

# Het verband tussen de Vickershardheid en de deformatiegraad van metalen

***Citation for published version (APA):***

Smit, J., Ramaekers, J. A. H., & Veenstra, P. C. (1973). Het verband tussen de Vickershardheid en de deformatiegraad van metalen. *Metaalbewerking*, (16), 355.

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 01/01/1973

***Document Version:***

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

***Please check the document version of this publication:***

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

***General rights***

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

ARK  
01  
WPA

WT 0285

**Technische Hogeschool  
Eindhoven**

**afdeling der  
werktuigbouwkunde**

**rapport  
van de laboratoria  
voor produktietechniek**

WT-RAPPORT No. 0285

Het verband tussen de Vickershardheid en de  
deformatie graad van metalen

# Het verband tussen de Vickershardheid en de deformatiegraad van metalen

dr. J. Smit, dr. ir. J. A. H. Ramaekers en prof. dr. P. C. Veenstra

Laboratorium voor mechanische technologie en werkplaatstechniek.

Op grond van theoretische overwegingen en op grond van experimenten wordt een formule afgeleid die het verband aangeeft tussen Vickersmicrohardheid en specifieke spanning en vervolgens ook tussen hardheid en deformatiegraad van het materiaal. Er blijkt een grote analogie te bestaan tussen enerzijds effectieve spanning,  $\bar{\sigma}$ , als functie van de effectieve deformatie,  $\bar{\delta}$ , en anderzijds Vickershardheid tegen  $\bar{\delta}$ . Tot slot wordt de technische betekenis van de resultaten aangegeven, in het bijzonder met betrekking tot kwaliteitscontrole en procescontrole.

## 1 Inleiding

Uit de literatuur (4) is bekend dat de hardheid van metalen toeneemt wanneer deze metalen vervormd worden. In het laboratorium voor werkplaatstechniek van de Technische Hogeschool te Eindhoven is een onderzoek ingesteld naar het verband tussen Vickersmicrohardheid, HV, en effectieve deformatie,  $\bar{\delta}$ , (deformatiegraad) van metalen (2). Het onderzoek had tot doel een methode te verkrijgen die het mogelijk maakt de deformatie te bepalen, die uit vervormingsprocessen, zoals ponsen, voortvloeit.

## 2 Hardheidsmetingen op trekstaven

In een vorig artikel (1) is het begrip 'effectieve deformatie' of 'deformatiegraad' gedefinieerd. Om het verband tussen hardheid en effectieve deformatie te vinden zijn hardheidsmetingen op trekstaven uitgevoerd. De effectieve deformatie  $\bar{\delta}$  van een getrokken staaf is n.l.:

$$\bar{\delta} = 2 \ln \frac{d_0}{d} \quad (1)$$

wanneer een ronde trekstaaf met uitgangsdiameter  $d_0$  uniform getrokken wordt tot een dikte  $d$ , dus zo lang geen insnoering optreedt.

De Vickershardheid wordt berekend volgens de formule:

$$HV_{(P)} = \frac{P}{D^2} 2 \cos 22^\circ \quad (2)$$

waarin P de belasting voorstelt, uitgedrukt in New-

ton en D het gemiddelde is, in mm, van de twee diagonalen van het grondoppervlak van de piramidevormige indruk.

Wanneer men op een preparaat hardheidsmetingen wil uitvoeren, moet men dit preparaat bewerkingen laten ondergaan als zagen en schuren.

Deze bewerkingen veroorzaken een versterking van het oppervlak. Om het effect van deze versterking op de hardheidsmeting te elimineren, werden de proefstukken na alle voorgaande behandelingen tenslotte elektrolytisch gepolijst (2, 3).

## 3 Hardheid en deformatie

Uit eigen metingen volgt, dat er tussen hardheid, HV, en effectieve deformatie,  $\bar{\delta}$ , een verband bestaat analoog met de deformatierelatie of versterkingsfunctie van het materiaal. Zoals bekend, is deze laatste het verband tussen effectieve spanning  $\bar{\sigma}$  en effectieve deformatie,  $\bar{\delta}$ .

