

Hoofdstuk 7

Herkennen van problemen en de oplossingen

Elke goede oplossing begint met een zorgvuldige definitie van het probleem. De moeilijkheid bij het oplossen van een slijtage- en/of corrosieprobleem zit dan ook minder in het vinden van de weg in het grote aanbod van materialen en processen. Veel meer is het lastig te herkennen welke soort slijtage of corrosie nu precies een rol speelt. Dit hoofdstuk is dan ook bedoeld om stap voor stap een probleem te analyseren. Hiervoor zijn vragen, schema's en referentiebeelden opgenomen, waarmee op een gestructureerde manier de inhoud van dit en de vorige hoofdstukken kan worden gebruikt om een probleem zo duidelijk mogelijk te beschrijven. Waar mogelijk worden ook oplossingen aangegeven. De langs deze weg opgestelde probleemdefinitie kan ook worden gebruikt om samen met leveranciers of specialisten oplossingen te zoeken.

Figuur 7.1 geeft het proces weer om van probleem tot oplossing te komen. Het is een gesloten kringloop waar op twee plaatsen kan worden ingestapt, afhankelijk of het probleem te maken heeft met een nieuw of een bestaand product.

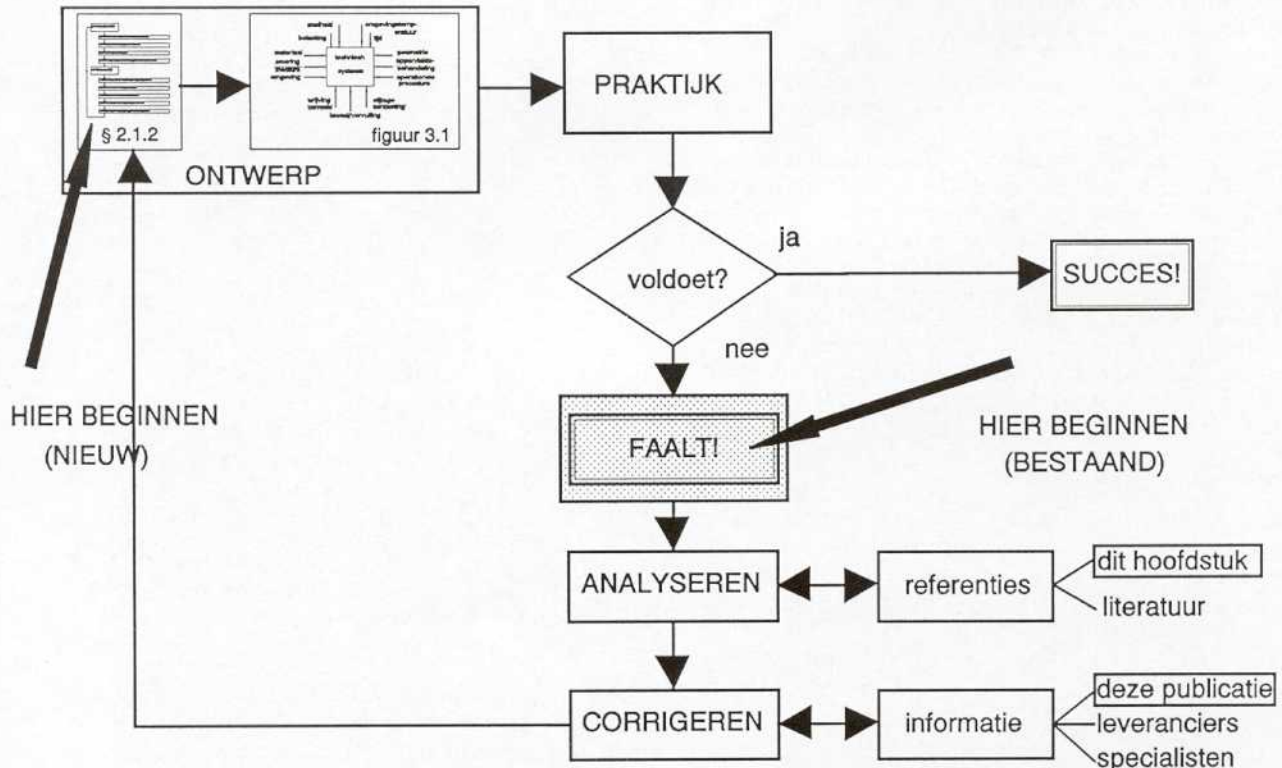
Centraal staan de 16 basiscriteria van § 2.1.2, die voor elk (her)ontwerp moeten worden gekwantificeerd. Het resultaat is een systeem dat in zekere mate voldoet aan de eisen voor slijtage en/of

corrosiebestendigheid. Is kwantificering niet mogelijk, dan zullen de parameters ten minste kwalitatief moeten zijn bepaald en moeten er testen volgen. Het maakt niet uit of dit in het laboratorium gebeurt of direct in het veld. In de kringloop kan 'praktijk' eenvoudig worden vervangen door 'testen'. Blijkt het gedrag niet te voldoen, dan volgt een analyse. Hierbij wordt gebruikgemaakt van referenties waarvan een belangrijk aantal in de vorm van beelden in dit hoofdstuk is opgenomen. Ook kan hiervoor relevante literatuur worden geraadpleegd. Na de analyse volgen corrigerende maatregelen. De hiervoor benodigde informatie kan worden gevonden in deze voorlichtingspublicatie, bij leveranciers of bij specialisten. Aanpassing van de relevante basiscriteria resulteert in een bijstelling van de materiaal- en/of proceskeuze en geeft nieuwe systeemparameters waarmee het praktisch gedrag opnieuw bekeken wordt.

Bij een bestaand product wordt gestart met de analyse, waarbij het nodig kan zijn eerst door aanvullend onderzoek de (belangrijkste) niet-bekende systeemparameters te bepalen. Het resultaat van elke stap in de kringloop moet worden vastgelegd. Vooral omdat elke niet benoembare parameter de onzekerheid vergroot. In het overleg met leverancier en/of specialist is het belangrijk dit aan te kunnen geven.

7.1 Analyse

De analyse heeft de structuur van een gesloten enquête. Elke vraag wordt gevolgd door twee of meer antwoorden, waar een keus uit moet worden gemaakt. Waar nodig wordt per vraag een korte toelichting gegeven of wordt verwezen naar een



figuur 7.1 Kringloop van probleem tot oplossing

paragraaf waar meer informatie te vinden is. Is de keuze gemaakt, dan volgt een aanwijzing naar de volgende vraag. Combinaties van effecten worden zoveel mogelijk vermeden. Waar dit te verwachten is wordt aangeraden wel de analyse uit te voeren, maar voor de oplossing te overleggen met een specialist.

VRAAG 1

Betreft het een nieuw of een bestaand produkt?

antwoord 1a Nieuw → ga door met vraag 2
antwoord 1b Bestaand → ga door met vraag 11

toelichting

Het antwoord op de vraag is bepalend voor de plaats waar de kringloop van figuur 7.1 wordt gestart. Bij een bestaand probleem wordt ervan uitgegaan dan er schade is door corrosie en/of slijtage. Door vergelijken met typische voorbeelden kan in dat traject worden getracht om de schade te typeren. Hiervoor is een schema opgenomen waarmee de mogelijk optredende slijtagevorm wordt bepaald. Vervolgens worden voor de verschillende schadetyperen enkele mogelijke oplossingen genoemd. Voor complexere gevallen zal de hulp van een specialist moeten worden ingeroepen. Voor een nieuw product is dit niet mogelijk.

VRAAG 2

Betreft het een lagertoepassing?

antwoord 2a Nee → ga door met vraag 3
antwoord 2b Ja → kies een geschikt laagsmeltend materiaal of koperlegering, voor bijzondere gevallen aluminiumoxide.

toelichting

Deze vraag heeft betrekking op gesmeerde lagers. Ongesmeerde lagers worden later behandeld als langs elkaar bewegende vlakken waarbij slijtage slechts beperkt toelaatbaar is. De keuze voor een lagermateriaal wordt niet direct beperkt door een opspuit- of oplasmateriaal. Voor de keuze gelden normale ontwerpuitgangspunten. Zowel lagermaterialen met een laag (babbitts) als een hoog smeltpunt (koperlegeringen) zijn te verwerken. De poreusheid van een spuitlaag kan worden gebruikt om zelfsmerende lagers te maken. Verder geeft opspuiten de mogelijkheid om een dunne looplaag aan te brengen op materialen die zelf geen goede loopeigenschappen hebben. Oplassen wordt doorgaans alleen bij reparaties gedaan. Er zijn ook speciale spuitmaterialen op basis van molybdeen voor extremere omstandigheden beschikbaar, bijvoorbeeld als er bij hoge lagertemperaturen ook noodloopeigenschappen nodig zijn. Tenslotte zullen veel 'gewone' materialen betere loopeigenschappen hebben als zij worden gespoten. Dit berust op de aanwezigheid van harde oxiden. Moet een lager elektrisch isolerend zijn, dan kan hiervoor plasmagespoten aluminiumoxide worden gebruikt. Chromoxide heeft door zijn lage wrijvingscoëfficiënt zeer goede lagereigenschappen. Dit geldt ook voor thermisch gespoten legeringen op molybdeenbasis.

VRAAG 3

Wat is de te verwachten bedrijfstemperatuur?

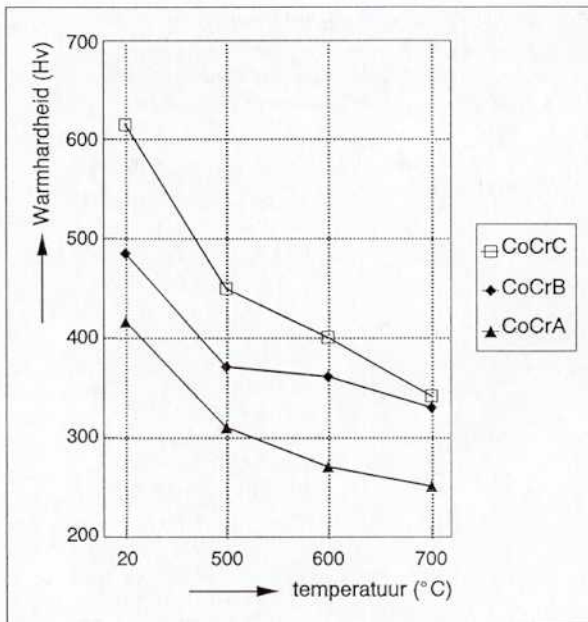
antwoord 3a $<350^{\circ}\text{C}$ → alle materialen mogelijk, pas op met smeltpunt van laagsmeltende materialen, ga door met vraag 4
antwoord 3b $350 + 600^{\circ}\text{C}$ → geen bronzen, geen molybdeen(legeringen), wolframcarbide-kobalt cermets tot 500°C .
antwoord 3c $500 + 850^{\circ}\text{C}$ → enkele ijzerbasislegeringen zijn nog geschikt tot 650°C , oppassen met oxidatiegevoeligheid (ook bij keramische materialen!), alle nikkelbasislegeringen m.u.v. nikkel-aluminiumlegeringen (tot 650°C), alle keramische materialen m.u.v. TiO_2 -houdende (tot 550°C).
antwoord 3d $>800^{\circ}\text{C}$ → raadpleeg een specialist.

toelichting

De temperatuurranges zijn globaal gesteld en overlappen elkaar daardoor ook. Sommige materialen zijn beperkter dan de klasse aangeeft. Een voorbeeld zijn aluminiumlegeringen. Deze zijn te gebruiken tot 480°C . Gelegerde staalsoorten zijn meestal te gebruiken tot 500°C . Staalsoorten met molybdeen kunnen tot 600°C worden toegepast. Boven 500°C wordt de matrix van de meeste kobalt cermets zo zacht dat de carbiden niet meer worden vastgehouden. Bovendien zal oxidatie plaatsvinden. In dat geval moet men gebruik maken van normale legeringen op kobaltbasis. Figuur 7.2 toont voor deze materialen de hardheid als functie van de temperatuur.

Ook de belasting speelt een rol, bijvoorbeeld in verband met kruipeffecten. De hier gekozen grove indeling heeft vooral te maken met extra problemen die ontstaan. Zo moet er boven 600°C rekening worden gehouden met oxidatie. Boven 800°C wordt voor de meeste materialen de oxidatie ontoelaatbaar. De martensitische en veredelde materialen verliezen boven 500°C snel hun hardheid en sterkte. Het raadplegen van de ontlaatkurve voor een bepaald materiaal in verband met bijvoorbeeld spanningsarmgloeien is daarom noodzakelijk. Deze gegevens staan gewoonlijk in de catalogus van de fabrikant (een indicatie geeft ook figuur 3.15). Boven 350°C kunnen uitscheidingen worden gevormd die tot verbrossing leiden, met als gevolg overgevoeligheid voor stotende belasting.

Beperkingen ontstaan door typische materiaaleigenschappen als smeltpunten, uitscheidings- en omzettingstemperaturen. Keuzes hierin worden bepaald door normale metallurgische ontwerpuitgangspunten, met dien verstande dat dan bijvoorbeeld van een samengesteld spuitpoeder de eigenschappen van de meest beperkende fase



figuur 7.2 De hardheid als functie van de temperatuur van enkele kobaltlegeringen (zie ook tabel 6.5)

bekend moeten zijn. Dit is normaal gesproken de fase met de laagste smelttemperatuur of een fase die ongewenste verbindingen met andere aanwezige elementen vormt. De hoogst toelaatbare temperatuur is normaal ook op te vragen bij leveranciers.

Een tweede beperking, die zwaarder gaat gelden naarmate de temperatuur hoger is, wordt gevormd door verschillen in uitzettingscoëfficiënt. Oplossen heeft hier het voordeel dat door een metallurgische binding grotere spanningen op de overgangszone worden verdragen. Dit geldt ook voor de ingesmolten spuitlagen. Snelle temperatuurovergangen en thermische schokken geven een extra grote belasting. Lagen kunnen hierdoor scheuren of eraf springen. Oplossingen zijn te vinden door meerdere lagen aan te brengen met verschillende uitzettingscoëfficiënten. Een bekend voorbeeld is 12% Cr-staal gespoten op aluminium remschijven waar de temperatuur aan het oppervlak kan oplopen tot ca. 850°C. Dit gaat heel goed als er een laag aluminiumbrons tussen zit.

Tot 350°C gelden nauwelijks beperkingen (geldt niet voor laagsmeltende metalen als babbits!). Alle materialen en processen zijn toepasbaar.

Boven 800°C zijn ook de meeste keramieken niet meer te gebruiken. Alleen speciale, zeer zuivere oxidekeramieken kunnen bij hogere temperaturen worden gebruikt. Hooggelegeerde metallische materialen met minstens 5% aluminium of 2% silicium zijn in een aantal gevallen nog te gebruiken tot ca 1000°C. Gespoten puur aluminium wordt ook wel gebruikt als oxidatiebescherming. Het zet zich bij bedrijfstemperatuur om in aluminiumoxide. Verder komen Si-rijke insmeltlegeringen nog in aanmerking, afhankelijk van het type zijn ze bestand tegen oxidatie tussen 925°C en 980°C (met een aluminium toplaag tot 1150°C).

VRAAG 4

Is er sprake van een agressief milieu?

antwoord 4a Nee → ga door met vraag 5

antwoord 4b Ja → ga door met vraag 6

toelichting

De aanwezigheid van een agressief milieu beperkt de materiaalkeuze. De combinatie met een beweging kan de situatie nog moeilijker maken omdat veel materialen bestand zijn tegen corrosie dankzij de aanwezigheid van een dunne (passieve) beschermde (oxide)laag. Door slijtage kan deze voortdurend verdwijnen. Dit geldt bijvoorbeeld voor alle legeringen met chroom. In een degelijke situatie kan de keuze voor een inert keramisch materiaal uitkomst bieden. Een andere mogelijkheid is te kiezen voor één van de zeer edele metallische nikkelbasislegeringen. De beoordeling wordt gebaseerd op normale ontwerp-inzichten, waarbij bestendigheidstabellen van de leveranciers van toevoegmaterialen over het algemeen goed bruikbare informatie verschaffen. Het is hiervoor noodzakelijk het milieu zo goed mogelijk te kennen. Onzekerheden kunnen worden afgedekt met het uitvoeren van corrosieproeven.

Milde vormen kunnen worden bestreden met het opbrengen van RVS, waarvoor diverse oplos- en opspuitmaterialen bestaan. De lagen moeten dicht zijn, dus bij spuiten bij voorkeur insmelten of HVOF-spuiten. Een andere mogelijkheid is sealen. In een waterige omgeving (elektrolytoplossing) zijn ook zink(legeringen) en aluminium(legeringen) goed bruikbaar. Dit zijn typische spuitmaterialen (schoperen) die het onderliggende staal kathodisch beschermen. De lagen hoeven dan ook niet dicht te zijn, maar moeten wel goed hechten. Anders ontstaat te gemakkelijk ondercorrosie door gebrek aan zuurstof in de spleet tussen deklaag en basismateriaal. Meer informatie over corrosie is te vinden in § 3.1. Ontwerpers die niet vertrouwd zijn met corrosie wordt aangeraden een specialist te raadplegen.

VRAAG 5

Is er slijtage te verwachten?

antwoord 5a Nee → de keuze van de deklaag valt buiten het bestek van deze publicatie.

antwoord 5b Ja → ga door naar vraag 7.

toelichting

Is het antwoord niet direct te geven ga dan door naar vraag 7.

VRAAG 6

Welk type corrosie is te verwachten?

LEES EERST TER VOORBEREIDING § 2.2.2.

antwoord 6a algemene corrosie → lees § 3.1.1 en de toelichting

- antwoord 6b** galvanische corrosie → zie toelichting
- antwoord 6c** selectieve aantasting → zie toelichting
- antwoord 6d** spleetcorrosie → lees § 3.1.2 en de toelichting
- antwoord 6e** putcorrosie → lees § 3.1.3 en de toelichting
- antwoord 6f** interkristallijne corrosie → lees § 3.1.4 en de toelichting; raadpleeg een specialist.
- antwoord 6g** spanningscorrosie → lees § 3.1.5 en de toelichting; vermijd trekspanningen
- antwoord 6h** hoge temperatuur corrosie → lees § 3.1.6 en de toelichting van vraag 3
- antwoord 6i** anders (mengvorm) → ga naar vraag 9.

ZIE OOK DE REFERENTIEBEELDEN BIJ VRAAG 16.

BEPAAAL DE CORROSIEVORM, SELECTEER MOGELIJKE OPLOSSINGEN EN GA DOOR NAAR VRAAG 10.

toelichting

De corrosiebestendigheid van een deklaag wordt bepaald door de edelheid van het materiaal en de dichtheid (poreusheid). Vooral het laatste is bij thermisch gespoten lagen een serieuze en beperkende factor. Een effectieve afsluiting van de poriën in het oppervlak is mogelijk op drie manieren: 'sealen' met een speciale kunststof, omsmelten of gebruik maken van de zelfhelende eigenschappen die sommige materialen bezitten. De corrosieproducten zijn dan zelf dicht en hechten sterk. Voorbeelden zijn zink, aluminium en silicium. Moderne HVOF spuitprocessen kunnen met speciale aandacht zulke dichte lagen opleveren, dat dergelijke maatregelen niet meer nodig zijn.

Anticiperen op een bepaald type corrosie vergt specialistische kennis van corrosieprocessen. De herkenning van het corrosietype aan de hand van eerder in een soortgelijke situatie opgetreden aantasting (bijvoorbeeld uit prototype-testen) is soms mogelijk. Bij vraag 16 worden referentiebeelden gegeven van corrosieverschijnselen zoals deze bij bestaande, door corrosie aangetaste producten zijn waar te nemen. Ook in de literatuur is veel informatie te vinden. Er zijn veel goede handboeken waarin schadegevallen worden beschreven. Zeer goed bruikbaar hiervoor is de Corrosie-atlas van Elsevier (zie literatuurlijst).

De interface is een zwakke plek bij alle deklaag-systemen. Bij veel producten is deze aan de zijkant toegankelijk voor het milieu. Blootstelling aan corrosie veroorzaakt een snelle aantasting, waarbij de deklaag van de ondergrond wordt gedrukt. Dit is te voorkomen door de zijkant goed af te dekken, bijvoorbeeld met een las over de interface.

Algemene corrosie is de enige vorm die goed speelbaar is. De corrosiesnelheid is goed te meten en kan worden gebruikt om de levensduur te berekenen. Zo valt uit proeven af te leiden wat voor een toepassing de minimale deklaagdikte moet zijn. De

lagen moeten 100% dicht zijn, dus oplassen, insmelten of sealen.

HVOF lagen behoeven in dit verband niet beter te zijn dan plasmagespoten lagen. Voor een middelmatig agressieve omgeving zijn vrijwel alle austenitische materialen goed te gebruiken. Voor zeer agressieve milieu's komen alleen inerte keramische materialen, of Ni-basislegeringen in aanmerking. Bij de olie- en gaswinning is gespoten aluminium met veel succes toegepast. Ook kunststoffen kunnen goede bescherming bieden. Mengsels van verschillende sterke zuren vragen om de bijstand van een specialist.

Galvanische corrosie is goedkoop op te lossen met zich opofferende zink of aluminiumlagen. Deze zijn alleen te spuiten. Door hun van nature aanwezige inhomogeniteit zijn deklagen zelf relatief gevoelig voor deze corrosievorm. In sterke elektrolytoplossingen moet daarom al snel worden gekozen voor relatief edeler materialen. Als de insmeltlegeringen niet voldoende weerstand blijken te hebben moeten nikkelbasislegeringen of keramische materialen worden gekozen. De lagen moeten dicht zijn.

Selectieve aantasting is vooral een probleem bij thermisch gespoten lagen. De microstructuur kent voor deze aantastingsvorm veel zwakke plekken o.a. doordat de hoge afkoelsnelheid onstabiele fases vormt met hoge inwendige spanningen en segregaties kan veroorzaken. Daarnaast bestaat de microstructuur vaak uit meerdere fasen met grote verschillen in edelheid. De minst edele fase kan preferent worden aangetast waardoor de sterkte verloren gaat. De hardmetalen op kobaltbasis zijn relatief gevoelig in sterke zuren. Echter ook keramische materialen kunnen zich onverwacht slecht gedragen. Zo kan er in SiC vrije silicium voorkomen dat in sterke zuren oplost; bij Al_2O_3 wordt dit veroorzaakt door vrije aluminium. Ook de aanwezigheid van SiO_2 kan problemen geven. Agressieve milieu's verlangen daarom de meest zuivere vorm van een materiaal. Vooral bij keramieken maakt dit de laag relatief duur.

Spleetcorrosie kan bestreden worden met materialen die goed bestand zijn tegen pitting (zie hieronder). Beter is echter om spleten door constructieve aanpassingen te voorkomen.

Putvormige corrosie wordt zeer sterk beïnvloed door de temperatuur, waarbij verschillen van $10^\circ C$ het corrosiebeeld totaal kunnen veranderen. Het is dus zaak dat het materiaal een voldoende hoge pittingtemperatuur of de PRE (zie § 3.1.3) waarde bezit. Deze zijn echter voor deklaagmaterialen nog nooit bepaald. Met de nodige voorzichtigheid kunnen de voor basismaterialen bekende waarden een richtlijn geven. Bedenk daarbij dat deklaagmaterialen (zeker opspuitmaterialen) inhomogener zijn, wat pitting in de hand werkt. Veiliger is het in milieu's die pitting veroorzaken (halogeenrijke oplossingen) voor pitting ongevoelige materialen met ten minste 50% nikkel te kiezen. Hoe hoger het nikkelgehalte, hoe groter de weerstand. Alloy B heeft zich in dit opzicht bewezen en kan zelfs beter zijn dan de gesmede equivalent. In de papierindustrie wordt putvormige corrosie aan koolstofstalen rollen effectief bestreden met fenol geseald aluminiumbrons.

De keus van het voor de toepassing meest geschikte toevoegmateriaal is complex, omdat naast de samenstelling ook andere factoren in beschouwing moeten worden genomen, zoals de laagdikte en de microstructuur. Bij opgelaste deklagen is vooral het ferrietgehalte belangrijk.

Bij lasprocessen, waarbij poeder wordt gebruikt, is het mogelijk via het poeder de chemische samenstelling van de deklaag aan te passen. Een belangrijk hulpmiddel om één en ander te voorspellen is het Schaefflerdiagram (zie § 3.3.1).

Interkristallijne corrosie kan, als oplosvloei niet mogelijk is, worden bestreden met een Mo-rijk roestvaststaaltype, gebaseerd op RVS type 316, als oplos- of opspuitmateriaal. Ook de (duurdere) Ni-basislegeringen zijn ongevoelig hiervoor. Bij oplossen moet verder het koolstofgehalte goed in de gaten worden gehouden. Door opmenging kan bij de niet gestabiliseerde roestvaste staalsoorten oplossen in twee lagen nodig zijn. Het koolstofgehalte van de neersmelt is direct afhankelijk van het koolstofgehalte van het basismateriaal, de opmenging en het koolstofgehalte van het lastoevoegmateriaal. Bijvoorbeeld, stel dat een plaat van 20Mn5 onder poeder moet worden opgelast met een roestvaststaal-band met een koolstofgehalte van 0,025%. De opmenging is 15%. Het koolstofgehalte van de eerste laag bedraagt dan: $0,20 \times 0,15 + 0,025 \times 0,85 = 0,051\%$. Hieruit volgt dat in de meeste gevallen met een oplassing in één laag een koolstofgehalte van max. 0,03% niet mogelijk is.

Spanningscorrosie in koolstofstaal (alkalisch milieu) kan worden vermeden door oplossen met RVS types 309, 316L en 310, Inconel 625 en nikkel.

Spanningscorrosie verlangt dat er geen trekspanningen in het oppervlak voorkomen. Een opgelaste RVS laag zal, vanwege de hogere uitzetting, sterker krimpen en juist trekspanningen in de laag opbouwen. Een goed aangebrachte deklaag bevat van nature hoge drukspanningen. Thermisch gespoten lagen zijn daardoor goed te gebruiken, mits goed nabehandeld met een siliconen gemodificeerde furaansealer. Bij RVS basismateriaal is het mogelijk zich opofferende dekragen te gebruiken. Een voorbeeld is een Pb-SnSb 2-2 thermisch gespoten deklaag voor chloriderijke omgeving. Een andere mogelijkheid bij RVS is opspuiten van Al met een thermische nabehandeling, waarbij dit wordt omgezet in een intermetallische FeAl-verbinding. Spanningscorrosie onder isolatiemateriaal bij RVS kan worden opgelost met siliconen-geseald gespoten aluminium.

Hoge temperatuur corrosie verlangt de aanwezigheid van stabiele, goed hechtende oxidefilms. Metallische materialen met een hoog percentage aan chroom, bij voorkeur in combinatie met enkele procenten aluminium of silicium, geven goede bescherming tegen aantasting door hete gassen en oxidatie. Ook puur aluminium geeft bescherming en wordt vaak gebruikt voor grootschalige onderdelen die met rookgassen in contact komen. Bij de eerste opwarming worden complexe Al-Fe verbindingen en aluminiumoxide gevormd. Voor gasturbine-onderdelen bestaan veel goede oplossingen. Voor het plasmaspuiten is een grote serie M-CrAlY materialen (met M = Ni, Fe of Co) beschikbaar. Ook zijn er HVOF versies van deze dekragen, maar deze zijn nog niet algemeen geaccepteerd. Als gelijktijdig erosie optreedt kunnen dekragen op basis van zirkoonoxide worden gebruikt. Ze zijn echter tamelijk gevoelig voor thermische schokken, alhoewel dit grotendeels kan worden opgevangen door het materiaal te 'stabiliseren' met yttriumoxide. Ca. 8% Y_2O_3 onderdrukt de α/β fase-overgang. Molybdeendisilicide gedraagt zich in dit opzicht nog beter, vooral als dit na het spuiten onder milde condities wordt voorgeoxideerd. Dit materiaal is in deze omgeving nog niet toegepast, maar werd met

succes gebruikt bij verwarmingselementen en hoge temperatuur luchtkanonnen. Het materiaal vormt hierbij een ondoordringbare laag siliciumoxide. De deklaag heeft ook zelfhelende eigenschappen omdat in eventuele scheuren ook siliciumoxide wordt gevormd. Voor de bescherming van oververhitterpijpen is met succes HVOF gespoten RVS type 316 en type 420 gebruikt. In sterk reducerende zwavelrijke omgeving kan Ni-50Cr worden gebruikt waarmee ook lokaal reparaties kunnen worden uitgevoerd. Voor apparaten waarin olie van lage kwaliteit wordt verstoekt adviseert men in Japan een meerlaagsdeklaag: NiCr hechtlaag, blend van NiCr met 30% Al_2O_3 en optioneel een derde laag van puur Al_2O_3 (voor meer erosieweerstand). Hoge temperatuur corrosieproblemen zijn complex maar er bestaan veel goede oplossingen met thermisch gespoten lagen. De ondersteuning door een specialist brengt deze binnen bereik.

