Zwick / Roell

Prüfen mit Verstand

ZHN Nanoindenter –

Anwendungsbeispiele

Dr. Erhard Reimann, Zwick GmbH & Co. KG

Agenda

Zwick / Roell

Einführung und Überblick

Anwendungsbeispiele

Zusammenfassung

Einführung: Nanoindenter

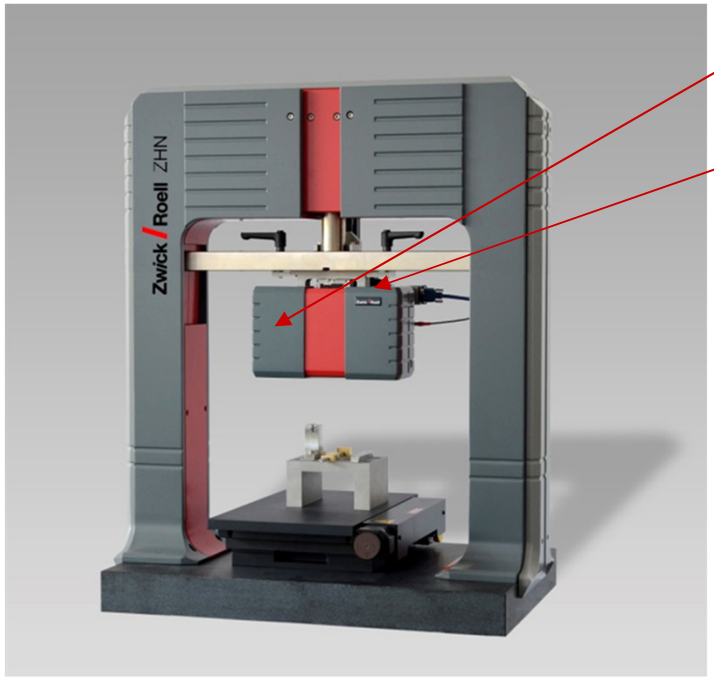
Was ist mit Nanoindentation oder Nanoindenter gemeint?

- Norm **ISO 14577** unterscheidet
  - Makrobereich für Kräfte 2… 30000 N und Eindringtiefen größer 6 µm
  - Mikrobereich für Kräfte kleiner 2 N und
  - Nanobereich für Eindringtiefen kleiner 0,2 µm
  - … und beinhaltet die Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffparameter
- Instrumentierte Eindringprüfung bei der die Prüfkraft und die Eindringtiefe kontinuierlich gemessen werden; **die Wegauflösung ist im Nanometer-Bereich**

- Hintergrund:
  - Die Dimension eines Eindrucks ist zu klein für eine optische Vermessung
  - Vickers-Indenter: Diagonallänge d ≈ 7 * Tiefe
  - Mindest-Diagonallänge für optische Messung: 20µm → Mindesttiefe etwa 3µm
  - Mit 1/10-tel Regel: dünnste messbare Schicht: 30µm

ZHN: 2 Messköpfe

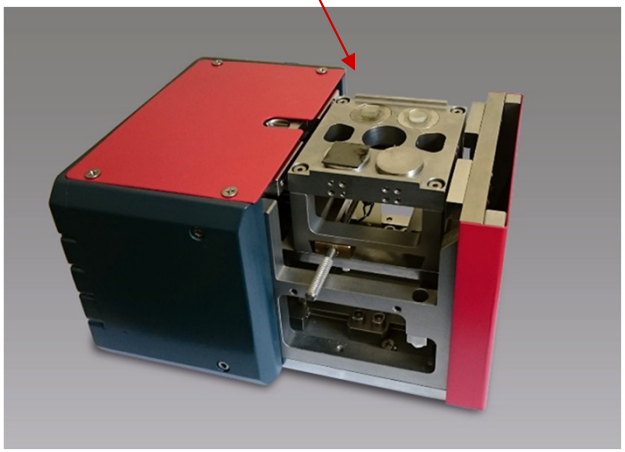
Das ZHN kann mit zwei Messköpfen ausgestattet werden: Normal Force Unit und Lateral Force Unit



Normalkrafteinheit (NFU)

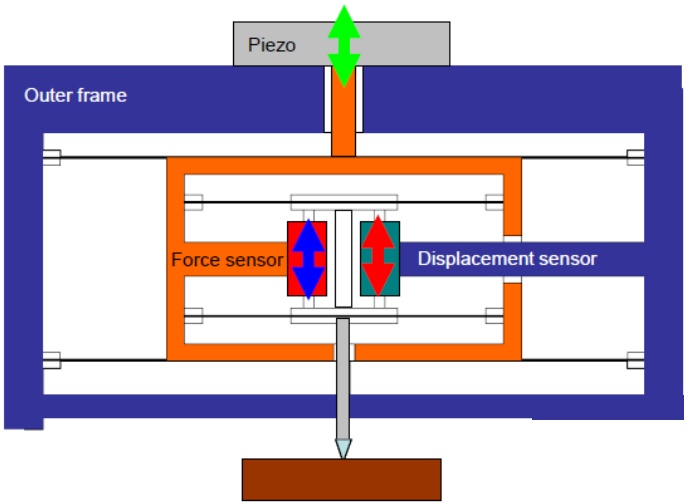
Optik

Lateralkrafteinheit (LFU)



