

OPTIMALISATIE VAN
MECHANISCHE
BEWERKINGEN VOÛR HET
OPPERVLAKTEHARDEN
BIJ LAGE TEMPERATUUR

REPRODUCEERBARE RESULTATEN
VERHOOGDE OPPERVLAKTEHARD-
HEID
HOOGSTE CORROSIEBESTENDIGHEID
VERBETERDE DIFFUSSIEDIEPTE





DE INVLOED VAN DE MECHANISCHE BEWERKING MINIMALISEREN VOOR OPTIMALE RESULTATEN

Bodycote S³P, met de gedeponeerde processen Kolsterising[®] en S³P ADM, is een groep van in de handel verkrijgbare oppervlaktehardingsprocessen bij lage temperaturen (LTSH). Met deze processen kunnen harde (>1 000 HV_{0.05}) en slijtvaste oppervlakken worden verkregen op componenten van roestvast staal, terwijl de superieure corrosie-eigenschappen behouden blijven. Oppervlakteharding wordt meestal uitgevoerd na de laatste bewerkingsstap en is een van de laatste productiestappen voordat een component klaar is voor gebruik.

Optimale resultaten wat betreft hardheid, diffusiediepte en corrosiebestendigheid kunnen alleen worden bereikt met de juiste keuze van bewerkingsparameters, optionele afwerking van het oppervlak en/of warmtebehandeling voorafgaand aan de LTSH-processen. Dit overzicht geeft advies over de bewerkbaarheid van roestvast staal en aanwijzingen voor de optimale bewerkingsparameters voor roestvast staalsoorten.



Verspaanbaarheid van roestvast staal

Verspaanbaarheid wordt bepaald op basis van de totale bewerkingstijd, de levensduur van het gereedschap en de oppervlakteafwerking van het product. Het is de taak van de bewerker om de juiste parameters te vinden voor het maken van een uniforme en reproduceerbare oppervlakteafwerking tegen redelijke kosten (levensduur gereedschap en tijd). Met name voor roestvast staal heeft de oppervlakteafwerking bijzonder veel invloed op de corrosie-eigenschappen. Een glad en uniform oppervlak zonder scheuren of krassen wordt als optimaal beschouwd. De verspaanbaarheid van roestvast staal wijkt aanzienlijk af van die van regulier koolstofstaal. Met name austenitisch en duplex roestvast staal staan erom bekend dat ze moeilijk te bewerken zijn. De verspaanbaarheid wordt negatief beïnvloed door de neiging tot versteviging, slechte thermische geleidbaarheid, hoge taaiheid en vreetgedrag.

Deformatiemartensiet

Met name de neiging tot koud versteviging leidt tot het ontstaan van deformatiemartensiet op bewerkte oppervlakken. In het algemeen leiden hogere snijkrachten tot meer deformatiemartensiet. Ook vervormingsprocessen kunnen een excessieve opbouw van deformatiemartensiet tot gevolg hebben. Vervormde oppervlakken hebben een negatieve invloed op diffusieprocessen als Kolsterising® en S³P ADM. De diffusiediepte en hardheid kunnen lager uitvallen. Daarnaast kan er ook een verminderde corrosiebestendigheid ontstaan.

Austenitisch roestvast staal kan magnetisch worden, een ongewenste bijwerking bij veel toepassingen. Het is mogelijk om de hoeveelheid deformatiemartensiet direct te meten met speciale meetapparatuur. De hoeveelheid ongewenste deformatiemartensiet kan worden verminderd door bepaalde warmtebehandelingen en technieken voor oppervlaktemodificaties die in dit overzicht worden behandeld.

