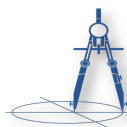


P 3121

Ultrasonic testing instrument for non-destructive
hardness depth testing of heat-treated parts



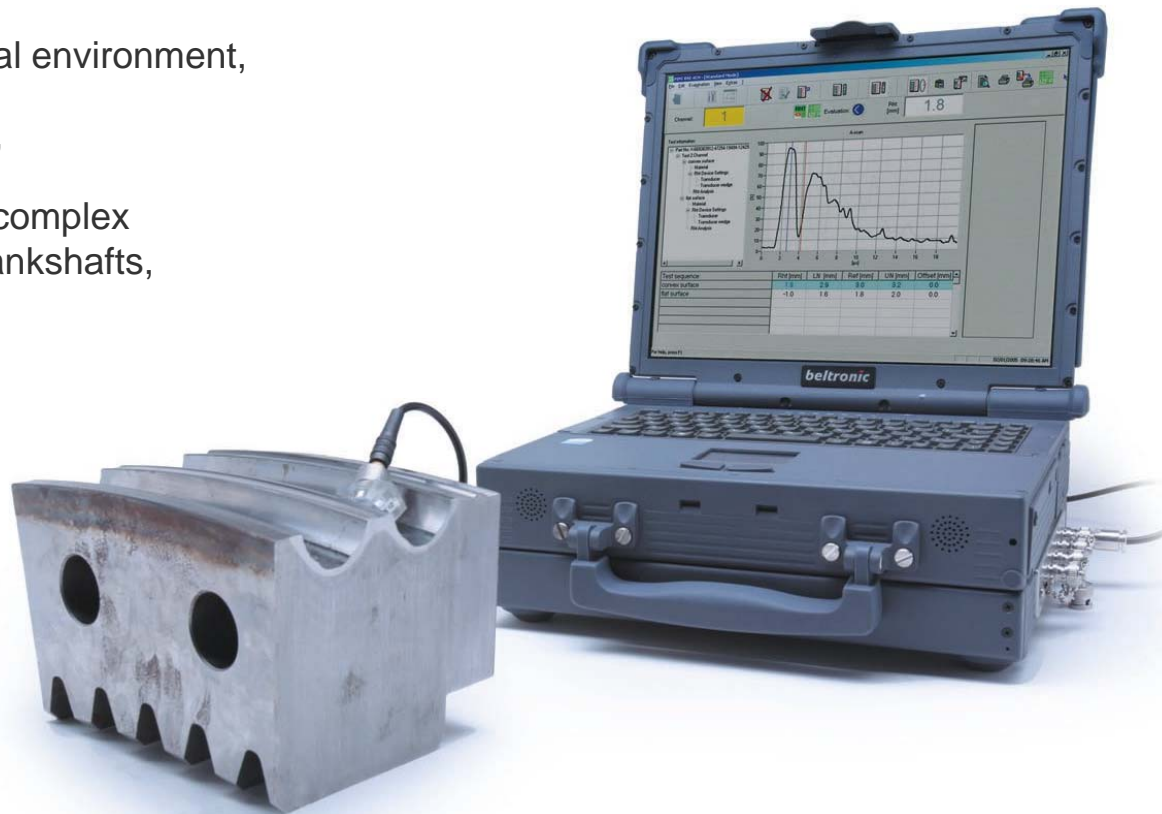
QNET



TEMAFLUX SRL

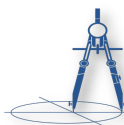
Hardness Depth Testing of Heat-treated Parts

- Non-destructive testing with ultrasonic backscattering technique,
- portable testing system,
- designed for tough industrial environment,
- 4-channel ultrasonic board,
- Also suitable for testing of complex geometries for example crankshafts, gears,...
- optional automated testing.