VRAAG 7

Hoe wordt het oppervlak belast?

Antwoord 7a LOOP DOOR HET SCHEMA IN TABEL 7.1 EN GA MET HET ANTWOORD NAAR VRAAG 8.

toelichting

Aan de hand van het schema kan worden nagegaan welk type slijtage eventueel kan worden verwacht. Of en in welke mate slijtage zal optreden, hangt af van een aantal factoren:

- de grootte van de belasting;
- snelheid waarmee vlakken bewegen en de snelheid van de deeltjes;
- de aanvangs- en (lokale)bedrijfstemperatuur
- de oppervlakteruwheid;
- vorm, grootte en scherpte van abrasieve deeltjes.

Materiaalparameters als hardheid, elasticiteitsmodulus, microstructuur, oplosbaarheid van het ene materiaal in het andere bepalen gezamenlijk het effect. Zij worden gekozen op basis van normale constructieve inzichten. Leidt dit tot te dure materialen of zijn de eisen die aan het oppervlak worden gesteld strijdig met de eisen voor gehele dwarsdoorsnede (bijvoorbeeld sterkte), dan kan dit met dekragen worden opgelost.

Een aparte opmerking verdient de oppervlakteruwheid. Niet alleen is het ten aanzien van slijtage moeilijk een oppervlak goed te karakteriseren, ook de waarde van de ruwheid verdient veel aandacht. Oppervlakken met eenzelfde Ra waarde hebben of goede loopeigenschappen, of zijn geschikt om er mee te vijlen. Een hoge ruwheidswaarde kan aanvankelijk een zeer hoge slijtagesnelheid geven maar later kan de slijtage zich stabiliseren op een zeer lage waarde (inloopeffect). Een zeer glad oppervlak kan door 'klevan' een hoge slijtagesnelheid geven die later op een lagere waarde stabiliseert als het oppervlak wat ruwer is geworden. Als vuistregel kan men aannemen dat fijn slijpen een goed bruikbaar oppervlak oplevert. Dekragen moeten dan ook slijpbaar zijn. Bij lage belastingen kan ook een fijngedraaid oppervlak nog acceptabel zijn. Lees voor meer informatie de hoofdstukken 2 en 3.

tabel 7.1 Schema voor het bepalen van het type slijtage

Zijn er abrasieve deeltjes aanwezig (zand, stof, fragmenten, korrels, brokjes)?							
NEE				JA			
Bewegen er twee vlakken tegen elkaar?				Is er één oppervlak of zijn er twee met een abrasief ertussen?			
JA		NEE		TWEE		EEN	
Is er een continue beweging, een lange glijweg (>0,5mm) of is er sprake van een trillingsbeweging met kleine amplitude (<0,5mm)?						Is het abrasief droog of wordt het gedragen door een vloeistof?	
continu of lange glijweg		trilling of oscillatie				DROOG	
Is de belasting constant of wisselend?						VLOEISTOF	
CONSTANT		WISSELEND				is de belasting laag of hoog?	
						HOOG	
						LAAG	
						Wrijven de deeltjes langs het oppervlak of slaan zijn in (impact)?	
						WRIJVEN	
						IMPACT	
adhesieve slijtage	slijtagevermoeiing	fretting	geen slijtageprobleem	abrasieve slijtage	'high stress' abrasieve slijtage	'low stress' abrasieve slijtage	erosie

VRAAG 8

Welk type slijtage is te verwachten?

LEES EERST TER VOORBEREIDING § 2.2.4.

- antwoord 8a abrasieve slijtage → lees § 3.2.1 en de toelichting
 antwoord 8b adhesieve slijtage → lees § 3.2.2 en de toelichting
 antwoord 8c erosieve slijtage → lees § 3.2.3 en de toelichting
 antwoord 8d slijtagevermoeiing → lees § 3.2.4 en de toelichting
 antwoord 8c anders (mengvorm) → ga naar vraag 9.

ZIE OOK DE REFERENTIEBEELDEN BIJ VRAAG 16.

BEPAAI DE SLIJTAGEFORM, SELECTEER MOGELIJKE OPLOSSINGEN EN GA DOOR NAAR VRAAG 10.

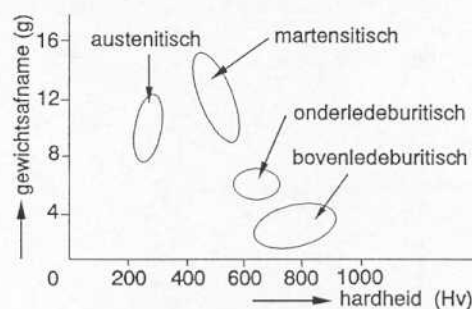
toelichting

Als zij worden gedragen door een basismateriaal met voldoende sterkte (weerstand tegen indrukking) hebben in het algemeen thermisch gespoten keramische deklagen een uitstekende weerstand tegen slijtage. Zij verdragen, in tegenstelling tot de metallische materialen, nauwelijks trekspanningen. Te grote trekspanningen ontstaan direct als de ondergrond wegzakt. Opgelaste lagen stellen minder eisen aan de ondergrond, omdat zij door hun dikte zelf voldoende draagkracht kunnen opbrengen. Kobaltbasislegeringen zijn de werkpaarden voor slijtagebestrijding, aangevuld met Laves-fase rijke nikkellegeringen. Daarnaast worden in toenemende mate cermeten van wolframcarbide met kobalt- of nikkelchroommatrix toegepast. Deze kunnen niet door oplossen worden aangebracht. Voor veel toepassingen hebben HVOF gespoten lagen de beste

eigenschappen. Er is niet veel verschil in gedrag tussen de deklagen aangebracht door de diverse HVOF systemen.

Als het werkstuk insmelten verdraagt, of als warmtebehandelen na het opbrengen mogelijk is, dan vormen de insmeltlegeringen een veelzijdig toe te passen groep. De meeste hebben een nikkelmatrix. De meest slijtvaste legeringen bevatten harde deeltjes van bijvoorbeeld wolframcarbide.

Abrasieve slijtage zonder grote drukken of schokken kan in de meeste gevallen worden opgelost door een materiaal met een ledeburitische structuur te gebruiken. Zie afbeelding 7.3³. Ook andere materialen met veel harde bestanddelen (carbiden, boriden) kunnen worden gebruikt. Kenmerkend voor deze belasting is, dat de slijtende deeltjes heel blijven en steeds meer afronden. Bij hoge belastingen breken de abrasieve deeltjes en blijven daardoor scherp.



figuur 7.3 Abrasieve slijtage als functie van de hardheid van verschillende typen oplaasmaterialen

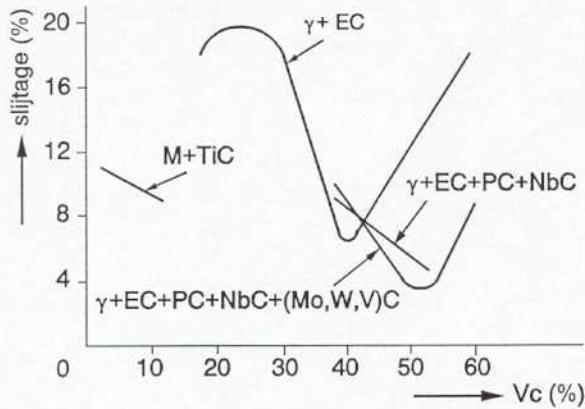
Bij een matige stootbelasting blijkt dat een legering met een hoeveelheid carbiden van ca. 30% tot de beste resultaten leidt. De hoeveelheid carbiden kan op een eenvoudige manier uit de chemische samenstelling van de opgelaste laag (denk aan opmenging bij oplossen!) worden bepaald:

$$V_c = 9,43 \times \%C + 0,39 \times \%(\text{carb.v.el.}) - 7,3$$

3. Deze grafiek is verkregen met resultaten van de straal-slijtageproef

Hierin is: V_C de hoeveelheid carbiden en carb.v.el. de hoeveelheid carbidevormende elementen.

De soort carbiden speelt ook een belangrijke rol. Figuur 7.4 geeft de resultaten van RWAT proeven. Bij gelijke V_C waarde kan de optredende slijtage beduidend anders zijn.



figuur 7.4 Invloed van de structuur op de slijtage. EC = eutectische carbiden, PC = primaire carbiden, M = martensiet (gegevens zijn met de RWAT-proef verkregen)

Overigens wordt in de literatuur voor optimale resultaten een hardheidsverhouding tussen het werkstuk en het abrasief $H_w/H_a > 0,6$ aanbevolen. Deze praktijkwaarde geldt voor alle materialen, zowel opgelast als opgespoten. Bedenk hierbij wel dat zowel het oppervlak als de deeltjes aanzienlijk harder kunnen worden door de optredende versterking. Bij austenitisch mangaanstaal wordt van dit principe optimaal gebruikgemaakt.

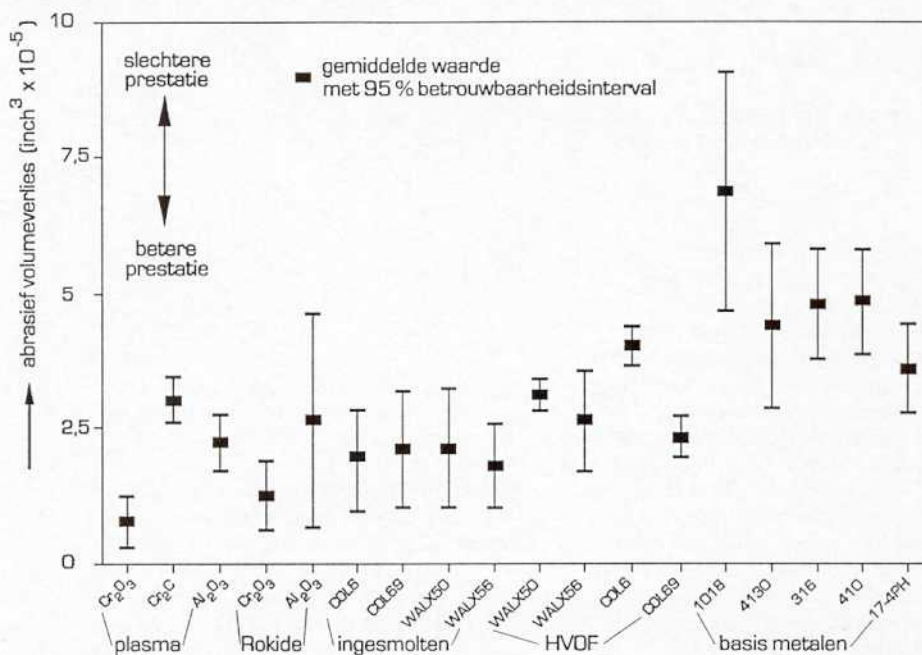
Wanneer corrosie een rol speelt, zal men moeten zorgen dat het chroomgehalte van de matrix voldoende hoog is.

Bij grote drukken of schokken wordt met toenemende belasting gebruikgemaakt van een taaiere en minder hard materiaal. Zelfs bij de bovenledeburitische

legeringen moet men er op bedacht zijn, dat een grote hoeveelheid carbiden in de structuur niet garant staat voor een grote slijtvastheid. Met HVOF deklagen zijn diverse successen geboekt o.a. met sneldraaiende ventilatoren in een zandrijk medium. Voor de plasma-gespoten deklagen blijken fijne geagglomereerde poeders het beter te doen dan gegoten en gebroken poeders. Dit vanwege de lagere poreusheid van de deklaag. Het oppervlak moet bij voorkeur dicht zijn en vrij van scheuren. Een Amerikaans onderzoek heeft aangetoond dat de weerstand tegen abrasieve slijtage geen directe relatie heeft met de oppervlakterutheid. Het meest toegepaste deklaagmateriaal is plasma-gespoten chroomoxide. Toevoeging van siliciumoxide maakt deze brosse deklaag beter bestand tegen schokbelasting. Figuur 7.5 geeft resultaten van een vergelijkend Amerikaans onderzoek met de ASTM G-75 slurrytest.

Adhesieve slijtage kan bij gebrekkige smering worden bestreden met een koperlegering. In de praktijk heeft zich hiervoor koper-aluminium met 12% Al bewezen, dat zowel kan worden opgelast als opgespoten. Bij een onvolkomen smering tussen dit materiaal en koolstofstaal voldoet het ook bij een stotende belasting zeer goed, bijvoorbeeld voor draaikommen van spoorwagens. Voor zuigerveren vinden plasmagespoten Mo-legeringen veel toepassing vanwege hun zeer lage wrijvingscoëfficiënt tegen gietijzer. Belangrijk is dat de oxidefilm die zich eventueel vormt in tact blijft. Wordt deze door de hoge belasting verbroken, dan verloopt de slijtage zeer snel. Het beoordelen van deze slijtagevorm en het kiezen van oplossingen is moeilijk en vraagt kennis van tribologie. Daardoor is voor de complexere gevallen al gauw de ondersteuning door een specialist nodig. Enkele algemene richtlijnen zijn echter wel te geven.

Thermisch gespoten lagen hebben voordelen boven opgelaste lagen, omdat hun poriën 'release agents' en smeermiddelen kunnen opnemen die tijdens het langs elkaar bewegen van de vlakken weer langzaam worden vrijgegeven. Chromoxide heeft een zeer lage



figuur 7.5 Weerstand tegen abrasieve slijtage van thermisch gespoten lagen (ASTM G-75, zand/water slurry - Universiteit van Tulsa)

wrijvingscoëfficiënt en is chemisch inert waardoor het uitstekende loopeigenschappen en anti-vreeteigenschappen heeft. Geïmpregneerd met PTFE heeft het zich bewezen als een materiaal voor de zwaarste slijtagebelastingen in de textielindustrie, ook onder zware corrosiebelasting (er moet dan wel een dichte corrosievaste hechtlaag onder!). Als er geen corrosie te verwachten is, zijn haarscheuren in het oppervlak acceptabel, tenzij het tegenloopvlak zacht is, zoals bij afdichtingen. Voor afdichtingen mag het loopvlak niet te ruw zijn, anders ontstaat abrasieve slijtage aan het pakkingmateriaal. Een te glad oppervlak is evenmin gewenst omdat de pakking dan gaat kleven. In de praktijk blijken oppervlakken met een ruwheid (Ra) tussen 0,2 en 0,4 μm goed te voldoen. Asbussen behandeld met een wolframcarbide cermet of met chromoxide geven met de meeste pakkingmaterialen weinig problemen. Aluminiumoxide met 3-13% titaandioxide wordt ook veel gebruikt, maar verlangt vaak een slijtvaster pakkingsysteem. Deze deklaag voldoet zeer goed bij plunjers die aan corrosie blootstaan. Voor deze toepassing kan de deklaag relatief glad gespoten worden en kan in veel gevallen ook zonder nabewerking worden gebruikt. De deklaag is minder slijtvast dan puur aluminiumoxide, maar fijner van structuur met minder poreusheid en taaiër. Een HVOF variant met 40% titaandioxide blijkt goede loopeigenschappen te hebben.

Erosieve slijtage stelt hoge eisen aan de oppervlaktegesteldheid. Een hoge ruwheid en scherpe overgangen (scheuren) zijn uit den boze. De grootte van de deklaagdeeltjes en de afstand tussen de harde deeltjes bij cermets moeten groter respectievelijk kleiner zijn dan de inslaande deeltjes. Bij pompen die afvalwater verwerken blijkt een HVOF WC/Co deklaag op type 4xx RVS te voldoen. In slurries met katalysator zoals in de olie-industrie werkt dezelfde deklaag goed op interne onderdelen van type 316 RVS. Zowel oplassen als opspuiten is mogelijk. De keuze wordt bepaald door de vereiste laagdikte en hechting. Onder 30° invalshoek hebben de gespoten WC-cermets de hoogste slijtvastheid, gevolgd door de

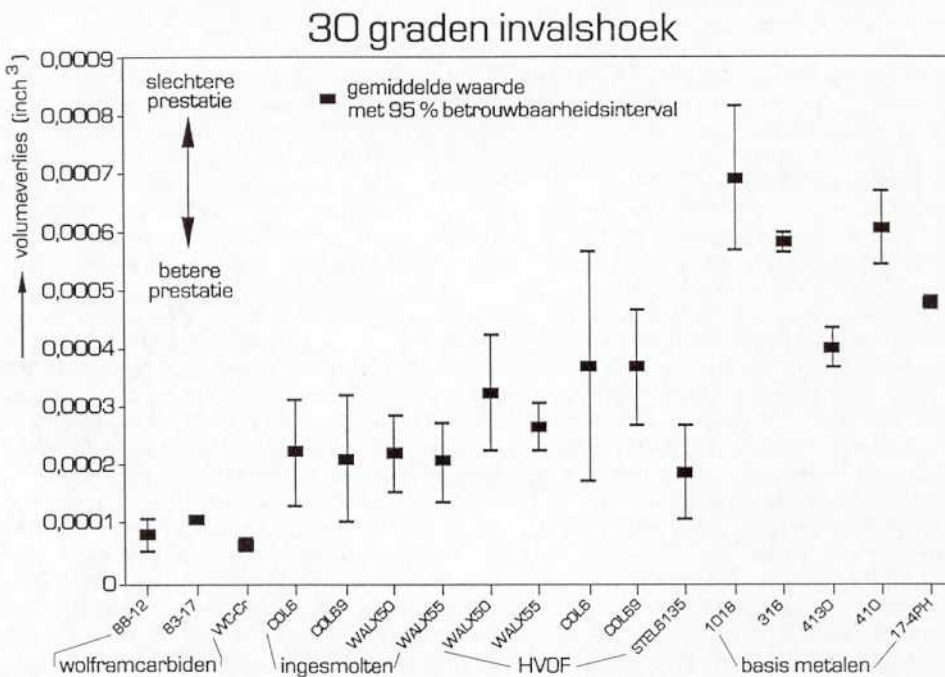
insmeltlegeringen en de HVOF gespoten stalletachtigen (zie figuur 7.6). Voor cavitatie zijn diverse oplossingen mogelijk. In figuur 7.7 wordt een aantal materialen opgesomd met een afnemende bestendigheid tegen cavitatie.

- CrCoW-legeringen
- 18Cr-8Ni-staal (opgelast)
- Al-brons (opgelast)
- 25Cr-20Ni-staal (opgelast)
- Al-gietbrons
- 18-8-gietstaal
- Ni-Al-gietbrons
- 13Cr-gietstaal
- Mn-gietbrons
- 18-8-staal (opgespoten)
- Gietstaal
- Bronz
- Rubber
- Gietijzer



figuur 7.7 Overzicht van een aantal materialen in relatie met bestendigheid tegen cavitatie

Slijtagevermoeiing verlangt een martensitisch of austenitisch deklaagmateriaal. Het is belangrijk de laagdikte zo te kiezen, dat de overgangszone buiten het gebied van de grootste schuifspanningen komt te liggen. De kans is anders groot dat de laag in zijn geheel loslaat. Ook dit toepassingsgebied ligt in de werkingssfeer van de tribologie. Ondersteuning van een specialist en het uitvoeren van testen zijn dan ook essentieel. Voor de zwaarste condities komen alleen oplassen en ingesmolten spuitlagen in aanmerking. De overige deklagen hebben onvoldoende hechtsterkte. Ook de oxiden tussen de deeltjes vormen zwakke plekken. Alleen metallische HVOF gespoten lagen zijn mogelijk nog te gebruiken. Er is nog weinig ervaring met thermisch gespoten deklagen in dit toepassingsgebied. Van lagen met een goede weerstand tegen erosie en cavitatie zou men redelijkerwijs ook weerstand tegen slijtagevermoeiing mogen verwachten.



figuur 7.6 Weerstand tegen erosie van thermisch gespoten coatings (ASTM G-73, Liquid impingement erosion - Universiteit van Tulsa)

VRAAG 9

Welke mengvorm is te verwachten?

LEES TER VOORBEREIDING EERST § 2.2.3.

- antwoord 9a** corrosievermoeïing → zie § 3.1.7 en de toelichting
antwoord 9b fretting → zie § 3.2.4 en de toelichting
antwoord 9c erosie-corrosie → zie § 3.2.6 en de toelichting

ZIE OOK DE REFERENTIEBEELDEN BIJ VRAAG 16.

BEPAAAL DE MENGVORM, SELECTEER MOGELIJKE OPLOSSINGEN EN GA DOOR NAAR VRAAG 10.

toelichting

Corrosievermoeïing is één van de moeilijkst te bestrijden vormen van aantasting. Niet alleen moet de deklaag goed bestand zijn tegen dynamische belastingen, maar ook moet de weerstand tegen corrosie hoog zijn. Aangezien voor dynamische belastingen de hechting met de ondergrond (en bij thermisch spuiten ook de interlamellaire hechting) van het grootste belang is, zullen thermisch gespoten deklaagen, behalve de ingesmolten typen, zich niet goed gedragen. Oplassen zal de beste oplossingen geven, waarbij afhankelijk van de corrosievorm, van RVS-typen en nikkelbasislegeringen goede resultaten mogen worden verwacht. Bij het opspuiten is de gebruikte techniek van doorslaggevend betekenis. Insmelten en HVOF technieken geven de beste resultaten. Gezocht moet worden naar lagen met een zo hoog mogelijke waarde voor de elasticiteitsmodulus en de breuktaaiheid. Met zelfs de beste HVOF technieken mogen voor WC-Co cermets slechts bescheiden waarden worden verwacht. De elasticiteitsmodulus is slechts ca. 37% van gesinterd materiaal met dezelfde samenstelling. De breuktaaiheid bedraagt niet meer dan 5 - 10%. Keramische materialen op basis van zirconiumoxiden vertonen door hun quasi-plasticiteit (energie-absorptie door microscheurvorming) nog een redelijke breuktaaiheid en zijn chemisch inert. Oplossingen zullen veel onderzoek en ondersteuning van een specialist verlangen.

Fretting kan worden bestreden met kobaltbasislegeringen. Vooral composieten, versterkt met harde molybdeenoxiden (opspuiten), andere oxiden, nitriden en carbiden (oplossen en opspuiten) worden toegepast. Opgelaste en dichte, HVOF gespoten lagen gedragen zich het beste, maar vlamgespoten en ingesmolten NiCrSiB lagen met Mo voldoen ook goed. Voor APS blijken $ZrN-(Cr_2O_3-TiO_2SiO_2 \text{ 3-5})$ 50 en $B_4C-(Cr_2O_3-TiO_2 \text{ 40})$ 70 bijzonder geschikt.

Erosie-corrosie wordt op grond van praktische ervaring beter bestreden met keramische materialen dan met metallische thermisch gespoten materialen. Met name Al_2O_3 met of zonder ZrO_2 en ZrO_2 met 2% yttriumoxide voldoen zeer goed. Alhoewel tijdens de eerste fase relatief veel schade aan de deklaag kan ontstaan, is hun gedrag op de langere termijn gunstiger door een quasi elastische respons. Metallische thermisch gespoten materialen bevatten veel oxiden tussen de deklaagdeeltjes en hebben daardoor voor deze toepassing te weinig onderlinge samenhang. Ingesmolten nikkelchromlegeringen kunnen nog wel voldoen.

In die industrie, waar water aanwezig is, zal corrosie extra problemen opleveren bij slijtage. Een voorbeeld waar corrosie een probleem kan zijn is, het transport van slurry. Als erosie-corrosie optreedt, zullen de individuele effecten van het slijtageproces, in het bijzonder wanneer laag chroom houdende legeringen staan blootgesteld aan erosie en abrasieve slijtage, versneld optreden. Wanneer een staal of gietijzer wordt blootgesteld aan lucht na een botsing met een vreemd lichaam die de oxide/hydroxide laag verwijdert, zal onmiddellijk een nieuwe laag worden gevormd. Deze lagen zijn zacht en brokkelig en verlenen de basis geen enkele bescherming. Dit gebeurt niet als chroom tot ca. 12% bij laag koolstoflegeringen wordt toegevoegd en met een toenemend percentage bij een toenemend koolstofgehalte. In dit geval wordt een laag chromoxide gevormd, die niet alleen chemisch stabiel is maar ook hard en slijtagebestendig is. Ruitvormige oplossingen leveren als gevolg van potentiaalverschillen tussen het edele oplasmetaal en het onedele basismetaal slechte resultaten. In veel gevallen kan de corrosie dusdanig overheersen dat het gebruik van een roestvast staal te verkiezen is boven een slijtvast materiaal.

VRAAG 10

Zijn scheuren toelaatbaar?

- antwoord 10a** Nee → brosse materialen en materialen met een hoge krimp vallen af; pas op met hoge belastingen
antwoord 10b Ja → alle gevonden materialen zijn toepasbaar

KIES EEN ANTWOORD EN GA DOOR NAAR § 7.2.

DIT IS HET EINDE VAN DE ANALYSE.

toelichting

Scheuren zijn niet altijd te voorkomen en een scheurvrij oppervlak is niet altijd nodig. Hardchrom wordt bijvoorbeeld zeer breed toegepast maar bezit een altijd een netwerk van fijne scheurtjes. Bij erosie, abrasie en dynamische belasting zijn scheuren ongewenst. Bij corrosie kunnen scheuren nog wel worden getolereerd als de deklaag zelfhelende eigenschappen bezit of als er een dichte corrosiebestendige bufferlaag onder is aangebracht.

De ledeburitische oplaslegeringen zijn niet zonder scheurvorming op te lassen. Deze legeringen worden meestal alleen gebruikt wanneer abrasieve slijtage moet worden bestreden en de belasting weinig stotend is. Bij dit slijtage type, met uitzondering wanneer het abrasief zeer fijn-korrelig is, zijn scheuren niet van invloed op de slijtweerstand van de legering. Wanneer echter corrosie een rol bij de slijtage speelt, kunnen scheuren niet acceptabel zijn. Ook wanneer dit niet het geval is, en de slijtage niet onder corrosieve omstandigheden plaatsvindt, kan in de periode voor de ingebruikname van het onderdeel in de scheuren toch al corrosie optreden, wanneer dat deel in de buitenlucht is opgeslagen. Deze corrosie kan zo ver gaan dat het oplasmateriaal van het basismateriaal wordt gedrukt. Een tectylbehandeling van het opgelaste vlak zal dit probleem grotendeels opheffen.

Noot: Deze vraag is aan het eind van de analyse geplaatst omdat eerst corrosievorm en/of slijtagetype bekend moeten zijn.

VRAAG 11

Is er sprake van een reparatie?

antwoord 11a Ja → ga naar vraag 12
antwoord 11b Nee → ga naar vraag 13

toelichting

Reparaties beperken de oplossing meer dan modificaties, vooral als deze op locatie moeten worden uitgevoerd. De uitvoering is vaak eenmalig en moet een hoge slaagkans hebben. Bij modificaties is het opvangen van tegenvallende resultaten vaak gemakkelijker en kan er meer speelruimte zijn voor experimenten. De vraag is hier met name gesteld om een extra stap in te bouwen die de aanwezigheid van mogelijke ontwerpfouten detecteert bij ad hoc schade.

VRAAG 12

Is het schadebeeld symmetrisch?

antwoord 12a Ja → ga naar vraag 13.
antwoord 12b Nee → maak eerst zeker dat er geen ontwerp- of afstelfout is gemaakt, ga dan door naar vraag 13

toelichting

Fouten in afstellingen en bewerking openbaren zich vaak door a-symmetrie in draag- en schadebeelden. Ook onbedoelde scheve belastingen leiden tot een dergelijk beeld en zijn meestal terug te voeren op ontwerpfouten; bijvoorbeeld het schranken van geleidingen. Boven de lage normaalkracht, waar in het ontwerp van uit wordt gegaan, zijn onverwacht hoge piekbelastingen aanwezig die kunnen worden opgeheven door de speling en ruwheid aan te passen. Een deklaag heeft pas zin als volledig duidelijk is dat dergelijke fouten niet aan de orde zijn.

