

Laserbewerkingen in een research-werkplaats

Samenvatting lezing gehouden tijdens de "Mikronweek", 22 november 1983

Ir. M.H.H. van Dijk, TH-Twente

Bewerking van materialen met behulp van lasers neemt in de industriële productie een steeds belangrijkere plaats in. Ook in werkplaatsen die dienen voor het ondersteunen van onderzoekslaboratoria kan een lasergereedschapmachine met succes worden toegepast.

Ingegaan wordt op de ervaringen die in het Fijnmechanische Fysische Werkplaatsgebied van de Technische Hogeschool Twente zijn opgedaan, onder meer met las-, snij- en boorbewerkingen.

Inleiding

Aan het eind van de jaren zeventig waren binnen de werkplaatsen van de Technische Hogeschool Twente faciliteiten aanwezig voor hoogwaardige verbindingstechnieken zoals argon-arc lassen, microplasma lassen en hoogtemperatuursolderen. Het ontbreken van elektronenstraallassen en laserlassen werd nog als een gemis beschouwd.

Na een eerste oriëntatie ten aanzien van wensen en mogelijkheden werd besloten tot uitbreiding van de verbindingstechnieken met laserlasapparatuur. Bij een verdere analyse van de mogelijkheden en wensen bleek dat de aanschaf van een lasergereedschapmachine voor las-, boor- en snijbewerkingen de voorkeur verdiende boven de aanschaf van specifieke laser-lasapparatuur.

Nu, na twee jaar ervaring sinds september 1981, is de lasergereedschapmachine onmisbaar geworden voor lasbewerkingen. Maar dat geldt ook voor boren en snijden. De machine is continu bezet, maar de lasbewerkingen zijn minder dan 30% van het werkpakket.

Materiaalbewerkingen en lasers

Lasers behoren tot de groep van thermische werktuigen. De gewenste bewerking wordt gerealiseerd door het materiaal plaatselijk in temperatuur te verhogen door middel van "optische energie", zie figuur 1.

Enige *algemene kenmerken* van materiaalbewerkingen met lasers zijn:

- Geen vervuiling van het werkstuk door het gereedschap of koelmiddelen;
- Het gereedschap oefent vrijwel geen kracht uit op het werkstuk. De kans op vervorming van het werkstuk is daardoor minimaal;
- Het gereedschap slijt nauwelijks;
- Bewerkingen op normaal moeilijk toegankelijke plaatsen zijn mogelijk;
- Bewerkingen door optische vensters is mogelijk. Daardoor zijn bewerkingen in vacuüm of in een schutgas-atmosfeer op eenvoudige wijze uit te voeren;
- De intensiteit en de bestralingstijd van de laserbundel zijn op eenvoudige wijze nauwkeurig in te stellen. De aan het werkstuk toegevoerde energie is daardoor goed te regelen;

- De energie wordt zeer lokaal toegevoerd. Alleen de directe omgeving van het bewerkingspunt wordt in temperatuur verhoogd;
- Doordat de aan het bewerkingspunt toegevoerde energie minimaal is koelt de bewerkingsplek snel af.

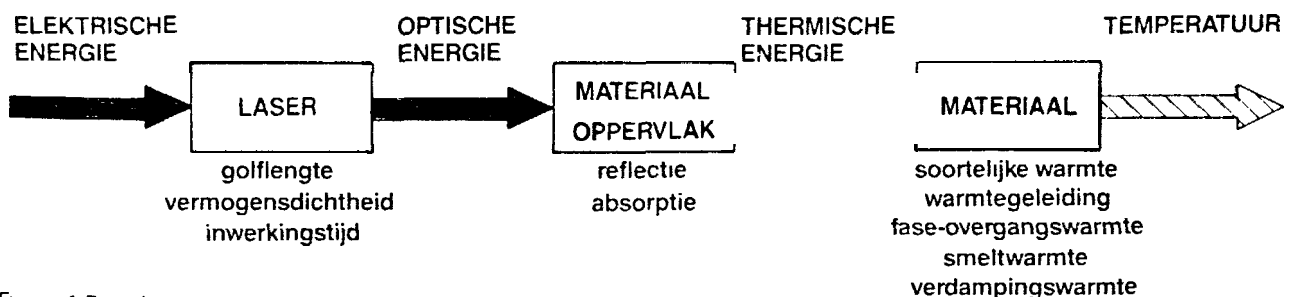
Voor materiaalbewerkingen kunnen we lasers beschouwen als energiebronnen. De door de lasers afgegeven - optische - energie wordt aan het oppervlak van het werkstuk in warmte omgezet. De energiedichtheid is het product van de intensiteit en de inwerkingstijd.

Uit figuur 2 blijkt dat de hoogste energiedichtheden nodig zijn voor het lassen. De hoogste intensiteiten zijn nodig voor schokharden.

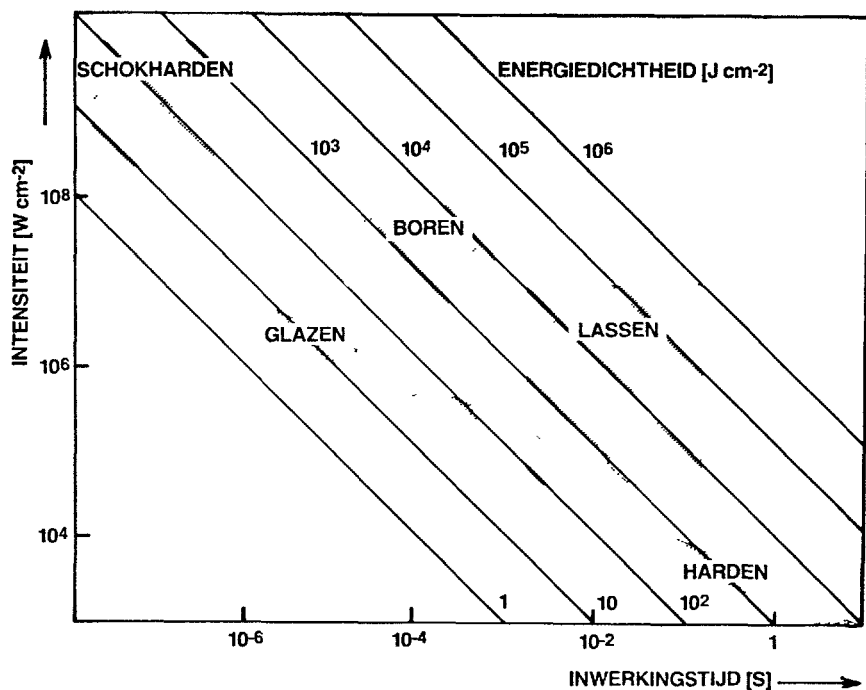
Bij schokharding wordt het materiaal een korte tijd aan een zeer intense straling blootgesteld. Door de schokgolf die daardoor ontstaat zal er in de oppervlaktelaag een structuurverandering optreden.