QNET

Hardness Depth Tester P3121

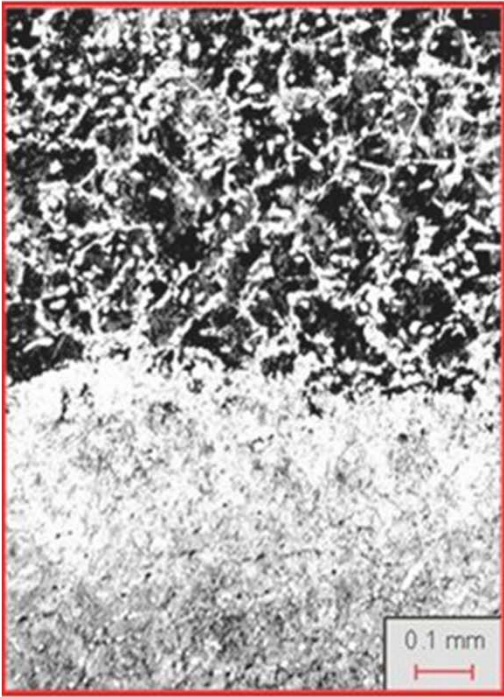


TEMAFLUX SRL

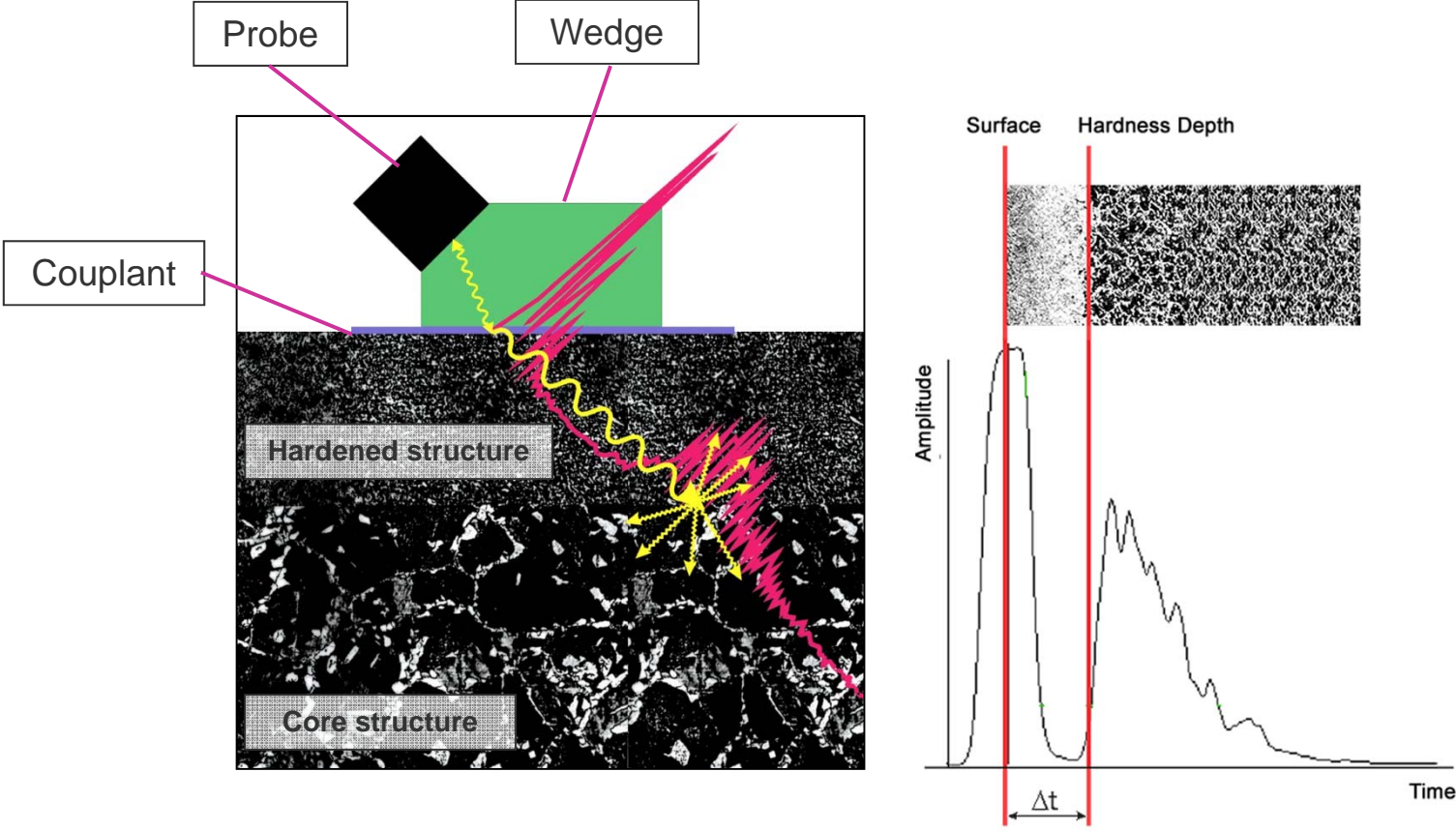
Microstructure of Hardened Parts

Microstructure

Macrostructure



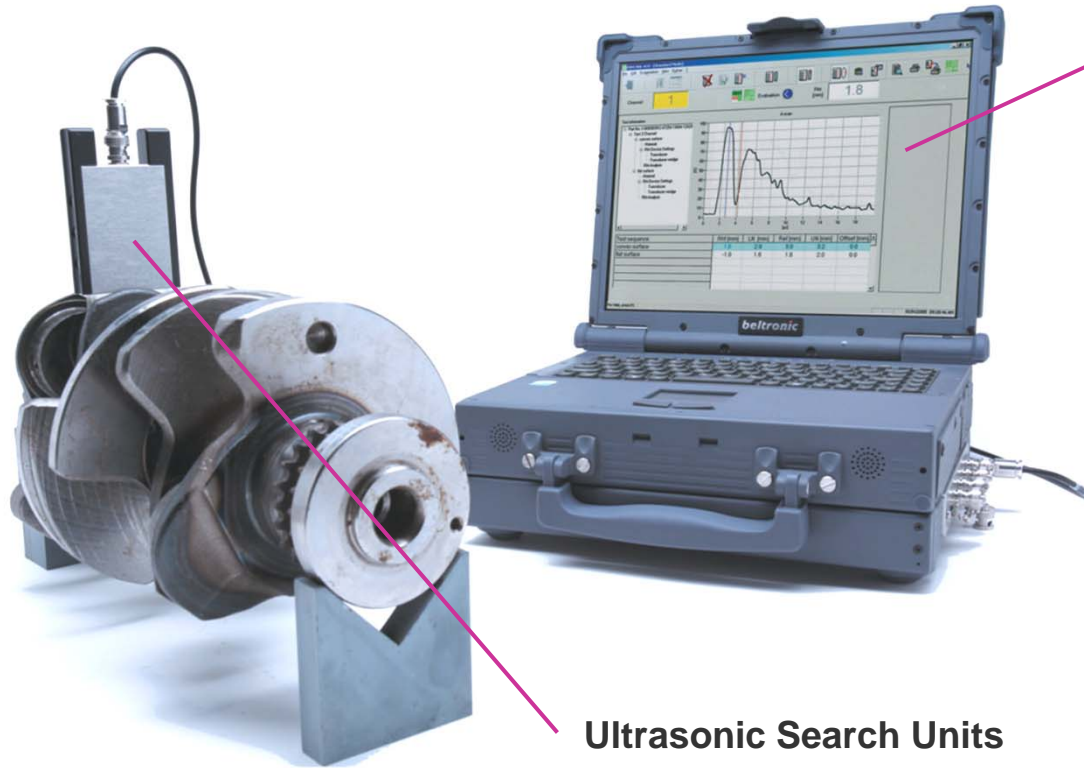
Ultrasonic Backscattering Technique



Hardness Depth Tester P3121



System Components



Industry Laptop including:

- Ultrasonic electronics (analog and digital).
- PINT Rht software.
- Up to 4 probes can be connected.
- Windows 7, XP
- DVD writer.
- Standard connectors like USB, etc.

Ultrasonic Search Units

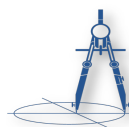
- Coupling wedge.
- Ultrasonic transducer
- RF transducer cable

Optional

- Touch-screen
- Wireless LAN

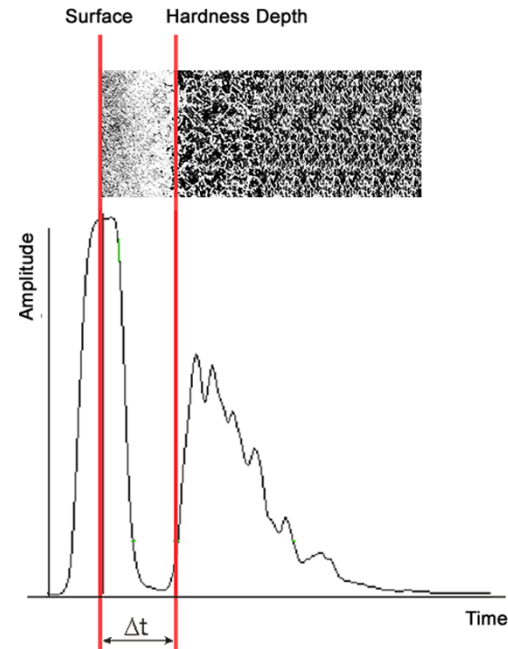
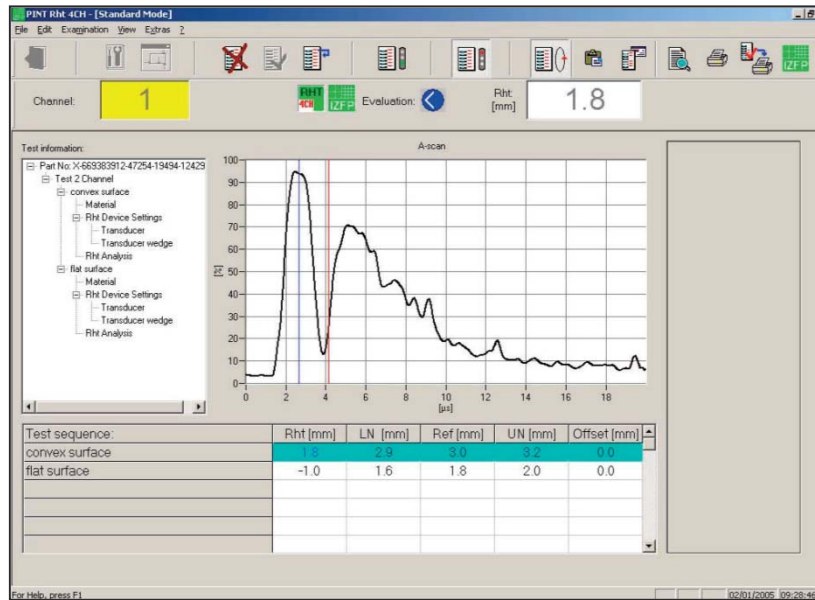
QNET

Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

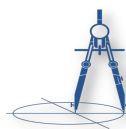
PINT Rht Software



- Creation of master records and databases for components, probes, wedges, testing staff, testing settings, etc.
- Testing modes for routine-, reference-, individual-, series- and sample-testing.
- Data export.
- Online data visualization (A-Scans)
- Printing and transmitting of testing results

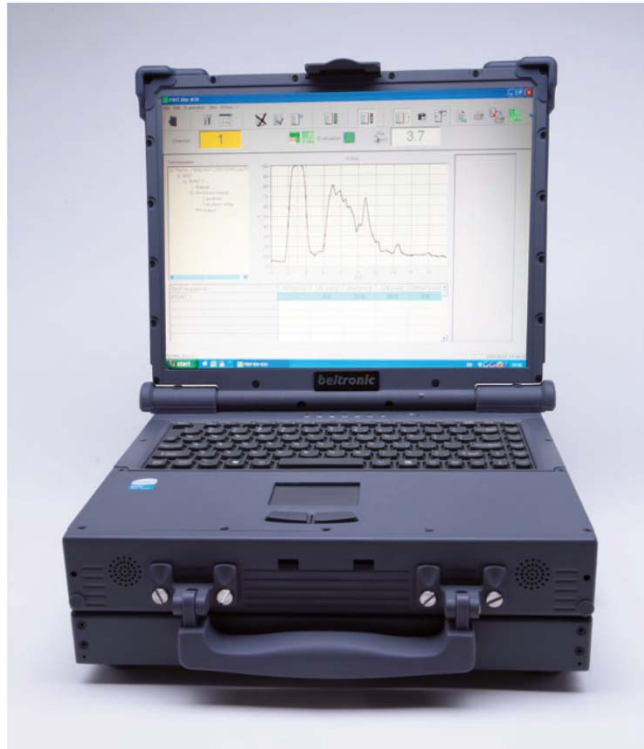
QNET

Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

Industry Laptop and Hard Case



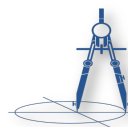
Industry Laptop
(IP54, MIL-STD-810F certified)