VRAAG 13

Welke ruimte is beschikbaar voor een deklaag?

antwoord 13a Geen → probeer een oplossing met andere technieken (opdampen, inchromeren enz.)
antwoord 13b < 1 mm → kies voor opspuiten
antwoord 13c 1 - 3 mm → opspuiten of oplassen (zie toelichting)
antwoord 13d 3 - 5 mm → draadspuiten of oplassen (zie toelichting)
antwoord 13e > 5 mm → kies voor oplassen, opspuiten voor een beperkt aantal materialen nog mogelijk (zie toelichting).

BEPAAAL DE LAAGDIKTE EN GA DOOR NAAR VRAAG 14.

toelichting

Bij bestaande producten kunnen de afmetingen beperkt zijn. Soms is het mogelijk de afmetingen eerst te verkleinen en daarna de weggenomen materiaal-dikte weer aan te brengen als een deklaag. Oplassen verlangt meer ruimte dan opspuiten. In het gebied tussen 1 en 5 mm zijn beide mogelijk, met dien verstande dat bij het opspuiten van keramische materialen de laagdikte beperkt is in verband met de opbouw van inwendige spanningen. Dit kan worden ondervangen door eerst een metallische laag van voldoende dikte aan te brengen (wat vaak toch al nodig is voor een betere hechting). Voor lagen dikker dan 3 mm wordt APS afgeraden en kan beter het draadspuitproces worden ingezet. Bij het oplassen van lagen dunner dan ca. 5 mm moet het effect van de opmenging in de gaten worden gehouden. Beneden 5 mm kan het naar verhouding te kostbaar zijn om twee lagen aan te brengen. In dat geval kan beter worden gekozen voor draadspuiten. Zeer dikke lagen zijn goedkoper aan te brengen door oplassen, vooral met hoogrendementsprocessen. De bovenledeburitische legeringen mogen in het algemeen niet dikker dan twee laslagen zijn. In enkele gevallen, bijvoorbeeld wanneer drukspanningen in het onderdeel aanwezig zijn, zoals bij gebogen platen waarbij de oplassing in de drukzone ligt, zijn drie lagen toegestaan.

VRAAG 14

Is vervormen bij het coaten toegestaan?

antwoord 14a Ja → geen beperkingen
antwoord 14b Nee → kies een proces met een lage warmte-inbreng

KIES EEN ANTWOORD EN GA DOOR NAAR VRAAG 15.

toelichting

Vooraf bij reparaties die op locatie worden uitgevoerd, is nabewerken om vervorming van het werkstuk op te heffen maar heel beperkt mogelijk. Ook als het geen reparatie betreft, kan het noodzakelijk zijn de warmtebelasting minimaal te houden om vervorming te beperken, bijvoorbeeld als een product moeilijk is in te spannen, of alleen lokaal wordt behandeld. De gevoeligheid voor thermische vervorming neemt toe met de complexiteit van de geometrie en de warmte-inbreng. APS is het minst belastende proces, gevolg door laser- en TIG-oplassen. Bij dunwandige, holle cilindrische lichamen zal een veelarmig hulpkruis, geplaatst voor het oplassen, de vervormingen beperken (zie hoofdstuk 9.1 voorbeeld 12). Dit kruis kan na het spanningsarmgloeien worden verwijderd.

Als de deklaag voldoende dik kan worden aangebracht en nabewerkt, is er in principe geen beperking. De vereiste laagdikte zal met de grootte van het werkstuk en de optredende vervorming toenemen. Zie ook de toelichting bij vraag 13.

VRAAG 15

Zijn structuurveranderingen in het basismateriaal acceptabel?

antwoord 15a Ja → geen beperkingen
 antwoord 15b Nee → kies een proces met lage warmte-inbreng of voer een warmtebehandeling uit na het coaten (zie ook hoofdstuk 5)

KIES EEN ANTWOORD EN GA DOOR NAAR VRAAG 16.

toelichting

Veredelde materialen kunnen door thermische invloeden hun sterkte verliezen. Is dit niet acceptabel, dan is het noodzakelijk de warmte-inbreng te beperken. Maatregelen zoals beschreven voor het beperken van vervormingen werken positief. Als de geometrie en massa van het werkstuk dit toestaan, kan ook achteraf de microstructuur door opnieuw veredelen worden hersteld. Ook kan een warmtebehandeling achteraf nodig zijn om scheuren te voorkomen. De hechting van de deklaag aan het basismateriaal moet in dit geval voldoende zijn. Bij opgelaste en ingesmolten thermisch gespoten lagen is dit in principe geen probleem. Materialen met een groot verschil in uitzetting kunnen beter worden vermeden of er moet een meerlaagstechniek worden toegepast. Soms is veredelen en spanningsarmgloeien ook op locatie mogelijk (bijvoorbeeld met verwarmingsbanden). Bij zeer grote werkstukken kan ook ter plekke een oven om het werkstuk worden opgebouwd.

VRAAG 16

Wat is het schadebeeld?

antwoord 16a Corrosie → zie ad 16a
 antwoord 16b Slijtage → zie ad 16b
 antwoord 16c Mengvorm → zie ad 16c
 antwoord 16d Bewerkingsfout → zie ad 16d

toelichting

Ad 16a

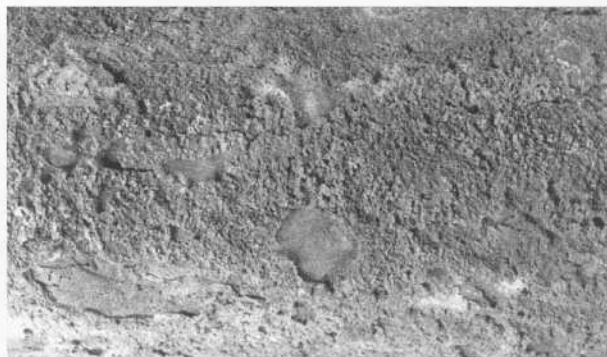
Bepaal aan de hand van onderstaande referentiebeelden het corrosietype. Paragraaf 3.1 geeft achtergrondinformatie. Het kan nodig zijn het object eerst goed te reinigen om de schade te kunnen typeren. Maak in dat geval eerst foto's om het aantastingsbeeld vast te leggen en vang zondig de corrosieproducten op voor nader onderzoek. Kan de aantasting niet worden getypeerd, dan kunnen specialistische handboeken mogelijk helpen of raadpleeg een specialist.

IS HET TYPE BEPAALD, GA DAN NAAR DE TOELICHTING VAN VRAAG 6, BEPAAL DE MOGELIJKE OPLOSSINGEN EN GA HIERMEE VERVOLGENS NAAR § 7.2.

algemene corrosie (zie figuur 7.8)

- geen speciale kenmerken
- gelijkmatig aangetast uiterlijk

- gelijkmatig verspreide, loszittende roest of andere corrosieproducten
- gelijkmatige vermindering van de materiaaldikte
- een van de volgende condities is aanwezig:
 - . agressieve vochtige atmosfeer;
 - . zwerfstromen;
 - . biologisch actieve afzettingen;
 - . gesmolten zouten;
 - . vloeibare metalen.



figuur 7.8 Voorbeeld van algemene corrosie

galvanische corrosie

Het uiterlijk is weinig verschillend van algemene corrosie met dien verstande dat er verschillende materialen bij betrokken zijn, waarvan er slechts één is aangetast. Dit is het minst edele ofwel het anodische materiaal. Een potentiaalverschil van 0,2 V of meer maakt het optreden van deze vorm van corrosie mogelijk. Dit is in principe meetbaar met een hoogohmige voltmeter.

selectieve aantasting

Figuur 7.9 geeft een voorbeeld van selectieve aantasting zoals dit kan worden vastgesteld bij microscopisch onderzoek. Een oppervlaktekenmerk is onder meer het lokale karakter van de aantasting, waarbij in het door corrosie aangetaste gebied meerdere, dicht bij elkaar gelegen plekken voorkomen met daartussen niet of nauwelijks aangetast materiaal. De aangetaste plekken zijn poreus. Dit kan eenvoudig worden vastgesteld door met een brede viltstift over het oppervlak te gaan. De inkt wordt in de aangetaste plekken sterk geabsorbeerd. Deze vorm komt ook vaak voor bij deklagen die uit componenten met verschillende edelheid zijn opgebouwd.



figuur 7.9 Voorbeeld van selectieve aantasting

De aantasting komt o.a. voor in de volgende materiaal-medium combinaties:
koperlegeringen *stilstaand water*

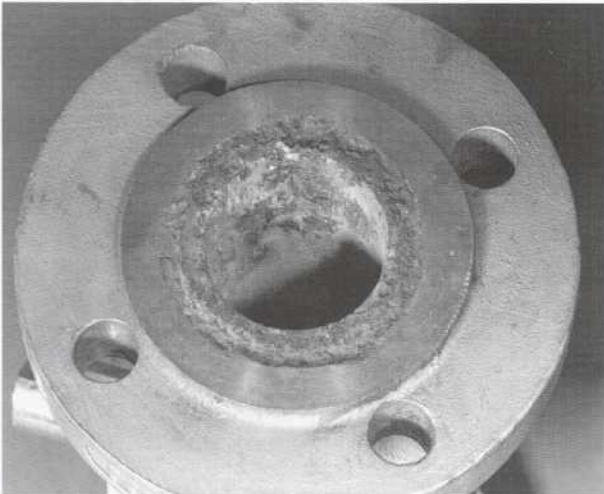
<i>grijs gietijzer</i>	<i>grond, water</i>
<i>Al-brons</i>	<i>HF, chloriderijke oplossingen</i>
<i>Si-brons</i>	<i>stoom, zure media</i>
<i>Sn-brons</i>	<i>stoom, hete zoutoplossingen</i>
<i>Cu-Ni legeringen</i>	<i>condensorcondities</i>
<i>monel</i>	<i>zuren, met name HF</i>
<i>superlegeringen</i>	<i>gesmolten zouten</i>
<i>C-staal</i>	<i>oxiderende media, waterstof bij hoge temperatuur</i>
<i>Fe-Cr legeringen</i>	<i>oxiderende media bij hoge temperatuur</i>
<i>Ni-Mo legeringen</i>	<i>zuurstof bij hoge temperatuur</i>

Spleetcorrosie (zie figuur 7.10)

De volgende kenmerken zijn aanwezig:

- nauwe spleten met ten minste aan één kant een metaal, of
- lokale afzettingen, en
- een vochtige omgeving, en
- corrosieproducten aan de randen zichtbaar.

Passieve materialen zoals RVS zijn gevoeliger voor deze aantasting dan actieve materialen zoals C-staal. Algemene corrosie kan het optreden van spleetcorrosie verminderen. Omgekeerd kan het opheffen van algemene corrosie de aantasting rond spleten sterk doen toenemen. Spleetcorrosie komt veel voor in zeewater en andere chloriderijke waterige media.



figuur 7.10 Voorbeeld van spleetcorrosie

Putvormige aantasting (zie figuur 7.11)

Dit is een ernstige vorm van aantasting vanwege de hoge snelheid waarmee de putten door de wanddikte heen kunnen groeien en komt vooral voor in waterige



figuur 7.11 Voorbeeld van putvormige aantasting

halogeenrijke milieu's zoals zeewater. Het uiterlijk kan verschillen van een enkel (al of niet diep) putje in een verder onaangetast veld, tot een verzameling dicht bij elkaar gelegen putjes. Meestal variëren de putjes sterk in grootte en diepte. Dit wordt uitgedrukt in de pitting factor, de verhouding tussen de grootste putdiepte en de gemiddelde putdiepte. Is deze 1 dan wordt gesproken van algemene aantasting.

Passieve materialen zijn gevoeliger dan actieve. Vooral RVS heeft veel last van deze aantastingsvorm. Een wat hogere temperatuur kan de putvorming sterk bevorderen. Een hogere mediumtemperatuur verlangt een beter bestendig materiaal, bijvoorbeeld alloy C-22 is tot 120°C bestand, RVS type 316 tot ca. 30°C.

De volgende combinaties zijn bekend:

- staal in grond;
- RVS in zeewater;
- Al in (stilstaand) chloriderijk water;
- superlegeringen (Fe-, Ni-, Co-, Ti-basis) in halogeenrijke waterige media;
- RVS in thiosulfaatoplossingen.

Interkristallijne corrosie (zie figuur 7.12)

De corrosie is uiterlijk pas waar te nemen als de aantasting van de korrelgrenzen een zeer ernstige vorm heeft bereikt. In dat geval zijn er gaten met een ruwe bodem en wanden te zien. Bij sterkere vergroting kan de hoekige korrelvorm hierin waarneembaar zijn. Lokaal kan de aantasting zich uitbreiden en op putvormige corrosie gaan lijken. Het onderscheid is te maken met een sterke loep, omdat in het oppervlak de aangetaste korrelgrenzen een netwerk van scheurachtige aantekeningen vormen. Interkristallijne corrosie komt voor in aluminium, koper en 18-8 en ferritische RVS legeringen. Materialen die koud zijn vervormd, kunnen ook gevoelig zijn. Een bekend voorbeeld is AlMg 5 dat niet voor klinknagels moet worden gebruikt. De aantasting treedt op in zuurstofarme media.



figuur 7.12 Voorbeeld van interkristallijne corrosie

Spanningscorrosie (zie figuur 7.13)

Kenmerkend voor spanningscorrosie is de aanwezigheid van scheuren die in de dwarsdoorsnede een vertakt uiterlijk hebben. De scheuren kunnen al ontstaan bij lage spanningen in mild agressieve, waterige media, waardoor de aantasting lang onopgemerkt kan blijven. Een voorwaarde is dat spanningen en een agressief milieu gelijktijdig aanwezig moeten zijn. Een hoge temperatuur werkt sterk stimulerend.

Spanningscorrosie kan bij veel materialen voorkomen, ook keramische materialen en plastics. Bekende materiaal-milieu combinaties zijn:

C-staal	hete nitraat, hydroxide en carbonaat/bicarbonaatoplossingen
Hoge-sterkte staal	waterige elektrolytoplossingen (in het bijzonder H ₂ S houdende)

Austenitisch RVS	hete geconcentreerde chloride-oplossingen, stoom met chloriden
Nikkellegeringen α -brons	schone stoom ammoniakhoudende oplossingen
Aluminiumlegeringen Titaanlegeringen	waterige halogeenoplossingen, waterige halogeenoplossingen, organische vloeistoffen, N_2O_4
Magnesiumlegeringen Zirconiumlegeringen	waterige chloride-oplossingen, waterige chloride-oplossingen, organische vloeistoffen.



figuur 7.13 Voorbeeld van spanningscorrosie

Hoge temperatuur corrosie (zie figuur 7.14)

Deze aantastingsvorm kent vele verschijningsvormen. Een belangrijke aanwijzing is de aanwezigheid van dikke loszittende oxidelagen en een zeer onregelmatig uiterlijk. De wanddikte neemt meestal toe, omdat de corrosieproducten een groter volume hebben. Voor meer informatie wordt verwezen naar de ruim beschikbare literatuur over dit onderwerp.



figuur 7.14 Voorbeeld van hoge temperatuurcorrosie

Ad 16b

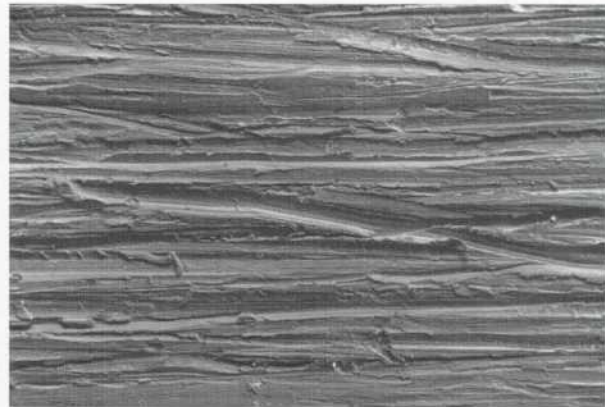
Bepaal aan de hand van onderstaande referentie-beelden het type slijtage. Paragraaf 3.2 geeft achtergrondinformatie. Het kan nodig zijn het object eerst goed te reinigen om de schade te kunnen typeren. Maak in dat geval eerst foto's om het slijtagebeeld vast te leggen en vang zonodig de slijtageproducten

op voor nader onderzoek. Kan de slijtage niet worden getypeerd, dan kunnen specialistische handboeken mogelijk helpen of raadpleeg een specialist.

IS HET TYPE BEPAALD, GA DAN NAAR DE TOELICHTING VAN VRAAG 8, BEPAAL DE MOGELIJK OPLOSSINGEN EN GA HIERMEE VERVOLGENS NAAR § 7.2.

Abrasieve slijtage (zie figuur 7.15)

Bij twee harde oppervlakken vertonen beiden krassen in de bewegingsrichting. De krassen hebben de vorm van de abrasieve deeltjes. Is een van de oppervlakken veel zachter, dan vertoont dit diepe krassporen die niet corresponderen met het samenwerkende oppervlak. Het kan ook abrasieve deeltjes en slijtdelen van het harde materiaal hebben ingebed. De slijtdeeltjes hebben de vorm van spaantjes of klontjes.

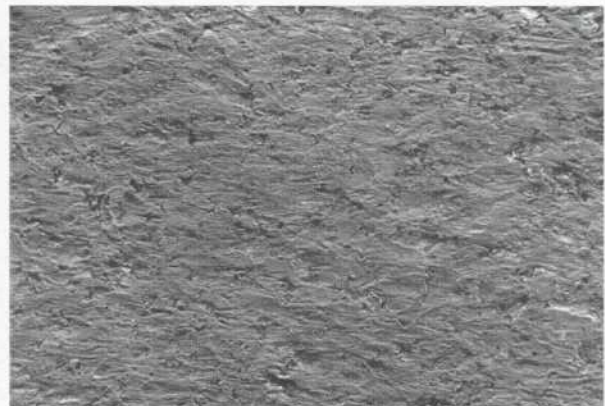


figuur 7.15 Voorbeeld van abrasieve slijtage

'Low stress' abrasieve slijtage (zie figuur 7.16)

kenmerkt zich doordat het oppervlak onregelmatig is afgesleten met kleine groefjes. Vaak hebben de langsstromende deeltjes een stromingspatroon achtergelaten. Het oppervlak kan ook een glad gepolijst uiterlijk hebben. De slijtdeeltjes zijn moeilijk van de abrasieve deeltjes te onderscheiden.

Bij een hoge belastingen zijn de krassen en putten duidelijker zichtbaar. De diepte hangt af van de hardheid van het materiaal en de deeltjes.

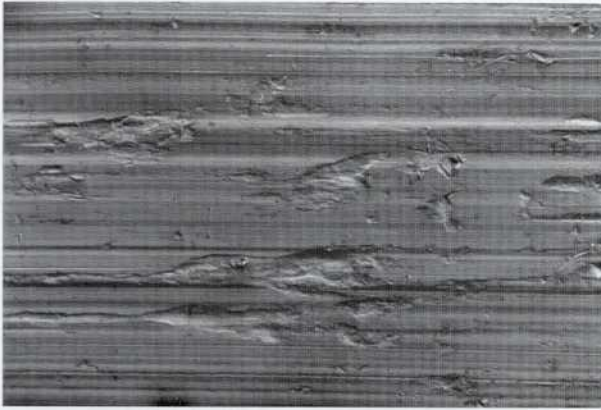


figuur 7.16 Voorbeeld van 'low stress' abrasieve slijtage

Adhesieve slijtage (zie figuur 7.17)

Onregelmatig oppervlak met een versmeerd uiterlijk. De slijtdeeltjes zijn groter dan $10 \mu m$ en onregelmatig. Er is materiaaltransport van het ene oppervlak naar het andere. Is er een groot verschil in hardheid, dan

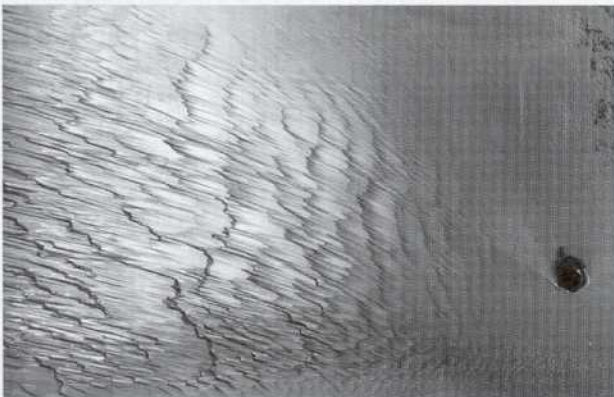
lijkt het hardere materiaal onbeschadigd, maar kan een uitgesmeerd laagje van het zachte materiaal hebben overgenomen of aanloopkleuren vertonen. Het zachte materiaal kan een versmolten uiterlijk hebben.



figuur 7.17 Voorbeeld van adhesieve slijtage

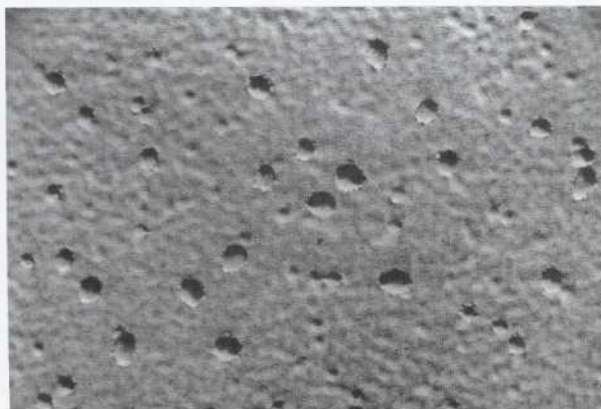
Erosieve slijtage (zie figuur 7.18)

Het oppervlak is onregelmatig afgesleten en heeft een glad, mat uiterlijk zoals een gestraald oppervlak. In het oppervlak kunnen ingebedde deeltjes voorkomen. De slijtdeeltjes zijn doorgaans niet te onderscheiden.



figuur 7.18 Voorbeeld van erosieve slijtage

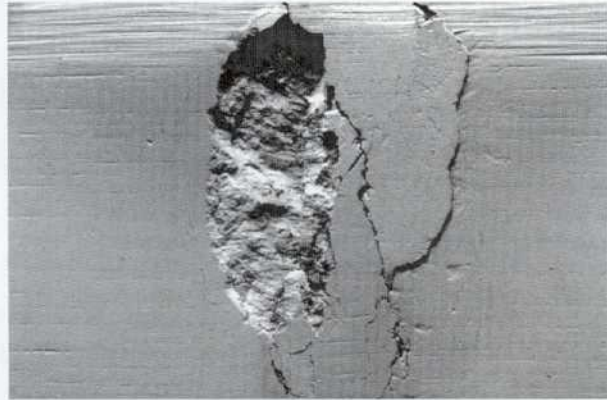
Bij cavitatie-erosie (zie figuur 7.19) is het oppervlak bedekt met kleine diepe kratertjes die uiteindelijk zullen leiden tot uitbreken van grotere stukken materiaal.



figuur 7.19 Voorbeeld van cavitatie-erosie

Slijtagevermoeïing (zie figuur 7.20)

Het oppervlak vertoont brede oppervlakkige putten met een licht onregelmatige bodem, waarin vermoeïingsgroeilijnen (striaties) herkenbaar kunnen zijn. De putten zijn verschillend van grootte en liggen in het gebied waar de hoogste spanningen optreden. De slijtdeeltjes zijn onregelmatige gevormde brokjes en schilfers, die enkele tot tientallen mm groot kunnen zijn.



figuur 7.20 Voorbeeld van slijtagevermoeïing

Ad 16c

Bepaal aan de hand van onderstaande referentiebeelden het type slijtage. Paragraaf 3.2 geeft achtergrondinformatie. Het kan nodig zijn het object eerst goed te reinigen om de schade te kunnen typeren. Maak in dat geval eerst foto's om het slijtagebeeld vast te leggen en vang zonodig de slijtageproducten op voor nader onderzoek. Kan de slijtage niet worden getypeerd dan kunnen specialistische handboeken mogelijk helpen of raadpleeg een specialist.

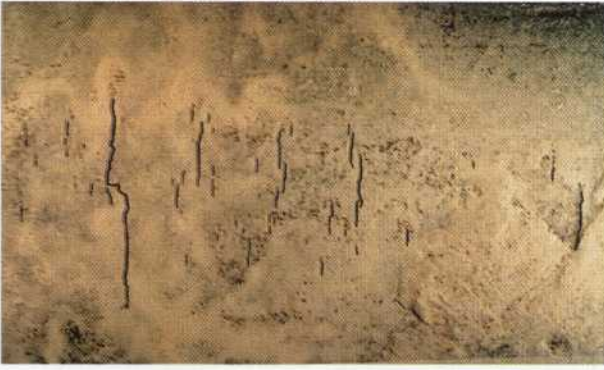
IS HET TYPE BEPAALD, GA DAN NAAR DE TOELICHTING VAN VRAAG 9, BEPAAL DE MOGELIJK OPLOSSINGEN EN GA HIERMEE VERVOLGENS NAAR § 7.2.

Corrosievermoeïing (zie figuur 7.21)

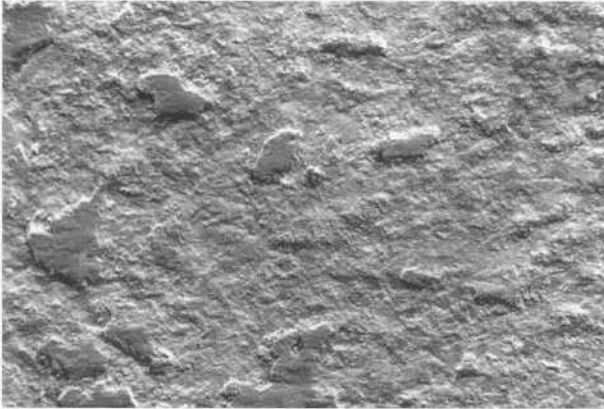
Het scheuoppervlak is doorgaans vrij glad met soms kleine stapjes en bedekt met corrosieproducten. Schoongemaakt met speciale reinigingsmiddelen zijn soms de groeilijnen nog terug te vinden. Scheuren in een dwarsdoorsnede gezien, zijn vaak nog gevuld met corrosieproducten en zijn rechter dan spanningscorrosiescheuren, zonder vertakkingen. De spanningsconcentratie kan hoog oplopen, waardoor de groeilijnen verder uit elkaar liggen dan bij vermoeïing zonder corrosie. De extra wigwerking van de opgesloten corrosieproducten kan er oorzaak van zijn dat, ondanks een gelijkmatig belastingspectrum, toch groeilijnen met onregelmatige afstanden worden gevonden.

Fretting (zie figuur 7.22)

Het oppervlak is donkerbruin tot zwart gekleurd door de aanwezigheid van geoxideerde metaaldeeltjes. Het oppervlak kan er pokdalig uitzien en de putten kunnen elkaar overlappen, waardoor een ruw uiterlijk ontstaat. Bij sterkere vergroting hebben de putjes zelf een ruw oppervlak. De slijtgedeeltes zijn fijn en volledig geoxideerd.



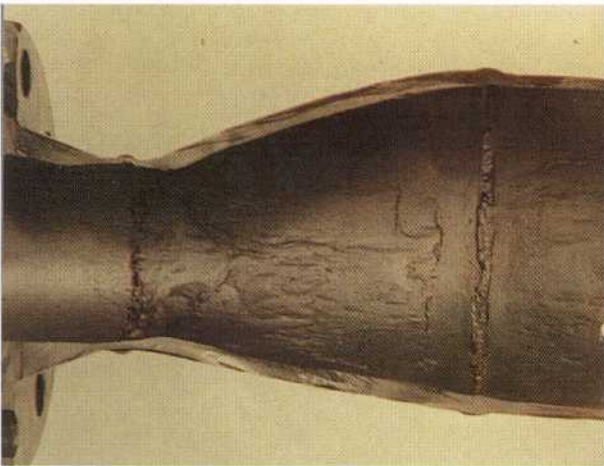
figuur 7.21 Voorbeeld van corrosievermoeiing



figuur 7.22 Voorbeeld van fretting

Erosie-corrosie (zie figuur 7.23)

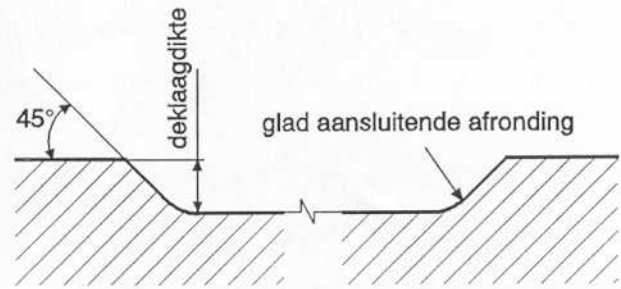
Het oppervlak heeft een fijn-bewerkt uiterlijk, wat niet verwonderlijk is, want het mechanisme wordt in een beheerste vorm gebruikt voor het bewerken van moeilijk verspanbare metalen. Door de aanwezigheid van corrosieproducten is het oppervlak donker matgrijs van uiterlijk.



figuur 7.23 Voorbeeld van erosie-corrosie

Ad 16d

Voor het herstellen van foute maten, bijvoorbeeld als gevolg van bewerkingsfouten, moeten de opgebrachte lagen bij voorkeur aan de zijkant worden gesteund. De beste methode hiervoor is een kamer in het oppervlak aan te brengen volgens figuur 7.24. Deze uitvoering is zowel voor oplassen als opspuiten geschikt. Prepareer het werkstuk hiervoor en ga naar § 7.2.



figuur 7.24 Voorbewerking voor reparatielaag

7.2 Correctie

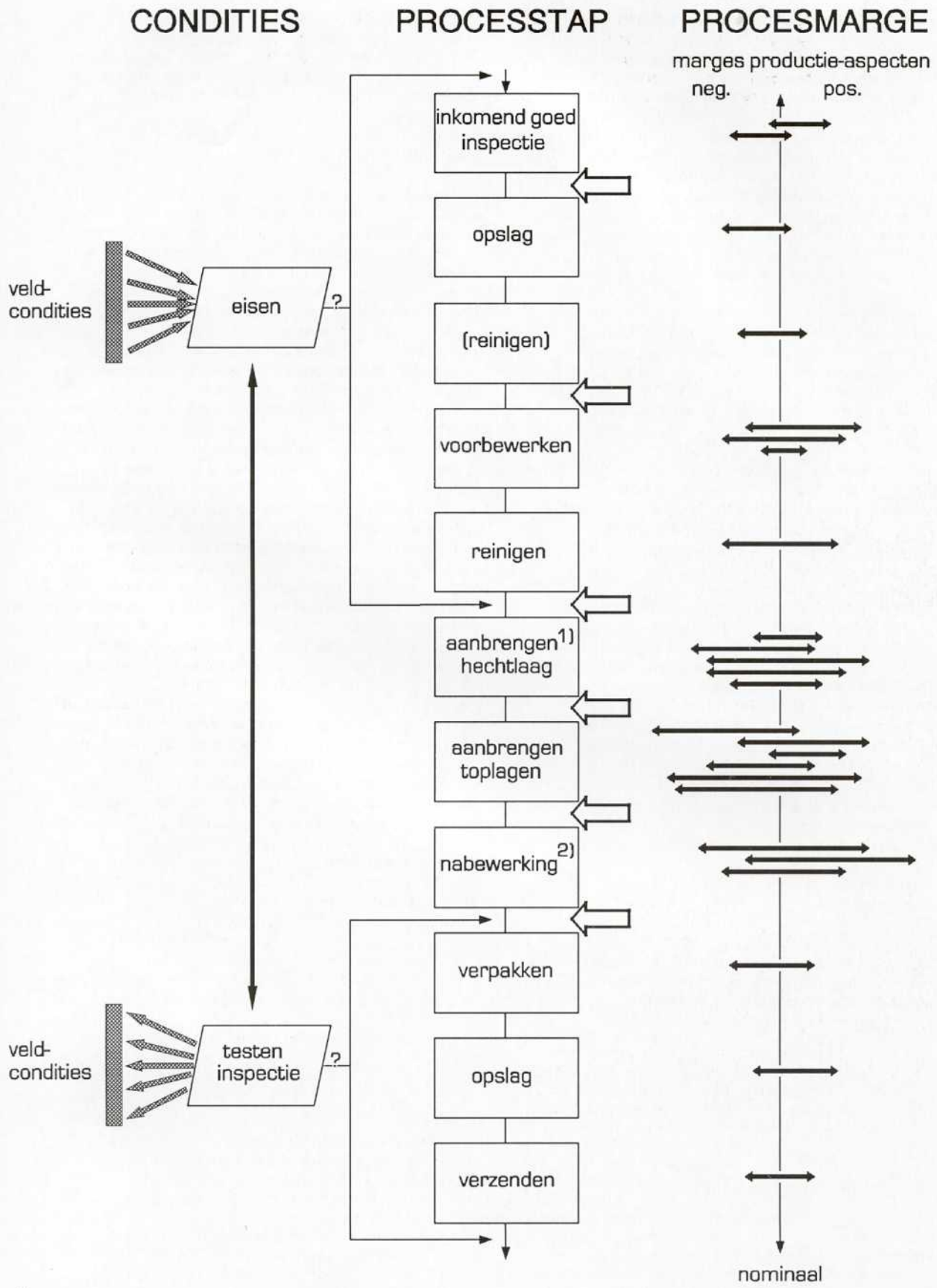
Het uitvoeren van de analyse volgens § 7.1 geeft lang niet altijd directe, concrete oplossingen. Wel zal men altijd aanknopingspunten vinden om een niet-gewenste situatie te kunnen corrigeren. In dat geval geeft de analyse richting aan aanvullend onderzoek, waarna met de onderzoeksresultaten de kringloop van figuur 7.1 opnieuw wordt doorlopen.

De gevonden oplossingen moeten worden aangebracht op het basismateriaal. Raadpleeg hiervoor verder § 3.3. Het schema in figuur 7.25 geeft een idee van de factoren die tijdens de fabricage van een deklaag de kwaliteit bepalen. Het voorbeeld geeft een willekeurig overzicht dat zowel voor het oplassen als het thermisch spuiten aangeeft waarop moet worden gelet. Belangrijk is te ervaren hoe de gevonden oplossing afhangt van het vakmanschap van de uitvoering. Het is dan ook zeker noodzakelijk gevonden oplossingen in detail te bespreken met de mogelijke leverancier. De figuur omvat drie kolommen: condities, processtap en procesmarge.

De kolom 'condities' geeft de kringloop aan tussen eisen en de resultaten van testen en inspecties. De eisen conditioneren het productieproces ten aanzien van de voorbereiding en/of het aanbrengen van de deklaag. Bijvoorbeeld: toepassingen waarbij de hechting kritisch is, verlangen zoveel aandacht ten aanzien van reiniging en voorbereiding, dat men aangetoond wil hebben dat het oppervlak aan bepaalde criteria voldoet, voor men verder kan gaan in het productieproces. Is de toepassing minder kritisch, dan kan worden vertrouwd op het beschikbare vakmanschap zonder dat dit wordt aangetoond. In de laatste stadia van het productieproces worden alle test- en inspectieresultaten geëvalueerd en afgezet tegen de eisen. De eerste gelegenheid voor een volledige evaluatie doet zich voor direct na de nabewerking. Voor kritische toepassingen kan het gewenst zijn ook voor de laatste drie productiestappen controles in te bouwen. Dit is vooral belangrijk als er veel tijd verloopt voordat het product, nadat het van een deklaag is voorzien, wordt gebruikt. De invloed van verpakking, opslag en transport over een langere termijn wordt vaak onderschat.

De kolom 'processtap' spreekt voor zich. De pijlen geven aan waar wachttijden kunnen optreden. De factor tijd heeft altijd invloed op de kwaliteit. Het is dus zinvol op de plaats van de pijlen na te gaan of een test noodzakelijk is, om te bewijzen dat deze invloed niet onacceptabel is.

De laatste kolom is illustratief. De kolom maakt duidelijk dat elke productiehandeling marges kent. Het aantal kritische variabelen en de marge op de waarde



← wachttijden die de kwaliteit beïnvloeden

1) Bij oplossen facultatief
 2) Mechanische en thermische nabehandelingen

figuur 7.25 Productieproces deklaag - kwaliteitsaspecten

ervan verschilt per productiestap. In de illustratie is het aantal pijlen willekeurig. Er is alleen bedoeld aan te geven bij welke productiestappen meer kritische variabelen te verwachten zijn dan bij anderen. Een acceptabele eindkwaliteit ontstaat alleen als **alle stappen** vallen binnen een band rond de nominale waarde, die alle marges met elkaar kan verbinden. In de illustratie is het proces zo kritisch dat dit is gereduceerd tot een enkele lijn. Bedoeld is aan te geven dat een verkeerde ligging van een enkele parametermarge het gehele productieproces onhanteerbaar kritisch kan maken. In de praktijk zal men streven naar een voor de productiesituatie geoptimaliseerde ligging van de marges, waardoor een zo breed mogelijke werkbare band ontstaat. De marges kunnen uit productie-ervaringen worden herleid, de positie binnen de marges door ingangs- en productiecontroles. Leveranciers die volgens ISO 9000 werken zullen weinig problemen hebben hun afnemers dit te laten zien. Het bezit van ISO 9000 is echter beslist niet noodzakelijk om afnemers te overtuigen, mits de relevante informatie beschikbaar is.

Voor met het bereikte resultaat verder wordt gegaan in de kringloop van figuur 7.1 om de oplossing te toetsen aan de oorspronkelijke of bijgestelde ontwerpvoorwaarden, moeten nog de volgende vragen vermeld in tabel 7.1 worden beantwoord.

Toelichting

De gevonden oplossing moet altijd worden gewogen naar bekendheid en ervaring. Hiermee wordt bedoeld dat men moet trachten na te gaan hoe representatief de gevonden oplossing is voor de eigen situatie. Daar komt bij dat ook alle factoren die bij de realisatie van belang zijn, moeten worden beoordeeld. Dit vind bijvoorbeeld zijn weerslag in de ervaring van een leverancier met het aanbrengen van de gevonden deklaag.

In de analyse werd de keuze van de oplossingen primair bepaald op het type corrosie of slijtage. Daarnaast spelen ook nog andere factoren een belangrijke rol, zoals de:

- ▶ bewerkbaarheid;
- ▶ verwerkbaarheid.

In voorkomende gevallen bij nieuwe toepassingen kunnen deze aspecten zelfs doorslaggevend zijn. Naar de mening van de auteurs moet echter het aanleggen van prijsbepalende criteria in principe pas plaatsvinden, nadat alle technisch haalbare oplossingen zijn gevonden.

1 Bewerkbaarheid

De bewerkbaarheid is een belangrijke kostenbepalende factor tijdens de realisatie. Veel slijtvaste materialen zijn zo hard, dat de vereiste ruwheid alleen door een dure (diamant)slijpbewerking kan worden bereikt. Bij het afwegen van de bewerkingskosten voor de gevonden oplossingen kan blijken dat de oplossing economisch niet verantwoord kan worden. Dit betekent dat er geen oplossing is (oplossing voldoet niet). Om dit te herkennen is het noodzakelijk in het schema van figuur 2.1 economische criteria op te nemen. Na de (theoretisch) uitgevoerde correctie worden de eigenschappen van het systeem dan ook getoetst aan de economische randvoorwaarden. Alleen hiermee is het mogelijk een oordeel zuiver te houden en de reden (te duur!) om een oplossing te verwerpen ook later terug te kunnen vinden. Het zal nu meteen duidelijk zijn dat men, om toch tot een werkbare oplossing te komen, de oorspronkelijke technische eisen moet verlagen, waarbij men zich moet realiseren dat dit in de meeste gevallen ook kortere levensduurverwachting betekent. Deze situatie doet zich vaak voor bij reparaties, waar de mogelijkheden voor nabewerking, bijvoorbeeld vanwege de omvang van een object, beperkt zijn.

De materialen met een ledeburitische structuur zijn met de gebruikelijke verspanende technieken niet bewerkbaar. De enige mogelijkheid om het oppervlak te bewerken is schuren en slijpen. Bij reparaties van de opgelaste laag kan men ook elektrisch gutsen. Keramische materialen zijn alleen nog te slijpen met diamant.

2 Verwerkbaarheid

Niet alle materialen zijn voor een gekozen proces

tabel 7.1 Overzicht van te beantwoorden vragen

<p>1. Heeft de oplossing zich eerder bewezen? (JA) Is het een standaardoplossing? (JA) Zijn de gebruikte materialen in overeenstemming met een specificatie? (JA) OPLOSSING BEREIKT. (NEE) Maak duidelijke afspraken met de leverancier. Oplossing bereikt. (NEE) Tracht de condities te achterhalen en vergelijk deze met de eigen omstandigheden. Zijn de gevonden verschillen groot? (JA) Testen noodzakelijk. Ga verder met vraag 2. (NEE) Oplossing waarschijnlijk bereikt. Voer een praktijktest uit en herhaal de analyse van § 7.1 als er schade ontstaat. Als er geen schade in de test ontstaat is de oplossing bereikt. (NEE) Testen van de oplossing is noodzakelijk. Ga verder met vraag 2.</p> <p>2. Voldoet de oplossing nog aan de oorspronkelijke ontwerp-eisen? (JA) Voer de testen uit. Bij schade analyse herhalen. Documenteer de resultaten en ga door naar vraag 3. (NEE) Pas het ontwerp aan. Raadpleeg hiervoor zo nodig leveranciers en/of specialisten. Voer daarna de testen uit. Bij schade analyse herhalen. Documenteer de resultaten en ga verder met vraag 3.</p> <p>3. Zijn de testresultaten in orde en zijn de bedrijfscondities zoals oorspronkelijk voorzien? (JA) OPLOSSING BEREIKT. (NEE) Analyseer de condities en vergelijk deze met gegevens van andere toepassingen. Raadpleeg zo nodig leveranciers en/of specialisten om vast te stellen welk risico wordt gelopen, zeker als ook het ontwerp moest worden aangepast. Voer aanvullende testen uit en voer met de resultaten de analyse van § 7.1 opnieuw uit. Indien uit alle testresultaten voldoende vertrouwen is ontstaan, is de oplossing bereikt.</p>

verkrijgbaar. De samenstelling kan bijvoorbeeld dermate hoog zijn, dat de legeringselementen bij het oplassen niet in een gevulde draad kunnen worden gebracht. Of een massieve draad kan in verband met de brosheid niet als een ledeburitische legering worden geleverd. Bij het onder poeder en het elektroslaklassen kan men terugvallen op gesinterde band. Men kan nagenoeg alle gewenste samenstellingen verkrijgen in gesinterde band. Ook bij het thermisch spuiten kunnen zich dergelijke beperkingen voordoen.

De verwerkbaarheid heeft dus grote invloed op de proceskeuze en daarmee ook op de kosten. Het kan blijken dat een noodzakelijk proces niet (op tijd) beschikbaar is. De verwerkingsaspecten kunnen dus ook betekenen dat de gevonden oplossing niet voldoet en de oorspronkelijke uitgangspunten moeten worden herzien. In dit geval wordt geadviseerd de afweging te herleiden tot een kostenafweging, waarmee toetsing aan figuur 2.1 mogelijk blijft. Een (te) late levering kost geld maar kan opwegen tegen het verlies van levensduur als een minder optimaal proces moet worden gekozen.

7.3 Software-ondersteuning

7.3.1 COSTCOMP (oplassen)

Tot nu toe is met geen woord gerept over de kostenaspecten van het opbrengen van slijtvaste- en corrosievaste lagen. Het is van het grootste belang eerst het aantastingsprobleem tot een goede oplossing te brengen; daarna pas is het zaak het kostenaspect in ogenschouw te nemen. In de praktijk blijkt dat, wanneer eerst naar de kosten wordt gekeken (dit is berucht in de nieuwbouwfase), men achteraf moet vaststellen dat als gevolg van een snelle aantasting onderdelen voortijdig moeten worden vervangen, dus buiten de geplande stilstanden! Een en ander betekent hogere kosten door:

- ▶ productiederving;
- ▶ aanpassing van de installatie om betere beschermingsmiddelen te kunnen toepassen;
- ▶ alsnog kosten voor een duurdere slijt- of corrosievaste laag.

Voor het lassen heeft het Nederlands Instituut voor Lastechniek een software programma ontwikkeld: COSTCOMP®. Het programma is tegenwoordig met een proeftermijn van 30 dagen direct uit Internet te halen (zie 7.3.2 "PUBLICAT").

In dit programma heeft men ook de optie "oplassen" opgenomen.

De oplasprocessen kunnen hiermee qua kosten met elkaar worden vergeleken. Wanneer men met behulp van dit programma de kosten van twee verschillende processen wil vergelijken, dient men eerst een aantal basisgegevens in te voeren. Het programma vraagt daarna verdere informatie, bijvoorbeeld over de oplasdikte. Vervolgens wordt de benodigde hoeveelheid lasmetaal per meter bij een oplasbreedte van 1000 mm berekend. Door de gebruiker kan van tevoren verschillende waarden, zoals de te verwachten neersmeltsnelheid, procentuele inschakelduur, prijzen van de lastoevoegmaterialen (draad, elektroden, gas, poeder, enz.) worden ingevoerd.

De figuren 7.26 en 7.27 geven een en ander weer. In dit voorbeeld worden de laskosten vergeleken voor het oplassen door middel van onder poeder lassen met gevulde draad en het booglassen met gevulde

draad zonder gasbescherming voor een laagdikte van 6 mm.

De op te lassen materialen zijn: UP10-GF-65-G respectievelijk MF10-GF-65-G. Het resultaat van de neersmelt komt overeen met X560CrNb22 7.

Voor het onder poeder lassen wordt het poeder NEN EN 12522: BFB14 AC10/HP15-3-6 gebruikt.

De kosten voor deze materialen per kg bedragen:

Draad voor onder poeder lassen Ø 2,4 mm:	f 20,43
Poeder:	f 5,65
MAG-draad Ø 4,0 mm:	f 27,73

In de figuren zijn de procescoderingen volgens NEN ISO 4063 opgenomen.

In het voorbeeld staat 114 voor het booglassen met poeder gevulde draad (gasloze draad); 121 voor het onder poeder lassen met draadelektrode.

De aanduiding PA staat voor het lassen onder de hand (zie NEN ISO 6947).

7.3.2 MS-Card (opsputten)

MS-Card® is een door CRC Press Inc. uitgebracht computerprogramma voor het selecteren van materialen voor thermisch spuiten. Het is gebaseerd op commerciële informatie, verstrekt door diverse in de U.S.A actieve leveranciers. De uitgever aanvaardt echter geen verantwoordelijkheid voor de juistheid van de gegevens. Het hoofdmenu bevat vier items:

- informatie over materialen;
- informatie over toepassingen;
- informatie van leveranciers;
- uitleg over jargon van thermisch spuiten, een soort woordenboek.

Het materiaalmenu voert naar informatie over 13 materiaalgroepen, die vervolgens worden onderverdeeld in materiaaltypen. De volgende stap geeft de leveranciers die dit type materiaal leveren, waarna kan worden gekozen uit de door de leverancier aangeboden soorten (korrelfracties, merknamen). Wordt een van deze opties gekozen, dan verschijnt het uiteindelijke scherm met gedetailleerde gegevens:

- merksnaam;
- leveranciersaanduiding;
- aanwijzing voor de samenstelling (bijvoorbeeld Alumina 2-3% Titania);
- typische korrelgrootte (bijv. (-53 +15);
- eindgebruikersspecificaties (meestal luchtvaart specificaties).

Leveranciers en eindgebruikersspecificatie zijn vanuit het materialenmenu ook direct op te roepen.

De meest interessante toepassing is het applicatiemenu. Dit bevat vier opties:

- overzicht van industriegroepen;
- overzicht van processen;
- overzicht van onderdelen;
- materiaaloverzicht.




Het laatste is hetzelfde als wat in het materiaalmenu wordt geboden.

Er zijn 21 industriegroepen. Na elke industriegroep verschijnen enkele toepassingsgroepen, die verder worden onderverdeeld in concrete toepassingen. Wordt een toepassing gekozen, dan verschijnt het eindscherm "Toepassingen" met de volgende informatie:

- industriegroep;
- toepassing;

COSTCOMP nr: 5.0.9403.3550 - [comparison mode]			
File Compare Features Joint Set up			Help
using "NIL" pre-defined data			
Deposition rate	g/min	6,49	8,10
Cost per kg flux or m ³ gas	dfl	5,65	0,00
Cost per 1000 electrodes or kg wire	dfl	20,43	27,73
Labour (without equipment) per hour	dfl	50,00	50,00
Number of hours per annum	h	1500,00	1500,00
Process arc-on time	z	50,00	28,00
Amount of work under survey	z	100,00	100,00
Rejection rate	z	5,00	5,00
Total investments	kdf	30,000	15,000
Interest	z	8,00	8,00
Depreciation period	yr	5,00	5,00
Total cost per annum	kdf	232.653	182.859
Deposited weldmetal per annum	kg	4625,78	3231,90
Weight per meter	kg	47,10	47,10
Total cost per kg weldmetal	dfl	50,29	56,58
Cutting cost per meter	dfl	0,00	0,00
Cost for this step per meter	dfl	2368,89	2664,88
Cumulative cost for this weld (per meter)	dfl	2368,89	2664,88
Press F10 for menu. Language = C:_COSTCOMPLAN ## Data = C:_INL.DAT ## Session = C:_COSTCOMPLOG 95-11-19#15:41			

figuur 7.26 COSTCOMP schermbeeld (resultaat)

Welding cost specification			
Specification per kg			
Material: STEEL		Left Column	Right Column
			
Material costs per kg	dfl	29,16	29,24
Labour costs per kg	dfl	25,02	18,27
Investment costs per kg	dfl	1,27	1,78
Specification per (meter) weld			
Material costs per meter weld	dfl	1401,36	1405,16
Labour costs per meter weld	dfl	1202,31	878,20
Investment costs per meter weld	dfl	61,21	85,53
Estimated weight and times			
Material net weight for this part of the weld	kg	47,100	47,100
Material gross weight for this part of the weld	kg	48,610	48,610
Estimated welding time for this part of the weld	h	21,856	15,273
Productivity	kg/h	2,155	3,081
Left column: 121 4.0 mm PA Right column: 114 2.4 mm PA			

figuur 7.27 COSTCOMP schermbeeld (laskostenspecificatie)

- onderdeel;
- gebruikelijke materialen en processen;
- aanbevolen materialen en processen.

Verder kan een regel commentaar zijn opgenomen en wordt verteld of het een gebruikelijke OHM (nieuwbouw) toepassing betreft dan wel een reparatie en wat de functie is. Het laatste wordt nogal cryptisch aangegeven met een drieletterige code, die alleen via het hoofdmenu 'uitleg over jargon' te achterhalen valt.

Wordt vanuit het applicatiemenu gekozen voor processen, dan verschijnen 13 thermische spuitprocessen, waarna opnieuw het overzicht van toepassingen wordt gegeven, echter nu worden alleen oplossingen betreffende het gekozen proces getoond, wat in veel gevallen een scherm 'no parts found which are coated using ...' oplevert.

Vanuit het applicatiemenu onderdelen kiezen is lastig. Er verschijnt direct een scherm waar de naam van het onderdeel moet worden ingevuld. Een verkeerde schrijfwijze geeft geen antwoord! Wordt een toepassing gevonden, dan verschijnt het eerder genoemde eindscherm "Toepassingen".

Vanuit het hoofdmenu kiezen voor leveranciersinformatie geeft overzichten van adressen, vestigingslanden of de materiaalgroepen die worden geleverd, in dit geval gevolgd door een scherm waarin eerst het vestigingsland moet worden gekozen, waarna opnieuw de adresgegevens verschijnen.

Een groot gemis in het programma is dat niet kan worden gezocht op 'problemen'. De genoemde functiecodes zijn te benaderen via het 'woordenboek', waarbij bovendien veelvuldig gebruik wordt gemaakt van kruisverwijzingen naar schermen die geen informatie bevatten. Zo levert de term 'AWL' op dat dit betrekking heeft op 'abrasive wear at low temperature' met alleen een verwijzing naar 'wear', waar een zeer globale uitleg over slijtage wordt gevonden. Zoeken op de term 'AWL' of andere functiecodes is niet mogelijk.

Samenvattend kan worden gesteld dat het programma een goed overzicht geeft van commercieel verkrijgbare materialen en processen, echter zonder hulp te bieden bij het kiezen. Alleen als men zeer goed op de hoogte is van de (Amerikaanse) aanduiding van onderdelen is er enige voorbeeldfunctie te verwachten.

7.3.3 Overige selectiehulpen

Er zijn nog enkele commercieel verkrijgbare selectiehulpen, die mogelijk interessant zijn. In het literatuuroverzicht zijn de details opgenomen, zodat de lezer zelf zijn weg hierin kan zoeken. Naast de hieronder genoemde programma's is er nog een systeem uitgebracht door de firma Linde (Duitsland) waarin o.a. de gegevens uit de Stahlschlüssel worden gebruikt voor de gegevens van basismaterialen. Het bevat tevens een uitgebreide collectie gegevens van thermisch gespoten deklagen. Bij de auteurs zijn verder geen gegevens bekend. In toenemende mate kan er echter steeds meer hulp worden gezocht op het 'Internet'. Als voorbeeld willen we hier noemen: <http://www.suppliersonline.com>, waar een formidabele database met materiaalgegevens gratis toegankelijk is (na registratie). Hierna volgen nog

enkele programma's die naar het oordeel van de auteurs kunnen bijdragen aan het oplossen van slijtage- en/of corrosieproblemen.

ASM International: Industry Report Series on 'Protective Coating Processes' (opspuiten)

Dit programma is een geautomatiseerd literatuuroverzicht van ASM International dat alle referenties op het gebied van beschermende deklagen over een periode van twee jaar bevat. Momenteel zijn er twee delen verschenen voor de jaren 1989-1990 en 1991-1992. Het programma wordt uitgebracht door Materials Information, een samenwerkingsverband tussen ASM International en het Britse Institute of Materials. Het bestaat uit een klapper en een computerprogramma. Beiden bevatten dezelfde informatie, Het computerprogramma heeft echter meer flexibele zoekmogelijkheden.

Het programma start op met een korte inhoudsopgave, die echter geen mogelijkheid geeft voor een directe benadering van een van de onderwerpen. Er is geen handboek, zodat het even tijd kost voor het duidelijk is hoe een en ander werkt. In feite bevat het programma een tekstdocument waarin met behulp van krachtige hypertext faciliteiten kan worden gezocht. Door het opstarten van de optie 'zoeken' (search) verschijnt de thesaurus, waarin zowel materiaal aanduidingen als trefwoorden zijn opgenomen. Het intypen van (Engelse) trefwoorden zoals 'wear' geeft snel de mogelijkheden aan met direct het resultaat (bijvoorbeeld 300 uittreksels waarin 'wear' voorkomt. De zoektocht kan worden verfijnd door het maken van combinatie met booleaanse operatoren. Bijvoorbeeld 'wear & corrosion' versmalt het resultaat tot 89 uittreksels. Verder combineren met 'thermal spray' levert nog maar 20 uittreksels, welke kunnen worden gelezen of geprint. Een bezwaar is dat de thesaurus zelf als eerste document verschijnt.

Het programma geeft, na enige gewenning de mogelijkheid snel te zoeken in een grote hoeveelheid literatuur uittreksels op het gebied van deklagen. De gebruikersvriendelijkheid laat echter te wensen over. Jammer is dat de beide jaargangen niet zijn te combineren. Kenners van het programma 'Folio' waarin de toepassing is geschreven, zullen hier ongetwijfeld een oplossing voor weten te vinden.

SearchMore® Thermal Spray CD-ROM (opspuiten)

Een selectie van de literatuurbestanden METADEX en Engineered Materials Abstracts van Materials Information in Londen is uitgebracht op CD-ROM. Het bestand omvat 3000 uittreksels uit tijdschriften en conferentiebundels over de periode 1989-1994. Daarnaast worden meer dan 200 patenten geciteerd. Van een flink aantal artikelen zijn ook de volledige tekst en illustraties als beeldmateriaal opgenomen. De zoekmethode werkt met trefwoorden, waarbij uit een lijst kan worden gekozen, of er kunnen eigen trefwoorden worden ingetikt. De software zoekt automatisch de best passende artikelen en toont deze in volgorde van relevantie. Dit wordt berekend aan de hand van waar in de tekst het trefwoord wordt gevonden en hoe vaak het voorkomt. Een snelzoekmethode is ook beschikbaar en werkt ongeveer zoals in veel on-line bibliotheekbestanden. Ter ondersteuning zijn een helpetekst (formaat Microsoft Windows) en een instructieboek aanwezig.

