

datum 09-05-2008
referentie LSJ
© copyright Sirris

RAPPORT

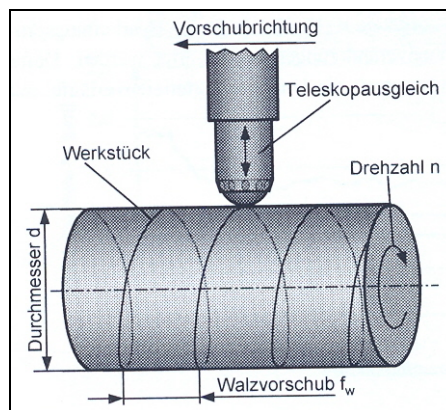
De mogelijkheden en beperkingen van gladwalsen



Onlangs rondde Sirris een studie af rond de mogelijkheden van gladwalsen. De resultaten van het onderzoek en een casestudie brengen we in dit beknopte verslag.

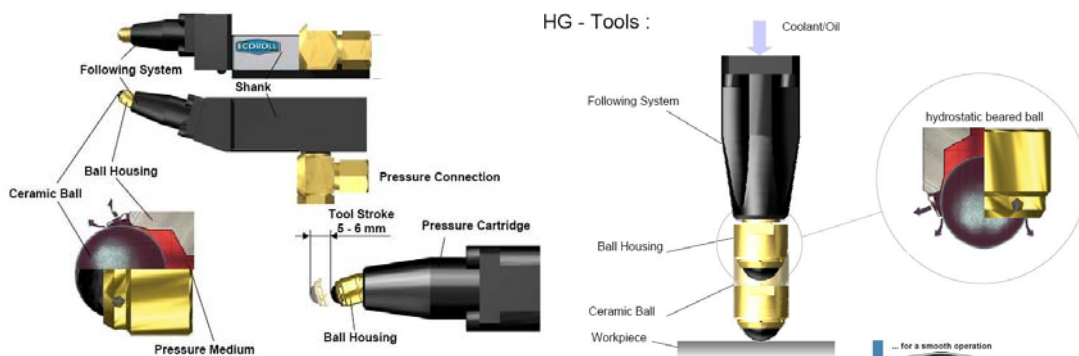
Gladwalsproces

Bij gladwalsen draait het werkstuk, net als bij het draaien, met een omtreksnelheid v (= rolsnelheid walskogel). Het gladwalsgereedschap walst met een constante kracht \bar{F} over de contour en verplaatst zich met een axiale voeding f .



Principeschematische van het gladwalsproces

De constructie van de kogelhuls is zodanig uitgevoerd dat de kogel samen met zijn huls een radiale verplaatsing van 5 tot 6 mm kan uitvoeren. Door deze bouwwijze kan het gereedschap bij een horizontale axiale voeding een diameterstijging van 10-12 mm overbruggen zonder dat dit in de programmering van de contour vastgelegd moet worden.



Walsgereedschap (Bron: Ecoroll)

Door het gladwalsen van een gedraaid oppervlak zal de ruwheid dalen, de weerstand tegen vermoeingsbreuk toenemen.

Globaal kan gesteld worden dat de hardheid van het werkstukmateriaal de meest dominante parameter is, gevolgd door de druk van de kogel. De voeding van de kogel is, bij deze range, een derde bepalende parameter en de rolsnelheid van de kogel is hekkensluiser.

Voor het onderzoek werden werkstukmaterialen en vormelementen vastgelegd.



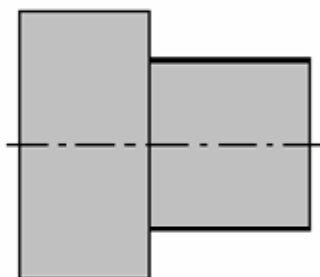
Werkstukmaterialen

Sirris opteerde voor 100Cr6 (Werkstofnr. 1.3505) als eerste werkstukmateriaal. Dit staal wordt veelal gebruikt als kogellagerstaal. De gevraagde hardheden bedroegen 56, 59 en 62 HRC. De hardingsmethode was inductiehardening. Naast 100Cr6 werden ook Impax (40CrMnMo7, werkstofnr. 1.2710) en Arne (100MnCrW4, werkstofnr. 1.2510) gehard en gebruikt om de testen te vervolledigen. Impax is een materiaal dat vaak wordt toegepast in spuitgietmatrijzen voor kunststoffen of extrusiegereedschappen. Arne wordt vaak ingezet voor snij-, stans-, trek-, druk-, schaar-, en buiggereedschappen. Ook kalibers en meetgereedschappen worden vaak uit dit materiaal vervaardigd.

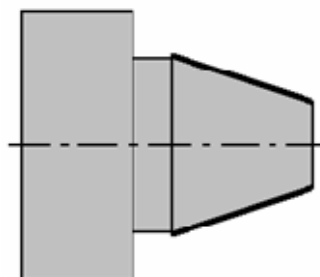
Met de 100Cr6-assen werden de DOE-testen (Design Of Experiments) uitgevoerd, naast de aansluitende testen, waarbij het verband tussen de bekomen ruwheid en de walsparameters afzonderlijk werden bekeken.

Vormelementen

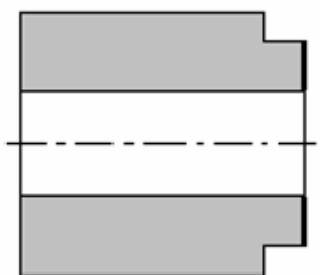
Als startgeometrie voor de gladwalstesten werd gebruik gemaakt van rechte cilinders, voorzien van centergaten. Het ging hier om standaardgeometrieën die in elk werkstuk wel aanwezig zijn.



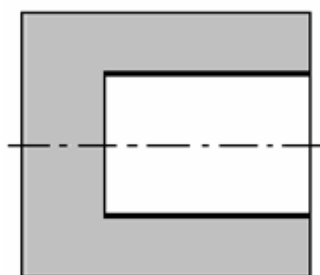
Buitendiameter



Buitenkegel



Kopvlak



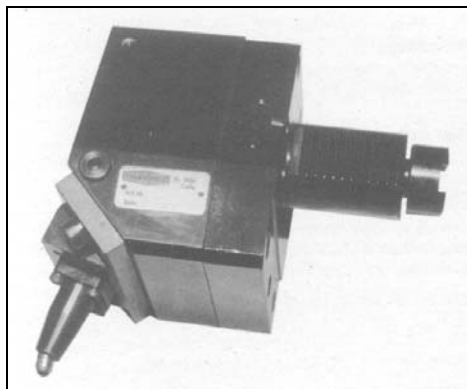
Blinde boring

- Stijfheid/stabiliteit van de machines
Bij gladwalsen is de stijfheid van de machine minder noodzakelijk dan voor het harddraaiproces zelf. De reden hiervoor is dat het gladwalsen geen verandering teweeg brengt in de vorm van het werkstuk. Eventuele vormfouten, geïnduceerd door het (hard)draaiproces, worden niet weggewerkt. Enkel het oppervlak, meer bepaald het ruwheidsprofiel, wordt beïnvloed (op microscopische schaal). Gezien het gladwalsen van geharde onderdelen meestal zal uitgevoerd worden op een draaibank, waarop ook de harddraai-operatie werd uitgevoerd, zal de kwaliteit van de machine meestal volstaan.



Indien de stukken toch op een teach-in draaibank worden gedraaid, kan men ook hier de gladwalsoperatie op uitvoeren, omdat de maximale kracht van 1.130 N (bij 400 bar max. werkdruk) kan worden opgevangen.

- Voorzieningen om koelvloeistof op te vangen
Tijdens het gladwalsproces wordt koelvloeistof (7 procent olieoplossing) verbruikt. Dit kan via een terugloopsysteem hergebruikt worden, mits ze gefilterd wordt met een 40 µm filtersysteem. Filteren op dergelijke kleine deeltjes is absoluut noodzakelijk om het risico van schade aan de hydrostatisch gelagerde keramische kogel uit te sluiten. Als de lagering vervuild raakt, zal de kogel niet meer rollen maar schuren, met excessieve slijtage aan de kogel tot gevolg, maar ook beschadiging aan het werkstukoppervlak en een verhoging van de oppervlakteruwheid als gevolg.
Indien een terugloopsysteem met filter om een of andere reden niet mogelijk is, kan de koelvloeistof afkomstig van het gladwalsgereedschap gewoon als koelmiddel voor de draaibank verder gebruikt worden.
- Eisen gesteld aan de gereedschapsopname
Het gereedschap kan worden opgenomen in een standaard VDI-gereedschapsopname. Een weinig flexibele slang (koelvloeistofaanvoer) zorgt voor de verbinding tussen de externe hydraulische drukpomp en de gereedschapsopname. Praktisch dient de nodige ruimte te worden voorzien voor de doorgang van deze slang.
Als men opteert voor het systeem waarbij de drukopbouw in het gereedschap zelf plaatsvindt, kan er gebruik worden gemaakt van de koelmiddelaanvoer voor de aangedreven gereedschappen van de machine zelf. Hierbij dient wel rekening te worden gehouden met een filtersysteem.
Hieronder foto's van beide mogelijkheden voor drukopbouw.



Interne drukopbouw



Hydraulische pomp voor externe drukopbouw

Sirris opteerde voor het systeem met externe drukopbouw. Dit heeft als grote voordeel dat een draaibank die niet is voorzien van aangedreven gereedschappen met koelmiddel ook uitgerust kan worden voor de gladwalstechnologie. De externe drukgroep biedt ook het voordeel dat ze aangesloten kan worden op verschillende gladwalsgereedschappen (inwendig, uitwendig, ...), terwijl het gereedschap met ingebouwde drukpomp uiteraard hiermee ontegensprekelijk verbonden is. Bijkomend voordeel is de prijs: een gereedschap met ingebouwde drukopbouw is veel duurder dan de hier verkozen oplossing.

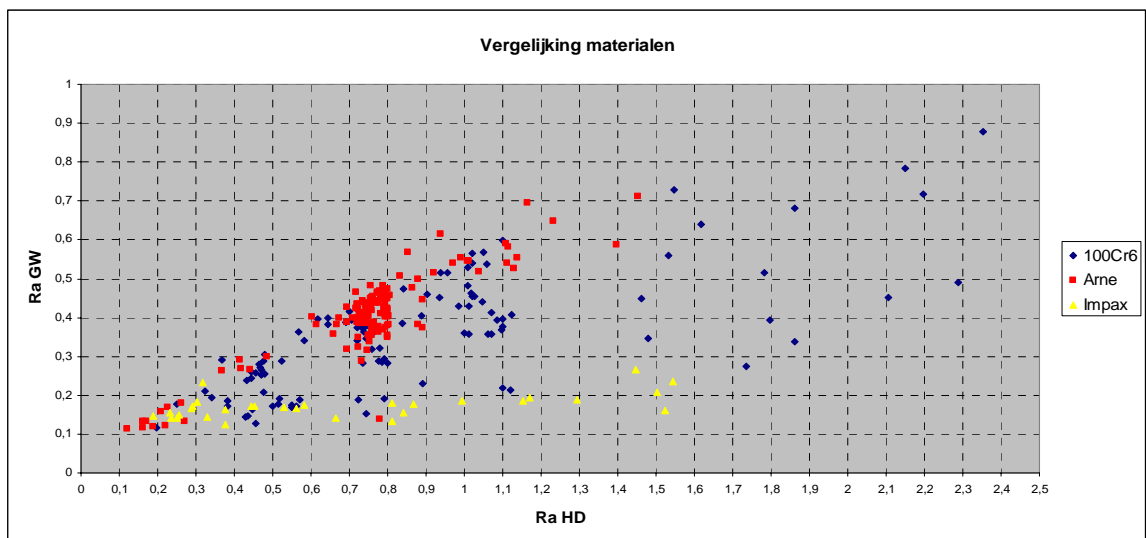


Praktische werktabel

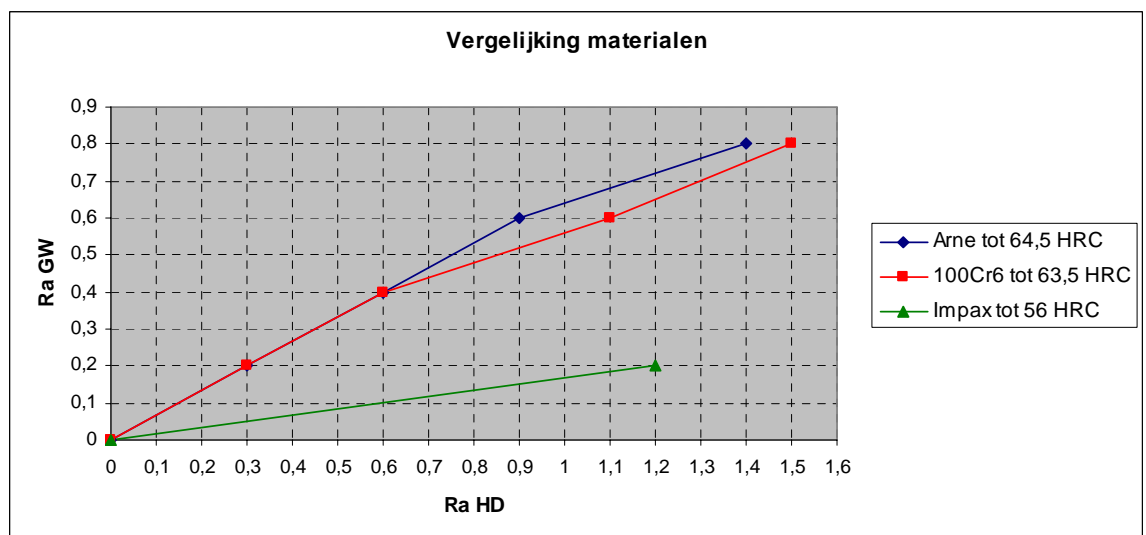
Om een bepaalde ruwheid te bekomen (na het gladwalsen) moeten we niet alleen rekening houden met verschillende gladwalsparameters, maar ook met de initiële ruwheid van het werkstukmateriaal na het harddraaien. Deze ruwheid bepaalt ook wat de uiteindelijke ruwheid zal zijn na het gladwalsen (ca. 40 procent reductie op Ra).

Om op een eenvoudige manier te weten wat de harddraai-instellingen moeten zijn om een bepaalde ruwheid te bekomen werd er een werktabel opgesteld voor de drie materialen: Arne, Impax en 100Cr6. De grafieken van deze materialen tonen op de y-as de Ra-waarde na het gladwalsen en op de x-as de Ra-waarde na het harddraaien.

Wanneer we alle gegevens verzamelen in één grafiek, zoals hieronder, kunnen we rechten tekenen waaronder alle resultaten zullen liggen. Als we een ruwheid na het gladwalsen willen bekomen van bijvoorbeeld $0,4 \mu\text{m}$, zullen we minimum een ruwheid van $0,6 \mu\text{m}$ moeten bekomen na het harddraaien, zoals de grafiek aangeeft.



Vergelijking materialen



Richtingscoëfficiënten verschillende materialen



	f_{HD}	Ra_{HD}	Ra_{GW}	Hardheid
	[mm/tr]	[μm]	[μm]	[HRC]
Arne	< 0,04	< 0,3	< 0,2	61,5 - 64,5
	0,04 - 0,12	0,3 - 0,6	0,2 - 0,4	
	0,12 - 0,16	0,6 - 0,9	0,4 - 0,6	
	0,16 - 0,4	0,9 - 1,4	0,6 - 0,8	
100Cr6	< 0,04	< 0,3	< 0,2	53 - 63,5
	0,04 - 0,20	0,3 - 0,6	0,2 - 0,4	
	0,20 - 0,40	0,6 - 1,1	0,4 - 0,6	
	> 0,40	1,1 - 1,5	0,6 - 0,8	
Impax	< 0,16	< 1,2	< 0,2	56
	0,16 - ...	1,2 - ...	0,2 - 0,4	

Deze praktische werktabel laat toe om, voor een welbepaald materiaal bij een gegeven hardheid, de juiste harddraaivoeding in te stellen om na het gladwalsen een ruwheid te kunnen bekomen die men wenst. Als men bijvoorbeeld een Ra-waarde van 0,4 μm wil bekomen in kogellagerstaal (100Cr6, 62 HRC), is een ruwheidswaarde na het harddraaien van 0,6 μm noodzakelijk. Hiervoor dient men een harddraaivoeding in te stellen van maximum 0,2 mm/toer.

Hardheidsverhoging

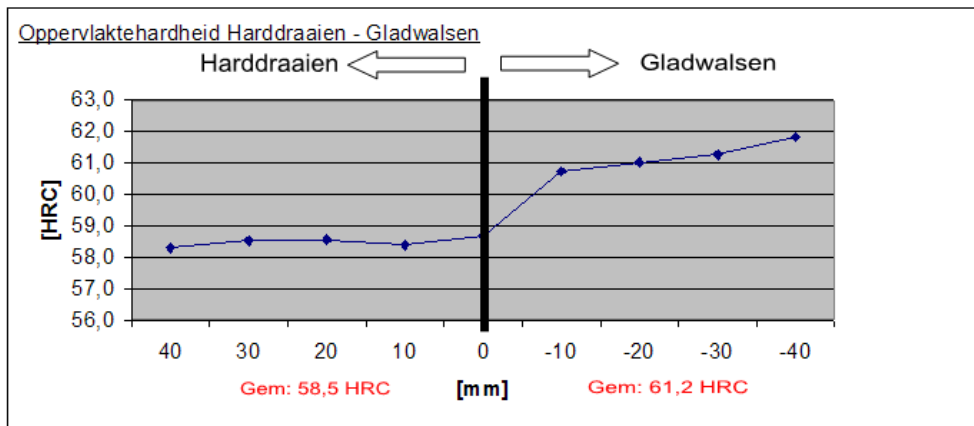
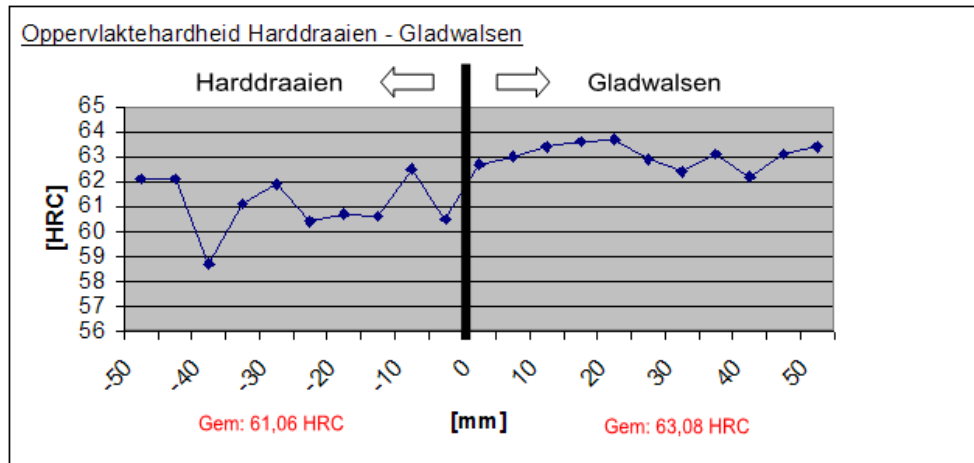
Door een walsbewerking uit te oefenen op een cilinderoppervlak ontstaat loodrecht hierop een zone die gekenmerkt wordt door een hogere hardheid. De drukkrachten zorgen er immers voor dat de kristalroosters worden samengeperst, wat leidt tot een fijnere korrelstructuur.

Eerst werd de hardheidsverhoging opgemeten aan het manteloppervlak van het werkstuk met behulp van een digitale hardheidsmeter met Rockwell C-schaal. Met behulp van microhardheidsmetingen (schaal van Vickers) werd de hardheid in de diepte (loodrecht op het manteloppervlak) van het werkstuk opgemeten.

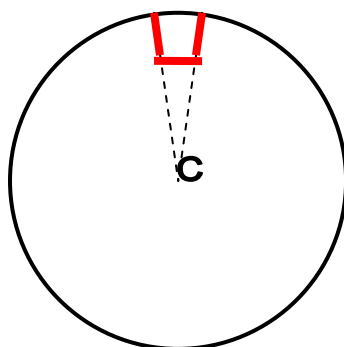
Aan het manteloppervlak



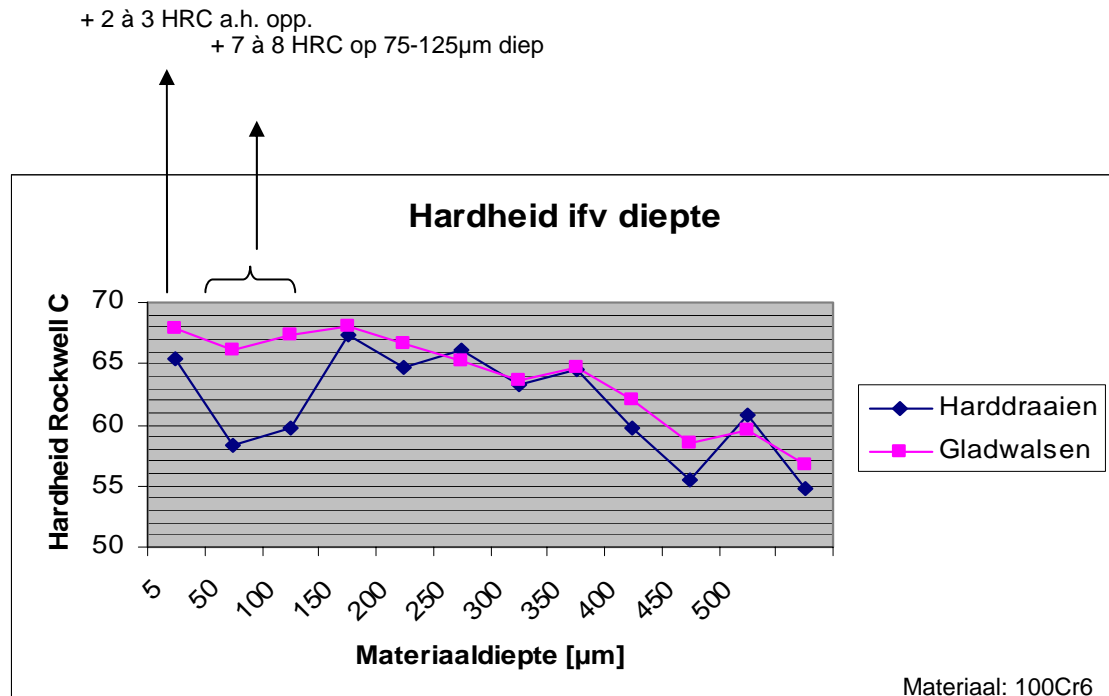
We merken op dat de hardheid aan het oppervlak na het gladwalsen **gemiddeld met 2 à 3 HRC-eenheden is gestegen** in vergelijking met het harddraaien (zie grafieken).



In de diepte



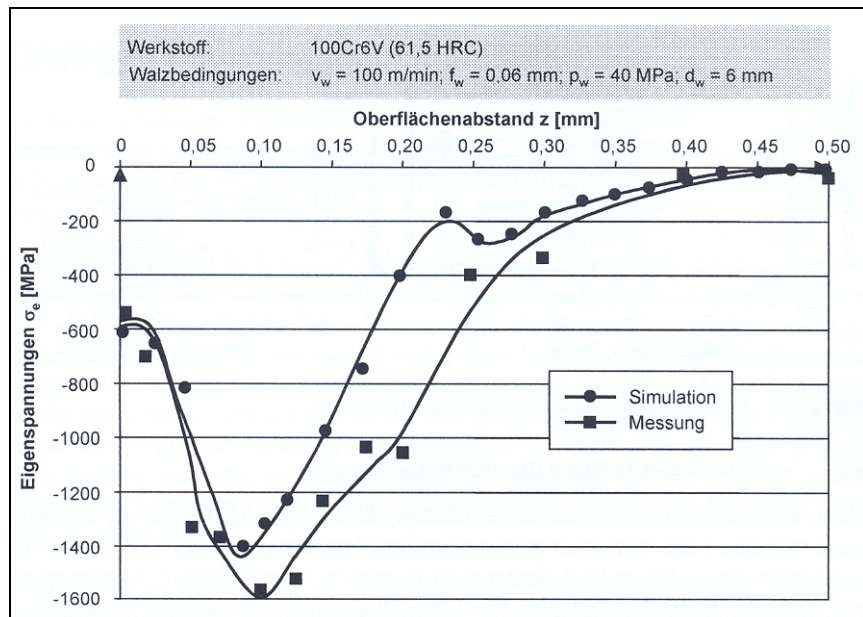
Met een microhardheidsmeter werden, door het aanleggen van een drukkracht, piramidevormige inkepingen gemaakt op verschillende dieptes. Deze metingen werden zowel uitgevoerd in de zone waar alleen hard gedraaid werd, als voor de combinatie harddraaien en gladwalsen. De diagonalen, die een maat zijn voor de hardheid volgens Vickers, werden opgemeten. Zo werd hierna volgende grafiek bekomen:



Aan het manteloppervlak (-5µm diep) zien we een stijging van 2 à 3 HRC, terwijl **op een diepte tussen 75 en 125 µm de hardheid na het gladwalsen 7 à 8 HRC is gestegen**. De bulk (de zachtere laag onder de hardere, witte laag na het harddraaien) is dus harder geworden. Door de drukkrachten zijn de kristalroosters fijner geworden. Waar initieel scheurtjes konden starten (bulk) door vermoeiing (o.a. door wisselende belasting) is nu de kans op scheurvorming drastisch verminderd. Het gladwalsen heeft bijgevolg een positieve invloed op de vermoeiingsbreuk.

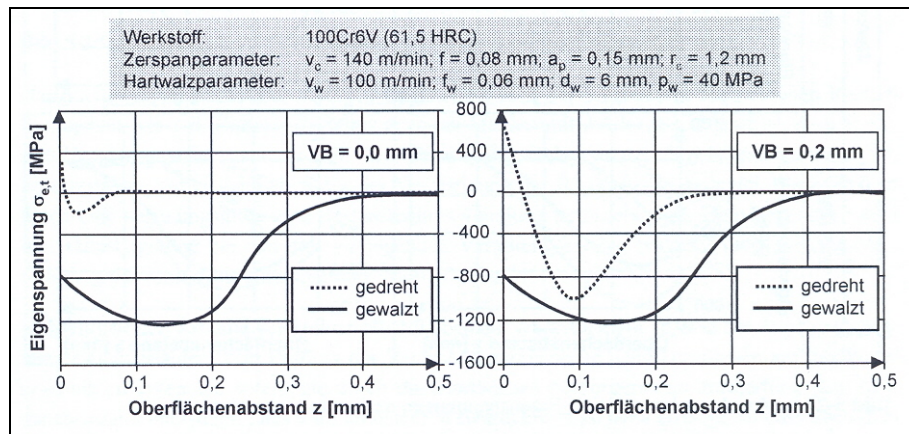
XRD-metingen

Bij het RWTH Aachen zijn de residuele spanningen opgemeten via X-straaldiffractiemetingen van een as van het materiaal 100Cr6V met een hardheid van 61,5 HRC. In de figuur hierna (curve 'Messung') zien we dat het minimum (de maximale drukspanning, negatieve waarden op y-as zijn druk- en positieve waarden zijn trekspanningen) zich op 100 µm diepte bevindt. Net op deze plaats vindt men ook de grootste hardheidsstijging. De residuele spanning bereikt een diepte van 500 µm.



Residuele drukspanning na het gladwalsen (XRD-meting): de curve bevindt zich volledig in het gebied van de drukspanningen, wat een positief gevolg geeft aan de weerstand tegen vermoeingsbreuk (Bron: WZL Aachen)

Wanneer we een vergelijking maken met de residuele spanningen na het harddraaien, krijgen we onderstaande figuur:



Residuele spanningen harddraaien versus gladwalsen (bron: WZL Aachen)

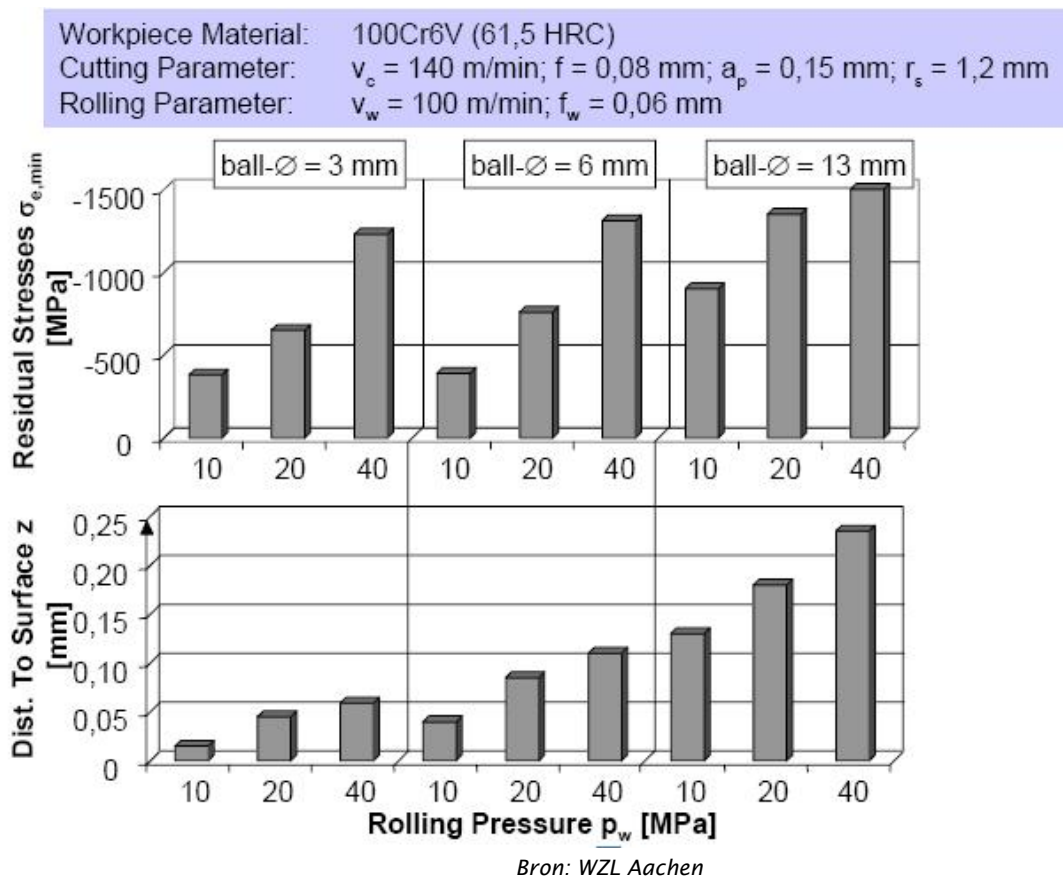
Twee zaken zijn opvallend:

- Na het harddraaien krijgen we eerst een zone van trekspanning, om dan op een bepaalde diepte over te gaan in drukspanning. De grootte van de trekspanning en de diepte waar deze in optreedt, is afhankelijk van de vrijloopvlaklijtage van het snijgereedschap.
 VB = 0 μ m: trekspanningsgrootte 300 MPa (aan het oppervlak), afnemend tot een diepte van 10 μ m.
 VB = 120 μ m: trekspanningsgrootte 700 MPa (aan het oppervlak), afnemend tot een diepte van 30 μ m.



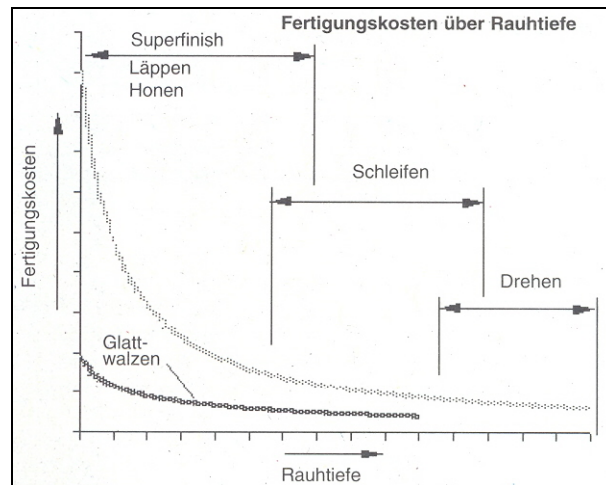
- De curve na het gladwalsen ziet er identiek hetzelfde uit, ongeacht de vrijloopvlakslijtage van het snijgereedschap bij het harddraaien. De residuele spanning na het gladwalsen bevindt zich volledig in het drukspanningsgebied.

Hoe groter de aangelegde walsdruk of hoe groter het contactoppervlak (diameter van de kogel), hoe groter de maximale drukspanning en de diepte waar dit maximum bereikt wordt (zie grafiek).



Vergelijking finiseerprocessen

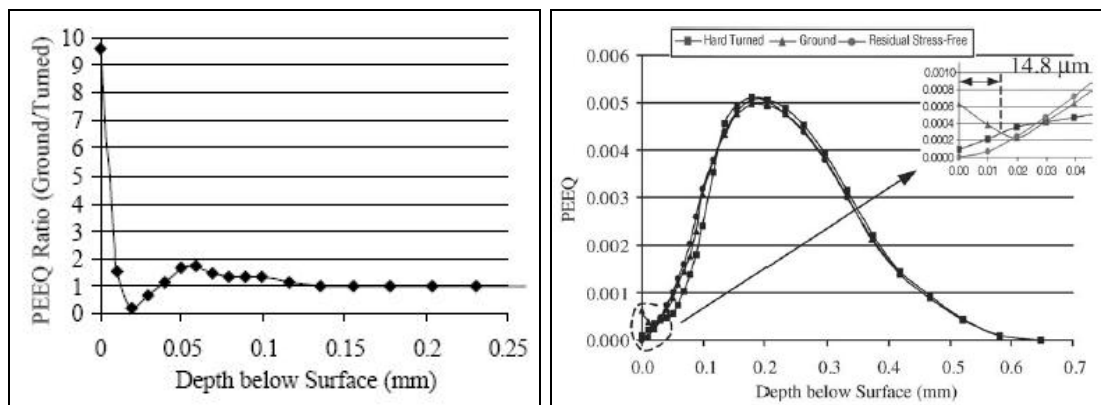
- *Slijpen*
Wanneer we het proces van gladwalsen met dat van slijpen vergelijken, kunnen we stellen dat de haalbare ruwheid bij gladwalsen gelijkwaardig is met de resultaten die behaald kunnen worden bij rond- en langsslijpen. Honen en leppen zorgen voor nog betere resultaten.
Kijken we de kostprijs, dan kunnen we algemeen stellen dat hoe fijner de gewenste ruwheid is, hoe hoger de kostprijs zal zijn.