Sulfide-houdende legeringen zijn geen optie als grote corrosiebestendigheid vereist is

Om de verspaanbaarheid te verbeteren, kan een bepaalde hoeveelheid zwavel worden vermengd met het roestvast staal maar dit wordt niet aangeraden daar zwavel mangaansulfide-naalden in het materiaal vormt. Hierdoor ontstaat niet alleen een zwakke plek die kan afschilferen, het is daarnaast ook gevoelig voor corrosie. Als er zich een sulfide-naald op het oppervlak van een bewerkt onderdeel bevindt, wordt de vorming van de passieveerlaag (typisch voor RVS) dit gedeelte gehinderd. In een corrosieve omgeving is aantasting door corrosie waarschijnlijker. De corrosiebestendigheid van deze verhinderd is significant lager dan de weerstand van standaard gelegeerd austeniet. Dergelijke kwaliteiten zijn daarom niet geschikt voor het gebruik in een corrosieve omgeving. Aanvullende informatie omtrent de invloed van zwavel op de corrosiebestendigheid wordt gegeven in een speciale 'Spotlight', (S³P: Over zwavel bij corrosiebestendige staalsoorten).

Bewerkingsprocessen beïnvloeden de resultaten van het oppervlakteharden op lage temperaturen

Op de volgende pagina's wordt een overzicht gegeven van de invloed van de verschillende bewerkingsprocessen op de resultaten van de technieken van het oppervlakteharden bij lage temperaturen, zoals de S³P-processen van Bodycote (Kolsterising® en S³P AMD). Voor optimale resultaten moet rekening worden gehouden met het gebruik van legeringen met een laag zwavelgehalte en geoptimaliseerde bewerkingsparameters. Gereedschappen die gebruikt worden voor de bewerking van niet-gelegeerd staal mogen niet voor het bewerken van roestvast staal worden gebruikt daar verontreiniging niet kan worden voorkomen. Indien nodig kunnen extra nabewerkingsmethodes worden toegepast.



BEWERKING MET GEOMETRISCH BEPAALDE SNIJRAND

Draaien en frezen

Roestvaste staalsoorten, met name van austenitische en duplexkwaliteit, neigen tot de vorming van een rand tijdens de bewerking. Als gevolg van de slechte thermische geleidbaarheid van roestvast staal is een extra warmte-ontwikkeling te verwachten. Voor het bereiken van optimale resultaten na het oppervlaktehardten bij lage temperaturen moet rekening gehouden worden met de volgende punten*:

- Vergeleken met koolstofstaal is er meer kracht nodig voor het bewerken van roestvast staal. De machine dient daarom geschikt te zijn voor het bewerken van roestvast staal kwaliteiten.
- Gereedschap en armaturen moeten zo stijf mogelijk zijn om trillingen te voorkomen die tot een ongelijke oppervlakteafwerking zouden kunnen leiden.
- Er dient een positieve aanvoersnelheid te worden aangehouden tijdens de gehele bewerkingscyclus om excessieve koudlassen te voorkomen.
- Een lagere snijdiepte leidt tot een vermindering van het koudlaseffect op het oppervlak.
- Het gebruik van lagere snij snelheden moet worden overwogen, daar te hoge snelheid leidt tot grotere slijtage van het gereedschap, slechtere oppervlakteafwerking en tot vroegtijdige vervanging van het gereedschap kan leiden.
- Het gereedschap moet scherp worden gehouden om de frictie tussen gereedschap en spaan tot een minimum te beperken. Een scherpe snijrand levert de beste oppervlakteafwerking op.
- Het gebruik van snijvloeistoffen, speciaal bedoeld voor roestvast staal, wordt aanbevolen. Roestvast staal is een slechte thermische geleider zodat koeling dringend noodzakelijk is.

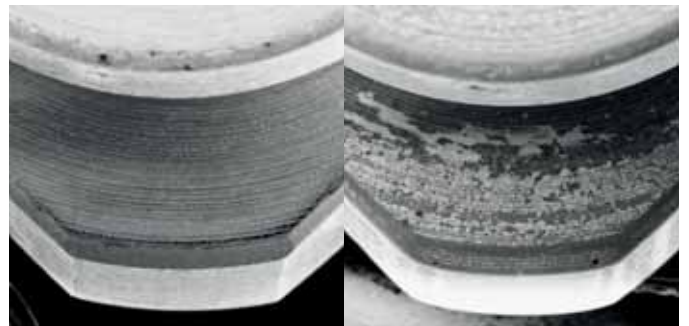


Fig. 1: Gedraaid oppervlak van roestvast staal. Links: scherp gereedschap en aangepaste bewerkingsparameters zorgen voor een regelmatige oppervlaktekwaliteit. Rechts: versleten gereedschap en hoge snijkrachten leiden tot 'smeer-effecten' met verminderde corrosiebestendigheid, vervormingen en een slechte diffusie.