Tribex (algemeen, inclusief opspuiten en oplassen)

Met het slijtage-expertsysteem "Tribex" van het "Betriebsforschungsinstitut" te Düsseldorf heeft men een hulpmiddel ter beschikking dat bij veel tribologische problemen ondersteuning verleent. Het maakt een analyse van het tribologische systeem mogelijk, alsmede de keus van de juiste slijtageproef en het zoeken naar relevante literatuur en al beschikbare oplossingen en reeds gedane slijtageproeven. Het expertsysteem bevat een veelvoud aan informatie, die de gebruiker in een gebruiksvriendelijke vorm wordt aangeboden. Ook bestaat de mogelijkheid eigen oplossingen voor een later hergebruik te archiveren. Voor de noodzakelijke actualisering, de verdere ontwikkelingen van het systeem is een gebruikerskring gevormd.

Apticote Isis® (opspuiten en oplassen)

Dit programma is een op Windows gebaseerd expertsysteem voor de selectie van oppervlaktebehandelingen en deklagen voor slijtage en corrosie. Het is ontwikkeld door de Universiteit van Hull in samenwerking met industriële bedrijven. Het programma gaat wel uit van vaktechnische voorkennis en geleidt daarmee een gebruiker stap-voor-stap naar de oplossing. Het vraagt invoer van materialen, (ontwerp)randvoorwaarden, omgevingscondities en prestatie-eisen. Het programma geeft als antwoord een opsomming van de mogelijke oppervlaktebehandelingen uit een bestand van 200 processen. De rangorde kan worden bepaald naar kosten, slijtagebestendigheid, corrosiebestendigheid, milieubelasting. Van elke oplossing is een uitgebreide datasheet aanwezig in het systeem. Van de uiteindelijk mogelijke oplossingen moeten alle datasheets eerst zorgvuldig worden bekeken voordat een definitieve keuze wordt gemaakt. Het is ook mogelijk het systeem te voeden met eigen ervaring.

Preheat® (oplassen)

"The Welding Institute" heeft het programma "Preheat" ontwikkeld. Het programma is van 1985. Met behulp hiervan is het mogelijk van ongelegeerde staalsoorten de toe te passen voorwarmtemperatuur te bepalen voor de meest gebruikelijke lasprocessen. De in te voeren gegevens zijn o.a.:

- ▶ het lasproces;
- ▶ de warmte-inbreng;
- ▶ de samenstelling van het basismateriaal;
- ▶ de materiaaldikte;
- ▶ het waterstofgehalte van het toevoegmateriaal.

Onder de lasnaadvormen kan, in verband met het oplassen, de optie "BOP" (Bead on plate) nuttig zijn.

PUBLICAT® (oplassen en opspuiten)

PUBLICAT is een eenvoudige index (database) van artikelen en publicaties, die wordt geleverd tezamen met een gelijknamig programma voor het snel opzoeken van de gewenste onderwerpen. PUBLICAT bevat alle publicaties uit het tijdschrift 'Lastechniek' op het gebied van lassen en thermisch spuiten, NIL-rapporten, referaten van NIL-BIL voorlichtingsdagen en NIL voorlichtingsbladen uit de periode 1-1-1981 tot heden. Daarnaast zijn ook artikelen uit het Belgische 'Lastijdschrift' en tal van andere toonaangevende tijdschriften uit het binnen- en buitenland uit de genoemde periode in de database van PUBLICAT opgenomen. Het volledige PUBLICAT

pakket met meer dan 2400 geïndexeerde artikelen is gratis te 'downloaden' op de NIL-site (<http://www.nil.nl/download.htm>) en wordt permanent onderhouden.

7.3.4 Ontwikkelingen

Het kiezen van deklagen houdt velen bezig. Er zijn inmiddels tientallen initiatieven om te komen tot geavanceerde selectiesystemen. Op een enkele uitzondering na hebben ze met elkaar gemeen dat men streeft naar volledigheid. Dit leidt tot een complexe opzet die veel ontwikkeltijd vergt. Bekende initiatieven zijn al voor 1990 gestart. Een aantal verkeert in een afrondende fase, maar de meesten zullen waarschijnlijk nooit commercieel verkrijgbaar zijn. Eén mogelijke uitzondering worden hieronder kort besproken.

Faktendatabank für Hartstoffsichten

In Duitsland wordt door het Forschungsinstitut für Edelmetalle, met hulp van het Duitse Ministerie voor Onderzoek en Technologie gewerkt aan een uitgebreide kennisbank voor PC platforms. De databank wordt opgebouwd met het programma Adimens. De kern wordt gevormd door een geavanceerd zoekstelsel waarmee gegevens, die na zorgvuldige weging door een wetenschappelijk team werden gehaald uit gepubliceerde artikelen en rapporten, worden benaderd. Het gebied omvat meerdere deklaagsystemen met het accent op CVD en PVD, maar ook het plasmaspuiten is opgenomen. Er zijn 32 met elkaar gekoppelde bestanden met de volgende inhoud:

Depositieproces:

CDV/PVD/polymerisatie/laser/plasmaspuiten/
elektrochemisch/galvanisch/kataforese/diffusie/
zoutbadimmersie

Deklaag:

enkellaags/meerlaags/tussenlaag

Materialen:

substraat/bronnen/gassen/fabricage/vorm/
voorbehandeling/enz.

Processen:

apparatuur/manipulatie/parameters/reiniging/
nabehandeling/opbrengst

Analyse:

samenstelling/structuur/morfologie/topografie/
fractografie/poreusheid

Fysische- en mechanische eigenschappen:

weerstand/diffusiebarrière/kleur/hardheid/
elasticiteit/taaiheid/inwendige spanning

Mechanische en chemisch gedrag:

slijtage/vermoeiing/loopeigenschappen/erosie/
cavitatie/oxidatie/corrosie

Interface:

samenstelling/hechting/precipitatie/nucleatie/
diffusie

Toepassingen en bewerking.

Hoofdstuk 8

Overzicht gebruikte literatuur

1. Abrasion und Erosion; H. Uetz; Carl Hansen Verlag (ISBN 3-446-14215-0).
2. Materials to resist Wear; (A Guide to their Selection and Use); A.R.Landsdown en A.L.Price; Pergamon Press (ISBN 0-08-33442-3).
3. Surface Engineering for Wear Resistance; K.G.Budinski; Prentice-Hall (ISBN 0-13-977937-6).
4. Engineering Coatings; Design and Application; Stan Grainger; Abington Publishing (ISBN 1-85573-000-6).
5. Thermisch spuiten; VM 95; Vereniging FME-CWM; (ISBN 90-71306-55-0).
6. Inventarisatie slijtage- en corrosiebestrijding; C.J.Halkes, februari 1991; IPL-TNO. Deelrapport NIL-project Oplassen.
7. Inventarisatie Slijtvastheid van oplaslegeringen; J.W.M.Mens, februari 1994; TNO Industrie. Eindrapport NIL-project Oplassen. Nr.OL94-32.
8. Bestrijding abrasieve slijtage bij Hoogovens door middel van oplassen. Th.J.Verheiden, Lastechniek, 54, september 1988 pag. 177-183.
9. Toepassing explosieflansen neemt explosief toe; A.J.M. Deudekom, I²-Werktuigbouwkunde 1991 pag 8-11
10. Wear: Causes, cure, control; R.F.Smart, Surfacing Journal 1984 Vol 15 No. 3 en 4 pag. 37-41
11. Résistance à l'usure par abrasion de rechargements en fontes au chrome. Présentation de cas concrets; C.Gallo en M.Hubert, Soudage et Techniques connexes, nov. & dec. 1980, blz 371-387.
12. High stress abrasion of carbidic hardfacing alloys; P.W.Leech, Surface Engineering 1989 vol 5 No.1 pag 41-44
13. Hardfacing. AWRA Technical Note 4, july 1979; Australian Welding Research Association; Milsens Point, Australië.
14. Corporate Engineering Standard CES 23 part 1, April 1978; Applied Surfaces for Wear Protection; Part 1 Weld deposited surfaces; British Steel Corporation, Croydon, UK.
15. Metals Handbook; Volume 13, Corrosion; ASM International, 1992
16. Nickel-base alloys combat corrosion.; D.G. Agarwal, W. Herda; Advanced Materials & Processes 6/95 pag. 25-28
17. Thermal Spray Technology Course Nr. 51; ASM International 1992.
18. Corrosion tables stainless steels; Jernkontoret Stockholm Sweden, 1979.
19. Coatings for high Temperature Applications; E. Lang Applied Science Publishers Ltd.; Ripple Road, Barling, Essex, Engeland; ISBN 0-85 334-221-0.
20. Lassen van roest- en hittevaststaal; VM 42; Vereniging FME-CWM; ISBN 90-71306-32-1.
21. A practical guide to high-temperature Alloys; P. Elliot; Materials & Design, Vol. 12 no. 6 december 1991; pag. 299-307.
22. Submerged arc strip cladding; R. Daemen; Brochure Soudometal.
23. Corrosie van Oplaslegeringen; TNO-rapport 94/101750/VUI/SCI, 6 mei 1994; Mw.C. Bauma en J. Vuik.
24. Lasmetaalkunde, behorende bij de opleiding European Welding Technologist; H. Bodt; Nederlands Instituut voor Lastechniek, Voorschoten.
25. Strength of Materials; S. Timoshenko; D. Van Nostrand Company Inc., Princeton, New Jersey.
26. Eigenspannungen und ihr Einfluß auf die Haltbarkeit aluminothermisch geschweißten Schienen; R. Dohse; Mitteilungen des Institutes für Eisenbahn und Straßenbahn des TH München, Heft 9, 1966.
27. Zur Berechnung oberflächengehärteten Kranlaufräder; M. Kos; Deutsche Hebe- und Fördertechnik, 1969 Nr 9 Pag. 543-551.
28. Oplassen; W. Pors; Lastechniek 56, februari 1990, pag. 54-63.
29. Oplassen (deel 2); W. Pors; Lastechniek 55, februari 1989, pag. 296-309.
30. Engineered Materials for Advanced Friction and Wear Applications; Proceedings of an International Conference.; ASM International (ISBN 0-97170-331-9).
31. Thermal Spray Coating Applications in the Chemical Process Industries; R.P. Krepski; MTI Publication No. 42, 1993 (ISBN 1-877914-59-2).
32. The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings; L. Pawlowski; John Wiley & Sons, 1995 (ISBN0-471-95253-2).
33. Corrosion Basics, An Introduction; NACE, 1984 (ISBN 0-915567-02-4).
34. Welding Duplex and Super-duplex Stainless Steels; L.van Nassau, H.Meelker en J.Hilkes; Researchdag 1992: Van onderzoek naar praktijk; 12 november 1992, pag 35-54; Uitgave: Nederlands Instituut voor Lastechniek.
35. Corrosion Atlas, vol. 1 & 2; E.D.D. Doring; Elsevier, 1988.
36. Slijtage & Corrosie; voorkomen en repareren; W.Pors, H.J.M.Bodt; A.Kraak; NIL Regionale voorlichting 1995/96.
37. Over de afhankelijkheid tussen de slijtbestendigheid van metalen bij wrijving tegen abrasieve oppervlakken en hun hardheid (in Russisch); M.M.Chroešof en M.A Babičef; Westnik Mašinstrojenje 34 (1954);9 pag 3-9.
38. Industry Report Series Protective Coating Processes 1989/90 en 1991-92; Book and Programme disks; ASM International, Materials Park, Ohio 44073-0002USA; Tel. +1 216 338-5151, Fax +1 216 338 4634; The Institute of Materials, 1 Carlton House Terrace, London SW1Y 5DB, UK; Tel. +44 71 839-4071, Fax +44 71 839-2289.
39. MS-Card; Frank Longo en Keith Kowalsky; CRC Press Inc.; 2000 Corporate Blvd, N.W., Boca Raton, FL 33431, USA; ISBN 0-8493-8639-X
40. COSTCOMP; Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL); Krimkade 20, 2251 KA Voorschoten; Tel. 071 5611 211, Fax 071 5611 426.
41. SearchMore Thermal Spray CD-ROM; Zie lit. 38.
42. Apticote-Isis software; A.T. Poeton and Son Ltd, Eastern Avenue, Gloucester GL4 7DN, UK; Tel. +44 1452 300 500, Fax +44 1452 300 050.
43. Preheat; The Welding Institute, Abington Hall, Abington, Cambridge CB1 6AL, UK; Tel. +44 223 891162, Fax +44 223 892588.
44. Faktenbank Hartstoffschichten; Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie (Dr. H.A.Jehn); Katharinenstraße 17, D-7070 Schwäbisch Gmünd, Deutschland; Tel. +49 7171 1006-0, Fax +49 71711006-54.
45. PUBLICAT; Zie lit. 40.
46. Verschleiß-Expertensystem zur Unterstützung der Werkstoffauswahl bei abrasiv beanspruchten Bauteilen; J. Kurzynski; Stahl und Eisen, 116, januari 1996, pag 37-42; BFI-Betriebsforschungsinstitut (Dr.-Ing. O. Deutscher, Dr.-Ing. J. Kurzynski); VDEh-Institut für angewandte Forschung GmbH; Sohnstraße 65, D-40237 Düsseldorf, Deutschland; Tel. +49 211 6707-0, Fax +49 211 6707-609

Hoofdstuk 9

Praktijkvoorbeelden

9.1 Oplassen

Voorbeeld 1 (Abrasieve slijtage en corrosie)

Onderdeel: Neutronenbronhouder in de cokesbunkers van een hoogoven.

Doel: Meting vochtgehalte van cokes.

Schadebeeld: Abrasieve slijtage met corrosie.

Milieu: Vochtige cokes enigszins zwavelhoudend.

Basismateriaal: C45.

Remedie: Massief materiaal oplassen met gevulde draad DIN 8555:MSG-10-GF-350-CGT (X200CrNiNbSi21.10.8); dit is een stellietachtig materiaal op FeNi-basis). Daarna uitboren op de gewenste diameter.

Opm.: Elementen met een atoomgewicht < 16 en ook Co in de oplassing zijn als gevolg van de meetmethode niet toegestaan.

Hoogovens Staal, IJmuiden



figuur 9.1 Neutronenbronhouder

Voorbeeld 2 (Corrosie en abrasieve slijtage)

Onderdeel: Geleiderollen van een continu gietmachine voor staalplakken.

Doel: Het geleiden en ondersteunen van een stollende plak staal en verder in de machine het steunen en richten van de plak.

Schadebeeld: Corrosie en slijtage naast scheurvorming door thermische schok.

Milieu: Zeer vochtige omgeving (mist); ijzeroxiden bij temperaturen tot ca. 500°C.

Basismateriaal: 13CrMo44.

Remedie: Oplassen met gevulde draad DIN 8555: UP6-GF-55-C (X20Cr13), gevolgd door spanningsarmgloeien en afdraaien.

Hoogovens Staal, IJmuiden



figuur 9.2 Geleiderollen van een continue gietmachine voor staalplakken

Voorbeeld 3 (Adhesieve slijtage)

Onderdeel: Draaikom van een ruwijzer transportwagon (menger).

Doel: Het laten draaien van de wielstellen van de wagon.

Schadeoorzaak: Adhesieve slijtage.

Milieu: Kracht door het draaistel over te brengen: 4000 kN. Smering is gebrekkig.

Basismateriaal: GS 45; de in de kom draaiende bol is gemaakt van GIJ 22.

Remedie: Het oplassen of opspuiten met (las)draad DIN 8555: MSG-GZ-300-C, (CuAl 11).

Hoogovens Staal, IJmuiden



figuur 9.3 Draaikom van een ruwijzer transportwagon

Voorbeeld 4 (Adhesieve slijtage)

Onderdeel: Geleidebussen van de haspels in walsenrijen.

Doel: Het geleiden van de gewalste staalplaat.

Schadebeeld: Adhesieve slijtage (groeven).

Milieu: Lucht, wat vettig.

Basismateriaal: C35.

Remedie: Oplassen van een massieve cilinder met lasdraad DIN 8555: UP31-GZ-300-C (CuAl 11). Daarna wordt de cilinder in stukken van de juiste lengte gedeeld en gedeeltelijk uitgeboord. De kopskant wordt eveneens opgelast.

Hoogovens Staal, IJmuiden



figuur 9.4 Geleidebussen van de haspels in walserijen

Voorbeeld 5 (Erosie en corrosie)

Onderdeel: Frames van een continu gietmachine voor staalplakken.

Doel: Het dragen van de rollen van de gietmachine.

Schadebeeld: Erosie en corrosie.

Milieu: Koelwater met oxiden.

Basismateriaal: S 255.

Remedie: Naast het nemen van constructieve maatregelen wordt op de kritieke plaatsen een oplossing aangebracht met: Gevulde draad DIN 8555: MSG-4-GF-60-PS; (X60CrMoW 4 3 3).

Hoogovens Staal, IJmuiden



figuur 9.5 Frames van een continu gietmachine voor staalplakken

Voorbeeld 6 (Put- en spleetcorrosie en erosie)

Onderdeel: Scharnierpunt in olieleiding van een oliewinningsinstallatie (swivel).

Doel: Mogelijk maken dat horizontale leiding ten opzichte van de verticale leiding kan scharnieren.

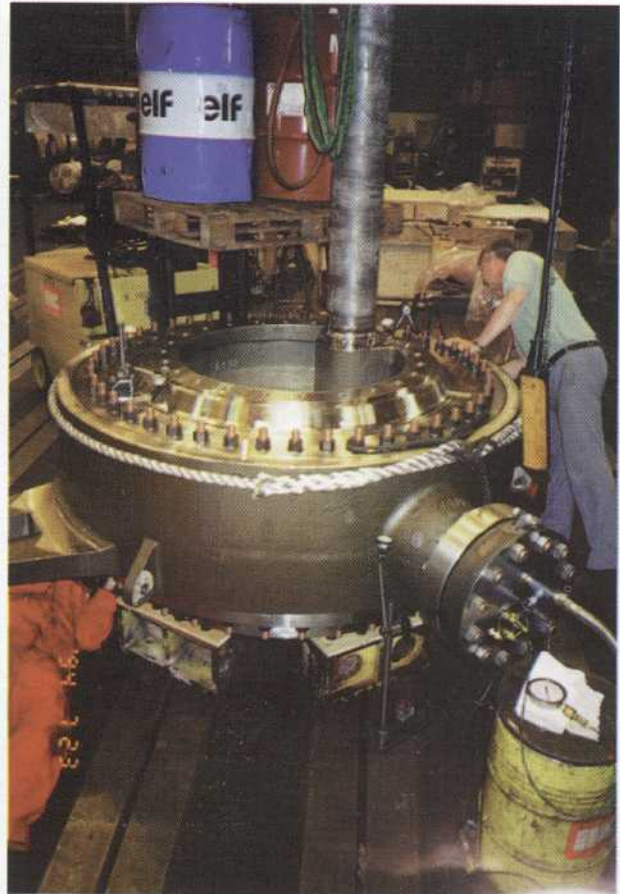
Schadebeeld: Put- en spleetcorrosie naast erosie.

Milieu: Ruwe olie met zwavel, zeewater en zand bij temperaturen tot 45 °C.

Basismateriaal: Super duplex (X2CrNiMoNCuW25.7.3).

Remedie: De sealvlakken onder poeder oplossen met lasdraad DIN 1736: UP-NiCrMo9Nb (Alloy 625) met als bufferlaag: Lasdraad DIN 1736: UP-NiCr23Mo16.

IHC-Holland (Parts & Services), Kinderdijk



figuur 9.6 Scharnierpunt in olieleiding van een oliewinningsinstallatie (swivel)

Voorbeeld 7 (Adhesieve slijtage en corrosie)

Onderdeel: Scharnierpunt van een oliewinningsinstallatie.

Doel: Mogelijk maken dat horizontale leiding om verticale leiding kan scharnieren.

Schadebeeld: Corrosie en adhesieve slijtage.

Milieu: Ruwe olie met zwavel, zeewater.

Basismateriaal: Duplex roestvast staal (Uranus 50); AFNOR 25CNDU21 08).

Remedie: Oplassen met lasdraad DIN 1736: UP-NiCrMo9Nb (alloy 625) met als bufferlaag: DIN 1736: UP-NiCr23Mo16.

IHC-Holland (Parts & Services), Kinderdijk

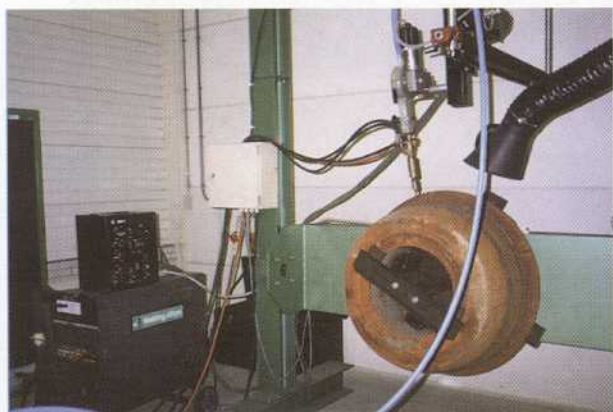


figuur 9.7 Scharnierpunt van een oliewinningsinstallatie

Voorbeeld 8 (Abrasieve slijtage)

Onderdeel: Kolenmaalrollen van kolen gestookte elektriciteitscentrales.
 Doel: Het vergruizen van vuistgrote steenkoolbrokken, ter verkrijging van een grotere verbrandingsintensiteit van de kolen.
 Schadebeeld: Abrasieve slijtage (high stress) van de rollen, maar ook van het maalbed.
 Milieu: Kolen van omgevingstemperatuur.
 Basismateriaal: Ni-hard 4 (is gekozen in verband met gieteigenschappen).
 Remedie: Oplassen met gevulde draad DIN 8555: MF10-GF-65-G (X5Cr27).

Welding Alloys, Beverwijk



figuur 9.8 Kolenmaalrollen van kolen gestookte elektriciteitscentrales



figuur 9.9 Bodem van een drukvat voor de chemische industrie

Voorbeeld 9 (Spanningscorrosie)

Onderdeel: Bodem van een drukvat voor de chemische industrie.
 Doel: Procesfunctie.
 Schadebeeld: Spanningscorrosie.
 Milieu: Waterstofhoudende atmosfeer.
 Basismateriaal: 15Mo3.
 Remedie: Door middel van elektroslak oplassen in één laag AISI 347 aanbrengen. Oplasband type 23.11 Nb; bandbreedte 30 x 0,5 mm.

Soudometal Nederland B.V.

Voorbeeld 10 (Putvormige corrosie)

Onderdeel: Bodem van een gaskoeler.
 Doel: Het koelen van verbrandingsgassen in de petrochemische industrie.
 Schadebeeld: Putvormige corrosie.
 Milieu: Zwaar corrosief met chloriden.
 Basismateriaal: 15Mo3 (2000 x 400 mm).
 Remedie: Het in twee lagen (8,5 mm) elektroslak oplassen van alloy 625 (NiCr23Mo9Nb; materiaalnummer 2.4831). Bandafmeting: 60 x 0,5 mm

Soudometal Nederland B.V.

Voorbeeld 11 (Algemene corrosie)

Onderdeel: Kopspoor bij een zuurstof verlaadstation.
 Doel: Spoorbaan voor wagons voor vloeibare zuurstof. Tussen de twee spoorstaven van het spoor staat een spanningsverschil van 6 volt. Door de

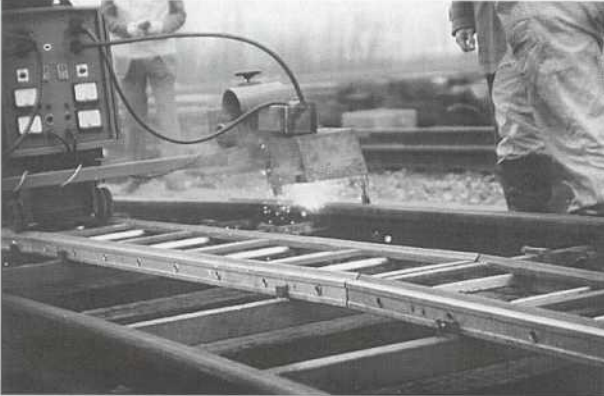


figuur 9.10 Bodem van een gaskoeler

wielen en de as van de wagon zal het sein op rood springen.
 Schadebeeld: Op het rij-oppervlak van de spoorstaaf ontstaat door atmosferische corrosie een isolerende roestlaag, waardoor de bediening van het sein onbetrouwbaar wordt.

Milieu: Industriële, maritieme atmosfeer.
 Basismateriaal: UIC-60 spoorstaven met een minimum treksterkte van 900 N/mm².
 Remedie: Het rij-oppervlak van de spoorstaafkop zig-zag op te lassen met de gevulde draad DIN 8555: MF9-GF-200-GR (X2CrNi 24 12).

Hoogovens Staal, IJmuiden



figuur 9.11 Kopspoor bij een zuurstof verlaadstation

Voorbeeld 12 (Abrasieve slijtage; erosieve slijtage)

Onderdeel: Grote trechter van een hoogoven vulinstallatie.

Doel: Het verdelen van de grondstoffen in de hoogoven en het gasdicht afsluiten van de ovenmond.

Schadebeeld:

- a: Abrasieve slijtage door erts en cokes.
- b: Erosieve slijtage door met stofdeeltjes verontreinigd hoogovengas en abrasieve slijtage door het langs glijden van erts en cokes.

Milieu: Verontreinigd hoogovengas, stoom en grondstoffen (sinter, pellets en cokes).

Basismateriaal: GS 20Mn5.

Remedie:

- a: Oplassen met de gevulde draad DIN 8555: UP10-GF-6-G (X600CrNb 22 7).
- b: Oplassen met de gevulde draad DIN 8555: UP6-GF-45-GP (X30CrMoW6 2 2). Na het oplassen wordt dit onderste deel van de trechter afgedraaid in verband met de gasafdichtende functie.

NB. Om vervorming tot een minimum te beperken wordt in de (slappe) trechter een veelarmig kruis aangebracht. Dit kruis wordt pas na het spanningsarmgloeien uit de trechter verwijderd.

Hoogovens Staal, IJmuiden

Voorbeeld 13 (Slijtage vermoeiing)

Onderdeel: Puntstuk van een wissel in de spoorweg bovenbouw.

Doel: Wielgeleiding om van het rechte spoor in de boog te komen of omgekeerd.

Schadebeeld: Slijtagevermoeiing door de wielen van spoorwagens.

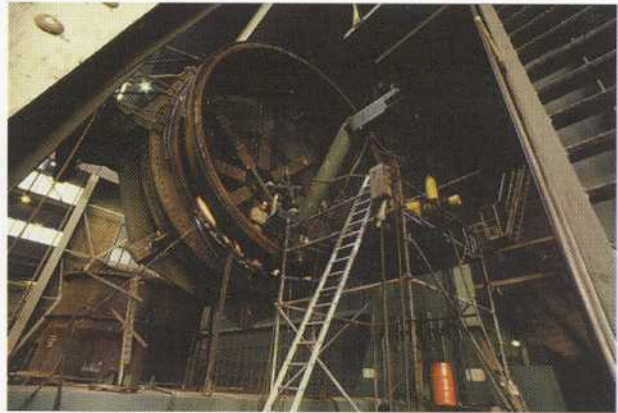
Milieu: Buitenatmosfeer.

Basismateriaal: X110Mn12.

Remedie: Oplassen (zo koud mogelijk) met elektrode DIN 8555: E7-200K (X75MnNi14) of met de gevulde draad: DIN 8555: MF7-250 KPR

(X30CrMnNiMoV16 14). Daarna wordt het puntstuk in het juiste profiel geslepen.

Esab Nederland BV, Utrecht



figuur 9.12 Grote trechter van een hoogoven vulinstallatie



figuur 9.13 Puntstuk van een wissel in de spoorweg bovenbouw

Voorbeeld 14 (Slijtagevermoeiing)

Onderdeel: Draagrol voor roterende cementmolen.

Doel: Het ondersteunen van de draaiende cilindervormige droogoven.

Schadebeeld: Slijtagevermoeiing.

Milieu: Rollen worden blootgesteld aan langdurige temperatuurbelasting van 400 à 500°C.

Basismateriaal: 13CrMo44.