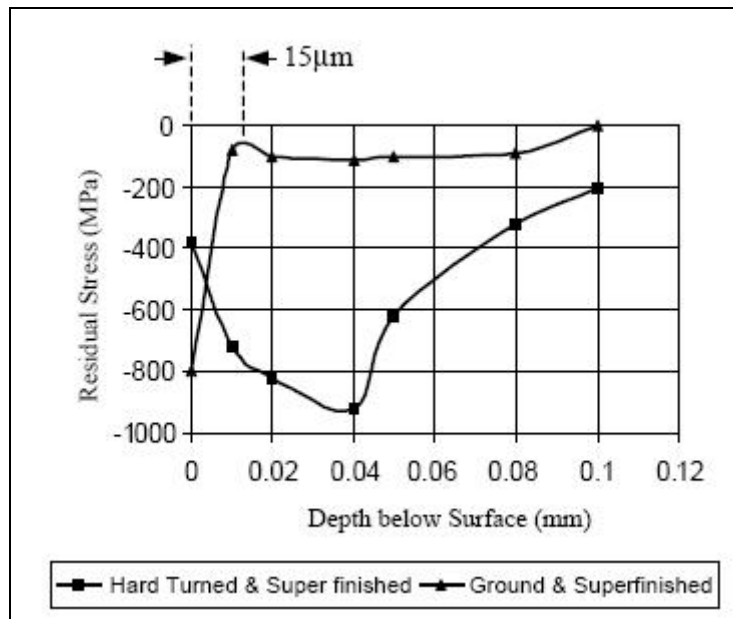
Vergelijking kosten finiseerprocessen (Bron: ECOROLL)

In de meeste gevallen zullen de kosten voor het gladwalsproces lager liggen dan deze voor bijvoorbeeld slijpen. Redenen hiervoor zijn o.a. de lange standtijd van de kogel, een eenvoudige en vlotte opspanning van het gereedschap en bovenal het feit dat het proces op eenzelfde machine kan plaatsvinden. Wel moet worden opgemerkt dat het hier om eenvoudige (deel)geometrieën gaat, waar de diameter van de kogel (3,6 of 13mm) overal aan kan zonder te botsen.

Aan de universiteit van Alabama, VS, werden hardgedraaide (en daarna gewalste) en geslepen kogellagers met elkaar vergeleken. Men stelde vast dat in 90 procent van de gevallen de hardgedraaide 1,11 keer langer meedingen dan de geslepen.



Tot 15 μm diepte onder het oppervlak hadden de geslepen kogellagers meer plastische vervorming dan de hardgedraaide, aan het contactoppervlak tot wel 10 keer meer. Hoge plastische vervorming aan het oppervlak verhoogt de doorgroei van cracks bij het slijpen.



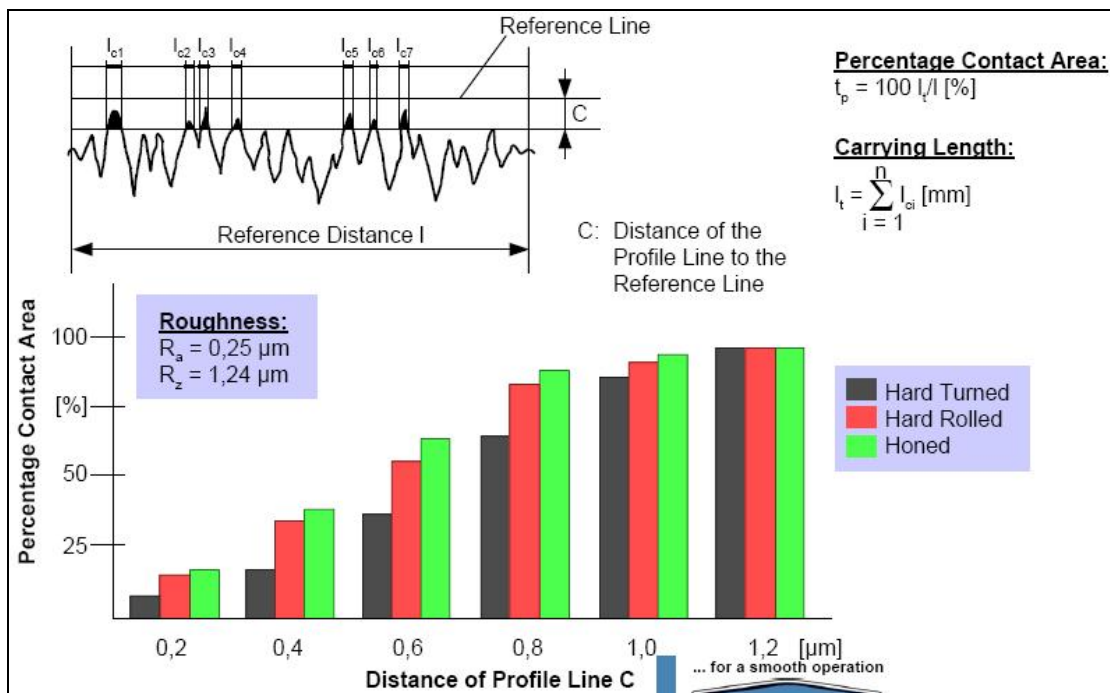
Residuele spanning kogellagers (Bron: Elsevier)

De residuele spanning bevindt zich zowel voor de hardgedraaide (en gewalste) als de geslepen kogellagers in het gebied van drukspanningen. Voor de geslepen lagers is de breedte van de positieve helling ook 15 µm breed (zie bovenstaande figuren). Hieruit volgt dat een negatieve helling voor de residuele spanning aan het oppervlak beter is dan een positieve helling.