Hard case with foam interior

QNET

Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

Coupling Wedges



Standard design:
Flat, convex, concave



Custom design:
Double sensors with housing

Accessories

Probes: 2 available models

20 MHz, diameters: 6 mm or 11 mm



USB pedal

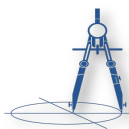


RF transducer cable



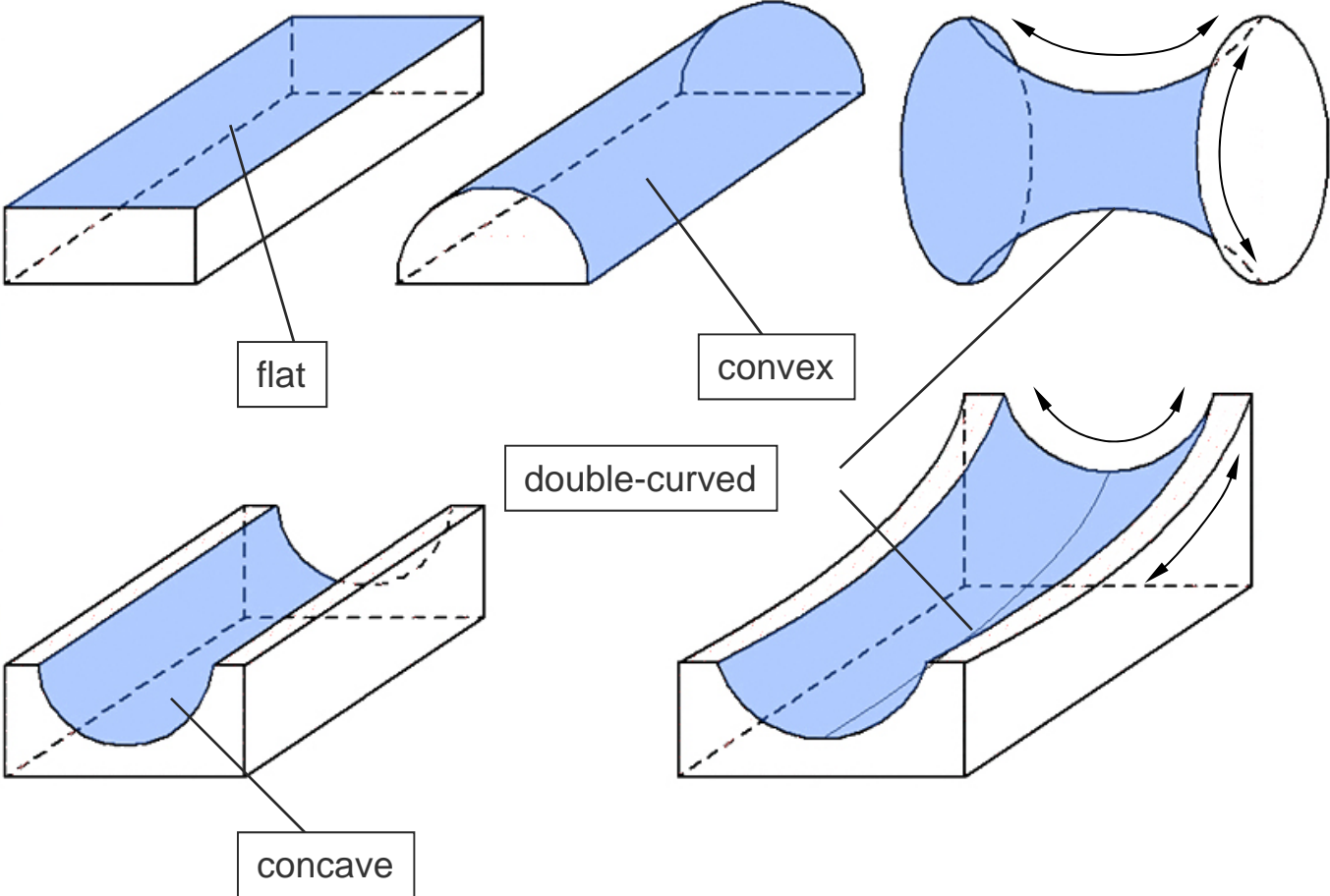
QNET

Hardness Depth Tester P3121

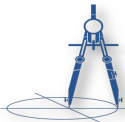


TEMAFLUX SRL

Typical Inspection Geometries



Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

Usage Examples

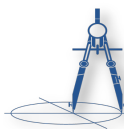


Hardness depth testing of heat-treated parts such as:

- large-diameter slewing rings,
- crankshafts,
- tooth systems,
- spindles,
- and many more...

QNET

Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

Usage Example: Large-diameter Slewing Rings



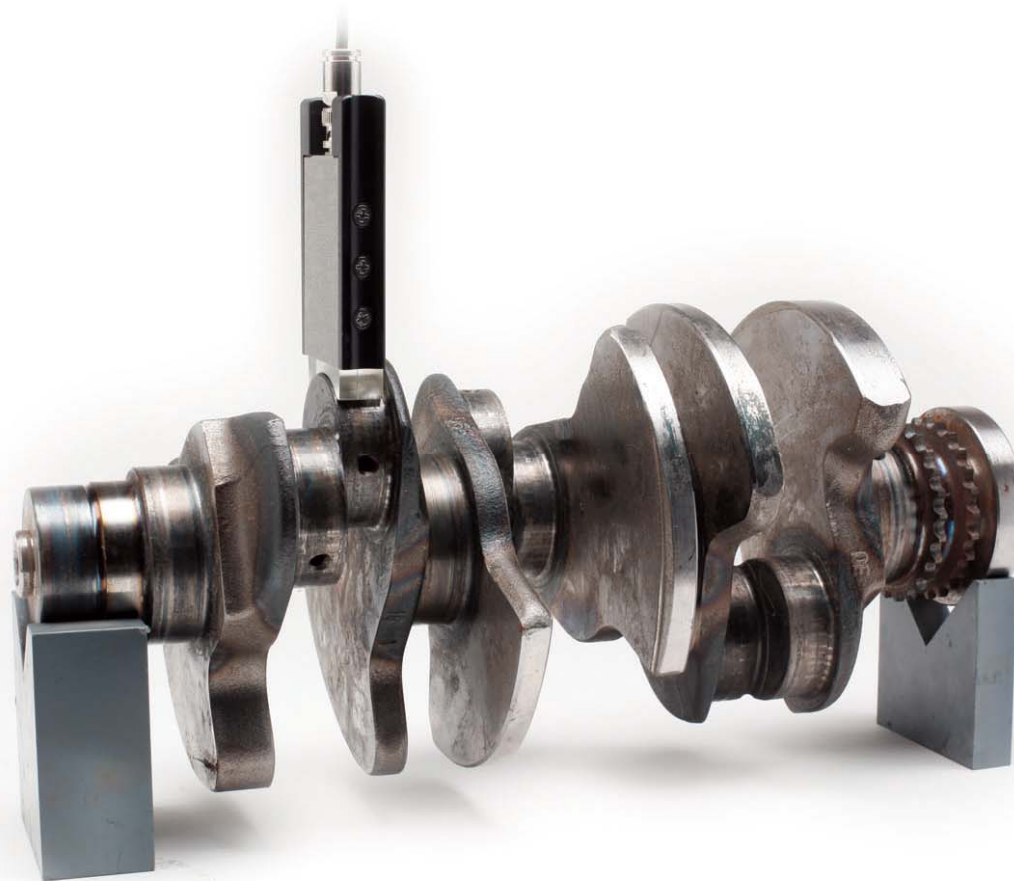
Testing the **pitch surfaces** of the rolling element (flat or curved), the **tooth flanks** and **bottom lands**.



Hardness Depth Tester P3121



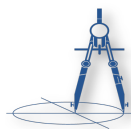
Testing Examples: Crankshafts



Testing the **flange / pins, journals und fillet radii.**

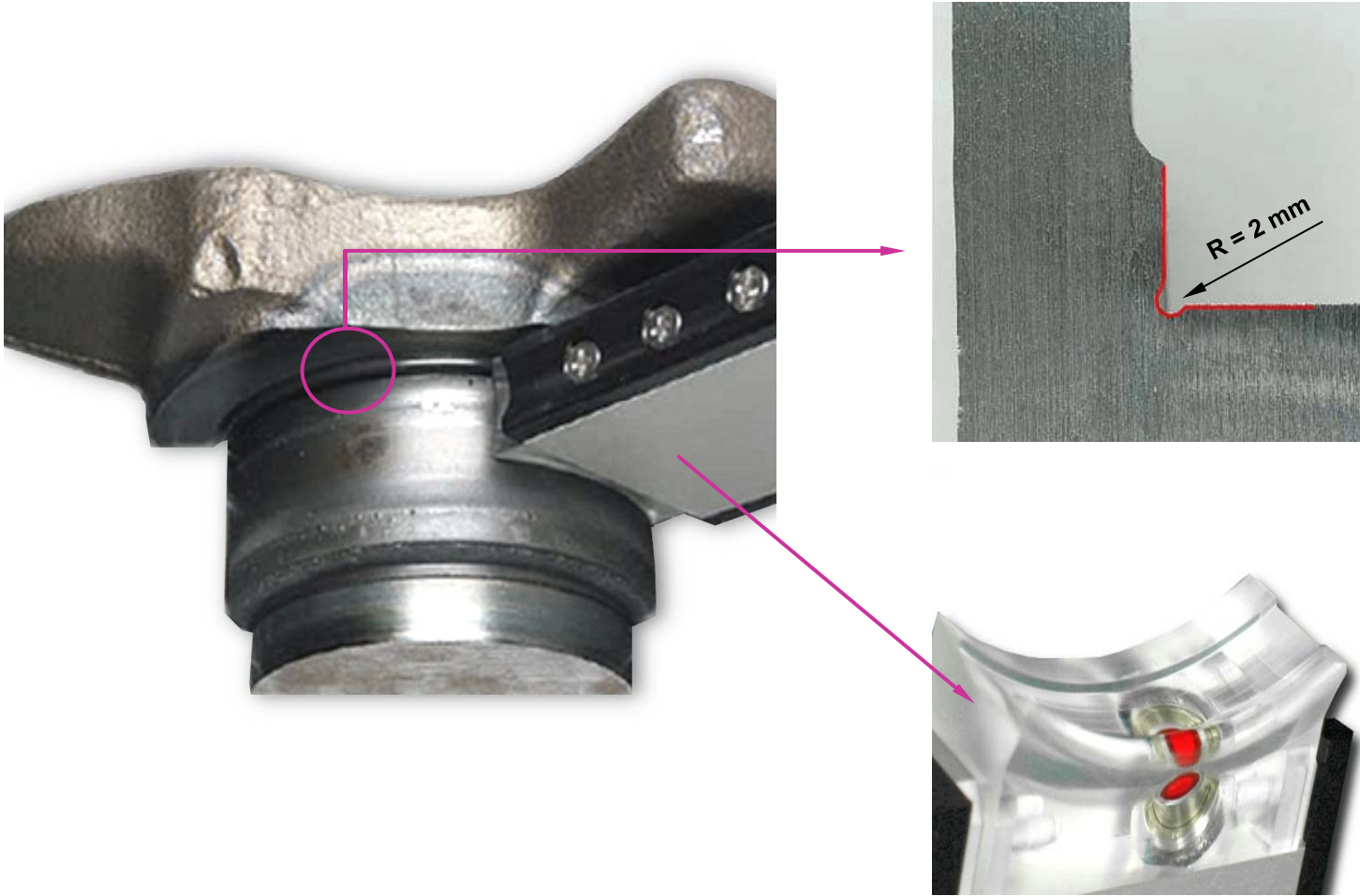
QNET

Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

Usage Examples: Testing of Fillet Radii



QNET

Hardness Depth Tester P3121

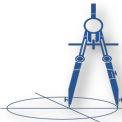
Usage Examples: Testing of Tooth Systems



Testing of tooth systems: top and bottom lands and tooth flanks.



Hardness Depth Tester P3121



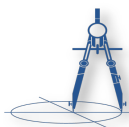
TEMAFLUX SRL

Usage Examples: Testing of Spindles and Threads



QNET

Hardness Depth Tester P3121



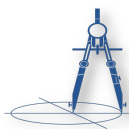
TEMAFLUX SRL

Usage Examples: Testing of Fillets and Bearing Surfaces



QNET

Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

Usage Examples: Testing of Spline Shafts

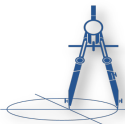


Width = 1.5 mm

Measurement on the top of splines

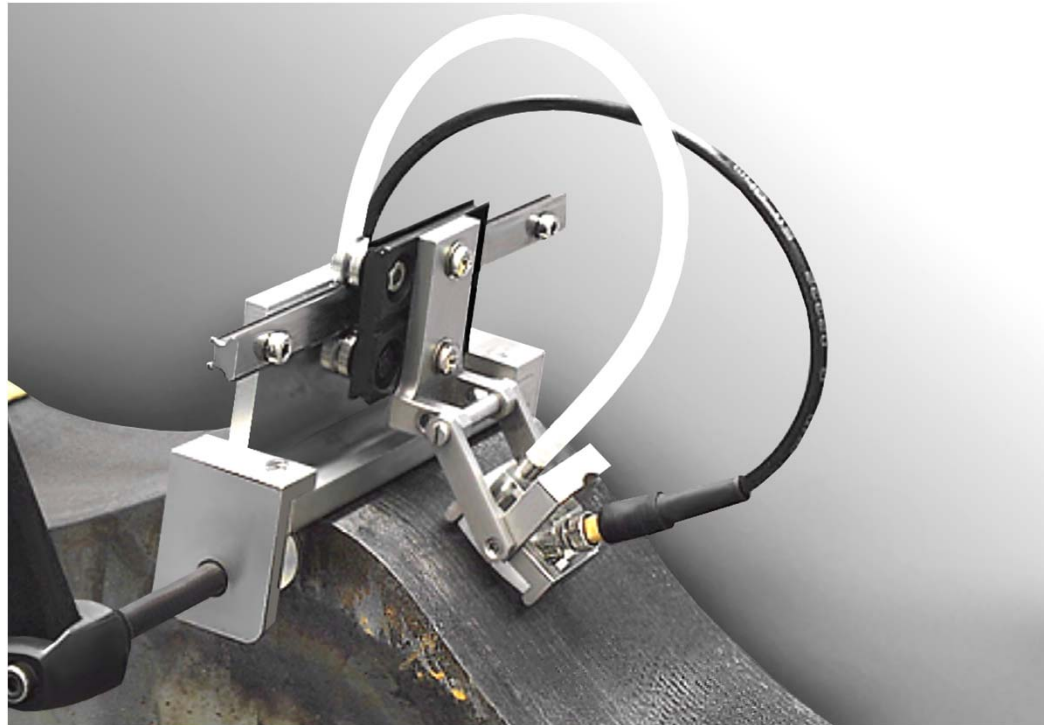


Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

Usage Examples: Sensor Manipulation



Sensor manipulation in case of testing **curved surfaces**.

QNET

Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

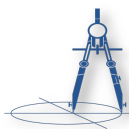
Usage Examples: Wedge for Several Probes



Wedge for 2 testing points

QNET

Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

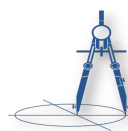
Usage Examples: Handling Equipment



Semi-automated testing of crankshafts

QNET

Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

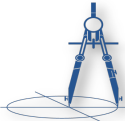
Usage Examples: Handling Equipment



Sensor units with housing

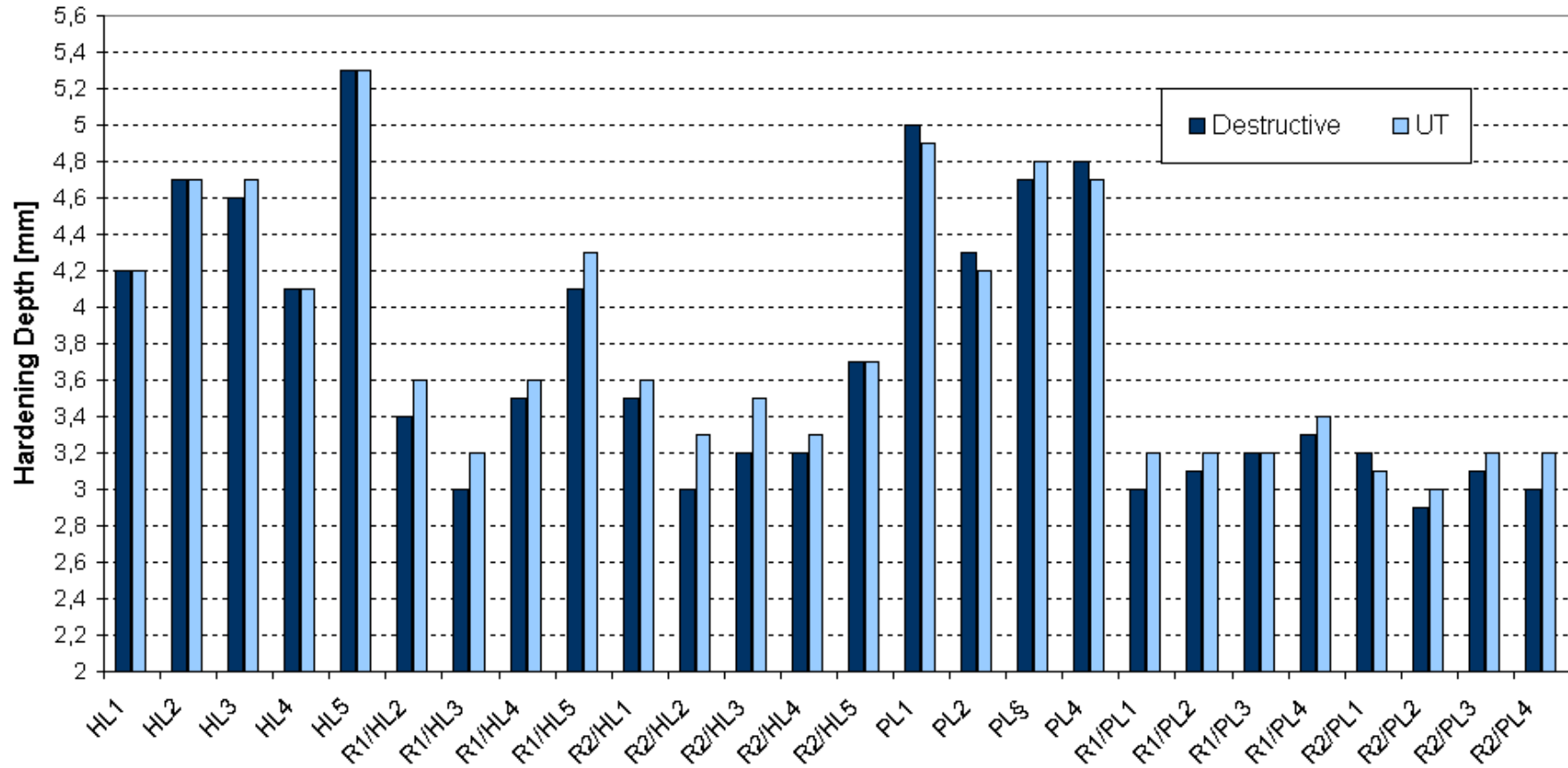


Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

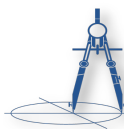
Validation



Measurement Positions on the crankshaft (main and pin journal, radius and middle of journal)