Remedie: Het onder poeder een bufferlaag oplassen met de gevulde draad DIN 8555: UP1-GF-300-(10CrMo6.5). Daarover een toplaag met de gevulde draad DIN 8555: UP1-GF-400-T (12CrMo9.7). De rol wordt op 250°C voorgewarmd. Na het oplassen wordt spanningsarm gegloeid op 600°C.

Welding Alloys UK

Voorbeeld 15 (Putvormige corrosie)

Onderdeel: Drukvat voor de aardgasproductie.

Doel: Het raffineren van het residu van aardgasproducten.

Schadebeeld: Putvormige corrosie.

Milieu: Het residu bevat o.a. chloridehoudend water.

Basismateriaal: S355.

Remedie: Het onder poeder oplassen met gesinterde band 309LMO als bufferlaag en 316L als toplaag. De 309LMO kwaliteit is in gewalste vorm moeilijk te produceren en de verkrijgbaarheid is schaars. Het

toepassen van gesinterde band bood hier de oplossing.

Escher Holland B.V., Locatie Dintelmont



figuur 9.14 Draagrol voor roterende cementmolen



figuur 9.15 Drukvat voor de aardgasproductie (foto: Welding Alloys Nederland, Beverwijk)

Voorbeeld 16 (Abrasieve slijtage)

Onderdeel: Roterende breker.
Doel: Het vermalen van kalk, kunstmest, kolen, enz.
Schadebeeld: Abrasieve slijtage.
Milieu: Omgeving.
Basismateriaal: 19Mn5.
Remedie: Oplassen met de gevulde, gasloze draad:
DIN 8555: MF10-GF-65-G (X5Cr27 of X5CrNb22.6)

Welding Alloys UK



figuur 9.16 Roterende breker

Voorbeeld 17 (Abrasieve slijtage)

Onderdeel: Transportschroef.
Doel: Het transporteren van betonmortel.
Schadebeeld: Abrasieve slijtage.
Milieu: Betonmortel.
Basismateriaal: S355.
Remedie: Het autogeen oplassen met DIN 8555:
G21-UM 65-G (75% WC, korrelgrootte 0,24 - 0,7 mm, in een matrix van NiCr).

Castolin Benelux N.V., Delft



figuur 9.17 Transportschroef

Voorbeeld 18 (Hoge temperatuur corrosie)

Onderdeel: Klep van een scheidingsmotor.
Doel: Het afsluiten van de verbrandingsruimte.
Schadebeeld: Aantasting door verbrandingsgassen met hoge temperatuur.
Basismateriaal: X50CrMnNiNbN 21 9.
Remedie: Onder poeder plasma oplassen met Co-CrWNiFeCSi 28-4.

Van West Holland BV, IJmuiden/Castolin Benelux N.V., Delft



figuur 9.18 Klep van een scheepsmotor

9.2 Opspuiten

Voorbeeld 19 (Abrasieve slijtage)

Onderdeel: Wals van een papiermachine.
 Doel: Het drogen en geleiden van de papierbaan.
 Schadebeeld: Abrasieve slijtage.
 Milieu: Vochtig product.
 Basismateriaal: Gietijzer.
 Remedie: Met het arc-proces opspuiten van Fe-Cr 13.

Revamo Vlamspuittechniek, Meppel



figuur 9.19 Wals van een papiermachine

Voorbeeld 20 (Erosie)

Onderdeel: Separator.
 Doel: Separeren van fijn korrelig materiaal.
 Schadebeeld: Erosie.
 Milieu: Droog.
 Basismateriaal: Staal.
 Remedie: Opspuiten met WC-Co 17 met het HP-HVOF-proces.

Revamo Vlamspuittechniek, Meppel

Voorbeeld 21 (Abrasieve slijtage en corrosie)

Onderdeel: Zeefwals voor de glasvezelproductie.
 Doel: Omkeren en ondersteunen van het zeefgas.
 Schadebeeld: Abrasieve slijtage en corrosie
 Milieu: Nat.
 Basismateriaal: Roestvast staal type 316
 Remedie: Met het plasmaspuitproces opbrengen van keramisch Al_2O_3 99,5. Nabewerking: Slijpen.

Revamo Vlamspuittechniek, Meppel



figuur 9.20 Separator



figuur 9.21 Zeefwals voor de glasvezelproductie

Voorbeeld 22 (Abrasieve slijtage en corrosie)

Onderdeel: Huiddoorvoer.
 Doel: Afdichtingsplaats op de huiddoorvoer.
 Schadebeeld: Abrasieve slijtage en corrosie.
 Milieu: Zeewater.
 Basismateriaal: Brons.
 Remedie: Met het plasma-proces opspuiten met keramisch Al_2O_3 . Nabewerking: Slijpen.

Revamo Vlamspuittechniek, Meppel



figuur 9.22 Huiddoorvoer

Voorbeeld 23 (Abrasieve en erosieve slijtage)

Onderdeel: Mengschroef.
 Doel: Mengen van kunststofgranulaat met geregelde kunststof.
 Schadebeeld: Erosie en abrasieve slijtage door zand en vulstoffen.
 Milieu: Droog.
 Basismateriaal: Roestvast staal.
 Remedie: Met het HP-HVOF-proces opspuiten met WC-Co 17.

Remavo Vlamspuittechniek, Meppel

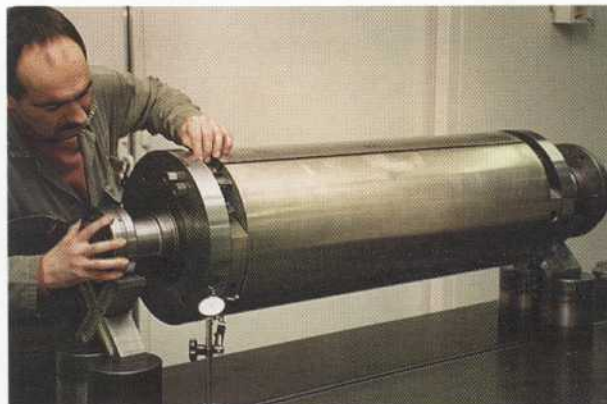


figuur 9.23 Mengschroef

Voorbeeld 24 (Algemene corrosie)

Onderdeel: Rubberdoekcilinder voor rotatie offsetmachines.
 Doel: Het transporteren van papier en het geven van tegendruk op de plaatcilinder.
 Schadebeeld: Primair een algemene corrosie; secundair beschadigingen door scherpe, harde voorwerpen.
 Milieu: Omgeving; echter het reinigen gebeurt met agressieve stoffen.
 Basismateriaal: GS 19Mn5 of GS X10Cr13
 Remedie: Met het HVOF-proces opspuiten met Ni-CrFeSiBC 12-4. De netto laagdikte is ca. 0,3 mm; grotere laagdikten, indien gewenst, zijn mogelijk.

Habets, Nuth

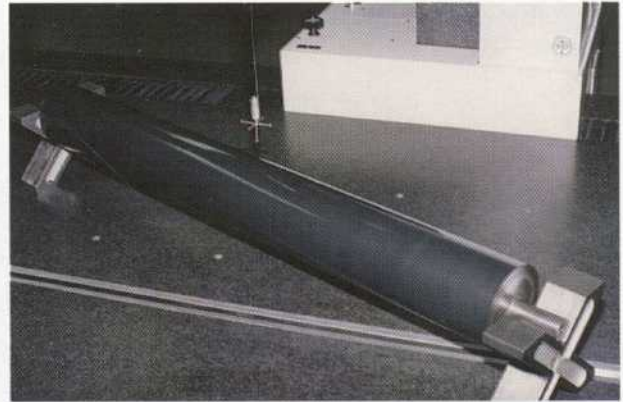


figuur 9.24 Rubberdoekcilinder voor rotatie offsetmachines

Voorbeeld 25 (Algemene corrosie)

Onderdeel: Inktbakrol voor rotatie offsetmachines en vellenpersen.
 Doel: Het overbrengen van inkt naar de plaatcilinder.
 Schadebeeld: Algemene corrosie door agressieve stoffen.
 Milieu: Agressieve oplosmiddelen.
 Basismateriaal: C45.
 Remedie: Het aanbrengen van 0,3 à 0,4 mm dikke laag door middel van plasmaspuiten met de legering $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2 \text{ TiO}_2$ 5-3.

Habets, Nuth



figuur 9.25 Inktbakrol voor rotatie offsetmachines en vellenpersen

Voorbeeld 26 (Abrasieve slijtage)

Onderdeel: Moerset (drukkring) ten behoeve van axiale lagerspeling inbouwstukken werkwalslagering, warmbandwalserij.
 Doel: Afdichting (lipseal).
 Schadebeeld: Abrasieve slijtage door vuilafzetting.
 Milieu: Warm water en vet.
 Basismateriaal: C35 of C45.
 Remedie: Het plasma opspuiten van een 0,3 à 0,4 mm dikke laag met $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2 \text{ TiO}_2$ 5-3.

Habets, Nuth



figuur 9.26 Moerset (drukkring) t.b.v. axiale lagerspeling inbouwstukken werkwalslagering

Voorbeeld 27 (Abrasieve en erosieve slijtage)

Onderdeel: Slijtplaat van een centrifugaalpomp (Ø 600 mm).

Doel: Bescherming tegen slijtage.
 Schadebeeld: Abrasieve en erosieve slijtage.
 Milieu: Verontreinigd water (kiezels en zand).
 Basismateriaal: Origineel: GS-X200Cr27. Opspuiten maakt het mogelijk GS 20Mn5 als basismateriaal te gebruiken.
 Remedie: Dit GS 20Mn5 wordt opgespoten en ingesmolten met Ni-CrFeSiBC 14-4,5, de laag heeft een hardheid van $60H_{RC}$ en de dikte is 3 mm.

Stork MHC, Amsterdam



figuur 9.27 Slijtplaat van een centrifugaalpompe

Voorbeeld 28 (Oppervlakte beschadigingen)

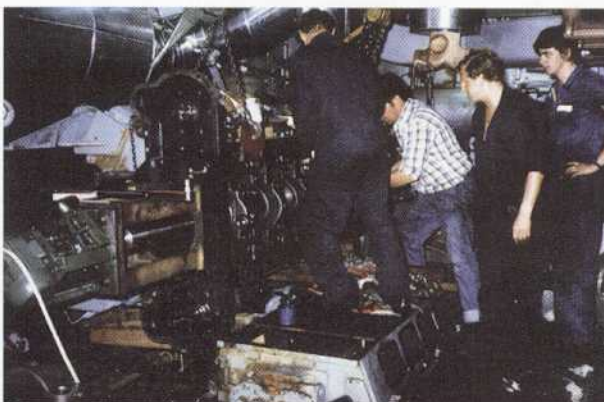
Onderdeel: Motorblok van een V-12 scheepsdiesel.
 Doel: Het repareren van een hoofdagerboring van een krukas.
 Schadebeeld: Oppervlaktebeschadigingen door een gebroken krukas.
 Milieu: Omgeving.
 Basismateriaal: GJ12.
 Remedie: Het autogeen poederspuiten, op locatie, met een zelfhechtend poeder: Ni-CrAlMoFe 9-7. Laagdikte ca. 1 mm netto.
 Opm.: Alternatieve reparatie: Het verwijderen van de motor uit het schip, d.w.z. Slopen van de dekplaten, het verwijderen van leidingwerk, enz.

Stork MHC, Amsterdam

Voorbeeld 29 (Erosie)

Onderdeel: Stoomturbine van een elektriciteitscentrale.
 Doel: Aandrijven van generator voor elektriciteitsopwekking.
 Schadebeeld: Erosie op de deelvlakken door het lokaal insnijden van de hete stoom bij lekkage.
 Milieu: Stoom.
 Basismateriaal: Laaggelegeerd constructiestaal.
 Remedie: Op locatie aanbrengen van een reparatielaag door middel van autogeenpoeder spuiten. De gebruikte legering is: Ni-AlMo 5-5.

Stork MHC, Amsterdam



figuur 9.28 Motorblok van een V-12 scheepsdiesel

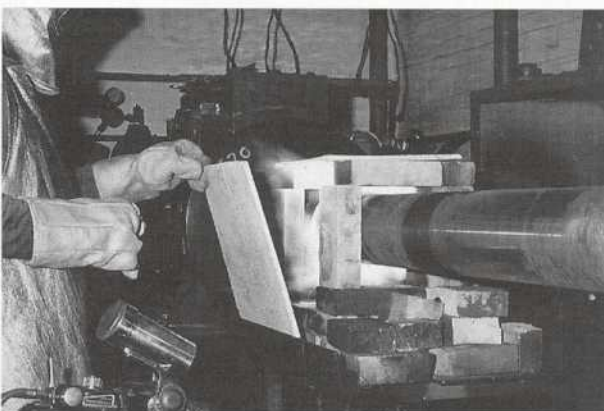


figuur 9.29 Stoomturbine van een elektriciteitscentrale

Voorbeeld 30 (Abrasieve slijtage)

Onderdeel: Astap van een transportschroef.
 Doel: Lagerplaats, die in ongesmeerde toestand moet kunnen functioneren.
 Schadebeeld: Abrasieve slijtage.
 Milieu: Kolengruis met andere gesteenten.
 Basismateriaal: 19Mn5.
 Remedie: Het opspuiten en insmelten van een Ni-CrSiBFeMoCu 16-4 legering. De laagdikte is 3 mm netto.

Stork MHC, Amsterdam



figuur 9.30 Astap van een transportschroef

Voorbeeld 31 (Fretting en adhesieve slijtage)

Onderdeel: Pers voor de automobiël industrie.
 Doel: Het verzorgen van een vaste passing voor een bronzen geleide bus.
 Schadebeeld: Fretting en adhesieve slijtage.
 Milieu: Omgeving.
 Basismateriaal: GS 20Mn5.
 Remedie: Het op locatie elektrisch draadspuiten met de legering Fe-NiMoMn 3,5-2

Stork MHC, Amsterdam



figuur 9.31 Pers voor de automobiëlindustrie

Voorbeeld 32 (Abrasieve slijtage)

Onderdeel: Afsluitring (Ø 400 mm) van een pendelmolen.
 Doel: Het blokkeren van grote stukken gemalen steen.
 Schadebeeld: Abrasieve slijtage.
 Milieu: Grondstoffen voor de kunstmestfabricage.
 Basismateriaal: S355.
 Remedie: Autogeen vlamspuiten en insmelten met WC-NiCrBSiFeC 35-3.

GTI Industriële Service, Amsterdam/Castolin Benelux N.V., Delft.

Voorbeeld 33 (Algemene corrosie)

Onderdeel: Hekwerk.
 Doel: Erfscheiding.
 Schadebeeld: Atmosferische aantasting (roesten).
 Milieu: Landelijke omgevingsatmosfeer.
 Basismateriaal: Fe 360.

Remedie: Het aanbrengen van een autogeen draadgespoten zinklaag (schoperen) in een laagdikte van ca. 80 μm , gevolgd door het aanbrengen van een zinkchromaat primer en een verfsysteem.

Stork Aludra B.V., Vlaardingen



figuur 9.32 Afsluitring (Ø 400 mm) van een pendelmolen



figuur 9.33 Hekwerk

Voorbeeld 34 (Putvormige corrosie)

Onderdeel: Mesttank.
 Doel: Opslagvat voor gier.
 Schadebeeld: Algemene en putvormige aantasting door de inwerking van gier (organisch zuur). Vaste mestdelen zetten zich vast op het oppervlak en veroorzaken verschillen in zuurstofconcentratie.
 Milieu: Gier.
 Basismateriaal: Fe 360.

Remedie: Het aanbrengen van een autogeen draadgespoten Zn-Al 15 in een laagdikte van 80-120 μm , waarmee levensduren van meer dan 10 jaar zijn bereikt.

Stork Aludra B.V., Vlaardingen



figuur 9.34 Mesttank

Voorbeeld 35 (Combinatie van corrosie en slijtage)

Onderdeel: Hydraulische servomotor.

Doel: Maken van een gecontroleerde lineaire beweging.

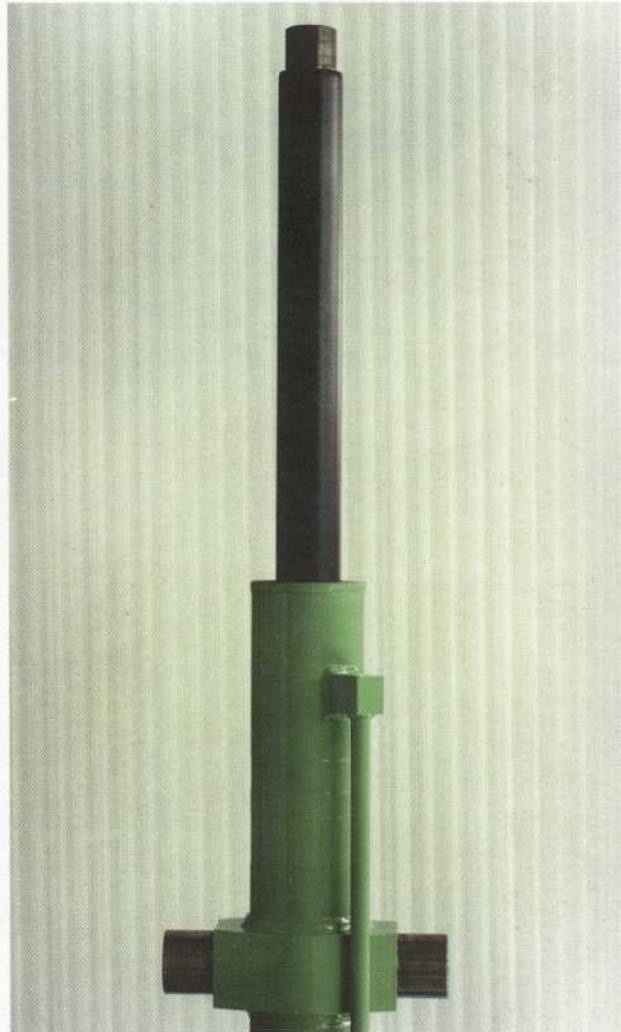
Schadebeeld: Adhesieve/abrasieve slijtage (w.o. krassen), corrosie door zeewater of chemicaliën.

Milieu: Hydraulische olie + atmosfeer.

Basismateriaal: Ck 45N.

Remedie: Plasmaspuiten van een keramische deklaag $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 13. Nabewerking superfijnen of uitwendig honen. De laag is ook toegepast ter vervanging van versleten hardchroomlagen.

Stork Aludra B.V., Vlaardingen



figuur 9.35 Hydraulische servomotor

Voorbeeld 36 (Hoge temperatuur aantasting)

Onderdeel: Verbrandingskamer van een gasturbine.

Doel: Opwekken van een gasstroom met hoge energie-inhoud.

Schadebeeld: Oxidatie en erosie.

Milieu: Rookgassen met temperaturen boven 1500°C waardoor kruip schade ontstaat in combinatie met erosie en oxidatie.

Basismateriaal: Superlegering.

Remedie: Het aanbrengen van een 'thermal barrier coating' door middel van plasmaspuiten. De coating heeft een complexe opbouw en is voor deze toepassing doorgaans beschermd door patenten. Gebruikelijk is een Ni-Cr 80-20 hechtlaag, gevolgd door een MCrAlY tussenlaag en een $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ 8.

Stork Aludra B.V., Vlaardingen



figuur 9.36 Verbrandingskamer van een gasturbine

Bijlage 1

Voorbeelden opspuitmaterialen

Onderstaand overzicht beoogt enkele voorbeelden te geven uit de veelheid van legeringen voor thermisch spuiten. De lijst is verre van volledig en er zullen van

fabrikant tot fabrikant variaties optreden. De aanduiding "dr.&pdr" in de kolom vorm geeft aan dat zowel draad als poeder voorkomt.

1. Ongelegeerd staal en laaggelegeerd staal

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Fe 99,6	ja poeder	elektroden
Fe-C 0,1	ja draad	reparatie
Fe-C 0,35	ja draad	reparatie
Fe-C 0,85	ja draad	slijtvaste lagen
Fe-MnSi 1,3-1	ja draad	middelharde slijtvaste lagen
Fe-MnCrCTi 2-1,8	ja draad	harde, stootvaste lagen, loopvlakken (krukassen) en afdichtingen
Fe-CrC 1-1	ja draad	hoogste slijtvastheid en hardheid in deze DIN-groep
Fe-NiMoMn 3,5-2	ja draad	reparatie, lage krimp, zeer goede bewerkbaarheid

2. Hooggelegeerd staal

Corrosievast

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Fe-CrNi 19-9	ja draad	type 304, bescherming tegen slijtage ¹⁾
Fe-CrNiMo 18-10	ja draad	type 304, bescherming tegen slijtage ¹⁾ , toepassing vereist speciale ervaring, er is een speciale versie beschikbaar die gemakkelijker is te bewerken voor o.a. anilox rollen
Fe-CrNiMo 19-12	ja draad	type 316, bescherming tegen slijtage ¹⁾
Fe-CrNiMo 17-12	ja poeder	type 316, bescherming tegen slijtage tot 540°C
Fe-CrNi(Si) 25-20	ja draad	hittevast, bescherming tegen oxidatie, ondergrond voor aluminiumlagen
Fe-CrNiMn 18-8	ja draad	slijtvaste lagen met geringe krimp
Fe-CrMnNi 18-8	ja draad	type 201, slijtvaste lagen met geringe krimp

1) Slijtvast door de aanwezigheid van oxiden

Slijtvast

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Fe-Cr 13	nee poeder	type 410, bewerkbare slijtvaste deklaag, ook voor fretting, reparatie
Fe-Cr 13	nee poeder	type 420, reparatie en slijtvaste lagen, lage krimp, oxidatiebestendig tot 540°C
Fe-Cr 14	ja draad	slijtvaste lagen voor boringen, lage krimp, loopvlakken voor krukassen en afdichtingen
Fe-CrNi 16-2	nee poeder	type 431, lage krimp, corrosiebestendige lagen, minder hard dan Fe-Cr 13, algemene reparatiedeklaag
Fe-MnAlSi 6-4	nee draad	slijtvaste anti-slip lagen
Fe-CrBMnSi 35-8	nee draad	harde, amorphe lagen (ca. 1200 H _v) met relatief hoge taaheid, zeer glad te bewerken, lage wrijvingscoëfficiënt, gemakkelijk te verwerken, voor bescherming tegen abrasie en erosie bij pompen in de chemische industrie en 'extruder barrels' voor kunststoffen

Andere

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Fe-NiAl 37-6	nee poeder	algemeen toepasbare reparatiedeklaag, speciaal voor herstellen van geometrie, dikke lagen mogelijk op staal en aluminium(legeringen)

3. Aluminium en aluminiumlegeringen

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Al 99	ja poeder	bescherming tegen atmosferische corrosie
Al 99,98	ja draad	bescherming tegen atmosferische corrosie
Al 99,5	ja draad	bescherming tegen atmosferische corrosie
Al-Mg 3	ja draad	verhoogde weerstand in maritieme omgeving
Al-Mg 5	ja draad	hoogste weerstand in maritieme omgeving
Al-Si 6	nee draad	reparatie
Al-Si 12	nee dr.&pdr	reparatie, lage krimp ²⁾

2) Dit materiaal komt ook voor met polyimide of polyester als slijtwillige legering voor gasturbines

4. Koper en koperlegeringen

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Cu-Zn 37	ja draad	glijlagers, decoratie
Cu-Sn 5	ja poeder	
Cu-Sn 6	ja draad	glijlagers ³⁾ , lage belasting
Cu-Sn 10	ja poeder	
Cu-Sn 12	ja draad	glijlagers
Cu-Sn 14	ja draad	glijlagers ³⁾ , lage belasting
Cu-ZnSn 39-1	ja draad	glijlagers, decoratie
Cu-Al 8	ja draad	glijlagers ³⁾ , lage belasting
Cu-Al 9,5	ja dr.&pdr	(aluminiumbrons), glijlagers, bestand tegen cavitatie en fretting, zeer goed bewerkbaar
Cu-AlFeMn 10-3	ja draad	glijlagers voor hoge belasting en levensduur
Cu-Ni 38	nee poeder	dichte lagen voor anti-fretting en bescherming tegen cavitatie in o.a. turbines en pompen
Cu-NiIn 36-5	nee poeder	dichte deklaag met uitstekende anti-vreet eigenschappen
Cu-Si 2,5	nee draad	reparatie

3) elektrisch draadspuiten; afhankelijk van de gewenste hardheid zijn voor de tweede draad Fe-C 0,1; Fe-MnSi 1,5-1; Fe-MnCrTi 2-1,8 of Fe-Cr 13 voorgeschreven voor slijtvaste lagen

5. Lood- en tinlegeringen

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Pb-Sb 1	ja draad	corrosiebestendige lagen
Pb-SbSnCu 14-10	ja draad	glijlagers en elektrische contacten
Sn 99,95	ja draad	corrosiebescherming in toepassingen voor voedingsmiddelen, elektrische contacten
Sn-SbCu 7,5-3,5	ja draad	type 2 babbitt, glijlagers voor stotende belasting, elektrische contacten
Sn-Zn 20	nee draad	elektrische toepassingen, o.a. condensatoren
Sn-Zn	nee draad	maken van matrijzen met veel detail voor verwerking van kunststoffen

6. Nikkel- en nikkellegeringen

insmeltlegeringen

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Ni-SiB 2.5-1.5	ja poeder	18-23 H _{Rc}
Ni-SiB 3,5-1,5	nee poeder	25-30 H _{Rc}
Ni-CrSiBFe 4,5-3,5	nee poeder	30-35 H _{Rc}
Ni-CrSiFeB 7,5-3,5	nee dr.&pdr	40 H _{Rc}
Ni-CrFeSiB 9-3,5	ja poeder	36-41 H _{Rc}
Ni-CrSiFeB 11-4	nee poeder	50 H _{Rc}
Ni-CrFeSiBC 12-4	nee poeder	46-51 H _{Rc}
Ni-CrFeSiBC 14-4	ja poeder ⁴⁾	54-58 H _{Rc}
Ni-CrFeSiBC 14-4,5	nee poeder	55-61 H _{Rc}
Ni-CrSiBFeC 15-4	nee poeder	hoge weerstand tegen oxidatie, hardheid blijft behouden tot 500°C, ook voor klepzittingen, zuigerstangen, afdichtingen, kamvolgers en turbinebladen
Ni-CrFeSiBC 16-5	ja poeder ⁵⁾	vrijwel porievrije deklaag voor abrasieve omstandigheden, erosie en fretting tot 540°C, gemakkelijk te verwerken
Ni-CrSiBFeMoCu 16-4	ja poeder	55-60 H _{Rc}
Ni-CuSiBFe 20-2	nee poeder	15 H _{Rc}
Ni-CrFeMoBCu 31-28	nee draad	wordt harder tijdens gebruik, hoge weerstand tegen corrosie en lage wrijvingscoëfficiënt, bruikbaar tot 870°C, gemakkelijk te verwerken

4) Ook als cermet met ca. 50% wolframcarbide voor verbeterde slijtvastheid

5) Ook als cermet met ca. 35% wolframcarbide of 50% WC-Co12 voor verbeterde slijtvastheid

hechtlagen

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Ni-Al 30	ja poeder	oxidatiebestendige tussenlagen
Ni-Al 20	nee dr.&pdr	oxidatiebestendige tussenlagen, bestand tegen abrasie
Ni-Al 18,5	ja poeder	omhuld poeder
Ni-Al 5	ja dr.&pdr	omhuld poeder, goede hechtlaag voor metallische en keramische lagen, herstel van geometrie, bruikbaar tot 815°C, zelfhechtend door exotherme reactie
Ni-AlMo 5-5	nee dr.&pdr	taai zelfhechtende deklaag voor lichte slijtage, voor algemene reparatie van koolstofstaal en RVS, geschikt als loopvlak
Ni-Cr 20	ja dr.&pdr ⁶⁾	corrosievaste ondergrond voor keramiek, bruikbaar tot 1000°C, als zelfstandige deklaag bestand tegen corrosie en oxidatie, goed bewerkbaar en daardoor geschikt voor herstel van geometrie
Ni-Cr 50	nee poeder	hogere corrosieweerstand dan Ni-Cr 20, speciaal voor vuurzijdige corrosie in waterpijpketels gestookt met fossiele brandstof
Ni-CrAl 19-6	nee dr.&pdr	bestand tegen oxidatie en agressieve gassen tot 980°C, slijtwillig, herstel

			van geometrie voor Ni-basis legeringen, zelfhechtend door exotherme reactie
Ni-CrAlMoFe 9-7	ja	poeder	taai, zelfhechtend en goed bewerkbaar, goede slijtage- en corrosieweerstand, oxidatiebestendig tot 870°C
Ni-Ti 40	ja	poeder	omhuld poeder