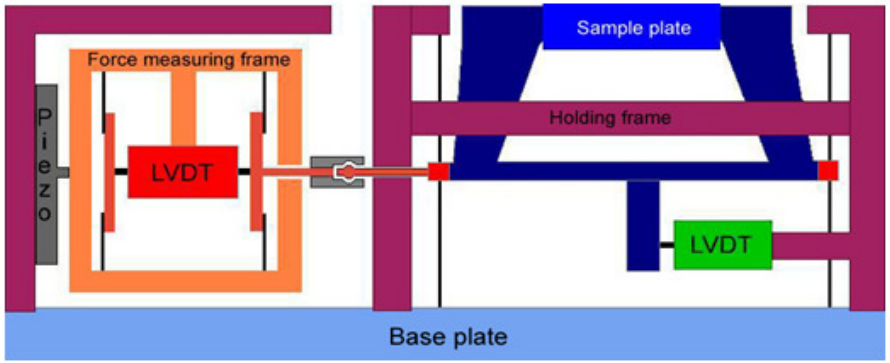
Funktionsprinzip: NFU & LFU

Das Funktionsprinzip der beiden Messköpfe:



Normal Force Unit (NFU):

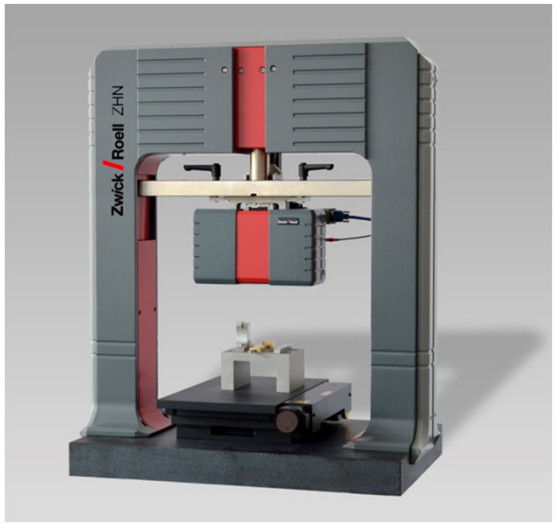
- Piezo-Antrieb
- LVDT rot für Kraft
- LVDT grün für Tiefe



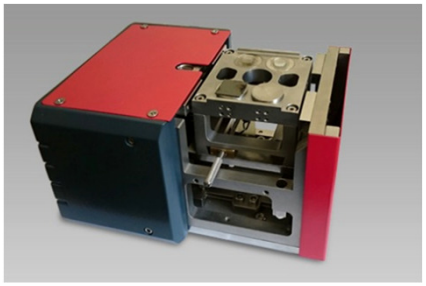
Lateral Force Unit (LFU):

- Piezo-Antrieb
- LVDT rot für Kraft
- LVDT grün für Weg
- Motor-Klemme Piezo-Probentisch

Das ZHN – für vollautomatische Eindringprüfungen (ISO 14577) und die mechanische Charakterisierung von Beschichtungen im Nano- und Mikrobereich bis zu 2 N.

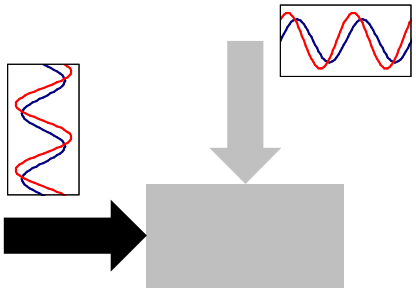


- Größtmöglicher Anwendungsbereich durch modularen Aufbau von Messköpfen, Probenhaltern und anderen Werkzeugen (z.B. AFM)
- Leichter Nachweis externer Kräfte (z.B. Adhäsionskräfte) und wahre Kraft- als auch Wegsteuerung möglich, da Krafterzeugung und Kraftmessung völlig unabhängig voneinander sind
- Zweiter Messkopf in lateraler Richtung für Scratch-, Verschleiß-, Ermüdungs- sowie tribologische Prüfungen ermöglicht 4 Freiheitsgrade anstelle eines bei einem Standard-Nanoindententer
- Die intuitive Software InspectorX verwendet ausgefeilte Algorithmen u.a. zur Bestimmung der Indenter-Flächenfunktion

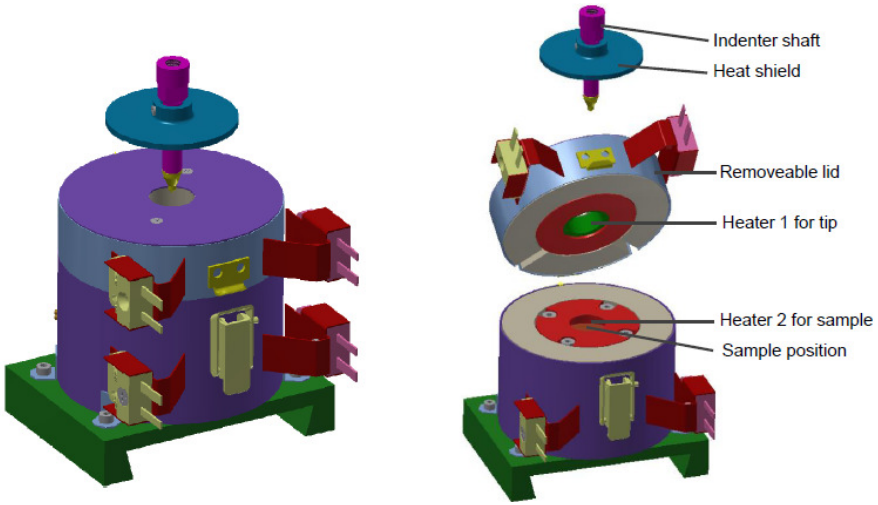


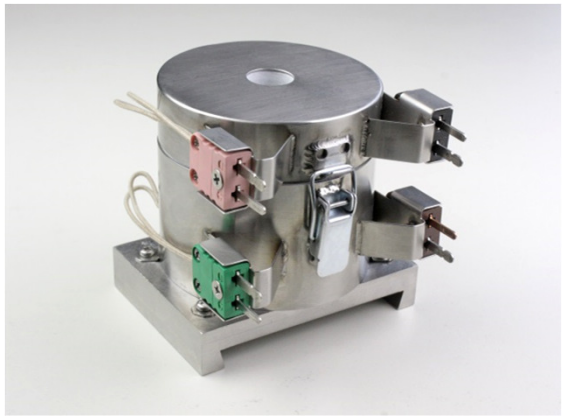
Die Querkraft-Einheit “Lateral Force Unit”:

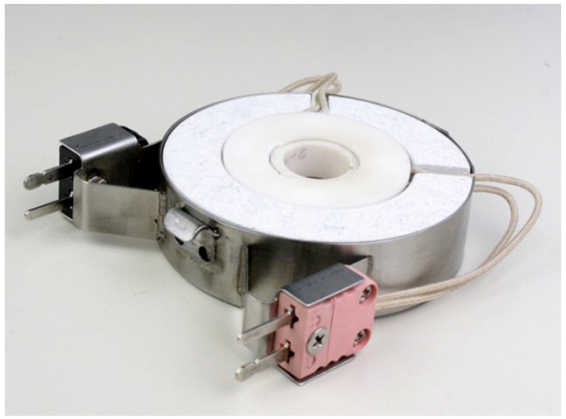
- Normale Kraft-Weg-Kurve (Standard+ZHN)
- Laterale Kraft-Weg-Kurve (ZHN)
- Vibration normal (Dynamisch) (ZHN)
- Vibration lateral (Dynamisch) (ZHN)

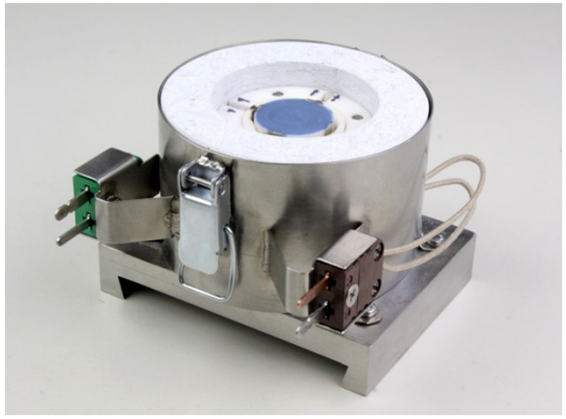


Mit dem Probenheizer für den Nanomechanischen Tester können Prüfungen bei Temperaturen bis 400°C abgedeckt werden.









Agenda

Zwick / Roell

Einführung und Überblick

Anwendungsbeispiele

Zusammenfassung

ZHN: breiter Anwendungsbereich

Zusätzlich zur Hauptanwendung „Härte & E-Modul-Tester“ deckt der Nanomechanische Tester auch die Anwendungen eines Verschleißtesters, Kratztesters, Mikro-Zugprüfers, Profilometers und Ermüdungstesters ab.

Zwick Nanomechanischer Tester mit 2 Messköpfen

- Härte + E-Modul Tester
- Mikro-Verschleißtester
- Mikro-Kratztester
- Mikro-Zugprüfgerät
- Profilometer (Rauheitsmessung)
- Ermüdungstester

Standard Nanoindenter mit 1 Messkopf

- Härte + E-Modul Tester

Anwendungsbeispiel

Die Lebensdauer und das Reibverhalten von DLC beschichteten Bauteilen wurden optimiert.

Kolbenbolzen (DLC beschichtet)

Hinweis: DLC (Diamond Like Carbon) oder diamantähnlicher Kohlenstoff.

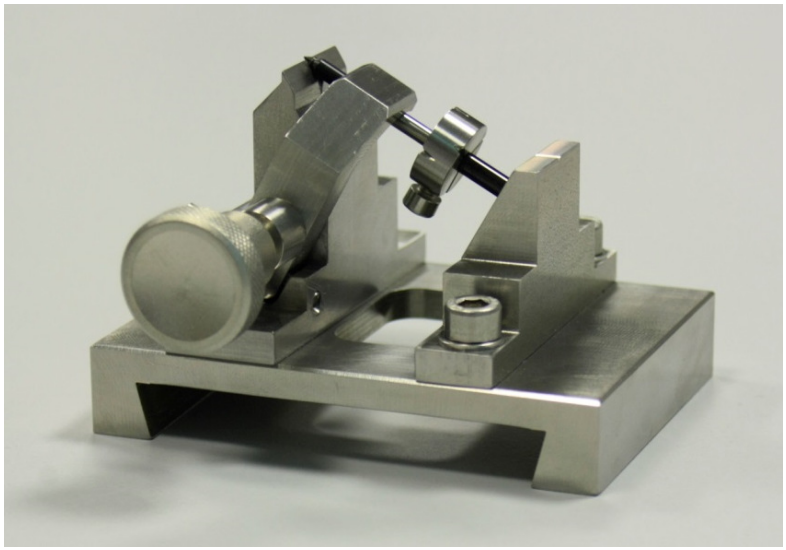
Schlepphebel (CrN +DLC beschichtet)

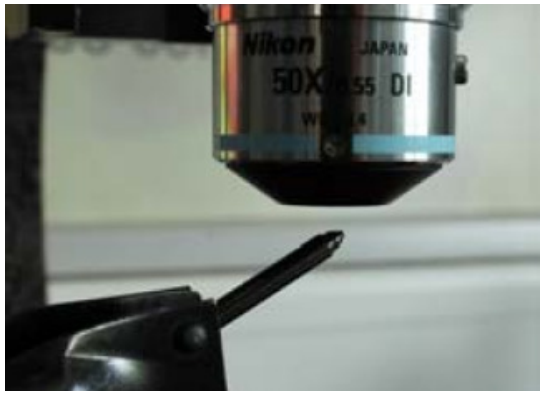
Kettenbolzen (DLC beschichtet)

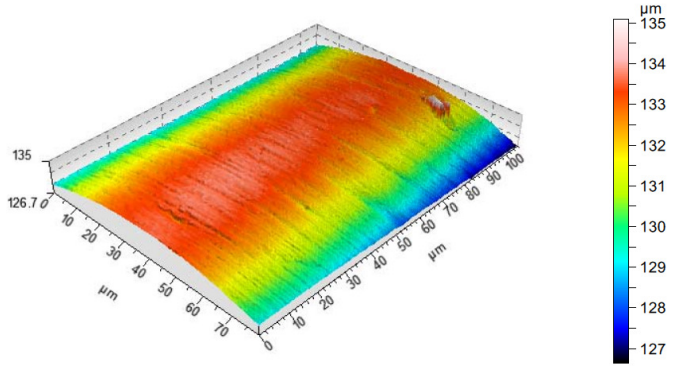
- Beispiel: Automobilindustrie
- Kundenprodukt: Kolbenbolzen (links), Schlepphebel (Mitte) Gelenkbolzen für Ketten (rechts)
- Aufgabe: Verbesserung von Reibung und Lebensdauer
- Einsatz in: Entwicklung, Fehleranalyse & Qualitätskontrolle
- Prüfsystem: Nanoindenter ZHN

Die Lebensdauer und das Reibverhalten von DLC beschichteten Bauteilen wurden optimiert (II)

Einspritznadel von Dieselmotoren (DLC beschichtet)



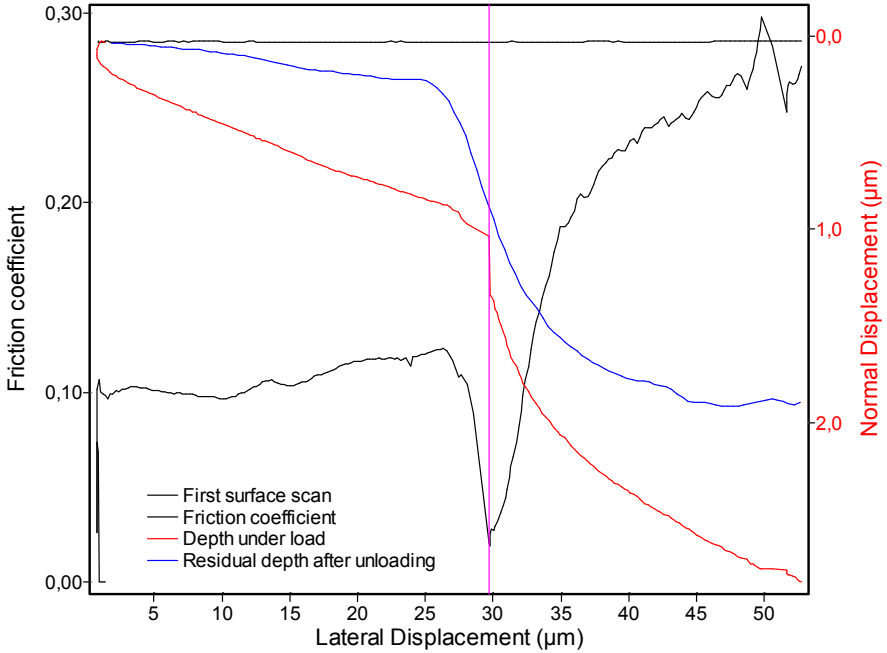


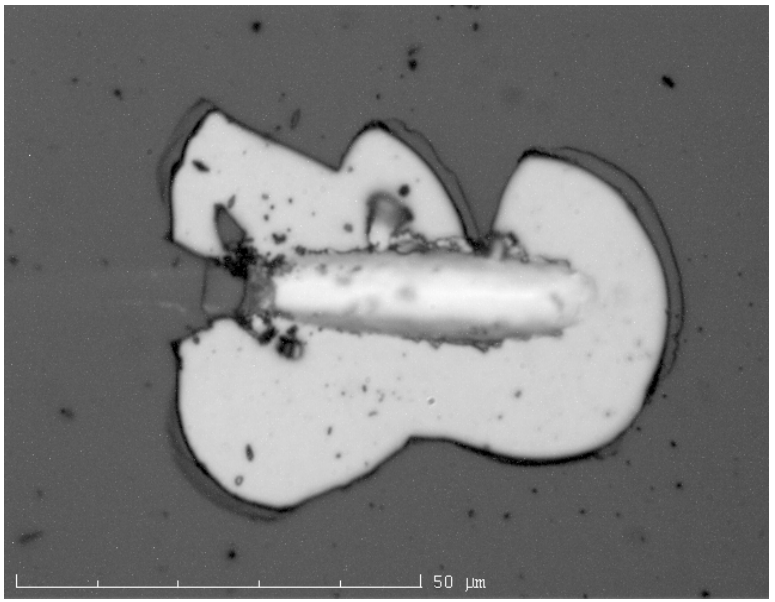


- Links: 3D-Abbildung Nadelspitze mit integriertem Weißlichtinterferometer

Typical application

Mit dem Mikro Scratch Test (Ritzprüfung) wird die Adhäsion der Beschichtung geprüft