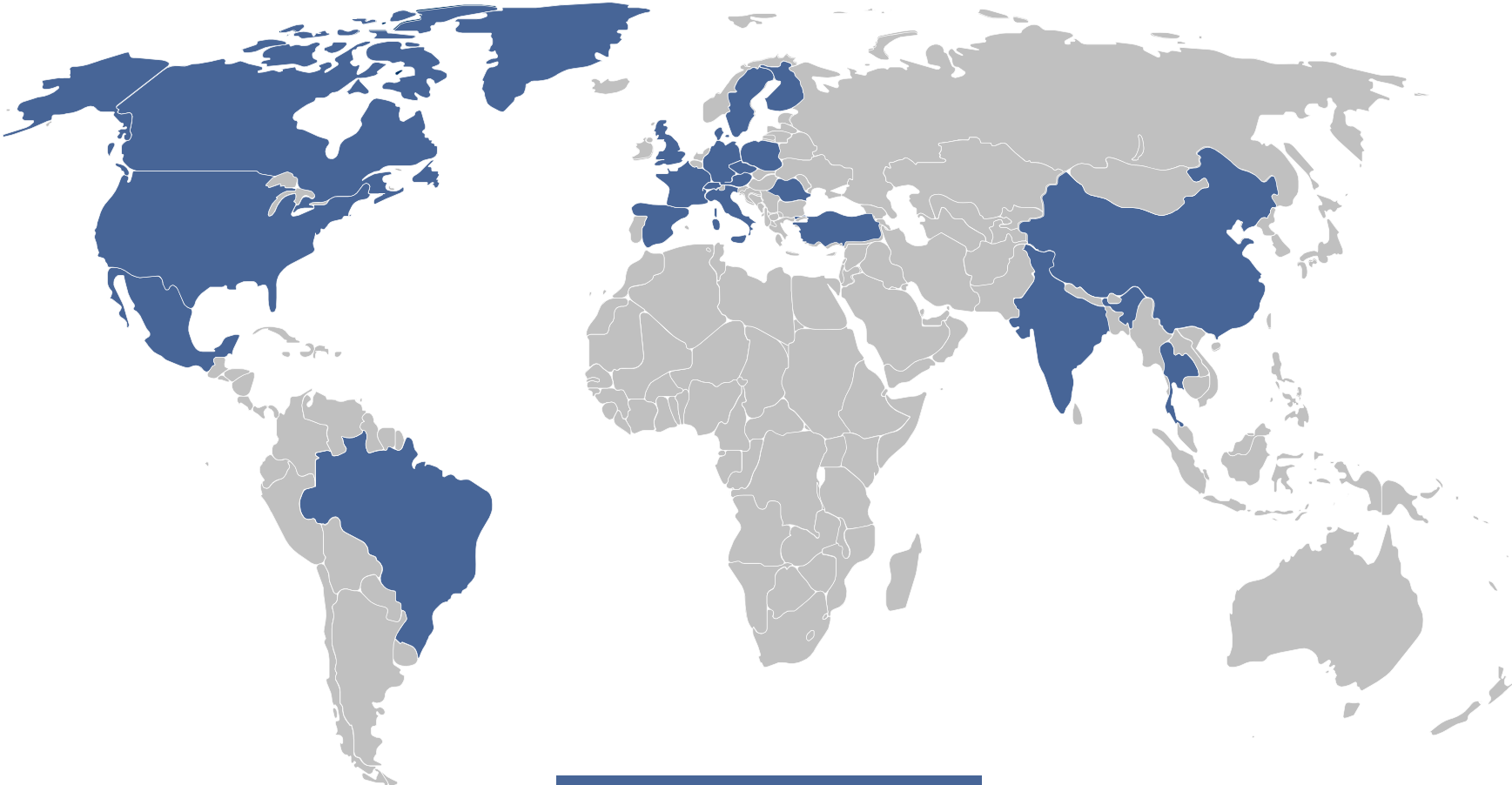


Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

Worldwide Sales and Services



Sales worldwide: 171

QNET

Hardness Depth Tester P3121

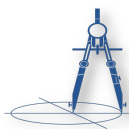


References (extract)



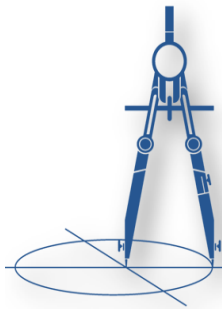
QNET

Hardness Depth Tester P3121



TEMAFLUX SRL

Contact



TEMAFLUX SRL

TemaFlux srl

Via N. Tartaglia 11, Gussago (BS), Italy
Tel +39 030 322079 – Fax +39 030 311872
temaflux@temaflux.com – www.temaflux.com

QNET

Hardness Depth Tester P3121

Many thanks!

TECHNICAL DESCRIPTION

QNET

Title	Technical Description for Hardness Depth Tester, type P3123
Author	Paul Kröning, Tobias Müller
Date	01/02/2018
Version	1.8



Ultrasonic Backscatter Technique

Ultrasonic waves propagating in polycrystalline materials (steel) are scattered at material inter-faces with changes of density and/or elastic properties. In general, the ultrasonic waves are scattered in all directions, one part also back to the ultrasonic transducer that generated the ultrasonic pulse. The intensity of backscattered ultrasound received by the transducer depends on the ratio of geometric size of scattering geometry to the wavelength of ultrasound and on the degree of material property difference at the interface denoted by the term acoustic impedance change.

In the regime where the ultrasonic wave length is large compared to the size of scattering geometry, higher ultrasound frequencies (or shorter wave lengths) increase the intensity of ultra-sonic backscattering. Further, intensity of backscattering increases with the average effective size of the scattering geometry, for example the grain size of the polycrystalline steel. Using the appropriate frequency of about 20 MHz, the microstructure change between the hardened case (usually fine grain Martensite) and the core material (usually quenched and tempered) with coarse grained microstructure causes a distinct increase of backscattering intensity. This effect can be observed when the ultrasonic pulse crosses the interface and standard time of flight evaluation yields the depth position of the interface that corresponds to the Surface Hardening Depth (SHD), see figure below:

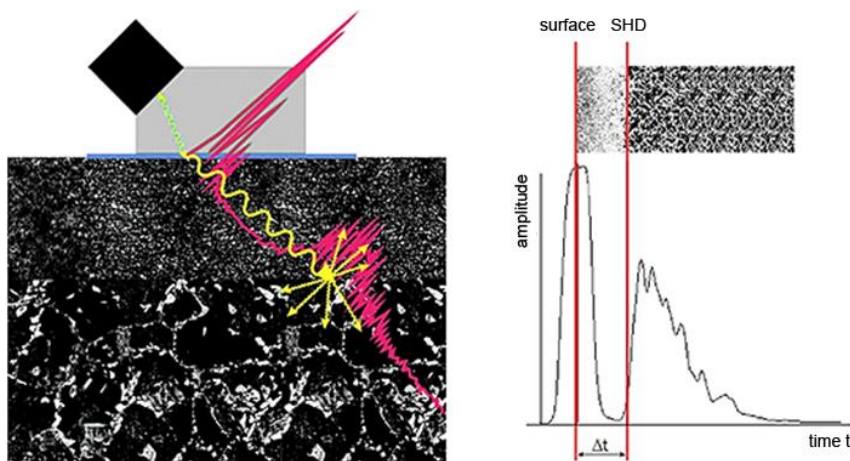


Figure: SHD Measurement Principle

The best results are achieved under the following conditions:

- Parts are hardened inductively;
- parts are forged, not cast;
- the minimum SHD value is higher than ~ 1.2 mm;
- there is a distinct interface between base material and hardened layer;
- backscattering within the base material is of sufficiently high intensity for ultrasonic frequencies of 20 MHz.

Computer Unit

Operating System	Windows® 7 / 10 Ultimate, 64 Bit
Mobile Computing Platform	Intel Processor ≥ 2.6 GHz
Display	15.6" Full HD 1920 x 1080 p Sunlight-Readable LED Display
Storage	Hard disc > 320 GB HDD x 1
Keyboard	Mechanical Backlit Keyboard
Pointing device	Touchpad with Scroll Bar
Multimedia Bay	Super-Multi-DVD
IO Interface	DC in x 1 USB 3.0 (9-pin) x 2, USB 2.0 (4-pin) x 1, USB2.0/eSATA Combo x 1 Docking Connector x 1 Serial Port (RS-232) x 2 LAN (RJ45) x 2 External VGA (15pin; D-sub) x 1 Audio Output (Mini-jack) x 1 Microphone (Mini-jack) x 1 HDMI x 1
Communication Interface	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10/100/1000 Base-T Ethernet ▪ Intel Dual Band Wireless – AC 7260 ; 802.11ac
Power	<ul style="list-style-type: none"> ▪ External Power Supply AC Adapter (90W, 100-240 V, 50/60 Hz) ▪ Battery Li-Ion (8700mAh) x 1 ▪ Optional: Back-up Battery Pack, Li-Ion (8700mAh)
Weight & Dimensions	Mobile device: Weight ~ 7.3 kg (including 1 battery) Dimensions: 41 x 32 x 12 cm (excluding expansion unit)
Rugged Features	<ul style="list-style-type: none"> ▪ The device can be operated in harsh or industrial environments. ▪ Full Magnesium Alloy Case ▪ Shock-Protected Removable Hard Disc ▪ Vibration & Drop Resistant, Ultra Rugged ▪ MIL-STD 810G and IP65 certified ▪ MIL-STD 461F certified
Environmental Specifications	Operating Temperature: 10° C – +40° C Humidity: 95% RH, non-Condensing

