

Ser. 4
S46-1

2^e ed.

Onderzoek naar de expositie van lassers aan luchtverontreiniging

Een onderzoek

Uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid door de
hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



NIA0029408

Directoraat-Generaal van de Arbeid



S 46-1

TEN GELEIDE

Dit onderzoek (S 46-1) is het volgende in de serie onderzoeken naar de arbeidsomstandigheden van lassers.

Eerder verscheen S 46 "Uitval om medische redenen van lassers bij een metaalconstructiebedrijf".

Op zeer korte termijn verschijnen vervolgens:

- S 46-2 "Ultraviolette stralingsniveaus bij lassen";
- S 46-3 "Ventilatie bij het lassen: Het vastleggen van het verspreidingsmechanisme van lasrook";
- S 46-4 "Ventilatie bij het lassen: De simulatie van de lasrookbeweging";
- S 46-5 "Ventilatie bij het lassen: De beproeving van plaatselijke ventilatievoorzieningen";
- S 46-6 "Ventilatie bij het lassen: De afstemming van ventilatie en andere maatregelen op de verontreinigingen bij lasprocessen en lasmaterialen";

De gehele serie (S 46 t/m S 46-6) vormt de wetenschappelijke onderbouwing voor concept-publikatieblad CP 17 "Verantwoord werken bij het lassen en aanverwante processen".

De verslagen van de onderzoeken en het concept-publikatieblad kunnen schriftelijk worden aangevraagd bij het D.G.A., Postbus 69, 2270 MA Voorburg. Aan deze uitgaven zijn kosten verbonden, voor een volledig overzicht van de kosten en de overige publikaties van het Directoraat-Generaal van de Arbeid raadplege men onze katalogus (lijst 1). Deze katalogus is gratis verkrijgbaar.

SAMENVATTING

1. INLEIDING	5
2. ACHTERGROND EN OPZET VAN HET ONDERZOEK	9
3. BESCHRIJVING VAN DE PROCESSEN	11
3.1 Algemeen	11
3.2 Lassen met beklede elektroden	11
3.3 MIG/MAG-lassen	13
3.4 TIG-lassen	15
3.5 Lassen onder poederdek	16
3.6 Plasmalassen	17
3.7 Plasmasnijden	18
3.8 Autogeen snijden	19
3.9 Elektrisch gutsen	20
3.10 Vlamspuiten	21
3.11 Hardsolderen met vlam	22
4. ONDERZOCHE MATERIAAL-PROCESCOMBINATIES	23
5. MEETMETHODEN EN GEMETEN VERONTREINIGINGEN	25
5.1 Meetstrategie	25
5.2 Monsterneming	25
5.3 Analyse	27
5.3.1 Lasrookconcentratie	27
5.3.2 Lasrooksamenstelling	27
6. RESULTATEN VAN DE METINGEN AAN DE LASROOKCONCENTRATIES	30
6.1 Persoonlijke monsterneming in grote ruimten	30
6.2 Lasrookconcentraties op vaste meetplaatsen	35
6.3 Inschakelduur	37
6.4 Afstand tot de lasboog	38
6.5 Tijdstip van de monsterneming	38

7. RESULTATEN VAN METINGEN AAN DE LASROOKSAMENSTELLING	39
7.1 Het lassen van roestvast staal	39
7.1.1 Algemeen	39
7.1.2 Beklede elektroden	39
7.1.3 MIG-lassen	41
7.1.4 TIG-lassen	42
7.1.5 Samenvatting	42
7.2 Het lassen van nikkellegeringen	44
7.3 Het lassen van koperlegeringen	46
7.4 Het lassen van mangaanhoudend staal	47
7.5 Lassen van basische elektroden met fluoriden	48
7.6 Het lassen en snijden van geverfd en verontreinigd staal	48
7.7 Hardsolderen	51
7.8 Lassen met gasloze, bariumhoudende gevulde draad	52
8. GASVORMIGE VERONTREINIGINGEN	53
8.1 Stikstofdioxiden	53
8.2 Ozon	53
8.3 Koolmonoxide	56
9. HET EFFECT VAN EXPOSITIE-REDUCERENDE VOORZIENINGEN	58
9.1 Plaatselijke afzuiging	58
9.2 Overdrukhelmen	60
9.3 Lassen in kleine besloten ruimten	60
9.4 Onderafzuiging van snijtafels	62
9.5 Overige aangetroffen voorzieningen	63
9.6 Invloed van gelaatsbescherming	65
9.7 Afstand tot de lastoorts en ozonconcentratie	66
10. TOETSING AAN GRENSWAARDEN	67
11. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	74
12. REFERENTIES	77
BIJLAGE A : Keuze van de monsternemingsmethode	
BIJLAGE B : Lashelm met filterhouder voor de bepaling van de lasrookconcentratie en adsorptiebuisje van de bepaling van de NO ₂ -concentratie	
BIJLAGE C : Aangetroffen toegepaste stroomsterkte bij het lassen tijdens het onderzoek	

SAMENVATTING

In dit rapport wordt een onderzoek beschreven naar de expositie van lassers aan luchtverontreinigende stoffen. Tevens werd onderzoek verricht bij aan het lassen verwante processen zoals snijden, metaalspuiten en hardsolderen. Het onderzoek werd uitgevoerd op werkplekken in bedrijven waar de werknemers hun taak op gebruikelijke wijze uitvoerden.

De resultaten van de metingen worden gepresenteerd in de vorm van concentraties van lasrook, van de diverse schadelijke componenten daarin en van schadelijke gasvormige emissies. De getalwaarden zijn vergeleken met de MAC-waarden van de desbetreffende stoffen. Hieruit blijkt dat in een aantal situaties de MAC-waarden worden overschreden. Aanbevelingen om de blootstelling te beperken zijn opgenomen in het rapport.

1. INLEIDING

In september 1982 werd opdracht tot uitvoering van een vooronderzoek betreffende "De belastende agentia en factoren bij het lassen" aan het toenmalige Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO (IMG-TNO) gegeven. Met behulp van dit vooronderzoek werd een inzicht verkregen in de rol van de diverse van belang zijnde arbeidshygiënische parameters bij het lassen.

Bij dit vooronderzoek werden een aantal arbeidssituaties onderzocht waar in het bijzonder problemen zijn te verwachten.

Het onderzoek werd in de volgende vier bedrijven uitgevoerd:

- een apparatenfabriek;
onderzoek naar het lassen van roestvast staal [1]
- een rijwielfabriek;
onderzoek naar hardsolderen [2]
- een scheepswerf;
onderzoek naar het lassen in kleine besloten ruimten [3]
- een apparatenfabriek;
onderzoek naar het lassen van hooggelegeerde metalen [4].

De volgende aspecten werden onderzocht:

1. luchtverontreinigende componenten;
2. ventilatie en luchtbeweging;
3. thermisch klimaat;
4. lawaai;
5. ultraviolette straling.

De resultaten van het onderzoek zijn vastgelegd in IMG-Rapport F 2012-06 "De belastende agentia en factoren bij lassen - Eindrapport" (november 1983) [5].

Tegelijkertijd werd een opdracht gegeven aan het Coronel Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam voor uitvoering van een gezondheidskundig vooronderzoek bij lassers. De resultaten van dit onderzoek zijn vastgelegd in het Rapport "Indicatief oriënterend onderzoek bij lassers - Eindverslag" (november 1983) van het Coronel Laboratorium [6].

Vastgesteld werd dat aanvullend onderzoek nodig was op de volgende gebieden:

- Aanvullend onderzoek naar de expositie aan luchtverontreiniging voor een drietal processen waarbij globale indicaties werden verkregen dat lassers aan een te hoge expositie worden blootgesteld. Deze processen zijn het MIG-lassen van roestvast staal, het autogeen snijden van staal en het hardsolderen met cadmiumhoudend soldeer.
- Onderzoek naar expositie aan luchtverontreiniging voor een aantal nog niet onderzochte lasprocessen, namelijk:
 - het lassen van legeringen met een hoog nikkelgehalte (beklede elektroden en MIG);
 - het MIGlassen van aluminium;
 - het elektrisch gutsen;
 - het thermisch spuiten;
 - het lassen onder poederdek;
 - het lassen van gecoate staalplaten;
 - het lassen met gevulde draadelektroden.
- Nader onderzoek naar het effect van verschillende in de handel verkrijgbare typen plaatselijke afzuiging en mogelijke alternatieven ter beperking van de expositie van lassers aan luchtverontreiniging [7].
- Nader onderzoek naar het ultraviolette stralingsniveau bij lasprocessen, ten einde de juiste maatregelen aan te kunnen geven ter bescherming tegen ultraviolette straling.

In het kader van het betreffende lasonderzoek werd geen verder onderzoek nodig geacht naar de lawaaibelasting en de thermische belasting van lassers.

Parallel aan het genoemde vooronderzoek werden twee andere onderzoeken op het gebied van lassen en verwante processen uitgevoerd, namelijk:

- Verantwoord werken met plasmalas- en snij-apparatuur.
Dit onderzoek werd eveneens in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid uitgevoerd. De resultaten van dit onderzoek zijn vastgelegd in IMG-Rapport F 2010-08 "Verantwoord werken met plasmalas- en snijapparatuur - Eindrapport" (februari 1985) [8]. Tevens werden concept-richtlijnen voor verantwoord werken met deze apparatuur opgesteld in IMG-Rapport F 2010-09 (MT-TNO-Rapport R 86/005a) "Concept-richtlijnen voor verantwoord werken met plasmalas- en plasmasnijapparatuur" (januari 1986) [9].
- Risicoperceptie en riskant gedrag in de arbeidssituatie.
Dit onderzoek werd mede uit de TNO-beleidsruimte gefinancierd en werd uitgevoerd door het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg (NIPG) en het IMG. De resultaten van dit rapport zijn vastgelegd in het beleidsruimteverslag nr. 372 (juli 1984) [10].

In dit rapport wordt het (deel)onderzoek naar de expositie van lassers aan luchtverontreiniging beschreven. Het deelonderzoek naar het effect van plaatselijke afzuiging en andere maatregelen ter beperking van de expositie van lassers wordt beschreven door Ing. B. Knoll [11]. Het deelonderzoek naar het ultraviolette stralingsniveau bij lasprocessen wordt beschreven door Ir C. Cox [12]. De rapporten van deze drie deelonderzoeken dienen als basis voor het opstellen van concept-richtlijnen voor verantwoord werken bij het lassen.

Bij de samenstelling van het onderhavige rapport is, voor zover dit relevant is, gebruik gemaakt van resultaten van eerder onderzoek [5, 6, 8, 9]. Het onderzoek werd uitgevoerd in negen bedrijven; de resultaten zijn per bedrijf gerapporteerd [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21]. In tabel 1 wordt vermeld in welk type bedrijven de diverse processen werden onderzocht. Verder is gebruik gemaakt van rapporten van onderzoek door anderen in Nederland. Hiermee wordt verreweg het grootste deel van de in Nederland toegepaste lasprocessen en verwante processen behandeld.

Er werden voornamelijk processen onderzocht, waarbij een verhoogd risico voor de gezondheid van de lasser kan worden verwacht en waarvan weinig gegevens beschikbaar waren. De onderzochte situaties zijn willekeurig en niet

representatief voor de gemiddelde Nederlandse situatie.

Gegevens over de in Nederland meest toegepaste lasprocessen - het MMA-lassen en MIG/MAG-lassen van ongelegeerd of laaggelegeerd staal - werden in het kader van ander onderzoek verkregen [10]. Dit onderzoek werd in Nederlandse bedrijven uitgevoerd. De resultaten zijn eveneens verwerkt in dit rapport.

Tabel 1 Onderzochte bedrijven en processen

bedrijf	onderzochte processen	rapport nr.
Apparatenfabriek	MIG-Al	F 2180-01 [13]
Constructiebedrijf	OP-lassen autogeen snijden elektrisch gutsen	F 2180-02 [14]
Scheepswerf	cunifer lassen	F 2180-03 [15]
Heftruckfabriek	MIG-lassen van staal autogeen snijden	F 2180-04 [16]
Scheepswerf	lassen van geprimeerde staalplaat	F 2180-05 [17]
Apparatenfabriek	MIG-RVS	F 2180-06 [18]
Constructiebedrijf	lassen met gevulde draad onder gasbescherming	F 2180-07 [19]
Scheepswerf	lassen van geprimeerde staalplaat	F 2180-08 [20]
Reparatiehal	thermisch metaalspuiten (vlamspuiten) autogeen snijden van geveerd staal	F 2180-09 [21]

2. ACHTERGROND EN OPZET VAN HET ONDERZOEK

Evenals het vooronderzoek werd dit onderzoek uitgevoerd op werkplekken in bedrijven, waar lassers volgens de bedrijfsleiding op normale wijze hun taak uitvoerden. Een belangrijke overweging bij het onderzoek was dat er zeer weinig is gepubliceerd betreffende blootstelling van lassers aan lasemissies in Nederland, hoewel deze beroepsgroep circa 27.500 personen omvat (in 1985) [22]. Hiervan betreft het

- 60 - 65% MMA-lassers
- 20 - 25% MIG/MAG-lassers
- 5 - 10% TIG-lassers
- ca 5% OP-lassers
- ca 2,5% gevulde draad lassers.

Ingedeeld naar gelast materiaal is de verdeling:

- 65 - 70% ongelegeerd constructiestaal
- 10 - 15% laaggelegeerd constructiestaal
- 10 - 15% roestvast staal en hooggelegeerd staal
- 5 - 10% aluminium.

Uit de literatuur en ook volgens (schaarse) Nederlandse gegevens bleek dat de kans op overschrijding van gezondheidkundige grenswaarden groot is. Veel gepubliceerde studies werden uitgevoerd in laboratoriumsituaties en bovendien kwamen de gepubliceerde resultaten niet altijd met elkaar overeen.

Veel gegevens betreffende de lasrookproductie onder nauwkeurig vastgelegde condities, uitgevoerd in een laboratoriumopstelling (fume-box), zijn gepubliceerd. Deze gegevens zijn echter niet te correleren met de expositie van lassers, omdat hierbij nog zeer veel andere factoren een rol spelen, zoals de houding en de werkwijze, de aard en de wijze van het gebruik van expositie-reducerende middelen, de wijze van ventilatie, de werkzaamheden in de omgeving van de lasser en dergelijke.

Zoals reeds werd genoemd was één der conclusies van het vooronderzoek dat aanvullend onderzoek nodig was van een aantal processen, waarvan slechts enkele of geen gegevens bij het vooronderzoek werden verkregen. Hierbij werden die processen gekozen waarvan uit de literatuur en/of eigen gegevens indicaties werden verkregen dat overschrijding van de grenswaarden van lasrook of toxische componenten daarbij een grote mate van waarschijnlijkheid heeft, en dat dus maatregelen nodig zijn om de expositie te beperken.

Het betrof de volgende processen:

MIG-lassen van roestvast staal	-	expositie aan chroom, nikkel, ozon en NO ₂
Autogeen snijden van staal	-	" " lasrook en gassen
Hardsolderen met cadmiumhoudend soldeer	-	" " cadmium
MMA en MIG-lassen van nikkel	-	" " nikkel en gassen
MIG-lassen van aluminium	-	" " lasrook en ozon
Gutsen	-	" " lasrook en gassen
Thermisch spuiten	-	" " lasrook en zware metalen
Onder poederdek lassen	-	" " stof door opstuivend laspoeder
Lassen met gevulde (= gasloze) draad z.g. luchtdraad	-	" " lasrook
Lassen van geprimeerde oppervlakken (verschillende soorten primer)	-	" " verschillende soorten verontreinigingen

Om de expositie van lassers aan luchtverontreiniging te bepalen zijn monsters in de ademzone van lassers verzameld. Daarnaast werden ook op vaste meetplaatsen monsters verzameld in verband met de expositie van helpers of omstanders. In de monsters werden relevante componenten bepaald zoals chroom, nikkel, koper en cadmium. Tevens werden concentraties gemeten van gassen zoals ozon, stikstofdioxide en koolmonoxide.

De in de bedrijven aangetroffen plaatselijke afzuigsystemen en andere maatregelen om de individuele expositie van de lassers te verminderen zijn in dit rapport geëvalueerd ten behoeve van het deelonderzoek naar het effect van algemene ventilatie en plaatselijke afzuiging ter beperking van de expositie van lassers aan luchtverontreiniging.

3. BESCHRIJVING VAN DE PROCESSEN

3.1 ALGEMEEN

De volgende lasprocessen en verwante processen werden onderzocht:

- lassen met beklede elektroden (MMA-lassen = manual metal arc welding)
- lassen met massieve draad en schermgas (MAG-lassen = metal active gas
en MIG-lassen = metal inert gas)
- lassen met gevulde draad met schermgas
- lassen met gevulde draad zonder schermgas (z.g. gasloze draadlassen)
- lassen met niet-afsmeltende wolfram elektrode en schermgas
(TIG-lassen = tungsten inert gas)
- plasmalassen, waaronder ook het microplasmalassen
- lassen onder poederdek (OP-lassen)

en de verwante processen:

- autogeen snijden = snijden onder verbranding van een
mengsel van een brandbaar gas en zuurstof
- plasmasnijden
- elektrisch gutsen
- vlamspuiten
- hardsolderen.

In de volgende paragrafen worden deze processen kort beschreven.

3.2 LASSEN MET BEKLEDE ELEKTRODEN (MMA-lassen)

Een beklede elektrode bestaat uit een metalen kern die als elektrische geleider fungeert en een omhulling (bekleding) (figuur 1). Wordt een vlamboog getrokken tussen de elektrode en het te lassen metalen werkstuk, dan smelt de kern af. Gesmolten metaaldruppels, beschermd tegen inwerking van lucht door gesmolten bekleding of vloeibare slak daarvan, gaan van de laselektrode naar het werkstuk.

Naar de aard van de bekleding worden basische en rutielelektroden onderscheiden (andere typen elektroden worden nauwelijks toegepast).

De omhulling van een basische elektrode bevat o.a. vloeispaat (CaF_2), waterglas (Na_2SiO_3), calcium- en magnesiumcarbonaat (CaCO_3 , MgCO_3).

De omhulling van rutielelektroden bevat o.a. titaandioxide (rutil, TiO_2) of verbindingen hiervan en waterglas (Na_2SiO_3). Soms bevat de bekleding stoffen die uit elementen bestaan die in de kerndraad voorkomen (hoog rendement-elektroden).

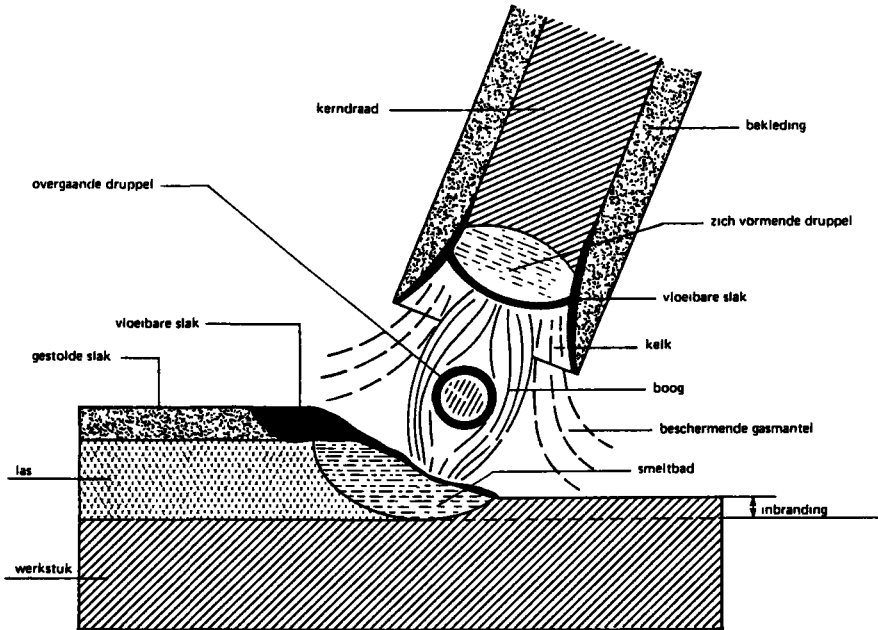


Fig. 1 Principe van het lassen met beklede elektroden.

3.3 MIG/MAG-LASSEN

Het MIG/MAG-proces is een elektrisch booglasproces, waarbij een relatief dunne draad als elektrode wordt gebruikt, die via een contactbuisje in de lastoorts naar de boog wordt geleid. De lasdraad vervult dus een dubbele functie; de draad is elektrode en vormt tevens het lastoevoegmateriaal (zie figuur 2). De boog en het smeltbad worden beschermd door het uitstromen van een gas door een mondstuk, dat concentrisch om de contactbuis is aangebracht.

De oorspronkelijke Nederlandse benaming voor het proces is: "Gasboog-lassen met afsmeltende elektrode". De term MIG/MAG-lassen is een samengestelde afkorting uit de Engelstalige literatuur. Indien het beschermende gas of gasmengsel chemisch inert is (Ar en/of He), spreekt men van MIG-(Metal Inert Gas) lassen; als het gas niet (CO_2) of niet volkomen (Ar/CO_2 , $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{O}_2$, Ar/O_2) inert is, spreekt men van MAG-(Metal Active Gas) lassen. Een in de Amerikaanse literatuur veel gebruikte afkorting is G.M.A.W. (Gas Metal Arc Welding).

Als we naar de aard van het toevoegmateriaal kijken kent het proces een aantal varianten, t.w.:

- lassen met massieve draad met beschermgas;
- lassen met gevulde draad met beschermgas;
- lassen met gevulde draad zonder beschermgas.

Lassen met massieve draad met beschermgas

Hierbij wordt gebruik gemaakt van een blanke massieve draad, die onder een gasbescherming wordt verlast.

Lassen met gevulde draad met beschermgas

Het lastoevoegmateriaal is inwendig voorzien van slak- en gasvormende bestanddelen die veelal ook extra legeringsbestanddelen bevatten ter verhoging van de mechanische eigenschappen. Men spreekt wel van binnenste buiten gekeerde elektroden.

Deze draden worden altijd verlast onder toevoeging van een beschermgas.

Lassen met gevulde draad zonder beschermgas

Deze lasdraden zijn inwendig voorzien van slak- en gasvormende bestanddelen waarin sterk desoxiderende en stikstofbindende elementen aanwezig zijn. Hierdoor is het niet nodig gebruik te maken van een extra beschermgas, vandaar dat deze variant van het MIG/MAG-lassen ook wel bekend is onder de naam gasloze draad lassen of het lassen met luchtdraad.

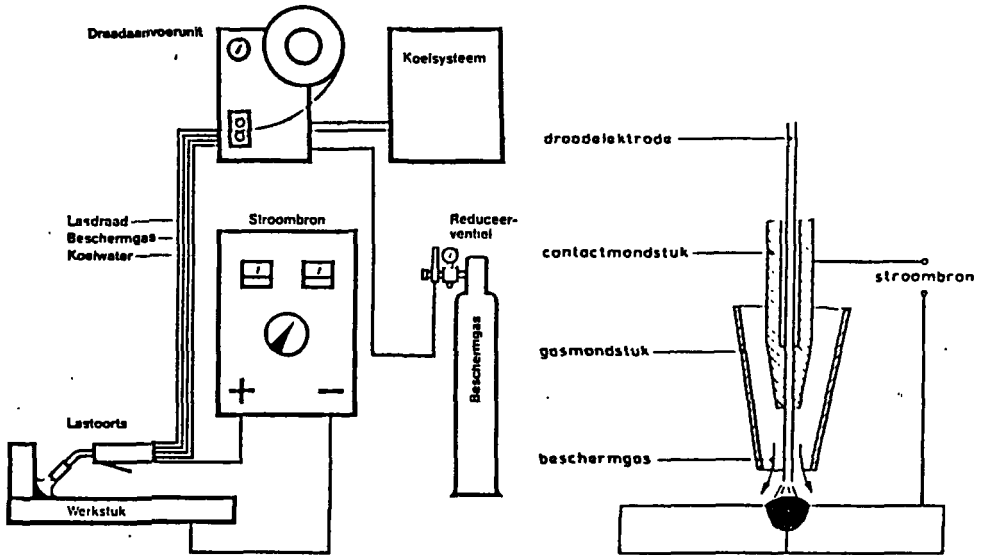


Fig. 2 Principe van het MIG/MAG-lassen.

3.4 TIG-LASSEN

De naam TIG-lassen is afkomstig van het Engelse "Tungsten Inert Gas".

Het principe van het TIG-lassen is te zien in figuur 3.

Tussen een niet afsmeltende wolframelektrode en het werkstuk wordt een elektrische boog getrokken.

Rondom de elektrode wordt door een gasmondstuk inert beschermgas toegevoegd (argon, helium of mengsels hiervan). Dit beschermgas dient om het smeltbad, de elektrode en het lastoevoegmateriaal tegen de omringende lucht (O_2 , N_2 , H_2) te beschermen.

Lastoevoegmateriaal kan met de hand (staafvorm) maar ook gemechaniseerd (haspels) worden toegevoegd.

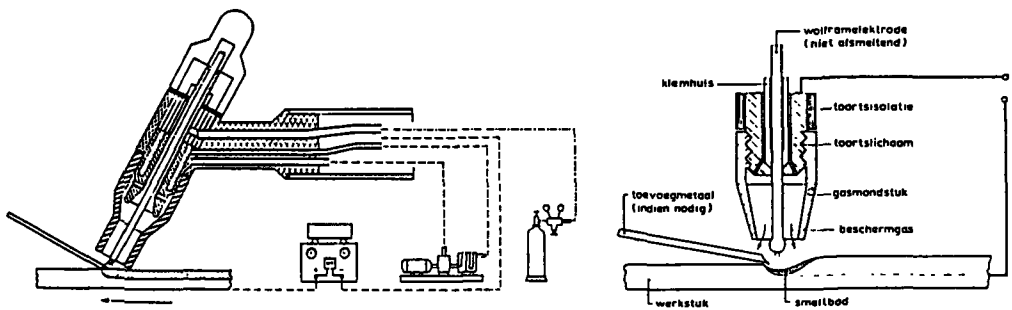


Fig. 3 Principe van het TIG-lassen.

3.5 LASSEN ONDER POEDERDEK (OP-lassen)

Tussen een mechanisch continu aangevoerde lasdraad en het werkstuk wordt een elektrische boog in stand gehouden onder een laag laspoeder, die automatisch vóór de boog uit in de lasnaad wordt overgebracht (figuur 4).

Het poeder in de directe omgeving van de boog smelt en vormt een slak, die het vloeibare metaal beschermt tegen zuurstof- en stikstofopname uit de lucht.

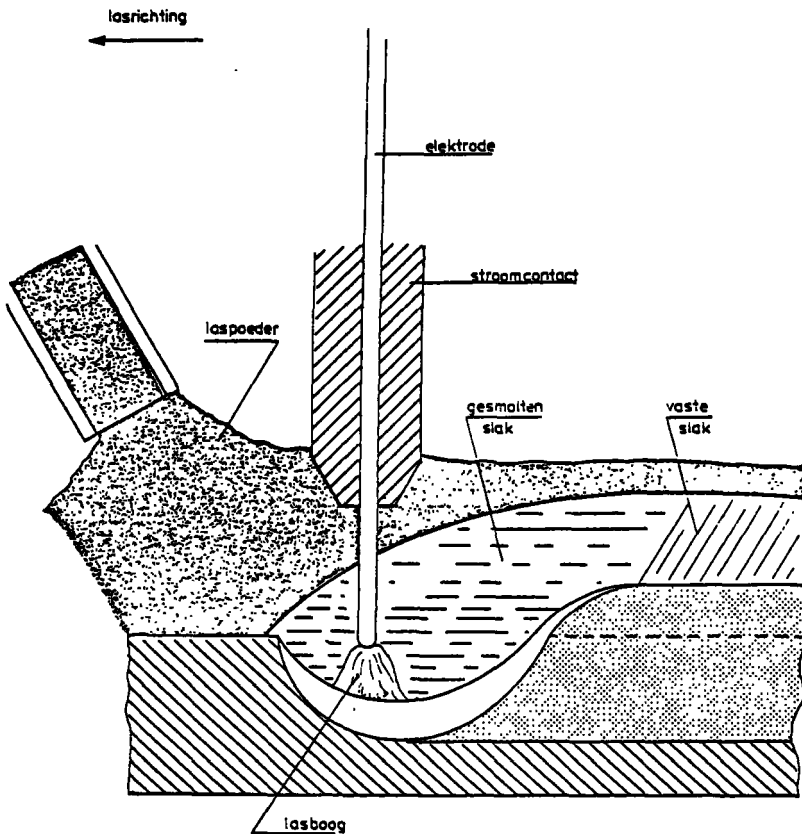


Fig. 4 Principe van het lassen onder poederdek (OP-lassen).

3.6 PLASMALASSEN

Tussen een niet afsmeltende wolframelektrode en een watergekoeld koperen mondstuk wordt een elektrische boog getrokken; de hulpboog. Deze hulpboog ioniseert het tussen de wolframelektrode en het werkstuk aanwezige plasmagas gedeeltelijk, waardoor hiertussen de hoofdboog (plasmaboog) kan ontstaan.

De hoofdboog wordt in het koperen mondstuk ingesnoerd.

De uittredende plasmastroom heeft een hoge snelheid en een hoge temperatuur (10.000 - 30.000 K) en is sterk geïoniseerd (hoge energiedichtheid).

De plasmaboog is zeer stabiel.

Lastoevoegmateriaal kan op dezelfde manier worden toegevoegd als bij het TIG-lassen gebruikelijk is.

Bij het plasmalassen wordt meestal argon als plasmagas, en beschermgas gebruikt.

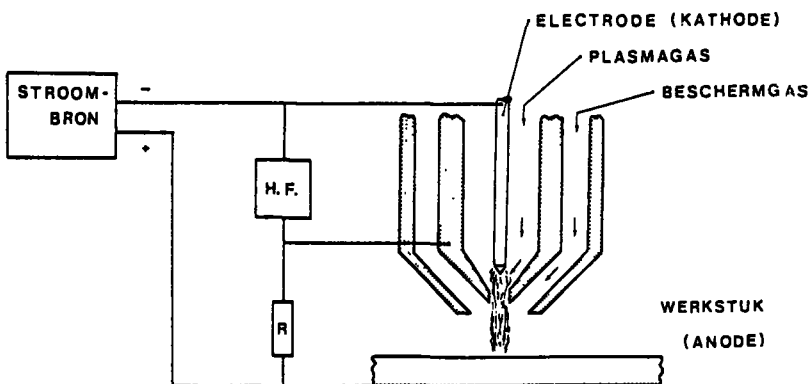


Fig. 5 Principe van het plasmalassen.

Bij het plasmalassen onderscheidt men:

- het microplasmalassen; zeer dunne plaat
- de melt-in methode; dunne plaat
- de keyhole methode; dikke plaat

De laatste methode kan alleen maar gemechaniseerd worden toegepast.

3.7 PLASMASNIJDEN

Het fundamentele verschil tussen het plasmasnijden en het plasmalassen is de constructie van de lastoorts (figuur 6) en het ontbreken van het beschermgas.

Het principe is echter gelijk aan het plasmalassen.

Het gebruik van één beschermgas (argon/waterstof, stikstof of lucht) dat met hoge snelheid door het snijmondstuk wordt geperst zorgt ervoor dat met deze toorts kan worden gesneden.

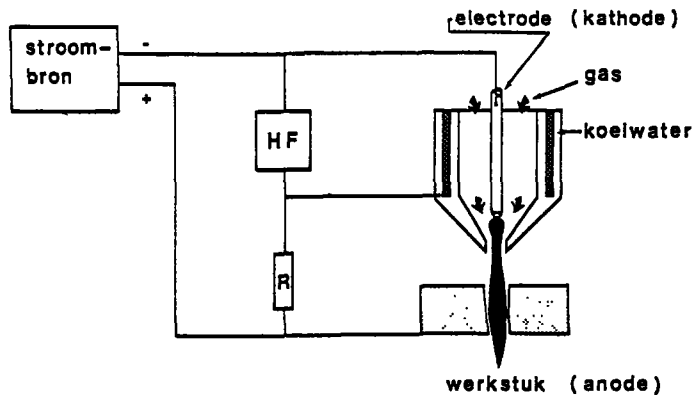


Fig. 6 Principe van het plasmasnijden.

Bij het plasmasnijden onderscheidt men:

- snijapparaten die met de hand worden bediend;
- vast opgestelde snijmachines die doorgaans op afstand worden bediend.

Deze kunnen worden verdeeld in:

- snijmachines waarbij de platen in lucht worden gesneden.
- snijmachines waarbij in een waterbad wordt gesneden (figuur 7).

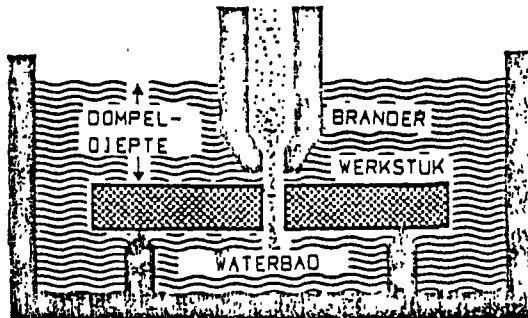


Fig. 7 Principe van het plasmasnijden in een waterbad.

3.8 AUTOGEEN SNIJDEN

Het autogeen snijden, ook wel snijbranden genoemd, is een verbrandingsproces, dat wil zeggen een chemisch proces, waarbij een brandbare slak zich met zuurstof verbindt, in dit geval ijzer.

De verbranding ontstaat als regel niet spontaan, maar door de verbranding van een mengsel van een brandbaar gas en zuurstof.

Gasmengsels van acetyleen/zuurstof, propaan/zuurstof en aardgas/zuurstof worden gebruikt om de verbranding in te leiden waarna een extra hoeveelheid zuurstof (snijzuurstofstraal) ervoor zorgt dat de verbranding geconcentreerd, door het plaatmateriaal heen, plaatsvindt. Deze snijzuurstofstraal zorgt er ook voor dat de verbranding in stand wordt gehouden.

Het proces wordt praktisch alleen maar toegepast voor het snijden van ongelegeerd en laaggelegeerd staal.

3.9 ELEKTRISCH GUTSEN

Bij het elektrisch gutsen wordt een vlamboog getrokken tussen een koolstof-elektrode en het werkstuk, waardoor het materiaal plaatselijk smelt. Langs de elektrode wordt een luchtstraal geblazen, waardoor het gesmolten metaal wordt weggeblazen (figuur 8). De koolstofelektrode is bedekt met een laagje koper om beter elektrisch contact te maken. Bij het gutsen wordt de afstand gutstang - elektrode zo kort mogelijk gehouden.

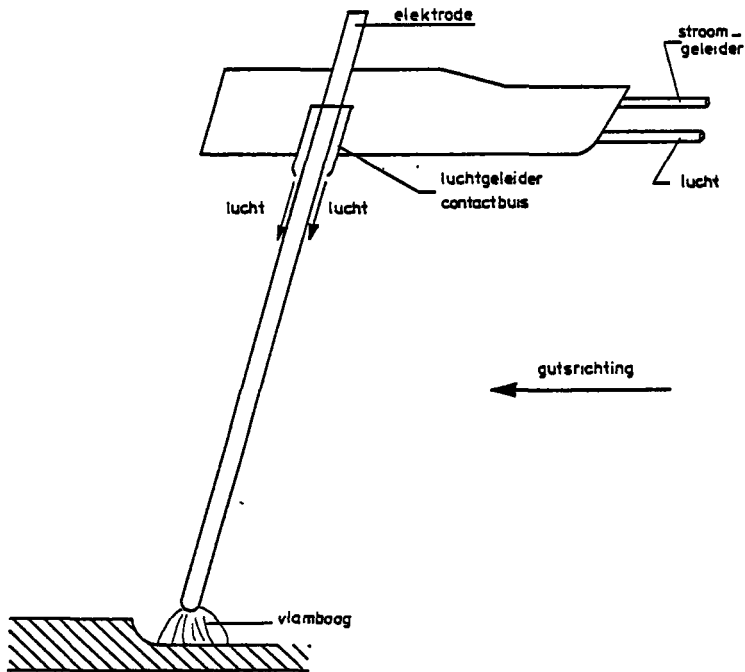


Fig. 8 Principe van het elektrisch gutsen.

3.10 VLAMSPUITEN

Bij het vlamspuiten wordt vloeibaar metaal aangebracht op een werkstuk door het metaal toe te voeren aan een steekvlam. Als brandergas worden gasmengsels gebruikt zoals bij het autogeen snijden. Er wordt onderscheid gemaakt tussen poedervlamspuiten, waarbij het metaal als poeder aan de vlam wordt toegevoerd (figuur 9) en draadvlamspuiten, waarbij het metaal als draad continu aan de vlam wordt toegevoerd (figuur 10).

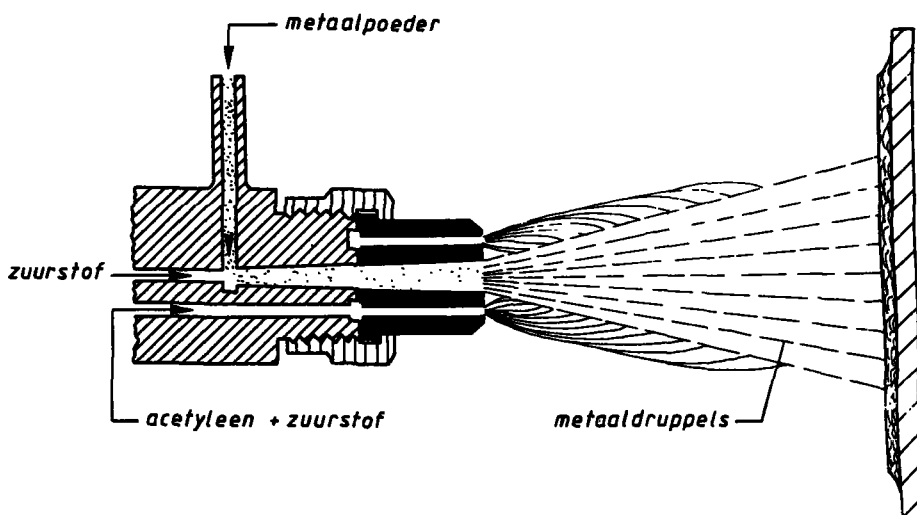


Fig. 9 Principe van het poedervlamspuiten.

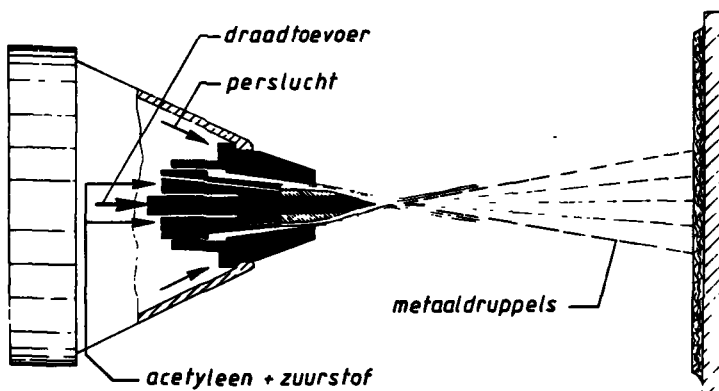


Fig. 10 Principe van het draadvlamspuiten.

3.11 HARDSOLDEREN MET VLAM

Bij het hardsolderen wordt het werkstuk verhit met behulp van een gasvlam. Bij het hardsolderen met de vlam wordt meestal een soldeertype op basis van een legering van koper en zink, waaraan zilver en cadmium kunnen worden toegevoegd, gebruikt.

Het smeltpunt van het meest gebruikte hardsoldeer, dat circa 50% koper en circa 50% zink bevat, ligt tussen 840 en 870 °C. Toevoeging van zilver en cadmium geeft hardsoldeer met een lager smeltpunt of traject.

4. ONDERZOEK MATERIAAL-PROCESCOMBINATIES

In tabel 2 wordt aangegeven welke materialen, gelast volgens welke lasprocessen, werden onderzocht.

Tabel 2 Onderzochte materialen en lasprocessen

Gelast materiaal	MMA	MIG	MAG (CO ₂)	gasloze gevulde draad	TIG	OP	plasma lassen
Ongelegeerd staal	x	x	x	x	o	x	o
Roestvast staal	x	x	o	o	x	o	x
Koperlegeringen	x	x	o	-	x	-	o
Nikkellegeringen	x	x	o	o	x	o	o
Hoog mangaanhoudende staalsoort	x	x	o	o	o	o	o
Geverfd ongelegeerd staal	x	x	x	o	-	o	-
Aluminium	o	x	-	-	o	-	o

x onderzochte combinatie

o mogelijke combinatie, niet onderzocht

- combinatie niet mogelijk of niet gebruikelijk

In tabel 3 wordt aangegeven welke materialen, behandeld volgens de overige processen, werden onderzocht.

Tabel 3 Overige onderzochte materialen en processen

Behandeld materiaal	autogeen snijden	plasma- snijden	gutsen	vlam spuiten	hardsolderen met/zonder Cd
Ongelegeerd staal	x	o	x	o	x x
Roestvast staal	-	x	-	o	o o
Koperlegeringen	-	o	-	x	o o
Nikkellegeringen	-	o	-	x	o o
Geprimeerde staalplaat	x	o	o	n.v.t. ¹⁾	

1) n.v.t = niet van toepassing

5. MEETMETHODEN EN GEMETEN VERONTREINIGINGEN

5.1 MEETSTRATEGIE

In elk van de onderzochte bedrijven werden vijf tot tien werknemers gedurende twee werkdagen bemonsterd door middel van persoonlijke monsterneming (zie § 5.2). De monsterneming vond plaats gedurende tweemaal circa drie uur: één periode 's ochtends en één periode 's middags. De werkzaamheden gedurende de overige twee uur van de werkdag verschilden niet essentieel van die gedurende de monsterperiode, zodat de monsterperiode van zes uur per dag als representatief kan worden beschouwd voor de gehele werkdag.

Dezelfde meetstrategie werd toegepast bij monsterneming op vaste meetplaatsen.

5.2 MONSTERNEMING

Bij de persoonlijke monsterneming werd lucht uit de ademzone van de lassers bemonsterd. De lassers gebruikten óf een lashelm, die op het hoofd wordt gedragen, óf een lasscherm, dat in de hand wordt gehouden.

De werknemers werden uitgerust met een koppelriem, waaraan twee luchtpompjes werden bevestigd. Deze pompjes worden door een nikkel-cadmium-batterij aangedreven en worden gedurende de gehele monsterperiode meegedragen (merk en type: Du Pont Constant flow sampler, model P 2500 en P 200).

Eén pompje werd door middel van een slang verbonden aan een filterhouder met een glasvezelfilter, waarmee lasrookdeeltjes worden afgevangen. De aluminium filterhouder bevat een filter met een diameter van 25 mm en is voorzien van een conische aanzuigtuit met een diameter van de opening van 6 mm (6 mm PAS). Het aanzuigdebiet bedraagt $2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$; de aanzuigsnelheid in de opening bedraagt dan $1,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Op deze wijze worden deeltjes met een aërodynamische diameter tot circa $30 \mu\text{m}$ bemonsterd [23, 24].

Het tweede pompje werd verbonden met een houder met een SKC adsorptiebuisje voor monsterneming van NO_2 . Het buisje bevat een moleculaire zeef geïmpregneerd met triethanolamine. Het aanzuigdebiet bedraagt $0,1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Indien de lasser een lashelm droeg, werd hem verzocht een lashelm van TNO te dragen, waar aan de binnenzijde naast het lasruitje een filterhouder en een houder voor NO_2 -adsorbens waren bevestigd (zie Bijlage A). Indien de lasser een

handscherm gebruikte, werden de beide houders aan de revers bevestigd. Zodoende kon in beide gevallen in de ademzone tussen gelaat en lashelm of -scherm worden bemonsterd.

Verder werden monsters verzameld op vaste meetplaatsen op circa 2 m afstand van de lasser, en soms ook op grotere afstand (achtergrondmeting). Op de vaste meetplaatsen werd de volgende apparatuur opgesteld:

- een pompje met filterhouder, identiek aan de gedragen apparatuur;
- een pompje waarbij de afgezogen lucht achtereenvolgens stroomt door een houder met adsorbens voor NO_2 , identiek aan de gedragen apparatuur, een oxidatiepatroon (CrO_3), waarmee NO tot NO_2 wordt geoxideerd, en een tweede houder met NO_2 -adsorbens. Zodoende kon zowel de concentratie van NO_2 als die van NO worden bepaald.

Aanvankelijk werd ook op enkele plaatsen een filterapparaat met glasvezel-filter in de houder opgesteld, waarmee een grote hoeveelheid lucht kan worden bemonsterd ("Gromoz", ontwerp IMG-TNO, debiet $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$).

Een dergelijke high-volume sampler zuigt deeltjes tot circa $80 \mu\text{m}$ aan en wordt onder andere in Nederland als referentie-apparaat voor de bepaling van de totale stofconcentratie beschouwd. Nadat was gebleken dat de uitkomsten van de Gromoz en de "6 mm PAS" steeds goede overeenkomst vertoonden werd het plaatsen van de Gromoz achterwege gelaten.

Tevens werden metingen uitgevoerd met continu registrerende apparatuur:

- een monitor, waarmee NO en NO_2 worden gemeten. Deze instrumenten berusten op meting van de chemiluminescentie, die optreedt bij de reactie van NO met ozon.
- een monitor, waarmee ozon wordt gemeten. Dit apparaat berust ook op chemiluminescentie, gebruik makend van de reactie van ozon met etheen. Ozonverliezen bij de monsterneming werden zoveel mogelijk voorkomen gebruik te maken van Teflon aanzuigslangen, filters en filterhouders. Het Teflon stoffilter voor de aanzuigopening van het instrument werd veelvuldig vernieuwd om reactie van ozon met afgevangen stof te voorkomen. In Bijlage A wordt ingegaan op de keuze van de monsternemingsmethode.

5.3 ANALYSE

5.3.1 Lasrookconcentratie

De (glasvezel)filters werden voor en na de monsterneming gewogen op een microbalans. De filters werden vóór de wegingen geconditioneerd bij constante temperatuur en relatieve vochtigheid. Het verschil is de massa van het verzamelde stof. Deling door het doorgezogen volume lucht levert de gemiddelde stofconcentratie die wordt uitgedrukt in mg per m³ lucht. De relatieve onnauwkeurigheid van de meting is circa 10% (van de gewichtsbepaling circa 5% en van de volumebepaling eveneens circa 5%).

5.3.2 Lasrooksamenstelling

In de stofmonsters werd het gehalte aan relevante metalen of andere verbindingen bepaald.

Metalen

De meeste metalen werden bepaald met behulp van atoomabsorptiespectrometrie (AAS). De relatieve onnauwkeurigheid van de bepalingen van het gehalte van de metalen wordt geschat op 10%, die van de bepalingen van de concentratie van de metalen op 15%.

Chroom

Aanvankelijk werd het chroomgehalte in de lasrookmonsters in vier verschillende fracties bepaald:

- totaal in water oplosbaar chroom;
- zeswaardig in water oplosbaar chroom;
- totaal zeswaardig chroom (oplosbaar en onoplosbaar)
- totaal chroom.

De analytische procedure is beschreven in IMG-TNO-Rapport F1994 (Moons [25]) en kan als volgt worden samengevat.

- Het monster wordt afgevangen op glasvezelfilters zonder bindmiddel.
- Een deel van het filter wordt geëxtraheerd met gedestilleerd water. In het extract wordt het gehalte aan zeswaardig chroom spectrometrisch bepaald via een kleurreactie met difenylcarbazine. Dit levert oplosbaar Cr^{VI} [26].

- Een ander deel van het filter wordt geëxtraheerd met een basische oplossing die bestaat uit 3% Na_2CO_3 en 2% NaOH in water. In het extract wordt het gehalte aan zeswaardig chroom bepaald als boven. Dit levert totaal Cr^{VI} [26].
- Een derde deel van het filter wordt in zuur ontsloten met behulp van koningswater. In het extract wordt het chroomgehalte bepaald met behulp van atoomabsorptiespectrometrie. Dit levert totaal Cr (volgens sommige literatuuropgaven exclusief sommige onoplosbare zouten, Wilson [27]).
- Een vierde van het filter wordt basisch ontsloten door smelten met Na_2CO_3 . In de smelt wordt het chroomgehalte bepaald met behulp van atoomabsorptiespectrometrie. Dit levert totaal Cr [28].

Uit analyse van lasrookmonsters, genomen tijdens het lassen van chroomhoudende legeringen, bleek dat:

- zeswaardig chroom uitsluitend in oplosbare vorm voorkomt,
- andere vormen chroom uitsluitend in onoplosbare vorm voorkomen, en
- de zure ontsluiting vrijwel dezelfde resultaten oplevert als basische ontsluiting bij de bepaling van het totale chroomgehalte.

De procedure bij de analyse van lasrookmonsters kon hierdoor aanzienlijk worden vereenvoudigd:

- Filter extraheren met gedestilleerd water.
In het extract bepaling van chroom door middel van spectrometrie via een kleurreactie met difenylcarbazine óf atoomabsorptiespectrometrie. Dit levert zeswaardig chroom.
- Het geëxtraheerde filter in zuur ontsluiten met koningswater.
In het extract bepaling van het chroomgehalte door middel van atoomabsorptiespectrometrie. Dit levert overige vormen van chroom.

Moreton et al. [29] verkreeg gelijksoortige resultaten bij analyse van monsters genomen bij het lassen van chroomlegeringen: alle zeswaardige chroomverbindingen waren oplosbaar in water met 1% Na_2CO_3 en alle overige chroomverbindingen onoplosbaar in water.

Fluoride

Het gehalte aan fluoride werd bepaald met behulp van een ion-specifieke elektrode na extractie van het filter met water, waarin minstens 90% van de fluoriden oplost.

NO_x

De inhoud van de bemonsterde NO_x-buisjes werd overgebracht in gecalibreerde buizen. Het aan het adsorbens gebonden NO₂ werd hierin gedesorbeerd met een desorptievloeistof, bestaande uit een oplossing van triethanolamine en n-butanol in water. Aan de vloeistof werden na filtratie reagentia toegevoegd, waarmee NO₂ een gekleurd complex vormt (methode volgens Griess-Salzman [30]). De kleurintensiteit werd spectrofotometrisch bepaald bij een specifieke golflengte waarna de hoeveelheid NO₂ kan worden berekend. De concentraties volgen uit de gewichtshoeveelheden NO₂ en de monstervolumina NO werd als NO₂ bepaald en vervolgens omgerekend.

6. RESULTATEN VAN METINGEN AAN LASROOKCONCENTRATIES

6.1 PERSOONLIJKE MONSTERNEMING IN GROTE RUIMTEN

De verdeling van de in de ademzone gemeten concentraties van luchtverontreinigingen kan het beste worden beschreven door een lognormale frequentieverdeling. Een dergelijke verdeling wordt vastgelegd met het geometrisch gemiddelde (GM, mediaan) en de geometrische standaarddeviatie (GSD).

Deze kunnen worden berekend uit het rekenkundig gemiddelde (AM) en de standaarddeviatie (STD) volgens de volgende omrekeningsformules (Leidel en Busch) [31]:

$$GM = \frac{AM^2}{\sqrt{AM^2 + STD^2}}$$

waarin AM = rekenkundig gemiddelde

STD = standaarddeviatie

$$\text{en } GSD = \exp \left[\sqrt{\ln(1 + STD^2)} / AM^2 \right]$$

In de meeste gevallen zijn de metingen uitgevoerd in grote ruimten, op min of meer vaste werkplekken, zonder gebruik van plaatselijke afzuiging. In tabel 4 zijn onder deze omstandigheden per lasproces vermeld:

- het rekenkundig gemiddelde (AM) van de gemeten gemiddelde concentratie over perioden van 3 uur;
- het aantal metingen van elk 3 uur (n);
- het geometrisch gemiddelde (GM) van de concentraties;
- de geometrische standaarddeviatie (GSD);
- de laagste en de hoogste gemeten concentraties (3 uursgemiddelden).

In figuur 11 worden de belangrijkste uitkomsten weergegeven als een cumulatieve verdeling. In figuur 12 wordt het bereik (laagste en hoogste gemeten concentraties) en de mediane concentraties weergegeven.

Voor toetsing aan grenswaarden (MAC-waarde) is het rekenkundig gemiddelde AM van toepassing. GM en GSD worden toegepast, indien men de kans wil schatten dat een bepaald niveau wordt overschreden.

Tabel 4 Lasrookconcentraties, gemeten in grote ruimten in de ademzone gemiddeld over 3 uur, zonder gebruik van plaatselijke afzuiging

lasproces	gelast metaal	AM mg·m ⁻³	GM mg·m ⁻³	GSD	n	laagste en hoogste gemeten conc. mg·m ⁻³
MMA	ongeleg. staal	4,6	3,9	1,8	30	1,0 - 11,0
MAG	ongeleg. staal	4,6	4,0	1,7	52	1,5 - 14,2
TIG	RVS	1,3	1,2	1,5	47	0,7 - 3,3
MMA	RVS	11,3	7,6	2,4	17	2,1 - 41
MIG	RVS	5,9	4,2	2,3	12	1,0 - 19,4
MIG	aluminium	7,0	6,6	1,4	12	3,7 - 12,7
OP	ongel. staal	2,8	2,6	1,4	23	0,8 - 4,3
MMA	cunifer	3,0	2,7	1,6	8	1,2 - 5,5
TIG	cunifer	1,2	1,1	1,4	8	0,6 - 2,0
gevulde draad met schermgas *)	ongel. staal	4,0	3,8	1,4	8	2,9 - 6,8
plasma	RVS	1,0	1,0	1,1	4	0,9 - 1,1
microplasma	inconel	0,35	0,32	1,45	21	0,11 - 0,57
autog. snijden	ongel. staal	10,6	8,7	1,85	9	3,9 - 23
autog. snijden	geprimeerde plaat	8,4	8,0	1,4	12	4,7 - 14,2
gutsen	ongel. staal	12,4	11,7	1,4	5	6,0 - 16,8
plasma-snijden	RVS	3,3	2,8	1,8	28	0,7 - 8,1

*) Gevulde draad zonder schermgas werd niet onderzocht, omdat hiervoor geen bedrijf werd gevonden. In [32] wordt melding gemaakt van extreem hoge lasrookconcentraties van 30 tot 195 mg·m⁻³ bij een inschakelpercentage van 30%.

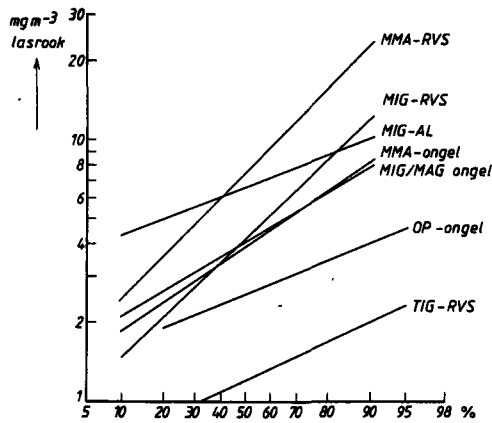


Fig. 11 Cumulatieve verdeling van lasrookconcentraties in de ademzone van lassers, gemeten in grote ruimten zonder gebruik van plaatselijke afzuiging.

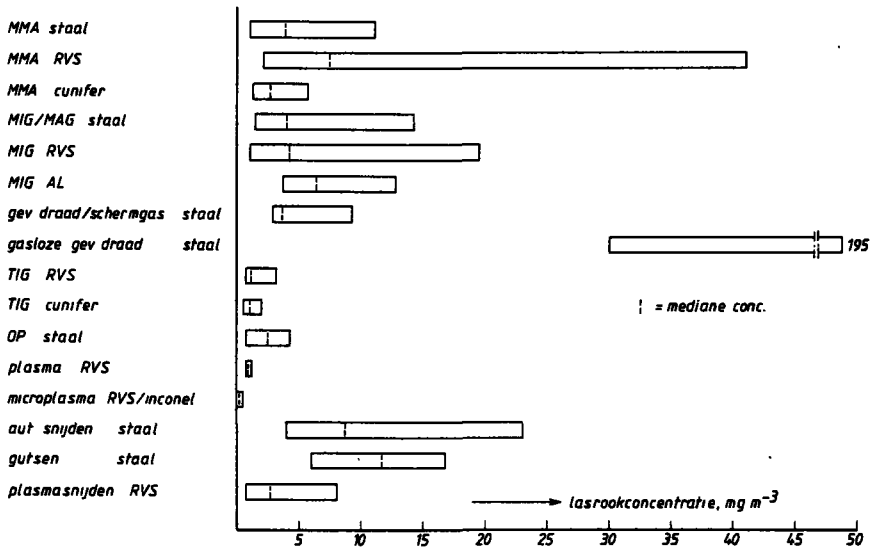


Fig. 12 Lasrookconcentraties in ademzone bij lassen in grote ruimten zonder gebruik van plaatselijke afzuiging.

Bij de meeste processen werden concentraties hoger dan $5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ geconstateerd. Dit is de MAC-waarde die geldt voor lasrook waarin afzonderlijke stoffen niet in dusdanige concentraties aanwezig zijn, dat bij toepassing van de MAC-waarde van $5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ de MAC-waarden van deze afzonderlijke stoffen wordt overschreden (bij vele onderzochte processen zijn verbindingen aanwezig die een lagere MAC-waarde hebben). Gunstige uitzonderingen hierop zijn de TIG- en plasmalassenprocessen. Deze processen worden in het algemeen voor kleinere lassen toegepast.

In tabel 5 worden de in tabel 4 vermelde processen gerangschikt naar afnemende kans dat concentraties hoger dan $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ worden gevonden. Daarbij is uitgegaan van de lognormale frequentieverdeling met GM en GSD, zoals berekend en vermeld in tabel 4. Zoals uit de tabel blijkt is de kans op overschrijding van $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ het grootst bij het gutsen en het kleinst bij het TIG-lassen en het plasmalassen.

Het blijkt dat bij de meeste processen in meer dan 10% van de drie-uursmetingen de waarde van $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ wordt overschreden (kans meer dan 10%).

De volgorde van de verschillende processen gerangschikt naar de kans dat de concentratie van $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ wordt overschreden komt niet geheel overeen met een rangschikking naar het rekenkundig gemiddelde AM. Dit wordt veroorzaakt door onderlinge verschillen in GSD; deze varieert van 1,1 (plasma RVS) tot 2,4 (MMA RVS).

Vergelijkbare frequentieverdelingen (GM en GSD) werden in Zweden en Denemarken gevonden bij lassen met beklede elektroden (Stern (interpretatie van Deense en Zweedse gegevens) [33], Beck-Hansen (Denemarken) [34], Ulfvarson (Zweden) [35]).

Voorbeelden:	MMA ongelegeerd	GM = 5	$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	GSD = 2	(Denemarken)
	MMA RVS	GM = 3,5	$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	GSD = 2	(Zweden)
	MIG RVS	GM = 1,5	$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	GSD = 2	(Zweden)
	MIG Al	GM = 10	$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	GSD = 2,5	(Zweden)

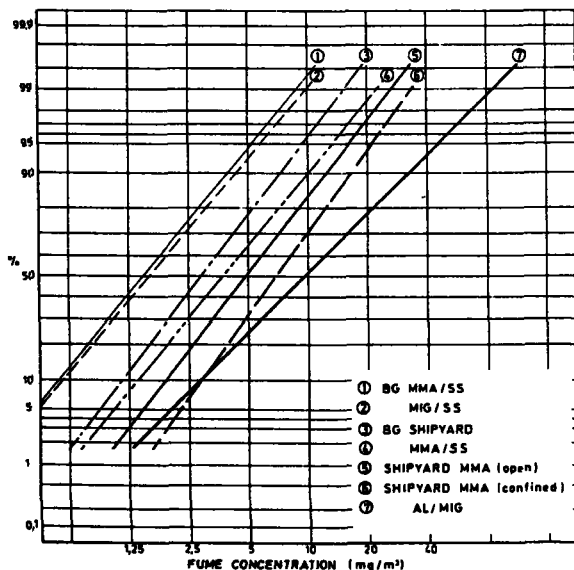


Fig. 13

Cumulative distribution of working place exposures (%) vs. fume concentration (8 hr. average) (mg/m^3) for stainless steel (SS) and aluminium (AL) welding (in Sweden), and shipyard welding (in Denmark), including background levels (BG), for electrode (MMA) and inert gas (MIG) welding, liberally interpreted from Ulfvarson (1979) and Beck-Hansen (1977).

Tabel 5 Lasprocessen gerangschikt naar de kans dat een concentratie van $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ in de ademzone wordt overschreden (volgend uit gegevens van tabel 4)

proces	materiaal	kans dat concentratie van $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ wordt overschreden in %	AM $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$
gutsen	ongel. staal	ca. 99	12,4
autog. snijden	geverfd staal	92	8,4
autog. snijden	ongel. staal	81	10,6
MIG	Al	79	7,0
MMA	RVS	68	11,3
MIG	RVS	42	5,9
MMA	ongel. staal	34	4,6
MAG	ongel. staal	32	4,6
gevulde draad met schermgas	ongel. staal	20	4,0
plasma snijden	RVS	16	3,3
MMA	cunifer	9	3,0
OP	ongel. staal	3	2,8
TIG	RVS	< 1	1,3
TIG	cunifer	< 1	1,2
plasma	RVS	< 1	1,0
microplasma	inconel	< 1	0,35

6.2 LASROOKCONCENTRATIES OP VASTE MEETPLAATSEN

De resultaten van de lasrookconcentraties, gemeten op vaste plaatsen in grote ruimten, zijn vermeld in tabel 6. In vrijwel alle situaties (uitzondering gutsen) was de lasrookconcentratie op de vaste meetplaatsen, op korte afstand van de lassers, aanzienlijk lager dan in de ademzone (zie ook fig. 14). Dit is niet ongevoen in gevallen waar de werknemers zich zeer dicht bij de bron van de verontreinigingen (in dit geval de lasboog of snijtoorts) bevinden.

Met uitzondering van het gutsen werd een overschrijding van $5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ zeer incidenteel gevonden (4 van 245 metingen).

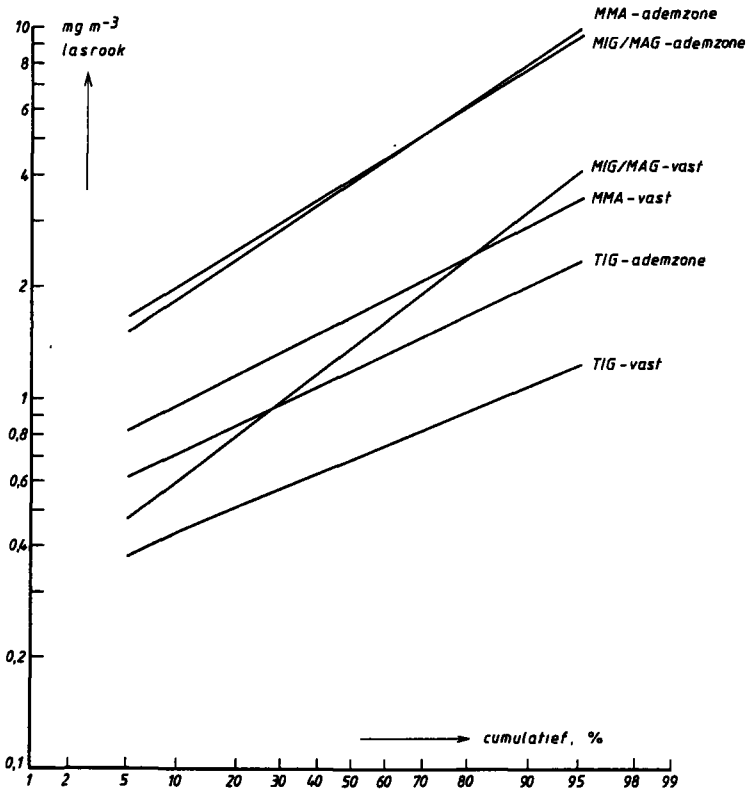


Fig. 14 Cumulatieve verdeling van lasrookconcentraties in de ademzone van lassers, zonder gebruik van plaatselijke afzuiging, en op vaste meetplaatsen in grote ruimten.

Tabel 6 Lasrookconcentraties, op vaste meetplaatsen gemeten als 3-uurs-gemiddelden, in grote ruimten

lasproces	gelast metaal	AM $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	GM $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	GSD	n	laagste en hoogste gemeten conc. $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$
MMA	ongeleg. staal	1,8	1,7	1,55	31	0,6 - 2,9
MAG	ongeleg. staal	1,7	1,4	1,95	54	0,2 - 6,8
TIG	RVS	0,8	0,7	1,4	47	0,4 - 1,6
MMA	RVS	1,1	1,1	1,2	9	0,7 - 1,4
MIG	RVS	1,1	0,9	1,8	10	0,4 - 2,8
MIG	aluminium	0,8	0,8	1,25	7	0,5 - 1,0
OP	ongel. staal	2,6	2,4	1,4	4	2,0 - 4,0
MMA	cunifer	1,7	1,1	2,1	8	0,6 - 6,4
TIG	cunifer	0,95	0,9	1,4	8	0,5 - 1,5
gevulde draad met schermgas	ongel. staal	2,0	1,9	1,4	8	1,3 - 2,9
plasma	RVS	0,7	0,6	1,75	4	0,4 - 1,3
microplasma	RVS	0,22	0,20	1,5	8	0,09 - 0,37
autog. snijden	ongel. staal	1,4	1,2	1,9	8	0,6 - 3,7
autog. snijden	geverfd ongel. staal	3,9	3,8	1,25	4	3,1 - 5,0
gutsen	ongel. staal	9,3	7,6	1,9	5	4,4 - 20,6
plasma-snijden	RVS	1,9	1,7	1,65	35	0,6 - 4,3

6.3 INSCHAKELDUUR

Een belangrijk geachte parameter, die de totale lasrookconcentratie beïnvloedt, is de relatieve inschakelduur van het lasgereedschap. Theoretisch mag worden verwacht dat, onder overigens gelijke omstandigheden, de lasrookproductie en daarmee de gemiddelde lasrookconcentratie evenredig is met de inschakelduur. De inschakelduur werd bij alle onderzochte lassers geschat op grond van elektrodenverbruik en lengte en soort aangebracht lasnaden. Waarnemingen werden verricht om de gemiddelde verbruiksduur van verschillende typen elektroden vast te stellen. Ook werden waarnemingen verricht om de gemiddelde tijdsduur voor het maken van lengte-eenheden lassen te kunnen schatten.

De correlatie tussen inschakelduur en de gemeten totale lasrookconcentratie bleek vrijwel afwezig (tabel 7). Dit komt overeen met ervaringen elders [36]. Behalve procesvariabelen zoals stroomsterkte, spanning en elektrodediameter spelen ook persoonlijke factoren een rol bij de opbouw van de lasrookconcentratie in de ademzone. Gedacht kan worden aan de houding van de lassers, afstand van hoofd tot lasboog en afstand van lasscherf tot hoofd (bij het gebruik van een los lasscherf) en plaatselijke luchtbewegingen. Deze waren niet dezelfde in de onderzochte situaties.

Tabel 7 Correlatie tussen lasrookconcentraties en inschakelduur (%)

lasproces	aantal 3 uursmetingen	correlatie- coëfficiënt r	opmerkingen
beklede elektroden	38	0,05	bij lassen van on- of laag- gelegeerd staal
MAG	48	0,21	idem
TIG	46	- 0,15	bij lassen van RVS

6.4 AFSTAND TOT DE LASBOOG

Uit het onderzoek van Güttinger [10], blijkt dat de werkhouding (hoe dicht werkt men met het hoofd bij de bron) - in ieder geval bij het MIG/MAG- en TIG-lassen - een belangrijke rol speelt. Dit wil zeggen dat men aan hogere lasrookconcentraties blootstaat naarmate de afstand tot de lasboog kleiner is.

De werkhouding wordt in belangrijke mate bepaald door de aard van het werk, leeftijd en ervaring: hoe ouder men is, hoe verder men met het hoofd van de bron verwijderd blijft. Ook is de verlichting van de werkplek van invloed op de werkhouding.

In het onderhavige onderzoek is de werkhouding niet vastgelegd.

6.5 TIJDSTIP VAN DE MONSTERNAME

De in § 6.1 vermelde frequentieverdelingen betreffen lasrookconcentraties, gemeten als gemiddelde over een periode van 3 uur. Voor een drietal processen zijn deze verdelingen ook bepaald voor de ochtend- en middagperioden afzonderlijk en voor ochtend en middag samen (tabel 8). Uit tabel 8 blijkt dat de ochtendmetingen steeds lagere uitkomsten opleveren dan de middagmetingen.

Tabel 8 Lasrookconcentraties in de ademzone en monsterduur

monsterduur	AM, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$			GM, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$			GSD			n		
	3 uur o	6 uur mi	o+mi	3 uur o	6 uur mi	o+mi	3 uur o	6 uur mi	o+mi	3 uur o	6 uur mi	o+mi
MMA - ongel.	3,95	5,65	4,8	3,5	4,9	4,1	1,65	1,7	1,75	14	14	28
MAG - ongel.	4,3	5,0	4,6	3,6	4,4	4,0	1,95	1,75	1,7	25	25	50
TIG - RVS	1,2	1,4	1,3	1,1	1,3	1,2	1,55	1,5	1,55	20	20	40

7. RESULTATEN VAN METINGEN AAN DE LASROOKSAMENSTELLING

7.1 HET LASSEN VAN ROESTVAST STAAL

7.1.1 Algemeen

Onder roestvast staal wordt verstaan, staal waaraan chroom en nikkel is toegevoegd om corrosie te verhinderen of althans sterk te vertragen. De materialen, die tijdens het onderzoek werden gelast, zijn typische representanten van roestvast staal en bevatten 16 - 20% Cr, 8 - 14% Ni en geringere percentages Mn en/of Mo (Mn 1 - 2%, Mo 2 - 3% in speciaal RVS).

De lasdraad van de elektrode heeft in het algemeen ongeveer dezelfde samenstelling als het te lassen metaal; bij de onderzochte bedrijven was dit het geval.

Bij het lassen kunnen chroom- en nikkelhoudende deeltjes in de lucht komen, die gevaarlijk voor de gezondheid kunnen zijn.

Het onderzoek bij het lassen van roestvast staal richtte zich in het bijzonder op chroom en nikkel. Bij chroom wordt onderscheid gemaakt tussen zeswaardige chroomverbindingen en andere vormen van chroom; zeswaardig chroom wordt verdacht van carcinogene eigenschappen en heeft daarom een lagere MAC-waarde ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) dan andere vormen van chroom ($500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Zoals besproken in § 5.3 zijn zeswaardige chroomverbindingen oplosbaar in water en andere vormen van chroomverbindingen onoplosbaar in water. Nikkelverbindingen zijn onoplosbaar in water.

7.1.2 Beklede elektroden

De resultaten van de chroom- en nikkelbepalingen in de lasrook worden samengevat in tabel 9.

Van de afgevangen lasrook bestond 0,3 - 3,7% uit Cr^{VI} ; het totaal chroomgehalte was 0,5 - 6,7%. Het aandeel van oplosbaar Cr^{VI} bedroeg 40 - 95% van totaal chroom.

Bij een vooronderzoek, uitgevoerd bij het IMG-TNO, verzamelde Moons [24] lasrookmonsters in de werkplaats van IMG-TNO bij een lasser die laste met beklede RVS-elektroden met 17,5 - 20% Cr^{VI} en vond 2,3 - 2,6% Cr^{VI} in de

lasrook. In de praktijk werden vaak lagere percentages Cr gevonden, toe te schrijven aan het feit dat de lassers niet continu lassen, maar daarnaast ook andere stofverwekkende bezigheden verrichten. Vooral het slijpen veroorzaakt veel stof met een relatief gering Cr^{VI}-gehalte.

De gevonden percentages Cr komen goed overeen met in de literatuur vermelde waarden (Vorpahl [37] gemiddeld 2,2%, Tola [38] gemiddeld 3,1%, Wilson [27] gemiddeld 2,2%, Stern [33] 2,2 - 4,3%).

De verschillende auteurs vinden in sommige gevallen een hoog aandeel van Cr^{VI} in de totaal Cr-fractie: 50 - 100% [29, 33, 37, 38].

In andere gevallen worden lagere waarden gevonden (bijv. Wilson [27] 15% Cr^{VI}). Dit laatste kan worden toegeschreven aan het feit dat niet op glasvezelfilters maar op PVC-filters werd gemonsterd. Zoals ook uit eigen onderzoek en elders is gebleken [5, 27, 39] vindt op dergelijke filters gedeeltelijk reductie van Cr^{VI} tot Cr^{III} plaats. Moreton [29] vond echter 75% Cr^{VI} zowel met glasvezelfilters als met PVC-filters.

Nikkel was, zoals vermeld, in alle monsters onoplosbaar in water (minder dan 0,01 µg·m⁻³ oplosbaar nikkel). Het nikkelgehalte in de lasrookmonsters varieerde van 0,1 tot 5,6%.

Tabel 9 Chroom- en nikkelconcentraties in de ademzone bij het lassen van roestvast staal met beklede elektroden, in grote ruimten, zonder gebruik van expositiereducerende middelen (3 uursgemiddelden)

component	AM	GM	GSD	n	laagste en hoogste gemeten concentratie
lasrook (mg·m ⁻³)	11,3	7,6	2,4	17	2,1 - 41
Cr ^{VI} (µg·m ⁻³)	240	120	3,3	17	14 - 1500
totaal Cr (µg·m ⁻³)	320	180	2,95	16	25 - 1600
Ni (µg·m ⁻³)	57	39	2,4	17	10 - 210

7.1.3 MIG-lassen

De resultaten van de chroom- en nikkelbepalingen bij het MIG-lassen van roestvast staal worden samengevat in tabel 10.

Tabel 10 Chroom- en nikkelconcentraties in de ademzone van lassers bij het MIG-lassen van roestvast staal in grote ruimten, zonder expositie-reducerende middelen (3 uursgemiddelden)

component	AM	GM	GSD	n	laagste en hoogste gemeten concentratie
lasrook ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	5,9	4,2	2,3	12	1,0 - 19,4
Cr^{VI} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	40	25	3,2	13	< 10 - 280
totaal Cr ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	310	210	2,5	13	70 - 1100
Ni ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	100	75	2,2	11	40 - 370

Er werd 3 tot 9% Cr en 2 - 4% Ni in de lasrook gevonden. In de meeste monsters werden zeer geringe hoeveelheden Cr^{VI} gevonden: minder dan 2% van totaal Cr. In enkele monsters werden echter belangrijke hoeveelheden Cr^{VI} gevonden: 15 - 55% van totaal Cr.

Volgens Stern [33] en Gray e.a. [40] ontstaat tijdens het MIG-lassen van roestvast staal veel zeswaardig chroom (CrO_3), dat in korte tijd (minuten) geheel of gedeeltelijk wordt gereduceerd tot driewaardig chroom. Bij monsterneming met glasvezelfilters, die doorgaans niet binnen een dag worden geanalyseerd, zouden in de regel ingeademde Cr^{VI} -concentraties worden onderschat. Dit is te vermijden door monsterneming met impigners die een basische monstervloeistof bevatten waarin CrO_3 wordt omgezet in een stabiel chromaat. Hewitt e.a. [41] legt een verband tussen vorming van Cr^{VI} en de ozonconcentratie. Ozon zou Cr_2O_3 in de lasrook gedeeltelijk oxideren tot CrO_3 in wel toenemende mate bij stijgende O_3 -concentraties.

Bij het MIG-lassen van roestvast staal komen hoge ozonconcentraties voor (hoofdstuk 8).

In de gevallen dat wij belangrijke hoeveelheden zeswaardig chroom (op glasvezelfilters) hebben gevonden was de inschakelduur van de lastoorts zeer kort (là 2 seconden); het betrof meer hechten dan lassen (kortsluitboog). In andere gevallen was de inschakelduur in de orde van grootte van één minuut. Nader onderzoek zou nodig zijn om na te gaan of de vorming van zeswaardig chroom voornamelijk bij het inschakelen van de toorts optreedt. Dit zou de uitkomsten kunnen verklaren.

Nikkel werd uitsluitend in water onoplosbare vorm aangetroffen.

7.1.4 TIG-lassen

Bij het TIG-lassen van roestvast staal, waar aanzienlijk lagere lasrookconcentraties worden gevonden dan bij het MMA- en MIG-lassen, werden zoals te verwachten was ook lagere chroom- en nikkelconcentraties gevonden. In de ademzone van lassers werd gevonden:

Cr: 10 - 55 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, uitsluitend in onoplosbare en niet-zeswaardige vorm
(twee- of driewaardig)

Ni: 10 - 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, uitsluitend in onoplosbare vorm.

Het betreft metingen aan het TIG-lassen in grote ruimten zonder expositie-reducerende middelen.

7.1.5 Samenvatting

In tabel 11 wordt een overzicht gegeven van de concentraties van lasrook, chroom en nikkel, gemeten in de ademzone van lassers die roestvast staal lasten, zonder gebruik van plaatselijke afzuiging. Volledigheidshalve zijn ook de eerder gerapporteerde resultaten van plasmalassen en plasmasnijden van roestvast staal opgenomen [8, 42]. In figuur 15 wordt het een en ander visueel verduidelijkt.

Tabel 11 Concentraties 3 uursmetingen in ademzone van lassers en snijders van roestvast staal, in grote ruimten zonder expositie-reducerende middelen

proces	tot.lasrook, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$		Cr^{VI}	totaal Cr	Ni	n
	AM	bereik	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
MMA	11,3	2,1 - 41	15 - 1500	25 - 1600	10 - 210	17
MIG	5,9	1,0 - 19,4	< 10 - 280	70 - 1100	40 - 370	12
TIG	1,3	0,7 - 3,3	< 1	10 - 55	10 - 40	47
plasmalassen	1,0	0,9 - 1,1	< 1 ^{*)}	20 ^{*)}	20 ^{*)}	4
micro-plasmalassen	0,2	0,1 - 0,4	< 1	< 1 - 3	1 - 6	21
plasma-snijden (in lucht)	3,3	0,7 - 8,1	< 1 - 40	30 - 440	< 10 - 260	28

^{*)} Gemiddelde van 4 perioden van 3 uur.

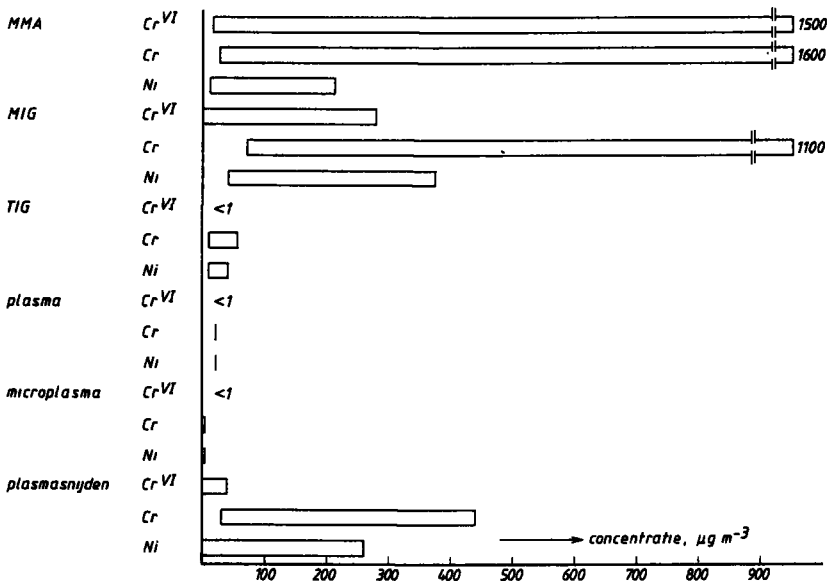


Fig. 15 Concentraties van chroom en nikkel in ademzone tijdens lassen en snijden van roestvast staal in grote ruimten met plaatselijk afzuiging.

7.2 HET LASSEN VAN NIKKELLEGERINGEN

Behalve roestvast staal, dat 8 - 14% nikkel bevat werden ook een aantal legeringen met een hoger nikkelgehalte onderzocht. De uitkomsten zijn samengevat in tabel 12.

Tabel 12 Concentraties in ademzone bij het lassen van nikkellegeringen in grote ruimten zonder expositie-reducerende middelen

proces	tot.lasrook		gelast materiaal	% Ni in lasmetaal	concentratie Ni,		n
	mg·m ⁻³				µg·m ⁻³		
	AM	bereik			AM	bereik	
MMA	11,3	2,1-41	RVS	9 - 12	55	10 - 210	17
MMA	3,0	1,2-5,5	cunifer	30	65	40 - 120	8
MMA	1)	1)	Ni-alliage	75	440	70 - 1100	20 [43]
MIG	4,2	1,0-14,9	RVS	9 - 14	100	40 - 370	10
MIG	14,1	8,7-19,4	RVS	24 - 26	560	510 - 610	2
TIG	1,3	0,7-3,3	RVS	10 - 14	20	10 - 40	26
TIG	1,2	0,6-2,0	cunifer	30	40	20 - 65	8
TIG	2,8	1,3-5,1	monel	67	330	1)	4
poedervlamspuiten ³⁾				52	40	10 - 85	2
	1,6	1,6					
draadvlamspuiten ⁴⁾				52	1525	900 - 2150	2
	33,5	27-40					

1) Niet bekend.

2) Alleen het gemiddelde over 4 perioden is bepaald.

3) Met plaatselijke afzuiging.

4) In lascabine met plaatselijke afzuiging, die niet optimaal functioneert.

Bij de lasprocessen (MMA, MIG en TIG) neemt de gemiddelde nikkelconcentratie in de ademzone toe bij toenemend nikkelgehalte in het lasmetaal. De waarde van $1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ - de huidige MAC-waarde voor nikkel - werd in één geval overschreden (MMA-alliage met 75% Ni).

Coenen et al. [44] vinden geen verschil in nikkelconcentraties tussen MMA-lassen van RVS en MMA-lassen van een alliage met minstens 90% nikkel. Dit komt niet overeen met de resultaten vermeld in tabel 13.

Bij het draadvlamsputten van een legering met 52% nikkel in een lascabine met plaatselijke afzuiging, die niet optimaal functioneert, werd de MAC-waarde van $1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ruimschoots overschreden.

Vergelijkbare resultaten werden verkregen bij een Zweeds onderzoek naar metaalsputten van nikkellegeringen [45].

Bij vlamsputten van Metcoloy (80% Ni, 20% Al) werd in de ademzone van de werknemer gemiddeld $13,0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ rook en $6,9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ Ni gevonden. Bij vlamboogspuiten en vlamsputten van RVS werd respectievelijk $4,3$ en $3,2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ rook, 27 en $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ Ni en 330 en $127 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ totaal Cr gevonden.

Vaak werd aangenomen dat nikkelcarbonyl ($\text{Ni}(\text{CO})_4$) wordt gevormd tijdens het lassen van nikkellegeringen, hoewel hier nauwelijks onderzoek naar was gedaan. Een recent Canadees onderzoek (Wiseman en Chapman in [46]) wees uit dat nauwelijks of geen detecteerbare concentraties $\text{Ni}(\text{CO})_4$ in de lasrook voorkomen bij MIG- en TIG-lassen van nikkel (detectiegrens $0,1 \text{ ppb Ni}(\text{CO})_4$).

7.3 HET LASSEN VAN KOPERLEGERINGEN

Onderzocht werden de volgende koperlegeringen: monel (30% Cu, 67% Ni, 1,4% Fe), cunifer (70% Cu, 30% Ni) en aluminiumbrons (90% Cu, 10% aluminium). Tevens werd het kopergehalte in lasrook bepaald bij het MIG-lassen van roestvast staal; de lasdraad is voorzien van een koperlaagje (1 - 2% Cu). De uitkomsten worden samengevat in tabel 13.

Tabel 13 Concentraties in ademzone bij het lassen van koperlegeringen in grote ruimten zonder expositie-reducerende middelen

pro- ces	tot.lasrook $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$		gelast materiaal	% Cu in lasmetaal	concentratie Cu, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$		n
	AM	bereik			AM	bereik	
MIG	5,9	1,0-19,4	RVS	1 - 2	290	260 - 320	2 (tot.lasrook n = 12)
MIG	4,4	2,0-6,7	Al-brons ¹⁾	90	2100	380 - 3700	4
TIG	2,8	1,3-5,1	monel	30	215	215 ²⁾	4
TIG	1,2	0,6-2,0	cunifer	70	85	40 - 140	8
MMA	3,0	1,2-5,5	cunifer	70	220	150 - 320	8
draadvlamsputen			Al-brons ³⁾	90	4900	3800 - 6000	2
	34	27-40					
el. gutsen			ongel. staal	- ⁴⁾	50	15 - 70	5
	12,4	6,0-17					

1) In lascabine met afzuiging.

2) Alleen gemiddelde over 4 perioden bepaald.

3) In lascabine met plaatselijke afzuiging, die niet optimaal functioneert.

4) Laagje koper op koolstofelektrode.

Het blijkt dat de huidige MAC-waarde van $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ voor koperrook in vrijwel alle gevallen wordt overschreden. Zelfs bij het MIG-lassen met een lasdraad die slechts 1 - 2% koper bevat is dit het geval. Gunstige uitzondering is het TIG-lassen van cunifer. Merkwaaardig is dat de Cu-concentraties bij het TIG-lassen van monel (7,7% in lasrook, 30% in materiaal) hoger zijn dan bij het TIG-lassen van cunifer (7,1% in lasrook, 70% in materiaal).

Zeer hoge concentraties werden gevonden bij het MIG-lassen en het draadvlamsputten van aluminiumbrons. Dit gebeurde in beide gevallen in een lascabine met afzuiging, terwijl de werknemers adembescherming droegen. Hierop wordt in hoofdstuk 8 nader ingegaan.

7.4 LASSEN VAN MANGAANHOUDEND STAAL

Bij het lassen van mangaanhoudend staal wordt een hoger mangaangehalte in de lasrook gevonden dan in het lasmetaal. Dit is niet het geval bij alle andere onderzochte metalen. Hetzelfde effect is door anderen gevonden [48]. Een overzicht wordt gegeven in tabel 14.

Tabel 14 Mangaan in lasrook

las- proces	gelast materiaal	% Mn		% Mn lasrook	lasrook- concentratie $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	ref.
		in las- metaal	in las- rook	% Mn lasmetaal		
MMA	ongelegeerd staal	1 - 2	1 - 4	1 - 3	2,3 - 9,5	[47]
MIG	RVS	2	4 - 19	2 - 9,5	1,0 - 19,4	[18]
MIG	Mn-staal	7	9 - 18	1,3 - 2,6	3,6 - 18,9	[10]
MMA	ongelegeerd staal	1)	1)	2,2 - 6,1	1)	[48]
MMA	RVS	1)	1)	2,3 - 3,8	1)	[48]
MAG	ongelegeerd staal	1)	1)	6,9	1)	[48]
MIG	RVS	1)	1)	4,2 - 5,2	1)	[48]

1) Niet vermeld.

Bij het MIG-lassen van roestvast staal met 2% Mn werd gemiddeld $530 \mu\text{g Mn}\cdot\text{m}^{-3}$ gevonden (9 perioden van 3 uur) en bij het MIG-lassen van staal met 7% Mn gemiddeld $1000 \mu\text{g Mn}\cdot\text{m}^{-3}$ in de ademzone, bij het lassen in grote ruimten zonder expositie-reducerende middelen.

De oorzaak van het hoge percentage Mn in de lasrook ten opzichte van het lasmetaal is waarschijnlijk dat mangaan een veel hogere dampspanning bij de optredende temperatuur bij het lassen heeft dan chroom, ijzer en nikkel. Het zal daarom in sterkere mate in aërosolvorm overgaan. Na de recente verlaging van de MAC-waarde van $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ tot $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ moet zeker met staalsoorten die meer dan bijv. 2% mangaan bevatten rekening worden gehouden met een kans op overschrijding. Bij het MIG-lassen van staal met 7% Mn zijn ook overschrijdingen geconstateerd, tot $1,35 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ als gemiddelde over 4 perioden van 3 uur, bij het lassen in een hal zonder plaatselijke afzuiging.

7.5 LASSEN MET BASISCHE ELEKTRODEN MET FLUORIDEN

In de bekleding van basische elektroden komt calciumfluoride (CaF_2 , vloeispaat) voor. Onder invloed van de hoge temperatuur bij het lassen wordt vloeispaat door het waterglas (Na_2SiO_3), dat zich eveneens in de bekleding bevindt, omgezet in het oplosbare natriumfluoride (NaF). Het gehalte aan oplosbaar fluoride werd bepaald in een aantal stofmonsters verzameld in de ademzone van lassers die met basische elektroden lasten [3, 4].

Het gehalte oplosbaar fluoride in het stof bedroeg 3 tot 13%. Bij het lassen in besloten ruimten resulteerde dit in F^- -concentraties tot $6,3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Uit eerdere door ons verrichte metingen van fluoriden in lasrook bij het lassen met basische elektroden is gebleken dat vloeispaat (onoplosbaar fluoride) voor meer dan 90% in oplosbare vorm wordt omgezet.

De MAC-waarde bedraagt $2,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$; deze wordt niet overschreden bij het lassen in grote ruimten. Dit zal waarschijnlijk wel gebeuren bij het lassen in kleine besloten ruimten waar zeer hoge lasrookconcentraties kunnen optreden.

7.6 HET LASSEN EN SNIJDEN VAN GEVERFD EN VERONTREINIGD STAAL

Bij het lassen en snijden van geverfd en verontreinigd staal kunnen extra verontreinigingen in de lucht vrijkomen door verdamping en/of ontleding van bestanddelen van de verflaag of de vuillaag. Bij het snijbranden van met loodmenie geverfde stalen constructies worden de werknemers aan zeer hoge loodconcentraties blootgesteld [49].

In het kader van dit onderzoek werden lassers onderzocht die lasten in schepen, waarbij de gelaste oppervlakten waren voorzien van een verflaag (shop-primer), of met olie waren verontreinigd [17, 20]. Tevens werden werknemers onderzocht die snijwerkzaamheden verrichtten aan een beschadigd transportmiddel voor openbaar vervoer [21].

De verflaag bestaat uit bindmiddelen van organisch materiaal (epoxyhars, alkydhars, polyurethaanhars) en pigmenten, meestal van anorganisch materiaal (rood ijzeroxide, zinkverbindingen, chromaten, cadmiumverbindingen, enz.) en vulstoffen. Door de hoge temperatuur bij het lassen en snijden kunnen metaaloxiden en ontledingsprodukten zoals koolmonoxide, aldehyden en polycyclische aromatische koolwaterstoffen vrijkomen.

Bij het lassen in een schip van staal, gecoat met een primer, die rood ijzeroxide en epoxyhars bevatte, werden de volgende concentraties gemeten:

koolmonoxide	:	tot 12 ppm
formaldehyde	:	tot $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,04 ppm)
lasrook	:	5 - $50 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Bij het verlengen van een schip werd onderzoek gedaan tijdens het aan elkaar lassen van oud en nieuw materiaal. Zowel het oude als het nieuwe materiaal waren van een coating voorzien, terwijl het oude materiaal op verschillende plaatsen was gecontamineerd met olie. De coating werd op de te lassen plaatsen van het nieuwe materiaal verwijderd (circa 5 cm vanaf de rand). Het oude materiaal werd tevoren alleen gereinigd met stoom. De coating werd dus niet verwijderd. Ook waren op sommige plaatsen nog olieresten aanwezig.

De volgende concentraties werden gemeten:

koolmonoxide	:	4 - 19 ppm
polycyclische aromatische koolwaterstoffen	:	2 - $3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
benzo-a-pyreen	:	35 - $150 \text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$
lasrook	:	3 - $55 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Hoewel in kleine besloten ruimten werd gelast, waarbij zeer hoge lasrookconcentraties tot ruim $50 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ werden gemeten, waren de concentraties van de gemeten ontledingsprodukten zeer laag vergeleken met hun MAC-waarden.

Hieruit volgt dat, indien maatregelen worden genomen om de lasrookconcentratie op een aanvaardbaar niveau terug te brengen, er geen aanvullende maatregelen nodig zijn in verband met ontledingsproducten van organisch materiaal.

Soortgelijke resultaten worden vermeld in een Duits onderzoeksrapport [50]: bij het lassen (MMA en MAG) van staal gecoat met shop-primer werden de volgende concentraties gevonden achter de lashelm in de ademzone. Vermeld worden de maximale concentraties als TGG over een werkdag.

CO	3 ppm
formaldehyde	0,18 ppm (coating met epoxy - polyvinylbutyral - alkydhars)
TDI	0,004 ppm (coating met polyurethaanhars)
HCN	niet aantoonbaar < 0,1 ppm ? (coating met polyurethaanhars - epoxyhars).

Anders ligt dit met de anorganische pigmenten van de verf of primer, indien deze toxische metalen bevat met een lage MAC-waarde zoals Pb, Cr en Cd.

Bij het snijbranden in een grote geventileerde hal van een beschadigd transportmiddel met een acetyleen-zuurstofbrander, terwijl in de verf loodchromaat en zinkchromaat waren verwerkt, werd in de ademzone gemeten (TGG - 3 h) [21]

Cr	tot 17 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Pb	20 - 110 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Zn	110 - 800 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Cd	< 2 - 170 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Onverwacht hoog waren de cadmiumconcentraties; volgens het betrokken bedrijf was geen cadmiumhoudend pigment gebruikt. Wel komt cadmium als verontreiniging voor in loodverbindingen; dit verklaart echter niet de hoge Cd-concentraties (MAC-waarde 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). De chroom- en loodconcentraties bereikten resp. 35% (MAC-waarde Cr^{VI} = 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) en 73% (MAC-waarde Pb = 150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) van de MAC-waarde.

Lood is in behandeling door de CGGS; het is aannemelijk dat de MAC-waarde voor lood t.z.t. zal worden verlaagd. Aan te bevelen is verflagen met pigmenten die chromaat, lood of cadmium bevatten tevoren te verwijderen op de

plaatsen waar het materiaal wordt doorgebrand. Als dit niet gebeurt is persoonlijke adembescherming nodig; plaatselijke afzuiging is bij sloopwerkzaamheden bezwaarlijk door de onmogelijkheid de afzuigmond voortdurend op de juiste plaats op te stellen. In het onderzochte bedrijf was plaatselijke afzuiging wel aanwezig, doch werd niet (kon niet worden) gebruikt.

In oudere publicaties (o.a. [51]) wordt melding gemaakt van zeer hoge lasrookconcentraties ($>> 100 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) bij het lassen en snijden van met zinkprimer gecoat staal. Uit het hiervoor besproken onderzoek bij het transportmiddel blijkt dit niet (snijbranden ZnCrO_4). Uit een recent onderzoek, uitgevoerd door de Landbouwhogeschool te Wageningen [52], blijkt dit evenmin. Het betrof hier lassers die in een lasstraat plaatstalen delen aaneenlasten tot een vrachtwagencabine. Het staal was voorzien van een zinkprimer (zinkfosfaat). Puntlassen en MIG-lassen werden toegepast. De totale lasrookconcentraties in de ademzone van de lassers waren zelfs relatief laag te noemen, per lasser variërend van $0,4 - 2,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Er was wel plaatselijke afzuiging aanwezig.

Het zinkpercentage in de lasrook varieerde van $2 - 7\%$, resulterend in zinkconcentraties van $0,015 - 0,10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Deze metingen zijn zeer goed vergelijkbaar met die van ons onderzoek, aangezien dezelfde monsterapparatuur werd gebruikt.

7.7 HARDSOLDEREN

De expositie aan zware metalen bij het hardsolderen werd uitgevoerd in een rijwielfabriek [2]. De productie is sterk geautomatiseerd. Expositie kan optreden bij het verrichten van reparaties met behulp van zgn. steekbranders, bij het inzetten en uitnemen van de te solderen frames bij halfautomaten en het met de hand solderen van sturen en lichte buizen voor racefietsen. In al deze gevallen werden de werkzaamheden uitgevoerd zonder plaatselijke afzuiging, behalve bij het solderen van sturen. Deze laatste functioneerde echter niet, omdat de plaats en afstand ten opzichte van de soldeerplaats verkeerd waren gekozen. De smeltemperatuur is bij het hardsolderen veel lager dan bij het lassen: het smeltpunt van normaal hardsoldeer, dat circa 50% koper en zink elk bevat, ligt tussen 840 en 870°C . Van zilverhoudend en cadmiumhoudend hardsoldeer ligt het smeltpunt nog lager.

In de onderzochte fabriek werd voornamelijk een soldeersoort gebruikt die circa 60% koper en circa 40% zink bevat. Bij het solderen van buizen voor racefietsen werden kleine hoeveelheden zilversoldeer gebruikt.

Van geen enkele gemeten component werd de MAC-waarde overschreden. De hoogste gemeten concentraties bedroegen $20 \mu\text{g Cu}\cdot\text{m}^{-3}$ (10% van de MAC-waarde); $330 \mu\text{g Zn}\cdot\text{m}^{-3}$ (komt overeen met $410 \mu\text{gZnO}\cdot\text{m}^{-3} = 8\%$ van de MAC-waarde; $5 \mu\text{g Cd}\cdot\text{m}^{-3}$ (25% van de MAC-waarde) en $0,18 \text{ Ag } \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (18% van de MAC-waarde).

Bij vroegere metingen door ons uitgevoerd in een bedrijf waar hardsoldeer werd toegepast voor het maken van messing-messing verbindingen, dat een hoog percentage cadmium bevatte (40% Ag, 21% Zn, 20% Cd en 19% Cu) werden cadmiumconcentraties gevonden die de MAC-waarde overschrijden. In de ademzone van de soldeerder werd tot $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ Cd gevonden en in zijn onmiddellijke omgeving tot $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ Cd (resp. 3,8 en 7,5 maal de MAC-waarde). De soldeerder beschikte in dit geval niet over plaatselijke afzuiging. De concentraties van de andere metalen waren laag en in dezelfde orde van grootte als in de rijwielfabriek werden gevonden.

Ook in de literatuur wordt gerapporteerd over te hoge cadmiumconcentraties bij het hardsolderen met cadmiumhoudend zilversoldeer [53, 54, 55, 56].

7.8 LASSEN MET GASLOZE, BARIUMHOUDENDE GEVULDE DRAAD

Sommige typen gasloze gevulde draad bevatten barium in de vulling. Dit resulteert tot 25% Ba in overwegend oplosbare vorm in de lasrook [31, 57, 58]. De MAC-waarde van oplosbare Ba-verbindingen is $0,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, hetgeen betekent dat de maximale lasrookconcentratie $2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ mag bedragen. Bij dit proces ontstaat zeer veel lasrook: bij een onderzoek bij RSV werd 30 - $195 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ lasrook in de ademzone gevonden omgerekend op een inschakelpercentage van 30% (lineaire relatie aangenomen) [32]. Zelfs bij lassen met een laspistool met ingebouwde afzuiging werd nog meer dan $2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (tot $2,4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) in de ademzone van de lasser gevonden.

8. GASVORMIGE VERONTREINIGINGEN

8.1 STIKSTOFOXIDEN

De concentraties van de stikstofoxiden NO_2 en NO , gemeten als tijdgewogen gemiddelde over perioden van 3 uur zijn vermeld in tabel 15. Per proces staan genoemd: het aantal waarnemingen (n), het rekenkundig gemiddelde (AM) en de laagste en hoogste gemeten concentratie (bereik).

De gemiddelde NO_2 -concentratie in de ademzone varieert per proces van 0,01 - 1,02 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,005 - 0,53 ppm); de NO_2 -concentratie op de vaste meetplaatsen van minder dan 0,01 tot 0,94 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (< 0,005 - 0,49 ppm) en de NO -concentratie van 0,02 - 3,0 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,02 - 2,4 ppm). De hoogste NO_2 -concentratie werd gemeten bij het hardsolderen (3,4 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ = 1,8 ppm); de hoogste NO -concentratie eveneens bij het hardsolderen (9 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ = 7,2 ppm). De hoge NO_x -concentratie bij het hardsolderen worden veroorzaakt door de gasvlammen.

In figuur 16 wordt het één en ander visueel verduidelijkt.

Met de direct registrerende NO_x -monitor werd de hoogste piekconcentratie NO_2 gemeten bij het MIG-lassen van aluminium: 5 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (2,6 ppm).

8.2 OZON

De met de direct registrerende O_3 -monitor gemeten ozonconcentraties worden samengevat in tabel 16.

Tabel 15 Concentraties van stikstofoxiden, gemeten in de ademzone gemiddeld over circa 3 uur, in grote ruimten zonder gebruik van expositie-reducerende middelen

proces	materiaal	NO ₂ in ademzone mg·m ⁻³			NO ₂ op vaste meetpl. mg·m ⁻³			NO op vaste meetpl. mg·m ⁻³		
		n	AM	bereik	n	AM	bereik	n	AM	bereik
MMA	ongel. staal	31	0,10	<0,01-0,26	36	0,13	<0,01-0,34	37	0,32	<0,01-0,65
MAG	ongel. staal	49	0,10	<0,01-0,34	27	0,14	<0,01-0,61	24	0,20	<0,01-0,65
MIG	ongel. staal							2	1,38	1,20-1,56
TIG	RVS	48	0,17	<0,01-0,83	20	0,08	<0,01-0,20	20	0,13	<0,01-0,35
MMA	RVS	16	0,19	<0,01-0,84	9	0,11	<0,01-0,21	9	0,68	0,08-1,07
MIG	RVS	10	0,30	<0,01-1,71	10	0,06	<0,01-0,35	10	0,14	0,01-0,57
MIG	Al	8	0,29	0,11-1,02	7	0,05	<0,02-0,09	7	0,02	<0,02-0,06
MIG	Al-brons ^{*)}	8	0,01	<0,01-0,06	4	<0,01	<0,01	4	0,02	<0,01-0,06
OP	ongel. staal	23	0,21	0,12-0,47	4	0,19	0,15-0,22	3	0,37	0,24-0,59
MMA	cunifer	8	0,08	0,06-0,12	8	0,10	0,08-0,13	7	0,18	0,08-0,40
TIG	cunifer	8	0,14	0,08-0,25	8	0,15	0,09-0,31	8	0,17	0,06-0,47
gevulde draad met schermgas	ongel. staal	8	0,16	0,08-0,29	8	0,16	0,09-0,26	8	0,23	0,08-0,40
plasmalassen	RVS	4	0,11	0,03-0,22	2	0,16	0,13-0,18	2	0,32	0,31-0,32
microplasmalassen	inconel	21	0,09	0,04-0,14	8	0,09	0,06-0,18	8	0,13	0,06-0,24
autogeen snijden	ongel. staal	20	0,33	0,10-0,71	5	0,23	0,15-0,40	5	0,68	0,11-1,66
el. gutsen	ongel. staal	5	0,23	0,17-0,26	3	0,14	0,10-0,18	5	0,08	<0,02-0,18
plasma-snijden (in lucht)	RVS	16	0,45	0,01-1,96	10	0,16	<0,02-1,1	11	1,29	0,74-2,64
hardsolderen		38	1,02	0,23-3,4	31	0,94	0,26-3,3	31	3,04	0,25-9,0

^{*)} In lascabine met afzuiging

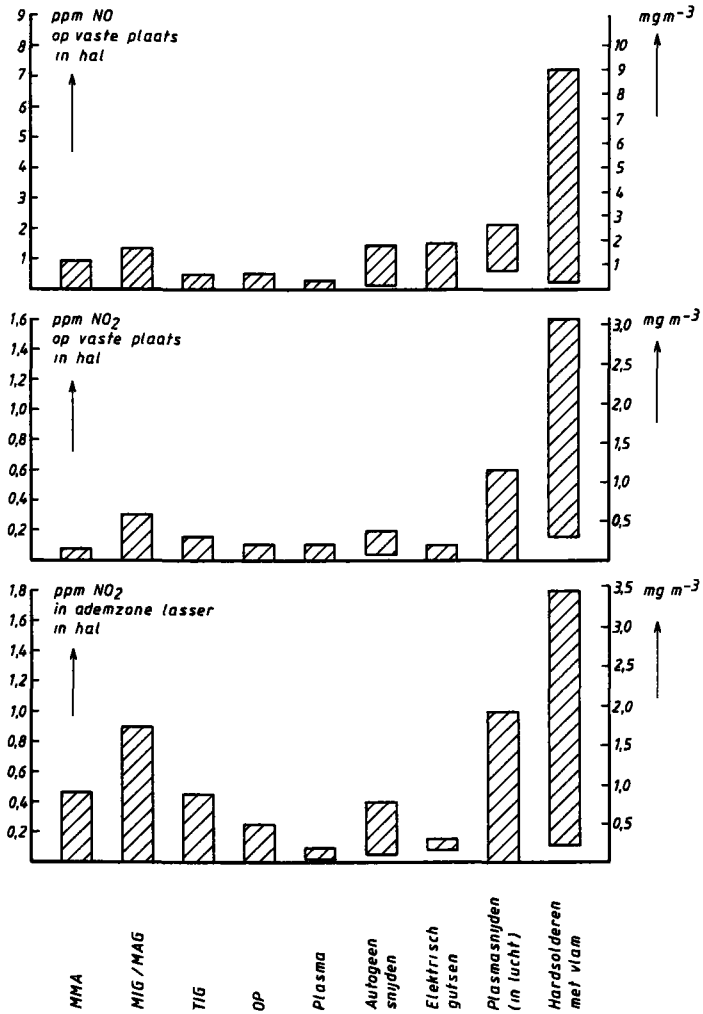


Fig. 16 Concentraties van stikstofoxiden bij lassen en verwante processen.

Tabel 16 Ozonconcentraties gemeten in ademzone met ingeschakelde las- of snijtoorts

proces	materiaal	O ₃ -concentratie	
		µg·m ⁻³	(ppm)
MIG	Al	> 1000	(> 0,5)
MIG	RVS	> 1000	(> 0,5)
microplasma	inconel	> 500	(> 0,25)
gevulde draad	ongelegeerd staal	ca. 400	(0,2)
plasmalassen	RVS	20 - 80	(0,01 - 0,04)
MIG	Al-brons	20 - 50	(0,04 - 0,1)
alle overige processen		< 5	(< 0,0025)

Bij het MIG- en TIG-lassen van aluminiumlegeringen ontstaat veel ultraviolette straling met korte golflengte (0,17 - 0,29 µm). Onder invloed van deze straling wordt ozon gevormd. Het is vooral de golflengteband van 0,18 - 0,20 µm die verantwoordelijk is voor de ozonvorming. Bij het MIG- en TIG-lassen worden steeds hoge ozonconcentraties gevonden (Fagetter [59]). De gevonden ozon bij het lassen van Al-brons moet dan ook worden toegeschreven aan de 10% aluminium die deze legering bevat.

8.3 KOOLMONOXIDE

Koolmonoxide werd gemeten bij het autogeen snijden, het gutsen van ongelegeerd staal en het draadvlamsputten van koper en nikkel.

Bij het autogeen snijden werden in één bedrijf [14] in de ademzone gemiddelde CO-concentraties van 1 à 2 ppm gemeten (zonder onderafzuiging van de snijtafel), in een ander bedrijf [16] ca 20 ppm (met onderafzuiging van de snijtafel!). In de ademzone van gutsers die in een cabine werkten gemiddeld

ca 30 ppm [14]. De hoogste CO-concentraties werden gevonden bij het draadvlamsputten in een lascabine met plaatselijke afzuiging die niet optimaal werkte; als gemiddelde over de werkdag 40 - 160 ppm CO [21].

Ook een Zweeds onderzoeksrapport maakt melding van hoge CO-concentraties bij het spuiten van een koperlegering (Metcoloy): 174 ppm in de ademzone van de spuitser [45].

Bij lasprocessen werden steekproefsgewijs CO-metingen uitgevoerd: in de regel bedroegen de gemeten CO-concentraties minder dan 5 ppm.

9. HET EFFECT VAN EXPOSITIE-REDUCERENDE VOORZIENINGEN

9.1 PLAATSELIJKE AFZUIGING

Bij een minderheid van de onderzochte werknemers werden voorzieningen voor plaatselijke afzuiging van de lasrook aangetroffen. Deze werden overigens in veel gevallen niet of onjuist gebruikt.

De meeste aangetroffen voorzieningen bestonden uit een verplaatsbare afzuigkap, die met een flexibele slang was verbonden met een vast opgestelde ventilator, die de afgezogen lucht buiten uitblaast. Plaatselijke afzuiging heeft slechts effect als aan de volgende twee voorwaarden wordt voldaan:

- De lasrook mag niet geheel of gedeeltelijk buiten de afzuigopening komen. Dit houdt in dat de afstand van de lasboog tot de afzuigopening niet te groot mag zijn en/of dat het afzuigdebiet niet te klein mag zijn.
- De stromingsrichting van de lasrook naar de afzuiging moet zodanig zijn dat deze de ademzone van de lasser niet passeert.

Indien aan beide voorwaarden werd voldaan (dit is het geval als de rook visueel volledig naar de afzuigopening wordt gezogen zonder daarbij de ademzone van de lasser te passeren), bleek dat de expositie bij het lassen aan lasrook met beklede elektroden gemiddeld een factor 2 lager was dan zonder gebruik van plaatselijke afzuiging.

In de aangetroffen situaties bedroeg de afstand van de lasboog tot de afzuigopening 20-40 cm en het debiet van de afgezogen lucht $420-900 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Bij het MAG-lassen was het effect veel kleiner: de gemiddelde reductie bedroeg slechts ca 20%.

Als aan de eerste voorwaarde niet werd voldaan (afzuiging te ver weg), was de lasrookexpositie vrijwel gelijk aan die zonder gebruik van afzuiging.

Als aan de tweede voorwaarde niet werd voldaan (rook passeert ademzone), was de lasrookexpositie gemiddeld een factor 2 hoger dan zonder gebruik van afzuiging.

In deze situaties was de afzuigkap boven het hoofd van de lasser geplaatst. Eén en ander is getalsmatig samengevat in de tabellen 17 en 18.

Tabel 17 Effect van plaatselijke afzuiging

las- proces	gelast materiaal	lasrookconc. zonder afz.				lasrookconc. met juist geplaatste pl. afz.			
		mg·m ⁻³				mg·m ⁻³			
		AM	GSD	n	bereik	AM	GSD	n	bereik
MMA	ongel. staal	4,6	1,8	30	1,0-11	2,3	1,6	9	0,9-4,6
MAG	ongel. staal	4,6	1,7	52	1,5-14	3,6	1,5	8	1,4-5,6

Tabel 18 Effect van plaatselijke afzuiging in een werkruimte met vijf identieke lasboxen. De lassers voerden vrijwel identieke werkzaamheden uit en beschikten allen over dezelfde plaatselijke afzuiging (flexibele slang).
Het lasproces is MMA-lassen van ongelegeerd staal.

gebruik plaatselijke afzuiging	lasrookconcentratie		n	geschatte inschakelduur	
	mg·m ⁻³			%	
	AM	bereik		AM	bereik
niet	6,3	2,4 - 11	11	30	13 - 68
juist geplaatst	3,0	1,9 - 4,6	5	54	29 - 82
boven hoofd geplaatst	11,9	7 - 17	4	45	28 - 73

Uit laboratoriumstudies is gebleken dat meer dan 90% van de lasrook kan worden verwijderd bij optimale plaatsing van de afzuigkap. In de praktijk blijkt het effect veel geringer te zijn. Dit werd onder andere geconstateerd door Ulfvarsson [60], die een gemiddelde afzuigefficiency van 58% vond bij het lassen met beklede elektroden en van 35% bij het MIG/MAG-lassen in bedrijfssituaties, terwijl in een laboratoriumopstelling respectievelijk 97 - 99% voor MMA-lassen en 70 - 90% voor MIG/MAG-lassen kon worden bereikt bij optimale plaatsing van de afzuigkap. Onder afzuigefficiency wordt verstaan het percentage dat de lasrookconcentratie in de ademzone met plaatselijke afzuiging lager is ten opzichte van de lasrookconcentratie zonder afzuiging.

9.2 OVERDRUKHELMEN

In enkele aangetroffen situaties werden helmen gedragen, waaraan lucht onder overdruk werd toegevoerd. Het effect op de lasrookconcentraties in de ademzone is sterk afhankelijk van de instelling van de persluchttoevoer, die doorgaans door de lasser zelf wordt geregeld. De geconstateerde reductiefactor - verhouding van de concentratie in de verblijfsruimte en die achter de laskap - varieerde van 2 tot 20. De instelling van de perslucht hangt samen met de door de lasser ondervonden geluidsoverlast door de instromende lucht. In beide aangetroffen situaties werd gewerkt in een afgesloten ruimte waaruit de lucht werd afgezogen (MIG-lassen van Al-brons en draadvlamsputten van Al-brons) om de omgeving tegen expositie aan lasrook te beschermen. Als zodanig werkte het systeem uitstekend; buiten de afgesloten ruimte werd geen koper aangetoond.

9.3 LASSEN IN KLEINE BESLOTEN RUIMTEN

Bij het lassen in kleine besloten ruimten, zoals tanks en dubbele bodems van schepen, ontstaan zeer hoge lasrookconcentraties als de ruimte niet wordt geventileerd. Er werden in deze situatie concentraties van 20 tot 90 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ gevonden bij het MMA- en MAG-lassen.

De gemiddelde concentraties stikstofdioxiden, gemeten bij lassers (MMA en MAG van ongelegeerd staal) in besloten ruimten, bedragen:

NO_2	:	0,03 - 0,78 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	(0,02 - 0,43 ppm)
NO	:	0,07 - 2,17 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	(0,06 - 1,74 ppm).

Deze concentraties zijn ruim onder de betreffende MAC-waarden. Zij zijn ook niet zo sterk verhoogd ten opzichte van die bij lassers in grote ruimten zoals de lasrookconcentraties.

Er werden bij het lassen in kleine besloten ruimten de volgende voorzieningen aangetroffen:

- Afzuiging met behulp van een ventilator en een flexibele slang, waarvan het uiteinde in de besloten ruimte werd geplaatst. De reductiefactor bedroeg ca 2, indien de afzuigopening goed was geplaatst en de afzuigcapaciteit voldoende was [20]. Dit komt overeen met het effect van plaatselijke afzuiging bij het lassen in grote ruimten.
In vele gevallen was het effect nihil of gering, omdat de slangen onjuist waren geplaatst (afzuigopening te ver van lasboog en/of te laag geplaatst) en/of de slangen te lang waren en/of de capaciteit van de ventilator te klein was. Bij de twee laatst genoemde situaties heeft juiste plaatsing van de afzuigopening uiteraard geen effect [3].
- Inblazen van lucht in de besloten ruimte met behulp van een ventilator. Hierbij werd een reductiefactor 5 bereikt [20], hetgeen meestal nog niet voldoende is. Nodig is een reductiefactor van 10 à 20 (zie tabel 19).
- Lashelm met luchttoevoer. Incidenteel werd deze voorziening aangetroffen. Bij een juiste instelling van het reduceerventiel (voldoende persluchttoevoer) is voldoende reductie van de lasrookconcentratie mogelijk.

Opgemerkt wordt dat genoemde voorzieningen uitsluitend werden aangetroffen bij het lassen met beklede elektroden. Bij het MAG-lassen werd geen lucht ingeblazen of afgezogen, wegens beduchtigheid voor het wegblazen/zuigen van het schermgas.

Tabel 19 Uitkomsten bepaling lasrookconcentraties in dubbele bodems en tanks in een schip *)

lasproces en gelaats- bescherming	gebruik ventilatie	ademzone lassers			vaste meetplaatsen		
		n	AM $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	STD $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	n	AM $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	STD $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$
beklede elektr., lashelm	geen	2	42,5	16,9	1	43,0	
" " "	inblaas- ventilator	4	8,0	3,7	3	4,4	1,6
" " "	slang- afzuiging	2	22,1	7,1	2	30,4	13,2
MAG, handscherm	geen	7	23,7	15,2	4	24,5	18,3

*) n = aantal waarnemingen
 AM = rekenkundig gemiddelde concentratie
 STD = standaardafwijking

9.4 ONDERAFZUIGING VAN SNIJTAFELS

Het autogeen snijden (snijbranden) van stalen platen wordt op een snijtafel uitgevoerd. Door onderafzuiging van de snijtafel kan de rookconcentratie in de ruimte worden verminderd. De snijtafels zijn verdeeld in compartimenten; door middel van automatisch gestuurde kleppen kan er voor worden gezorgd dat alleen de lucht wordt afgezogen uit het compartiment waarboven zich de snijtoorts(en) bevindt (bevinden). Van belang voor een goede werking is een voldoende hoge luchtsnelheid ter hoogte van de rand van de snijtafel.

Onderzoek werd verricht in drie bedrijven, waar de snijtafel niet werd afgezogen en in één bedrijf bij twee afgezogen snijtafels. De resultaten zijn samengevat in tabel 20.

Tabel 20 Autogeen snijden op snijtafel

bedrijf	aantal bepalingen (3 h)	gemeten rookconcentratie $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	afzuigsnelheid $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	ref.
1	4	6 - 23	0	[3]
2	2	7 - 7,5	0	[13]
3	3	4 - 7,5	0	[13]
4	2	2,1 - 4,9	0,5	[15]
4	2	1,5 - 2,1	1,0 - 1,2	[15]

Uit tabel 21 blijkt dat een afzuigsnelheid van minimaal $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ nodig is om ruim onder de huidige MAC-waarde van $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ te blijven. De Deutsche Verlag für Schweisstechnik (DVS [61]) beveelt bij onderafzuiging een afzuigsnelheid van minimaal $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ aan. Dit uitgangspunt is ook gehanteerd bij het opstellen van de concept-richtlijnen voor plasmasnijden [9].

Wat betreft de gasvormige verontreinigingen NO , NO_2 en CO werd geen gunstig effect van de afzuiging op de concentraties gevonden.

9.5 OVERIGE AANGETROFFEN VOORZIENINGEN

Behalve de in de vorige paragrafen genoemde, werden nog de volgende voorzieningen aangetroffen:

- Filtrerend gelaatstuk voor stof (merk 3 M; het zogenaamde "snuitje"). Deze "snuitjes" waren in veel bedrijven wel beschikbaar, maar werden slechts incidenteel gedragen.
- Halfmasker met filters voor stof en zure gassen (merk Auer). Deze werd gedragen door enkele snijbranders bij het losbranden van geverfde constructiedelen.
- Verrijdbare afzuiginstallatie, bestaande uit een afzuigkap aan een flexibele slang, een ventilator en een elektrostatisch filter. De gefiltreerde lucht wordt weer in de ruimte uitgeblazen. In de bedrijven waar deze voorziening werd aangetroffen, werd zij niet gebruikt tijdens het onderzoek.

- Centrale afzuiginstallatie met op regelmatige afstanden een aansluitmogelijkheid voor een afzuigslang. De werknemers kunnen de afzuigslang zelf aansluiten op de gewenste plaats. Tijdens het onderzoek werd deze voorziening aangetroffen in een scheepsbouwhal. Géén der aanwezige lassers maakte hier echter gebruik van.
- Lashelm met ventilator en filtersysteem (Airstream). Deze helm bevat een ventilator die wordt aangedreven door een oplaadbare batterij en die lucht aanzuigt en een stoffilter waarna de lucht in de ademzone wordt uitgeblazen.
Deze helm geeft een verlaging van de lasrookexpositie, doch geeft geen bescherming tegen gassen als stikstofdioxide, koolmonoxide en ozon. In het aangetroffen geval werd de helm gedragen door MIG-lassers die aluminium lasten. Men dacht dat de helm was bedoeld als bescherming tegen ozon. Metingen van de ozonconcentratie in de ademzone wezen uit dat deze voorziening geen enkel effect sorteerde. De lasrookconcentraties gemeten in de ademzone bleken ook nauwelijks te zijn verlaagd. Een verklaring hiervoor is dat het filter snel verzadigd raakt met lasrookdeeltjes. Hierbij neemt de weerstand van het filter toe, zodat door de ventilator al snel niet meer voldoende lucht kan worden aangezogen.
- Laspistolen met afzuigmond.
Bij het MIG/MAG-lassen zijn laspistolen beschikbaar, die zelf van een afzuigmond zijn voorzien. In één bedrijf, waar deze laspistolen werden aangetroffen, werden zij niet gebruikt. Als reden hiervoor werd opgegeven het grotere gewicht, waardoor men snel vermoeid raakt.
Bij een onderzoek naar de lasrookproduktie van gasloze draden [32] werden metingen uitgevoerd zowel zonder afzuiging als met een laspistool met ingebouwde afzuiging. Bij een inschakelpercentage van 30% (lineaire relatie met concentratie aangenomen) werd zonder afzuiging $30 - 195 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ in de ademzone gemeten en met afzuiging in het laspistool $0,3 - 2,4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Dit betekent een reductie van circa 99%.

9.6 INVLOED VAN GELAATS BESCHERMING

Lassers gebruiken óf een lashelm, die op het hoofd wordt gedragen, óf een lasscherm, dat in de hand wordt gedragen. De keuze van de wijze van bescherming kan invloed hebben op de lasrookexpositie.

Een vergelijking is mogelijk voor een drietal processen, waarvan een groter aantal meetgegevens beschikbaar is en waar zowel een lashelm als een handscherm werden toegepast (tabel 21).

Tabel 21 Invloed gelaatsbescherming op lasrookconcentraties in de ademzone van lassers

lasproces	aantal metingen (periode ca. 3 uur)		lasrookconcentratie in ademzone, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$			
	lashelm	lasscherm	lashelm AM bereik		lasscherm AM bereik	
beklede elektroden onlegeerd staal	8	22	2,7	1,0 - 4,1	5,3	1,7 - 11,0
MAG, ongel. staal	7	45	5,2	1,7 - 14,2	4,5	1,5 - 11,6
TIG, RVS	40	7	1,3	0,7 - 3,3	1,4	0,9 - 2,0

Bij het lassen met beklede elektroden is de lasrookconcentratie in de ademzone bij gebruik van een lashelm gemiddeld een factor 2 lager dan bij gebruik van een handscherm. Bevestiging van een leren slabbe aan de helm heeft een extra gunstig effect [15].

Bij het MAG- en TIG-lassen wordt een dergelijke grote invloed niet geconstateerd.

De inschakelduur bedroeg voor het lassen met beklede elektroden en het MAG-lassen ca 20% en voor het TIG-lassen ca 40% voor beide situaties. De spreiding was groot (CV = 0,5 - 0,8).

Opgemerkt wordt dat het aantal metingen met een lashelm bij MMA- en MIG-lassen relatief gering is. TIG-lassers dragen juist meestal een lashelm, omdat zij beide handen nodig hebben bij het lassen (in één hand de lasstoort, in de andere de lasstaaf die als toevoegmateriaal wordt gebruikt). Een lashelm lijkt tot lagere exposities te leiden dan een lasscherm, zoals ook door anderen (Ratsch [62]) werd geconstateerd.

9.7 AFSTAND TOT DE LASTOORTS EN OZONCONCENTRATIE

De afstand tot de lastoorts, waarbij de concentratie maximaal $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,1 ppm) bedraagt (de huidige MAC-waarde van ozon) is voor:

- het MIG-lassen van aluminium ca 50 cm
- het MIG-lassen van roestvast staal ca 30 cm
- het lassen van ongelegeerd staal met gevulde draad ca 30 cm
- microplasmalassen van inconel ca 20 cm.

De afstand van de lasboog tot de lashelm was voor de betrokken lassers minder dan bovengenoemde afstanden (soms niet meer dan 10 cm !).

De suggestie aan de MIG-lassers om bij aluminiumlassen een minimale afstand van 50 cm te bewaren tot de lasboog werd niet overgenomen, omdat dan het zicht op de las onvoldoende is; het contrast tussen vast en gesmolten metaal is bij aluminium veel geringer dan bij staal. Plaatselijke afzuiging heeft geen invloed op de ozonconcentratie, omdat de ultraviolette straling niet wordt geëlimineerd. Er is eerder een negatieve invloed, omdat lasrook nog een gedeelte van het gevormde ozon ontleedt. Een fabrikant van lasapparatuur heeft voorgesteld een hoeveelheid stikstofmonoxide (NO) aan het schermgas (argon of helium) toe te voegen, waardoor ozon wordt gereduceerd. Hierbij wordt dan wel het eveneens toxische NO_2 gevormd [63].

Bij het TIG-lassen van RVS werd achter de lashelm gemeten. Gevonden werd met argon als schermgas : 0,97 ppm O_3 en 0,31 ppm NO_2
 met argon met 300 ppm NO als schermgas : 0,21 ppm O_3 en 2,0 ppm NO_2
 onder overigens identieke condities.

Hoewel de O_3 -concentratie een factor 5 werd verlaagd (maar nog 2 maal de MAC-waarde is) en de NO_2 -concentratie nog onder de MAC-waarde (5 ppm C) bleef, wordt betwijfeld of hiermee de definitieve oplossing in zicht is.

Fagetter et al. [59] plaatsten een cilinder van roestvast stalen gaas om de lastoorts. Hiermee wordt de ozonconcentratie in de ademzone wel verlaagd tot minder dan 0,1 ppm, doch het nadeel is het slechte zicht van de lasser op de las. Door de lasplaats aan drie zijden te omgeven met een plastic scherm (aan de vierde open zijde staat de lasser) wordt bereikt dat de omgeving tegen ozon en ultraviolette straling wordt beschermd: buiten het scherm werd geen aantoonbare ozonconcentratie gemeten. De lasser zelf is hier echter niet mee geholpen.

10. TOETSING AAN GRENSWAARDEN

De gemeten waarden zijn getoetst aan MAC-waarden. Alvorens de resultaten te bespreken, wordt in het onderstaande ingegaan op de MAC-waarden.

Voor een aantal stoffen zijn maximaal aanvaarde concentraties (MAC-waarden) vastgesteld.

De MAC is een bestuurlijk vast te stellen Maximale Aanvaarde Concentratie van een gas, damp, nevel of van stof in de lucht op de werkplek. Bij de vaststelling ervan wordt zoveel mogelijk als uitgangspunt gehanteerd dat die concentratie bij herhaalde expositie ook gedurende een langere tot zelfs een arbeidsleven omvattende periode - voor zover de huidige kennis reikt - in het algemeen de gezondheid van zowel de werknemers alsook van hun nageslacht niet benadeelt.

Op basis van nader onderzoek en inzicht wordt een aantal MAC-waarden jaarlijks kritisch beoordeeld en naar aanleiding hiervan eventueel herzien (meestal verlaagd).

De in Nederland gehanteerde MAC-waarden worden jaarlijks gepubliceerd in de Nationale MAC-lijst, door de Arbeidsinspectie uitgegeven als P no. 145 [64].

Op de Nationale MAC-lijst komen twee typen van MAC-waarden voor, te weten:

Maximale Aanvaarde Concentratie - Tijd gewogen Gemiddelde (MAC-TGG)

Hieronder verstaat men de over de tijd gemiddelde maximale aanvaarde concentratie bij een blootstellingsduur tot 8 uur per dag en niet meer dan 40 uur per week.

Bij overschrijding van deze blootstellingsduur dient een overeenkomstig verlaagde MAC-TGG te worden gehanteerd.

Tijdgewogen gemiddelden laten kortdurende overschrijdingen toe, vooropgesteld echter dat het tijdgewogen gemiddelde over de werkdag niet wordt overschreden.

De hoogte van de toegestane overschrijding is voor slechts enkele stoffen vastgesteld als tijdgewogen gemiddelde over 15 minuten. Het voornemen bestaat om voor die stoffen waarvoor (nog) geen MAC-TGG 15 minuten is vastgesteld als richtsnoer een factor 2 te hanteren met betrekking tot voornoemde kortdurende overschrijding van de MAC-TGG 8 uur.

Maximale Aanvaarde Concentratie-Ceiling (MAC-C)

Overschrijding van deze concentratie moet in alle gevallen worden voorkomen. Een dergelijke aanduiding is toegepast bij die stoffen, waarvan de MAC-waarden (mede) zijn gebaseerd op een snel optredende toxische werking.

Met nadruk dient te worden gesteld dat:

- Bij overschrijding van bovengenoemde MAC-waarden, zowel MAC-TGG als MAC-C, moet worden gerekend op het ontstaan van een potentieel gevaar voor de gezondheid van de blootgestelde werknemers.
- MAC-waarden mede zijn gebaseerd op de huidige stand van het wetenschappelijk onderzoek. Nieuwe gegevens kunnen leiden tot wijziging van de MAC-waarden.
- Gestreefd moet worden naar concentraties die zover mogelijk beneden de vastgestelde MAC-waarden liggen, met name wanneer blootstelling plaatsvindt aan meerdere stoffen, aangezien naleving van de MAC-waarden niet betekent dat hierdoor aantasting van de gezondheid in alle gevallen met zekerheid wordt vermeden.

In tabel 22 worden de MAC-waarden gegeven van een aantal verbindingen, die vrij kunnen komen bij het lassen en snijden. Deze lijst is uiteraard onvolledig.

Tabel 22 Overzicht van MAC-waarden¹⁾ van een aantal verbindingen die bij het lassen en snijden vrij kunnen komen

component	mg·m ⁻³	ppm (cm ³ gas·m ⁻³)
aluminium lasrook	5	
barium en oplosbare verbindingen (als Ba)	0,5	
beryllium	0,002 ⁴⁾	
cadmium en verbindingen (als Cd) ^{2) 4)}	0,02	
cadmiumoxide (rook) (als Cd) ⁴⁾	0,05 c ³⁾	
chromiumzuur en chromaten (als Cr) ⁴⁾	0,05	
chromium en in water oplosbare zouten (als Cr) ⁴⁾	0,5	
fluoriden (als F) ⁴⁾	2,5	
formaldehyde ^{4) 5)}	1,5	1
koolmonoxide ^{4) 6)}	55	50
kobalt (stof en rook) (als Co)	0,1	
koperrook	0,2	
lasrook	5 ⁷⁾	
lood en anorg.loodverbindingen (rook en stof) (als Pb) ⁴⁾	0,15	
loodchromaat (als Cr) ⁴⁾	0,05	
mangaanrook (als Mn)	1	
molybdeen (oplosbare verbindingen) (als Mo)	5	
molybdeen (onoplosbare verbindingen) (als Mo)	10	
nikkel ⁴⁾	1	
nikkel (oplosbare verbindingen) (als Ni) ⁴⁾	0,1	
ozon	0,2	0,1
polycyclische aromatische koolwaterstoffen (in residuen verkregen door destructieve destillatie van organisch materiaal, bepaald als benzeen oplos- baar materiaal)	0,2	
stikstofdioxide ⁴⁾	9 c ³⁾	5 c ³⁾
stikstofmonoxide	30	25
ijzeroxideroek (als Fe ₂ O ₃)	5	
vanadiumpentoxideroek (als V ₂ O ₅)	0,05 c ³⁾	
zilver (en in water oplosbare verbindingen) (als Ag)	0,01	
zinkchromaat (als Cr)	0,05	
zinkoxideroek	5	

1), 2), 3), 4), 5), 6) en 7) zie volgende bladzijde.

- 1) Opgegeven zijn de waarden opgenomen in de uitgave van P no.145 en 145-1 van 1986. In recentere versies van de MAC-lijst-3 kunnen deze waarden zijn gewijzigd.
- 2) Toegestane blootstelling: $0,1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ als TGG - lu.
- 3) MAC ceiling-waarde.
- 4) In behandeling.
- 5) Toegestane kortdurende concentraties: 2 ppm ($3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).
- 6) De huidige MAC-waarde voor koolmonoxide bedraagt 50 ppm ($55 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) als tijdgewogen gemiddelde voor 8-urige werkdag. Het voornemen is om op advies van de CGGS voor deze stof een MAC van 25 ppm ($29 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) te gaan hanteren als tijdgewogen gemiddelde voor de 8-urige werkdag, waarbij concentraties tot 120 ppm ($139 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) gedurende maximaal 15 minuten zijn toegestaan, mits het tijdgewogen gemiddelde niet wordt overschreden. Voorts is het voornemen om voor arbeidsperioden korter dan 8 uur per dag de volgende concentraties toe te staan: maximaal 150 ppm ($174 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) gedurende 15 minuten, maximaal 120 ppm ($139 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) gedurende 30 minuten en maximaal 60 ppm ($70 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) gedurende 60 minuten, mits gedurende de werkdag bij de arbeid geen verdere blootstelling plaatsvindt.
- 7) Bij het hanteren van de MAC-waarde voor lasrook dient er op te worden toegezien dat afzonderlijke stoffen niet in dusdanige concentraties in de lasrook aanwezig zijn, dat bij toepassing van de MAC-waarde op de lasrook, de MAC-waarde van deze afzonderlijke stoffen worden overschreden.

De bevindingen van het onderzoek ten aanzien van chemische verbindingen zijn samengevat in tabel 23. In deze tabel worden de verschillende situaties, lasprocessen en gelaste materialen wat betreft chemische componenten beoordeeld ten opzichte van de thans geldende MAC-waarden (Nationale MAC-lijst 1986). De betekenis van de symbolen in tabel 23 is:

- + Er zijn uitsluitend concentraties van minder dan $\frac{1}{2}$ MAC gemeten.
- ± Er zijn concentraties van meer dan $\frac{1}{2}$ MAC, doch minder dan MAC gemeten.
- Er zijn concentraties van meer dan MAC, doch minder dan 2 MAC gemeten.
- Er zijn concentraties van meer dan 2 MAC gemeten.

De beoordeling in tabel 23 geldt voor het werken in grote ruimten zonder plaatselijke afzuiging of andere expositie-reducerende middelen. In dat geval is de situatie gunstiger. Bij het werken in kleine besloten ruimten is de situatie aanzienlijk ongunstiger.

Uit tabel 23 blijkt dat het OP-lassen en het TIG-lassen van roestvast staal en cunifer bij de huidige MAC-waarden de enige der onderzochte processen zijn, waarbij geen overschrijdingen werden geconstateerd. Dit geldt ook voor het hardsolderen met soldeer dat geen cadmium bevat. In alle overige gevallen zijn wel overschrijdingen geconstateerd.

Overigens wordt er nogmaals op gewezen dat van veel situaties weinig gegevens werden verkregen. De tabel heeft geen algemene geldigheid, maar geeft weer wat tijdens het onderzoek werd geconstateerd.

Tabel 23 Samenvatting resultaten betreffende expositie aan chemische verontreinigingen in grote ruimten zonder expositiereducerende middelen

lasproces en te lassen materiaal		las-rook	Ba	Cr	Ni	Cu	Cd	Ag	F	NO ₂	NO	O ₃	Mn	CO
MMA	ongel. staal	--								+	+	+	+	+
MMA	RVS	--		--	+					+	+	+	+	-
MMA, basische el.	ongel./RVS	--							±					
MMA	cunifer	-			+	-				+	+	+		
MMA	75% Ni-all.	1)			-									
MAG	ongel. staal	--								+	+	+	+	+
MIG	RVS	--		--	+	-				+	+	-	+	
MIG	Cu (in afgezo-gen lasbox)	-				--				+	+	+		
MIG	staal met 7% Mn	-												-
MIG	Al	--								+	+	--		
gev. draadlassen met gas	ongel. staal	-								+	+	-		
gev. draadlassen gasloos	ongel. staal	--	-											
TIG	RVS	+		+	+					+	+	+		
TIG	monel	±			+	-								
TIG	cunifer	+			+	±				+	+	+		
OP	ongel. staal	±								+	+	+		
plasmalassen	RVS	+		+	+					+	+	-		
autogeen snijden	ongel. staal	--								+	+	+		±
plasma-snijden	RVS	-		±	+					±	+	+		
el. gutsen	ongel. staal	--				+				+	+	+		±
poedervlamsputten	Ni (met pl.sfz.)	+			+									
draadvlamsputten	Ni	--			--					+	+	+		--
draadvlamsputten	Cu	--				--				+	+	+		--
hardsolderen		±				+	-	+		+	+	+		
polijsten	RVS	--		--	-									

Een lege plek betekent niet gemeten en/of niet relevant.

1) Niet bekend.

+ concentraties uitsluitend < ½ MAC geconstateerd; ± concentraties > ½ MAC < MAC geconstateerd;
- concentraties > MAC < 2 MAC geconstateerd; -- concentraties > 2 MAC.

Om vast te stellen of de expositie aan chemische verontreinigingen al dan niet te hoog is, kan in de meeste gevallen worden volstaan met het bepalen van de lasrookconcentratie. Uit het onderzoek blijkt namelijk dat de grenswaarden van individuele componenten in de lasrook niet worden overschreden, indien de grenswaarde van $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ voor lasrook niet wordt overschreden. Op deze regel zijn een aantal uitzonderingen, die in tabel 24 worden vermeld. In tabel 25 worden de processen vermeld, waarbij te hoge concentraties van een gas kunnen voorkomen.

Tabel 24 Componenten in lasrook, waarvan de MAC-waarde eerder wordt overschreden dan die van lasrook ($5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$)

component	MAC, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	kritisch bij:
Cr ^{VI}	0,05	MMA - RVS en andere legeringen met > 4% Cr
Cr totaal	0,5	MIG - RVS met > 20% Cr
Ni	1	MMA en MIG - legeringen met > 50% Ni
Cd	0,02	lassen, snijden en solderen van Cd-houdende materialen
Mn	1	MMA en MIG - legeringen met > 4% Mn
Cu	0,2	lassen van Cu-legeringen, ook lassen met verkoperd draad
Co	0,1	lassen van stelliet (cobaltlegeringen)
Pb	0,15	lassen en snijden van staal met primer op basis van loodmenie
Ba	0,5	lassen met gasloze, bariumhoudende gevulde draad

Aanbevolen wordt beryllium en vanadium te bepalen bij het lassen van legeringen die deze metalen bevatten in verband met de lage MAC-waarden (Be : $0,002 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, V : $0,05 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ als V_2O_5).

Tabel 25 Processen waarbij MAC-waarde voor de diverse gassen kunnen worden overschreden

gassen	MAC, ppm	kans op overschrijding bij:
O ₃	0,2	MIG-Al, MIG-RVS, gev.draad lassen, TIG-Al plasmalassen RVS/inconel A 286 (15% Cr, 26% Ni)
CO	50 (25 ^{*)})	draadvlampspuiten
NO ₂	5 C	plasma-snijden in lucht

*) Voorgestelde waarde.

11. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Uit het onderzoek is gebleken dat bij de meeste processen, indien zij worden uitgevoerd in grote ruimten zonder maatregelen bij de bron, de werknemers aan te hoge lasrookconcentraties worden blootgesteld.

Dit geldt voor de volgende processen:

- lassen met beklede elektroden (MMA);
- lassen met massieve draad en schermgas (MIG en MAG);
- lassen met gevulde draad;
- autogeen snijden;
- plasmasnijden in lucht;
- elektrisch gutsen;
- draadvlamsputten.

Geen overschrijding van de grenswaarde voor lasrook werd geconstateerd bij:

- TIG-lassen;
- lassen onder poederdek (OP);
- plasmalassen;
- hardsolderen.

Behalve overschrijding van de grenswaarde voor lasrook bij de eerstgenoemde processen treedt ook, afhankelijk van het gelaste materiaal, overschrijding van grenswaarden van individuele componenten op. In het bijzonder dient men attent te zijn op componenten, waarvan de MAC-waarde eerder wordt overschreden dan die van lasrook.

Het betreft de volgende metalen:

Chroom: MMA- en MIG-lassen van RVS en andere chroomlegeringen, die 4% of meer chroom bevatten.

Nikkel: MMA- en MIG-lassen van legeringen met meer dan 50% nikkel.

Mangaan: MMA- en MIG-lassen van legeringen die meer dan 4% mangaan bevatten.

- Koper: MMA-, MIG- en TIG-lassen van koperhoudende legeringen, inclusief MIG-lassen met verkoperd draad.
- Cadmium: Lassen, snijden en hardsolderen van cadmiumhoudende materialen.

Bij de volgende processen werden te hoge concentraties van gassen geconstateerd:

- Ozon: MIG- en TIG-lassen van aluminium, MIG- en plasmalassen van RVS, lassen met gevulde draad.
- Koolmonoxide: draadvlamsputten.
- NO₂: plasmasnijden in lucht (kortdurende overschrijding plafond-waarde).

Het effect van maatregelen om de expositie aan verontreinigingen te reduceren, zoals die in de praktijk werden aangetroffen, kan als volgt worden samengevat:

- Het dragen van een lashelm geeft gemiddeld een lagere expositie dan het dragen van een handscherm bij het lassen met beklede elektroden. Bij het MAG-lassen is dit effect niet geconstateerd. Een leren slabbe aan de helm heeft een extra gunstig effect. Overigens geven beide typen beschermingsmiddelen een lagere expositie ten opzichte van het niet dragen hiervan. De vorm van helm of scherm speelt een rol bij de mate van de reductie van de expositie [62].
- Het zo groot mogelijk houden van de afstand van de lasser tot de lasboog is gunstig, niet alleen in verband met de lasrookexpositie, maar tevens in verband met de ozonexpositie bij die processen waar ozon vrijkomt.
- Het gebruik van plaatselijke afzuiging op de juiste wijze, d.w.z. zodanig dat de rook visueel wordt afgezogen zonder daarbij de ademzone van de lasser te passeren, geeft in de praktijk een verlaging van de lasrookexpositie van gemiddeld een factor 2. Dit is veel geringer dan onder ideale omstandigheden mogelijk is zoals blijkt uit vergelijking met resultaten van laboratoriumstudies.

- Het gebruik van overdrukhelmen met luchttoevoer geeft een reductie van de lasrookexpositie die sterk afhankelijk is van de instelling van de luchttoevoer.

Een reductie van een factor 20 is mogelijk, doch in de praktijk werd een reductie variërend van een factor 2 tot 20 geconstateerd.

- Bij het lassen in een afgesloten en afgezogen ruimte is de omgeving afdoende beschermd. Voor de lasser zijn extra maatregelen nodig. De omgeving wordt tegen ultraviolette straling en ozon beschermd door de lasplaats te omgeven met een plastic scherm.
- Bij onderafzuiging van snijtafels is een afzuigsnelheid bij de snijtoorts van minimaal $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vereist. De aanbeveling van DVS van $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ is zeker een veilige eis.
- Bij het lassen in kleine besloten ruimten is het effect van inblazen van schone lucht groter dan van (juist geplaatste) plaatselijke afzuiging, doch nog niet voldoende (in een praktijksituatie in een schip werd een factor 5 geconstateerd; nodig was minimaal een factor 10). Bij het lassen met schermgas werd inblazen niet toegepast wegens beduchtigheid voor wegblazen van schermgas. Persoonlijke bescherming - overdrukhelm of stofmaskers - is dan noodzakelijk.
- Bij het MIG-lassen van Al en RVS, waarbij veel ozon ontstaat, kan de ozonconcentratie worden verlaagd door NO aan het schermgas toe te voegen. Dit gaat echter gepaard met een toename van de NO_2 -concentratie.
- Optimale plaatsing van plaatselijke afzuiging kan de situatie sterk verbeteren. Het onderzoek van Knoll [11] gaat in op optimalisering van plaatselijke afzuiging.

De lassers zullen goed moeten worden geïnstrueerd over het juiste gebruik. In die gevallen, waarbij plaatselijke afzuiging niet mogelijk is door ruimtegebrek of belemmering bij het werk, zal persoonlijke adembescherming moeten worden gedragen. Een helm met externe luchttoevoer lijkt het minst bezwaarlijk te zijn voor de lassers.

12. REFERENTIES

- [1] Wal, J.F. van der, B. Knoll, B. Pijnappel en C.A. van der Star *)
De belastende agentia en factoren bij het lassen.
1. Het lassen van roestvast staal in een apparatenfabriek.
IMG-rapport F 2012-02 (1983).
- [2] Wal, J.F. van der, B. Knoll, B. Pijnappel *)
De belastende agentia en factoren bij het lassen.
2. Hardsolderen in een rijwielfabriek.
IMG-rapport F 2012-03 (1983).
- [3] Wal, J.F. van der, B. Knoll, B. Pijnappel en C.A. van der Star *)
De belastende agentia en factoren bij het lassen.
3. Het lassen in kleine besloten ruimten bij een scheepswerf.
IMG-rapport F 2012-04 (1983).
- [4] Wal, J.F. van der, B. Knoll, B. Pijnappel en C.A. van der Star *)
De belastende agentia en factoren bij het lassen.
1. Het lassen van speciale legeringen in een apparatenfabriek.
IMG-rapport F 2012-05 (1983).
- [5] Wal, J.F. van der, B. Knoll, B. Pijnappel en C.A. van der Star
De belastende agentia en factoren bij het lassen - Eindrapport.
IMG-rapport F 2012-06 (1983).
- [6] Wanders, S.P. en R.L. Zielhuis
Verantwoord werken bij het lassen - indicatief oriënterend
onderzoek.
Rapport Coronel Laboratorium (1983).
- [7] Knoll, B.
Uitwerking van het onderzoek "Ventilatie bij lassers".
MT-TNO, Memo BK-85-6BK (1985).
- [8] Wal, J.F. van der, B. Knoll, B. Pijnappel en C.A. van der Star
Verantwoord werken met plasmalas- en snijapparatuur - Eindrapport.
IMG-rapport F 2010-08 (1985).

*) Vertrouwelijke rapporten, niet verkrijgbaar.

- [9] Wal, J.F. van der, B. Knoll, B. Pijnappel en C.A. van der Star
Concept-richtlijnen voor verantwoord werken met plasmalas- en
plasma-snijapparatuur.
IMG-rapport F 2010-09 /MT-rapport R 86/005a (1986).
- [10] Güttinger, V.A.
Risico-perceptie en riskant gedrag in de arbeidssituatie -
een onderzoek bij lassers.
TNO - Beleidsruimte verslag nr. 372 (1984).
- [11] Knoll, B.
Onderzoek naar het effect van algemene ventilatie, plaatselijke
afzuiging en andere maatregelen ter beperking van expositie van
lassers aan luchtverontreiniging.
O.a. Ventilatie bij het lassen. 1. Deelrapport betreffende het
vastleggen van het verspreidingsmechanisme van lasrook.
MT-TNO-rapport R 86/313 (1986)
- [12] Cox, C.
Onderzoek naar het ultraviolette stralingsniveau bij lasprocessen.
MT-TNO rapport R 86/321 (1986).
- [13] Wal, J.F. van der en R. van de Belt *)
Verantwoord werken bij het lassen.
1. Het lassen van aluminium volgens het MIG-lasproces.
IMG-rapport F 2180-01 (1984).
- [14] Wal, J.F. van der *)
Verantwoord werken bij het lassen.
2. Het lassen onder poederdek, het autogeen snijden en
het elektrisch gutsen in een constructiebedrijf.
IMG-rapport F 2180-02 (1984).
- [15] Wal, J.F. van der *)
Verantwoord werken bij het lassen.
3. Het lassen van cunifer.
IMG-rapport F 2180-03 (1984).

*) Vertrouwelijke rapporten, niet verkrijgbaar.

- [16] Wal, J.F. van der *)
Verantwoord werken bij het lassen.
4. Het MIG-lassen en het autogeen snijden van staal in een
fabriekshal.
IMG-rapport F 2180-04 (1984).
- [17] Wal, J.F. van der *)
Verantwoord werken bij het lassen.
5. Het lassen van gecoat staal in een scheepsbouwhal.
IMG-rapport F 2180-05 (1985).
- [18] Wal, J.F. van der en R. van de Belt *)
Verantwoord werken bij het lassen.
6. Het MIG-lassen van roestvast staal in een fabriekshal.
IMG-rapport F 2180-06 / MT-rapport R 85/242 (1985).
- [19] Wal, J.F. van der en R. van de Belt *)
Verantwoord werken bij het lassen.
7. Het lassen met gevulde draad van staal in een fabriekshal.
IMG-rapport F 2180-07 / MT-rapport R 85/236 (1985).
- [20] Wal, J.F. van der en R. van de Belt *)
Verantwoord werken bij het lassen.
8. Het lassen van gecoat staal in een schip.
IMG-rapport F 2180-08 / MT-rapport R 85/319 (1985).
- [21] Wal, J.F. van der en R. van de Belt *)
Verantwoord werken bij het lassen.
9. Het thermisch spuiten van metaal, het autogeen snijden van
geverfd staal en het lassen van gietijzer met beklede
elektroden.
IMG-rapport F 2180-09 / MT-rapport R 85/344 (1986).
- [22] Wanders, S.P.
Eindverslag lassen.
Rapport Coronel Laboratorium (1986).

*) Vertrouwelijke rapporten, niet verkrijgbaar.

- [23] Wal, J.F. van der
Vergleichsmessungen mit verschiedenen Geräten zur Bestimmung der
Gesamtstaubkonzentration am Arbeitsplatz - Teil I.
Staub-Reinhalt Luft 43 (1983), 291-294.
- [24] Kuile, W.M. ter
Vergleichsmessungen mit verschiedenen Geräten zur Bestimmung der
Gesamtstaubkonzentration am Arbeitsplatz - Teil II.
Staub-Reinhalt Luft 44 (1984), 211-216.
- [25] Moons, A.M.M.
Een selectieve kwantitatieve bepalingsmethode voor zeswaardig,
driewaardig en totaal chroom in lasrook.
IMG-TNO-rapport F 1994 (1984).
- [26] Taylor, D.G.
NIOSH Manual of Analytical Methods,
Vol. 6, p. 313.1 - 319.7 (1980).
- [27] Wilson, J.D., M.R. Stenzel, K.L. Lambardozzi en C.L. Nichols
Monitoring personnel exposure to stainless steel welding
fumes in confined spaces at a petrochemical plant.
Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 42 (1981), 431-436.
- [28] Nederlands Normalisatie-instituut
Destructie door smelten met carbonaat.
NEN 3106-3 (1964).
- [29] Moreton, J. et al.
Investigation of techniques for the analysis of hexavalent
chromium, total chromium and total nickel in welding fume:
a co-operative study.
Ann. Occup. Hyg. 25 (1983), 137-156.
- [30] Willey, M.A., C.S. McCammon en L.J. Doemeny
A solid sorbent personal sampler method for the simultaneous
collection of nitrogen dioxide and nitric oxide in air.
Am. Ind. Hyg. Assoc. Conf., Atlanta (1976).

- [31] Leidel, N.A., K.A. Busch en J.R. Lynch
Occupational exposure sampling strategy.
NIOSH Publ. nr. 77-159, Cincinnati, Oh., USA (1977), 122-125.
- [32] Bakker, R.G., G.L. Harderwijk
Onderzoek naar de lasrookproductie en
de laseigenschappen van gasloze draden.
RSV-Research and Development Rapp. 81338 (1981).
- [33] Stern, R.M.
Chromium compounds: Production and occupational exposure.
Biological and environmental aspects of chromium.
S. Langård, Elsevier Biomedical Press (1982).
- [34] Beck-Hansen, E.
Danish Welding Institute, Rapp. nr. SF 77.01 (1977).
- [35] Ulfvarson, U. et al.
Arbete och Hälsa 31 (1979).
- [36] Internationales Institute Treffen, Luzern, 19-21 oktober 1983,
Mondelinge mededelingen.
- [37] Vorpahl, K.W., P.T. Jordan en E.J. Mathews
Chrome alloy welding fume study.
Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 37 (1976), 566-569.
- [38] Tola, S., M. Virtamo en J. Kilpiö
Air and urine chromium measurements in connection of welding
of stainless and acid resisting steels.
Summary of document VIII - 754-77 "Urinary chromium as an
indicator of exposite of welders to chromium" (1979).
- [39] Wal. J.F. van der
Exposure of welders to fumes, Cr, Ni, Cu and gases in Dutch
industries.
Ann. Occup. Hyg. 29 (1985), 377-389.

- [40] Gray, C.N., A. Goldstone, P.R.M. Dare en P.J. Hewitt
The evaluation of hexavalent chromium in metallic aerosols.
Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 44 (1983), 384-388.
- [41] Hewitt, P.J. en M.G. Madden
Welding process parameters and hexavalent chromium in MIG fume.
Ann. Occup. Hyg. 30 (1986), 427-434.
- [42] Wal. J.F. van der
Further studies on the exposure of welders to fumes, chromium,
nickel and gases in Dutch industries: plasma welding and cutting
of stainless steel.
Ann. Occup. Hyg. 30 (1986), 153-161.
- [43] Åkesson, B. en S. Skerfving
Exposure in welding of high nickel alloy.
Int. Arch. Occup. Environ. Health 56 (1985), 111-117.
- [44] Coenen, W. et al.
Schweisserrauchexposition am Arbeitsplatz.
Nickel und Chromate im Schweissrauch.
Staub-Reinhalt Luft 45 (1985), 512-515 en 546-550.
- [45] Aszetély J. et al.
Arbetsmiljöproblem vid svetsning. Del 16.
Termisk sprutning, plasmaskärning och luftbågmejsling.
Rapport 1981 : 41 (1981).
- [46] Wiseman, L.G. en E.T. Chapman
Test program to determine whether nickel carbonyl forms during
the welding of nickel-containing alloys.
Health hazards and biological effects of welding fumes and gases.
Excerpta Medica. International Congress Series 676 (1986).
- [47] Wal. J.F. van der
Onderzoek in de Nederlandse ijzer- en staalindustrie.
E.G.K.S.-project PS 189, IG-TNO-rapport (1975).

- [48] Malmqvist, K.G. et al.
Process-dependent characteristics of welding fume particles.
Health hazards and biological effects of welding fumes and gases.
Excerpta Medica. International Congress Series 676, (1986), 31-46.
- [49] Spee, T.
Oriënterend onderzoek naar de loodexpositie van werknemers tijdens
sloop van een stalen brug die met loodhoudende verf is behandeld.
IMG-TNO-rapport F 2149 (1984).
- [50] Böhme, D. en D. Heuser
Messung schädlicher Gase und Rauche beim Überschweissen von
Fertigungsbeschichtungen (shop-primer) auf Stahl.
Forschungsberichte Humanisierung des Arbeitsleben der Schweißer.
Band 4, Deutsche Verlag für Schweisstechnik (1982).
- [51] Department of Employment and Productivity
Fumes from welding and flame cutting -
Report on the shipbuilding and ship-repairing industry.
London (1970).
- [52] Visschers, M. et al.
Longfunctie van lassers blootgesteld aan lasrook die zinkoxyde
bevat.
Landbouwhogeschool Wageningen, vakgroep Gezondheidsleer en
Luchthygiëne en - verontreiniging, Rapport 1985 - 233 (1985).
- [53] Vance, G.H.
Cadmium exposures in silver soldering operations.
Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 21 (1960), 107-109.
- [54] Mangold, C.A. en R.R. Beckett
Combined occupational exposure of silver brazers to cadmium
oxide, nitrogen oxide and fluorides at a naval shipyard.
Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 32 (1971), 115-118.
- [55] Welinder, H., S. Skerfving en O. Henriksen
Cadmium metabolism in man.
Brit. J. of Ind. Medicine 34 (1977), 221-228.

- [56] Lundberg, I. et al.
Environmental factors and uptake of cadmium among brazers
using cadmium-containing hard solders.
Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 45 (1984), 353-359.
- [57] Dare, P.R.M. et al.
Barium in welding fume.
Ann. Occup. Hyg. 28 (1984), 445-448.
- [58] Moreton, J., N. Jenkins
Barium in welding fume.
Ann. Occup. Hyg. 29 (1985), 443-444.
- [59] Faggetter, A.K., V.E. Freeman en H.R. Hosein
Novel engineering methods for ozone reduction in gas
metal arc welding of aluminum.
Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 44 (1983), 316-320.
- [60] Ulfvarson, U.
Air contaminants involved in Swedish industry -
sources of variation in concentrations.
Health hazards and biological effects of welding fumes and gases.
Excerpta Medica. International Congress Series 676 (1986), 133-136.
- [61] Deutscher Verband für Schweisstechnik e.V.
Absaugung an Schweisserarbeitsplätzen.
Merkblatt DVS 2101 (1981).
- [62] Ratsch, E.
Untersuchungen zur Verbesserung von Schutzschirmen für Schweisser,
um das Einatmen von Rauchen, Gasen und Dämpfen zu vermeiden.
Forschungs Ber / Humanisierung des Arbeitsleben der Schweisser.
Deutscher Verlag für Schweisstechnik (1980).
- [63] Sipek, L. en E. Smårs
Ozone and nitrogen oxides in gas shielded arc welding.
Health hazards and biological effects of welding fumes and gases.
Excerpta Medica. International Congress Series 676 (1986), 107-110.

[64] Arbeidsinspectie

Nationale MAC-lijst

P 145

[65] British Standards Institution

Draft for development "Method for the sampling and analysis of fume from welding and allied processes".

Part 1. BS. 1. DD 54 (1977).

[66] American Welding Society

Method for sampling airborne particulates generated by welding and allied processes.

AWS F 1.1.-76 American Welding Society,

Miami, FL 33125, USA (1976).

[67] Deutsche Institut für Normung

Probenahme zur Ermittlung der Konzentration luftverunreinigender Stoffe im Atembereich beim Schweißen und bei verwandten Verfahren.

DIN 32507, proposal (1983).

BIJLAGE A KEUZE VAN DE MONSTERNEMINGSMETHODE

Een gestandaardiseerde methode voor monsterneming van lasrook bestaat niet in Nederland. De toegepaste methode komt in grote lijnen overeen met de principes die worden vermeld in de in Engeland, Amerika en Duitsland aanbevolen methoden (British Standards Institution, BSI [65], American Welding Society, AWS [66], Deutsches Institut für Normierung, DIN [67]).

Een korte discussie betreffende twee aspecten die niet idendiek zijn volgens de drie aanbevolen methoden is hier op zijn plaats. Het betreft de filterhouder en het filtermedium.

De gebruikte filterhouder bevatte een filter met een diameter van 25 mm en had een aanzuigopening met een diameter van 6 mm. De snelheid in de aanzuigopening voldoet aan de Duitse norm van $1,25 \text{ m} \cdot \text{m}^{-3}$ bij een debiet van $2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Volgens BSI moeten open filterhouders met filters met diameter van 37 mm worden toegepast; volgens AWS open filterhouders met filters van 25 of 37 mm. Volgens onze eigen ervaringen (Van der Wal [20], Ter Kuile [21]) hebben echter noch de aanzuigsnelheid noch de diameter van de aanzuigopening een significante invloed op de gemeten stofconcentratie bij een debiet van $2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, ook niet bij grof stof.

Het filtermedium bestond uit glasvezels zonder organische bindmiddelen (Gelman A/E). Dit is gekozen, omdat uit onze ervaringen is gebleken dat filters die organisch materiaal bevatten, zoals membraanfilters van cellulosenitraat, celluloseacetaat en Teflon, zeswaardig chroom gedeeltelijk reduceren tot driewaardig chroom (Moons [25]). Zelfs glasvezelfilters met organisch bindmiddel hebben dit effect, zoals blijkt uit de hieronder beschreven experimenten:

Aan verschillende soorten filters (diameter 25 mm) werd $50 \mu\text{l K}_2\text{CrO}_4$ -oplossing, die $0,06\% \text{ Cr}^{\text{VI}}$ bevatte, toegevoegd. Vervolgens werden de filters na 48 uur geëxtraheerd met een oplossing die $3\% \text{ Na}_2\text{CO}_3$ en $2\% \text{ NaOH}$ bevatte. In het extract werd de hoeveelheid Cr^{VI} bepaald. De hoeveelheid Cr^{VI} die werd teruggevonden (recovery) bedroeg voor:

- glasvezelfilters zonder organisch bindmiddel > 95%
- glasvezelfilters met organisch bindmiddel 75%
- Teflonfilter 55%
- cellulosenitraat en celluloseacetaat filters 5%.

BIJLAGE B

LASHELM MET FILTERHOUDER VOOR DE BEPALING VAN DE LASROOKCONCENTRATIE
EN ADSORPTIEBUIJSJE VOOR DE BEPALING VAN DE NO₂-CONCENTRATIE

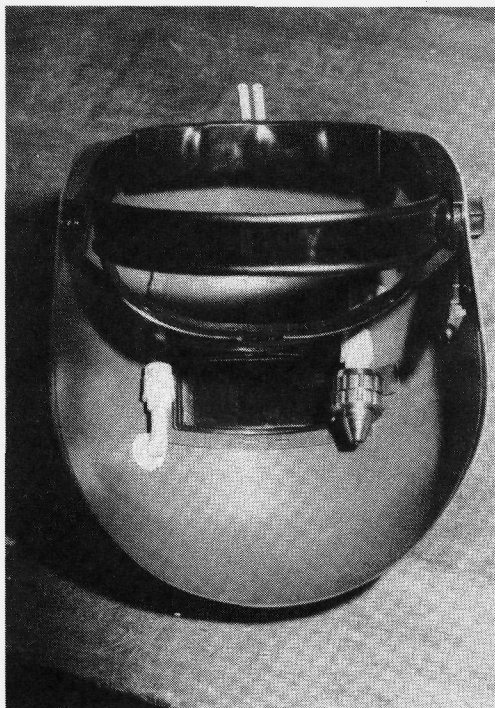


Fig. 1B Lashelm met monstereenheden.



Fig. 2B Lashelm in gebruik.

BIJLAGE C

AANGETROFFEN TOEGEPASTE STROOMSTERKTE BIJ HET LASSEN TIJDENS HET ONDERZOEK

Beklede elektroden

elektr.diam, mm	stroomsterkte, A
2	50 - 55
2,5	55 - 120
3,25	85 - 200
4	100 - 220
5	200 - 300

MIG/MAG-lassen

draad.diam, mm	stroomsterkte, A
0,8	80 - 160
1,2	110 - 250 + eenmaal 355
2,5	80 - 200

TIG-lassen 35 - 110 A