Harden wordt toegepast bij werkstukken van koolstofstaal; tot een diepte van ongeveer 0,1 mm wordt het materiaal verwarmd tot in het austenietgebied en bij voldoende snelle afkoeling blijft de austeniet-structuur bestaan. De geharde laag is bij laserbewerking dunner dan bij conventioneel harden. In de vakgroep Fijnmechanische Technieken van de afdeling Werktuigbouwkunde wordt onderzoek verricht aan, met behulp van CO₂ lasers, geharde oppervlakken [1].

"Glazen" is een bewerking waarbij een dunne laag aan het oppervlak van het materiaal gesmolten wordt. Na het



Figuur 1 Energie-omzetting en de parameters die bij de energie-omzetting van belang zijn



Figuur 2 Materiaalbewerkingen met lasers en bijbehorende bewerkingsparameters

beëindigen van de bestraling koelt het vloeibare materiaal zo snel af dat er geen - volledige - rekristalisatie optreedt. Het oppervlak heeft dan een amorfe structuur.

Bij de keuze van een laser voor het uitvoeren van materiaalbewerkingen moet men rekening houden met:

- het soort bewerking.

Het werkstuk:

- materiaaleigenschappen;
- geometrie van het werkstuk;
- de afmetingen van het bewerkingsgebied.

De lasereigenschappen:

- golflengte;
- continu, gepulst of "Q-switching";
- (gemiddeld) vermogen.

Lasers die veel worden toegepast voor materiaalbewerkingen zijn gaslasers met CO₂, Helium-Neon en Argon en de vastestoflasers met Neodymium-YAG

(ytrium-aluminium-granaat), Neodymium-glas, robijn [2, 3, 4]

Dit is een indeling naar het lasermedium. De golflengte van de laserstraling is afhankelijk van het medium. Lasers kunnen continue straling of pulserende straling afgeven. Pulserende straling kan worden opgewekt met behulp van een pulserende pompbron of door middel van Q-switching.

In figuur 3 zijn de belangrijkste technische gegevens van de voor de materiaalbewerkingen geschikte lasers vermeld. De toepassingsgebieden van deze lasers zijn:

CO₂ lasers:

- harden van metalen;
- boren en snijden van glas, plexiglas, hout, papier, keramiek;
- snijden en lassen van metalen (met hoogvermogen lasers);
- markeren door projectie.

He-Ne en Ar lasers:

- snijden en boren in dunne metaalfolies en in opgedampte metaalfilms
- Nd-YAG, Nd-glas en robijnlasers:
- punt- en naadlassen van metalen;
- boren en snijden van metaal, keramiek en edelstenen;
- snijden in opgedampte metaalfilms;
- markeren door "schrijven".

De belangrijkste kenmerkende eigenschappen van de hier genoemde lasers zijn:

CO₂ lasers:

- hoog continu vermogen;
- hoge absorptie van de straling bij niet-metalen;
- eenvoudige constructie van de resonator;
- optische componenten van speciale materialen zoals natrium-chloride, germanium en galium-arsenide.

He-Ne lasers:

- laag continu vermogen;
- werkt in grondmode waardoor goede focusering mogelijk is;
- normale optische componenten.

Nd-YAG lasers:

- hoge puls-frequentie mogelijk,
- hoge absorptie van de straling bij metalen;
- normale optische componenten;
- Nd-YAG kristallen zijn duur maar hebben bij normaal gebruik een onbeperkte levensduur.

Nd-glas lasers:

- maximale puls-frequentie laag;
- hoge absorptie van de straling bij metalen;
- normale optische componenten;
- Nd-glas is goedkoop.

Robijn lasers:

- hoge puls energie;
- hoog pulsvermogen;
- hoge absorptie van de straling bij metalen.

Figuur 3 Gegevens van lasers voor materiaalbewerkingen

laser medium	golflengte μm	continue laser	puls laser			Q-switched laser		
		verhogen Watt	gemiddeld vermogen Watt	pulsduur S	puls-frequentie Hz	gemiddeld vermogen Watt	pulsduur S	puls-frequentie Hz
CO ₂ (gas)	10,6 (IR)	50-10 ⁴	5-5 10 ³	10 ⁻⁴ -10 ⁻¹	10 ³	10	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴	1-10 ⁴
HeNe (gas)	0,63 (rood)	10 ⁻²	-	-	-	-	-	-
Ar (gas)	0,5 (groen)	≤15	20	5 10 ⁻⁵	60	-	-	-
Nd-YAG (vaste stof)	1 06 (IR)	≤200	≤10 ³	10 ⁻⁴ -10 ⁻²	≤100	≤30	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁴	≤5 10 ⁴
Nd-glas (vaste stof)	1 06 (IR)	-	≤20	10 ²	1	10	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁵	5
Robijn (vaste stof)	0,69 (rood)	-	≤20	10 ⁻⁴ -10 ⁻²	1	10	5 10 ⁻⁹ -10 ⁻⁸	1

In de literatuur [2, 3] zijn technische en materiaalkundige criteria te vinden die gebruikt kunnen worden bij de keuze van het type laser.

Voor industriële toepassingen geldt naast de technische criteria ook het economische criterium: is toepassing van een laser in vergelijking tot andere bewerkingsmogelijkheden goedkoper?

Voor werkplaatsen, die dienen ter ondersteuning van onderzoekprojecten aan universiteiten, technische hogescholen en onderzoeklaboratoria is het economische aspect moeilijk vooraf te overzien

Wij hebben bewust gekozen voor een laser met ruime toepassingsmogelijkheden. Wij wilden lassen, boren en snijden. Deze bewerkingen moesten uitgevoerd kunnen worden bij materiaaldikten tot 2 à 3 mm. Bovendien wisten we dat voornamelijk metalen – fijnmechanische producten – bewerkt moesten worden.

Met dit laatste gegeven lag een keuze voor een gepulste Nd-YAG laser voor de hand. De materiaaldikten en de gewenste bewerkingen – intensiteit en inwerkingstijd – gaven samen de vereiste pulshoogte en pulslengte. Bij gepulste vaste stof lasers spreken we vaak over het gemiddelde vermogen of kortweg het vermogen:

$$P_{gem} = P_p \cdot t_p \cdot v_p \text{ (Watt)}$$

met P_p pulsvermogen (Watt), t_p pulslengte (S) en v_p pulsherhalingsfrequentie (S^{-1}).

Door bij gelijkblijvend pulsvermogen sessies te doen aan het gemiddelde vermogen, en daarmee aan de maximale pulsherhalingsfrequentie, konden we binnen het beschikbare budget het, aan het slot beschreven, systeem kopen.

Veiligheidsaspecten

Bij het gebruik van lasers moet speciale aandacht besteed worden aan de veiligheid. Daarbij moet vooral gelet worden op: het hoogspanningsgevaar, het stralingsgevaar en het gevaar dat vrijkomende gassen en dampen met zich meebrengen.

In verband met het hoogspanningsgevaar moeten alle deuren en panelen die toegang geven tot delen van de installatie waarin hoogspanning aanwezig is voorzien zijn van deurschakelaars, die in een onderbrekingscircuit zijn opgenomen. Bovendien moeten blootliggende metalen delen van het hoogspanningscircuit met behulp van een ontladstaf met aarde verbonden worden voordat men onderhouds- of reparatiewerkzaamheden gaat verrichten aan dat deel van de installatie. Het stralingsgevaar is afhankelijk van de golflengte van het laserlicht en het – puls- vermogen van de laser. Straling van CO_2 en Nd-YAG lasers die gebruikt worden voor materiaalbewerkingen is alleen ongevaarlijk als de intensiteit van de straling beneden bepaalde waarden blijft.

In Nederland zijn er nog geen wettelijke veiligheidsnormen op het gebied van laserstraling. Aan de TH-Twente hanteren wij de duitse norm [12]. Afhankelijk van de golflengte van het licht, de pulslengte en het pulsvermo-

gen worden lasers ingedeeld in gevaarclassen

Bij elke klasse behoren bepaalde veiligheidsmaatregelen.

Door een volledige afscherming van de laserbundel kan elke lasergereedschapsmachine tot de laagste gevaar-klasse teruggebracht worden.

Wij hebben bewust gekozen voor een zogenaamd open systeem waarbij de bewerkingsplek niet is afgeschermd.

Daarbij is het dragen van veiligheidsbrillen verplicht.

Men moet zich steeds goed realiseren dat de straling van CO_2 - en Nd-YAG lasers *onzichtbaar* is.

Bij sterk wisselende werkstukafmetingen zal een totale afscherming vaak niet snel en goed te realiseren zijn.

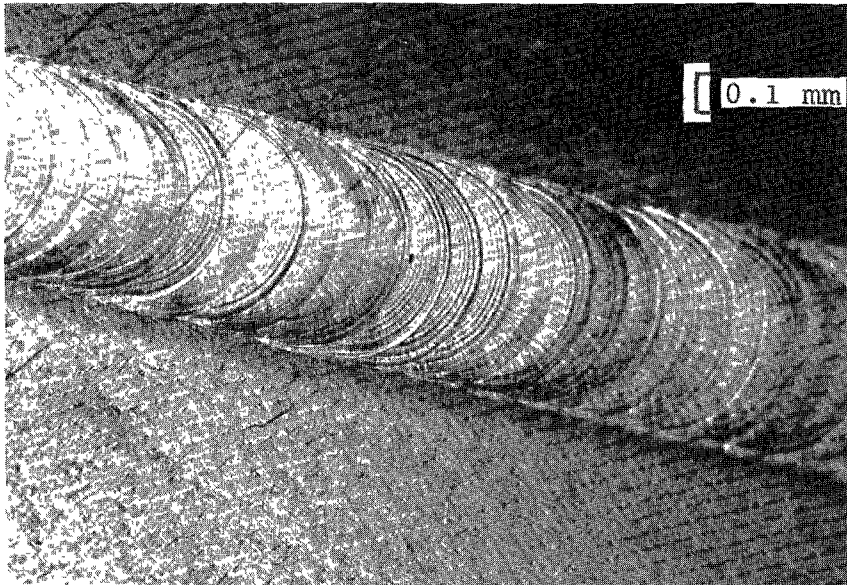
Het gevaar van bij laserbewerkingen vrijkomende gassen en dampen moet bij alle andere veiligheidsmaatregelen niet vergeten worden. Een goede afzuiging is met name bij boor- en snijbewerkingen onmisbaar.

Figuur 4 toont de laseropstelling in gebruik.



Figuur 4 De lasergereedschapsmachine in gebruik aan de TH-Twente. Links-midden, horizontaal, behuizing Nd-YAG laser tegen bok met verticale grofinstelling. Daarboven: faciliteit schut/snijgas. Daaronder o.m. tank met koeleenheid. Midden voedingskast. Rechts CNC-besturing.

Speciale optiek maakt het mogelijk ook tijdens het bewerken het bewerkingsgebied waar te nemen



Voorbeeld laserlassen.
Lasspoot breed 0,5 mm bij twee strippen
van AISI-302, dik 0,1 mm.

Lassen

Bij het lassen met behulp van lasers wordt, evenals bij andere lasmethoden, het noodzakelijke smeltbad gemaakt door de te lassen materialen aan het oppervlak te verhitten.

De bewerkingstijd is afhankelijk van de intensiteit van de laserstraling, de warmtecapaciteit, de thermische geleidbaarheid, de smeltemperatuur en de smeltwarmte van het materiaal.

Bij een hoge intensiteit van de bron kan het oppervlak tot boven de verdampingstemperatuur verhit worden. Bij het lassen van dunne materialen is verdampen van materiaal ongewenst. Voor een korte bewerkingstijd is het noodzakelijk dat het oppervlak tot dicht bij de verdampingstemperatuur verhit wordt.

Bij het lassen van dikke materialen wordt vaak een geringe verdamping geaccepteerd omwille van een hogere bewerkingssnelheid. Plaatselijk komt dan de temperatuur boven het verdampingspunt. Eventueel kan de verdamping door toevoeging van materiaal gecompenseerd worden.

Bij het lassen van dunne materialen – dikte $< 0,1$ mm – met behulp van de laser is de breedte van de lasnaad groter dan de indringdiepte. De warmtegeleiding vindt dan in axiale richting plaats, figuur 5.

