

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
16 mai 2002 (16.05.2002)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 02/38325 A1

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : **B23K 26/12**
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR01/03469
- (22) Date de dépôt international :
8 novembre 2001 (08.11.2001)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
00/14407 9 novembre 2000 (09.11.2000) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ ANONYME À DIRECTOIRE ET CONSEIL DE SURVEILLANCE POUR L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDES GEORGES CLAUDE** [FR/FR]; 75, quai d'Orsay, F-75321 Paris Cedex 07 (FR).
- (72) Inventeur; et
(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **MATILE, Olivier** [FR/FR]; 6/12, rue Achille Martinet, F-75018 Paris (FR).
- (74) Mandataire : **PITTIS, Olivier**; L'Air Liquide SA, 75, quai d'Orsay, F-75321 Paris Cedex 07 (FR).
- (81) États désignés (national) : AU, BR, JP, NZ, US.
- (84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- Publiée :
— avec rapport de recherche internationale
- En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.



(54) Title: HIGH-SPEED LASER CUTTING METHOD WITH ADAPTED GAS

(54) Titre : PROCÉDE DE COUPAGE LASER A HAUTE VITESSE AVEC GAZ ADAPTE

(57) Abstract: The invention concerns a method for cutting a metal or metal alloy workpiece using at least a laser beam and at least an assist gas of said laser beam wherein the assist gas consists of a mixture of helium and argon and/or nitrogen or of nitrogen and oxygen and the cutting speed is faster than 15 m/min. The thickness of the workpiece to be cut ranges between 0.5 mm and 10 mm, preferably more than 0.5 mm. The workpiece to be cut is selected among plates, metal sheets and tubes. The laser beam is delivered by a CO₂ type or YAG: Nd laser device.

(57) Abrégé : Un procédé de coupage d'une pièce en métal ou en alliage métallique par mise en oeuvre d'au moins au faisceau laser et d'au moins un gaz d'assistance dudit faisceau laser dans lequel le gaz d'assistance est formé d'un mélange d'hélium et d'argon et/ou d'azote ou d'azote et d'oxygène et en ce que la vitesse de coupe est supérieure à 15 m/min. L'épaisseur de la pièce à couper est comprise entre 0.5 mm et 10 mm, de préférence supérieure à 0.5 mm. La pièce à couper est choisie parmi les plaques, les tôles et les tubes. Le faisceau laser est délivré par un dispositif laser de type CO₂ ou de type Nd:YAG.

WO 02/38325 A1

PROCEDE DE COUPAGE LASER A HAUTE VITESSE AVEC GAZ ADAPTE

La présente invention concerne un procédé de coupage par faisceau laser à haute vitesse utilisant une lentille pour focaliser le faisceau laser et un gaz d'assistance du faisceau laser.

En découpe laser, pour des vitesses faibles de découpe, c'est-à-dire typiquement inférieures à 15 m/min, il est connu que le profil de découpe est simple et l'évacuation du métal fondu se fait dans l'axe du faisceau.

Cependant, pour des découpes réalisées à vitesse plus élevée, c'est-à-dire au-delà de 15 m/min, il a été mis en évidence des apparitions de plasma gazeux au niveau de la saignée de coupe en cours de formation, limitant les performances de découpe sur des tôles de fines épaisseurs, c'est-à-dire inférieures à 2 m/min.

Ces deux types de phénomènes sont notamment décrits dans les documents US-A-5,578,228, DE-A-41123716 ou *High Speed Laser Cutting of Thin Metal Sheets*, K.U. Preissig et, Fraunhofer Institut für Lasertechnik, SPIE Vol. 2207, 1996.

La formation de ce plasma s'explique par les mouvements induits dans le profil de découpe. En effet, les mouvements hydrodynamiques qui sont générés pendant la coupe provoquent une évacuation du métal fondu sur l'arrière du profil de découpe.

Dès lors, le profil de découpe peut être considéré comme étant formé de deux parties, à savoir une partie non débouchante qui s'apparente à un capillaire de vapeur comme dans le cas des procédés de coupe à forte densité d'énergie, et une partie débouchante par laquelle s'effectue l'évacuation du métal fondu.

On peut donc faire l'analogie entre le capillaire formé en soudage à forte densité d'énergie, par exemple en soudage plasma en mode keyhole (soudure débouchante) et le capillaire formé en soudage laser à haute vitesse.

