Shot peening: een uniek proces

Marcel van Wonderen

Master Engineer Process, Equipment & Materials Development

KLM Royal Dutch Airlines

Engineering & Maintenance

Schiphol-Airport, The Netherlands

Shot peening: een uniek proces

INTRODUCTIE

Levensduur van een onderdeel (in welke vorm dan ook: ontwerp, materiaal soort, oppervlaktegesteldheid, etc.) zal altijd worden bepaald door de bedrijfs-omstandigheden.
Binnen deze bedrijfsomstandigheden kan men de volgende 3 belangrijkste invloeden / condities onderscheiden:

- Slijtage
- Temperatuur
- Corrosie

Deze invloeden / condities leiden uiteindelijk tot een bepaalde keuze bij “uitval” van het onderdeel:

- Het onderdeel repareren
- Het onderdeel vernieuwen

Shot peening: een uniek proces

Keuze van de juiste reparatie techniek(-en)

Indien men kiest voor reparatie, kan men v.w.b. de toepasbare reparatie technieken een **economische** en een **technische** keuze maken.

Van invloed op deze keuze is de benodigde **functionaliteit** van het produkt / onderdeel.

En elke reparatie techniek heeft zijn technische en economische voor- en nadelen

Shot peening: een uniek proces

Enkele simpele uitgangspunten voor een **technische keuze**:

- Welke condities hebben de grootste invloeden op het onderdeel ? (slijtage, temperatuur, corrosie of combinaties)

- Hoe groot is het oppervlak wat moet worden behandeld ?

- Hoeveel tijd heeft u ter beschikking ? (denk aan procestijden, TAT's, "downtimes", etc.)

- Wat is de minimale benodigde levensduur van het onderdeel ?

- Invloed op EHSS ?

- Bijkomstigheden als: terugkomst frequentie, calibraties, garanties op de functionaliteit, voldoen aan normen, benodigde opleidingen, certificaties, etc..

Shot peening: een uniek proces

Enkele simpele uitgangspunten voor een **economische keuze**:

- Om hoeveel onderdelen gaat het ?

- Relatie tussen nieuw prijs onderdeel en reparatie kosten.

- Benodigde (korte of lange termijn) investeringen

- TLCC (Total Life Cycle Costs),

- Kosten van EHSS

- Bijkomende kosten: opleiding personeel, certificaties, authorisaties, etc…

Shot peening: een uniek proces

Functionaliteit en reparatie technieken

Door gebruik van de juiste reparatie technieken (of onderhoudstechnieken) kunnen eigenschappen van een onderdeel worden verbeterd en hiermee de functionaliteit. Denk b.v. aan:

- Weerstand tegen slijtage
- Soldeerbaarheid
- “Non-stick effect”
- Electrische geleidbaarheid
- Hardheid
- Hoge temperatuur bestendigheid
- Weerstand tegen corrosie
- Anti-reflectie
- Ruwheid
- Slijtwilligheid
- Chemische bestendigheid
- etc.

Shot peening: een uniek proces

Kijken we bij een onderdeel naar de volgende bedrijfsomstandigheden:

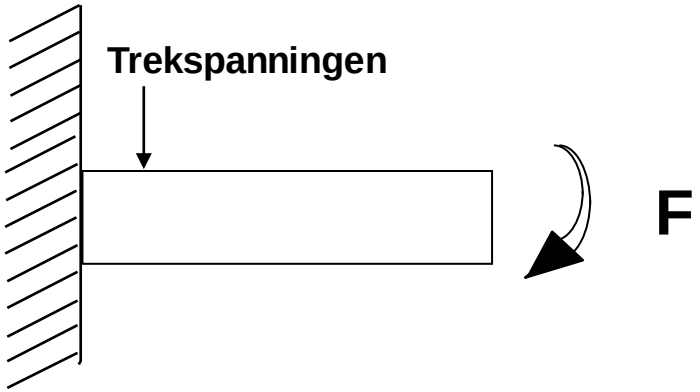
- Belasting (torsie- en trekspanningen)
- Milieu (industriele omgeving, offshore, etc.)
- Soort slijtage (erosieve, abrasieve, vreten, adhesive, etc.)
- Temperatuur
- Oppervlakte gesteldheid
- Microstructuur
- Contact met een ander onderdeel/materiaal (spanningscorrosie/vreten)
- Geometrie (ontwerp)
- Materiaal soort
- etc.

dan blijkt er 1 grote overeenkomst te zijn:

De combinatie van bovenstaande factoren zullen de levensduur van een onderdeel verkorten. Dit komt door: vermoeiing.

Shot peening: een uniek proces

Wanneer ontstaat er vermoeiingsbreuk ?



- Het bovenste oppervlak ondervindt trekspanningen.

- Micro-scheur initiatie zal onstaan bij (te) hoge trekspanningen (piek-spanningen op plaatsen waar het metaal het zwakst is door b.v. beschadigingen, verontreinigingen, poriën in het metaal, oxides, grove ruwheid, etc.)

- Micro-scheur prolongatie onstaat door de cycli (belasting wisselingen) Dit leidt tot een vermoeiingsbreuk.

Shot peening: een uniek proces

Shot peening: een uniek proces

De kans op scheuren bij een onderdeel hangt dus af van:

- Vermoeiingssterkte van het moedermateriaal

- Grootte van de belasting (load) in Newtons/mm^2

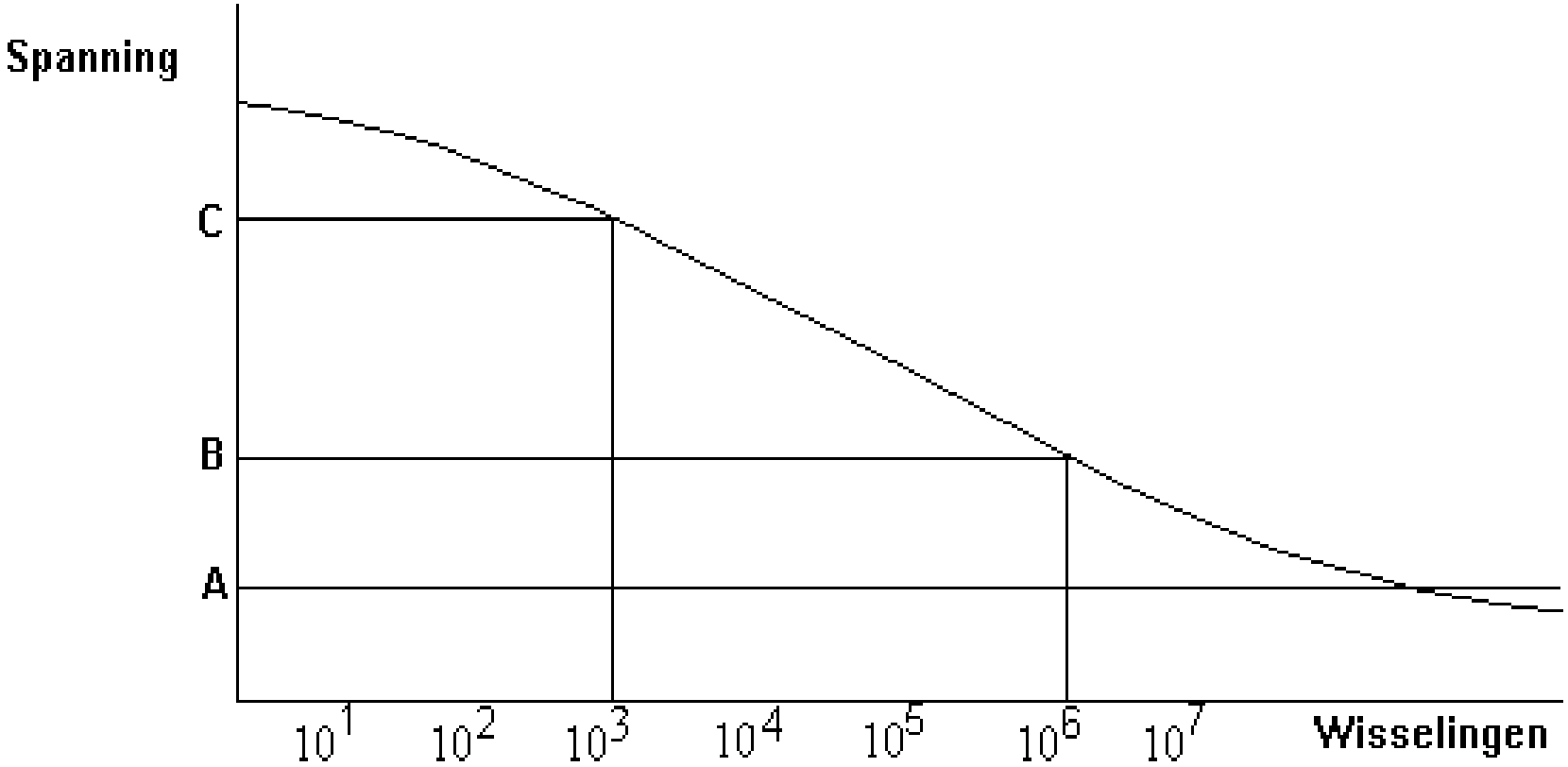
- Hoeveelheid belasting-wisselingen (cycles)

- Oppervlakte gesteldheid en invloeden van buitenaf (“Contributing factors”)

Bovenstaande kan men samenvattend presenteren m.b.v. “s/n curves”

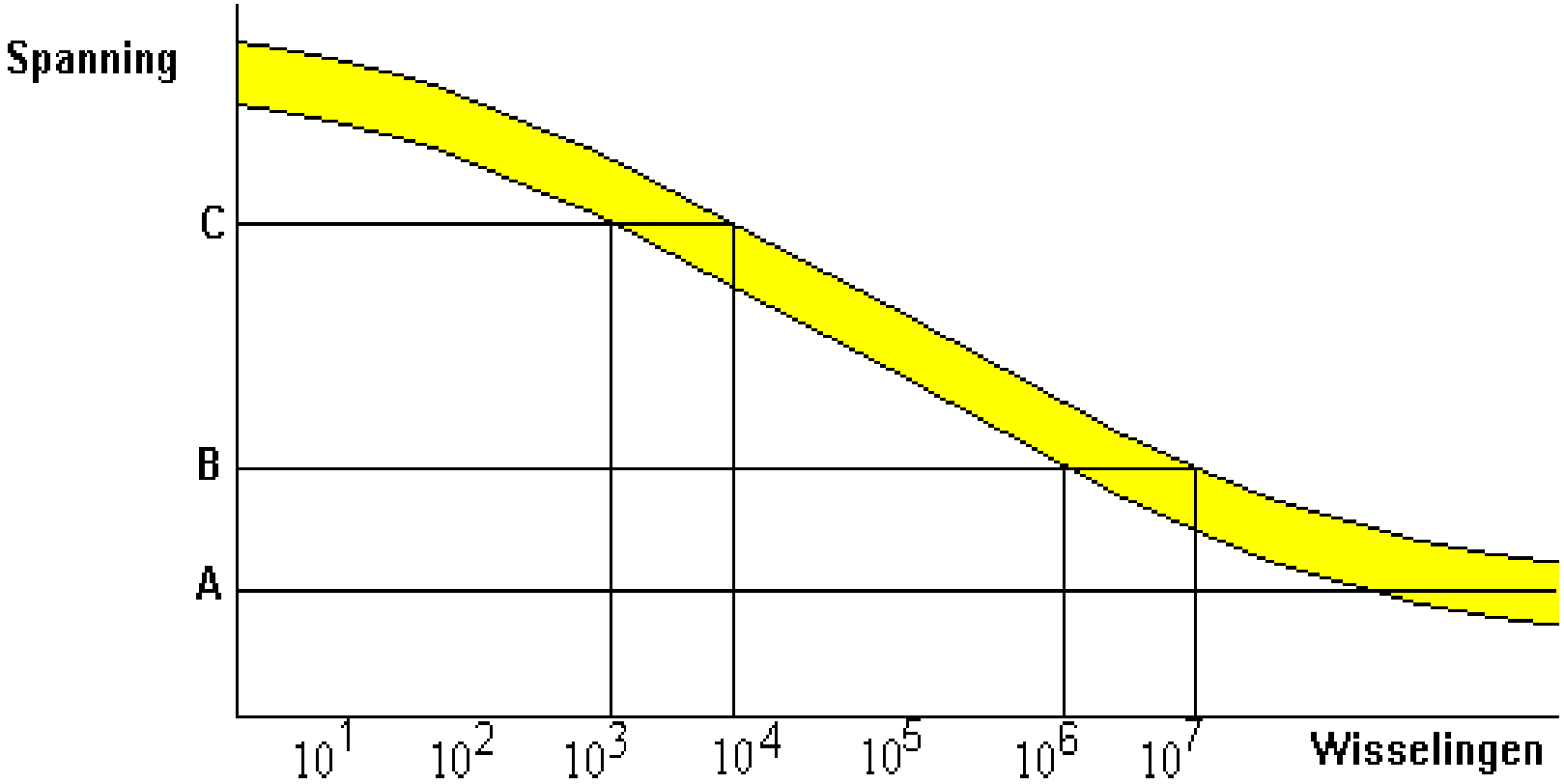
Shot peening: een uniek proces

S/N Curve = Stress / “Number of cycles” Curve



Shot peening: een uniek proces

Hoe krijgen we de curve naar rechts ?



Shot peening: een uniek proces

Diverse mogelijkheden om de curve naar rechts te krijgen:

- Het onderdeel zwaarder construeren (dit gaat gepaard met meer gewicht)

- Het onderdeel van een ander (beter) materiaal maken (=duurder, of hierbij kunnen belangrijke andere eigenschappen verloren gaan, zoals b.v. temperatuur- en corrosie-bestendigheid)

- Ontwerp van het onderdeel wijzigen: b.v. radii toepassen

- Oppervlakte behandelingen toepassen

Shot peening: een uniek proces

Technieken die plaatsvinden in en op het oppervlak

Techniques with effect in the surface	Techniques with effect on the surface
Ion-implementation	Elektro-chemical: plating (Nickel, Chromium, Cadmium, etc.)
Thermal-chemical: carbonizing / carbonitriting, nitriting / borizing, chromating, etc.	Chemical: plating (electroless Nickel)
	Organic: Paint
Chemical: etching, polishing, Elektrochemical: anodizing, etc.	Mechanical: roll cladding, explosion cladding
	Clad welding
Thermal: heat treatment, tranformation hardening by means of flame, induction, laser-treatment, etc.	Thermal Spraying, Cold Spraying
	Deposition from gas phase: PVD, CVD, IVD, EB-PVD, etc..
Mechanical: laser-shock, rolling, polishing, hardening, etc.	Liquid metal immersion: Zinc, Aluminium, etc.

Shot peening: een uniek proces

Nog een techniek: *SHOTPEENEN*

Shotpeenen is een proces waarbij druk-spanningen worden aangebracht in het oppervlak.

Bij drukspanningen treden geen tot nauwelijks scheur-initiaties op.

Buitenaf ingebrachte trekspanningen worden verminderd of gecompenseerd waardoor de kans op scheuren verkleind wordt.

Shot peening: een uniek proces

Bij een recentelijk gehouden marktonderzoek(*) op kleine schaal, zijn er een 100-tal Nederlandse metaal bewerkings- en oppervlakte behandelings-bedrijven benaderd (o.a. diverse leden van de FME, de VOM, het NIL, de Koninklijke Metaalunie, etc.) met de vraag of ze de techniek Shotpeening kennen, en indien ja, of ze de voordelen kennen en de techniek toepassen.

Eén-derde van de benaderde bedrijven had nog nooit van Shotpeenen gehoord !

Van de twee-derde die er wel eens van gehoord hadden, wist het grootste deel niets over de voordelen.

En van het deel dat wel de voordelen kenden, pasten een klein deel de techniek daadwerkelijk toe (voornamelijk vliegtuig en ruimtevaart industrie en automotive met nog wat uitzonderingen binnen andere industriën).

(*) ***Onderzoek in opdracht van de firma Straaltechniek International BV, Nederland.***

Is hier sprake van: “ Wat een boer niet kent, eet hij niet ?” En zo ja, hoe komt dat ?

Shot peening: een uniek proces

PRINCIPE

Wat houdt “shot peening” in?

Shot peening is van oorsprong een Engelse benaming en is als onderstaand te vertalen:

- shot - kogel en stoot
- peen - uiteinde van een hamer
- shotpeening - kogelstralen, kogelen en schietharden

Shot peening: een uniek proces

Shot peening is een proces waarbij het oppervlak van een metaal door kleine harde ronde deeltjes met hoge snelheid wordt beschoten.

Het proces wordt in vele industrieën gebruikt en wordt gebruikt als een levensduur verlengend proces (door vermoeiingssterkte verhoging).

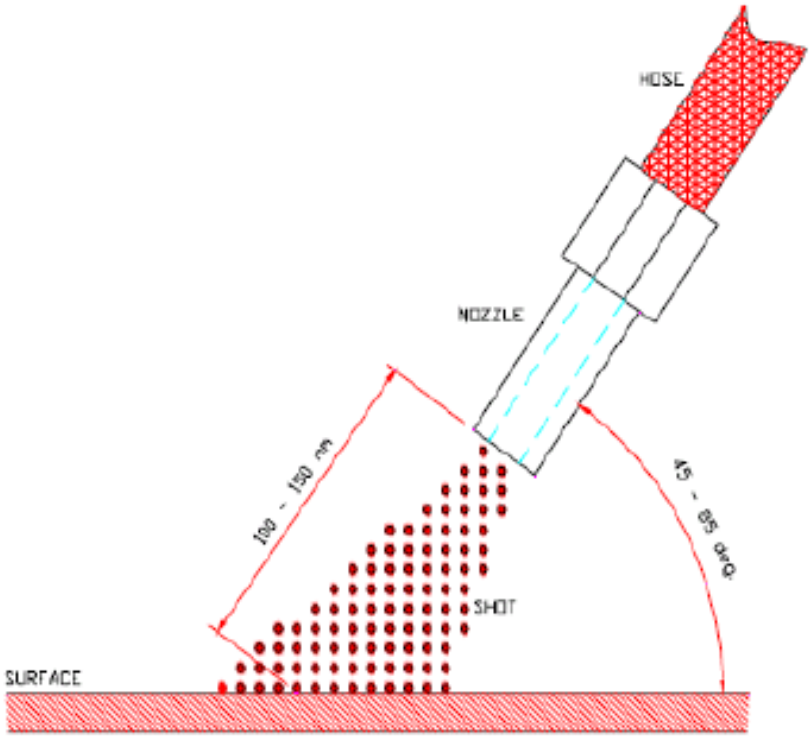
Het proces kan alleen op metalen worden uitgevoerd.
Dit komt omdat metaal een bijzondere eigenschap heeft:

Malleabiliteit

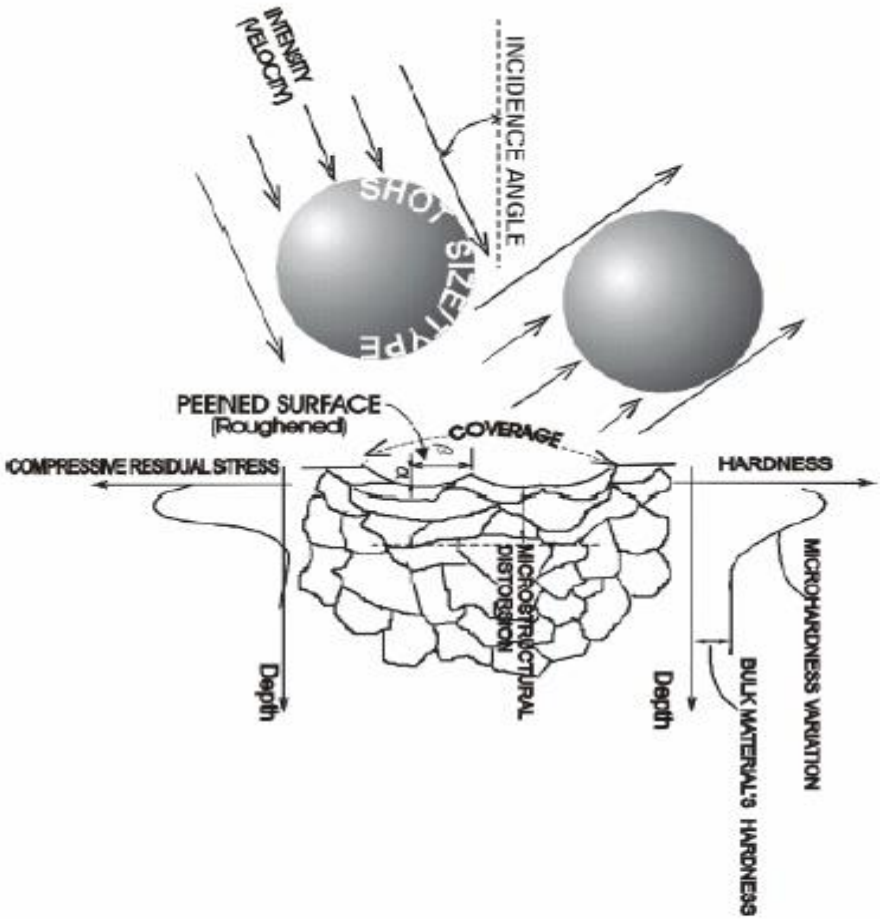
Malleabiliteit is de mate waarin een materiaal plastische vervorming (koud deformatie) zonder kapot te gaan en waardoor het dus smeedbaar is (met een hamer te bewerken).
Dit gaat uit van drukspanningen in tegenstelling tot ductiliteit.

Shot peening: een uniek proces

Simpele voostelling van Shotpeening:



Shot peening: een uniek proces



Shot peening: een uniek proces

Year	Author (s)	Achievements / Statements / Proposals
1927	E.G. Herbert	Workhardening due to abrasion („“cloudburst process“)
1929	O. Föppl	Cold-hammering improves bending fatigue behaviour of structural steel
1929	German Patent Nr. 573 630	Steel shot blasting of springs
1938	J.H. Frye G.L. Kehl	Influence of cleaning procedures on fatigue behaviour
1939	R.Z. v. Manteuffel	Improved fatigue strength of sand blasted steel springs
1940	F.P. Zimmerli	Shot blasting and its effect on fatigue fracture life
1940	H. Wiegand	Increased security of surface treated aircraft motor components against fracture

Shot peening: een uniek proces

Gedurende WW2 werden vanaf 1942 meer dan 50.000 M4 Sherman tanks Geproduceerd.

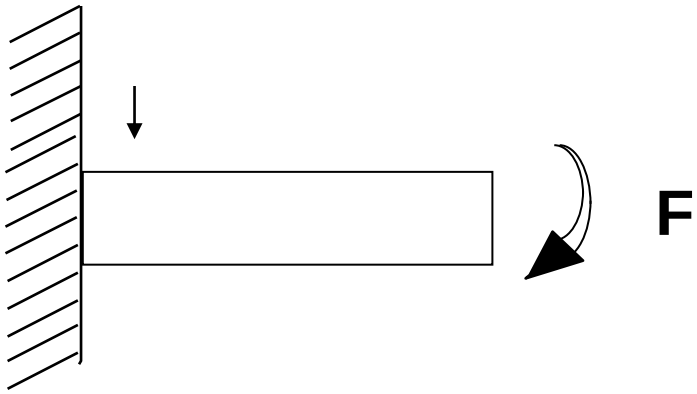
Voor de ‘steering knuckles’ gebruikte men in eerste instantie Staal X-3140. Toen dat staal niet meer beschikbaar, stapte men over op SAE-4140 en daarna NE-8744. Dus de kwaliteit van het staal werd steeds minder en kreeg men problemen met vermoeiingsbreuken van die ‘knuckles’.

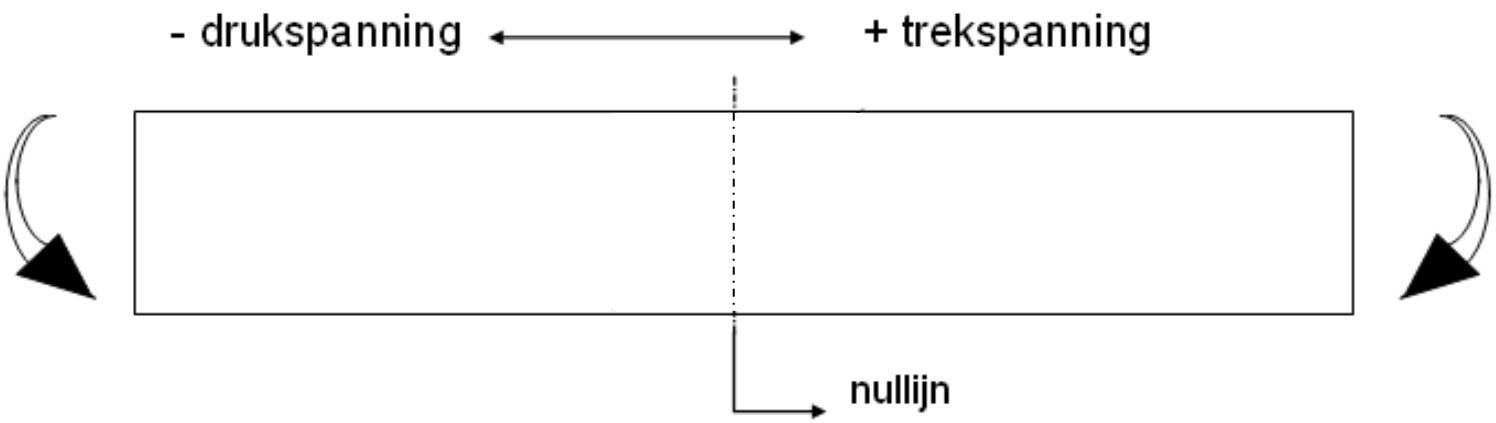
Door advies van de heer J.O. Almen (Research Lab Division General Motors) zijn men die minder kwalitatieve NE-8744 ‘knuckles’ gaan shot peenen.

En wat bleek ?

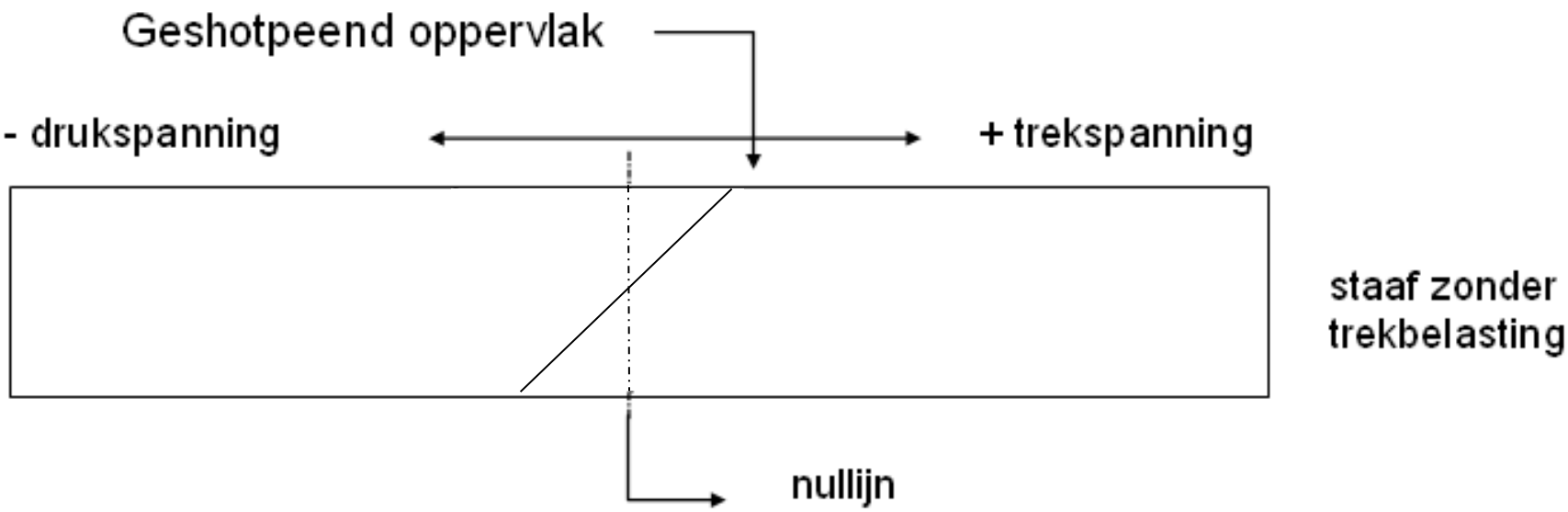
De vermoeiingssterkte van de NE-8744 knuckles ging ruim 2,6 x omhoog t.o.v. de veel duurdere en kwalitatieve betere X-3140 knuckles !!!!!

Shot peening: een uniek proces



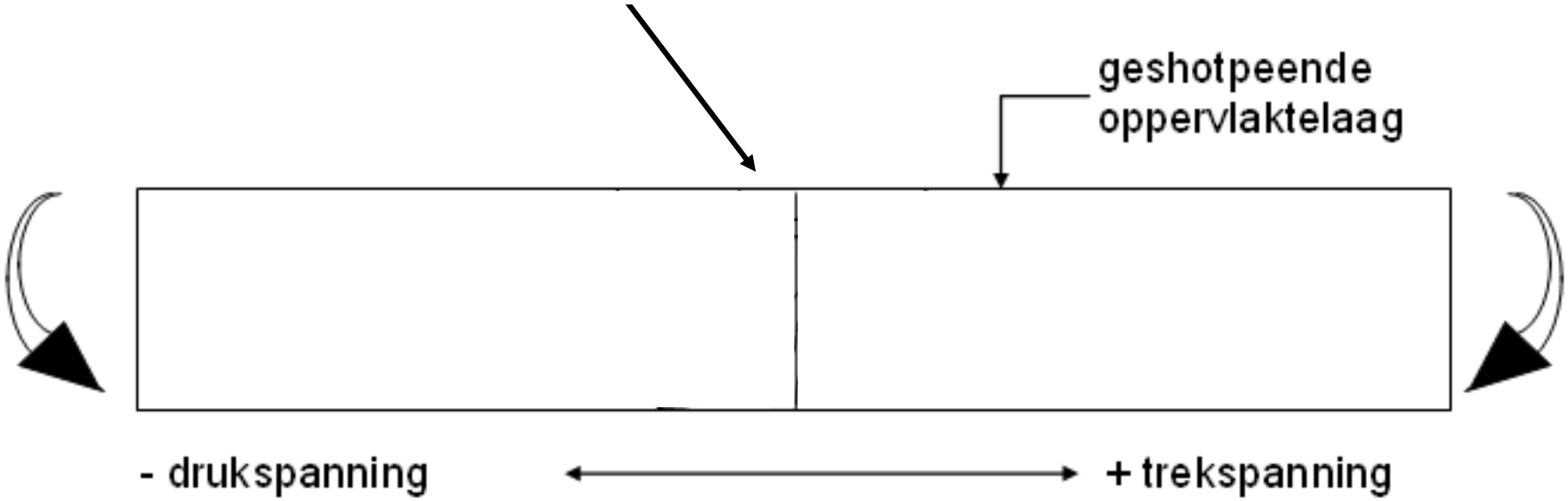


Shot peening: een uniek proces



Shot peening: een uniek proces

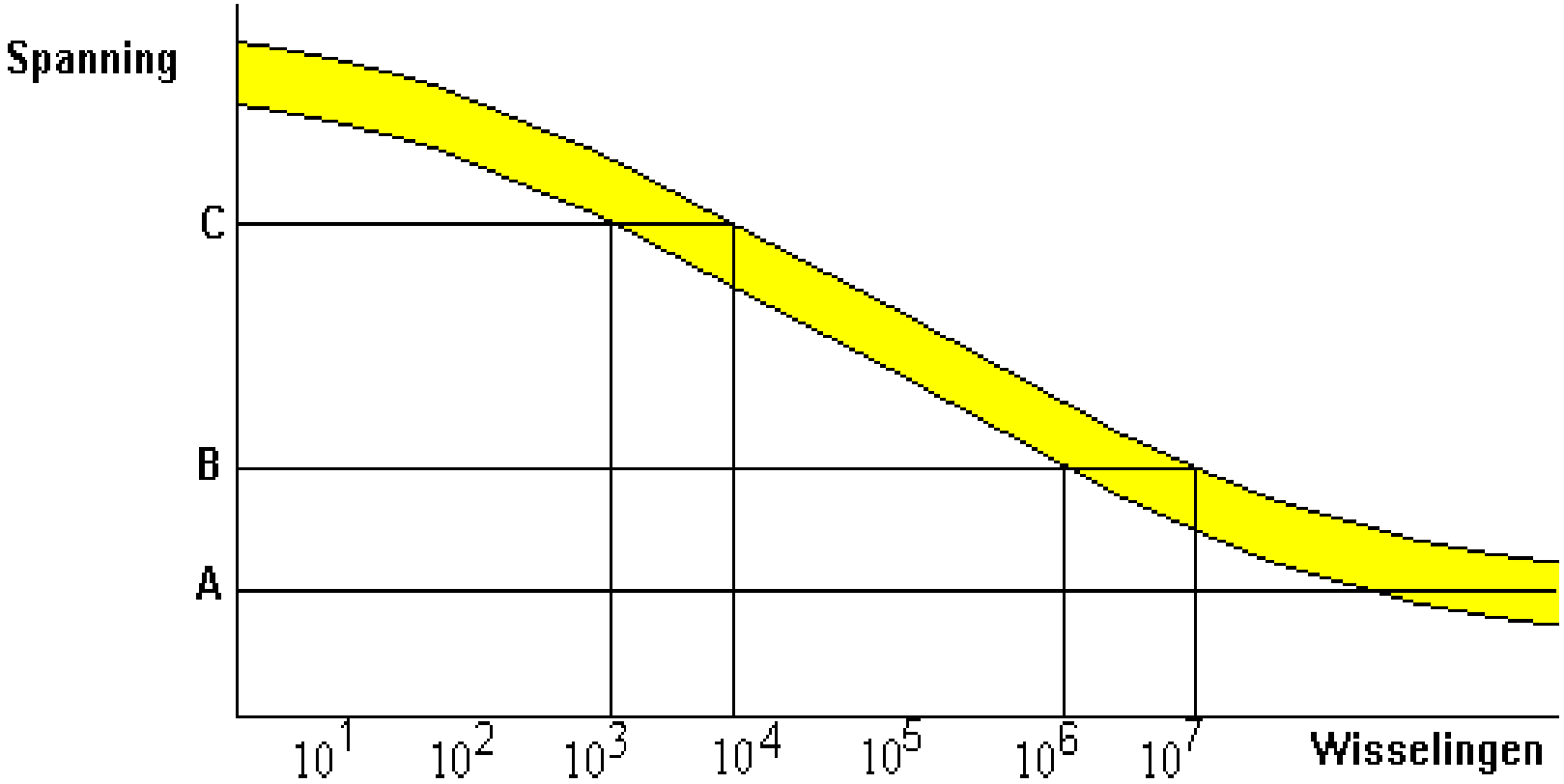
Effect: drukspanning ondanks de opgelegde kracht



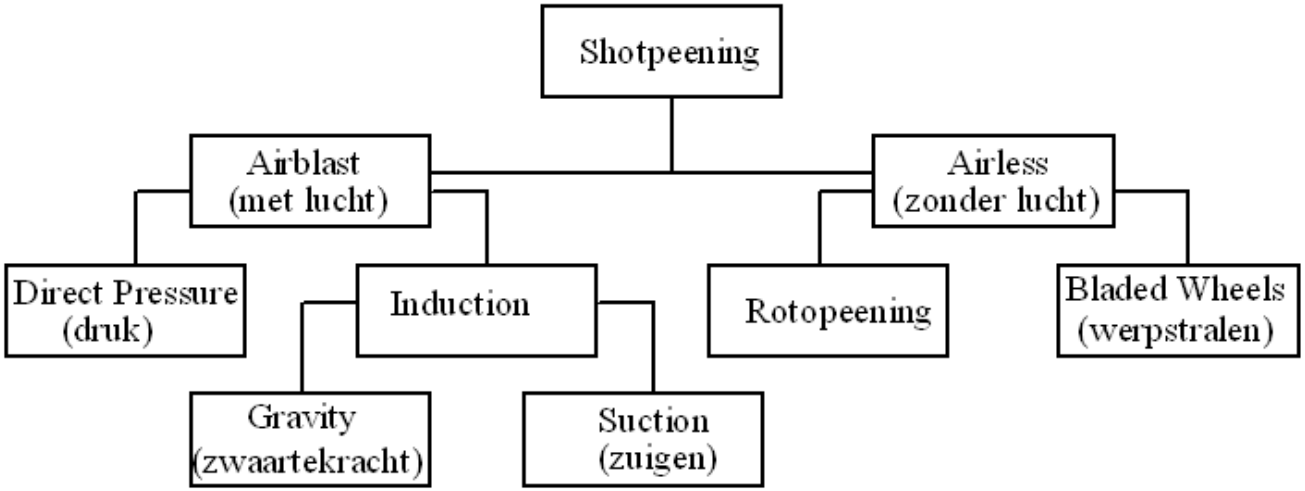
Eind resultaat: onderdeel zal een hogere levensduur hebben !

Shot peening: een uniek proces

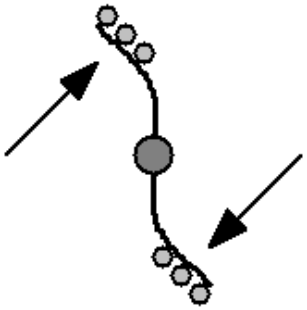
Conclusie: situatie A is gecreëerd



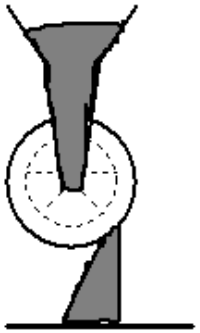
Shot peening: een uniek proces



Rotopeening



Bladed Wheels
(werpstralen)



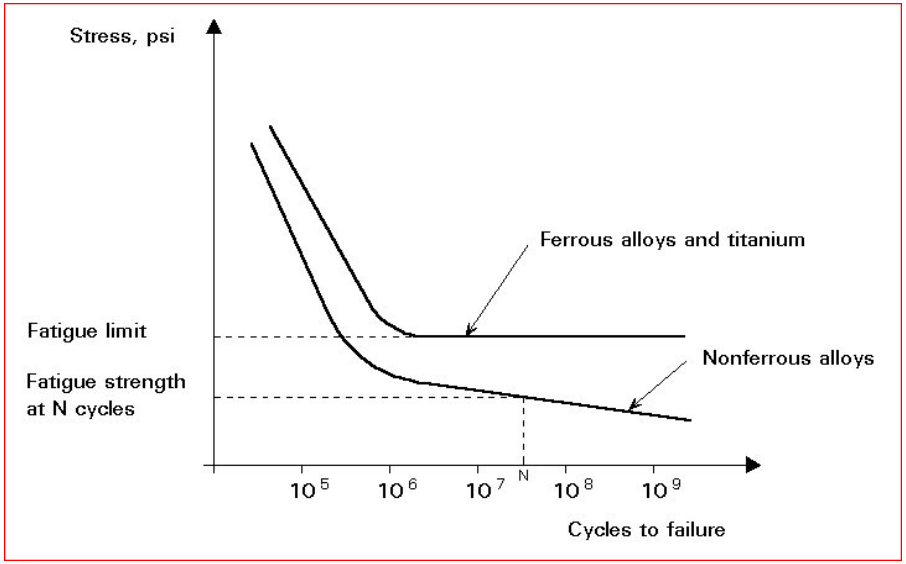
Shot peening: een uniek proces

Hoe meten we het resultaat van shotpeening ?

Het resultaat van shotpeenen is pas bekend is als een onderdeel daadwerkelijk beproefd is op vermoeiingseigenschappen m.b.v.

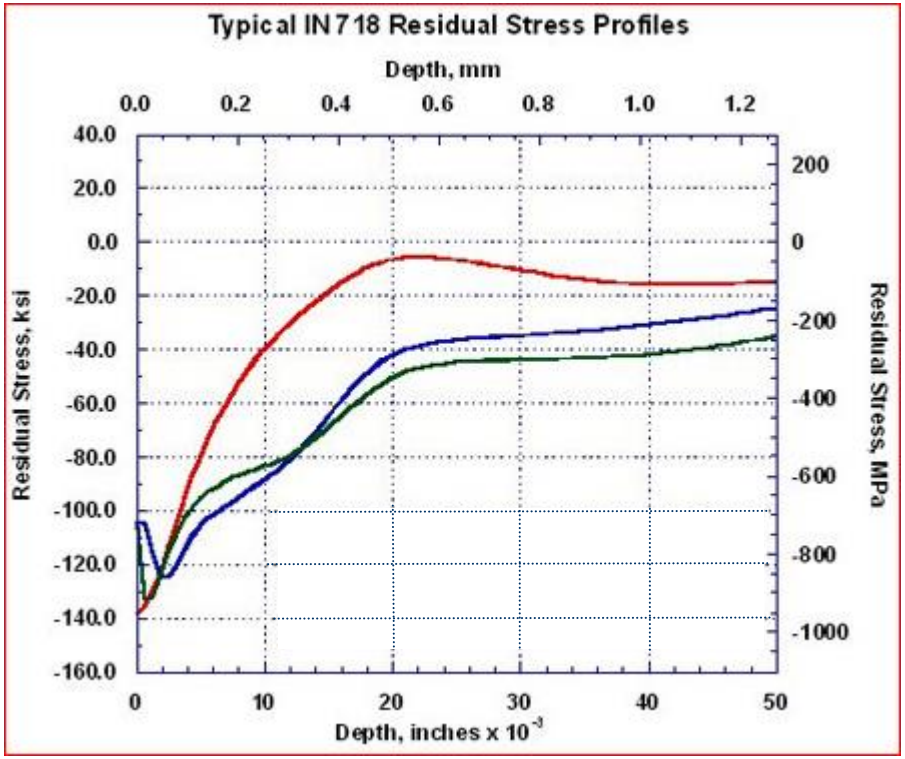
LCF of HCF testen (Low Cycle Fatigue of High Cycle Fatigue)

De resultaten van deze testen worden S/N curves:



Shot peening: een uniek proces

Voorbeeld spanningsverloop in het materiaal na shotpeening



Echter deze spanningen kunnen alleen maar gemeten worden met XRD: (X-Ray Diffraction).

Shot peening: een uniek proces

Een alternatieve meetmethode is door dhr J.O. Almen ontwikkeld:

Men gaat eigenlijk het resultaat van de drukspanning in een testplaatje bepalen.

Hiervoor worden genormaliseerde dunne plaatjes gebruikt van vaste dikte en grootte.

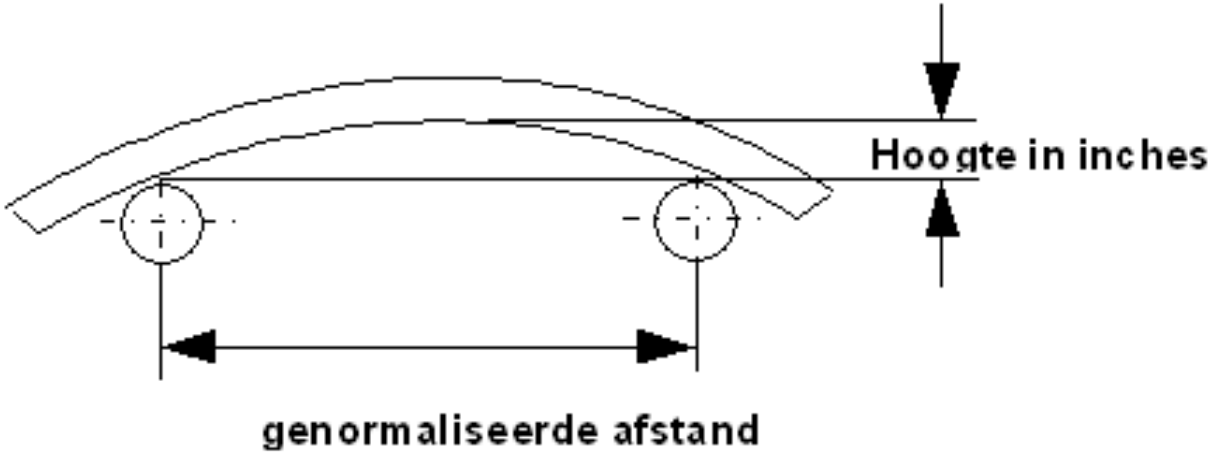
Deze plaatjes, die van koud gewalst verenstaal zijn gemaakt, worden aan één kant geshotpeend.

Doordat de geshotpeende kant plastisch wordt gedeformeerd en dus wordt verlengd zal het plaatje door ingebrachte spanningen iets krom gaan staan.

De mate van kromming geeft aan hoeveel drukspanning is ingebracht in het plaatje.

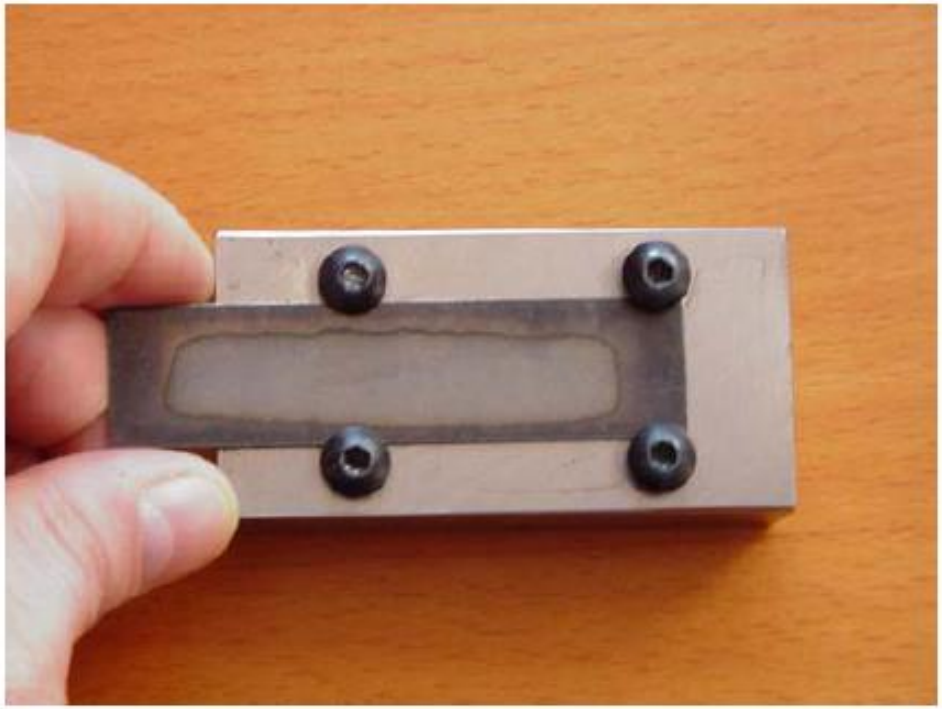
Deze mate van kromming wordt uitgedrukt in Almenwaarden.

Shot peening: een uniek proces



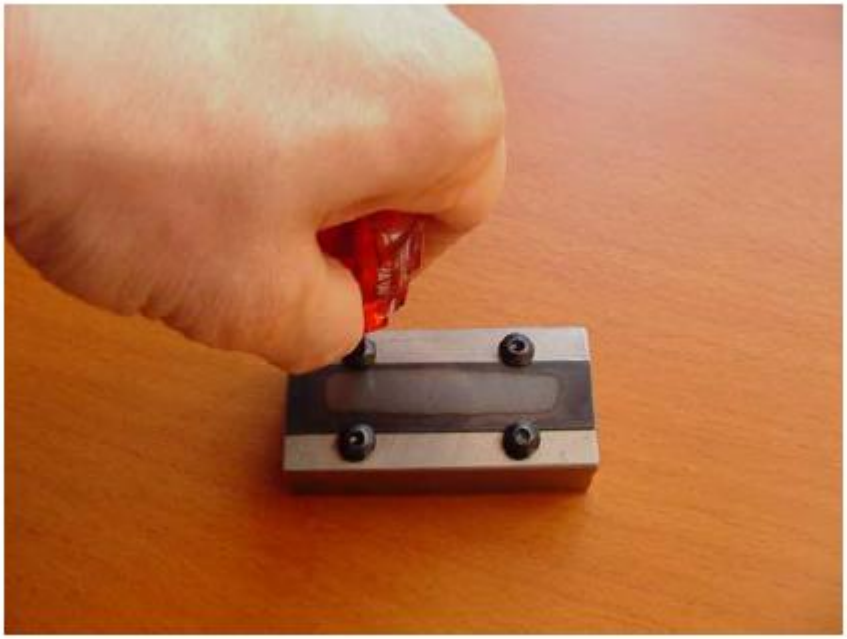
Shot peening: een uniek proces

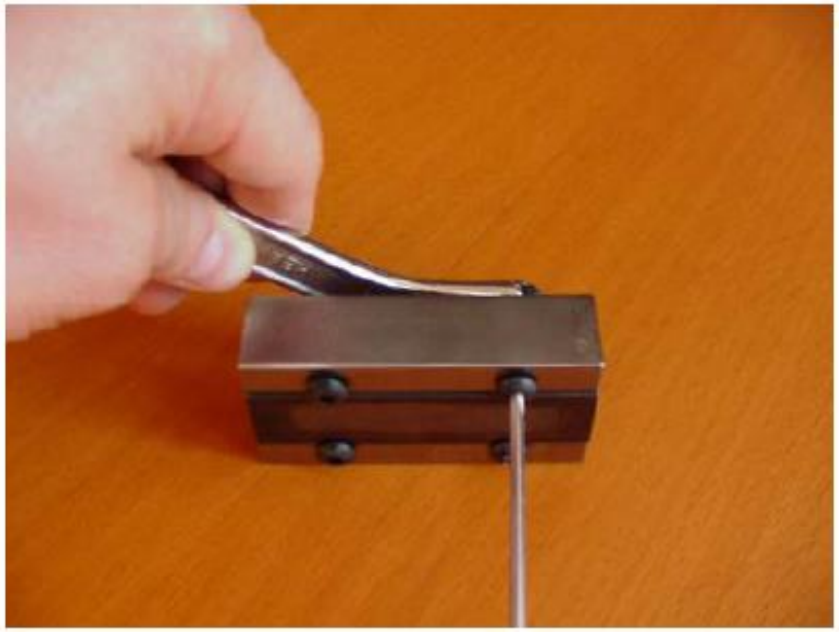
Almen test strip aanbrengen in een speciale houder



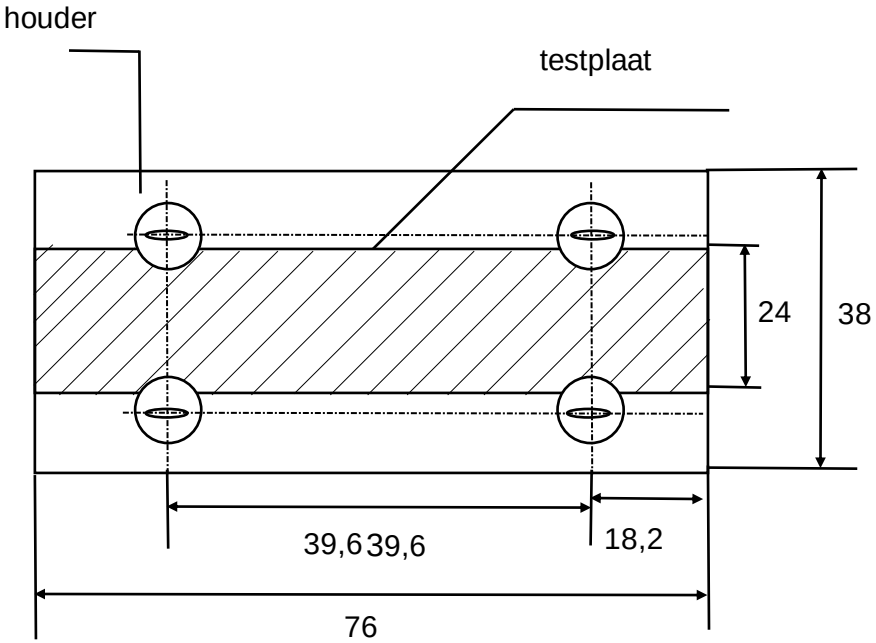
Shot peening: een uniek proces

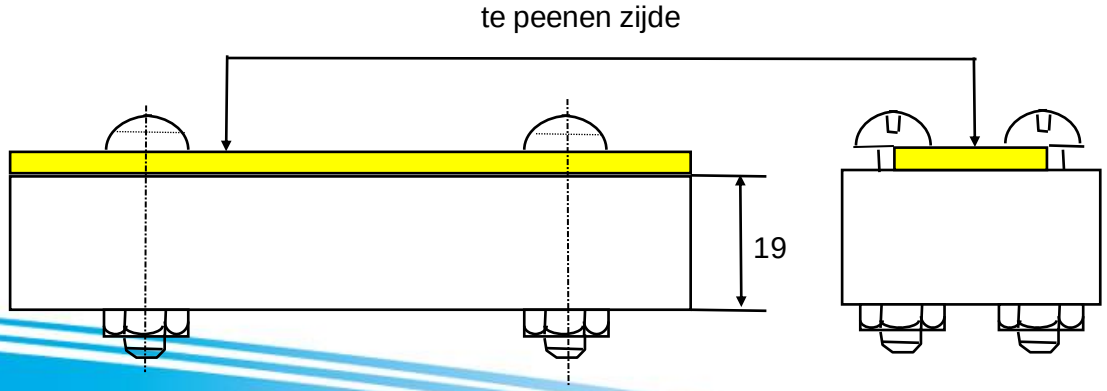
Almen test strip vast zetten





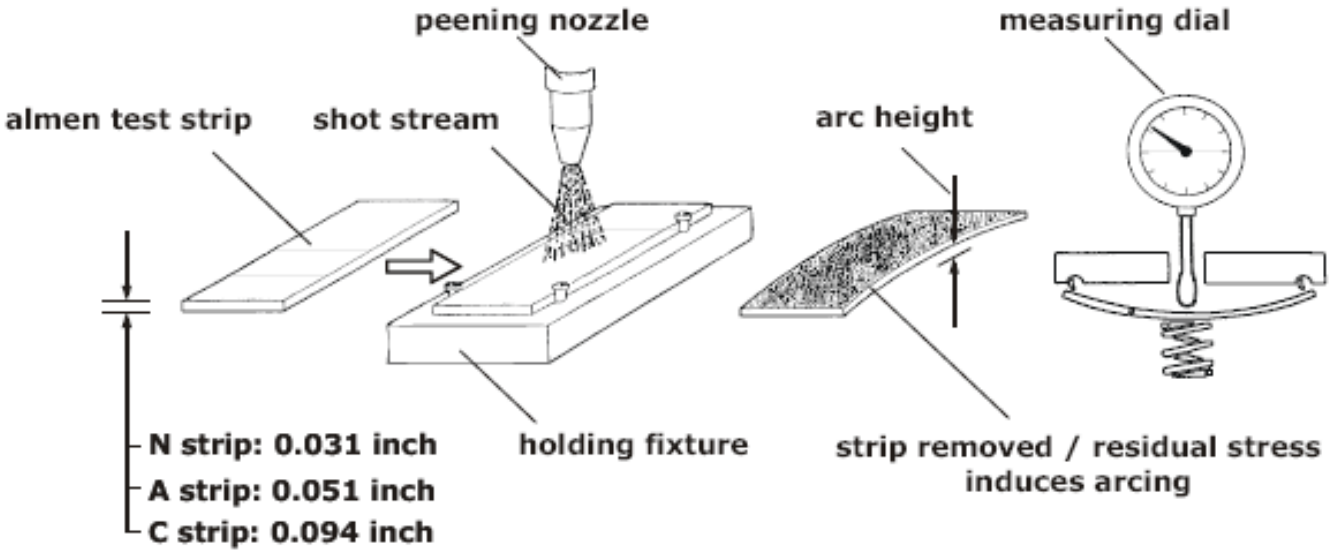
Shot peening: een uniek proces





Shot peening: een uniek proces

Almen Intensity



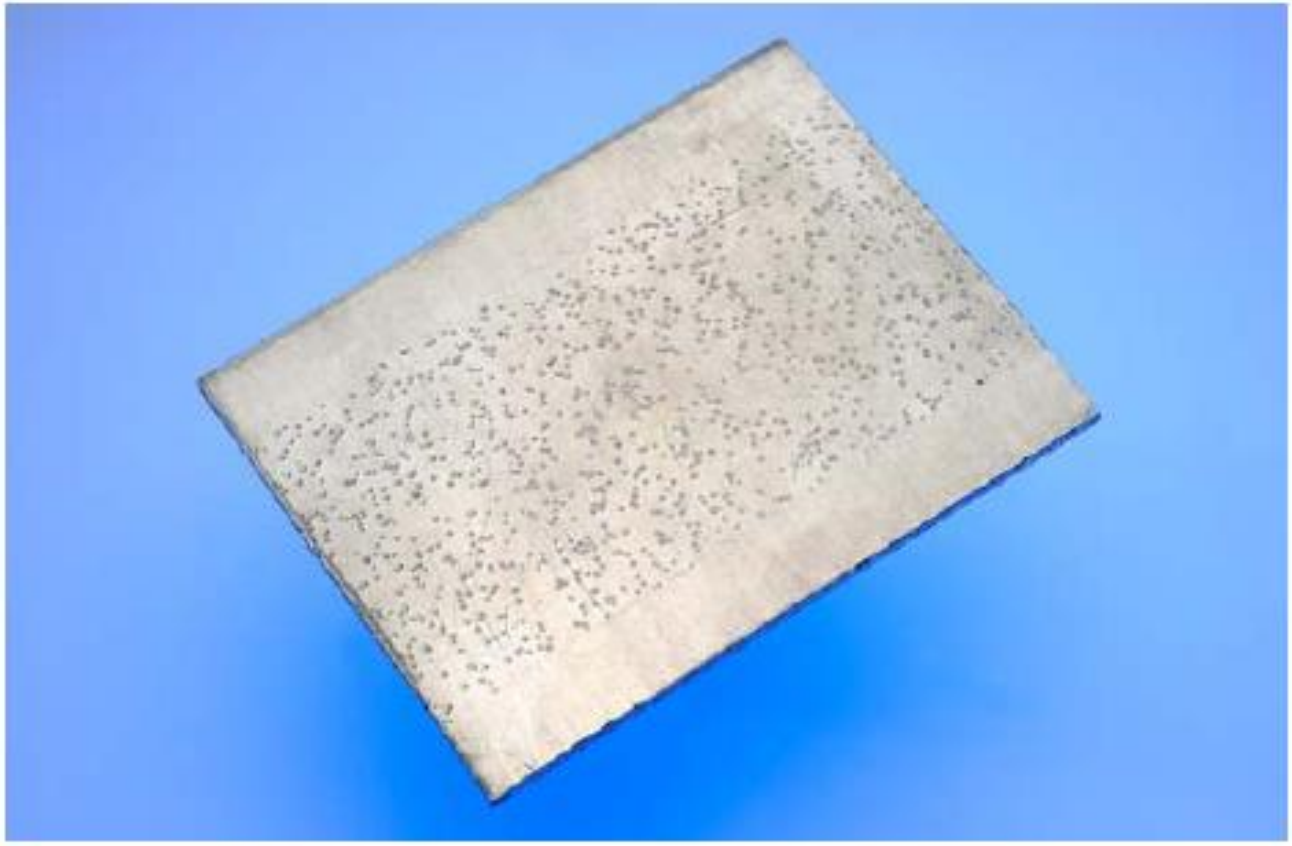
N strip: 0,785 mm
A strip: 1,295 mm
C strip: 2,385 mm

Shot peening: een uniek proces

Diverse Almen klokken om de kromming te meten:

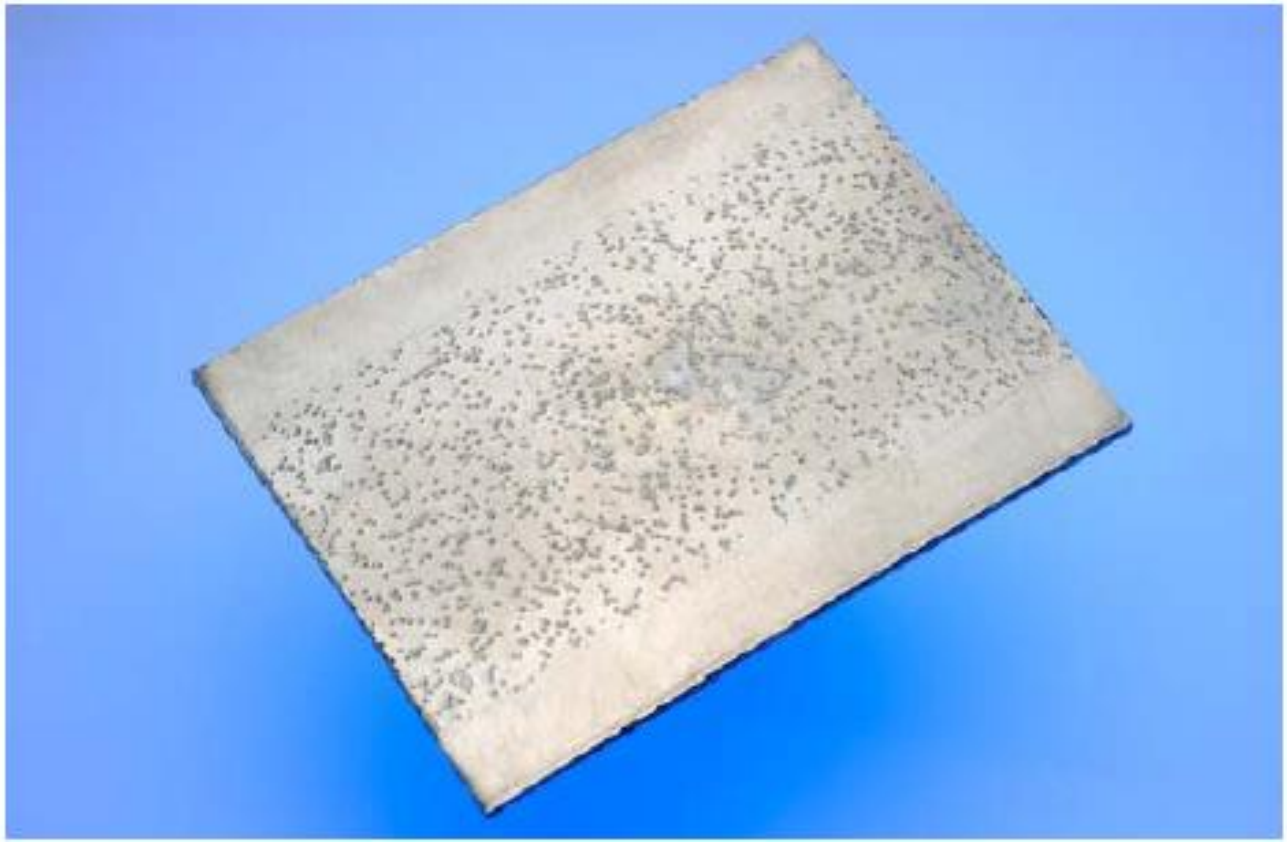
Shot peening: een uniek proces

Total Coverage = 10 %



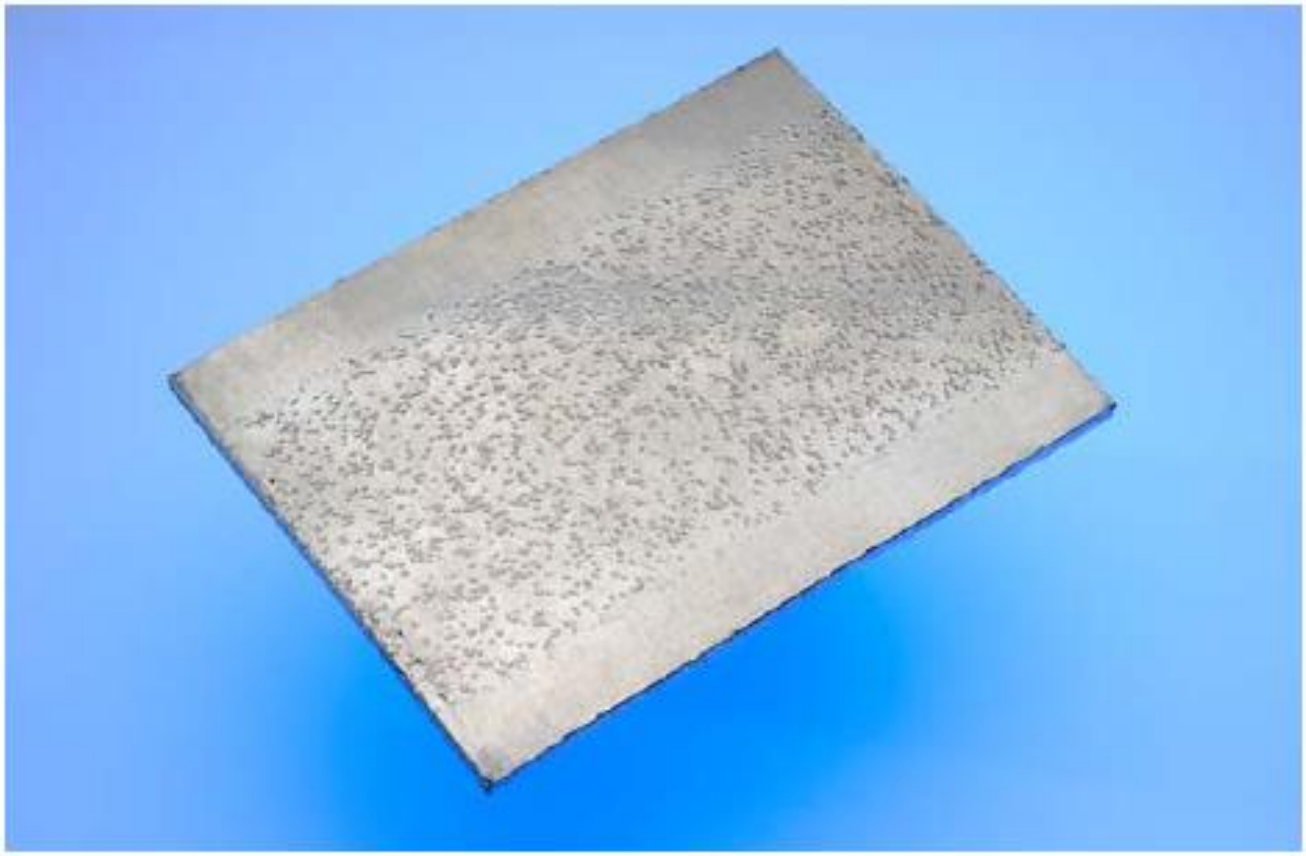
Shot peening: een uniek proces

Total Coverage = 20 %



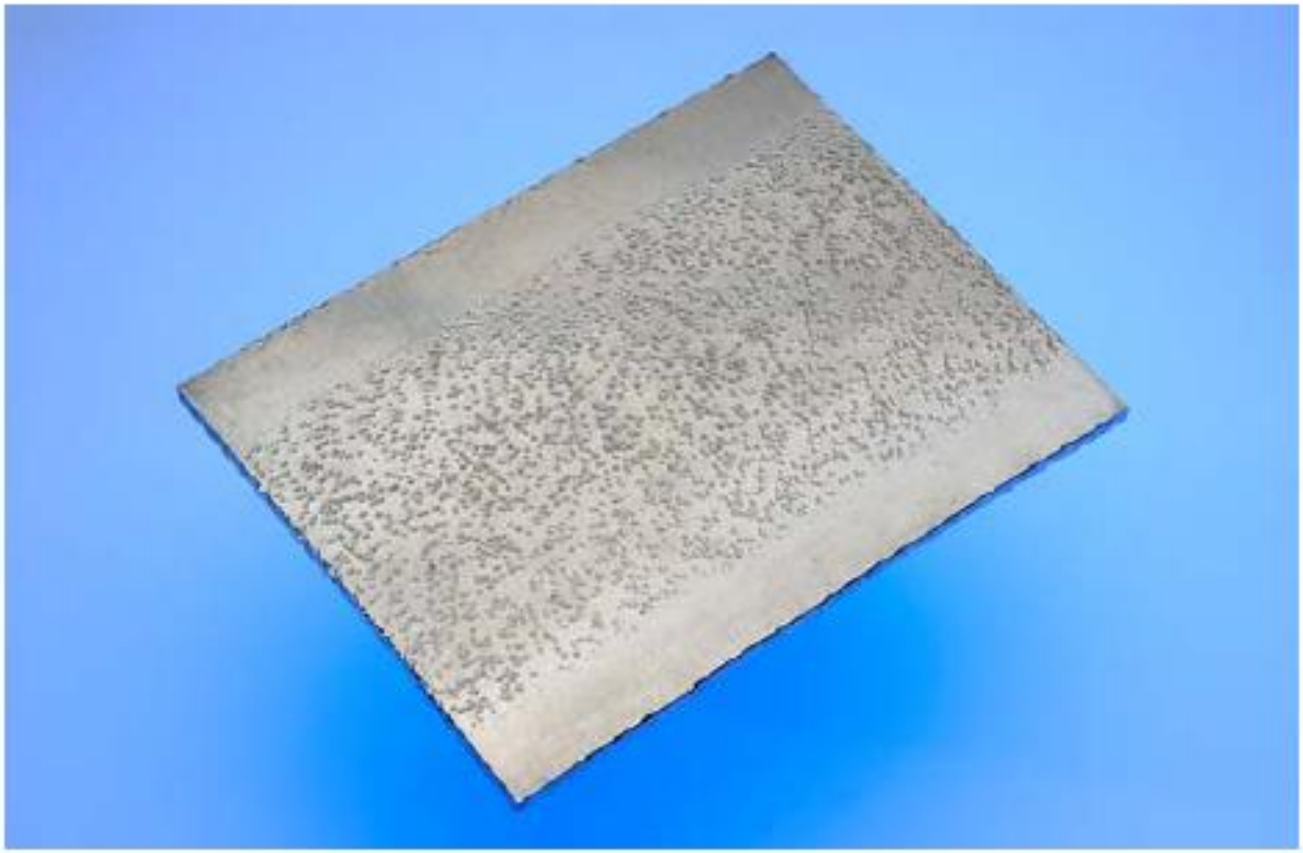
Shot peening: een uniek proces

Total Coverage = 30 %



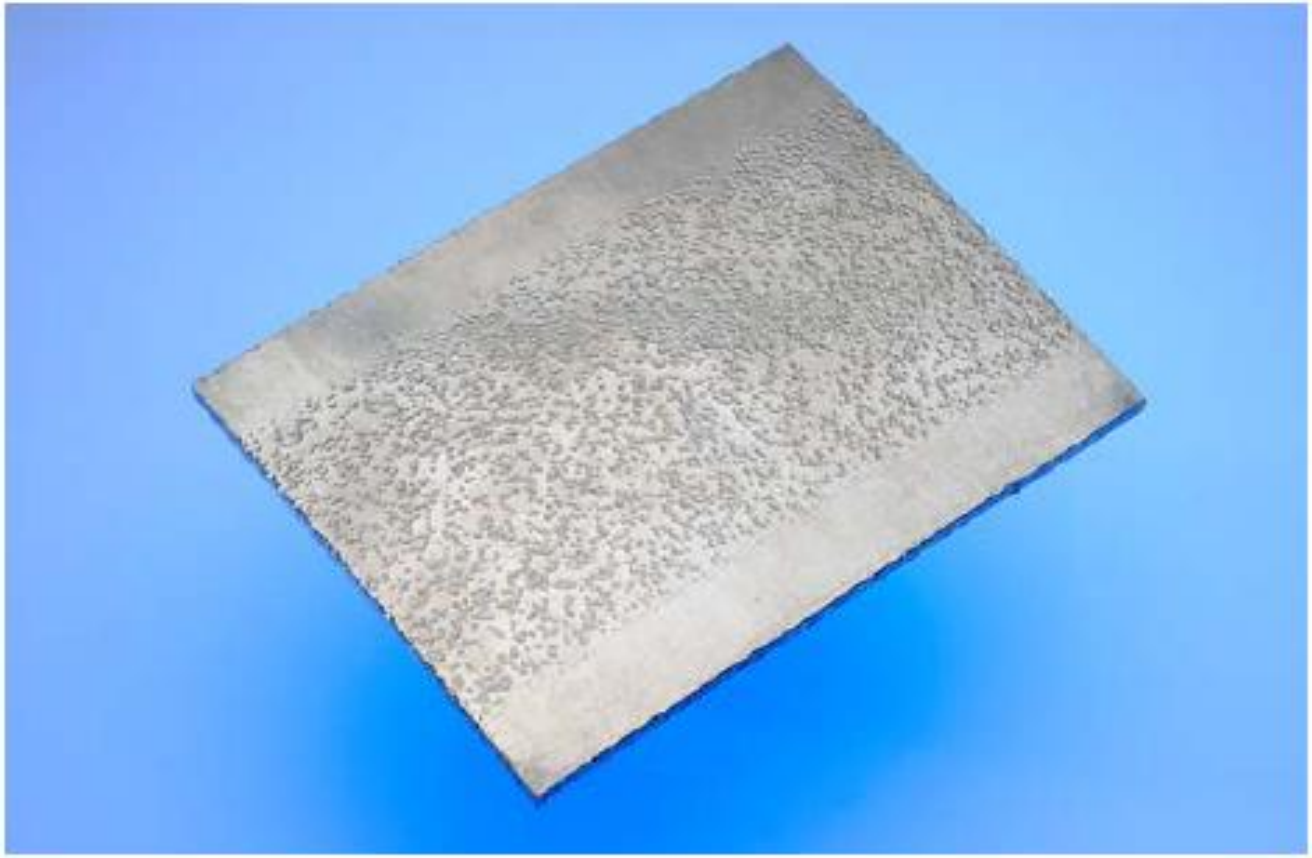
Shot peening: een uniek proces

Total Coverage = 40 %



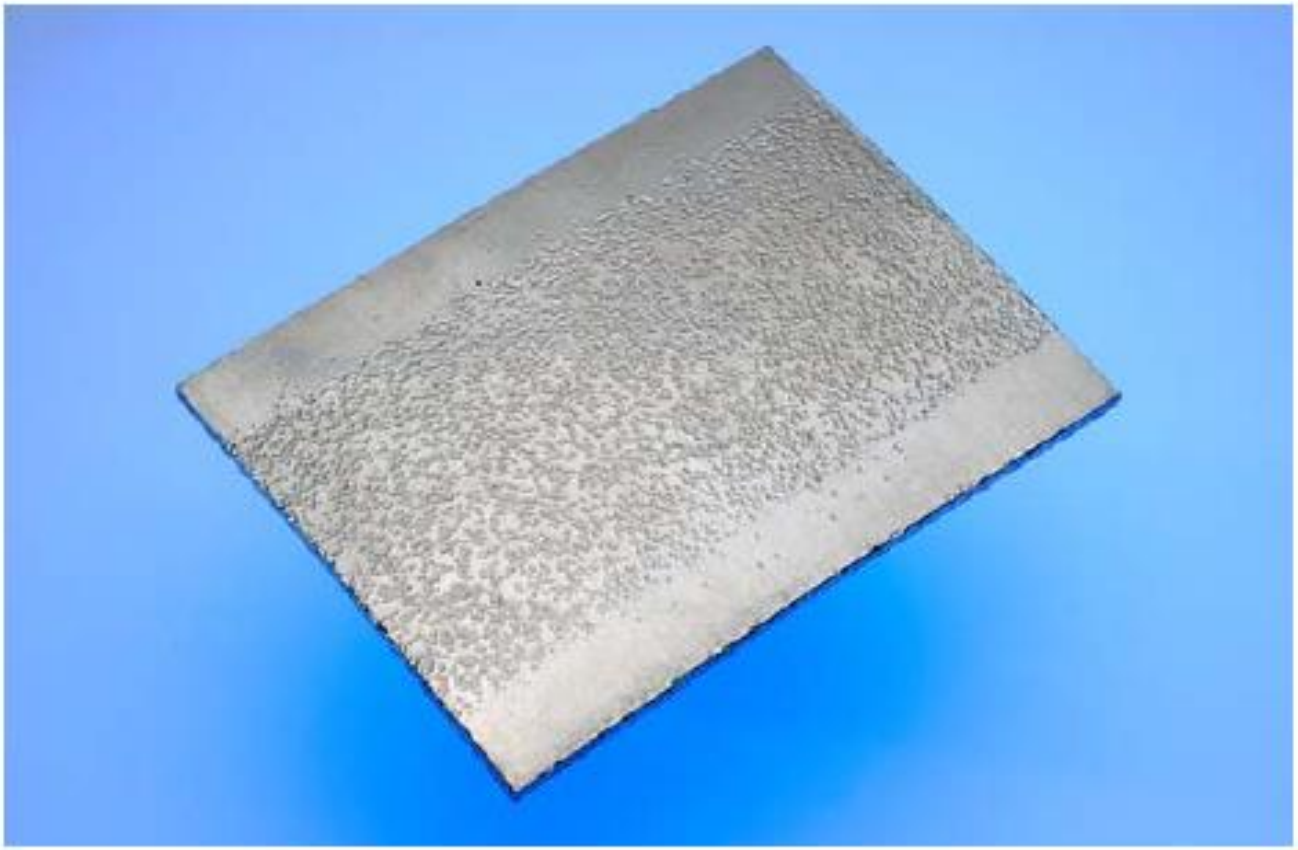
Shot peening: een uniek proces

Total Coverage = 50 %



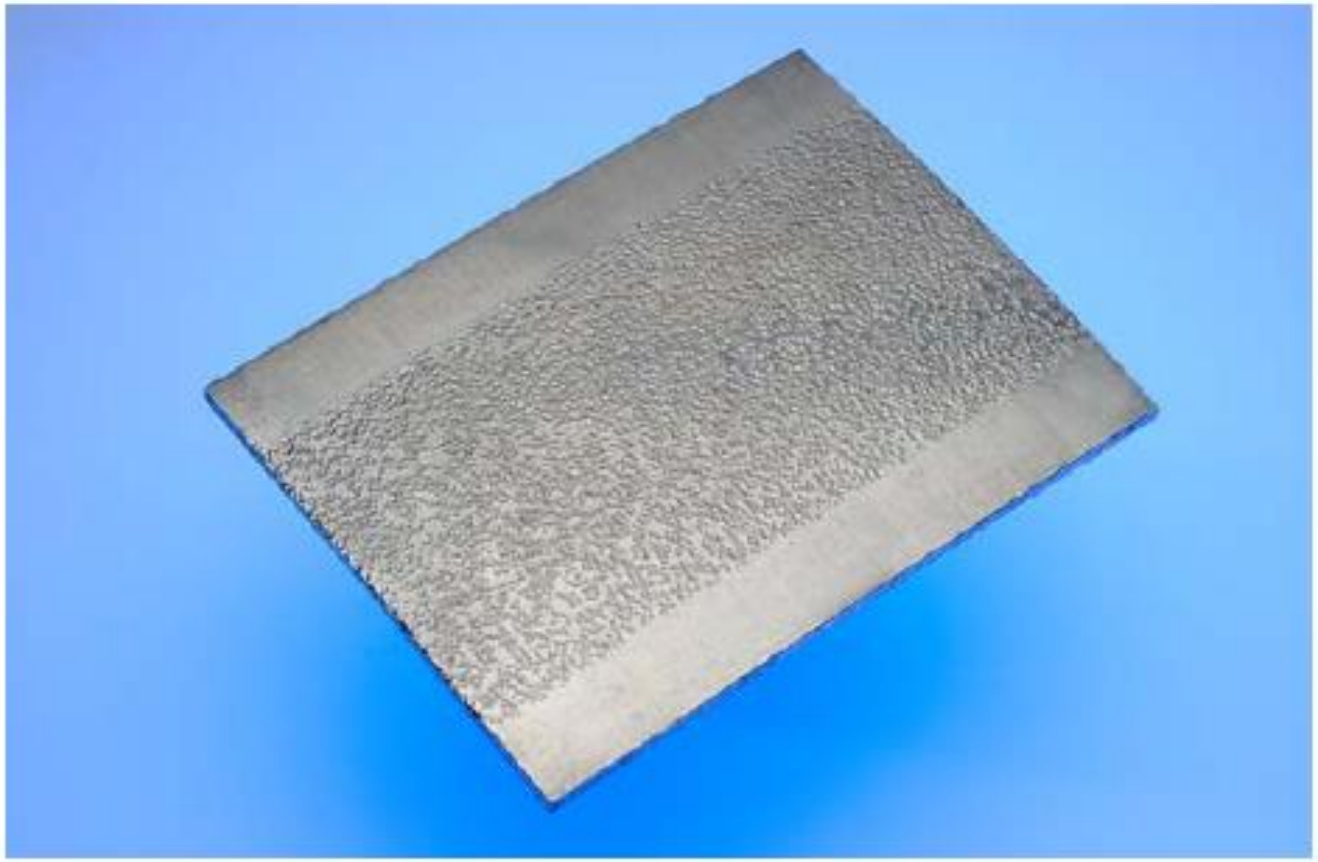
Shot peening: een uniek proces