Nu deze invloedsfactoren bekend zijn kan een goede oppervlaktekwaliteit met minimale koudlassen (deformatiemartensiet) worden bereikt, hetgeen uiteindelijk leidt tot:

- hogere diffusiediepte met een toegenomen levensduur
- hogere oppervlaktehardheid (daar er meer koolstof/stikstof opgelost kan worden)
- stabiele of zelfs verbeterde corrosiebestendigheid

Als een goede bewerkingsprocedure niet tot voldoende resultaten leidt na het oppervlaktehardten bij lage temperaturen (LTSH), moeten extra bewerkingen zoals een oplosgloeibehandeling en/of elektrolytisch polijsten voorafgaand aan het hardingsproces worden overwogen. Fig. 1 toont de invloed van gereedschapslijtage op de resultaten na een LTSH-proces.

* Bron: Thyssen Krupp VDM "Verarbeitungshinweise für austenitische Edelmehle und Nickelbasislegierungen"

NA HET MECHANISCH BEWERKEN...

Als gevolg van restanten van eerdere processen, eventueel een aangetast oppervlak, kan het nodig zijn om bepaalde nabewerkingsprocessen toe te passen na het mechanisch bewerken en voorafgaand aan het oppervlakteharden. Deze maatregelen zijn niet allemaal verplicht maar veel ervan worden wel aanbevolen.

Chemisch reinigen, ontvetten, beitsen

Chemisch reinigen en ontvetten is een verplichte processtap na het bewerkingsproces en voorafgaand aan elke vorm van warmtebehandeling (incl. oppervlakteharden bij lage temperaturen). Schone en gladde oppervlakken zijn van groot belang voor de ongehinderde diffusie van koolstof en/of stikstof in de oppervlakte van het onderdeel.

- Resten van eerdere productiestappen kunnen de diffusie remmen, waardoor de diffusiediepte en oppervlaktehardheid afnemen.
- Tevens kunnen resten leiden tot vlekken na de behandeling, die niet altijd kunnen worden verwijderd.
- IJzerdeeltjes kunnen tot plaatselijke corrosieve leiden (vliegroest).

Aanvullend oppervlaktereïnen, beitsen en/of passiveren kan noodzakelijk zijn om de corrosie-eigenschappen van de bewerkte onderdelen verder te verbeteren. Bij het beitsen is het bijvoorbeeld mogelijk om deformatiemartensiet te verwijderen die gevormd was bij eerdere bewerkingsstappen.

Warmtebehandeling

Afhankelijk van de roestvast-staalkwaliteit en de beoogde toepassing kan een warmtebehandeling voorafgaand aan het oppervlakteharden bij lage temperatuur noodzakelijk zijn:

- Aanvullend oplosgloeien van austenitische en Nikkelbasislegeringen kan een optie zijn om het corrosiegedrag van de oppervlakte-geharte onderdelen te verbeteren.
- Martensitisch en precipitatiehardende (PH-)kwaliteiten moeten in een staat verkeren die warmtebehandeling toestaat (verouderd of gehard).

Glijlijpen (trommelen)

Glijlijpprocessen zijn rendabele methoden om machinedelen te reinigen, drogen, ontbramen of polijsten. Daar roestvast staal relatief zacht is, dienen de parameters worden aangepast aan dit materiaal, zodat er een goede oppervlaktekwaliteit ontstaat en er weinig deformatiemartensiet wordt gevormd. De invloed van de glijlijp-parameters op het oppervlak van de roestvaststalen onderdelen wordt getoond in fig. 2.

