der A-Bilder hinsichtlich

Schallgeschwindigkeit, Dämpfung,
aus fft: Spektrum, fmax, FWHM, α_{rel}

Ergebnisse

- Gute Korrelation der Phasenanteile und Korngröße zu den Ultraschallparametern
- Kalibrierungsmethoden zur Bestimmung von Gefügekenngößen sind notwendig
- Die Spektren bieten die Möglichkeit zur Identifikation der Phasen, weitere Untersuchungen sind notwendig.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit