

Ontwikkeling van de vlamspuittechniek

Citation for published version (APA):

Houben, J. M. (1976). Ontwikkeling van de vlamspuittechniek. *Metaal en kunststof*, 14(24), 13-15.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1976

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

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

www.tue.nl/taverne

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Ontwikkeling van de vlamspuittechniek

Op de 8ste Internationale Vlamspuitkonferentie, die van 27 september tot 1 oktober in Miami Beach, Florida (USA), is gehouden is duidelijk naar voren gekomen, in welke richting zich de vlamspuittechniek ontwikkelt. Er werd niet alleen een inzicht gegeven in de huidige stand van zaken, maar ook werd aangegeven, wat we mogelijk in de toekomst kunnen verwachten. Aan de conferentie werd deelgenomen door 500 technici uit Oost en West. Een van de 9 Nederlandse deelnemers was ir. J. M. Houben van de Technische Hogeschool te Eindhoven, afdeling Werktuigbouw. Zijn indrukken gaf hij weer in een voordracht op de Vlamspuitdag, die de Vereniging voor Vlamspuittechnieken op donderdag 21 oktober in samenwerking met TNO in het gebouw van TNO in Apeldoorn heeft gehouden. Met dat gedeelte dat handelt over de ontwikkeling van de vlamspuittechniek stelden wij dit artikel samen.

Aan de orde komen: Konstrueren m.b.v. opspuiten, plasma-apparatuur met hogere vermogens, spuiten onder gekonditioneerde omstandigheden, warmtewerende lagen met verlopemde samenstelling en hechtlagen. Het artikel besluit met een overzicht te geven van die toepassingsgebieden van vlamspuiten, die momenteel het meest in de belangstelling staan. Een aansluitend artikel in deze uitgave, eveneens n.a.v. de Vlamspuitdag geeft meer gedetailleerde gegevens over toepassing van de elektrische en autogene vlamspuittechniek.

Konstrueren m.b.v. opspuiten

Uit de conferentie blijkt, dat ook de konstruktoren langzamerhand afweten van de mogelijkheden die de vlamspuittechniek biedt. Het meest opvallende voorbeeld hiervan is een straalmotor, waarin volgens A. Trsek CP. Air Canada op 600 plaatsen gebruik gemaakt wordt van opspuiten, b.v.:

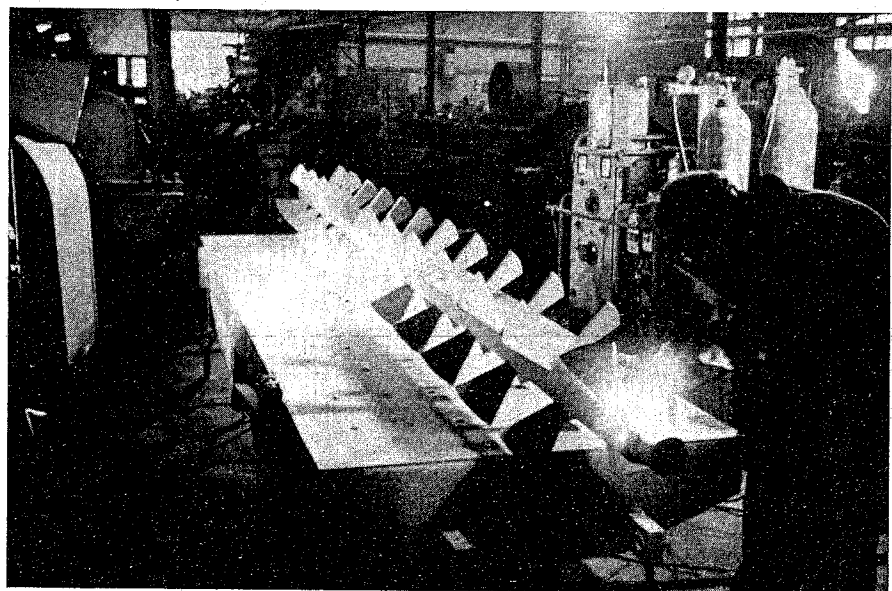
- afstandnokken van de Ti kompressorschroepen (WC)
- zwaluwstaarten van de bevestiging van de schoepen in de naaf (tegen fretting)
- abrasable coating (Ni C) ter plaatse van de afdichting van de kompressorbladtip van de stator.

Een ander voorbeeld van „konstrueren in opspuiten” werd gegeven door I. Hiroshi c.s. Kawasaki Japan. Zij voorzien een Al cilinder van 'n motorfiets van 'n sandwichlaag van Mo en Staal, als loopvlak. Op een nog niet opgehelderde wijze werkt dit uitstekend. De massa van de originele gietijzeren cilinder bedraagt 3,2 kg, van een Al cilinder, met gietijzer bereid, 2,4 kg en van de opgespoten Al-Mo-Staal cilinder is de massa 1,9 kg. NB: $\frac{1,9}{3,0} \times 100\% = 64\%$. Het

opspuiten van deze cilinders vond plaats op een zeer bijzondere wijze nl. door het laten exploderen van een draad, die in het hart van de cilinder opgesteld is.

Plasma-apparatuur met hogere vermogens

De internationale vlamspuitkonferenties geven iedere keer aan in welke richting zich de techniek zal of kan ontwikkelen. In Londen '73 werd nog al te sterk de nadruk gelegd op automatisch werkende apparatuur. Nu bleek een van de topics plasma-apparatuur van 80 en 200 kW te zijn, al dan niet bedreven in een vacuümkamer. Van deze apparatuur wordt beweerd, vooral door de fabrikanten, dat hiermede de oplossing gevonden is voor problemen als hechting, porositeit en productiesnelheid. Uit geen enkel verhaal kan men dit echter objectief vaststellen. Als onderzoeker van voornamelijk het plasmaspuitproces moet ik erkennen, dat deze ontwikkeling zeer interessant is, hoewel wij daar op de Technische Hogeschool Eindhoven enige vraagtekens bij plaatsen. Een nadere analyse is hier ongetwijfeld gerechtvaardigd. Een eerste indicatie voor het opwarmend



Scheepsschroeven met verstelbare bladen worden op grote schaal toegepast, omdat ze, hoewel kostbaarder dan schroeven met vaste bladen, een efficiëntere voortstuwing mogelijk maken. Zowel het huis als de schroefbladen zelf zijn van brons vervaardigd. Hoewel brons een goede korrosieweerstand heeft in zee water zijn de loopeigenschappen van brons onder deze omstandigheden niet optimaal, zodat slijtage optreedt. Een oplossing hiervoor biedt het vlamspuiten, waarbij een slijtvaste laag wordt verkregen met goede loopeigenschappen onder de bijzondere omstandigheden, die bij schepsschroeven heersen. De foto toont het opspuiten van de bladvoet van een van de drie verstelbare bladen van zo'n schepsschroef. Door deze bewerking wordt de slijtage tot het minimum teruggebracht en wordt vooral de kans op uiterst kostbare storingen voorkomen.

vermogen van een plasma t.o.v. een spuitdeeltje is wellicht de „heating ratio“ $\frac{H}{V}$; H = enthalpie, V = snelheid van het plasma. Is $\frac{H}{V}$ klein, dan zal het deeltje niet voldoende opwarmen; is $\frac{H}{V}$ groot, dan is de kans dat het deeltje opwarmt groot.

Hoe ligt deze $\frac{H}{V}$ - verhouding bij deze „moderne“ installaties t.o.v. de konventionele plasma-installaties? Uit tabel 1 blijkt, dat de $\frac{H}{V}$ - verhouding van konventionele apparatuur een faktor 14,5 groter is. Voor het opwarmen van de deeltjes hoeft het moderne apparaat dus niet toegepast te wor-

den. De deeltjessnelheid is echter aanzienlijk hoger. F. Longo rapporteert een deeltjessnelheid onder bovenvermelde kondities van 610 m/s.

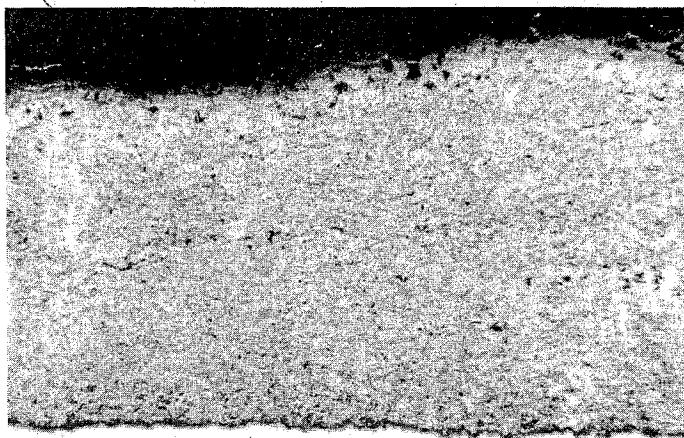
De „hammer pressure“ d.w.z. de drukspanning in het contactvlak met het substraat wordt bij benadering gegeven door $p = f \cdot \rho \cdot c \cdot v$ N/m²; f = faktor $\approx \frac{1}{2}$, ρ = dichtheid van het deeltje, C = geluidssnelheid in het deeltje, V = snelheid van het deeltje. Dit is numeriek voor b.v. staal: $p = \frac{1}{2} \times 7800 \times 5000 \times 610$ N/m², dus $p = 12000$ N/mm². Ter vergelijking: de vloeigrens van St37 bij kamertemperatuur bedraagt v 250 N/mm². Zo'n deeltje wil dus wel deformeren, zeker bij de verhoogde temperatuur, waarbij het botst met het

substraat. Relatief dichte lagen zijn, dus wel te verwachten; of ze een goede adhesie en cohesie vertonen kan ik nog niet beoordelen. Op de THE zoeken we de oplossing voor hechting- en porositeitsproblemen overigens in een volkomen andere richting. De nabije toekomst zal moeten uitwijzen of deze installaties zo veelbelovend zijn als ze nu gepresenteerd worden: goede kwaliteit bij hoge productiesnelheid.

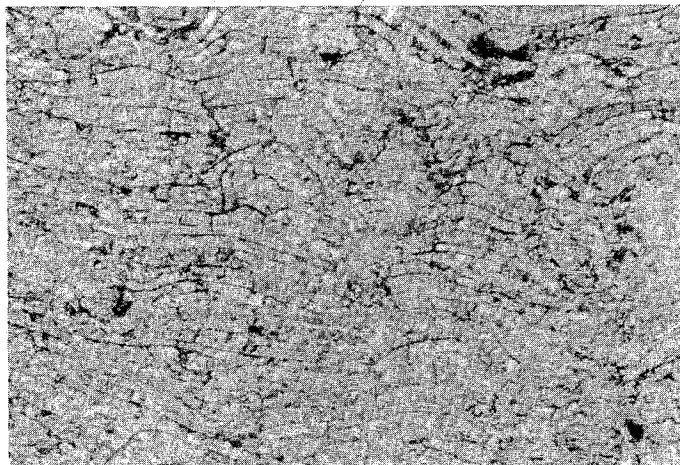
Sputten onder gekonditioneerde omstandigheden

Een andere topic van de conferentie is het sputten onder gekonditioneerde omstandigheden; dat wil voornamelijk zeggen on-

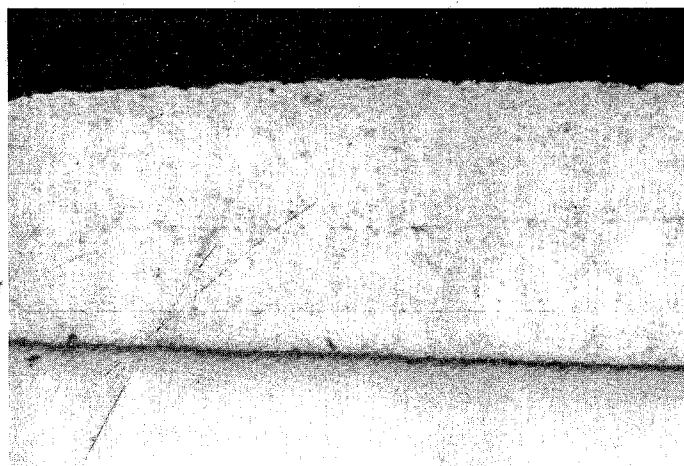
Bijdragen van de Technische Hogeschool Eindhoven



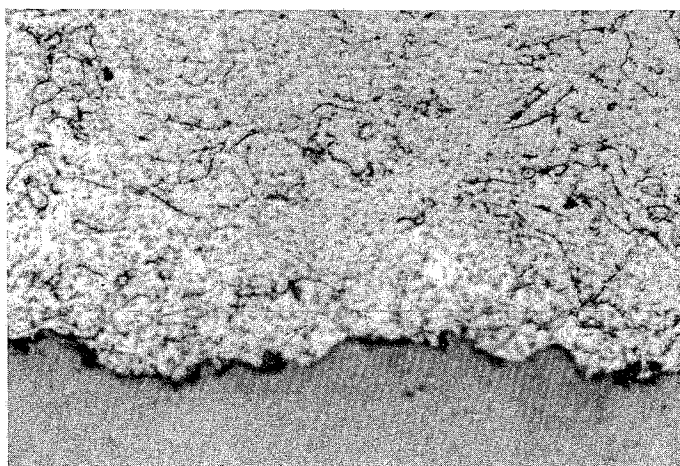
1. Gespoten molybdeenlaag (2 op elkaar), $V \approx 60 \times$



2. Detail van foto 1, $V \approx 500 \times$



3. Gespoten aluminiumlaag (2 op elkaar), $V \approx 60 \times$



4. Detail van foto 3, $V \approx 500 \times$

De materialengroep van de afdeling werktuigbouwkunde van de Technische Hogeschool Eindhoven heeft twee bijdragen geleverd aan de 8ste Internationale Vlamspuitconferentie in Miami Beach. Zij mocht zich verheugen in een grote belangstelling van de internationale vakwereld; aldus verklaarde ons ir. J. M. Houben. De bijdragen handelen

over nieuw ontwikkelde injectietechnieken van poederdeeltjes in de plasmastraal en over het lokaal gekonditioneerde sputten m.b.v. een plasma-diffusor. De resultaten, die op basis van deze technieken verkregen kunnen worden, zijn verbluffend. Als meest kenmerkende verbetering noemde hij de sterk gereduceerde porositeiten en

de afwezigheid van oxiden zoals moge blijken uit de structuurfoto's van gespoten molybdeen en aluminium; zie afb. 1 t/m 4. Deze lagen zijn geproduceerd met konventionele plasma-apparatuur met een relatief laag elektrisch vermogen van 40 kW, maar uitgerust met het nieuwe injectie-systeem en diffusor.

Tabel 1: Vergelijking moderne en konventionele plasma-installaties

	P (kW)	η (%)	H (J/kg)	V (m/s)	H/V
Modern	80	50	5000x10 ³	3000	1,66x10 ³
Konventioneel	20-40	50	12000x10 ³	500	24x10 ³

der uitsluiting van de O₂ en voor sommige materialen eveneens de N₂ uit de omringende atmosfeer. Voorbeelden hiervan zijn:

- Muehlberger, Electro-Plasma California propageerde het spuiten in een geëvacueerde kamer, samen met een overgedragen toog.

- De Russische atoomresearch pleitte voor spuiten in een kamer met Argon.

- Kayser, Euroflamm, W.-Dld. heeft zelfs een tent opgericht, waar boogspuitapparaat en operator samen met het proefstuk via een sluis binnengevoerd worden om in Argon-atmosfeer het spuitwerk te verrichten. Ook hier zal de toekomst moeten uitwijzen of deze ongetwijfeld bewonderenswaardige techniek levensvatbaar zal blijken.

- Houben en Zaat, THE, lieten o.a. zien, dat het spuiten in de open lucht met een lokaal

Tabel 3: Programma van de konfrentie

motoren van vervoermiddelen o.a. vliegtuigen
technische uitrusting en accommodatie
werktuigbouwkundige toepassingen
bruggen en grote gebouwen
karakteristieke eigenschappen van gespoten lagen
spuitmaterialen o.a. voor slijtvaste lagen en plasma-gespoten lagen
korrosievaste lagen
oppervlaktebehandeling

Tabel 4: Rangschikking van de bijdragen naar apparatuur

proces	materiaal	aantal	aantal (%)
1. plasma	poeder	20	41
2. OX-AC (ind. insmelten)	poeder	12	25
3. boog	draad	8	16
4. OX-AC	draad	5	10
5. water-stab. plasma	poeder	2	4
6. pulsed-plasma	poeder	1	2
7. explosie	draad	1	2
8. D-gun	poeder	0	0
		49	100

Tabel 2: Vergelijking van plasma- en booggespoten Ni-Al; hechtsterkten in N/mm²

Proces	staal		aluminium	
	geslepen	geruwd	geslepen	geruwd
plasma boog (Rondeau)	16,6	48,3	21,0	55,2
	39,3		51,7	

gekonditioneerde atmosfeer d.m.v. een diffusor rondom het plasma eveneens goede resultaten oplevert bij lage vermogens en zonder schutgaskamers.

Warmtewerende lagen met verlopende samenstelling

Nog een opmerkelijke spuittechnische ontwikkeling werd gepresenteerd door Wilkins e.a., Pratt en Whitney. Zij spuiten warmtewerende lagen op de binnenkant van verbrandingskamers van straalmotoren. De laag verloopt geleidelijk in samenstelling van puur metaal op het substraat tot keramiek in de toplagen. Orthodox wordt zo'n verbrandingskamer eerst voorzien van een gasvlam-gespoten „hecht”-laag van nikkel-chroom en een toplaag van zirconia. Deze lagen bezwijken als gevolg van oxydatie-verschijnselen in de metallische onderlaag (zie het belang van niet-permeabele deklagen), waardoor de keramische toplaag afbladdert.

Met deze geleidelijke overgang schijnt dit probleem opgelost te zijn, alhoewel Wilkins ook andere metallische hechtlagen gebruikt. Hoe het nou precies zit is niet duidelijk. Het geheel verkeert nog in het proevenstadium. Zij maken gebruik van meerdere poederdoseurs, die hun poeder transporteren naar een mengkamer; van deze mengkamer loopt één injectiebuis naar het plasma.

Hechtlagen

Een nieuwe methode voor het aanbrengen van hechtlagen, die ook voor veel toepassingen als toplaag bruikbaar is, werd geïntroduceerd door H. S. Rondeau, Sprarod USA. Rondeau gebruikt een voorgeleger-

de Ni-Al draad (95-5 type) en verwerkt deze met een boogspuitapparaat. Zijn resultaten m.b.t. hechting en cohesie zijn opmerkelijk, zoals blijkt uit tabel 2. Wij zullen op de THE nagaan in hoeverre deze cijfers reproduceerbaar zijn m.b.t. konventioneel en THE-gemodificeerd plasma-spuiten. Het is in ieder geval een opmerkelijke ontwikkeling.

Aandachtsgebieden en toepassingsmogelijkheden

De organisatoren hebben de bijdragen gestructureerd in 8 hoofdgroepen. Uit deze indeling moge blijken welke terreinen van de metaalindustrie interessant zijn voor vlamspuiten, zie tabel 3.

De bijdragen kunnen ook gerangschikt worden op basis van de gebruikte apparatuur. Niet van alle bijdragen is dit even duidelijk, vandaar dat in tabel 4 niet alle bijdragen opgenomen zijn. Uit deze tabel blijkt dat plasmaspuiten zich mag verheugen in een grote belangstelling, temeer omdat men er nog niet alles van begrijpt. In tabel 5 is de rangschikking gegeven naar functie of probleemgebied. Uit deze tabel blijkt o.a.:

- Vlamspuiten is een gewilde techniek voor het bestrijden van slijtage- en corrosie-problemen.

- Er valt nog heel wat in vlamspuiten te onderzoeken en te ontwikkelen; de wens tot deze onderzoeken is levendig.

Tabel 5: Rangschikking van de bijdragen naar functie of probleemgebied

	aantal	aantal (%)
1. slijtage/erosie/hoge temperatuur	16	25
2. onderzoek/wetenschap/ontwikkeling	16	25
3. atmosferische corrosie (Al/Zn)	13	20
4. algemene rapporten: geluid, installaties, know-how over spuitprocedures en ontwerp van de juiste deklaag	10	15
5. speciale produkten	4	6
6. voorbewerking van het substraat	3	4
7. kwaliteitscontrole/testmethoden	2	3
8. machinale bewerkingen	1	2
	65	100