Deze relatie is aan de trekproef te ontleen (1). Een en ander wordt op vele plaatsen in de literatuur (2, 4, 5, 6) bevestigd.

Indien voor het verband tussen effectieve spanning,  $\bar{\sigma}$ , en effectieve rek,  $\bar{\delta}$ , uitgegaan wordt van de versterkingsfunctie volgens Nadai (1)

$$\bar{\sigma} = C \bar{\delta}^n \quad (3)$$

geldt voor het verband tussen hardheid HV en effectieve rek:

$$HV = H(\bar{\delta} + \bar{\delta}_H)^n \quad (4)$$

H is een grootte, specifieke hardheid genaamd, die analoog is aan de specifieke spanning C in de versterkingsfunctie van Nadai. De exponenten n uit de twee vergelijkingen (3) en (4) zijn identiek. De hardheidsmeting is op zichzelf een deformatieproces. De piramidevormige Vickersdiamant dringt vervormend in dat materiaal door.

De werkelijke deformatiegraad van het materiaal, dat grenst aan het diamantoppervlak is dus groter dan de oorspronkelijke deformatiegraad  $\bar{\delta}$ , b.v. uit de trekproef. De grootte  $\bar{\delta}_H$  representeert nu de gemiddelde additieve effectieve deformatie die langs het diamantoppervlak veroorzaakt is door de hardheidsmeting zelf (figuur 1). De werkelijke deformatiegraad van het materiaal waarvan de hardheid bepaald wordt is bijgevolg:

$$\bar{\delta}_t = \bar{\delta} + \bar{\delta}_H \quad (5)$$

Uit het werk van Boat (7) volgde dat het verloop van de deformatiegraad  $\bar{\delta}_H$  langs het diamantoppervlak door een hyperbool beschreven kan worden (figuur 1). Uit experimenten volgde tevens dat de gemiddelde additieve deformatiegraad  $\bar{\delta}_{H1}$  kleiner wordt als de grootte van de indruk (D) toeneemt. De gemeten hardheid wordt dus — zoals welbekend is in de praktijk van de hardheidsmetingen — kleiner als het gewicht P toeneemt, hoewel uiteraard de werkelijke hardheid van het materiaal daarvan niet afhankelijk kan zijn. We hebben hier te doen met een storende invloed van de meting zelf, die in het bovenstaande zijn verklaring vindt.

#### 4 Het verband tussen hardheid en effectieve spanning

In de loop van het onderzoek is gebleken dat het zinvoller is het verband tussen de effectieve spanning, in plaats van de effectieve rek, en de hardheid als uitgangspunt van verdere analyse te bepalen. De effectieve spanning,  $\bar{\sigma}$ , is voor een uniform deformerende trekstaaf gelijk aan de ware trekspanning (1,2):

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_a = \frac{F}{\pi d^2/4} \quad (6)$$

Figuur 2 geeft nu schematisch weer wat er met de effectieve spanning en rek gebeurt als er een hardheidsmeting plaatsvindt op een lichaam met een oorspronkelijke deformatiegraad  $\bar{\delta}$ . De deformatie neemt toe met de gemiddelde additieve deformatie  $\bar{\delta}_H$  en dit veroorzaakt een toename van de effectieve spanning  $\Delta\bar{\sigma}_H$  langs het diamantoppervlak (fig. 1).

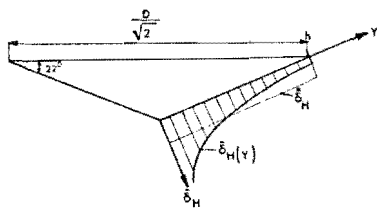


Fig. 1. De verdeling van de deformatiegraad langs het oppervlak van de Vickersdiamant.