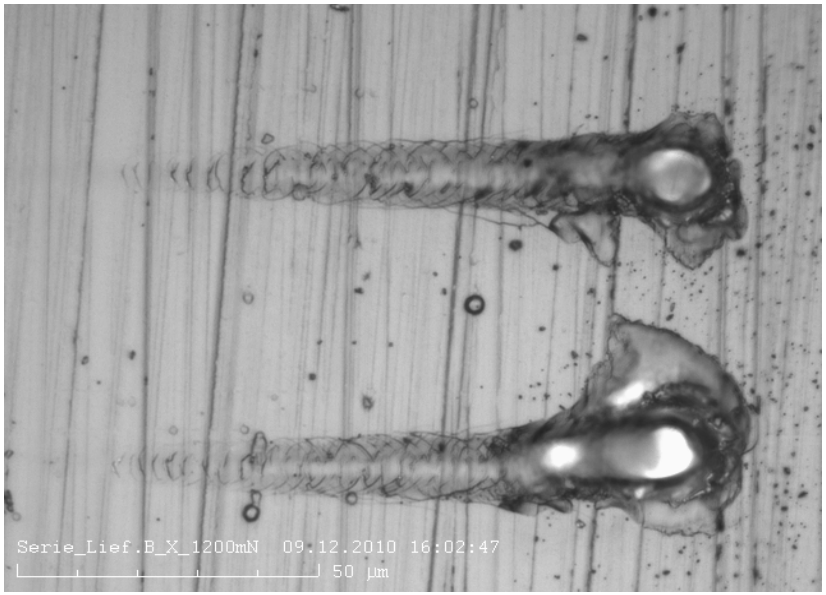


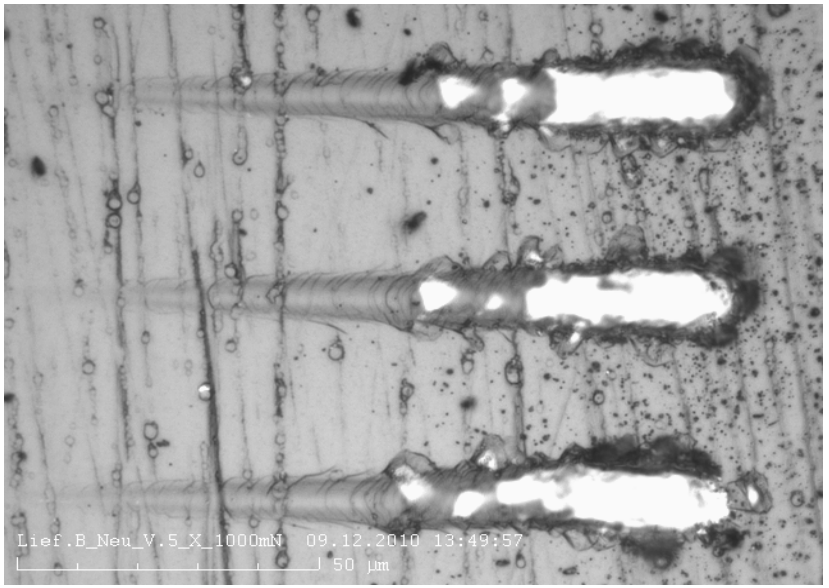


Dunkel: DLC Beschichtung; Hell: Versagen der Beschichtung, sichtbar ist der Stahl Grundwerkstoff mit Ritz

- Beispiel für Mikro Scratch Tests auf einem 2 µm DLC beschichtetem Stahlwerkstoff
- Die rote Kurve ist die Eindringtiefe unter Last während der Ritzprüfung; die Schichtablösung ist erkennbar am senkrechten Kraftabfall bei 30 µm lateraler Verschiebung
- Die schwarze Kurve ist der Reibungskoeffizient mit Minimum bei 30 µm lateraler Verschiebung (bei Schichtablösung) und Anstieg des Reibungskoeffizienten auf Stahl

