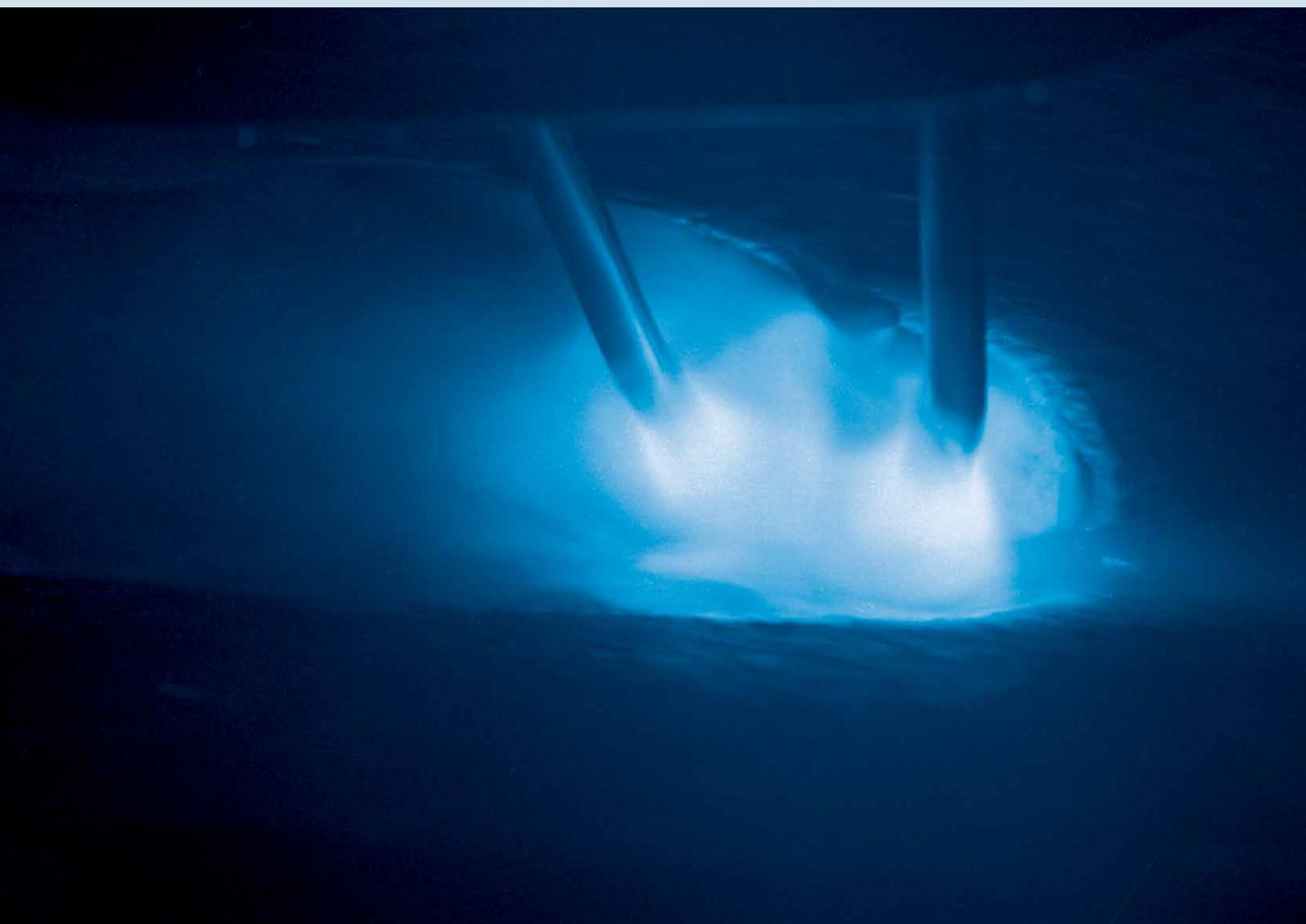




Choisir le bon gaz.

Pour souder, couper et protéger.



Sommaire.

- 4 Des constituants aux propriétés spécifiques
- 6 Gaz de protection pour soudage MAG
- 9 Types d'arcs électriques
- 11 Gaz de protection pour soudage MAG à haut rendement
- 14 Gaz de protection pour soudage MAG des aciers inoxydables
- 16 Gaz de protection pour soudage MIG
- 19 Gaz de protection pour soudo-brasage
- 20 Gaz de protection pour soudage TIG
- 24 Prévention de l'oxydation grâce aux gaz de protection envers
- 26 Gaz de protection pour soudage au faisceau laser
- 28 Gaz pour découpe laser
- 30 Gaz de protection pour soudage plasma
- 31 Gaz pour découpe plasma
- 32 Gaz de protection pour soudage des goujons par arc tiré
- 33 Gaz pour techniques autogènes
- 37 A chaque procédé son gaz de protection
- 38 Composition des gaz de protection PanGas
- 39 Bibliographie

Les gaz de protection Linde. Des soudures économiques de haute qualité.

Les gaz de protection proposés par Linde pour les procédés MIG-MAG et TIG sont classés en deux grandes familles que nous appelons «Competence-Line» et «Performance-Line». Nous aimerions vous présenter brièvement les principales caractéristiques de ces lignes de produits.

Competence-Line

Cette catégorie regroupe tous les gaz de protection utilisés pour les procédés (généralement) manuels MIG-MAG et TIG. Associés à des équipements de soudage modernes et à des métaux d'apport appropriés, ces gaz permettent d'obtenir des cordons de soudure de haute qualité. Ils ont fait leurs preuves sur le marché depuis de longues années en donnant des résultats fiables et reproductibles et sont conseillés par de nombreux constructeurs d'appareils. Les gaz de protection de la Competence-Line sont composés d'argon mélangé à d'autres constituants – oxygène, dioxyde de carbone ou azote – qui assurent la netteté des cordons et une bonne pénétration.

Performance-Line

Dans le domaine du soudage comme partout ailleurs, une importance croissante est accordée aux impératifs de rentabilité. C'est en réponse à ces exigences qu'ont été développés des gaz de protection qui améliorent le bilan thermique des arcs électriques en favorisant la vitesse de soudage et la pénétration. La présence de gaz ayant une remarquable conductibilité thermique comme l'hélium ou l'hydrogène se révèle particulièrement efficace à cet égard. Les gaz de protection que nous produisons et distribuons sous le nom de Performance-Line sont destinés avant tout aux applications MIG-MAG et TIG nécessitant d'opérer à vitesse élevée, parfois à la main mais le plus souvent de manière totalement mécanisée ou automatisée. Comme son nom l'indique, cette gamme de gaz garantit à la fois performance et qualité. De plus, les mélanges de gaz proposés apportent une réponse bien adaptée à la mise en œuvre de métaux d'apport de plus en plus spécialisés avec lesquels les gaz de protection standard ne donnent pas toujours un résultat optimal. Bien entendu, nous pouvons aussi mettre au point des mélanges spéciaux en parfaite adéquation avec les besoins individuels de chacun de nos clients.

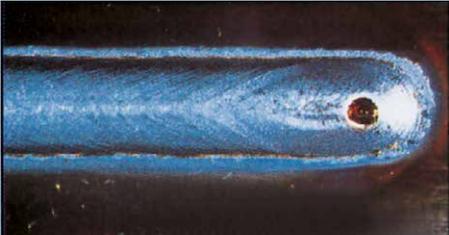
Les spécialistes de Linde sont là pour vous conseiller et se feront un plaisir de mettre leur savoir-faire à votre service. N'hésitez pas à les consulter. Nous proposons par ailleurs à Ecublens, Winterthur et Dagmersellen des cours de soudage à la pointe de la technique qui peuvent être modulés suivant vos exigences spécifiques.

Des constituants aux propriétés spécifiques.

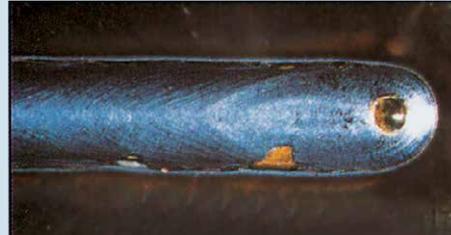
L'efficacité des gaz de protection est fonction de leur composition. Bien connaître le mode d'action de chacun des constituants et réaliser le mélange optimal: tel est le secret de soudures parfaites.

CRONIGON[®]
CORGON[®]
COXOGEN[®]
CRONIWIG[®]
Formiergaz
VARIGON[®]
H₂
HYDRARGON[®]
O₂
He
CO₂
Ar
NO
N₂

Propriétés chimiques



Formation de laitier pour différents teneurs en CO_2
Argon + 5 % CO_2



CORGON® 18



Mélange CORGON® pour les pièces importantes en termes de sécurité en construction automobile

Une utilisation ciblée

Les gaz de protection interviennent dans les process de soudage de bien des manières et permettent de les optimiser de façon ciblée. C'est la raison pour laquelle le gaz ou mélange de gaz utilisé doit être choisi avec soin en fonction de ses caractéristiques spécifiques et des effets souhaités. Les optimisations possibles concernent quasiment tous les facteurs qui jouent un rôle important dans le process de soudage:

Les propriétés physiques des gaz

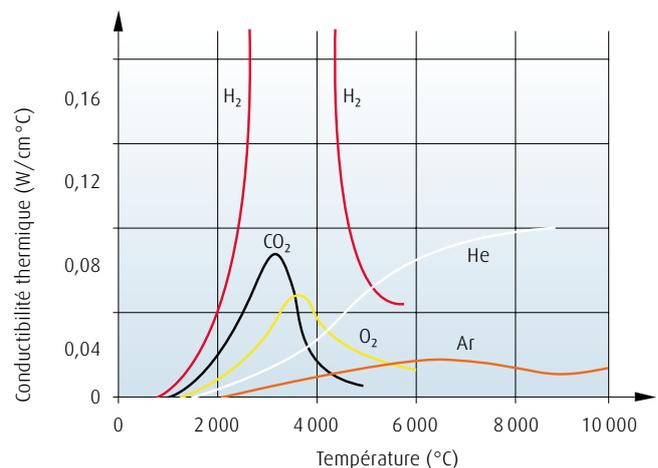
Les propriétés physiques des gaz influent sur le transfert de matière, la profondeur et la forme de pénétration, la vitesse de soudage et le comportement à l'amorçage. Avec un gaz ayant une faible énergie d'ionisation – l'argon par exemple – l'amorçage et la stabilisation de l'arc sont plus faciles qu'avec un gaz comme l'hélium dont l'énergie d'ionisation est élevée. En revanche, l'hélium convient mieux pour contrôler le plasma et par conséquent la profondeur de soudage au laser. L'énergie de dissociation des composants poly-atomiques d'un mélange accroît l'apport de chaleur dans le métal de base grâce à l'énergie libérée au moment de la recombinaison.

La conductibilité thermique

La conductibilité thermique a un effet sur la morphologie du cordon, la température du bain de soudage, le mouillage, le dégazage du bain et la vitesse. Ainsi l'addition d'hélium permet-elle d'accroître considérablement la vitesse de soudage et la pénétration lors du soudage MIG et TIG des alliages à base d'aluminium. Pour le soudage TIG des aciers inoxydables, le même effet est obtenu grâce à un ajout d'hydrogène.

Les propriétés chimiques

Les propriétés chimiques influent sur les caractéristiques métallurgiques et l'aspect superficiel du cordon de soudure. L'oxygène, par exemple, provoque une perte d'éléments d'alliage et donne des bains de fusion trop fluides alors qu'un excès de gaz carbonique conduit à une carburation des matériaux alliés. L'argon et l'hélium sont des gaz neutres sur le plan métallurgique alors que l'hydrogène a un effet réducteur.



Graphique 1: Conductivité thermique des composants des gaz de protection

Table 1: Propriétés physiques de différents gaz

Gaz	Energie de dissociation en eV/molécule	Energie d'ionisation en eV/molécule
H ₂	4,5	13,6
O ₂	5,1	13,6
CO ₂	4,3	14,4
N ₂	9,8	14,5
He		24,6
Ar		15,8
Kr		14,0

Gaz de protection pour soudage MAG. Nombre de structures et de machines sont réalisées en acier de construction. Leur résistance dépend de la qualité des cordons de soudure, lesquels sont souvent déposés en utilisant le procédé MAG. A cet égard, le choix du gaz de protection idoine a une importance capitale.

Le principe du soudage MAG des aciers de construction

Le principe du soudage MAG des aciers de construction consiste à guider dans une torche de soudage un fil d'acier dont la fusion a lieu dans un arc électrique. Le fil étant conducteur, il sert à la fois d'électrode et de métal d'apport. L'arc et le bain de fusion sont protégés par un mélange qui, outre un gaz inerte (argon en général), contient des éléments actifs comme le dioxyde de carbone et l'oxygène en quantités variables, suivant les exigences de l'opération de soudage considérée.

Pour le soudage MAG des aciers de construction non alliés

Pour le soudage MAG des aciers de construction non alliés, les gaz de protection Linde figurant dans le tableau suivant donnent de très bons résultats:

Competence-Line	Performance-Line
COXOGEN® 5/5	CRONIGON® He20
CORGON® 15/5	
COXOGEN® 10	
COXOGEN® 15	
CORGON® 18	

Ces gaz conviennent également pour le soudage des aciers tubulaires et aciers de construction à grain fin ainsi que des aciers de cémentation et de traitement faiblement alliés de tous types.