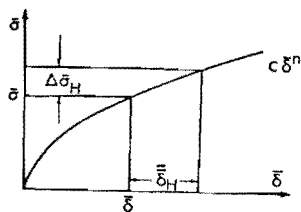


Fig. 2. De gemiddelde additieve deformatie,  $\bar{\delta}_{H1}$  en de gevolgelijke toename van de effectieve spanning,  $\Delta\bar{\sigma}_{H1}$ , bij uitvoering van een hardheidsmeting.

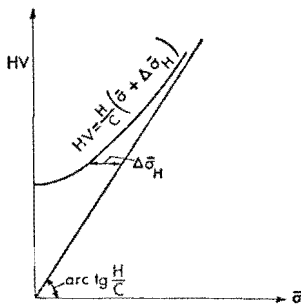


Fig. 3. Het verband tussen hardheid HV en effectieve spanning,  $\bar{\sigma}$ , volgens formule (8).

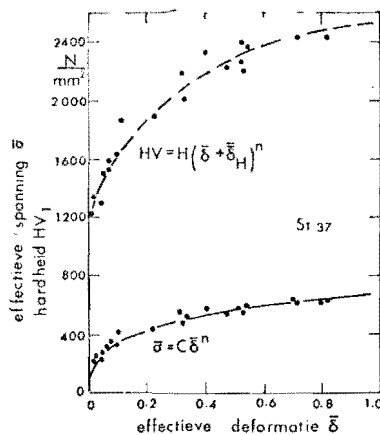


Fig. 4. Hardheid, HV, en effectieve spanning,  $\bar{\sigma}$ , als functie van de effectieve rek,  $\bar{\delta}$ , voor St. 37.

Uit figuur 2 volgt:

$$\bar{\sigma} = \Delta\bar{\sigma}_H = C(\bar{\delta} + \bar{\delta}_H)^n \quad (7)$$

Met formule (4) levert dit:

$$HV = \frac{H}{C} (\bar{\sigma} + \Delta\bar{\sigma}_H) \quad (8)$$

Het invoeren van de gemiddelde additieve deformatie,  $\bar{\delta}_H$  in plaats van de in werkelijkheid toegevoegde verdeelde deformatie  $\bar{\delta}_H(y)$  volgens figuur 1, heeft in het ongunstigste geval een fout van 6 % in de waarde van  $\Delta\bar{\sigma}_H$  tengevolge (2). Het gebruik van de gemiddelde waarde  $\bar{\delta}_H$  is voor technische metingen toelaatbaar.

Figuur 3 geeft schematisch het verband tussen de gemeten hardheid en de effectieve spanning  $\bar{\sigma}$ . Uit onze experimenten volgde verder dat  $H/C$  een grootte is, die van de aard van het materiaal afhankelijk is. Het verband tussen  $\Delta\bar{\sigma}_H$  en de effectieve spanning  $\bar{\sigma}$  kan door een hyperbool beschreven worden (figuur 3):

$$\Delta\bar{\sigma}_H = \frac{b^2}{b + \bar{\sigma}} \quad (9)$$

Bij nadere bestudering blijkt de hyperbool-constante,  $b$ , afhankelijk te zijn van de grootte van de hardheidsindruk (D) volgens:

$$b = b_0 e^{-D/b_1} \quad (10)$$

Hierin zijn  $b_0$  en  $b_1$  weer grootte, die van het materiaal afhankelijk zijn.

Uit de vergelijkingen (8), (9) en (10) volgt:

$$HV = \frac{H}{C} \left\{ \bar{\sigma} + \frac{(b_0 e^{-D/b_1})^2}{\bar{\sigma} + b_0 e^{-D/b_1}} \right\} \quad (11)$$

Bovenstaande vergelijking biedt de mogelijkheid om door middel van hardheidsmetingen de effectieve spanning  $\bar{\sigma}$  van een vervormd proefstuk te bepalen. Via de verstevigingsfunctie (form 3) is dan tegelijkertijd de effectieve deformatie,  $\bar{\delta}$ , bekend.

De reeds eerder gememoreerde afhankelijkheid van de gemeten hardheid van de belasting wordt ook beschre-

ven door form (11), wanneer deze met form (2) wordt gecombineerd. Het afvallen van de hardheid bij metingen met zeer kleine gewichten

$$(P \lesssim 25 \text{ N}, D \lesssim 20 \mu)$$

is buiten beschouwing gelaten.

### 5 De experimentele resultaten

De belangrijkste resultaten van de experimenten zijn in tabel 1 samengevat. De specifieke spanning, C, en de verstevigingsexponent, n, zijn met behulp van trekproeven bepaald (1,2). De grootheden H/C, b<sub>0</sub> en b<sub>1</sub> volgen uit numerieke verwerking van de resultaten van hardheidsmetingen met verschillende gewichten op diverse series trekstaven.

mat.	C	n	$\delta_0$	H/C	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>
	N/mm <sup>2</sup>	-	--	-	N/mm <sup>2</sup>	mm
st 37	680	0.26	-	3.3	350	0.43
C 45	1170	0.24	-	2.1	380	0.45
elektr.koper	600	0.56	-	2.4	200	0.35
Messing (KMs63)	850	0.84	0.06	2.6	350	0.35

Tabel 1: De materiaaleigenschappen.

Terzijde moet worden opgemerkt dat de non-ferro metalen koper en messing de verstevigingsfunctie van Nadai slechts tot een bepaalde deformatiegraad volgen (2). Vergelijking (11) blijft echter geldig ook boven deze deformatiegraad. Uit theoretische beschouwingen volgt n.l. dat form (11) onafhankelijk is van de gekozen verstevigingsfunctie.

Figuur 4 geeft de resultaten van onze trekproeven en hardheidsmetingen op St 37. De analogie tussen de functie  $\bar{\sigma} = f(\bar{\delta})$  en  $HV = f(\bar{\delta})$  is in de figuur

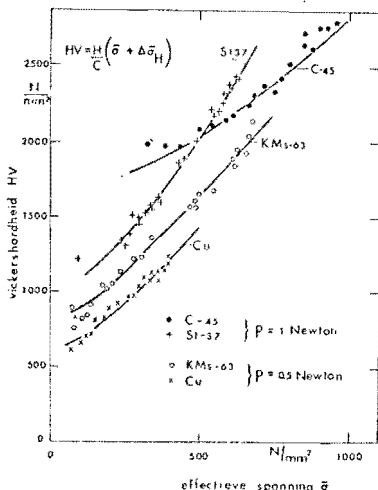


Fig. 5. Gemeten en theoretisch verband tussen de hardheid HV en de effectieve spanning  $\bar{\sigma}$  voor verschillende materialen.

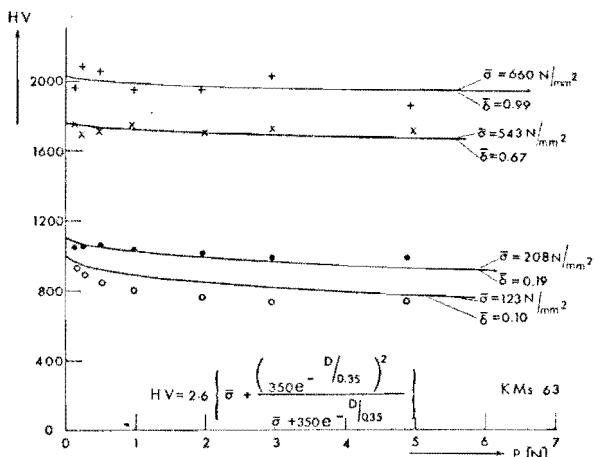


Fig. 6. Gemeten en theoretisch verband tussen hardheid HV en de belasting P voor enige, tot verschillende deformatiegraad  $\bar{\delta}$  getrokken, messing proefstaven.

duidelijk waarneembaar en bovendien — zoals eerder gezegd is — in overeenstemming met literatuurgegevens. Figuur 5 toont het gemeten en theoretisch verband tussen de hardheid HV en de effectieve spanning  $\bar{\sigma}$  voor verschillende materialen. Figuur 6 toont het gemeten en theoretisch verband tussen hardheid HV en de belasting P voor enige, tot verschillende deformatiegraad  $\bar{\delta}$  getrokken, messing proefstaven.