- In het algemeen moet de nabewerkingstijd kort zijn.
- Gebruikte compounds of slijpmiddelen moeten vrij zacht zijn.
- De hiervoor bestemde machines en hulpstukken zijn aanbevolen voor het bewerken van roestvast staal om ferritische verontreiniging te voorkomen, wat de corrosiebestendigheid zou verlagen.
- Na afloop wordt het goed reinigen en drogen aanbevolen, zodat de corrosie-eigenschappen behouden blijven. Restanten van afwerkings- of droogprocessen zoals mengsels, schuurmiddelen of organische materialen belemmeren eveneens de diffusie tijdens het proces bij lage temperaturen.



Glad oppervlak voor de beste resultaten na oppervlakteharden bij lage temperatuur

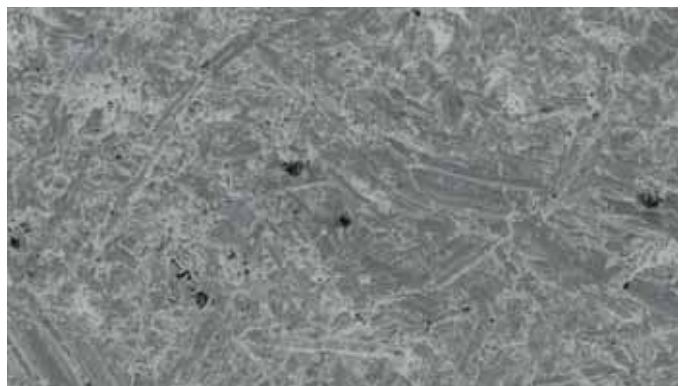


Fig. 2: Roestvaststalen oppervlak na glijlijpen (trommelen). Links: glad oppervlak (Ra 0,17) met kleine foutjes, bereikt met aangepaste parameters en zachte schuurmiddelen. Rechts: grove oppervlakteafwerking (Ra 0,56), abrasieve insluitingen en overmatige vorming van deformatiemartensiet, wat leidt tot slecht corrosie- en diffusiegedrag.



Elektrolytisch polijsten

Elektrolytisch polijsten als laatste stap voorafgaand aan het diffusieproces bij lage temperatuur kan de oppervlaktekwaliteit van bewerkte onderdelen aanzienlijk verbeteren.

- Micropieken en -dalen op het oppervlak worden gladgemaakt.
- Sterk aangetaste oppervlaktedelen (tot 50 μm) kunnen worden verwijderd, hetgeen leidt tot een ongehinderde diffusie van koolstof- en/of stikstofatomen in het oppervlak. Oppervlaktehardheid en diffusiedieptes kunnen worden vergroot.
- Het resultaat is in het algemeen een grotere corrosiebestendigheid en een betere optische kwaliteit.

Stralen

Stralen, met name zandstralen, wordt niet aanbevolen voor roestvaststalen componenten als de hoogste corrosiebestendigheid vereist is. Fig. 3 toont de invloed op de oppervlaktekwaliteit en het diffusieresultaat van stralen en elektrolytisch polijsten van een AISI 316L voorafgaand aan het oppervlakteharderen bij lage temperatuur.

- Na het stralen is de oppervlakteruwheid aanzienlijk groter, met als gevolg een grotere waarschijnlijkheid van een aanval in een corrosieve omgeving, waar bijvoorbeeld chlorides zich kunnen verzamelen in de gevormde putten en groeven.
- Resten van slijpmiddelen kunnen in deze groeven blijven zitten en zo corrosieve aanvallen verder doen toenemen.
- Hoge optredende bewerkingskrachten tijdens dit soort processen leiden tot overmatige vorming van deformatiemartensiet op het oppervlak, waardoor niet-uniforme diffusieresultaten ontstaan.



Gladde, homogene en uitscheidingsvrije diffusiezone op elektrolytisch gepolijst roestvaststalen oppervlak



Ruw oppervlak en niet-uniforme diffusiezone na zandstralen wat leidt tot een aanzienlijk lagere corrosiebestendigheid en slecht mechanisch gedrag

Fig. 3: Vergelijking van LTSH-resultaten voor AISI 316L na elektrolytisch polijsten (links) en zandstralen (rechts). Zandstralen leidt tot plaatselijke grote deformaties met overmatige vorming van deformatiemartensiet. Diffusie wordt verhinderd en de corrosiebestendigheid verlaagd. De elektrolytisch gepolijste oppervlakken leiden tot een foutloze en homogene diffusiezone.