En effet, du fait des puissances spécifiques élevées, la réalisation de la soudure par faisceau laser repose sur des phénomènes de fusion localisée de la matière au point d'impact du faisceau où il se forme un capillaire dit "keyhole" rempli de vapeurs métalliques ionisées à haute température. Les parois de ce capillaire sont formées de métal en fusion.

Ce capillaire a un rôle important car il permet de transférer l'énergie directement au cœur du matériau.

Le bain de fusion ainsi formé et entretenu, et est déplacé entre les pièces à assembler.

Le métal se solidifie après le passage du faisceau assurant ainsi l'assemblage des pièces .

Dit autrement, l'apparition du capillaire s'accompagne de la formation d'un plasma de vapeurs métalliques, c'est-à-dire d'un milieu gazeux ionisé, électriquement neutre et à températures élevées.

Ce plasma de vapeurs métalliques résulte d'un couplage efficace entre le faisceau laser et la pièce.

Ce type de plasma absorbe une faible quantité de l'énergie incidente et n'engendre pas de modification notable de la largeur et de la profondeur du cordon de soudure.

Dans certaines conditions, notamment de puissance, de vitesse, d'épaisseur, de nature du gaz et de configuration, le plasma de vapeurs métalliques transfère une partie de son énergie au gaz de protection et il y a un risque de formation d'un plasma du gaz de protection qui peut, dans certains cas, absorber l'énergie du faisceau laser, ce qui engendre un cordon de soudure plus large en surface et beaucoup moins pénétré dans le matériau.

Le problème qui se pose alors est alors d'éviter la formation d'un plasma du gaz de protection.

Pour ce faire, il a déjà été proposé d'utiliser de l'hélium qui est réputé être le gaz le plus approprié pour limiter l'apparition de ce type de plasma.

Cependant, ce gaz présente l'inconvénient par rapport à d'autres gaz d'avoir une masse volumique relativement faible, ce qui limite l'effet cinétique et conduit à utiliser des pressions de découpe relativement fortes .

Dès lors, le but de la présente invention est d'améliorer les procédés de coupage par faisceau laser connus en proposant un procédé de coupage laser, dans lequel l'utilisation d'un mélange gazeux judicieux permet de limiter la formation dudit plasma indésirable et d'améliorer ainsi l'énergie cinétique du flux gazeux de manière à permettre un coupage par faisceau laser à des vitesses élevées, typiquement supérieures à 15 m/min.

La présente invention concerne alors un procédé de coupage d'une pièce en métal ou en alliage métallique par mise en œuvre d'au moins un faisceau laser et d'au moins un gaz d'assistance dudit faisceau laser, caractérisé en ce que le gaz d'assistance est formé d'un mélange d'hélium et d'argon et/ou d'azote ou d'azote et d'oxygène et en ce que la vitesse de coupe est supérieure à 15 m/min.

Selon le cas, le procédé de l'invention peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- la vitesse de coupe est supérieure à 18 m/min, de préférence supérieure à 20 m/min, préférentiellement supérieures à 25 m/min.

- la vitesse de coupe est inférieure à 300 m/min.

- le gaz d'assistance est formé d'un mélange d'hélium et d'argon, d'hélium et d'azote ou d'azote et d'oxygène.

- le gaz d'assistance est constitué d'un mélange d'hélium et d'argon contenant de 20 % à 80 % (en vol.) d'hélium et le reste étant de l'argon, de préférence 25 à 75 % d'hélium.

- le gaz d'assistance est formé d'un mélange d'hélium et d'azote contenant de 20 % à 80 % (en vol.) d'hélium et le reste étant de l'azote, de préférence 25 à 75 % d'hélium.

- le gaz d'assistance est formé d'un mélange d'azote et d'oxygène contenant de 0,5 % à 40 % (en vol.) d'oxygène et le reste étant de l'azote, de préférence 1 à 20 % d'oxygène.

5 - l'épaisseur de la pièce à couper est comprise entre 0.05 mm et 5 mm, de préférence supérieure à 0.1 mm.

- la pièce à couper est choisie parmi les plaques, les tôles et les tubes.

- le faisceau laser est délivré par un dispositif laser de type CO₂ ou de type Nd:YAG.

10 - on utilise une buse de diamètre interne compris entre 0,5 mm et 10 mm, de préférence entre 1 mm et 3 mm.

- le moyen optique permettant de focaliser le faisceau laser est choisi parmi les lentilles, les miroirs et leurs combinaisons, de préférence une lentille.

15 - on utilise une source laser comprise entre 500 et 6000 Watt de puissance.

- la pièce à couper est choisie parmi les plaques, les tôles et les tubes.

20 La présente invention va maintenant être mieux comprise grâce aux explications suivantes, données à titre illustratif mais non limitatif.

Dans le cadre de l'invention, il a été mis en évidence que, pour remédier ou minimiser la formation indésirable d'un plasma du gaz de protection, il faut utiliser un gaz à fort potentiel d'ionisation (en eV), c'est-à-dire contenant préférentiellement de l'hélium. Les potentiels d'ionisation des
25 différents gaz sont donnés dans le tableau I ci-après.

Tableau I : Potentiels d'ionisation des gaz

Gaz	Potentiels d'ionisation (en eV)
Hélium	24,46
Argon	15,68
Azote	15,51
Hydrogène	15,43
Oxygène	12,50

Toutefois, en s'arrêtant à ce critère, l'hélium serait effectivement le meilleur des gaz à utiliser.

Or, comme susmentionné, cela ne suffit pas car l'hélium présente l'inconvénient d'avoir une masse volumique relativement faible, ce qui limite l'effet cinétique et conduit à utiliser des pressions de découpe relativement fortes.

Dès lors, l'inventeur de la présente invention a mis en évidence que l'autre paramètre à prendre en compte pour la découpe laser à haute vitesse est la masse volumique du gaz car, pour de fines épaisseurs (typiquement de 0,1 mm à 2 mm), l'aspect expulsion de métal est prépondérant par rapport à l'aspect exothermique car, du fait des vitesses de coupage relativement élevées, le temps de réaction est limité.

En effet, tout d'abord, si l'on considère l'énergie cinétique (E_c) du flux gazeux utilisé lors de la découpe laser, celle-ci est donnée par la formule (1) suivante :

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (1)$$

où : ρ est la masse volumique du gaz (kg/m^3) et V^2 est le carré de la vitesse dudit gaz (en m/s).

Or, la vitesse est fonction du débit (q) et du diamètre de la buse (D) utilisée pour expulser le gaz de coupe, soit :

$$V = q / (\pi \cdot (D^2 / 4)) \quad (2)$$

Il en découle alors l'équation (3) suivante :

$$E_c = f (\rho , q^2 , 1/D^4) \quad (3)$$

En d'autres termes, l'énergie cinétique du gaz dépend du débit donc
5 la pression de gaz, du diamètre de la buse et de la masse volumique du gaz.

Pour augmenter les vitesses de coupe, il faut donc une masse
volumique importante.

Les masses volumiques, à 15°C et 1,013 bar, des différents gaz du
tableau I sont données dans le tableau II ci-après.

10

Tableau II : Masses volumiques des gaz

Gaz	Masses volumiques des gaz (en kg/m ³)
Hélium	0,169
Argon	1,69
Azote	1,17
Hydrogène	0,085
Oxygène	1,35

Il ressort donc des tableaux I et II que les mélanges particulièrement
adaptés au coupage par faisceau laser à haute vitesse (> 15 m/s) sont les
15 mélanges d'hélium et d'argon et/ou d'azote qui allient le potentiel d'ionisation
élevé de l'hélium aux masses volumiques des gaz importantes de l'argon
et/ou l'azote.

De façon moins préférentielle, des mélanges d'azote et d'oxygène
pourraient aussi convenir.

20

REVENDICATIONS

1. Procédé de coupage d'une pièce en métal ou en alliage métallique
5 par mise en œuvre d'au moins un faisceau laser et d'au moins un gaz
d'assistance dudit faisceau laser, caractérisé en ce que le gaz d'assistance
est formé d'un mélange d'hélium et d'argon et/ou d'azote ou d'azote et
d'oxygène et en ce que la vitesse de coupe est supérieure à 15 m/min.
- 10 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la vitesse
de coupe est supérieure à 18 m/min, de préférence supérieure à 20 m/min.
3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce
que la vitesse de coupe est inférieure à 300 m/min.
- 15 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce
que le gaz d'assistance est formé d'un mélange d'hélium et d'argon, d'hélium
et d'azote ou d'azote et d'oxygène.
- 20 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce
que le gaz d'assistance est constitué d'un mélange d'hélium et d'argon
contenant de 20 % à 80 % (en vol.) d'hélium et le reste étant de l'argon, de
préférence 25 à 75 % d'hélium.
- 25 6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce
que le gaz d'assistance est formé d'un mélange d'hélium et d'azote
contenant de 20 % à 80 % (en vol.) d'hélium et le reste étant de l'azote, de
préférence 25 à 75 % d'hélium.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le gaz d'assistance est formé d'un mélange d'azote et d'oxygène contenant de 0,5 % à 40 % (en vol.) d'oxygène et le reste étant de l'azote, de préférence 1 à 20 % d'oxygène.