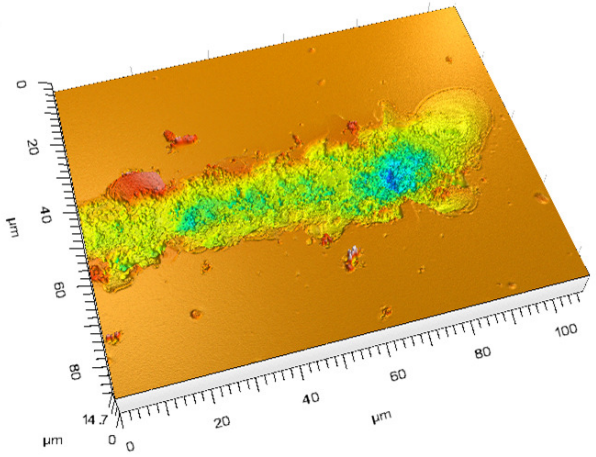
Anwendungsbeispiel





Kritische Kraft für Fehler: links: 970mN

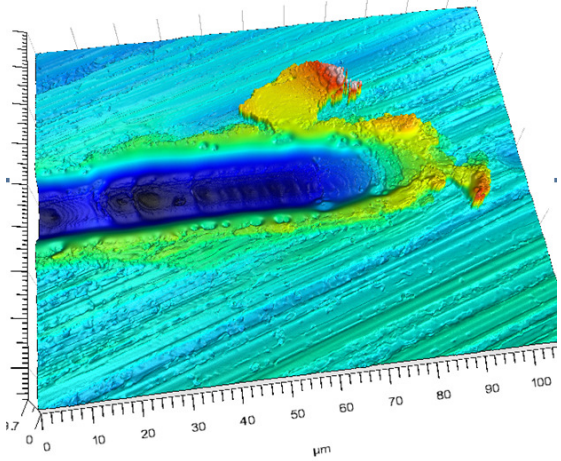
rechts: 650mN



3D Profile

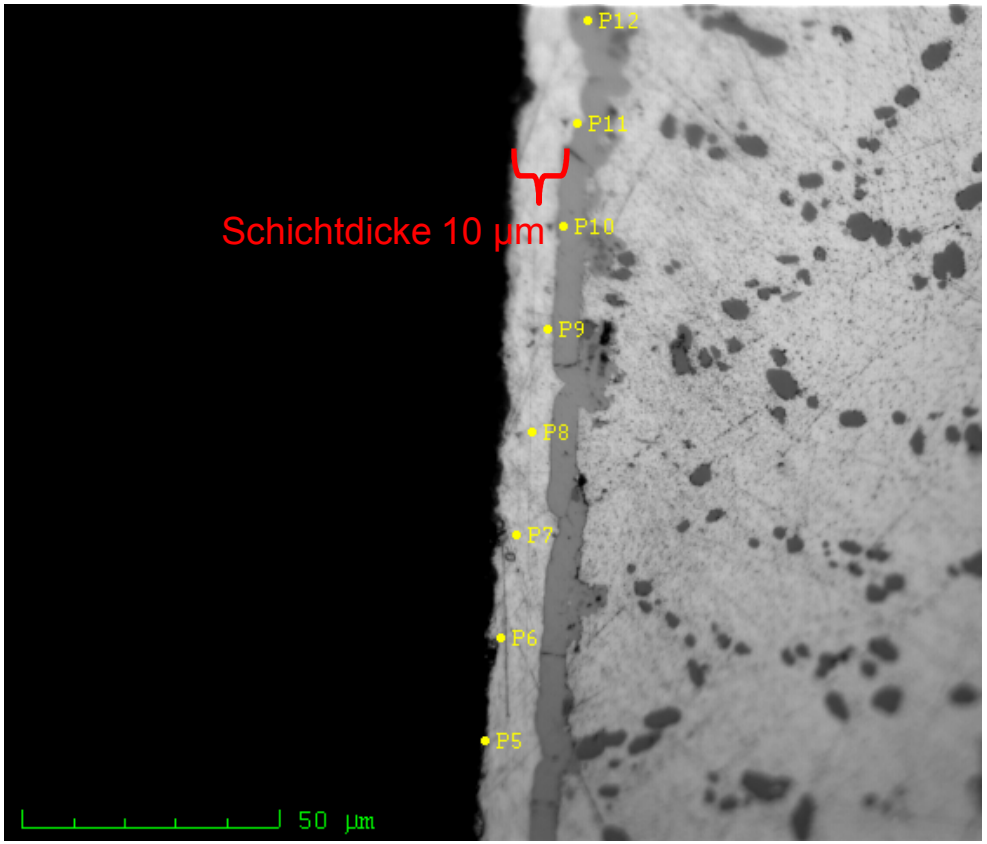
← Quarzglas

Stahl →



Anwendungsbeispiel

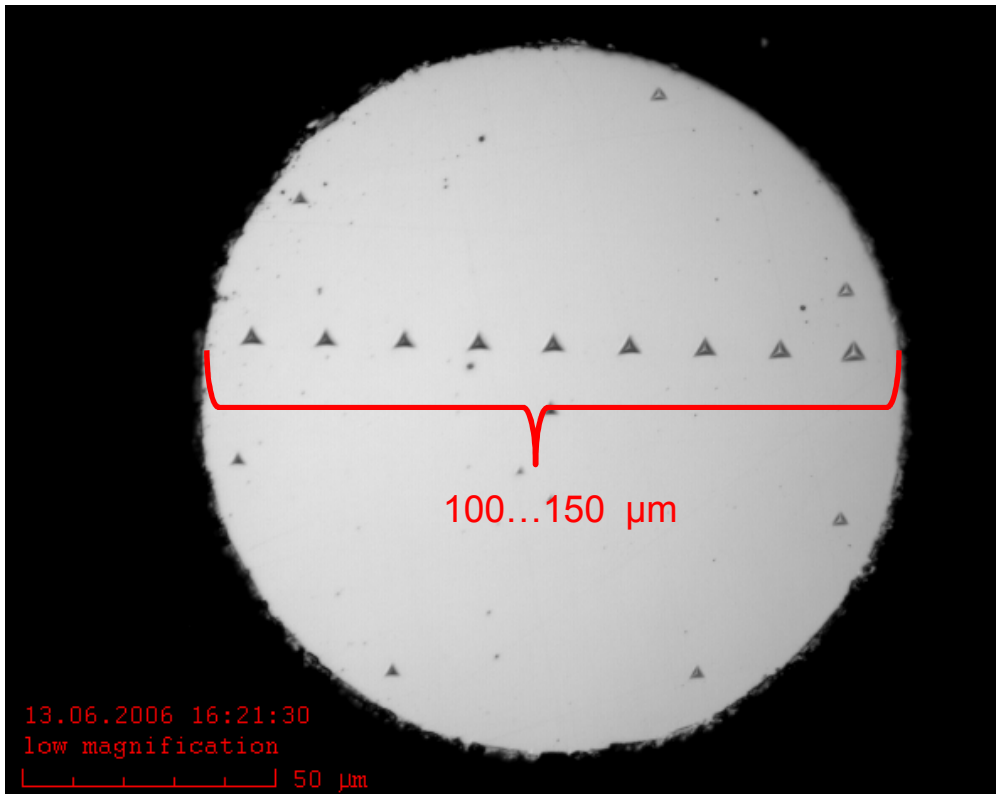
Die Verschleiß- und Verbindungsschicht eines Bauteils wurde im Querschliff durch Härtemessung überprüft.