Total Coverage = 60 %



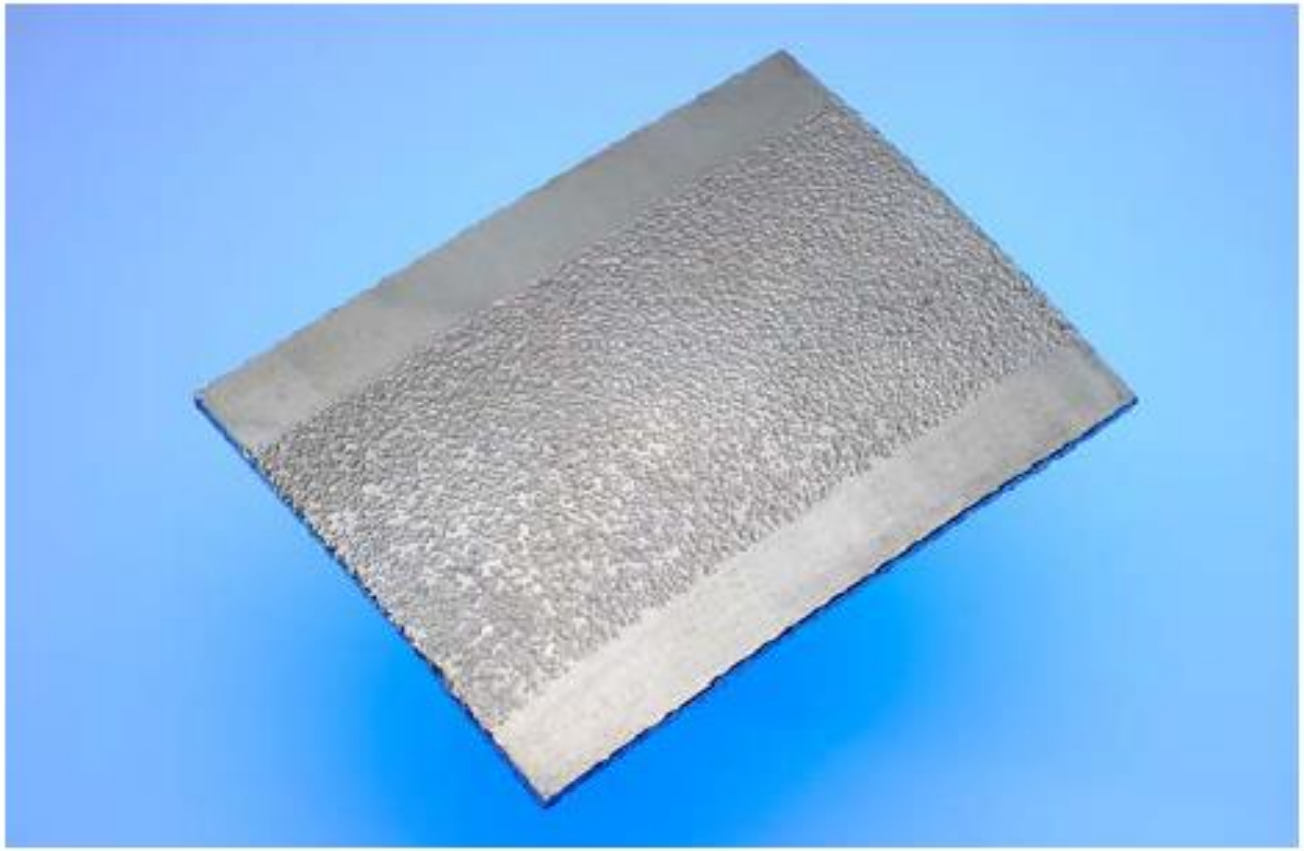
Shot peening: een uniek proces

Total Coverage = 70 %



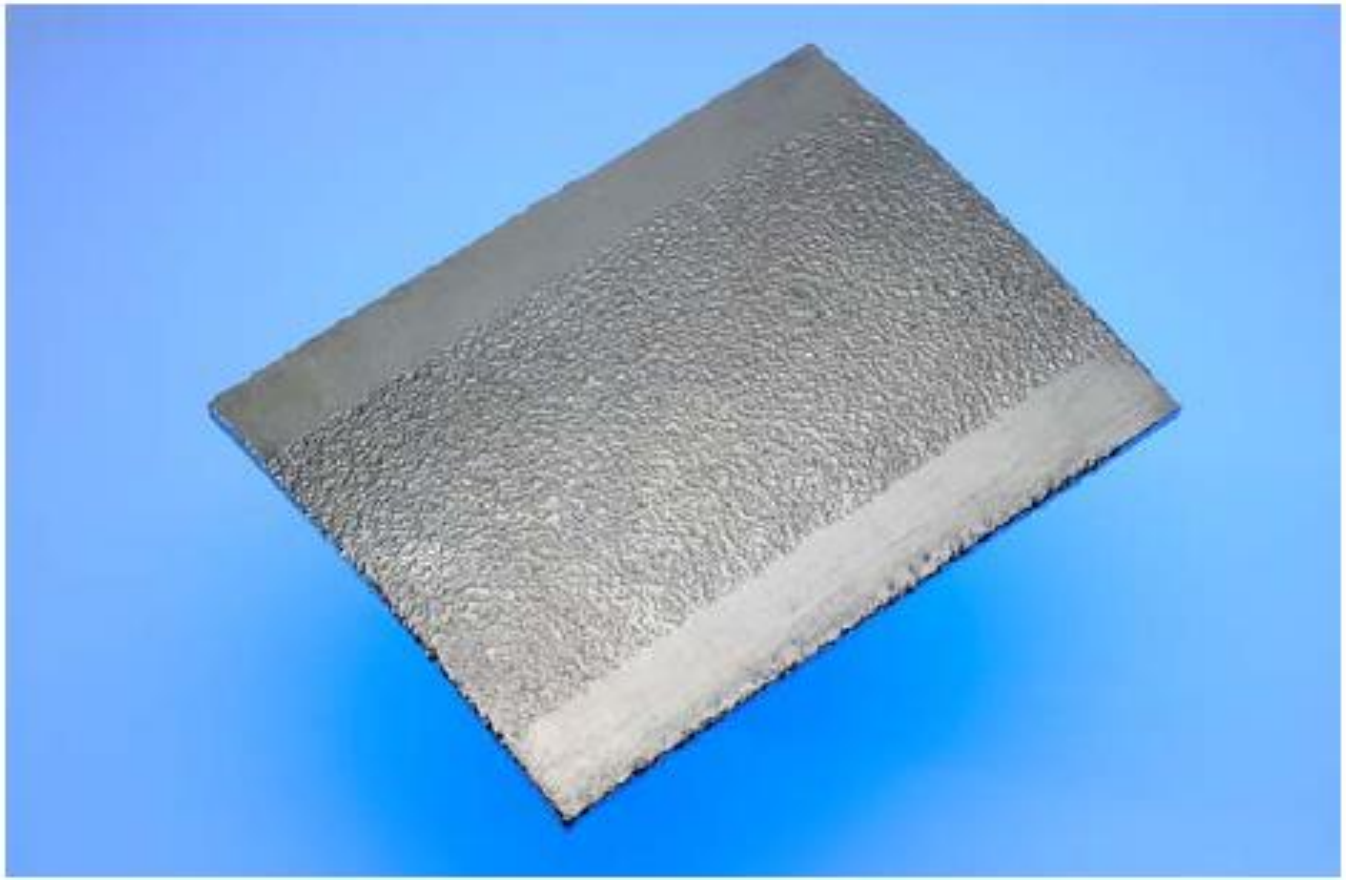
Shot peening: een uniek proces

Total Coverage = 80 %



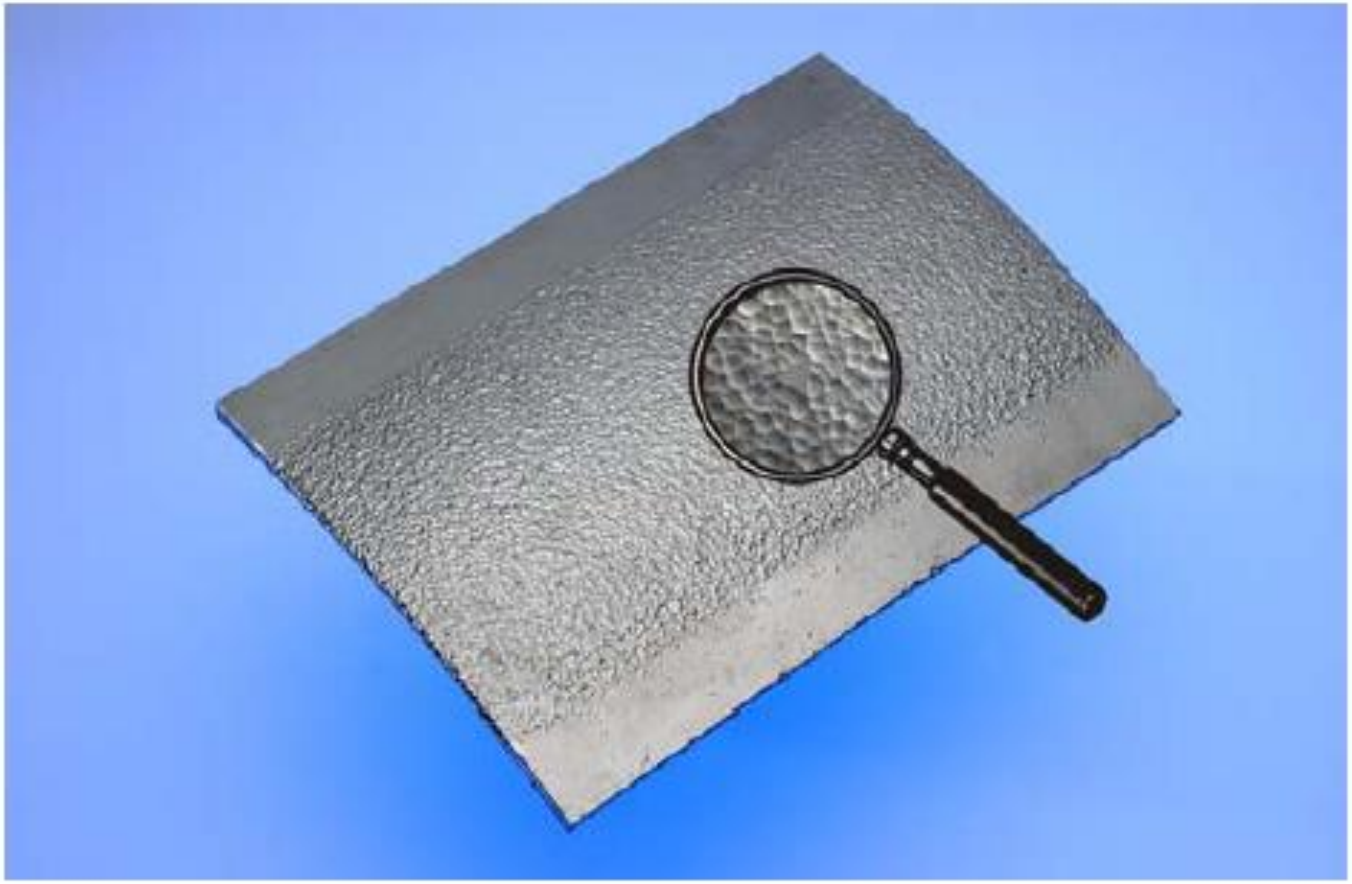
Shot peening: een uniek proces

Total Coverage = 90 %



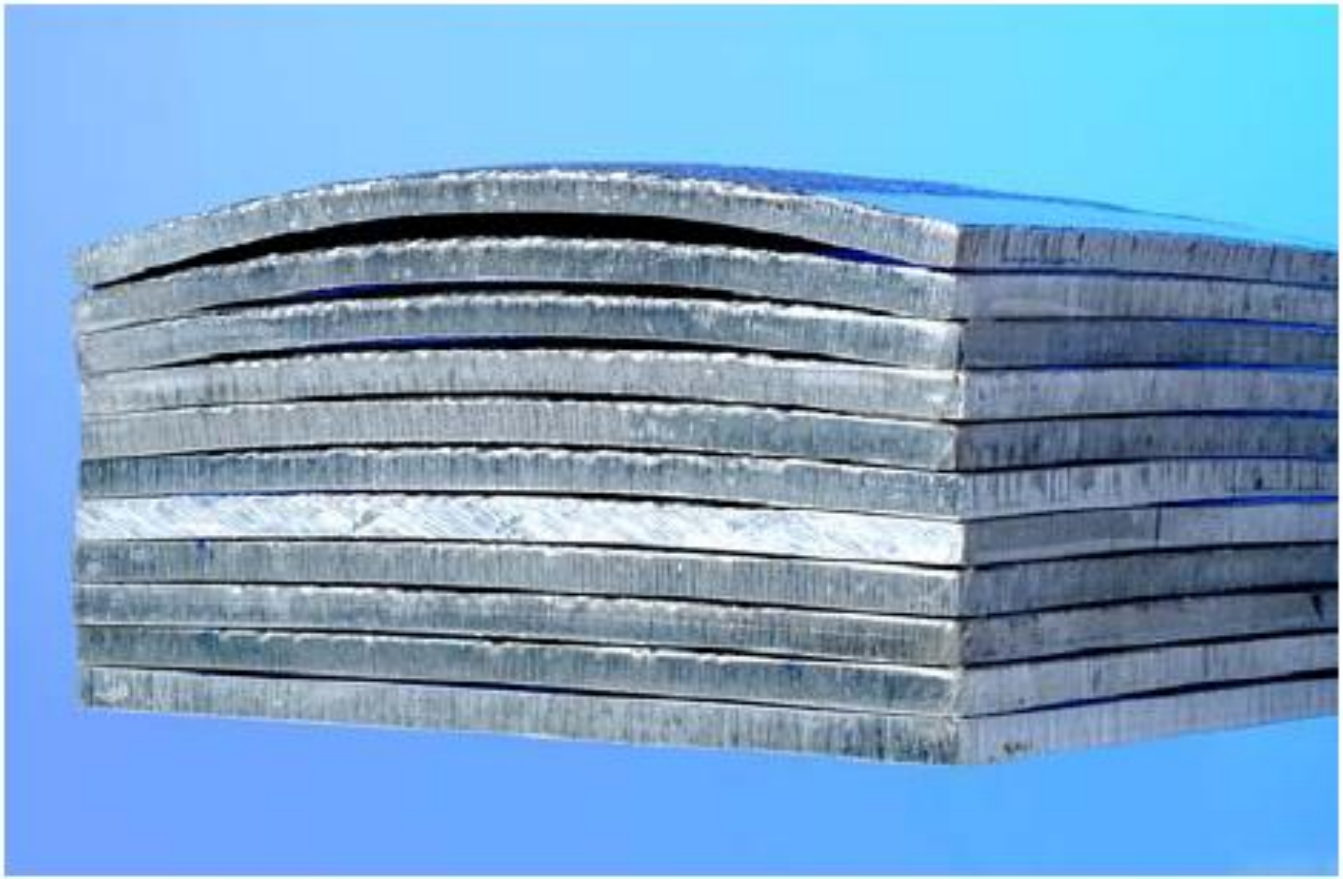
Shot peening: een uniek proces

Total Coverage = 98 %

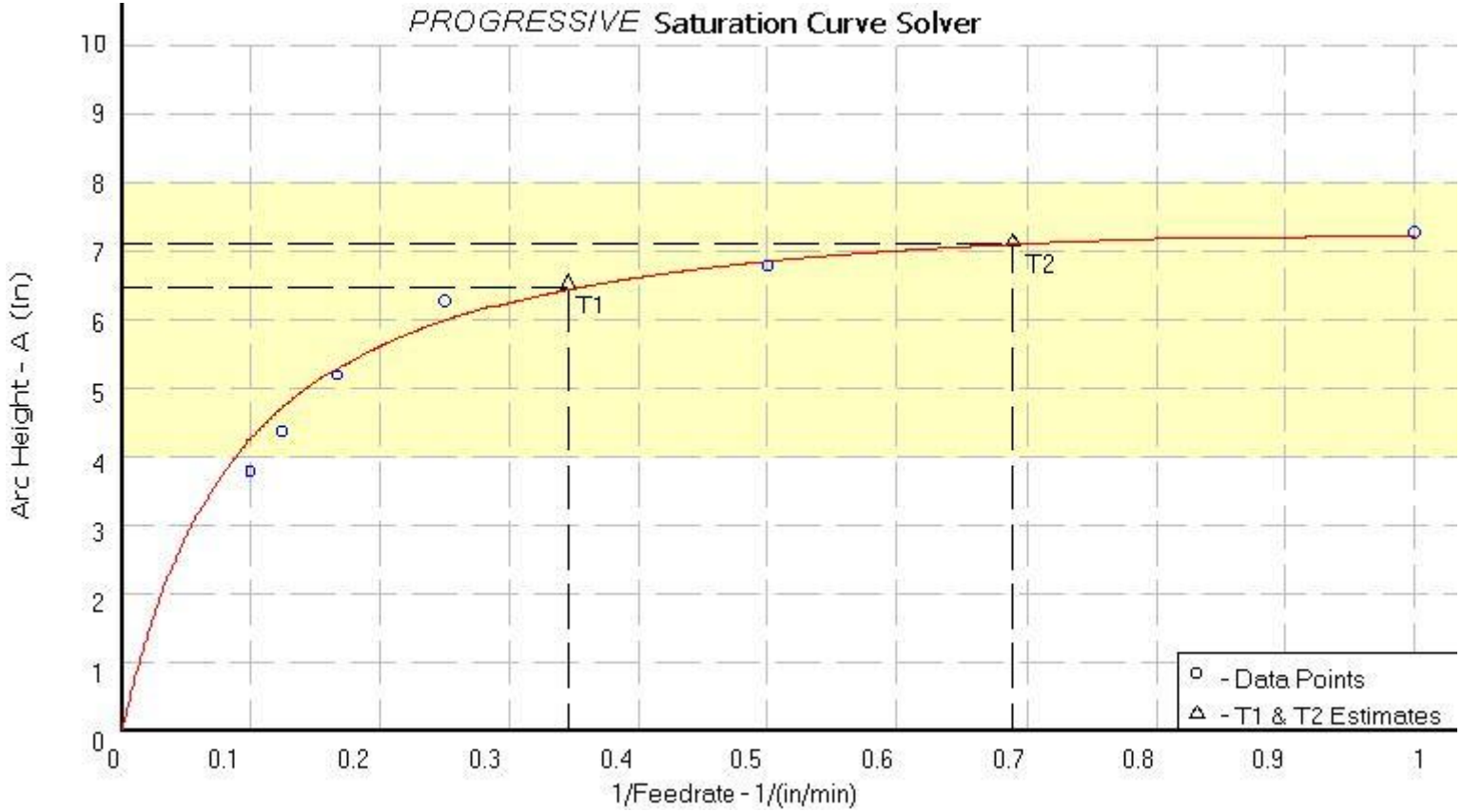


Shot peening: een uniek proces

All Samples 10 % - 98 %



Shot peening: een uniek proces



Shot peening: een uniek proces

Hoe groot de Almenwaarde wordt, hangt af van de volgende variabelen:

- De kogelgrootte (hoe groter de kogel, hoe hoger de waarden)

- Het kogelmateriaal (hoe zwaarder of harder, hoe hoger de waarden)

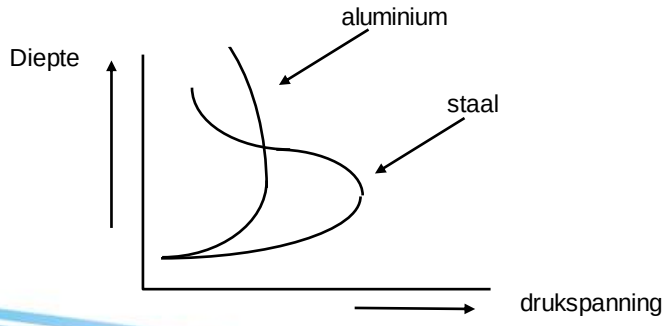
- De kogelsnelheid (grotere snelheid geeft hogere waarden)

- Afstand shotpeen-apparaat en werkstuk (normaal tussen 7,5 en 25 cm)

- Hoek van kogelinslag (normaal tussen 90 en 45 graden)

- Dekkingsgraad (normaal tot 98%: dit is o.a. tijdsafhankelijk)

- Soort moedermateriaal (verschil tussen b.v. Aluminium en Staal)



Shot peening: een uniek proces

Eerste keer dat men een onderdeel gaat shotpeenen zal dus met behulp van Almen Test plaatjes de goede parameters gevonden moeten worden om tot de juiste krommingswaarde te komen.

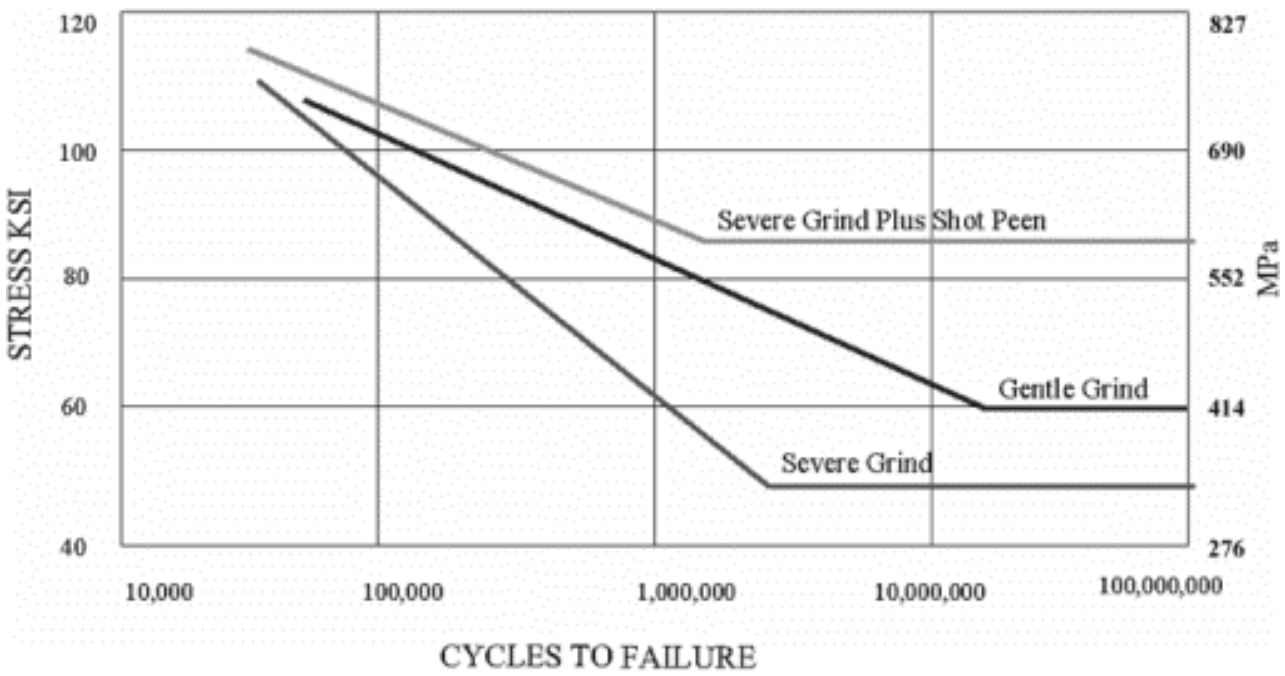
De juiste krommingswaarde wordt "Intensiteit" genoemd.

Deze intensiteit is de door de ontwerper van het onderdeel bepaald d.m.v. de eerder genoemde vermoeingstesten (HCF en/of LCF).

De intensiteit is dus representatief voor de benodigde in te brengen drukspanningen door het shotpeenen.

Het is mogelijk drukspanningen aan te brengen tot 1800 Mpa (afhankelijk van het soort metaal).

Shot peening: een uniek proces



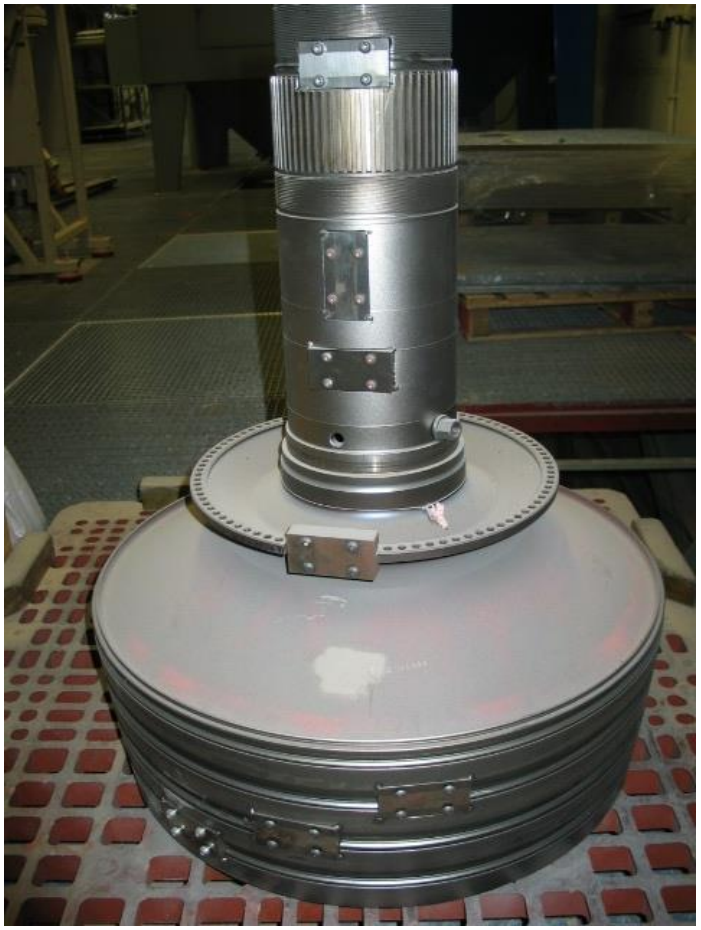
Verschil in levensduur tussen een zwaar geslepen onderdeel, een “voorzichtig” geslepen onderdeel en een zwaar geslepen onderdeel inclusief een shotpeenbehandeling.

Resultaat: de levensduur van het zwaar geslepen onderdeel inclusief shotpeening is zelfs hoger dan het “voorzichtig” geslepen onderdeel.

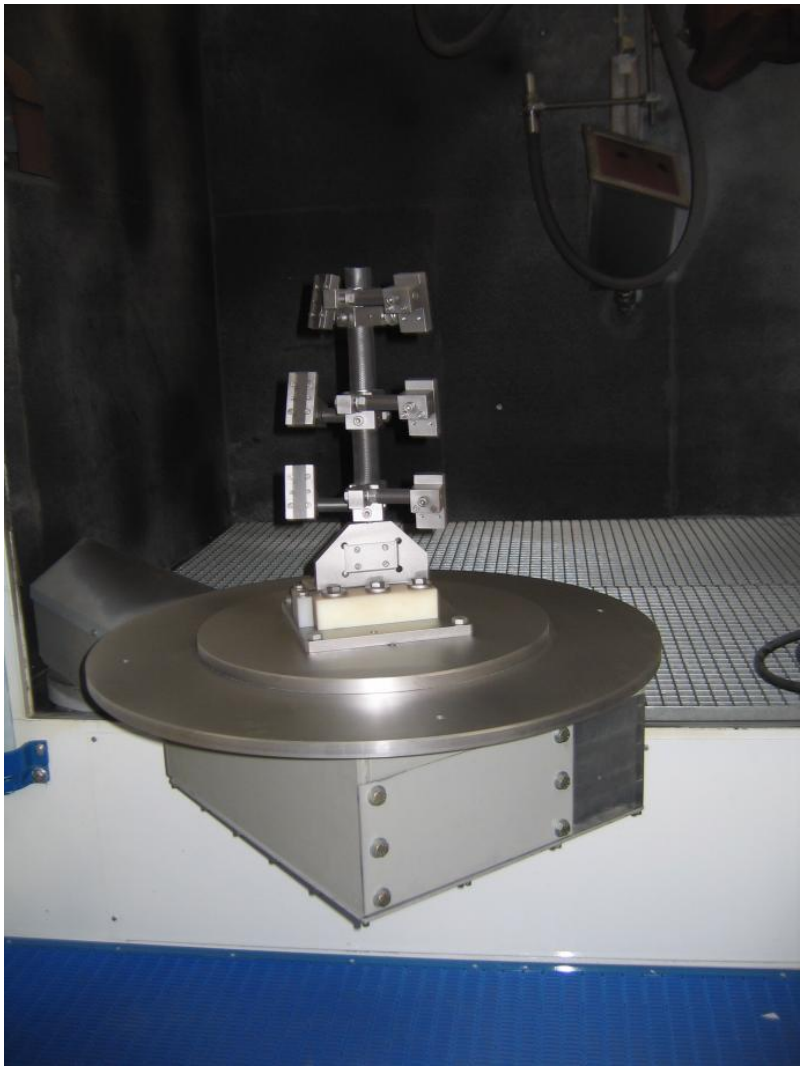
Shot peening: een uniek proces

Simulatie van onderdelen t.b.v. Intensiteits bepaling

Shot peening: een uniek proces

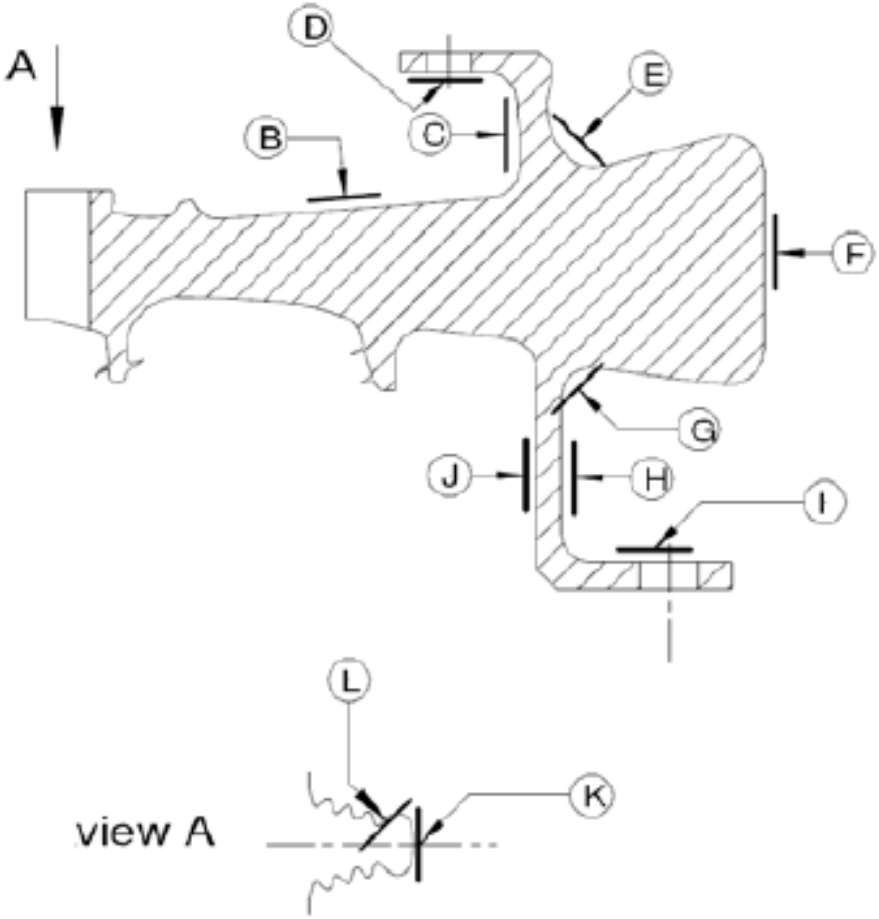


Shot peening: een uniek proces



Shot peening: een uniek proces

Complexe onderdelen shotpeenen:



Shot peening: een uniek proces

Shotpeenmachines:

I: Manueel (shotpeening d.m.v. het in de hand houden van een nozzle en/of onderdeel, daarbij het zelf controleren van de shotpeentijd, dekkingsgraad; shot kwaliteit wordt visueel gedaan en shot snelheid wordt met de hand ingesteld)

II: Semi-automatisch (shot hoeveelheid wordt geregeld met een “orifice”; shot kwaliteit visueel; het onderdeel draait op een draaitafel; de nozzles worden met de hand vastgezet; shotpeen tijd wordt zelf gecontroleerd; shot snelheid wordt met de hand ingesteld)

III: Automatisch (shot hoeveelheid wordt elektronisch geregeld; het onderdeel draait op in Instelbare draaitafel; de nozzles worden met hand vast gezet; shotpeen tijd wordt elektronisch geregeld; shot kwaliteit kan m.b.v. zeven en classificeerder gecontroleerd worden).

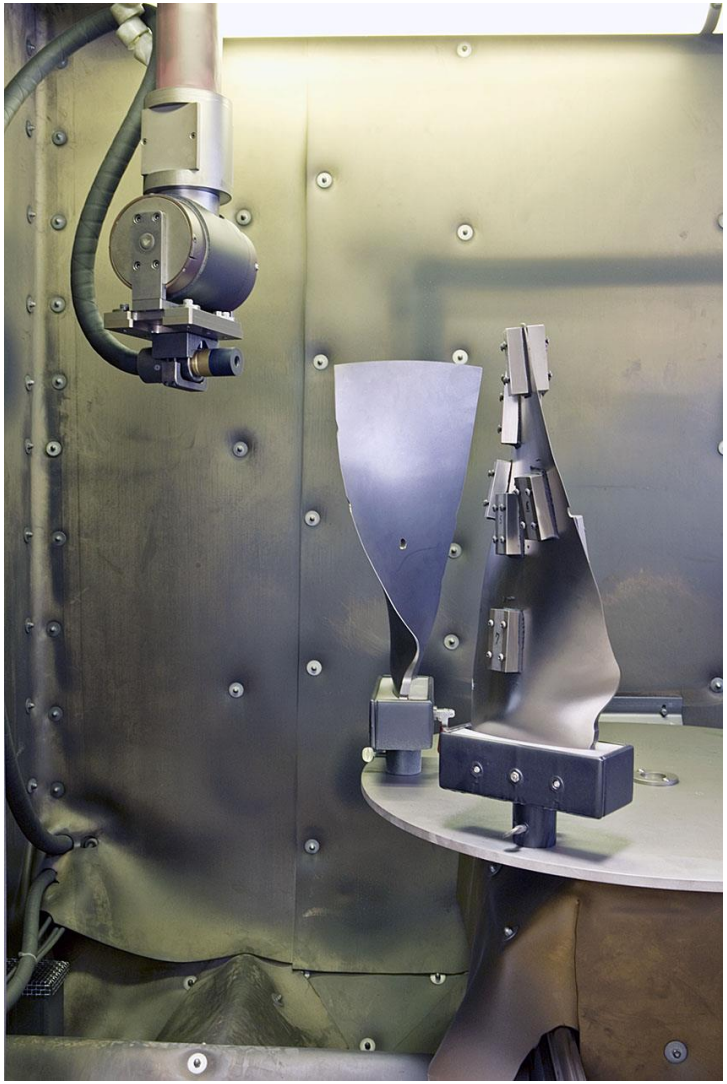
IV: Numerical Controlled + gerobotiseerd (alle shotpeen-parameters en nozzle-bewegingen worden geprogrammeerd en gecontrolleerd d.m.v. een PLC)

V: Gecomputeriseerd + gerobotiseerd (alle shotpeen-parameters en nozzle-bewegingen worden geprogrammeerd, gecontrolleerd **en** opgeslagen d.m.v. een PLC **en** PC)

Shot peening: een uniek proces

5 assige gecomputeriseerde Shotpeen machine:

Shot peening: een uniek proces



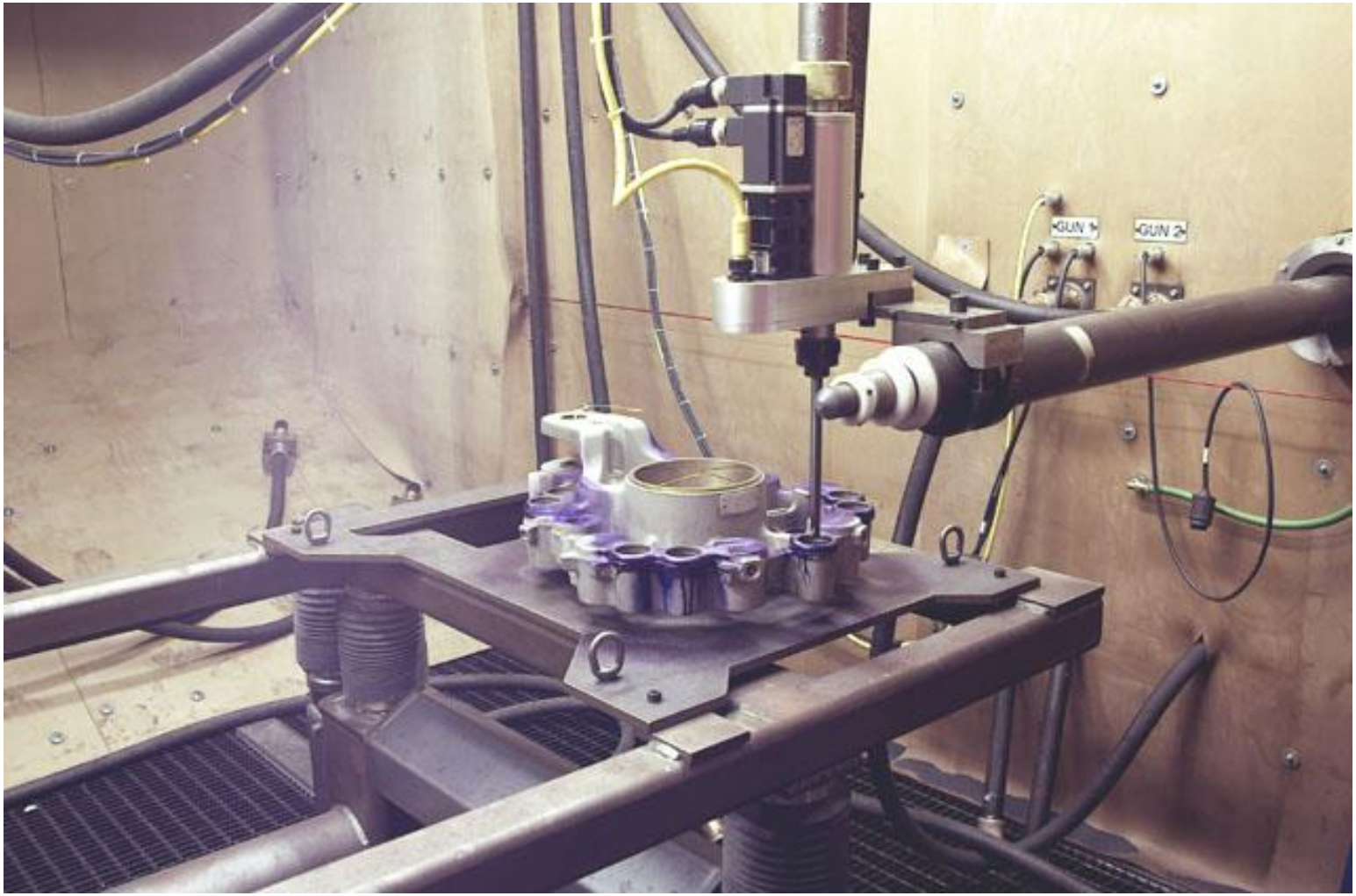
Shot peening: een uniek proces

Bedienings paneel
met PLC en PC

Shot peening: een uniek proces

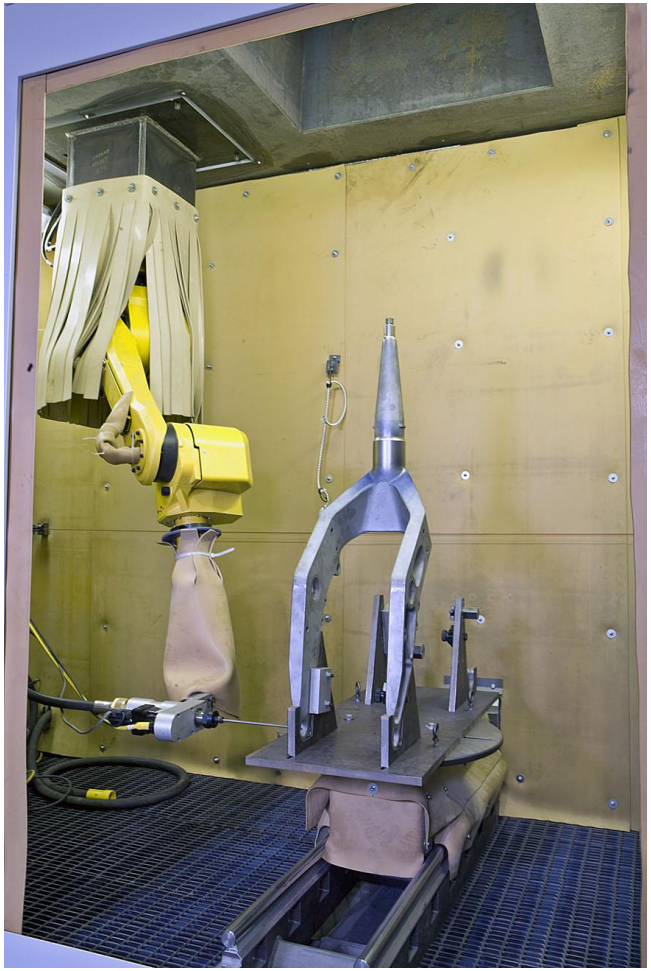
Voorbeelden van speciale shotpeen machines:

Shot peening: een uniek proces



Shot peening: een uniek proces

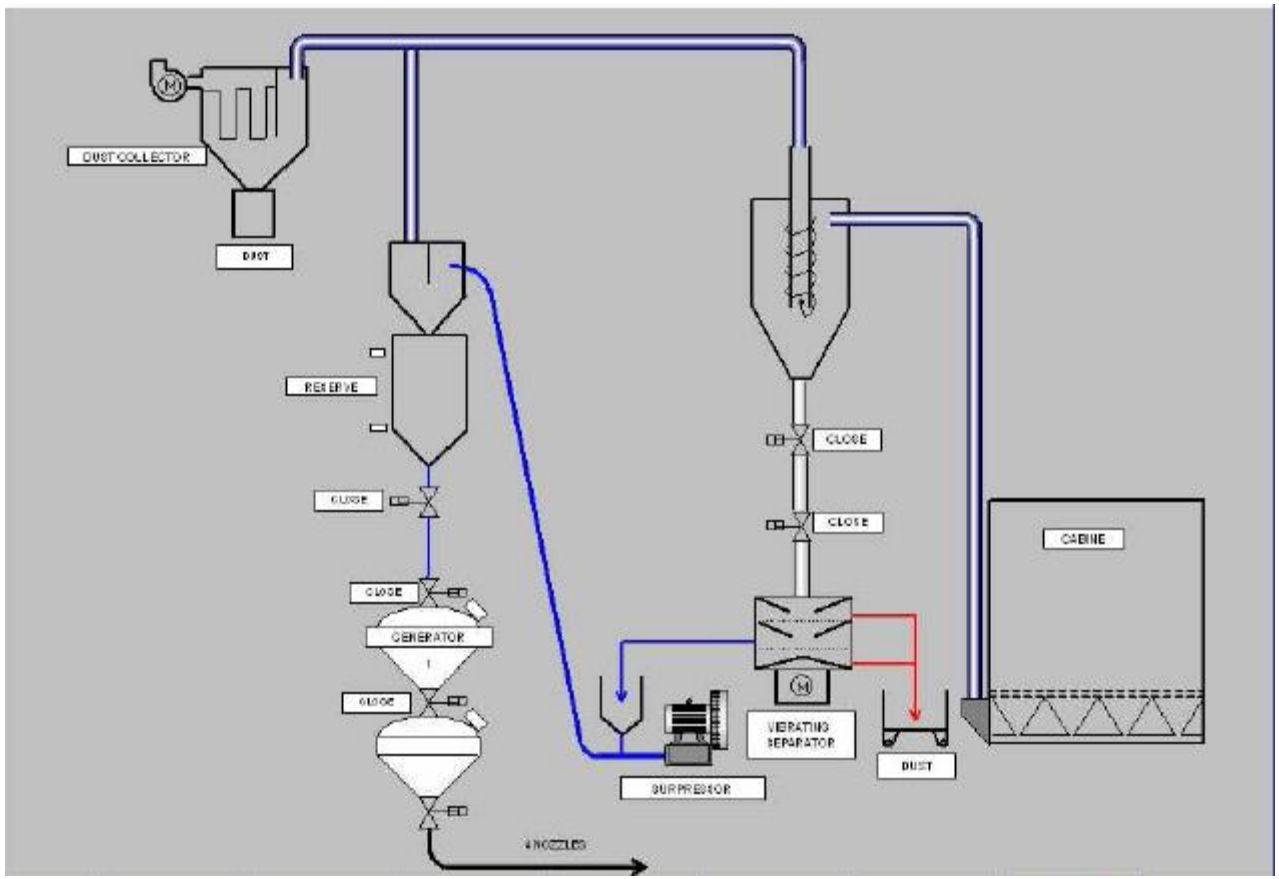
Shot peening: een uniek proces



Shot peening: een uniek proces

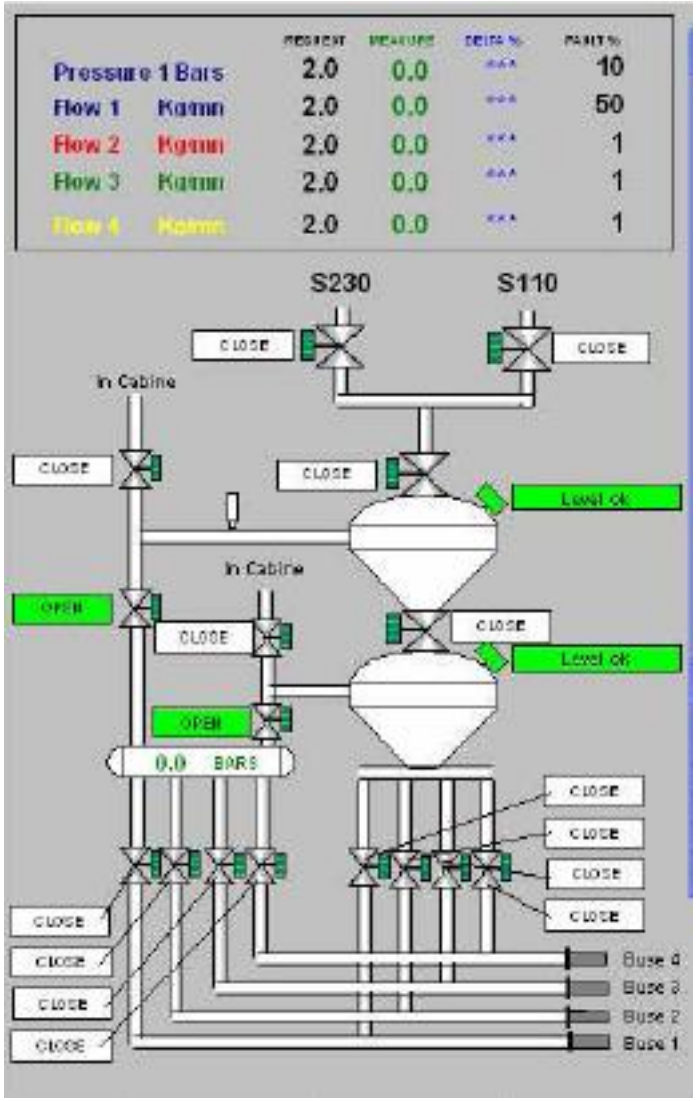
Shot peening: een uniek proces

Meten en controle



Shot peening: een uniek proces

Meten en controle



Shot peening: een uniek proces

Shot peening: een uniek proces

Andere toepassingen of voordelen van shotpeening:

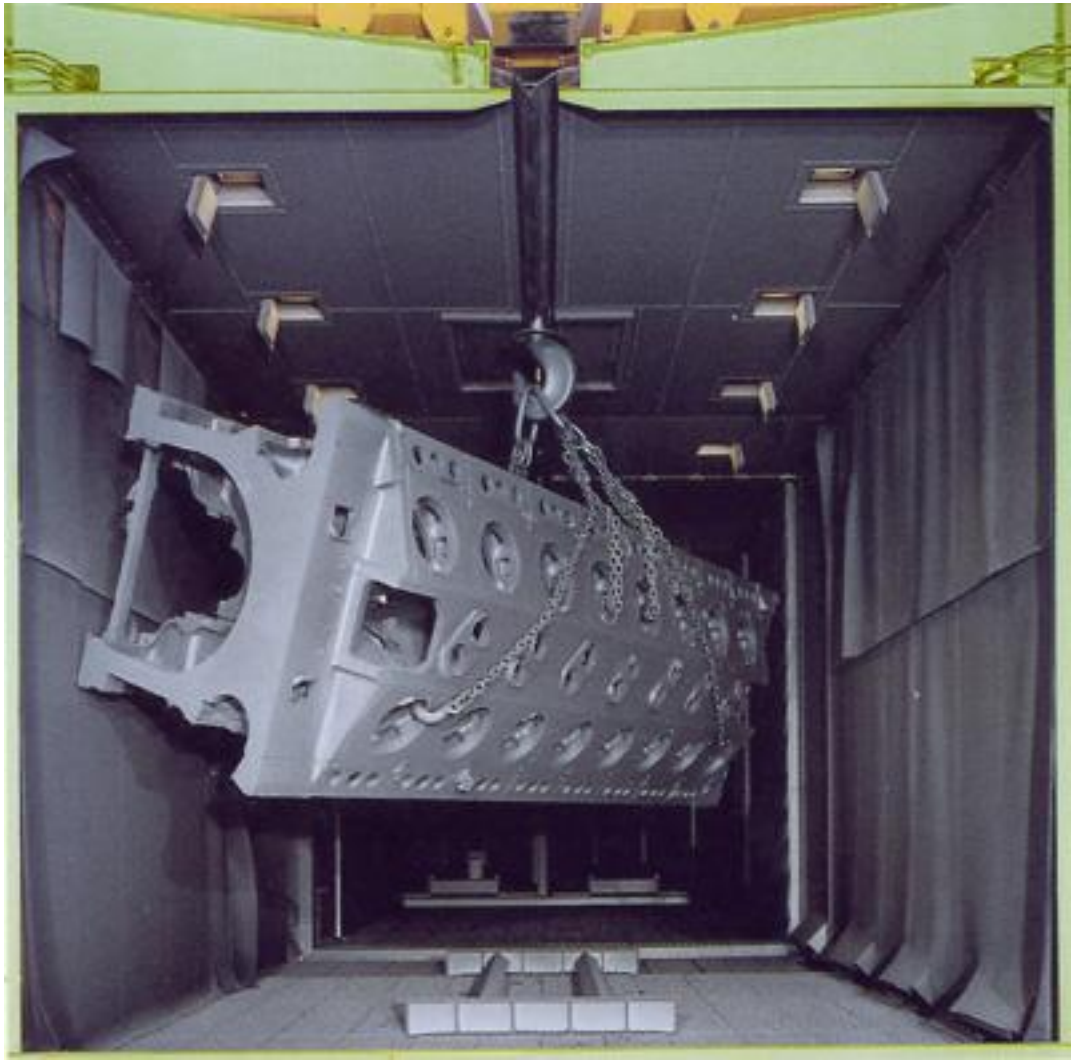
- Shotpeenen verhoogt de weerstand tegen o.a. spanningscorrosie en daarmee de levensduur. In de luchtvaart worden hiervoor speciaal tandwielkasten van magnesiumlegeringen geshotpeend.
- Poreuze lagen lekvrij maken (bij aluminium gietwerk zoals carterpannen)
- Shotpeening als adhesie testen voor galvanolagen (b.v. zilverlaag op staal)
- Door de shotpeen kratertjes draaien geoliede onderdelen met minder frictie en koeler
- In de meeste gevallen wordt een geshotpeend oppervlak harder waardoor het oppervlak ook slijtvaster wordt (slijtage weerstand verhogen tegen b.v. vreten en erosie door cavitatie).

Shot peening: een uniek proces

Enkele voorbeelden waarbij shotpeenen vaak wordt gebruikt:

- Brug onderhoud en reparaties
- Gefabriceerde onderdelen (of half-fabrikaten)
- Automotive onderdelen
- Luchtvaart en ruimtevaart fabricage en reparatie
- Scheepsbouw en reparaties
- Spoor fabricage en reparaties
- Levensduur verbetering persstukken
- Gietstukken en verspaande onderdelen
- Zware machinebouw
- Fabricage grondverzettings machines en reparaties
- Baggermachines fabricage en reparaties
- Windmolens fabricage en reparaties
- Olieplatform fabricage en reparaties
- Tandwiel fabricage
- Veren fabricage
- etc….

Shot peening: een uniek proces



Xincheng, China

Shot peening: een uniek proces

Rusland

Shot peening: een uniek proces

Bombay, India

Shot peening: een uniek proces

Nederland

Shot peening: een uniek proces

Research Paper | Published: 18 February 2020

Application of shot peening for welded joints of existing steel bridges

Koji Kinoshita, Yuki Ono, Yuki Banno, Shohey Yamada & Mitsuru Handa

Welding in the World **64**, 647–660 (2020) | Cite this article

FATIGUE IMPROVEMENT OF WELDED COMPONENTS BY SHOT PEENING

Henri-Paul Lieurade
Cetim, Senlis, France
henri-paul.lieurade@cetim.fr

Shot peening: een uniek proces

The Effect of Shot Peening on Residual Stress and Surface Roughness of AMS 5504 Stainless Steel Joints Welded Using the TIG Method

by Magdalena Bucior [1], Rafał Kluz [1], Tomasz Trzepieciński [1], Kamil Jurczak [2], Andrzej Kubit [1,*] and Kamil Ochał [3]

[1] Department of Manufacturing and Production Engineering, Rzeszow University of Technology, al. Powst. Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, Poland

[2] Mechanical and Electrical Engineering Department, Polish Naval Academy, 81-103 Gdynia, Poland

[3] Department of Materials Science, Rzeszow University of Technology, al. Powst. Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, Poland

[*] Author to whom correspondence should be addressed.

Materials **2022**, *15*(24), 8835; https://doi.org/10.3390/ma15248835

Received: 9 November 2022 / Revised: 29 November 2022 / Accepted: 6 December 2022 / Published: 10 December 2022

The use of shot peening of TIG welded ASM 5504 stainless steel joints enables compressive stresses to be introduced in all the weld zones examined: FZ, HAZ and BM, thus contributing to an increase in the fatigue strength of the joint and, consequently, also to the reliability of the structure.

As a result of shot peening in FZ, the roughness parameters Rt and Rsk correlated with stress parameters are reduced in the range of 46.84% to 69.09% and from 118.37% to 155.46% in relation to the base specimen, respectively.