6) Bij dit deklaagtype zijn de eigenschappen tamelijk gevoelig voor de korrelgrootte en korrelgrootteverdeling, algemene richtlijnen zijn moeilijk te geven, de beste resultaten worden genoemd voor $-90/+10 \mu\text{m}$ die tot 980°C te gebruiken is.

andere legeringen

Aanduiding	DIN	Vorm	Toepassing
Ni-Cr 15	ja	draad	slijt- en corrosievaste lagen, hoogtemperatuurcorrosie
Ni-Cr 45	nee	draad	speciaal voor weerstand tegen aantasting door zwavel en vanadium bij hoge temperatuur (o.a. papierpulp - zgn. black liquor, vuilverbrandingsketels)
Ni-CrFe 16-8	ja	poeder	type 600, uitstekende weerstand tegen oxidatie en corrosie tot 1175°C, geschikt voor stoom
Ni-AlMo 6-6	nee	poeder	'one step coating' voor algemene toepassing, dichte en taai slijtvaste lagen met zeer goede hechting en lage krimp, geschikt voor zeer dikke lagen
Ni-CuMnFe 30	ja	draad	(monel), loopvlakken ⁷⁾ , bescherming tegen slijtage in corrosieve omgeving (chemische apparatenbouw), inwendige oppervlakken
Ni-CrMoNbFe 22-8	nee	dr.&pd	type 625, hoge corrosievastheid in maritieme omgeving en zwakke zuren, oxidatiebestendig tot 870°C, reparatie van machine-onderdelen in de papierindustrie, off-shore en energie-opwekking
Ni-MoCrSi	nee	poeder	type T-700, 42-48 H _{Rc} , hoge slijtvastheid met verbeterde weerstand tegen oxidatie en corrosie,
Ni-FeCrNbMoTiAl 19-18	nee	dr.&pd	herstellen van type 718 gas- en stoomturbine-onderdelen, goede oxidatiebescherming tot 1000°C
Ni-MoWCr 30-20	nee	poeder	zelfhechtend op de meeste materialen, hard en slijtvast, goede weerstand tegen abrasie, erosie en cavitatie
Ni-CrMoFeW	nee	dr.&pd	type C, afdichtingsranden van ovenhoppers, hete matrijzen, uitstekende corrosievastheid
Ni-CrMoFeW	nee	dr.&pd	type C-276, voor zowel sterk oxiderende als reducerende media, hoge weerstand tegen put- en spleetcorrosie
Ni-CrMoFeW	nee	poeder	type C-22, algemeen toepasbaar voor sterk corrosieve condities in de chemische industrie
Ni-C 40	nee	poeder	omhuld poeder voor uitstekende slijtwillige afdichtingen met zelfsmerende eigenschappen, 40 H _{Rr15y} (Rockwell Superficial hardheid)
Ni-C 25	nee	poeder	omhuld poeder voor uitstekende slijtwillige afdichtingen, 45-55 H _{Rr15y}
Ni-C 20	nee	poeder	idem voor goede slijtwillige afdichtingen, 60-70 H _{Rr15y}
Ni-C 15	nee	poeder	idem voor delen die een minimale speling vergen bij temperaturen tussen 600 en 700°C, 60-80 H _{Rr15y}

7) elektrisch draadspuiten; afhankelijk van de gewenste hardheid zijn voor de tweede draad Fe-C 0,1; Fe-MnSi 1,5-1; Fe-MnCrTi 2-1,8 of Fe-Cr 13 voorgeschreven

7. Molybdeen en molybdeenlegeringen

Aanduiding	DIN	Vorm	Toepassing
Mo 99,95	ja	draad	tussenlaag om de hechting te verbeteren en als looplaag met goede noodloopeigenschappen en voor anti-fretting, houdt het smeermiddel vast (bekende toepassing: zuigerveren)
Mo 99	ja	poeder	idem
Mo-O 4	nee	poeder	fabricage dezelfde slijtvaste harde lagen met HVOF als worden gemaakt met Mo 99 en vlamspuiten, zeer goede loopeigenschappen en bestand tegen adhesieve slijtage
Mo-NiCr 21-2	nee	poeder	lage wrijvingscoëfficiënt en zeer goede loopeigenschappen, geschikt voor gietijzer
Mo-[NiCrBSiFe] 25	nee	poeder	blend speciaal geschikt voor zuigerveren en loopvlakken
Mo-[NiCrBSiFe] 30	nee	poeder	idem
Mo-[NiCrBSi] 70	nee	poeder	idem
MoSi ₂	ja	poeder	bescherming tegen oxidatie, zelfhelend

8. Kobaltlegeringen

stellietachtigen

Aanduiding	DIN	Vorm	Toepassing
Co-CrWNIeCSi 32-17	nee	poeder	type 20, 53-55 H _{Rc} , voor de hoogste hardheid en slijtvastheid
Co-CrWNIeSSi 32-13	nee	dr.&pd	type 1, commerciële uitvoering
Co-CrWCSiNiFe 30-13	nee	poeder	slijtage- en cavitatiebescherming
Co-CrWNIeCSi 30-12	ja	poeder	type 1, 47-49 H _{Rc} , voor pompasbussen en waaiers, uitstekend voor abrasie, goede corrosieweerstand
Co-CrWNIeCSiFe 30-9	nee	dr.&pd	type 12, commerciële uitvoering
Co-CrWNIeCSiFe 30-8	ja	poeder	type 12, 40-42 H _{Rc} , voor snijkanten, hoge matrixhardheid en weerstand

Co-CrW _{Ni} VC 28-20	nee poeder	tegen abrasie
Co-CrW _{Ni} FeCSi 28-4	ja poeder	slijtvaste laag tot 750°C
Co-CrW _{Ni} FeCSi 27-5	nee dr.&pdr	type 6, 37-42 H _{RC} , voor klepzittingen, lagers, assen, roteren, uitstekend voor cavitatie en erosie, goede anti-vreet eigenschappen en bestand tegen cavitatie
Co-CrMoNiFeSi 27-5	nee poeder	type 6, commerciële uitvoering
Co-CrNiWFe 26-10	nee dr.&pdr	type 21, 27-29 H _{RC} , walsrollen en smeedpersen, versterkt tijdens gebruik, hittevast, erosie-, cavitatie-, vreet- en corrosiebestendig in combinatie met redelijke taaheid
Co-CrNiWCFE 25-24	ja poeder	type 31, voor gasturbine-onderdelen, zittingen voor stoomafsluiters, hittevast
Co-CrNiWCFE 25-22	nee poeder	klepzittingen in verbrandingsmotoren, hoge weerstand tegen corrosie en slijtage
Co-CrNiWFeSiBMo 19-19	nee poeder	idem, ook voor stoomturbine-onderdelen
Co-CrNiNbFeWCSi 25-6	nee poeder	type 157, 55-57 H _{RC}
Co-CrNiW 25-10	nee poeder	type 306 (type 6 met verbeterde taaheid), geschikt voor grote vlakken vervangt WC-Co en Cr ₃ C ₂ bij toepassingen voor hoge temperaturen, herstel van geometrie voor Co-basis legeringen

cermets

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
[Co-NiCrMoSiBFe 27-18]- [WC-Co 12] 30	nee poeder	zelfvloeiende legering voor abrasieve slijtage en fretting, speciaal geschikt voor beschermen van moeilijke materialen

andere

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Co-MoCrSi 28-8	nee poeder	type T-400, 58 H _{RC} , afdichtingen en afdichtingsvlakken, loopvlakken, zeer goede weerstand tegen adhesieve slijtage, lage wrijvingscoëfficiënt - ook bij slechte smering te gebruiken, bruikbaar tot ca. 800°C
Co-MoCrSi 28-17	nee poeder	type T-800, 54-62 H _{RC} , verbeterde oxidatie- en corrosieweerstand, tevens zeer hoge weerstand tegen abrasie tot ca. 800°C

9. Titaan en titaanlegeringen

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Ti 99,4	nee poeder	medische implantaten (VPS of LPPS)
Ti 99	ja poeder	bescherming tegen aantasting door zeewater en andere chloriderijke milieu's.
Ti 99	nee draad	idem
TiAlV 6-4	nee poeder	bescherming tegen erosie tot 815°C
Ti-TiN 20	nee draad	cermet voor oxidatiebescherming van grafiet tot 1200°C met hoge weerstand tegen abrasie ⁸⁾

8) deze draad wordt ook met andere draden gebruikt in een aantal gepatenteerde combinaties met unieke eigenschappen voor o.a.: (1) gedeeltelijk amorfe lagen met lage wrijvingscoëfficiënt voor hete lagers; zelfs ongesmeerd, (2) vervanging van hardchroom en chroomoxidelagen voor bescherming tegen erosie in agressief heet milieu (o.a. vuilverbranding), (3) bescherming tegen abrasie, adhesieve slijtage en corrosie van aluminium, (4) bescherming tegen aantasting door gesmolten glas en oxiden, erosie en abrasie in zwaveldioxide en zwavelzuur omgeving.

10. Zuivere metalen

Zie de tekst op pagina 51: groep 10.

11. Metaalcarbiden

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
WC	ja poeder	vier soorten voor plasmaspuiten, te gebruiken met zelfvloeiende legeringen, zeer slijtvaste lagen
WC-Ni 8	nee poeder	ten opzichte van de WC-Co typen verbeterde corrosievastheid
WC-Ni 10	nee poeder	idem
WC-Ni 12	nee poeder	idem
WC-Ni 17	nee poeder	idem
WC-Co 9	nee poeder	verbeterde abrasieve weerstand
WC-Co 10	ja poeder	goedkoop en algemeen toepasbaar
WC-Co 11	nee poeder	abrasieve slijtage, erosie, corrosie, grip
WC-Co 12	ja poeder	fretting bij lage temperatuur, slijtage, zeer glad te bewerken, algemeen toepasbaar tot 540°C
WC-Co 17	ja poeder	taaiere slijtvaste lagen voor zware fretting, zeer glad te bewerken
WC-Co 20	nee poeder	taaiere dan deklagen met minder kobalt
WC-Co 21	ja poeder	omhul poeder
WC-CoCr 10-4	nee poeder	ten opzichte van WC-Co betere oxidatieweerstand en corrosievastheid, speciaal voor waterige milieu's, slijtvast tot 540°C, vooral gebruikt in de papierindustrie voor bescherming tegen slijtage van rollen in een

WC-CrCo 10-4	nee poeder	corrosieve natte omgeving
WC-[Ni-Cr 20] 20	nee poeder	onbekend
WC-Cr ₃ C ₂ Ni 20-7	nee poeder	zelfvloeiende slijtvaste legering met glad oppervlak, bij langzame afkoeling geen diktebeperking
WC-Cr ₃ C ₂ Ni 24-6	nee poeder	ten opzichte van WC-Ni verbeterde weerstand tegen oxidatie en corrosie
Cr ₃ C ₂ 99	nee poeder	slijtvaste lagen voor oxiderende of corrosieve omstandigheden tot 760°C
Cr ₃ C ₂ -Ni 17	nee poeder	gladde, harde en dichte lagen bestand tegen slijtage en oxidatie tot 870°C, geschikt voor stoom
Cr ₃ C ₂ -[Co-NiCrMoSiB] + [Ni-Al] 30-10	nee poeder	omhuld poeder voor algemene toepassing voor slijtage-, corrosie- en oxidatiebestrijding
Cr ₃ C ₂ -[Ni-Cr 20] 7	nee poeder	dichte lagen voor zware spullen, smeedgereedschap, hete brekers, uitlaatkleppen, klepzittingen en turbine-onderdelen, bestand tegen alle vormen van slijtage en deeltjes erosie tot 850°C
Cr ₃ C ₂ -[Ni-Cr 20] 10	nee poeder	goede weerstand tegen alle vormen van slijtage met redelijke oxidatiebestendigheid tot 870°C, pomphuizen, hydraulische kleppen
Cr ₃ C ₂ -[Ni-Cr 20] 15	nee poeder	vergelijkbaar met 7 en 15% nichrome variant
Cr ₃ C ₂ -[Ni-Cr 20] 20	nee poeder	slijtvaste deklaag met redelijk oxidatiebestendigheid tot 870°C
Cr ₃ C ₂ -[Ni-Cr 20] 25	ja poeder	speciaal voor HVOF
Cr ₃ C ₂ -W ₂ CTiC[NiCr]Mo 25 5	ja poeder	slijtvaste en corrosiebestendige lagen tot 870°C ook bestand tegen fretting en stoten, ook voor HVOF, hete matrijzen, hydraulische kleppen, geschikt voor slijtagebescherming van aluminium
		zeer goede slijtvaste deklaag voor hoge temperatuur, geschikt voor stoom

12. Metaalnitriden

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
TiN	ja poeder	onbekend

13. Metaalboriden

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
TiB ₂	ja poeder	onbekend
ZrB ₂	ja poeder	onbekend
CrB ₂	ja poeder	onbekend

14. Oxiden

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
Al ₂ O ₃ 99,5	ja poeder	
Al ₂ O ₃ -Cr ₂ O ₃ 2	ja poeder	
Al ₂ O ₃ 98	nee poeder	wit, uitstekende weerstand tegen alle vormen van slijtage bij lage temperatuur, hoge diëlektrische weerstand, niet bestand tegen stoten
Al ₂ O ₃ 97	ja poeder	wit, goede weerstand tegen abrasieve, erosieve slijtage en cavitatie tot 815°C
Al ₂ O ₃ -MgO 30	nee poeder	(spinel) slechte aanhechting van vloeibare metalen bij hoge temperatuur
Al ₂ O ₃ -SiO ₂ 30	nee poeder	(mulliet) idem
Al ₂ O ₃ -TiO ₂ 3	nee poeder	algemeen toepasbaar voor alle vormen van slijtage en corrosie tot ca. 550°C, minder bros dan de zuivere aluminiumoxidideklagen, veel gebruikt in de textielindustrie voor draadgeleidingen
Al ₂ O ₃ -TiO ₂ 13	nee poeder	algemeen toepasbaar voor alle vormen van slijtage en corrosie, speciaal geschikt voor hydraulische zuigerstangen, plunjers, asbussen, mechanische afdichtingen en onderdelen voor textielmachines, corrosievastheid is lager dan dat van de 3% variant
Al ₂ O ₃ -TiO ₂ 40	ja poeder	goed bestand tegen lage temperatuur abrasieve, fretting en erosie condities, beter te bewerken dan de 3% en 13% varianten, gebruikt in plaats van 13% variant als de slijpbaarheid voorop staat, zeer glad te bewerken, geschikt voor loopvlakken, veel gebruikt in chemische industrie voor hun 'non-wetting' eigenschap
Al ₂ O ₃ -TiO ₂ 50	nee poeder	uitstekend bestand tegen lage temperatuur abrasieve en corrosieve condities, goede hittebestendigheid
Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ 40	nee poeder	betere taaheid dan andere keramieken met behoud van goede weerstand tegen alle vormen van slijtage
Al ₂ O ₃ -TiO ₂ -SiO ₂ 3,5-2	ja poeder	
idem-[Ni-Al] 18,5] 30	ja poeder	
Al ₂ O ₃ -TiO ₂ -SiO ₂ -FeO 3-3	ja poeder	
Al ₂ TiO ₅ 99	nee poeder	dichte, harde (800 H _v) deklaag bestand tegen thermische schokken
ZrO ₂ -CaO 5	ja poeder	thermische barrière, bestand tegen erosie en thermische schokken, corrosiebescherming tot 815°C, iets minder slijtvast dan de Y ₂ O ₃ en MgO variant, voor ovens en smeltlepels
ZrO ₂ -MgO 21	ja poeder	excellente thermische barrière, bestand tegen abrasie en thermische schokken tot 815°C, zuigerkronen, kleppen en cilinderkoppen
[ZrO ₂ -MgO 21]-[Ni-Al 5] 18,5	nee poeder	tussenlaag voor hecht- en toplaag voor zwaardere thermische schokken
ZrO ₂ -SiO ₂ 35	nee poeder	minerale deklaag voor hoge temperatuur met hoge weerstand tegen erosie

ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ 8	nee poeder	en abrasie goede thermische barrière bestand tegen thermische schokken en deeltjeserosie tot 1500°C, warmtebehandelingsapparatuur, verbrandingskamers, airfoils, raketnozzles, dieselmotoren
ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ 10	nee poeder	idem
ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ 13	nee poeder	idem
ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ 20	nee poeder	thermische barrière en bescherming tegen deeltjeserosie tot 1650°C
ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ -CeO ₂	nee poeder	thermische barrière met verbeterde weerstand tegen thermische vermoeiing en lagere warmtegeleiding bij hoge temperatuur
Cr ₂ O ₃ 99,5	ja poeder	hard, met een uitstekende corrosievastheid, weerstand tegen adhesieve slijtage en deeltjes erosie tot 600°C, redelijke thermische geleiding in verhouding tot andere keramieken, zeer geschikt voor lasergraven door gemakkelijke dissociatie, anilox rollen, pomp- en turbine-onderdelen, impellers, rotoren, asbussen, textielindustrie, zeer fijne variant beschikbaar die niet hoeft te worden nabewerkt
Cr ₂ O ₃ 97	ja poeder	zeer harde en dichte deklagen bestand tegen alle vormen van slijtage en corrosie, glad te bewerken, minder corrosievast dan de zuivere vorm
Cr ₂ O ₃ -Cr 2	nee poeder	iets minder goed corrosievast dan de zuivere vorm, speciaal voor onderdelen in een heet oxiderend milieu zoals wrijvingskoppelingen
Cr ₂ O ₃ -SiO ₂ TiO ₂ 5-3	nee poeder	dezelfde weerstand tegen slijtage als zuiver chroomoxide maar minder corrosievast, door lagere smeltpunt gemakkelijker te verwerken
Cr ₂ O ₃ -Al ₂ O ₃ 20	ja poeder	onbekend
TiO ₂ 99,5	ja poeder	zeer dichte harde deklaag voor adhesieve slijtage en middelmatige abrasieve slijtage, minder hard dan Al ₂ O ₃ -TiO ₂ , niet geschikt voor H ₂ SO ₄ en loog
TiO ₂ -Cr ₂ O ₃ 45	ja poeder	onbekend
BaO-TiO ₂ 34	ja poeder	onbekend
HfO ₂ -Y ₂ O ₃ 5	nee poeder	hittevast, voor hoog temperatuur warmtebehandelingsovens

15. Sulfiden

Aanduiding	DIN Vorm	Toepassing
MoS ₂ 99	ja poeder	vaste smeerstof

16. MCrAlY deklagen

Aanduiding	DIN Vorm	Specificatie
Co-NiCrAlY 31-21	nee poeder	GE B50TF195 - RR 9507/47 - RR 9537/1 - SNECMA DMR 33.095 - Turbomeca LA657 PE1 Ind. 0 ⁹⁾
Co-NiCrAlY	nee poeder	GE B50AG5
Co-CrAlY 18-8	nee poeder	RR 9537/2
Co-CrAlY	nee poeder	PWA 1348
Co-CrAlY	nee poeder	GE B50AG2
Co-CrAlY	nee poeder	GE B50AG4
Co-CrAlY	nee poeder	GT 29
Co-CrNiAlTaY	nee poeder	SNECMA DMR 33.026
Co-NiCrAlSiHf	nee poeder	PWA 1386
Fe-CrAlY 30-5	nee poeder	
Fe-CrAlY 24-8	nee poeder	
Fe-CrAl 19-4,5	nee poeder	
Ni-CrAlY 17-6	nee poeder	WIMS 654 Class A
Ni-CrAlY 17-5	nee poeder	Rocketdyne RB170-244
Ni-CrAlY 22-10	nee dr. & pdr	Textron M3960B - GE B50TF162 ⁹⁾
Ni-CrAlY 23-6	nee poeder	Garrett EMS 52432
Ni-CrAlY 31-11	nee poeder	Garrett EMS 57737
Ni-CrAlY	nee poeder	PWA 1376
Ni-CrAlY	nee poeder	GE B50TF162 CLA
Ni-CoCrAlTaY 23-20	nee poeder	Turbomeca LA 657 PF1 ind.0
Ni-CoCrAlY	nee poeder	PWA 1386

9) verschillende korrelgrootte

Bovenstaande tabellen geven een indruk van het totale materiaal aanbod en hun gebruik. Veel materialen zijn noodgedwongen nog ongenoemd gebleven. Voor meer informatie over materialen en toepassingen wordt verwezen naar de leveranciers.

Bijlage 2**Overzicht opaslegeringen onderverdeeld naar materiaalgroepen volgens DIN 8555**

Onderstaand overzicht beoogt enkele voorbeelden te geven uit de veelheid van opaslegeringen in één materiaalgroep. De opsomming is verre van volledig en van fabrikant tot fabrikant zullen verschillen kunnen optreden. De meeste opasmaterialen zijn in de voor een bepaald lasproces geëigende vorm verkrijgbaar.

Voor de materiaalaanduiding is gebruikgemaakt van de methode, die in DIN 17006 voor staalsoorten is gebruikt.

<i>Groep 1:</i>	8MoNi5 8NiCrMo12 25Cr12 12MnAl8 6Mn3 9Mn4 15CrMo1 14CrMn10 6 30Cr4	Materialen uit deze groep worden vaak gebruikt voor bufferlagen. Uiteraard kunnen hiervoor ook toevoegmaterialen in aanmerking komen die niet in DIN 8555 zijn vermeld.	<i>Groep 10:</i>	X430CrMo10 2 X230CrMo29 3 X360Cr33 X570Cr34 X390CrNb20 6 X550CrMoV25 2 X680CrNb24 7 X580CrMoNbWV22 6 6 X650CrMoNbWV22 6 6 X540CrCoMo22 11 6 X170CrTiMo 7 5 1 X480CrTi6 7 X450Cr27 X200CrNiNbSi21 10 8 4
<i>Groep 2:</i>	90Cr8 65CrV2 60CrMoWV4 12 100CrMn8 8		<i>Groep 20:</i>	CoCr257Ti CoCr29W5 CoCr31W5Ni
<i>Groep 3:</i>	15CrWV12 12 X35CrMo8 3 30CrMoW24 15 15 6WCrV16 8 1 X110MoCrVW10 5 2 2 X4NiCoMo19 12 4		<i>Groep 21:</i>	X330W41 Wolframcarbidenkorrels in een matrix van Fe, Ni en Co.
<i>Groep 4:</i>	X100MoCrWV X75WMoCrV6 5 5		<i>Groep 22:</i>	NiCr8SiBFe NiCr12SiBFe NiCr16SiBFe NiCr33SiCuB
<i>Groep 5:</i>	X12CrNiMn20 8 7 X9Cr13 X25Cr13 X50CrMo13 X2Cr17 X3CrNi14 4 X22CrNi17 2 X7CrTi18 X20CrMo17 1 X20CrMoTi17		<i>Groep 23:</i>	NiCrMo9Nb NiCr16FeMn NiCr26Mo
<i>Groep 6:</i>	X50CrSi9 3 X220CrMo10 1 X30CrMoW6 2 2 X45CrMoW6 2 2 X45CrSi9 3		<i>Groep 30:</i>	CuSn6 CuSn12 CuSn8
<i>Groep 7:</i>	X120MnMo13 X95MnCrNi14 4 4 X60MnCr14 4 X100MnCr20 5		<i>Groep 31:</i>	CuAl8Ni6 CuAl8 CuAl11 CuMn14Al
<i>Groep 8:</i>	X10CrNiMn20 8 X11CrNiMn17 8 X9CrNiMnMo21 9		<i>Groep 32:</i>	CuNi30Fe CuNi10Fe CuMn14Al CuNi30Mn NiCu30Mn
<i>Groep 9:</i>	X10CrNi29 9 X2CrNi20 9 X2CrNi24 12 X2CrNiMo24 12 X2CrNiMo20 13			

Trefwoordenlijst

- aanbrengproces 6
aantastingsbeeld 64
aantastingsproces 22, 29
aantastingsstype 34
aantastingsvorm 10, 11, 15, 16, 22, 57, 65, 66
abrasie 28, 39, 51, 62, 86-91
abrasion 12, 19, 31, 75
acceptatietest 35
adhesie 12
adhesief 8
adhesiesterkte 19
afbladderingen 20
afdichtingen 61, 86-90
afkoelsnelheid 13, 23, 24, 57
afkoeltijd 30
afschuiving 19
afsmeltsnelheid 37
afstelfout 63
afstellingen 63
agglomeraten 49
agglomereren 49
agglutineren 49
alkalimetalen 17
aluminiumbrons 26, 56, 57, 87
aluminiumlagen 57, 86
aluminiumlegeringen 11, 38, 47, 50, 55, 66, 86
aluminiumoxide 19, 28, 39, 49, 53, 55, 56, 58, 61
aluminiumtitanaat 53
amorfe structuren 13, 14
analyse 7, 28, 31, 35, 54, 55, 62, 63, 68, 70, 73, 74
anti-vreeteigenschappen 61
aps 40, 41, 62, 63
argon 40
asbussen 61, 90, 91
austeniet 19, 24, 27, 43, 44
austenietfase 27
austenietmatrix 27
autogeenlassen 36
babbitts 55, 56
Babičef en Chroesčof 18
baggermachines 13
bandlassen 13, 36
basiscriteria 7, 54
basismateriaal 6, 7, 9, 13, 15, 19, 20, 22-28, 32, 33, 36, 39, 41, 50, 56, 58, 59, 62, 64, 68, 74, 76-85
basistechnologie 14
basisvormen 48
bedrijfscondities 30, 35, 70
bedrijfservaringen 43
bedrijfsproef 30
bedrijfstemperatuur 7, 38, 55, 56, 58
beeldanalyse 27
behandelingstijd 6
beitsmiddelen 16
belasting 7, 8, 11, 12, 17, 19, 21, 25, 29-31, 41, 42, 44, 47, 52, 55, 56, 58-60, 62, 87
belastingsparameters 8
belastingsspectrum 29
belastingvormen 8
beperkingen 7, 25, 33, 45, 55, 56, 63, 64, 71
beproevingscategoriën 30
beproevingduur 29
beproevingsmethode 31
beproevingparameters 34
beryllium 20
beschadigingsvorm 12
beschermgas 36
beschermgasstroom 24
betrouwbaarheid 34, 35
betrouwbaarheidstesten 30, 35
bewegingspatronen 31
bewegingsrichting 66
bewerkbaarheid 7, 43, 44, 70, 86
bewerkingseigenschappen 25, 45, 47
bewerkingsfout 64
bewerkingskosten 70
bewerkingsmethoden 43
bewerkingsparameters 29
bewerkingsspanningen 7
bezwijkmechanismen 10
bezwijkvormen 10
bimodaal poeder 49
bindermateriaal 9
bindingsenergie 14
bindingsfouten 24
bindingskrachten 29
blauwbroosheid 44
blend 58, 88
block on ring 32
bmbe 45, 52
bochtstukken 22
booghoogte 6
boogglasprocessen 26, 36
booglassen 23, 36, 41, 52, 71
boogontlading 40
boogstabiliteit 40
boorkanten 46
boorkronen 46
boreren 14
boriden 51, 59
borium 39
bovenledeburitische legeringen 60, 63
brak water 16
brandermonden 45
brekerconussen 46
brekerplaten 46
brekers 46, 90
breukrek 8
breuktaaiheid 62
bromiden 11
brosbreken 10
bufferlaag 25, 26, 62, 77, 79
cadmium 21
calciumoxide 53
carbidegehalte 45, 46
carbiden 9, 11, 25, 43-46, 51, 55, 59, 60, 62
carbidevormers 44
carboneren 14
carbonitreren 14
cavitatie 8, 12, 22, 47, 61, 67, 74, 87-90
cementiet 19, 25
cementpompen 47
cermet 25, 61, 87, 89
chloriden 11, 16, 19, 66, 78
chloridehoudende 16
chloriderijke omgeving 58
chromeren 14
chroomcarbide 19, 51
chroomequivalent 23
chroomgehalte 15-17, 60
chroomhoudende 16
chroomoxide 9, 15, 49, 55, 60-62, 91
chroomoxidebasis 49
chroomstaalsoorten 17
chroomverarming 16
coaten 49, 63, 64
cohesiesterkte 19
compound 51
concentratieverschillen 15
condensors 47
constructiematerialen 8
constructiestaalsoorten 46
contactdruk 7
contactellips 20, 21
contactvlakken 47
contactvorm 7
corrosie 5, 7-13, 15-18, 22, 23, 27, 30, 32, 33, 42-47, 50-52, 54-58, 60-62, 64, 65, 67, 68, 70, 74-82, 84, 86-91, 93, 95
corrosiebeeld 57
corrosiebescherming 45, 87, 90
corrosiebestendig(e) 22, 52, 62, 86, 87, 89, 90
corrosiebestendigheid 8, 9, 13, 39, 42, 44, 46, 47, 54, 57, 74
corrosiebestrijding 38, 40, 75
corrosiegedrag 32
corrosiemechanismen 5
corrosie-opstellingen 33
corrosieprobleem 54
corrosieproblemen 13, 58, 73