### Conclusies

Door middel van hardheidsmetingen is het mogelijk de deformatiegraad van een materiaal te bepalen. Dit is niet alleen van belang voor researchdoeleinden, doch ook voor kwaliteitscontrole in de productie. Critisch gedeformeerde plaatsen in een produkt kunnen aangegeven worden. Zowel het tijdstip van tussengloeien als het resultaat van deze behandeling kunnen beter bepaald worden. Het vergelijken van hardheidswaarden, die met verschillende gewichten verkregen zijn, heeft een theoretische ondergrond gekregen.

\* De auteurs betuigen hun oprechte dank aan de heer M. Th. de Groot voor het vele werk dat hij in het kader van dit onderzoek verricht heeft.

### Literatuur

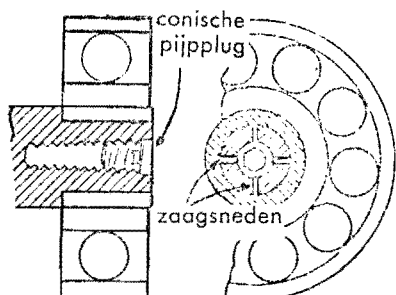
- (1) Ramaekers, J. A. H., J. Smit en P. C. Veenstra 'De Ponskracht' Metaalbewerking, jrg. 38, no. 9.
- (2) Ramaekers, J. A. H. 'Härte und Verformung Metallischer Werkstoffe', Dissertatie T.H. Eindhoven (1970).
- (3) Joshino, T. 'Study on the Test Conditions of Micro-Hardness', Bulletin of J.S.M.E. (1965) 31, biz. 291-301.
- (4) Dannemann E., E. Steck und H. Wilhelm 'Ueber den Zusammenhang zwischen Eindringhärte und Umformgrad bei Kaltumformvorgänge', Bänder Bleche Rohre 9 (1968) 7, biz. 388-394.
- (5) Voce, E. 'A practical strain-hardening function', Metallurgia (1955) biz. 219-226.
- (6) Thomsen, T. 'Glatte Lochwände beim Lochen von Grobblechen', Dissertatie T.H. Darmstadt (1966).
- (7) Boot, J. G. F. M. 'Metingen en berekeningen aan een hardheidsproef', Eindhoven University Press (1967) WT 0188.

# Wenken voor de werkplaats

## Vastzetten van een kogellager op een aseinde

Wanneer men een kogellager op een aseinde moet monteren, dan is het gangbare gebruik om een perspassing te gebruiken. De wrijving zorgt voor een vaste montage.

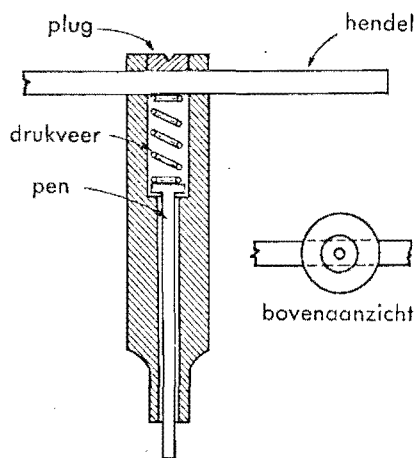
Maar indien een perspassing niet meer mogelijk is, omdat de bestaande as al een losse passing vormt met het kogellager, dan moet men anders te werk gaan.



Men boort en tapt in het aseinde een conische pijpschroefdraad voor een plug. Daarna wordt het aseinde van een kruiszaagsnede voorzien. Om het aseinde schuift men een ring en over deze ring weer het kogellager. Nu schroeft men de plug in het aseinde en de expansie van de vier segmenten van de as zal een gelijkmatig verdeelde druk via de ring gaan uitoefenen op het kogellager, dat daardoor onwrikbaar komt vast te zitten.