Shot peening: een uniek proces

The effect of controlled shot peening on fusion welded joints

Nur Azida Che Lah [a,*], Aidy Ali [a], Napsiah Ismail [a], Lim Poon Chai [b], Abdul Aziz Mohamed [c]

[a] Department of Mechanical and Manufacturing, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia, 43400 UPM Serdang, Selangor, Malaysia
[b] GT Industrial Pte. Ltd., 10 Loyang Street 508844, Singapore
[c] Materials Technology Group, Malaysian Nuclear Agency, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia

Strengthening Dual Phase Steel Welds by Shot Peening

W. B. LEE,[1)] G. H. KIM,[1)] K. I. MOON[1)] and Y. LEE[2)]

1) Heat Treatment & Plating Service Center, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon, 406-840, Korea.
2) Department of Mechanical Engineering, Chung-Ang University, Seoul, 156-756, Korea. E-mail: ysl@cau.ac.kr (corresponding author)

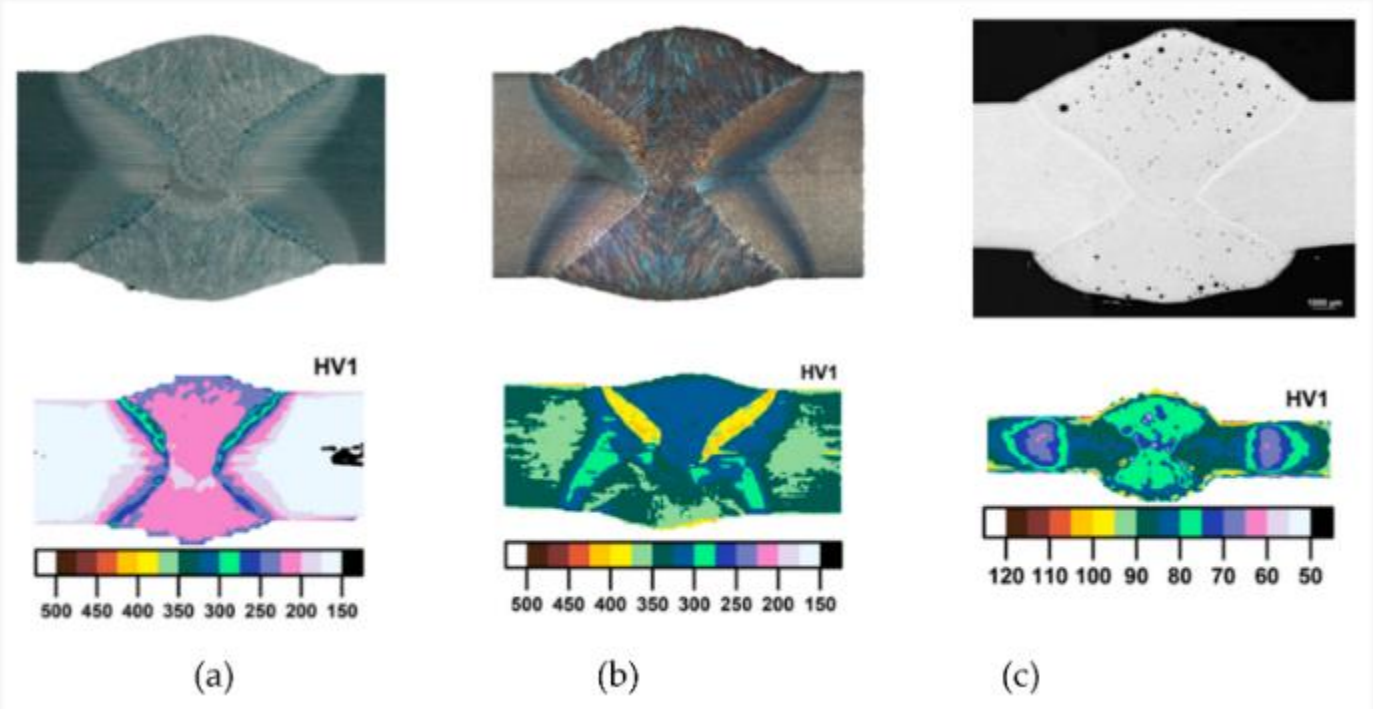
Fatigue Strength Enhancement of Butt Welds by Means of Shot Peening

by Jonas Hensel *, Hamdollah Eslami, Thomas Nitschke-Pagel and Klaus Dilger

Institute of Joining and Welding, Technische Universität Braunschweig, Langer Kamp 8, 38106 Braunschweig, Germany

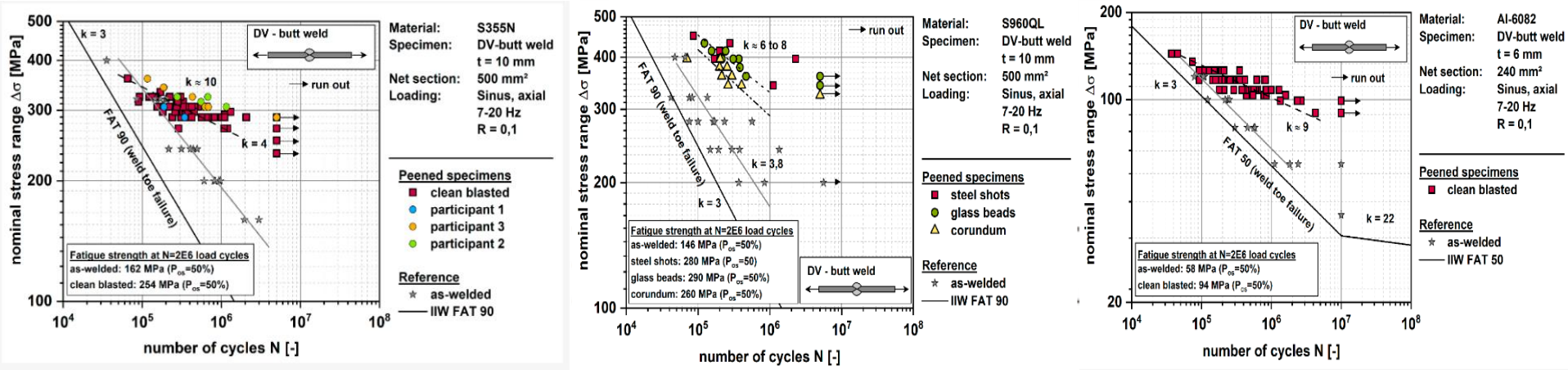
Shot peening: een uniek proces

Figure 1. Macrographs of DV-butt welds. (**a**) S355N, (**b**) S960QL, (**c**) Al-6082 T6.



Shot peening: een uniek proces

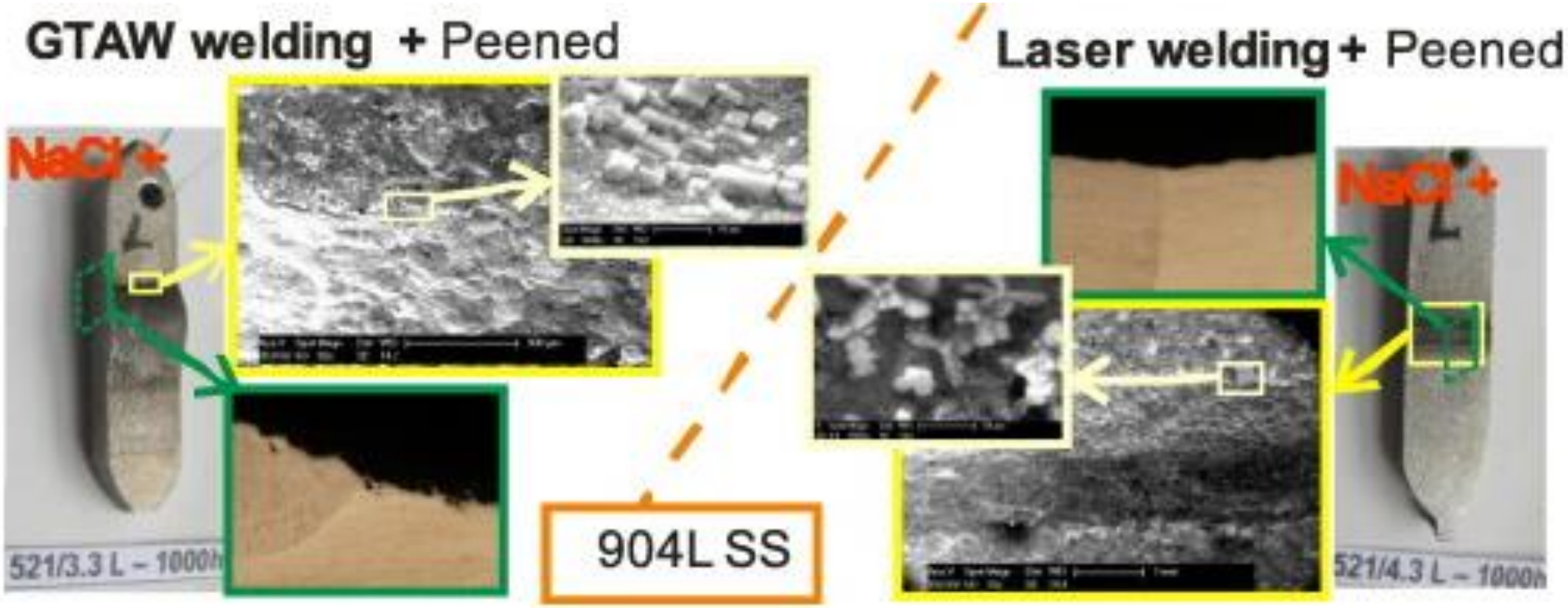
Figure 3. Residual stress at surface of DV-butt welds made from S355N (**a**), S960QL (**b**), and Al-6082 (**c**). Hachures indicate the weld seam width.



Shot peening: een uniek proces

Shot peening effect on 904L welds corrosion resistance

Barbara Nasiłowska [a], Zdzisław Bogdanowicz [a], Michał Wojucki [b]



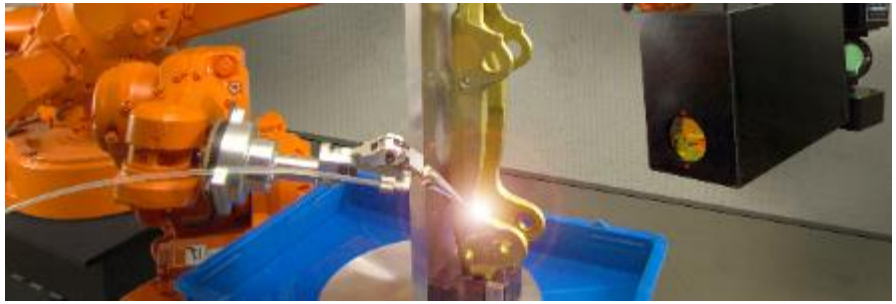
Shot peening: een uniek proces

Andere shot peening technieken:

- Peen forming
- Strain peening
- Ultrasonic Impact Treatment (UIT)
- Laser shock peening
- HF Forced Pulse Waterjet Peening
- Heat shotpeening
- Needle peening

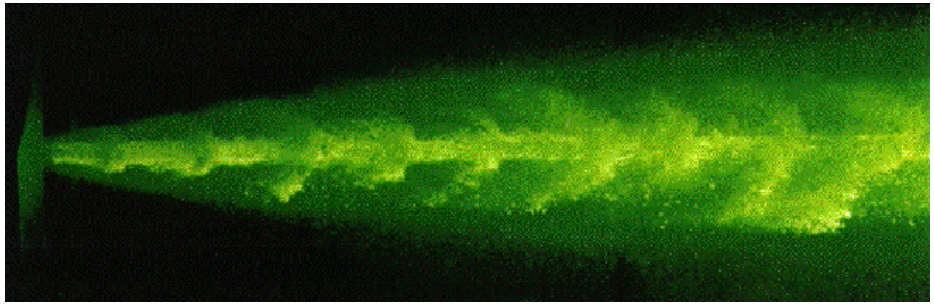
Shot peening: een uniek proces

Andere shot peening technieken:

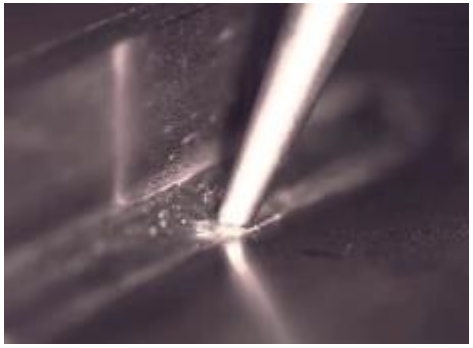


-Laser shock peening

Ultrasonic Impact Treatment



HF Forced Pulse Waterjet Peening



Hammer peening of welds (Weld-Hit AB)

Shot peening: een uniek proces

The view of the butt welds in as-welded condition (left side sample) and after application of UP (right side sample)

Shot peening: een uniek proces

Enkele voorbeelden van literatuur wereldwijd:

Title

[1992] {032} Improvement in Surface Fatigue Life of Hardened Gears by High-Intensity Shot Peening

[1987] {031} Fatigue Strength Of Case Hardened And Shot Peened Gears

[1982] {003} Effect Of Shot Peening On Surface Fatigue Life Of Carburized And Hardened Aisi 9310 Spur

[2002] {104} Effect of Shot Peening on Surface Fatigue Life of Carburized and Hardened AISI 9310 Spur

[1981] {056} Residual Stress And Fatigue Strength Of Surface Hardened Components

[1990] {034} Improvement Of Hardened Surface By Shot Peening

[1990] {116} Improvement in Resistance to Bending Fatigue: Prestress Shot-Blasting of Case-Hardened S

[2008] {052} Effect Of Cavitation Shotless Peening On Fatigue Strength Of Steel Gear

[1987] {084} Shot Peening Of The Gear Surface With Ground Cracks

[1990] {019} Development Of Hard And Tough Steel Shot

[1999] {067} Gear Shot Peening Method

[1927] {002} The Work Hardening Of Steel By Abrasion

[1989] {004} Dual Shot Peening To Maximize Beneficial Residual Stresses In Carburized Steels

[2002] {097} Dual Shot Peening to Maximize Beneficial Residual Stresses in Carburized Steels

[1981] {070} The Effect Of Shot Peening On Contact Fatigue Life Of Carburized Steel

Shot peening: een uniek proces

Enkele voorbeelden van Duits/Nederlandse onderzoeken:

DUWIND — Offshore Engineering — TU Delft

References

[1] **Nijssen, R.P.L.** (2006) *Fatigue Life Prediction and Strength Degradation of Wind Turbine Rotor Blade Composites* PhD thesis, DUWIND Delft University of Technolog

[2] **Tempel, J. van der,** (2006) *Design of support structures for offshore wind turbines* PhD thesis, DUWIND Delft University of Technology, ISBN 90-76468-11-7, April 26th 2006,

[3] **Hoogenboom, C.** e-mail contact on interpretation of test data for butt welds, 2 August 2007

[4] **Kuhlmann, U, Dürr, A, Bergmann, J, Thumser, R** (2006) *Fatigue strength improvement for welded high trength steel connections due to the application of post-weld treatment methods,* ISBN 3-937547-40-20 Forschungsvereiniging Stahlanwendung e.V. im Stahl-Zentrum (in German)

[5] **Weich, I., Ummenhofer, T. et al.** *Fatigue behaviour of Welded High Strenght Steels after High Frequency Mechanical Postweld Treatments* IIW XIII 2154 07, University of Braunschweig

[6] **DNV** (2004) *Design of offshore wind turbine structures* Det Norske Veritas, DNV-OS-J101

[7] **Tempel, J van der** (2000) *Lifetime Fatigue of an Offshore wind Turbine Support Structure* Section Offshore Technology & Section Wind Energy, Delft University of Technology

[8] **Hartman, MM** (1998) *Effects of Ultrasonic Impact Treatment on the fatigue behaviour of high strength steel weldments* Section Offshore Technology, Delft University of Technology & NTNU

Shot peening: een uniek proces

Samenvattend:

- Vergroot de vermoeiingssterkte van onderdelen, die belast worden door trekspanningen en torsiespanningen.

- Vergroot de weerstand tegen diverse soorten corrosies (SCC = Stress Corrosion Cracking, interkristallijne corrosie, putcorrosie, galvanische corrosie, spleet corrosie, etc.) en slijtages (vreten, abrasie, erosie, cavitatie, adhesieve, etc,)

- Zorgt voor “stress relief” bij lassen.

- Is zowel geschikt voor ferrometalen als non-ferrometalen, b.v. koolstof stalen, “High Strength Steels”, aluminum en magnesium en hun legeringen, Inconel, RVS, Titanium, Nikkel en Cobalt, legeringen, mangaan, etc.

- Mogelijkheid om lichtere ontwerpen te maken of goedkopere metaalsoorten te kiezen.

- Shotpeenen is een relatief goedkoop proces die zowel binnenshuis (shotpeenkast), op locatie (rotopeenen, mobiele shotpeen units), als uitbesteed kan worden bij derden (job shot peening).

Shot peening: een uniek proces

Interessante websites (ook Nederlandse):

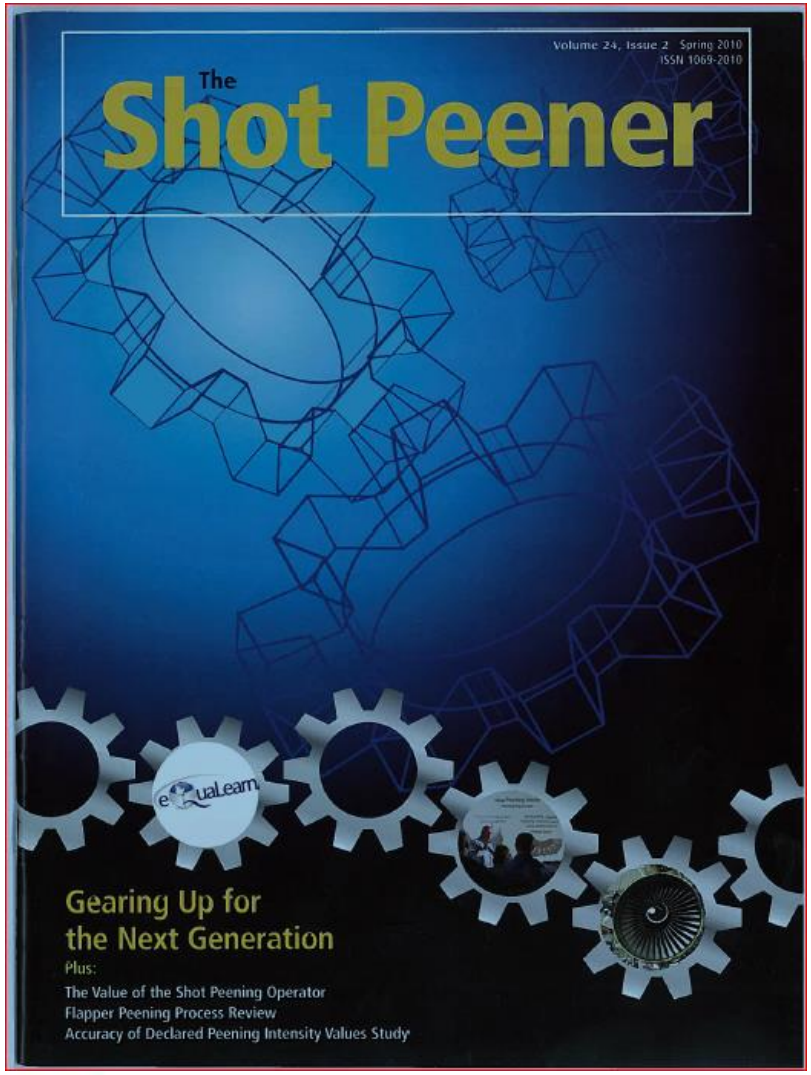
- **www.shotpeener.com**

- **www.metalimprovement.nl**

- **www.shotpeening.org**

- **www.straaltechniek.nt**

- **www.nl.rosler.com/nl-nl/bewerkingsprocedure/shotpeenen**

- **www.sonats-et.com**

Shot peening: een uniek proces