- **Honen**

In vergelijking met honen heeft gladwalsen een kleiner dragend oppervlak. Reden hiervoor is de fijnere oppervlakteruwheid die bekomen kan worden met honen. Toch moeten bij de keuze van het proces er telkens volgende factoren worden afgewogen:

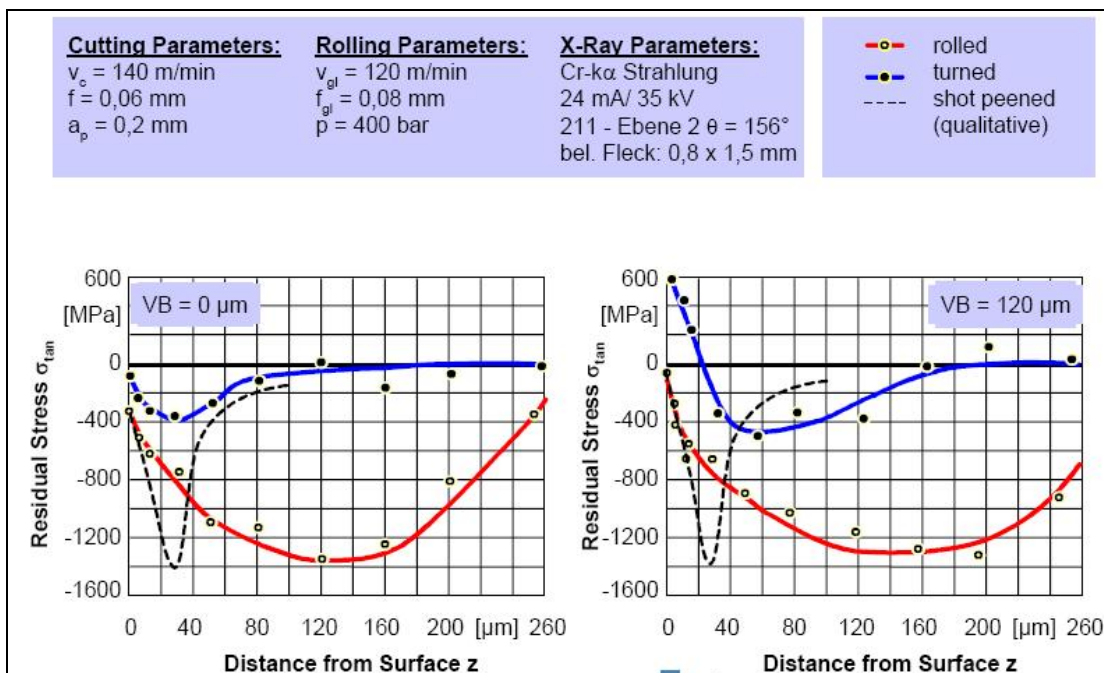
- de kostprijs (is een extra machine nodig of niet?)
- de gewenste residuele spanningssoort
- de geometrie.



Dragend oppervlak harddraaien-gladwalsen-honen (bron: ECOROLL)

- **Shotpeenen**

Wat de residuele spanningen betreft, is de grootte van de drukspanning gelijk aan deze voor gladwalsen, maar de diepte is beperkt (tot 60 μm onder het oppervlak). Scheuren die zich vormen op 100 μm onder het oppervlak kunnen dus nog gaan propageren naar het oppervlak toe.



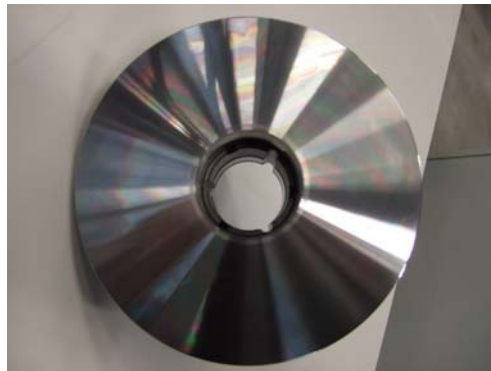
Vergelijking residuele spanning shotpeenen - gladwalsen (Bron ECOROLL)



Casestudie: Punch Powertrain

Voor Punch Powertrain werd een project uitgevoerd, waarbij schijven voor continu variabele transmissiesystemen werden glad gewalst en waarbij er een vergelijking werd gemaakt op kostprijs ten opzichte van slijpen.

Het product betreft een schijf voor een CVT-systeem (Continu Variabele Transmissie). Als eindbewerking wordt het conisch gedeelte geslepen. Dit deelproces is momenteel erg duur en het bedrijf wilde weten of het technisch haalbaar en economisch interessant is om het slijpen te vervangen door gladwalsen.



Schijf

Conclusie bij het project is dat voor de productie van 5.000 stuks er weinig verschil in kostprijs is tussen de twee deelprocessen. Wel zien we een merkbaar verschil in de procestijd: het gladwalsen is bijna twee keer sneller dan het slijpen, waardoor de totale productietijd danig verkort. Daarbij dient men rekening te houden met andere kostenfactoren, zoals het afvalmateriaal dat geproduceerd wordt bij slijpen, maar niet bij gladwalsen. Ten slotte mogen we niet vergeten dat de residuele spanningen die ontstaan bij gladwalsen positiever zijn dan deze bij slijpen.

Bron

Collectief onderzoeksproject 'Gladwalsen van harde en geharde onderdelen', uitgevoerd met steun van het IWT.

Contact

Sirris, Jef Loenders
Jef.Loenders@sirris.be