FIJNMECHANISCHE BEWERKINGEN

Slijpen en honen

De behoefte aan fijnmechanische bewerkingen komt voort uit de nauwe toleranties die nodig zijn in bepaalde technische toepassingen. Slijpen en honen zijn bewerkingsmethodes met een geometrisch ongedefinieerde snijrand. De materiaalverwijdering gebeurt door schuurmiddelen, bijv. Al_2O_3 of SiC, die zijn opgenomen in respectievelijk een slijpwiël of honen-stenen. Met de juiste procesparameters en schuurmiddelen zijn fijne oppervlakte kwaliteiten haalbaar. De oppervlakte kwaliteit heeft grote invloed op de corrosie-eigenschappen en het diffusiegedrag. Als gevolg van hoge verspaningskrachten wordt meer deformatiemartensiet gevormd welke de diffusieresultaten op geslepen en gehoonde onderdelen nadelig beïnvloedt. Als gevolg daarvan kan de corrosiebestendigheid aanzienlijk verlagen. Daarom is het van groot belang dat de slijp- en honenparameters voor roestvast staal worden aangepast, met name als het oppervlakteharden na de bewerking noodzakelijk is.

- Druk- en snijkrachten moeten zo laag mogelijk zijn om de vorming van deformatiemartensiet te beperken en overmatige verhitting van het oppervlak te voorkomen. Daar de thermische geleiding van roestvast staal laag is, is de juiste koeling noodzakelijk.
- Gereedschappen mogen geen ijzer of chlorides bevatten.
- Er moeten altijd scherpe gereedschappen worden gebruikt. Zonder scherpe gereedschappen neemt de temperatuur van het oppervlak toe wat leidt tot 'opstropen' en 'smeren' in plaats van het beoogde snijden. Uiteindelijk kan dit een sterke reductie van de corrosiebestendigheid tot gevolg hebben. Zelfs delaminatie van het ernstig vervormde oppervlaktegebied is mogelijk.
- Aanvullende nabewerkingen (bijv. elektrolytisch polijsten) en/of gloeien dient voorafgaand aan het oppervlakte hardingsproces in overweging te worden genomen voor maximaal resultaat.



Fig. 4: Gehoond oppervlak van roestvast staal. Rechts: hoge snijkrachten en versleten gereedschap leiden tot een oppervlak dat eerder vervormd dan gesneden is. Links: lage krachten en scherp gereedschap zorgen voor een duidelijk slijppatroon, wat typerend is voor normale honen-behandelingen. Minder deformatie, warmte-invoer en 'smeren' leidt tot beter diffusiegedrag en verbeterde corrosiebestendigheid.

VORMEN EN SNIJDEN

Omvormen

Roestvast stalen plaatmateriaal wordt vaak gevormd door processen als dieptrekken, persen of stansen. Door de neiging tot koudlassen leiden grote deformaties tot een toename van sterkte en hardheid van het materiaal. Als de deformatie te groot is, zijn er één of meerdere gloeistappen nodig om de ontstane spanningen te verminderen. Anders kunnen de vervormde plaatmetalen scheuren. Daarbij komt dat grote deformaties uiteindelijk leiden tot een overmatige hoeveelheid deformatiemartensiet op het oppervlak, wat het diffusiegedrag en de corrosiewerende eigenschappen na het oppervlakteharding negatief beïnvloedt. Voor optimale resultaten na het oppervlakteharding bij lage temperatuur, moeten voor diepgetrokken, geperste of gestanste onderdelen de volgende richtlijnen in acht worden genomen:

- Gloeien wordt aanbevolen om de verhoogde sterkte (kans op scheurvorming) als gevolg van koudvervorming te reduceren.
- Als gevolg van koudverstevigende eigenschappen van roestvast staal is er hogere druk nodig voor dieptrekken, persen of stansen.
- Als gevolg van de neiging van roestvast staal tot vreten, dient de frictie zo laag mogelijk te zijn tijdens de vormingsactiviteiten. Dit kan worden bereikt door goede smering en coaten van de matrijs.