corrosieprocessen	57	functionele eigenschappen	28, 29, 32, 34, 42, 95
corrosieproduct(en)	11, 17, 57, 64-68	furaansealer	58
corrosieproeven	56	fusen	39
corrosiesnelheid	13, 57	galvanische corrosie	10, 50, 57, 64
corrosiesoort	11	gasbescherming	14, 37, 71
corrosietesten	32	gaserosie	12, 51
corrosietoepassingen	13	gasfase	14
corrosietype	57, 64	gasloze draad	71, 80
corrosievastheid	9, 11, 15, 44, 46, 51, 88-91	gasstroom	48, 85
corrosievermoeiing	11, 62, 67, 95	gasturbines	12, 51, 86
corrosieverschijnselen	57	geagglomereerde poeders	48, 60
corrosievorm	8, 10, 15, 21, 57, 62, 63	gelegerde materialen	45
corrosieweerstand	9, 32, 44, 51, 87-89	geleidende draden	39
cvd	14, 36, 74	geleidende mantel	41, 47
d-gun	14, 22	geometrie	6, 7, 20, 24, 25, 29, 30, 36, 39, 45, 63, 64, 86-89
dampbellen	12, 22	gereedschapsstaal	45
deeltjesbaan	48	gereedschapsstaalsoorten	52
deeltjessnelheid	40	gesinterde band(en)	41, 42, 45, 71, 79, 80
defecten	15, 26	gesproeidroogde sol-gel	48
deklaagdikte	7, 57	gietfouten	25
deklaaggedrag	29	gietijzer	20, 25, 46, 60, 62, 65, 81, 88
deklaagmateriaal	6, 7, 22, 29, 32, 38, 60, 61	gietplaten	14
deklaagopbouw	5	gietstructuur	44
deklaagsysteem	28, 34	glijlagers	47, 50, 87
deklaagtechnieken	6	glijweg	59
destilleerapparaten	47	graded coatings	48
detonatiesnelheid	37	grenslaag	27
dichtheid	14, 29, 30, 40, 42, 44, 49, 57	grensmeercondities	32
dichtheidscontrole	33	grensmearing	9, 32
diffusiesnelheid	16	grensvlak	17
diffusieverhinderend	15	groeilijnen	67
diffusiezone	39	groepenindeling	52
doorbuiging	11	grondverzet	51
draaddoorvoersnelheid	39	haarscheuren	61
draadmateriaal	38	halogeenrijke	57, 65
draadsoorten	39	halogenen	11
draadspuiten	14, 38-40, 47, 50, 53, 63, 84, 87, 88	hardchromlagen	42, 85
draadspuitinstallatie	38	hard facing	39
draadspuitproces	38, 63	hardbare staalsoorten	24
draadvorm	38, 39, 51	hardheid	7-9, 18, 19, 22, 25, 26, 28, 44-47, 52, 55, 56, 58, 59, 66, 74, 75, 83, 86, 87, 88
draaikommen	60	hardheidsklasse	52
dragergas	48	hardheidsmetingen	28
drukkerijrollen	27	hardingseffecten	30
drukclassen	37	hardingsstructuren	24
drukspanning	17, 23	hardoplasmaterialen	23
druppelslag	8, 12	hechting	6, 14, 19, 20, 22, 24-29, 39, 40, 42, 49-51, 61-64, 68, 74, 88
druppeltest	34	hechtsterkte	26, 42, 61
ductiele materialen	19, 26	Hertz(e)	12, 20, 21
duurproef	30	high stress	59, 75, 78
dwarsscheurtjes	26	hittevast	24, 86, 89, 91
eindbewerking	24	hoge-snelheidspuiten	40
eindgebruikersspecificatie	71	hoge temperatuur corrosie	17, 57, 58, 66, 80
elektrische contacten	50, 87	hogetemperatuurbestendigheid	8
elektrochemisch	10, 14, 17, 74	holten	9, 26, 29
elektrolytoplossing	56	homogeniteit	7, 13, 49
elektrolytoplossingen	57, 65	hoofdscheur	16
elektroslaklassen	71	hooggelegerde materialen	45
energieniveau	14	hoogovenklokken	46
enkeldraadspuiten	14	hopper	48
equivalent	16, 52, 57	hosp	49
erosie	8, 11-13, 21, 22, 27, 31, 40, 46, 51, 58, 59, 61, 62, 67, 68, 74, 77, 81, 82, 83, 85-91, 95	HPHVOF	14
erosie-corrosie	11, 12, 22, 62, 68, 95	Huey test	33
erosietesten	21	HVAF	14
erosieweerstand	58	HVIF	14
etsing	27	HVOF	14, 40-42, 49, 56-62, 81, 82, 88, 90
eutecticum	17	ijzerbasislegeringen	55
evanselementen	15	ijzerbasismateriaal	53
expertsysteem	74	ijzerchloridetest	33
explosielassen	36	immersietest	32
extruder	86	implantaten	51, 89
extrusie	27	inbranding	13
fabricageproces(sen)	7, 35, 48	inchromeren	63
fase-overgang	58	inductieverhitting	39
ferrietgehalte	27, 34, 57	industriegroep	71
ferrietnummer	27	ingangscntrole	34
ferrietvelden	27	inhomogeniteit	57
ferroxylltest	33	inloopeffect	58
fosfateren	14	inloopgedrag	33
foutoppervlak	32	inschakelduur	41, 71
frequentie	17, 50	insluitingen	20, 26, 27, 33, 38
fretting	8, 11, 12, 21, 50, 59, 62, 67, 68, 84, 86-90, 95		
functie	7, 18-21, 23, 25, 28-31, 35, 55, 56, 59, 71, 79, 95		

inluitsels	9	lasmetaal	23, 24, 26, 45, 46, 71
inmeltdeklagen	24	lasnaadvormen	74
inmelten	22, 25, 39, 42, 56, 57, 59, 62, 83, 84	lasparameters	23
inmeltlegering	25, 51	laspositie	41, 42
inspectieresultaten	68	lasproces	22, 23, 37, 41, 42, 52, 74, 92
instabiliteitsproblemen	10	lasrupsen	27
interkristallijne corrosie	11, 16, 57, 58, 65	lasspanningen	16
intermetallische verbinding(en)	44, 53	lasstroombronnen	13
interpasstemperatuur	24	lastoevoegmateriaal	36, 58
ionenimplantatie	5	lastoevoegmateriaalleverancier	45
isolatie	27	ledeburitisch gietijzer	46
kalkfabrieken	13	ledeburitische (oplas)legering(en)	25, 62, 71
keramiek	9, 20, 25, 32, 42, 47, 49, 87	ledeburitische structuur	59, 70
kerndraad	43, 45	legeringen	11, 13, 17, 22, 24-26, 36, 37, 39, 43, 44, 46, 47, 49-52, 55, 56, 59, 60, 62, 63, 65, 86, 88, 89
-ketels	87, 88	legeringsbestanddelen	45
keuzecriteria	36, 38, 47	levensduurverwachting	70
keuzeproces	43	leveranciersaanduiding	71
kirksite	51	lijncontact	20
klepzittingen	46, 87, 89, 90	loopeigenschappen	38, 39, 49, 55, 58, 61, 74, 88
klinknagels	21, 65	loopgedrag	29, 48, 49
kobalt	9, 20, 21, 39, 44, 46, 51, 52, 55, 59, 89	looplaag	55, 88
kobaltbasis	39, 46, 51, 55, 57	loopvlak	19, 61, 87
kobaltbasislegeringen	49, 52, 59, 62	loopwielen	45, 47
kobaltlegeringen	51, 56, 88	low stress	59, 66
kobaltoplaslegeringen	23	lpps	40, 51, 89
koelmedium	14	luchtdraad	37
kogelstralen	14	maalrollen	46
kolenvergruizers	46	machinedelen	46
koolstofequivalent	23, 95	mangaanhardstaal	52
koolstofgehalte	16, 46, 50, 58, 62	mangaanstaal	23, 25, 46, 60
koolstofstaal	11, 44, 58, 60, 87	mangaantoevoegingen	27
koperbasislegeringen	49	maritieme omgeving	86, 88
koperlegering	55, 60	martensiet	19, 24, 25, 44, 45, 60
koperpenetratie	23	martensietgehalte	46
korrelfracties	71	martensiettransformatiepunt	24
korrelgrens	11	materiaalaanduiding	52, 92
korrelgroei	19, 24	materiaaldikte	30, 63, 64, 74
korrelgrootte	34, 42, 45, 48-50, 53, 71, 80, 88, 91	materiaalgroep	25, 45, 52, 53, 92
korrelgroottebereik	49	materiaalkeuze	43
korrelgrootteklasse	53	materiaalleverancier	28
korrelgrootteverdeling	48, 88	materiaaloppervlak	17, 18
korrelgrootteverdelingklassen	49	materiaaloverzicht	45, 50, 71
korrelvorm	47-49, 65	materiaaltypen	41, 71
kortsluitbooglassen	36	materiaalverlies	11, 12, 19
kosten	7, 33, 34, 43, 71, 73	materiaalvorm	48
koudscheuren	23, 24, 26	MCrAlY	49, 51, 85, 91
koudversteving	46, 52	medium	7, 11, 21, 28, 33, 60, 64
koudvervorming	44	mediumtemperatuur	65
koudwalsen	46	meerlaagsdeklaag	58
kraanrails	12	meerlaagssystemen	51
kraanwiel	12	meerlaagstechniek	64
krassporen	66	meetnauwkeurigheid	30
kratertjes	67	mesh	49
krimp	26, 45, 50, 62, 86, 88	metaalbinder	51
krimpscheuren	23, 24, 27	metaalboriden	51, 90
krimpverbinding	11	metaalcarbiden	51, 89
kristalgrenzen	11, 16	metaalnitriden	51, 90
kruipeffecten	55	metaaloppervlak	22
kruipsterkte	17	metaaloxiden	17
krukastappen	47	metallische materialen	56, 58, 59
kunststof	22, 32, 42, 45, 57, 82	metallurgisch(e)	42, 46
kwalificatietest	35	metallurgische hechting	24, 28
kwaliteit	6, 13, 26, 28, 29, 35, 41, 48, 58, 68, 79	metallurgische veranderingen	22
kwaliteitsbeheer	5	metallurgische (ver)binding	39, 56
kwaliteitsborging	5, 28, 29, 32, 34, 35, 95	microbewegingen	11
kwaliteitscriteria	35	microlasverschijnselen	40
kwaliteitsonderzoek	6	microporeuze	38, 39
kwaliteitstesten	34, 35	microscheurtjes	20
kwetsbaarheid	7, 42	microscheurvorming	62
laageigenschappen	38	microscopbeeld	27
laagsmeltende materialen	55	microscopisch(e)	64
laaggelegeerd materiaal	45	microstructuur	8, 9, 23, 25, 48, 57, 58, 64
laboratoriumproeven	34	MIG(-lassen)	36, 52
lagereigenschappen	55	MIG/MAG-lassen	36, 41, 43, 45
lagermaterialen	32, 44, 55	milieu	7, 8, 10, 11, 15-17, 22, 28, 29, 32, 39, 44, 56-58, 65, 76-85, 89, 91
lageroppervlakken	45	minimumtemperatuur	24
lagerschalen	47	modelproeven	30, 31
lagertemperaturen	55	moedermateriaal	43
lagertoepassingen	50	molybdeen	15, 17, 20, 21, 39, 42, 44, 51, 53, 55, 88
lasbaarheid	25	molybdeenbasis	55
laserbehandelingen	5	molybdeendisilicide	58
lasercladden	13, 36		
lasmateriaal	46, 47		

molybdeendisulfide	51
molybdeengehalte	16
molybdeenhoudende RVS soorten	16
molybdeenlegeringen	51, 88
molybdeenoxiden	62
molybdeentrioxide	17
monel	65, 88
morfologie	8, 74
neersmelt	22, 25-27, 36, 37, 45-47, 52, 58, 71
neersmeltsnelheid	13, 36, 37, 41, 71
nikkelaluminiumlegeringen	55
nikkelbasislegeringen	26, 55-57, 62
nikkelchromlagen	33
nikkelchromlegeringen	62
nikkelchrommatrix	59
nikkelgehalte	17, 57
nikkellegeringen	11, 13, 26, 47, 50, 52, 59, 66, 87
nikkelmatrix	59
nikkelrijke bufferlagen	25
niobium	16, 17, 51
nitraten	11
nitrenen	14
nitriden	44, 62
noodloopeigenschappen	47, 55, 88
normaalkracht	63
nozzle	40
objectgrootte	39
oliesoorten	21
omgevingsfactor	40
onbeheersbaar	6
onder poeder(dek)lassen	13, 52, (58), 71
onder poeder oplassen	37, 77, 79, 80
ondercorrosie	56
ongelegerd	10, 39, 45, 50, 86
ongesmeerd	32, 89
ontlaatbrosheid	25
ontlaatcurve	55
ontlaattertemperatuur	25
ontlaattvastheid	43
ontwerpdetails	35
ontwerpdoelen	35
ontwerpinzichten	23, 56
ontwerpuitgangspunten	55
ontwerpvoorwaarden	70
ontzinking	10
opdampen	5, 36, 63
openboog	36, 37
oplasbreedte	71
oplasdikte	20, 71
oplaslaag	20, 25
oplaslegering	25, 36
oplasmetaal	22, 36, 37, 45, 46, 55, 62
oplasprocessen	36, 38, 71
oplosgloeien	58
oplosharding	44
opmenging	13, 22-24, 26, 34, 36, 37, 41, 58, 59, 63
oppervlaktebehandeling(en)	8, 15, 74
oppervlakedetails	6
oppervlaktefilm	10
oppervlaktegesteldheid	28, 61
oppervlakteharden	14
oppervlaktehardheid	25
oppervlaktehuid	17
oppervlaktekenmerk	64
oppervlaktelaag	13, 14
oppervlakteparameters	8, 9
oppervlakteproblemen	5
oppervlakteruwheid	6, 7, 29, 39, 42, 49, 58, 60
oppervlakte technieken	5
oppervlakte temperatuur	42
opsolderen	36
opsluitprocessen	22, 41
opsluit technieken	21
opvulling	38
opvulwerkzaamheden	45
opwarming	24, 25, 58
overdrachtstest	35
overgangsdikte	30
overgangsgebied	18
overgangstemperatuur	25
overgangszone	20, 25, 61
overgevoeligheid	55
oververhitten	22
oxidant	21
oxidatie	8, 14, 17, 41, 44, 50, 51, 55, 56, 58, 74, 85-90
oxidatiebescherming	56, 88, 89
oxidatiebestendig(heid)	17, 43, 44, 51, 87, 88, 90
oxidatiegevoelig(heid)	51, 55
oxidatievastheid	26
oxidatieweerstand	39, 46, 89
oxidelagen	15, 17, 22, 26, 43, 44
oxidekeramieken	56
oxidelerend(e)	15, 17, 23, 25, 44, 51, 65, 88, 90, 91
oxidolagen	17, 44, 56, 66
pakkingmateriaal	61
papierindustrie	57, 88, 89
parametermarge	69
parameteronderzoek	35
passingvlakken	50
perliet	19, 24
perspassingen	21
persschroeven	46
piekbelastingen	63
piektemperatuur	30
pin on disc	32
pitting	15, 16, 57, 65
pitting index	16
pitting resistance equivalent	16
plasma oplassen	37, 80
plasmaproces	40
plasma spuiten	14, 37, 40, 42, 49, 58, 74, 82, 85, 89
plasma spuitpistool	40
plasma spuitprocessen	40
plateren	13, 14
platering	47
poederdeeltje	48
poederdeklussen	13
poederfabricageproces(sen)	42, 47, 49
poederhoppers	26
poedermaterialen	39
poedersamenstelling	48
poederspuiten	27, 39, 83
poederspuittechniek	40
poedertoevoersystemen	48
poedertransporteurs	49
polymerisatie	14, 74
pompassen	46
pompen	12, 31, 61, 86, 87
pompwaaiers	22
poreusheid	8, 9, 13, 14, 24, 26-30, 32, 33, 42, 48, 55, 57, 60, 61, 74
potentiaalverschil	64
praktijkcondities	6, 21
praktijkomstandigheden	33, 34, 43
praktijkproef	30
praktijktest	70
precipitatieharding	18
probleemdefinitie	54
procescorrosie	8
proceskenmerken	40, 42
proceskeuze	27, 42, 54, 71
procesmarge	68, 69
procesmilieu	30
procesparameters	8, 9, 40
procestemperatuur	6, 24, 40
proceswarmte	38
productervaring	35
productie	5, 6, 31, 34
productietest	34, 35
proef	29, 31
proefblokje	31
proefplaatje	29
proefstand	30, 31
proefstuk(ken)	5, 6, 29-31, 34
prototype-testen	31, 35, 57
ptfe	61
pulsbooglassen	13, 36, 37
puntbelastingen	19
puntcontact	20
puntstukken	46
putcorrosie	33, 57
putdiepte	65
putvormige aantasting	10, 16, 65, 84
putvormige corrosie	10, 15, 16, 57, 65, 78, 79, 84
putvorming	65
PVD	14, 36, 74

railkop	21	slijtagetype	12, 63
ranking	95	slijtagevariabelen	33
reactieproducten	17	slijtagevermoeiing	12, 20, 59, 61, 67, 79
reactielagen	14	slijtagevorm	12, 31, 55, 59, 60
reactieve materialen	13, 14, 49	slijtagewaarde	18, 31
reducerend milieu	44	slijtageweerstand	45-47
referentiebeelden	54, 57, 59, 62, 64, 66, 67	slijtbelasting	45
referentieslijtagewaarden	31	slijtbestendige	25, 47, 49
reinheidscontrole	33	slijtfactor	32
reinheidsgraad	34	slijtlagen	14
reinen	64, 66, 67, 82	slijtplaten	13
remschijven	26, 56	slijtvast	32, 61, 62, 86, 88-90
reparatie	27, 38, 45, 50, 63, 73, 83, 86-88	slijtweerstand	9, 62
repassivering	10	slijtweg	32
reproduceerbaarheid	6	slurries	61
research	27, 34, 75	slurry	31, 60, 62
residuele drukspanningen	14	slurry-proef	31
restausteniet	45	smeedpersen	89
restspanningen	6, 16, 24-28, 42, 45	smeltbad	26, 37, 38
roestvaste staal(RVS)soorten	11, 15, 16, 25, 26, 52, 58	smelteigenschappen	48
rookgassen	17, 58, 85	smeltgedrag	14, 42
rotoren	89, 91	smeltpunt	17, 23, 25, 37-41, 55, 91
routinemetingen	33	smeltscheuren	26, 27
Rubber Wheel Abrasion Test	19, 31	smeltwarmte	37
ruwheid	8, 9, 29, 34, 58, 61, 63, 70	smering	9, 12, 32, 47, 60, 76, 89
ruwheidsprofiel	35	snelheid	8, 11, 13, 19, 21, 22, 24, 37, 38, 40, 58, 65
ruwheidstoppen	9	snelstromende	11, 22
ruwheidswaarde	58	snijkanten	47, 88
RVS	11, 16, 22, 23, 25, 26, 32, 33, 44, 49, 50, 56, 58, 61, 62, 65, 66, 87	snijwerktuigen	46
RWAT	19, 31, 60	software	71, 73, 75
scalingtemperatuur	17	spanningsarmgloeien	24, 55, 63, 64, 76, 79
schaalgrootte	29, 30	spanningsconcentratie	67
schaarmessen	46	spanningscorrosie	11, 16, 17, 44, 47, 57, 58, 65, 66, 78
schadebeeld	63, 64, 76-85	spleetcorrosie	10, 15, 27, 44, 57, 65, 77, 88
Schaeffler	27	spleetcorrosie-index	15
schavielcorrosie	11	splineverbindingen	21
schavielen	11	spoorstaven	21, 46, 78, 79
schavielslijtage	11	spoorwielen	11
scheepsschroeven	12	sproeidrogen	49
schermgas	48	sputafstand	40
scheurgevoeligheid	6, 42, 44, 46	sputbedrijf	6
scheurgroei	26	sputhoek	41
scheurinitiatie	9	sputpistool	38, 39
scheuoppervlak	67	sputpoeder	29, 55
scheurtype	26	sputpositie	41
schilfers	67	sputproces	38, 39, 41, 42
schokbelasting	60	sputtechniek	38
schopeerpistool	39	standaardcomponenten	35
schoperen	39, 51, 56, 84	standaardcondities	34
schuifspanning	20, 21	standaardoplossing	70
schuifsterkte	19	standaardtesten	30-34
schuurdeeltjes	29	stellietachtig(en)	46, 51, 61, 88, 76
schuurpapierproef	29, 31, 32	stellieten	44
sealen	42, 56, 57	stickout	37
sealer	27	stollingsscheur	26
selectieve aantasting	10, 57, 64	stootbelasting	39, 59
silicium	17, 20, 25, 39, 51, 53, 56-58	storthoek	29
siliciumoxide	58, 60	straalproces	6
siliconen	58	straalslijtage	31
sinaasappelhuid	9	straaltijd	31
sinteren	49	Strauss test	33
slagbelasting	47, 52	Streicher test	33
slakresten	15	striaties	67
slijpbaar	58	stribeck curve	32
slijpbeweging	29	stromingspatroon	66
slijpbewerking	70	stroomdichtheid	32
slijpscheuren	27	stroomdoorgang	8
slijtage	5, 7-13, 15, 17-19, 21, 22, 27, 31, 32, 39, 40, 42-47, 49-52, 54-56, 58, 59, 60-62, 64, 66, 67, 70, 73-84, 86-91, 95	structuuromzettingen	23, 25
slijtagebeeld	66, 67	substraat	38-40, 74
slijtagebestendigheid	8, 9, 74	sulfiden	19, 51, 91
slijtagebestrijding	40, 44, 47, 51, 59	superlegering	85
slijtagedeeltjes	9, 12, 67	systeemhardheid	35
slijtagegedrag	8, 9, 18	systeemparameters	54
slijtagemechanisme	18	taaiheid	41, 44, 46, 74, 86, 89, 90
slijtageproble(m)(en)	7, 13, 15, 22, 54, 59, 73	tandflanken	12
slijtageproces	13, 62	tantaal	17, 51
slijtageproducten	66, 67	tegenlichaam	8
slijtageproef	74	tegenloopvlak	61
slijtagesnelheid	12, 13, 58	tegenmateriaal	19
slijtagetesten	31	tegenoppervlak	9
		telmethode	27
		telraster	27
		temperatuurbestendig	44

temperatuuregalisatie	24	walsrollen	51, 89
temperatuurgrens	24	warmbewerking	45
temperatuurhuishouding	22	warmscheur	26
temperatuurranges	55	warmtebehandelen	59
temperatuurverschil	24	warmtebehandeling	9, 16, 18, 22, 24, 39, 42, 43, 46, 47, 64
testapparaten	31	warmtebeïnvloede zone (WBZ)	24, 27
testaspecten	30	warmtebelasting	42, 63
testblok	31	warmtegeleidingscoëfficiënt	30
testcondities	6, 29, 31, 33, 35	warmte-inbreng	7, 30, 39, 42, 63, 64, 74
testcoupons	30	warmvast	45, 52
testcyclus	35	warmvervormbaar	47
testmedium	28	waterstofgehalte	23, 74
testmethode	31	waterstofopname	26
testopstelling	32	waterturbines	46
testparameters	34	werkstuktemperatuur	24
testperiode	31	wervelingen	11, 22
testresultaat	31, 33	wielbelasting	21
testtraject	30	witmetaal	38
thermische barrière	26, 90, 91	wolfram	17, 36, 40, 44, 51
TIG(-lassen)	36, 41, 43, 45, 52	wolframcarbide	19, 39, 45, 55, 59, 61, 87
TIG-oplassen	36, 63	wolframlegering	36
TIG-proces	37	wrijvingscoëfficiënt	9, 32, 33, 50, 55, 60, 61, 86-89
tinlegeringen	50, 87	wrijvingseigenschappen	8, 38
titaancarbide	19	Würth	46
titaandioxide	49, 61	yttrium	43
titaanlegeringen	51, 66, 89	yttriumoxide	58, 62
toepassingsgroepen	71	zeewater	44, 47, 65, 77, 81, 89
toevoegmateriaal	13, 22, 23, 27, 34, 42, 45-47, 57, 74	zeewaterleidingen	47
toplagen	25	zelfhelend	88
transportgas	39	zelfsmerende	44, 55, 88
trefhoek	18, 19	zelfvloeiende	47, 51, 89, 90
trekproef	28	zirconoxiden	62
trekspanning	17	zittingringen	27
trial and error	6	zoekmethode	73
tribologie	5, 8, 60, 61	zoutoplossing	32
turbines	51, 87	zoutsproeitest	28, 32, 33
turbulenties	22	zuigerveren	60, 88
tussengloeijingen	43	zuiverheidsgraad	48
tussenlaagtemperatuur	24, 25	zuren	44, 47, 51, 57, 65, 88
tussenlagen	22, 38, 87	zuurcorrosie	50
uitlaatkleppen	12, 46, 90	zuurstofgehalte	10, 15, 49
uitschalen	25, 27	zuurstofverarming	15
uitscheiden	16	zwavelverbindingen	17
uitscheidingsen	16, 44, 55	zwerfstromen	64
uitsteeklengte	13, 37		
uitzetting	23, 25, 29, 58, 64		
vacuümimpregneren	14		
vacuümplasmaspuiten	40		
vanaderen	14		
vanadiumcarbide	19		
varianten	28, 32, 40, 45, 90, 95		
ventielen	46		
verbrandingsgas	14		
verbrandingsmotoren	12, 39, 46, 51, 89		
verbrossing	55		
veredelen	25, 64		
verhitting	16, 39		
vermoeiing	8-12, 17, 20, 59, 67, 74, 79, 91		
vermoeiingsbelasting	27		
vermoeiingsgroeilijnen	67		
vermoeiingsscheuren	11		
vermoeiingssterkte	8, 18		
vernikkelen	14		
verouderingsgevoeligheid	35		
verspanen	17, 18, 45, 46		
verstevigingsgraad	22		
vertinnen	14		
vervormbaarheid	45		
verwerkingsaspecten	71		
vlaktedruk	12, 20, 21		
vlamspuiten	14, 37, 42, 47, 49, 53, 84, 88		
vliegtuigmotorenbouw	40		
vloeibare metalen	17, 44, 64, 90		
vloeistofdruk	22		
vloeistoferosie	12		
voeringen	47		
vonkersie	51		
voortloopsnelheid	30		
voorwarmen	24, 25, 46, 47		
voorwarmtemperatuur	23, 24, 74, 95		
vormstuk	31		
VPS	41, 51, 89		
Wahl	18		

VERANTWOORDING

De uitgever en auteurs bedanken de volgende bedrijven en instanties voor het gebruik van illustratie- en informatiemateriaal:

Bond voor Materialenkennis, Zwijndrecht
Castolin Benelux N.V., Delft
Coöperatief Adviesbureau vereniging
Krachtwerktuigen u.a., Amersfoort
Habets B.V., Nuth
Hoogovens Staal B.V., IJmuiden
IHC Holland B.V., Kinderdijk
Nederlands Corrosie Centrum, Bilthoven
Nederlands Instituut voor Lastechniek, Voorschoten
Revamo B.V., Meppel
Soudometal Nederland B.V., Haarlem
Stork Aludra B.V., Vlaardingen
Stork FDO B.V., Amsterdam
Stork MHC B.V., Amsterdam
TNO Industrie, Apeldoorn
Welding Alloys Nederland B.V., Beverwijk