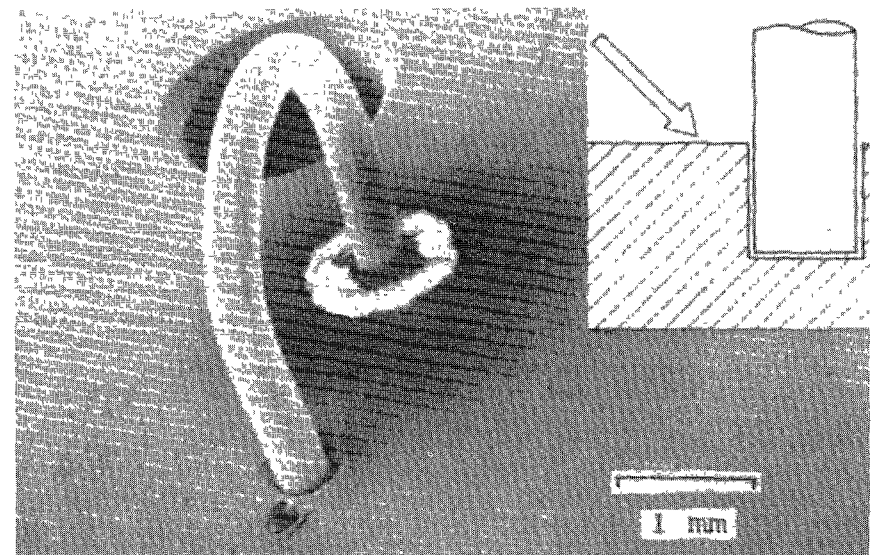
Bij het lassen van dikke materialen wordt het smeltbad gevormd door radiale warmtegeleiding vanuit een "geboord" gat, figuur 6.

In de praktijk worden vaak lassen gemaakt waarbij zowel axiale als radiale warmtegeleiding optreedt.

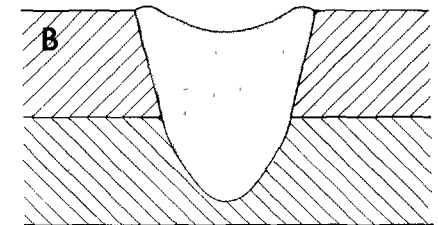
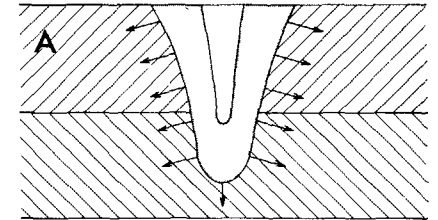
Wanneer men niet vrij is in de materiaalkeuze van de te verbinden onderdelen kan vaak toch een goede verbinding tot stand gebracht worden door de keuze van een geschikt toevoegmateriaal [13] de aanpassing van de constructie van de las of de keuze van de lasmethode

Een voorbeeld van aanpassing van de constructie en keuze van de lasmethode is de verbinding van een koperdraad aan een massief stuk niobium,

Figuur 7 Een coaxiale, semi-rigide kabel is door een blokje niobium gestoken en teruggebogen in een potgat. Onder 45° wordt, dóór het niobium heen, onder in het gat, met de koperdraad een verbinding gemaakt die bestand blijkt tegen herhaald koelen tot 4 K



Figuur 5 Las gemaakt door middel van axiale warmtegeleiding



Figuur 6 Lasproces met radiale warmtegeleiding

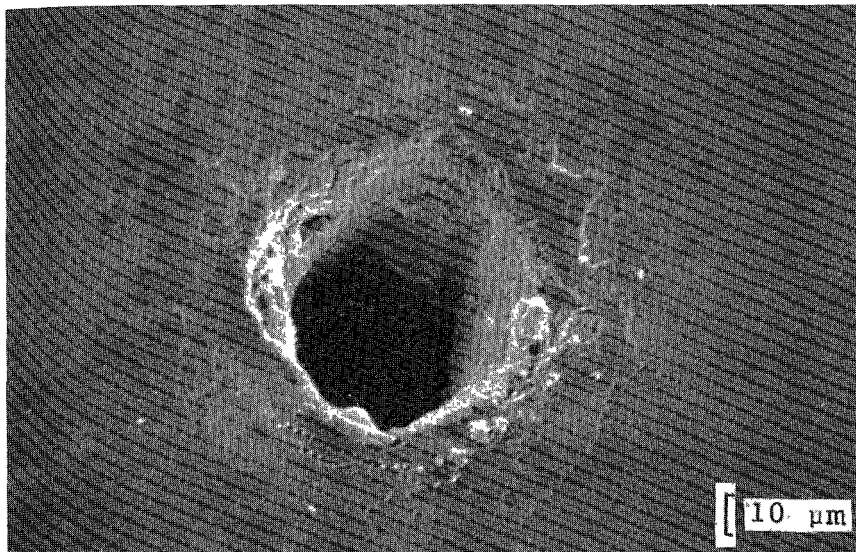
A. Bewerkingsgat en smeltzone tijdens het proces.

B. Voltwoide las met put ten gevolge van het materiaalverlies tijdens het lassen.

zie figuur 7; waarbij men moet bedenken dat het verdampingspunt van koper praktisch gelijk is aan het smeltpunt van niobium.

Boren

Bij boren met behulp van lasers wordt er zoveel energie aan het materiaal toegevoerd dat het materiaal plaatselijk tot boven het verdampingspunt verhit wordt.



Voorbeeld laserboren
Materiaal silicium, dik 0,3 mm Gatdiameter 60 μm , gemaakt zonder schutgas en zonder "contouring".

Binnen 0,5–1 μs na het begin van de puls ontstaat aan het oppervlak een dampfilm. Zodra de temperatuur van deze dampfilm een paar honderd graden boven de verdampingstemperatuur ligt neemt de absorptie toe van < 10% tot 50% of meer [5]. Na enkele microseconden is de absorptie stationair en is er een boorgat ontstaan.

In het bewerkingsgat is zowel smelt als gas aanwezig. Indien er door verdamping van materiaal in het bewerkingsgat een voldoende hoge druk ontstaat wordt een deel van de smelt met kracht uit het gat geblazen. Het verband tussen de vermogensdichtheid in de bundel en de boorsnelheid is niet lineair [6]. Het rendement van het boorproces – de boorsnelheid per eenheid van vermogensdichtheid – vertoont een optimum dat voor de meeste metalen in het gebied van 5 tot 50 MW/cm^2 ligt.

Beneden het optimum zijn de warmtegeleiding en de reflectieverliezen overheersend.

Bij vermogensdichtheden boven het optimum treden effecten op zoals defocusering van de bundel in de damp of door de laser geïnduceerde doorslag in de lucht. Daardoor nemen het boorrendement en de reproduceerbaarheid van het boorproces af.

Tijdens het boren van het gat moeten de dampdruk en de temperatuur van de wand van het gat voldoende hoog blijven

Bij het boren met korte pulsen worden in het algemeen minder spanningen geïntroduceerd dan bij het boren met langere pulsen [7].

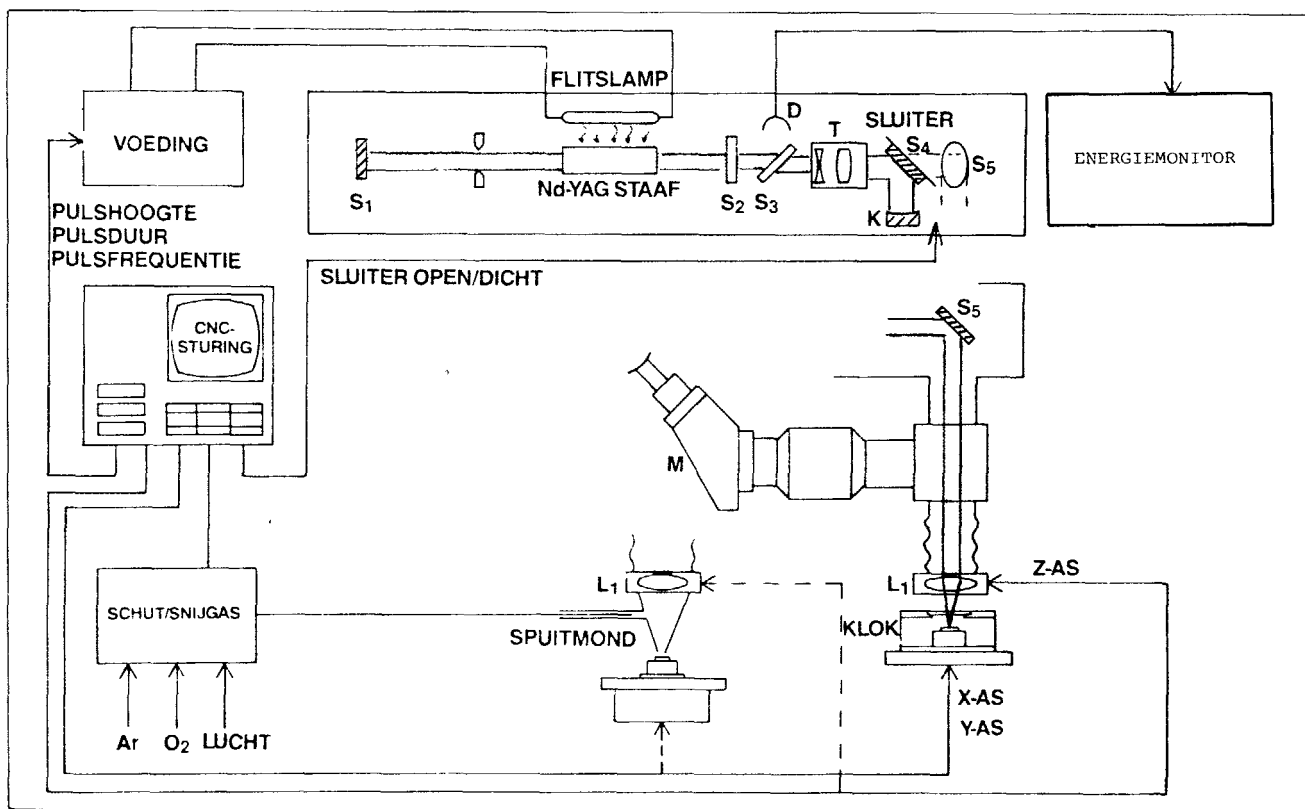
Bij boren met te hoge intensiteit van de bundel ontstaan er schokgolven, die in het gebied rond het boorgat defecten kunnen veroorzaken [8].

De vorm van het boorgat is afhankelijk van het verloop van het laservermogen als functie van de tijd [8]

Door tijdens het boren de bundel een kleine cirkel te laten beschrijven kan de vorm van de dwarsnede van het gat verbeterd worden.

In veel gevallen kan de boorsnelheid verhoogd worden door via een speciale spuitmond lucht of zuurstof in het gat te blazen, zie figuur 9.

Figuur 8 De lasergereedschapsmachine schematisch



Snijden en perforeren

Bij snijden met behulp van lasers wordt evenals bij boren materiaal verwarmd tot boven het verdampingspunt.

De absorptie van laserstraling is sterk afhankelijk van de temperatuur van het materiaal. Voor een effectief snijproces moet daarom bij pulslasers de puls-frequentie hoog gekozen worden. Bij materialen met slechte warmtegeleiding moet de verplaatsingssnelheid niet te hoog gekozen worden.

Ook bij snijden kan een spuitmond de kwaliteit en het rendement van de laserbewerking verbeteren.

Wordt bij het snijden van metalen zuurstof als snijgas gebruikt dan zal de meeste warmte geleverd worden door het verbrandingsproces. De laser heeft dan tot taak het materiaal plaatselijk tot boven de ontbrandingstemperatuur te verhitten.

Door het gebruik van inertgas tijdens het snijproces kunnen ongewenste reacties voorkomen worden.

Lasers zijn zeer geschikt voor het snijden van brosse materialen zoals aluminiumoxide.

Ten opzichte van ultrasoonboren en bewerking met diamant gereedschap heeft snijden met een laser het voordeel dat de bewerking sneller is en koelmiddelen overbodig zijn. Verontreiniging van het werkstuk door koelmiddelen wordt hierdoor vermeden.

Naast het snijden is het *perforeren* een veel gebruikte techniek om uit een basisplaat aluminiumoxide kleinere rechthoekige plaatjes te maken ten behoeve van de zogenaamde dikke-film-techniek.

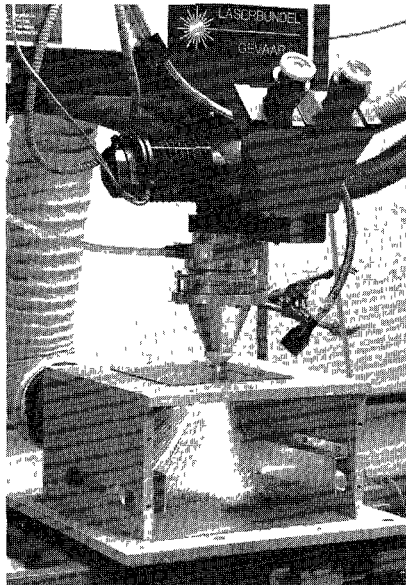
Bij het perforeren wordt in het materiaal een rij kleine gaatjes geboord tot 20% à 70% van de dikte van het materiaal.

Het materiaal laat zich daarna gemakkelijk breken langs de lijn waarop deze gaatjes geboord zijn. Aan de niet bestraalde kant ontstaat dan een scherpe breuklijn.

Snijden in op dragers aangebracht films

Doordat met de laser energie in plaats en tijd zeer nauwkeurig gedoceerd kan worden is de laser bijzonder geschikt voor het snijden in op dragers aangebrachte films.

Het trimmen van metaalfilmweerstand met behulp van laser vindt reeds op uitgebreide schaal toepassing.



Figuur 9 De verticaal gerichte laserkop met instelmicroscoop en spuitmond tijdens een snijbewerking. De in XY-richtingen bewegende werkstuktafel is geschikt te maken voor afzuigen - foto - en voor werken met schutgas. Fijninstellen in Z-richting geschiedt door verplaatsing van lens L1 - figuur 8 - met behulp van de stappenmotor; de lens is in de spuitmond ingebouwd

Maar ook andere, op al of niet vlakke substraten, aangebrachte films kunnen met een laser goed bewerkt worden.

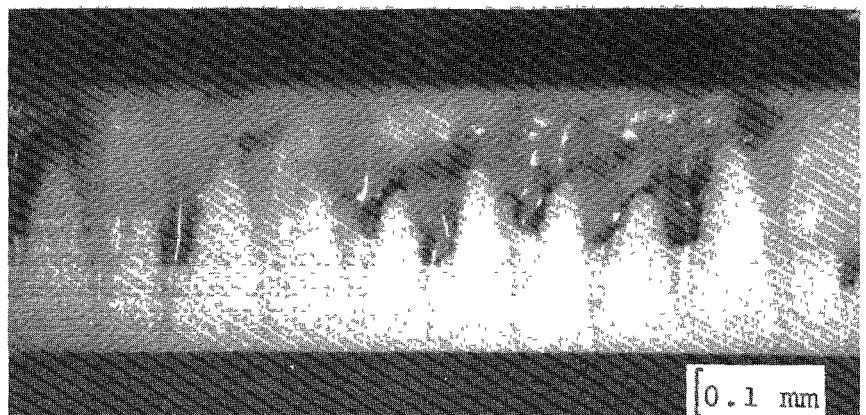
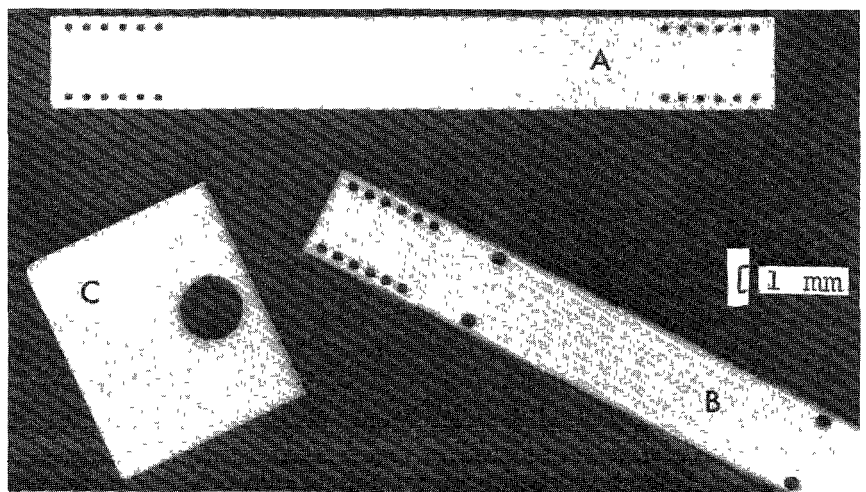
In vergelijking met etsen komen de volgende handelingen te vervallen: zijn er minder processtappen; fotore-sist aanbrengen, belichten, ontwikkelen en etsen.

Alleen wanneer aan de strakheid van de randen van het patroon zeer hoge eisen gesteld worden is een etsproces te verkiezen boven bewerking met een gepulste laser.

De lasergereedschapsma-chine

Het Fijnmechanische Fysische Werk-plaatsgebied - FFW - beschikt sinds september 1981 over een lasergereed-schapsmachine bestaande uit een Nd-YAG laser, numerieke besturing, werk-stuktafels en een gassyteem voor schutgas en snijgas.

Voorbeeld laserboren met "contouring" Materiaal aluminiumoxyde, dik 0,6 mm. Gatdiameters: A 0,5 mm, B 0,5 en 0,8 mm, C 2,5 mm. Plaatjes zelf verkregen door perforeren en breken; tijdens het perforeren is aan de bewerkingskant verglazing opgetreden - foto onder -.



Omdat researchwerkplaatsen aan universiteiten en technische hogescholen een zeer gevarieerd werkpakket hebben is er naar gestreefd een zo veelzijdig mogelijke lasergereedschapsmachine aan te schaffen.

Op basis van het destijds - voorjaar 1980 - bekende werkpakket en de verwachte ontwikkelingen is een eisenpakket opgesteld. Binnen het beschikbare budget is getracht aan een zo groot mogelijk deel van deze eisen in volgorde van prioriteit te voldoen. Randvoorwaarde was daarbij dat uitbreiding van het systeem later mogelijk moest zijn.

De Nd-YAG laser is het hart van de machine.

Zowel het optisch systeem als de voeding van de laser zijn modulaar opgebouwd; daardoor zijn verwijzingen en uitbreidingen relatief eenvoudig uit te voeren.

Dit deel van de installatie is ontworpen door de firma Lasag. De numerieke besturing en de werkstuktafels zijn door Lasag bij andere fabrikanten gekocht en met de laser tot een gereedschapsmachine samengebouwd. Het gassysteem is binnen de THT gemaakt en aan het systeem toegevoegd.

Enige specificaties van de laser zèlf geven een nadere indruk:

Type: LAK300. Elektrische voeding, resp.: LV310, -320 en -330. Eén Nd-YAG staaf $\frac{1}{4} \times 6$ inch. Eén flitslamp 7F6.

Golflengte 1,06 m. Gemiddeldvermogen, resp.: 40-, 40- en 50 W

Pulsvermogen resp.: 0,1 tot 0,7-, 0,6 tot 6,0- en 1,6 tot 16 kW.