Stansen en ponsen

In plaats van tijdrovende bewerking kan stansen en ponsen een snelle en rendabele methode zijn om eenvoudige geometrische delen te maken, met name in massaproductie.

- Afhankelijk van de gekozen methode kan nabewerking en ontbraming nodig zijn. Bramen en oppervlakteonregelmatigheden doen zich voor in de zogenaamde breukzone. In dit gebied is het materiaal eerder afgebroken dan dat het gesneden is. De eigenschappen van roestvast staal leiden tot enkele beperkingen, waar rekening mee moet worden gehouden.
- De neiging tot vreten vereist coating van het gereedschap en de juiste smering. Als gevolg van koudlassen zijn de snij-/ponskrachten aanzienlijk hoger vergeleken met koolstofstaal. De grote taaiheid van roestvast staal kan leiden tot 'smeren' en overlappen van materiaal in de snijzone.
- Dit leidt niet alleen tot de overmatige vorming van deformatiemartensiet maar ook tot scheuren die een zwakke plek voor corrosie kunnen worden.
- Een optie voor het verbeteren van de oppervlaktekwaliteit na het stansen is fijnstansen. Deze methode heeft een betere oppervlaktekwaliteit tot gevolg. De nabewerking kan worden overgeslagen, hetgeen de hogere kosten van het gereedschap compenseert.

Fig. 5 toont de breukzone na het ponsen en het daaropvolgende oppervlakteharding bij lage temperatuur (links). Sterke deformatie en slechte oppervlaktekwaliteit in de breukzone leiden tot lage diffusiediepte.



Een hoge deformatiegraad leidt tot lage diffusiediepte en plaatselijke defecten in de diffusiezone



Een lage deformatiegraad leidt tot hoge diffusiediepte en verbeterde corrosiebestendigheid

Fig. 5: Oppervlaktegehard roestvaststalen component. Links: Geponst oppervlak. Onregelmatig en ernstig vervormd (donkere gebieden) oppervlak. Verminderde diffusiediepte en verzwakte corrosie-eigenschappen in deze zone. Rechts: hetzelfde onderdeel doorboord in plaats van gestanst. Minder deformatie en gelijkmatige oppervlaktekwaliteit leiden tot hogere diffusiediepte en verbeterde corrosie-eigenschappen.



GIETPROCESSEN EN POEDERMETALLURGIE

Gieten

Verschillende gietmethodes zoals zandgieten en spuitgieten kunnen worden gebruikt om onderdelen te vormen, met complexe maatvoering, in één processtap. Toch is de oppervlaktekwaliteit van het gegoten onderdeel vaak niet voldoende voor de technische toepassing en is nabewerking noodzakelijk.

- Onzuiverheden in het oppervlak of in het kernmateriaal na het gieten kunnen zorgen voor lagere corrosie eigenschappen en mechanische eigenschappen ten opzichte van gesmeed materiaal met vergelijkbare compositie. Insluitingen van gietslak of zand op het oppervlak kunnen ook een negatieve invloed op de corrosiebestendigheid uitoefenen.
- Als gevolg van de vrij langzame koelsnelheid is de vorming van een deels ferritische structuur (δ -ferriet) mogelijk. Als δ -ferriet-aandeel 3 vol % overschrijdt, wordt een negatieve invloed op het diffusiegedrag en de corrosiebestendigheid verwacht. Het is mogelijk om de δ -ferriet-aandeel na het gieten te verminderen met aanvullende warmtebehandeling.