- Beispiel:
  Metallverarbeitende Industrie
- Kundenprodukt:
  Bauteil mit Verschleißschicht von 10-20 µm
- Aufgabe:
  Messung der Härteprofil in der Verschleiß- und Verbindungs-schicht (geprüft im Querschliff)
- Einsatz in:
  Entwicklung, Qualitätskontrolle
- Prüfsystem:
  Nanoindenter ZHN

Anwendungsbeispiel

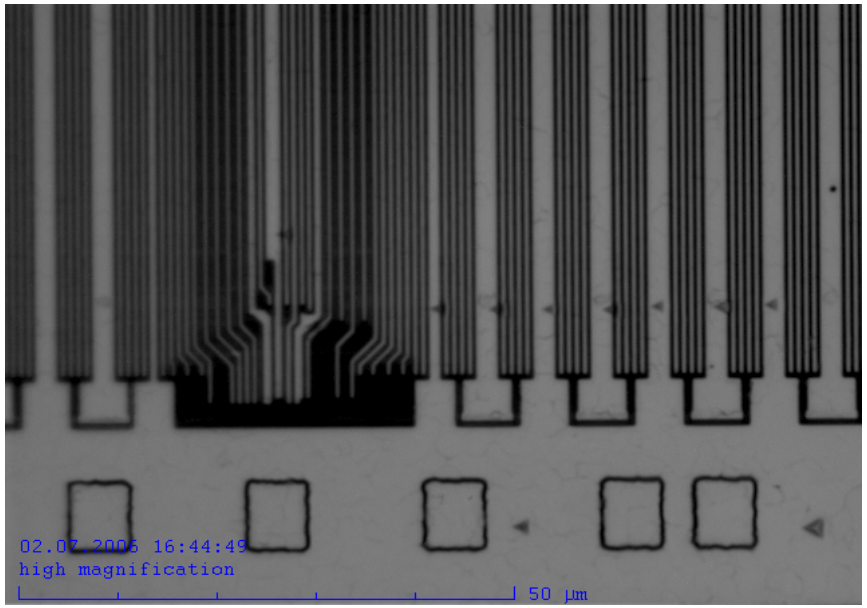
Das Härteverteilung eines Schneidedrahtes zur Herstellung von Siliciumwafer wurde im Querschliff geprüft.

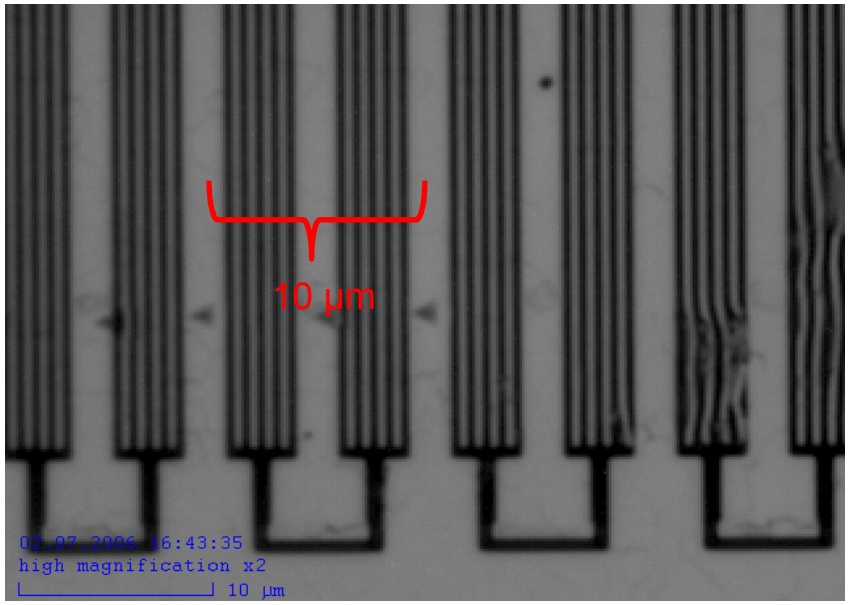


- Beispiel:
  Metall-/Elektroindustrie
  (Photovoltaik/Mikroelektronik)
- Kundenprodukt:
  Diamant-Schneidedraht (Ø 100-150 µm) zur Herstellung von Siliciumwafern
- Aufgabe:
  Messung des Härteprofil (quer, Umfang) im Schneidedraht (geprüft im Querschliff)
- Einsatz in:
  Entwicklung, Qualitätskontrolle
- Prüfsystem:
  Nanoindenter ZHN

Anwendungsbeispiel

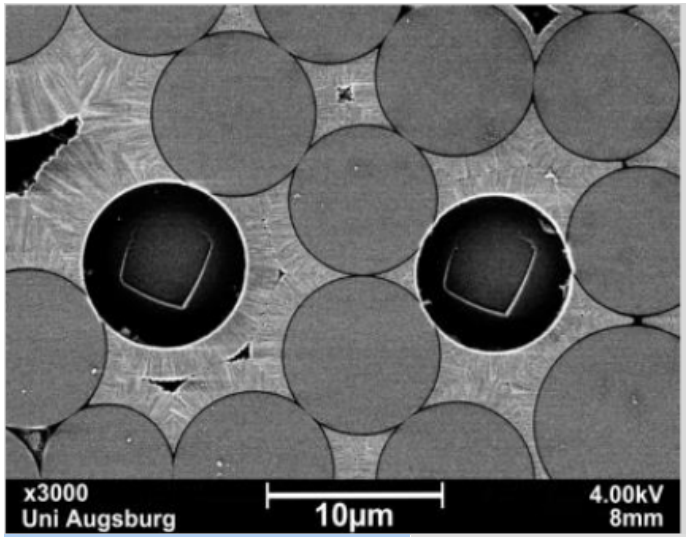
Die Leiterbahnen von Platinen wurden durch Härte- und E-Modulmessung optimiert.