Puls lengte, resp.: 0,1 tot 20-, 0,1 tot 20- en 0,1 tot 30 ms.

Pulsherhalingsfrequentie: 0,1 tot 100 Hz.

Inmiddels is de lasergereedschapsmachine gemodificeerd; het gemiddeldvermogen is nu 160 W en het maximale pulsvermogen is 20 kW.

Een verklaring van het fysische principe van de laserwerking viel buiten het kader van de lezing. In de literatuur [2, 11] zijn toelichtingen op dit principe te vinden.

Aan de hand van figuur 8 wordt hier de werking van de lasergereedschapsmachine globaal beschreven.

De Nd-YAG staaf wordt met behulp van een flitslamp optisch gepompt. De staaf en de lamp bevinden zich ieder op één van de brandassen van een elliptische reflector.

Uit de eindvlakken van de Nd-YAG staaf komt een evenwijdige bundel straling met een golflengte van 1,06 μm . De diameter van deze bundel is 6 mm.

De spiegel S1 reflecteert de laserstraling volledig; de spiegel S2 - uitkoppelspiegel - reflecteert 70% van het laserlicht.

De spiegel S3 is voor 95% doorlatend. Met deze spiegel wordt 5% van de energie van de uit S2 tredende bundel naar de detector D afgebogen.

De door D gemeten energie wordt op een digitaal display weergegeven.

Na het passeren van S3 gaat de bundel door de bundelverbreder T. Na het passeren van de bundelverbreder is de bundeldiameter 1,2, 2 of 3 groter geworden.

Spiegel S4 is op een sluiters geplaatst. Als de sluiters gesloten is wordt met behulp van S4 de laserbundel afgebogen naar het koellichaam K. Is de sluiters geopend dan wordt de bundel met behulp van spiegel S5 (90°) naar de werkstuktafel gebogen.

Met de positieve lens L1 wordt de evenwijdige bundel op de - vaste - brandpuntsafstand van L1 gefocuseerd en wordt door het verschuiven van L1 een beweging van het brandpunt in de Z-richting verkregen.

Het bewerkingsgebied kan met behulp van de microscoop M worden bekeken. Een - niet getekende - gecoate 90° spiegel, doorlatend voor infrarood maar reflecterend voor zichtbaar licht, in "serie" met een infrarood stopfilter maakt het mogelijk te blijven waarnemen tijdens bewerkingen.

Voorbeeld lasersnijden.

Opdampmasker van roestvast staal, dik 0,1 mm; 1x gesneden 2x nabewerkt.

Bij het uitvoeren van langdurige bewerkingen wordt de microscoop vervangen door een TV-camera. Op een monitor kan dan de bewerking gevolgd worden.

Vanuit de CNC-besturing gaan commando's naar:

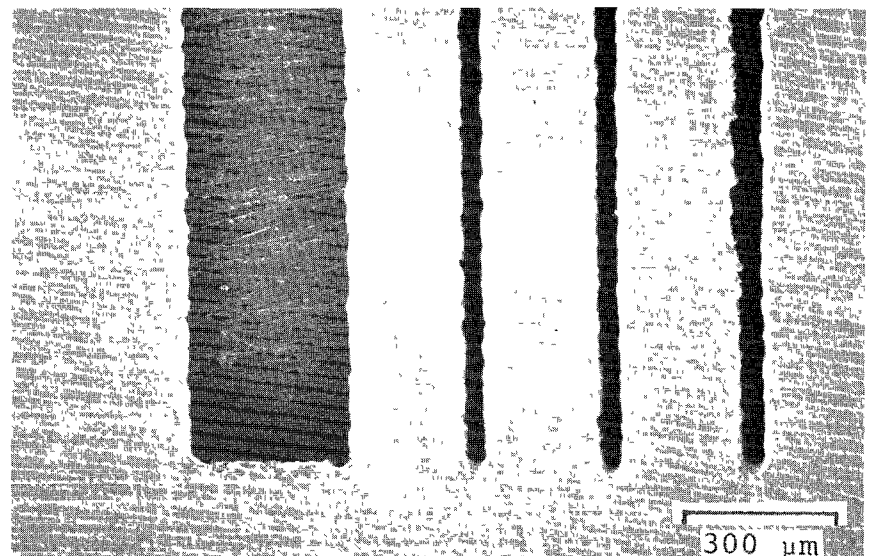
- stappenmotoren van de X-Y tafels voor de verplaatsing van het werkstuk;
- de stappenmotor van de Z-verplaatsing van de positieve lens voor verandering van de focusinstelling;
- het gassysteem voor het regelen van de gastoevoer;
- de sluiters voor het schakelen van de laserbundel;
- de voeding van de flitslamp voor het instellen van de laserparameters: vermogensdichtheid, pulslengte en pulsherhalingsfrequentie.

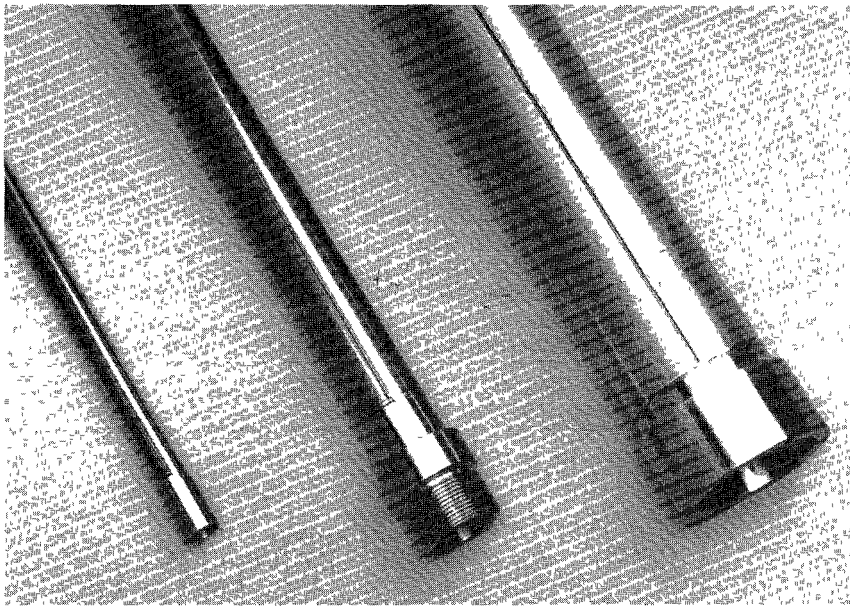
Doordat de focusinstelling en de laserparameters met behulp van de computer gewijzigd kunnen worden is het mogelijk in een programma meerdere bewerkingen uit te voeren bijvoorbeeld boren en lassen. Dit maakt de lasergereedschapsmachine tot een flexibel produktiemiddel.