## Veilige klauwplaatsleutel

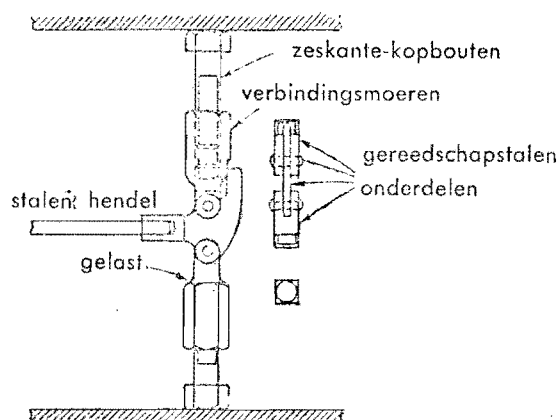
Veiligheidsoverwegingen waren de redenen voor het ontwerpen van een klauwplaatsleutel, die niet per ongeluk in de klauwplaat kan worden achtergelaten. De gevaren die schuilen in het per ongeluk achterlaten van zo'n sleutel, zijn een ieder in de mechanische techniek wel bekend; verwondingen of beschadigde machines komen dagelijks voor door dergelijke onoplettendheid. Deze veilige klauwplaatsleutel zal zichzelf



uit de klauwplaat stoten, onder druk van de veerbelaste pen, die zich in het hart van de sleutel bevindt, wanneer men de sleutel loslaat. De sleutel is daardoor voorzien van een centraal geboord gat met een uitsparing voor de drukveer. De hendel sluit de drukveer op aan de bovenkant en het andere einde van de veer drukt op de uitgestoten pen. Tenslotte perst men nog een plug in het bovenste gat van de sleutel.

## Knevelkrik gemaakt uit standaardonderdelen

De knevelkrik wordt ondermeer gebruikt om onderdelen uit elkaar te houden of vast te klemmen, waarbij de klemvlakken tegenover elkaar liggen (bijvoorbeeld in U- of H-profielen).



De knevelkrik, of klem, is van een eenvoudig ontwerp; hij is instelbaar in hoogte door de schroeven verder uit of in te schroeven, of geheel te vervangen voor langere of kortere schroeven.

De beste resultaten bereikt men door de knevel iets over het midden af te stellen waardoor de aanslag van de knevel doorknikken voorkomt.

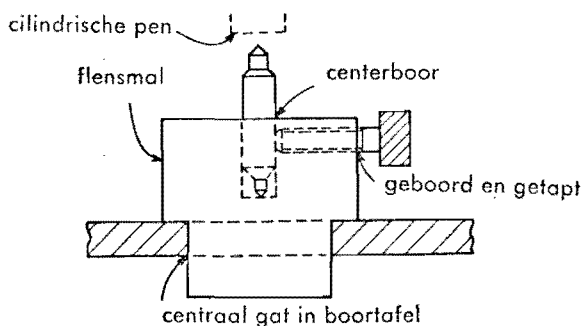
De te gebruiken materialen moeten sterk zijn, maar de kwaliteit van het staal is niet kritisch.

Men moet er wel voor zorgen dat de schroefdraadverbindingen over voldoende gangen in elkaar grijpen, omdat anders de krachten ongunstig worden verdeeld.

## Omgekeerde booropstelling

Wanneer men geslepen assen of cilindrische pennen als laatste bewerking nog moet centerboren, dan is het vasthouden zonder beschadiging van deze produkten een probleem.

Worden ze in een boor- of machineklem vastgezet, zelfs met zachte bekken, dan zullen er wellicht kleine krassen of beschadigingen op voorkomen.



Men kan echter ook de booropstelling omkeren. Het werkstuk wordt in een spantang in de boorspil opgespannen en de centerboor in een gereedschap op de boortafel. De centerboor wordt met een klemschroef verticaal vastgezet in een flensmal, die gecentreerd op de boortafel is gemonteerd. Het produkt draait rond en wordt langzaam omlaag gebracht op de centerboor. Extra voordeel is dat de spanen vrij weg kunnen vallen.