Test Instrument

Ultrasonic P/R Channels	4-channel E/A multiplexer, transmitter voltage generator, controllable pre-amplifier, analog/digital rectifier. Pulse / Echo mode.
Transmitter Voltage	0 V _{ss} to 800 V _{ss} at 50Ω
Frequency Filters	5MHz, 10MHz, 20MHz & 25MHz
Gain Range	0 dB to 96 dB
A/DC Module	Analog to digital conversion at 10 bit resolution,
Digitization Rate	80 MSps conversion time
Averaging Functions	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 & 512 samples per shot
Trigger	Internal (time-controlled), external, manual & 2-axis coordinate interface
Measurement Range	Standard probe systems: SHD _{min} : 1.2 mm, SHD _{max} : 40.0 mm Custom probe systems: SHD _{min} : 0.8 mm.
Measurement Repeatability	± 0.2 mm
Ultrasonic Testing Software	"SHD Studio", Windows® 7 and Windows® 10 compatible
Range Setting	No requirement for range setting after parameter setup (input of sound velocities and angle of incidence).
Signal Representation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A-Scan, in single or continuous inspection mode. ▪ The A-Scan is represented as signal envelope.
Signal Evaluation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ User-friendly automatic signal evaluation. ▪ Display of calculated SHD and time of flight while testing.
Administration	Password-protected assignment of user rights: Level I (operator), level II (supervisor), level III (administrator).
Program Editor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Creation of custom inspection Programs: ▪ Definition of test sequences for unlimited test points and features. ▪ Use of predefined parameter sets. ▪ Definition of tolerance limits.
Setup Mode	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Setup of inspection parameters. ▪ Rapid test of different inspection parameter settings ▪ Unlimited storage of custom parameter sets. ▪ Export of A-scans, reports and screenshots ▪ Expert Mode for signal evaluation ▪ Display of real measuring point due to sound refraction ▪ Display and export of the HF signal
Inspection Mode	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Usage of customized inspection programs. ▪ Automated signal evaluation. ▪ Signal analysis mode. ▪ Warning in case tolerance limits are exceeded. ▪ Entering notes or comments.
Inspection Results	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Review of stored test results. ▪ Export A-scans (PDF, JPG), screenshots and test reports.
Inspection Report	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Custom test report design using List & Label. ▪ Print reports of stored test sequences.
Line Scans	Optional: line scans using encoder interface.
Translation Tool / Languages	Translation tool to individually set language designations for buttons, labels and dialogues in the program. Currently available languages: English, German, Chinese, Spanish, French, Russian and Korean. Other languages on request.

User Interface

Setup Mode

Start

Report

Blend

RF Signal

Expert

Save

Load

Reset

Parameter Set: default

SHD Graph:

SHD Value: **1,2 mm** Time of Flight: **0,96 µs** Graph delete

Hardware: Delay: 2,2 µs Sample Length: 20 µs Gain: 60 dB Average: 256 Channel: 1

General: Smoothing: 40 Shape: Rectangle Material: Steel Coupling Wedge: B9461123 Transducer: V5043

Real Measuring Point: 1,0 mm 1,6 mm 1,2 mm

SHD Graph: Encoder 1 Encoder 2 Set Zero X-Scale: Minimum: 0,0 mm Maximum: 100,0 mm Increment: 1,0 mm Y-Scale: Minimum: 2,0 mm Maximum: 6,0 mm Increment: 1,0 mm

Test Mode

SHD-Studio

Inspection Inspection Results Setup Program Editor Basic Settings QNET

New Continue

Pause Report Save

Complete Inspection **Start**

Inspection Program: Program: Program Example Comment:

Transducer: V5043 Coupling Wedge: B9461123 SHD Min.: 1,5 mm SHD Max.: 2,5 mm Channel: 1

Inspection Mode: Singlescan Encoder: 1 Number: 1 Start: 0,0 mm Increment: 0,0 mm

Attribute: Attribute 1 Attribute 2 Attribute 3

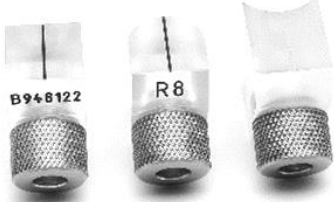
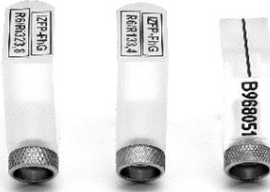
A-Scan

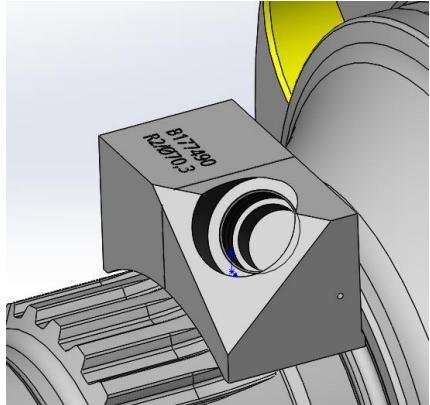
SHD Graph:


SHD Value: **2,1 mm**









Analysis

Auxiliary Components

Coupling Wedges		
	<p>Standard wedges for transducer type M3095 (drilling: Ø 11 mm).</p>	<p>Standard geometries:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ flat ▪ concave ▪ convex
	<p>Standard wedges for transducer type V3803 (drilling: Ø 6 mm).</p>	

Custom Design	
	<p>Custom wedge design for any part geometry, e.g. for the inspection of splines, grooves and undercuts.</p>

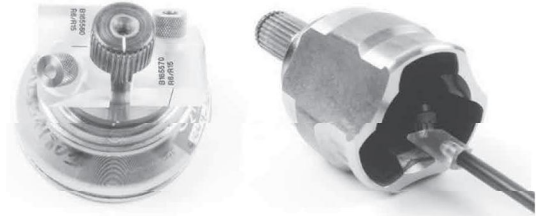
Custom Sensor Units	
	<p>One- / multi-channel.</p>
	<p>Custom wedge design.</p>
	<p>Inspection of pin journals and fillet radius of crankshafts.</p>

Other Accessories		
	Transducer, type V3803	Central frequency: ~ 20MHz
		Oscillator: Ø 3.175 mm
		Housing: ~ Ø 6 mm
		Connector: Microdot
	Transducer, type M3095	Central frequency: ~ 20MHz
		Oscillator: Ø 3.175 mm
		Housing: ~ Ø 11 mm
		Connector: Microdot
	RF Transducer Cable	Double-shielded triaxcable
		Connectors: BNT / Microdot.
		Straight (180°) or angular (90°).
		Lengths: 1, 2, 3, 5 or 7 m
	Reference System	Aluminum specimen with transducer type M3095 and transducer cable.
	Back-up Battery Pack	Removable Media Bay Battery
	Battery Charger	External Dual Bay Main Battery Charger
	USB-Pedal	USB-pedal to control the test instrument.
	Industrial Power Supply	MIL-STD-461F-certified A/C adapter

Misura non distruttiva e istantanea della profondità di tempra



Il controllo si presta anche ad elevate automazioni, per esempio nel controllo al 100% di alberi a gomito.

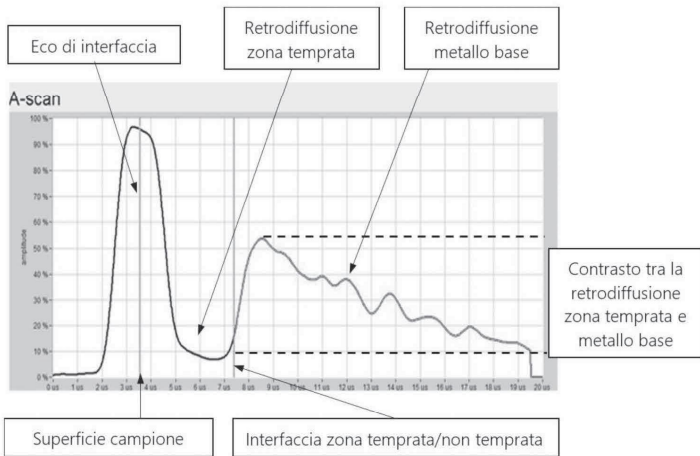


Il metodo ultrasonoro per la misura profondità di tempra a induzione (Surface Hardening Depth, SHD) del modello Q NET P3123 è la più avanzata tecnologia disponibile che consente una drastica riduzione dei tempi e costi di prova eliminando la necessità di sezionare o danneggiare i campioni. I risultati si ottengono in tempo reale.

Principio di funzionamento

Viene sfruttata la tecnologia a ultrasuoni ad elevate frequenze per ottenere un contrasto tra il rumore da retrodiffusione in regime di Rayleigh nel grano martensitico e nella microstruttura a cuore del pezzo:

$$(\lambda \gg d): \alpha_r = d^3 \cdot f^4$$



Campi di applicazione

Tra i diversi settori che già si avvantaggiano della nuova tecnologia del P3123, i principali sono:

- Trattamenti termici
- Automotive
- Costruzioni ed ingegneria civile
- Industria energetica
- Industria mineraria
- Macchine heavy duty

L'adozione della tecnologia Q Net Engineering ha permesso notevoli riduzioni di costi di produzione specialmente nella produzione di parti di grosse dimensioni come cuscinetti di base, ingranaggi industria eolica, ralle, sistemi di trasmissione e sterzo e molti altri.