5

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'épaisseur de la pièce à couper est comprise entre 0.05 mm et 5 mm, de préférence supérieure à 0.1 mm, et/ou en ce que la pièce à couper est choisie parmi les plaques, les tôles et les tubes.

10

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le faisceau laser est délivré par un dispositif laser de type CO₂ ou de type Nd:YAG.

15

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'on utilise une buse de diamètre interne compris entre 0,5 mm et 10 mm, de préférence entre 1 mm et 3 mm.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 01/03469

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B23K26/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 060 687 A (FAERBER MARK) 9 May 2000 (2000-05-09) column 2, line 66 - line 67 column 3, line 52; claims 5,18 ---	1,4,8
A	DE 41 23 716 A (THYSSEN STAHL AG) 21 January 1993 (1993-01-21) cited in the application the whole document ---	1
A	US 5 578 228 A (BEYER ECKHARD ET AL) 26 November 1996 (1996-11-26) cited in the application the whole document --- -/--	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 February 2002

Date of mailing of the international search report

20/02/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Aran, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 01/03469

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PREISSIG K-U ET AL: "HIGH SPEED LASER CUTTING OF THIN METAL SHEETS" PROCEEDINGS OF THE SPIE, SPIE, BELLINGHAM, VA, US, vol. 2207, 1996, pages 96-110, XP000992482 cited in the application the whole document -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 01/03469

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6060687	A	09-05-2000	DE 19610298 A1	18-09-1997
			AT 204797 T	15-09-2001
			BR 9708195 A	27-07-1999
			DE 59704448 D1	04-10-2001
			DK 886555 T3	17-12-2001
			WO 9734730 A1	25-09-1997
			EP 0886555 A1	30-12-1998
			NO 984221 A	14-09-1998
DE 4123716	A	21-01-1993	DE 4123716 A1	21-01-1993
US 5578228	A	26-11-1996	DE 4226620 A1	17-02-1994
			AT 143300 T	15-10-1996
			DK 655021 T3	24-02-1997
			WO 9404306 A1	03-03-1994
			EP 0655021 A1	31-05-1995
			ES 2092403 T3	16-11-1996
			FI 950599 A	10-02-1995
			JP 8500060 T	09-01-1996
			NO 950492 A	09-02-1995

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dem. de Internationale No

PCT/FR 01/03469

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 B23K26/12

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 7 B23K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 6 060 687 A (FAERBER MARK) 9 mai 2000 (2000-05-09) colonne 2, ligne 66 - ligne 67 colonne 3, ligne 52; revendications 5,18	1,4,8
A	DE 41 23 716 A (THYSSEN STAHL AG) 21 janvier 1993 (1993-01-21) cité dans la demande le document en entier	1
A	US 5 578 228 A (BEYER ECKHARD ET AL) 26 novembre 1996 (1996-11-26) cité dans la demande le document en entier	1
	-/--	

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *&* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

4 février 2002

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

20/02/2002

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Aran, D

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 01/03469

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>PREISSIG K-U ET AL: "HIGH SPEED LASER CUTTING OF THIN METAL SHEETS" PROCEEDINGS OF THE SPIE, SPIE, BELLINGHAM, VA, US, vol. 2207, 1996, pages 96-110, XP000992482 cité dans la demande le document en entier</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR 01/03469

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6060687	A	09-05-2000	DE 19610298 A1	18-09-1997
			AT 204797 T	15-09-2001
			BR 9708195 A	27-07-1999
			DE 59704448 D1	04-10-2001
			DK 886555 T3	17-12-2001
			WO 9734730 A1	25-09-1997
			EP 0886555 A1	30-12-1998
			NO 984221 A	14-09-1998
DE 4123716	A	21-01-1993	DE 4123716 A1	21-01-1993
US 5578228	A	26-11-1996	DE 4226620 A1	17-02-1994
			AT 143300 T	15-10-1996
			DK 655021 T3	24-02-1997
			WO 9404306 A1	03-03-1994
			EP 0655021 A1	31-05-1995
			ES 2092403 T3	16-11-1996
			FI 950599 A	10-02-1995
			JP 8500060 T	09-01-1996
			NO 950492 A	09-02-1995