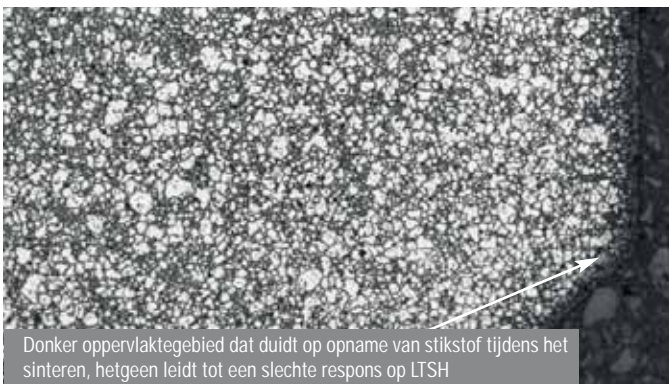


Aanvullende productiemethoden

Aanvullende productiemethoden, zoals Metal Injection Moulding (MIM) en Selective Laser Melting (SLM) zijn relatief nieuwe productiemethoden op basis van poedermetallurgie. Alle processen van deze groep zijn in principe geschikt voor het bewerken van roestvast staal. Terwijl MIM-processen geschikt zijn voor grote hoeveelheden, zijn de processen op basis van SLM geschikt voor het produceren van zelfs één enkel onderdeel.

MIM processen zijn vergelijkbaar met de processen van polymersputgieten. Metaalpoeder wordt gemengd met een polymeer bindmiddel en gevormd met spuitgietmachines. Na het gietproces moet het bindmiddel worden verwijderd en het metaalpoeder moet worden verbonden door het sinteren in een smeltoven onder vacuüm of beschermgas.

- Het gebruikte beschermgas kan van invloed zijn op de resultaten als een MIM-onderdeel gekolsteriseerd wordt.
- Typische gassen zijn een mengsel van waterstof en stikstof (H_2/N_2) die een reducerende atmosfeer vormen om oxidatie te voorkomen. In sommige gevallen kan de stikstof worden opgenomen in het oppervlak van het gesinterde onderdeel, waardoor verdere diffusie door LTSH wordt verhinderd.



- Als stikstof problemen oplevert tijdens de sintering, dient als alternatief het sinteren onder vacuüm te worden overwogen.

Fig. 6 toont een gesinterd onderdeel met een aangetast oppervlak door stikstofdifфуsie in een H_2/N_2 -atmosfeer. Een daaropvolgende boorbewerking (rechter afbeelding) verwijderde het aangetaste oppervlak. In dit gebied is ongehinderde diffusie mogelijk.

SLM processen zijn een groep processen welke onderdelen produceren vanuit een poederbed met een laserstraal. De onderdelen worden laag voor laag opgebouwd waardoor er bijna geen geometrische beperkingen zijn. Een nadeel is de relatieve slechte oppervlaktekwaliteit, waardoor er behoefte aan nabewerking ontstaat. Daarnaast moeten de optimale procesparameters worden gevonden voor een zo laag mogelijke porositeit.

- Poriën kunnen mechanische eigenschappen en corrosiebestendigheid verminderen.
- De buitenste porositeit en oppervlakte fouten kunnen worden beperkt door aangepaste nabewerking.
- De inwendige porositeiten kunnen worden gesloten door hot isostatic pressing (HIP). Door dergelijke processen wordt de mechanische sterkte verder verhoogd.

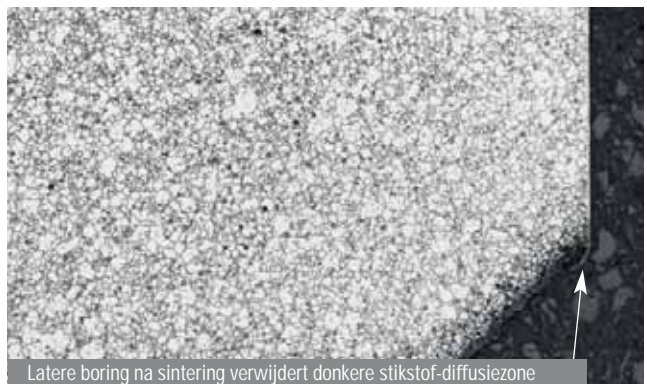


Fig. 6: Dwarsdoorsnede gesinterde, roestvaststalen MIM-onderdelen. Stikstofdifфуsie (donkere oppervlaktegebied) voorkomt ongehinderde diffusie en hoge oppervlaktehardheid na LTSH. Een daaropvolgende booroperatie (rechts) verwijdert gedeeltelijk de stikstofdifфуsiezone. In dit gebied is ongehinderde diffusie mogelijk.

www.bodycote.com