Lista principale referenze a livello mondiale



Vantaggi

Il controllo per via ultrasonora è un processo molto veloce ed efficiente, consente notevoli risparmi di tempo e un'analisi completa dei componenti. Pezzi grandi e costosi non devono essere sezionati o distrutti per il controllo del processo di tempra e la produzione stessa può procedere più rapidamente perché non vincolata a lente misure distruttive di laboratorio.

Possono essere facilmente valutate profondità di tempra anche su geometrie molto complesse.

Ulteriori informazioni

La tecnologia Q Net Engineering è distribuita in Italia da:

TemaFlux srl

Via N. Tartaglia 11 - 25064 Gussago (BS)
 Tel. +39 030 3220789 - temaflux@temaflux.com



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

Relazione per la prova finale

*Controllo ultrasonoro della profondità di indurimento
superficiale ottenuto per tempra ad induzione*

Tutor Universitario: Prof.ssa Irene Calliari

Tutor Aziendale: Sig. Flavio Forner – Berco S.p.A.

Alberto Santi - 1139521

Anno Accademico 2018/2019

INTRODUZIONE

Nell'ambito metallurgico, essere in grado di fornire al prodotto finito le idonee caratteristiche richiede la conoscenza delle diverse proprietà meccaniche e della composizione chimica. Ogni fase del processo produttivo fornisce al materiale determinate caratteristiche, che vanno accuratamente controllate nel reparto di controllo qualità, per poter garantire la bontà del processo produttivo e la qualità del proprio prodotto.

Tali controlli possono essere suddivisi in due grandi macrocategorie: test distruttivi e test non distruttivi. Nei primi, l'esecuzione del controllo compromette l'utilizzo del componente analizzato, portando quindi ad uno scarto che spesso e volentieri non è desiderato. Nei secondi, invece, il test non compromette integrità e funzionamento del manufatto. Solitamente, questi ultimi richiedono anche tempi minori di esecuzione.

L'obiettivo dell'attività di tirocinio, effettuato presso la Berco S.p.A., era studiare l'affidabilità di una strumentazione per il controllo non distruttivo della profondità di indurimento superficiale, ottenuta da un trattamento di tempra ad induzione. Il test prevede l'utilizzo di ultrasuoni, onde sonore ad alta frequenza, note in ambito metallurgico soprattutto per il controllo di saldature.

La tempra ad induzione è un processo complesso, il quale richiede frequenti controlli delle profondità di tempra e della microstruttura del metallo. Questi controlli vengono usualmente effettuati mediante test distruttivi, i quali prevedono prove di durezza effettuate lungo la sezione con apposito durometro, dalla durata di 3÷4 ore in laboratorio e di 1÷2 ore in fase di avvio produzione. L'implementazione dell'apparecchiatura sopracitata porterebbe quindi a una riduzione dei tempi di controllo, oltre che degli scarti.

La Berco S.p.A. è un'azienda italiana produttrice di parti sottocarro per macchine da miniera, da deforestazione, per costruzioni e per l'agricoltura. Si consideri che una macchina cingolata su cinque al mondo è dotata delle sue componenti, grazie alla vasta gamma di prodotti (più di 6.000 componenti diverse a seconda di ogni esigenza e dimensione), ai diversi stabilimenti e ad un ottimo sistema di rivenditori che raggiunge più di 70 paesi. In Italia, sono presenti due stabilimenti: il quartier generale di Copparo (Ferrara) e lo stabilimento di Castelfranco Veneto (Treviso), dove è stata effettuata l'attività di tirocinio. In questo stabilimento si concentra la produzione di ruote tendicingolo e rulli anteriori e posteriori, con diverse linee produttive dedite allo stampaggio a caldo, alla lavorazione meccanica, ai diversi trattamenti termici, al montaggio e alla verniciatura. Annualmente, vengono temprati ad induzione circa 250.000 pezzi, di cui 5.000 scartati per l'esecuzione di test distruttivi. Nonostante questo numero sembri basso rispetto alla produzione, la perdita annuale in termini economici ammonta a più di 80.000€, dunque molto elevata e l'azienda si è mossa per innovarsi ed eliminare questi sprechi.

Per una ulteriore conferma della microstruttura, oltre che utilizzando tabelle come quella appena riportata, si ricorre a microscopie ottenute di piccoli campioni della zona superficiale della sezione, con attacco con Nital 3% per 5-6 secondi. Queste evidenziano le varie fasi dell'acciaio: martensite superficiale e strutture ferritiche-perlitiche lamellari in profondità.

3.2 Test non distruttivo: Hardness Depth Tester P3123

Il metodo ultrasonoro per la misura di profondità di tempra a induzione del modello P3123 (Figura 3.2) è una innovativa tecnologia che consente una drastica riduzione dei tempi e dei costi di prova, con risultati in tempo reale e l'eliminazione della necessità di sezionare o danneggiare i campioni, di qualsiasi dimensione. Questa strumentazione è prodotta dall'azienda Q NET Engineering GmbH e distribuita in Italia da TemaFlux S.p.A., realtà specializzate nei test non distruttivi sui materiali (*non-destructive testing, NDT*).

L'apparecchiatura è composta da un laptop industriale avente 4 ingressi a cui collegare differenti trasduttori (in parallelo), in maniera tale da non essere costretti a sostituire la sonda ogni qual volta si intenda effettuare analisi di diverse geometrie. Il computer possiede un software per l'elaborazione del segnale ultrasonoro, *SHD Studio* (la sigla *SHD* sta per *Surface Hardness Depth*, ovvero "profondità di indurimento superficiale").

Il P3123 è il risultato di diversi anni di studi su questa tipologia di test, preceduto da apparecchiature meno sofisticate e precise (P3119, P3120 e P3121). Il costo di questo macchinario, completamente portatile, è di 55.000 €.



Figura 3.2 – Hardness Depth Tester P3123 di Q-Net.

L'apparecchiatura presenta i seguenti limiti di natura fisica e strumentale:

- Profondità minima di tempra rilevabile di ~ 1.5 mm a causa della sovrapposizione dei due picchi, che comporta una analisi grafica non affidabile (Figura 3.5a);
- Profondità massima di tempra rilevabile di ~ 8 mm a causa della perdita d'eco eccessiva che comporta una individuazione del secondo picco non affidabile (Figura 3.5b);
- Incertezza di misura di $\pm 0,2$ mm, legata alla risoluzione dell'apparecchiatura.

Sono presenti poi sistemi di controllo interni, che verificano la corretta esecuzione del test. Questi vengono effettuati sull'ampiezza dell'eco superficiale (interfaccia zoccolo-componente metallica), sull'ampiezza dell'eco di retrodiffusione (interfaccia martensite-cuore) e sulla presenza del decadimento esponenziale della perdita d'eco dovuta all'attenuazione dell'onda: nel caso in cui si rilevino anomalie riguardanti queste caratteristiche, l'apparecchiatura indicherà la presenza del problema.

Visti i diversi parametri personalizzabili (guadagno, livellamento, aree di ricerca, ...), al fine di ottenere il risultato migliore possibile, si segnala la possibilità di creare e salvare settaggi customizzati per ogni campione. Questa operazione di individuazione delle impostazioni più corrette può essere effettuata mediante una taratura preliminare, confrontando i risultati dei test ultrasonori con le misure dei test distruttivi, per poi salvare le impostazioni con le quali si sono ottenuti i risultati più analoghi possibili e poterle usare per i futuri campioni aventi stesso disegno, materiale e trattamenti subiti.

Ogni misurazione viene salvata indicando l'operatore che l'ha effettuata, campione in analisi e macchinario in cui è stata effettuata la tempra ad induzione (opzionale, indicabile dall'operatore): quest'ultima possibilità permette di verificare nel tempo anche l'andamento degli induttori, eseguendo quindi una verifica a posteriori su questi e sul corretto centraggio della tempra rispetto al campione.

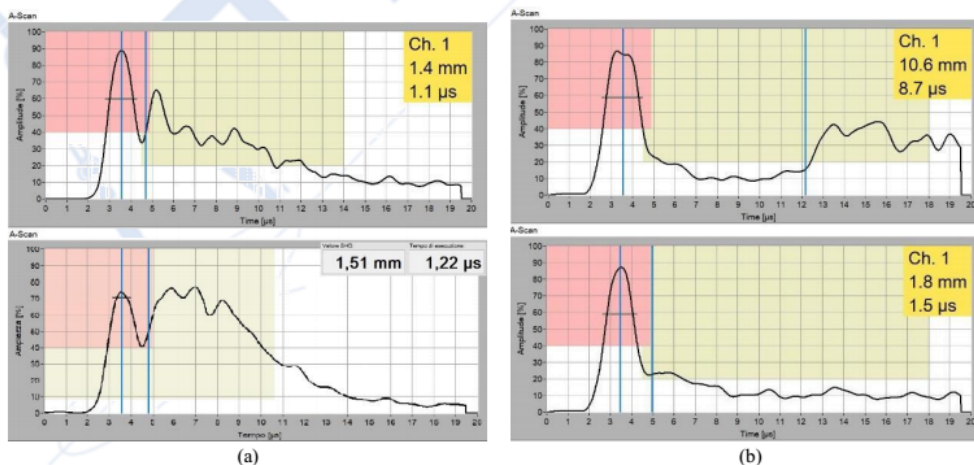


Figura 3.5 – Esempi di A-scan con risultati critici: (a) profondità di tempra al di sotto del limite inferiore con zona di valle non definita accuratamente; (b) profondità di tempra maggiori del limite superiore con eco di retrodiffusione non definito accuratamente o assente.