Voor het lassen in een schutgas atmosfeer wordt het werkstuk in een klok geplaatst. De klok wordt met behulp van een voorvacuumpomp leeggepompt waarna het schutglas in de klok gelaten wordt.

De bovenkant van de klok is voorzien van een glasvenster. De laserbundel kan via dit venster op het werkstuk komen.

Bij het boren en snijden van materialen kan gebruik gemaakt worden van een spuitmond, zie figuur 9.





Het gebruik van een spuitmond heeft twee voordelen. De bewerkingsnelheid wordt groter en vrijkomend materiaal wordt van het optische systeem weggeblazen, zodat vervuiling wordt tegengegaan.

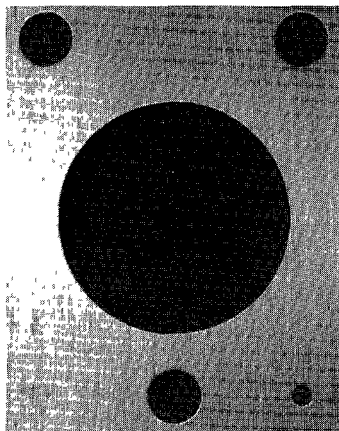
Vervuiling van het optische systeem door opspattend materiaal en vrijkomende damp is één van de ernstigste bedreigingen voor de laser.

Bij vervuiling van de optische componenten wordt er meer laserstraling door deze componenten geabsorbeerd.

De temperatuur van de componenten wordt vooral aan de absorberende oppervlakken hoger. Het vuil brandt in en de componenten gaan kapot of worden door het steeds groter wordende transmissieverlies onbruikbaar.

Voorbeeld lasersnijden

Plaatje roestvast staal, dik 0,5 mm. Producten als dit kunnen met de lasergereedschapsmachine snel en nauwkeurig worden gemaakt.



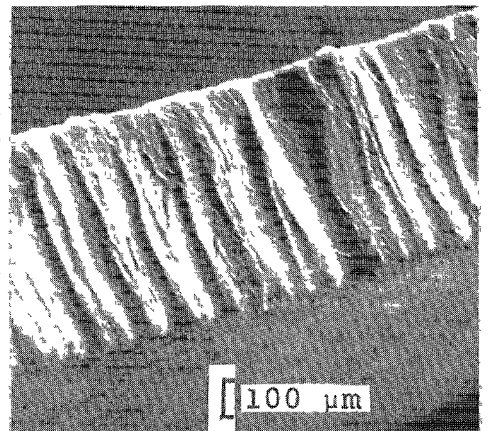
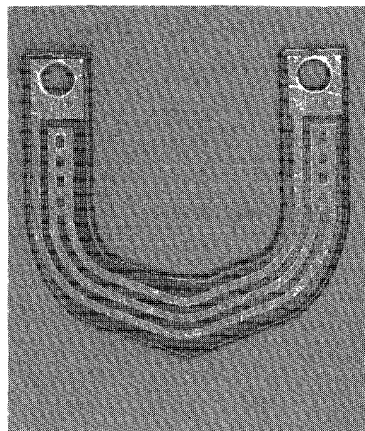
Voorbeeld laserlassen.

Dunwandige titaanpijpen Ø 44 mm wanddikte 50 µm resp. Ø 22 mm-50 µm en Ø 10 mm-25 µm, gelast aan titaanflenzen. (De langснаad van d pijpen is gemaakt met een weerstands-lasmethode).

Aan de TH-Twente is beschikbaar het "Technisch rapport 1/1983", "Materiaalbewerking met een gepulste Nd-YAG laser" door M.H.H. van Dijk, M.H. Weggen en J.N.H. Kwakkestein. Geïnteresseerden vinden daarin de voorgaande stof, echter met theoretische onderbouwingen met meerdere voorbeelden van verrichte bewerkingen.

Voorbeeld Lasersnijden.

Geëmailleerde, ijzeren strip dik 0,6 mm, met d.m.v. zeefdrukken aangebrachte verwarmingselement Rechts detail snijrand.



Literatuur

- [1] Troelstra, H.M.: Realisatie van een continue CO₂ laser opstelling voor oppervlaktebewerkingen; D-verslag afdeling der Werktuigbouwkunde, TH Twente (1983) vakgroep Fijnmechanische Techniek
- [2] Bimberg, D., e a Laser in Industrie und technik; Technische Akademie Erlingen, ISBN 3-88146-110-8
- [3] Rosenberger, D.: Technische Anwendungen des Lasers; Springer Verlag, (1975) ISBN 3-540-06533-4.
- [4] Munk, E C Toepassing van lasers als vormgevend gereedschap; De Constructeur (1978) 60.
- [5] Allmen, M. von, P Blazer, K Affolter and E Sturmer Absorption phenomena in metal drilling with Nd-lasers, IEEE J Quantum Electron QE 14, No. 2 (1978) 85
- [6] Allmen, M von, Laser drilling velocity in metals, J. of Appl. Physics 47, No 12 (1976) 5460.
- [7] Peak, U.C. and F.P. Gagliano Thermal analysis of laser drilling process; IEEE J. Quantum Electron. QE 8, No 2 (1972) 112
- [8] Kocher, E, L Tschudi, J. Steffen and G Herziger: Dynamics of laser processing in transparent media, IEEE J. Quantum Electron. QE 8, No 2 (1972) 120
- [9] Peak, U.C. and A. Kestenbaum Thermal analysis of thin-film micromachining with lasers; J. of Appl. Physics 44, No. 5 (1973) 2260
- [10] Ghez, R.A. and R A Laff Laser heating and melting of thin films on low-conductivity substrates, J of Appl Physics 46, No. 5 (1975) 2103.
- [11] Beelen, R van De werking van de laser met enkele toepassingen, Mikroniek 23, No. 3 (1983) 7
- [12] Holzinger, G., W Kroy, P Schreiber and E Sutter Schutz vor Laserstrahlen, Nr 14 Schriftenreihe Arbeitsschutz, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung Dortmund, ISBN 3-88314-026-0.
- [13] Montanarni, M. and J Steffen Investigations on Laser Welding; IEEE J. Quantum Electron. QE 12, No 2 (1976) 126.