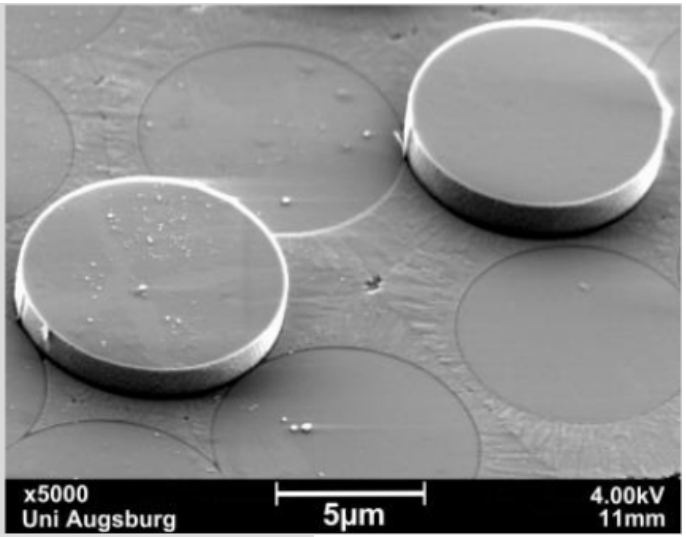


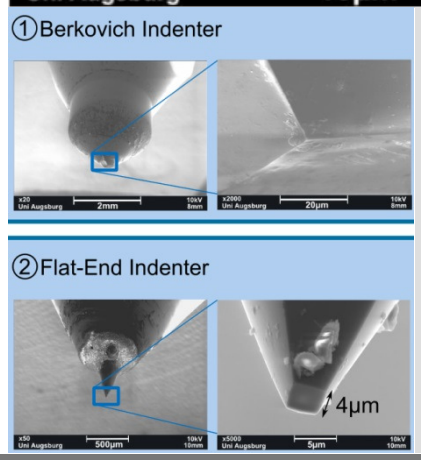


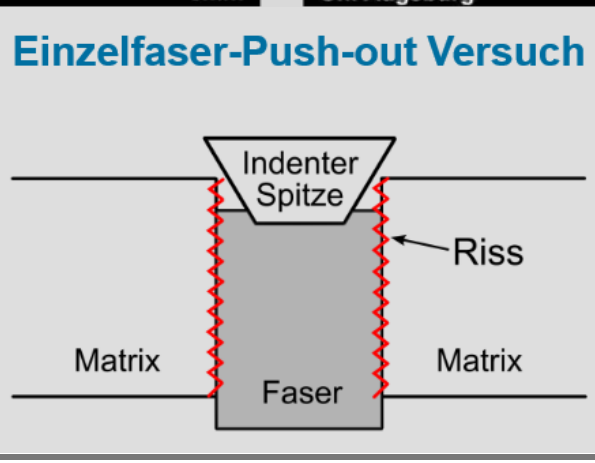
- Beispiel: Elektroindustrie
- Kundenprodukt: Mikroelektronik, Integrierte Schaltkreise, Platinen
- Aufgabe: Fehleranalyse
- Einsatz in: Entwicklung, Qualitätskontrolle
- Prüfsystem: Nanoindenter ZHN

Die Haftfestigkeit von Fasern in der Matrix von Composite-Werkstoffen wurde durch „Push-out“ Versuche bestimmt.









Quelle: Dr. Müller, UNI Augsburg

- Beispiel: Composites
- Aufgabe: Untersuchung der Haftfestigkeit von Fasern im Matrixverbund
- Einsatz in: Forschung
- Prüfsystem: Nanoindenter ZHN

Agenda

Einführung und Überblick

Anwendungsbeispiele

Zusammenfassung

Zusammenfassung

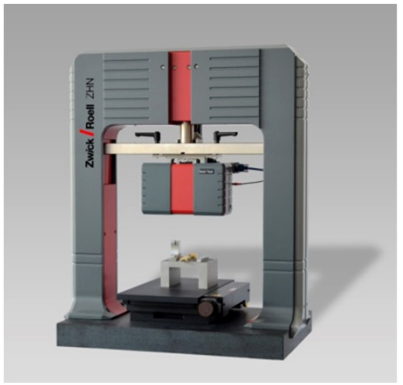
Mit dem Nanoindenter ZHN können wir die Haftfestigkeit und den Verschleiß von Beschichtungen und Schichtsystemen über die instrumentierte Eindringprüfung vornehmen.

Anwendung:

- Prüfung von Schichten & Beschichtungen von wenigen µm Dicke

Zielgruppe:

- Universitäten/Institute, Automotive, Metall- & Elektroindustrie, Energietechnik
- Zulieferer von Motorenkomponenten, Turbinen und Triebwerken
- Hersteller vom Metallbearbeitungswerkzeugen
- Hersteller von CVD & PVD Anlagen für Dünnschicht- & Verschleißschutzbeschichtung



Typische Kundenprodukte:

- Kolben, Pleuel, Ventil, Turbinenschaufeln, Wendeschneidplatten, Diamant-Schneidedraht für Siliciumscheiben
- Platinen, Leiterbahnen, Elektronikkarten, Brillengläser, Mikrobauteile

Einsatz im Labor zur F & E, Qualitätskontrolle, Fehleranalyse