3.2.3 Applicazione della sonda

Effettuando il controllo con gli ultrasuoni, oltre a quanto considerato, bisogna sempre tenere in considerazione l'accoppiamento tra il trasduttore ed il pezzo in esame. Se la superficie del mezzo è rugosa, bisognerà tenere conto di un'ulteriore perdita di energia dovuta alla diffusione provocata dalla rugosità che rifletterà il fascio in più direzioni. Nella direzione di utilizzazione, quindi, sarà riflessa o trasmessa solo una parte dell'energia calcolata. Per impedire questa evenienza, si utilizzano liquidi accoppianti già citati nel capitolo precedente.

La geometria delle sonde è invece la caratteristica di fondamentale importanza per queste analisi, in cui le zone da analizzare presentano curvature di diverso tipo che portano ad applicazioni più o meno migliori. Essendo i supporti per sonde in plexiglass, questi presentano basso costo e possono permettere un adeguamento alle diverse geometrie. Nelle sonde con curvature, concave o convesse, si può definire la più appropriata mediante il raggio di curvatura, ovvero il raggio della circonferenza che meglio approssima quella determinata curvatura.

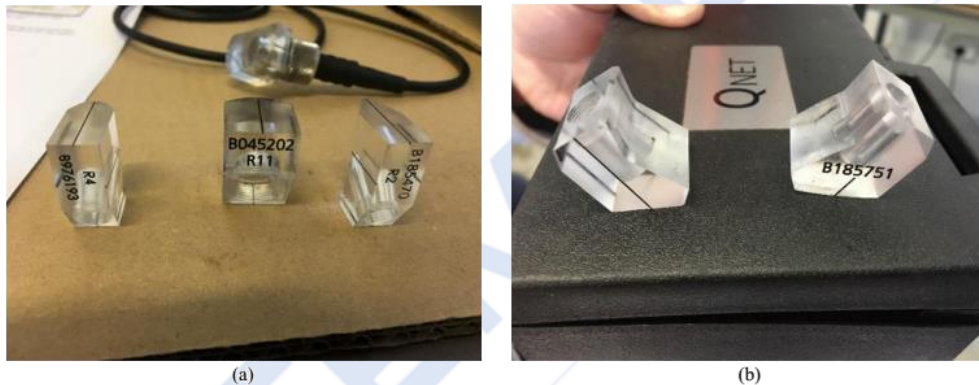


Figura 3.6 – Diverse tipologie di supporti per sonde: (a) sonde curve con diversi raggi di curvatura (partendo da sinistra, rispettivamente di 4mm, 1mm e 2mm); (b) sonde piane con diversa angolazione.

Per ottenere risultati concreti da questa raccolta di dati, si è eseguito una analisi statistica utilizzando il software di elaborazione dati *Minitab*.

Si è effettuato una analisi della discrepanza dei dati tra i valori dei test ultrasonori UT con le prove distruttive eseguite a posteriori DT2. Si è ottenuto un valore di deviazione standard delle discrepanze pari a 0,28 mm, in accordo con l'incertezza del macchinario di 0,2 mm.

Si è eseguito poi uno studio di inferenza statistica per confermare la correlazione diretta tra le misure con i due metodi:

- Il test sulla nullità della media delle discrepanze (*test di ipotesi t per la media*), per verificare che in media i test distruttivi e non distruttivi hanno dato risultati analoghi, ha dato riscontro positivo. L'ipotesi sopra citata non può essere rifiutata, dunque in media le misurazioni forniscono gli stessi risultati;

Two-Sample T-Test and CI: UT (mm); DT2 (mm)					Estimation for Difference			
Method					Difference	Pooled StDev	95% CI for Difference	
μ_1 : mean of UT (mm)					0,057	1,166	(-0,579; 0,694)	
μ_2 : mean of DT2 (mm)								
Difference: $\mu_1 - \mu_2$								
Equal variances are assumed for this analysis.								
Descriptive Statistics								
Sample	N	Mean	StDev	SE Mean				
UT (mm)	27	3,65	1,16	0,22				
DT (mm)	27	3,59	1,17	0,23				
					Test			
					Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$		
					Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$		
					T-Value	DF	P-Value	
					0,18	52	0,857	

- Il test di correlazione tra UT e DT2 ha evidenziato un buon legame tra i risultati ottenuti con i due metodi. Da articoli scientifici, si ricava che la correlazione ottenuta sperimentalmente e verificata è del 0.997 se si riportano i risultati di prove distruttive e ultrasonore per l'individuazione della profondità di tempra superficiale. Dai test effettuati durante il tirocinio, con numero di campioni e di dati comunque ristretto, si è ottenuta una correlazione del 0.971, molto vicina a quella sopra riportata. Di sotto viene rappresentata la retta di regressione.

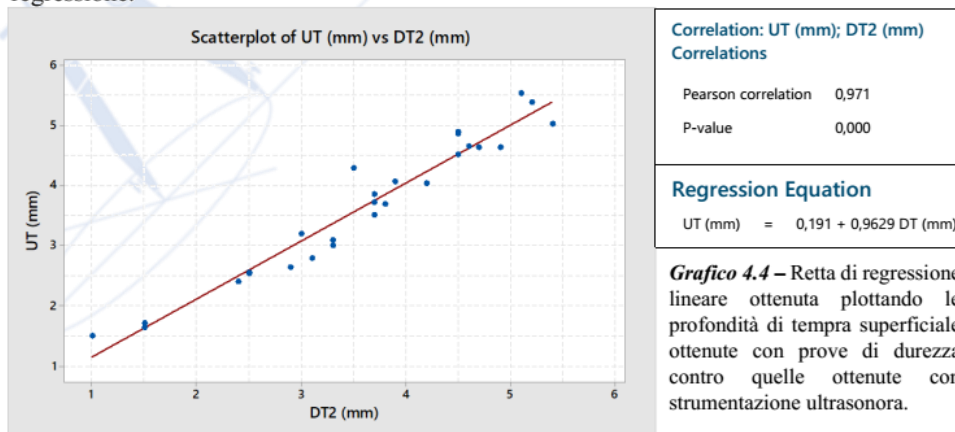


Grafico 4.4 – Retta di regressione lineare ottenuta plottando le profondità di tempra superficiale ottenute con prove di durezza contro quelle ottenute con strumentazione ultrasonora.

CONCLUSIONI

Visti i risultati evidenziati dai test statistici e la buona correlazione dei risultati, l'affidabilità della strumentazione è confermata. Lo scostamento verificato non supera i 0.3 mm dalle misurazioni con cuciture, con una correlazione dei dati del 97%. Si consideri che i dati sono stati ottenuti senza una taratura ottimale della strumentazione che può essere effettuata solo con l'implementazione della strumentazione in azienda, che porterebbe a una diminuzione della discrepanza dei dati. Va considerato anche la necessità di disporre di diverse tipologie di supporti per sonde con curvature differenti, al fine di abbracciare una più vasta gamma di prodotti.

L'operazione di taratura potrebbe essere effettuata eseguendo in contemporanea prove di durezza lungo le sezioni e test ultrasonori, in maniera tale da ottenere un risultato di profondità di tempra efficace corretto mediante il test distruttivo, per poi cercare un settaggio della strumentazione tale per cui il risultato ottenuto sia il medesimo. Salvando poi il suddetto settaggio all'interno dell'apparecchiatura, sarà possibile riprodurre il test ultrasonoro con la certezza di ottenere un risultato analogo a quello delle prove di durezza.

Il controllo ad ultrasuoni fornisce una corretta misurazione della profondità di tempra per valori superiori a 1.5mm, su misurazioni al di sotto di tale valore il risultato non si può considerare affidabile. Per profondità di tempra superiori a 10 mm, la presenza di una zona intermedia dilatata provoca una non precisa misurazione ad ultrasuoni, a causa della consistente attenuazione del segnale.

In conclusione, l'affidabilità è garantita per il range di 1.5 ÷ 10 mm

La strumentazione ha un costo di 55.000,00€. Sulla base della quantità di scarti annuali di Berco2 (stabilimento di Castelfranco Veneto) per le prove distruttive, implementando la strumentazione nello stabilimento si avrebbe un ritorno sugli investimenti (*return on investment, ROI*) in 1,4 anni.

Si consideri anche una consistente riduzione dei tempi di collaudo: una misurazione ad ultrasuoni richiede qualche minuto, una misurazione con durometro, partendo dal taglio del provino fino all'individuazione della profondità di tempra, richiede fino a 3÷4 ore in laboratorio, mentre in fase di avvio produzione fino a 1÷2 ore.