Les métaux d'apport

Les métaux d'apport sont décrits respectivement dans les normes EN ISO 14341 et EN ISO 17632 suivant qu'il s'agit de fils pleins ou fourrés. La Fiche technique DVS 0916 contient d'utiles recommandations quant aux métaux d'apport à utiliser pour le soudage des aciers de construction à grain fin assez résistants.



Table 2: Propriétés des différents gaz de protection

Propriétés	Ar/CO ₂	Ar/O ₂	CO ₂
Pénétration en position normale	Bonne	Bonne	Bonne
Aptitude au soudage en position (s, f)	Plus sûre lorsque la teneur en CO ₂ augmente	Peut devenir critique en raison de la fluidité du bain (risque de manques de fusion)	Très sûre
Sollicitation thermique de la torche	Diminue lorsque la teneur en CO ₂ augmente	Forte; la puissance peut être limitée par la surchauffe de la torche	Faible, en raison de la bonne conductivité thermique
Degré d'oxydation	Augmente avec la teneur en CO ₂	Très élevé p. ex. avec 8 % O ₂	Elevé
Risque de porosité	Diminue lorsque la teneur en CO ₂ augmente	Le plus important	Très faible
Capacité de pontage	S'améliore lorsque la teneur en CO ₂ diminue	Bonne	Moins bon qu'avec les gaz mixtes
Projections	Davantage de projections lorsque la teneur en CO ₂ augmente	Peu de projections	Projections maximales, augmentant avec l'énergie de soudage
Apport énergétique	Augmente avec la teneur en CO ₂	Le plus faible	Elevé
	Vitesse de refroidissement plus faible, risque de fissuration au durcissement plus faible	Vitesse de refroidissement élevée, risque plus grand de fissuration au durcissement	Vitesse de refroidissement faible, risque réduit de fissuration au durcissement
Type d'arc électrique ¹	Arc court Arc globulaire Spray arc Arc pulsé/teneur en CO ₂ max. 20-25 % Arc court à haut rendement	Arc court Arc globulaire Spray arc Arc pulsé Arc court à haut rendement Arc rotatif	Arc court Arc long

Les propriétés des différents gaz de protection présentés dans ces lignes conditionnent leur utilisation dans la pratique. L'universalité des mélanges ArCO₂ et ArCO₂-oxygène leur confère une position dominante. Les ajouts d'hélium élargissent le champ d'application.

¹ voir p. 10



Utilisation du CORGON® 15/5 pour le soudage MAG robotisé

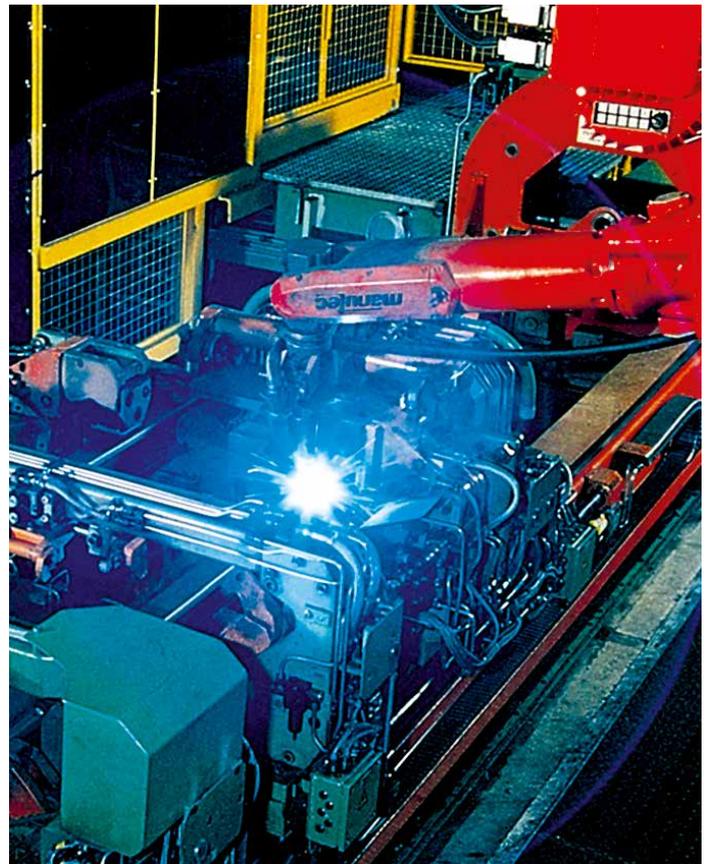


Utilisation de mélanges CORGON® He pour le soudage manuel MAG à haut rendement en construction mécanique lourde

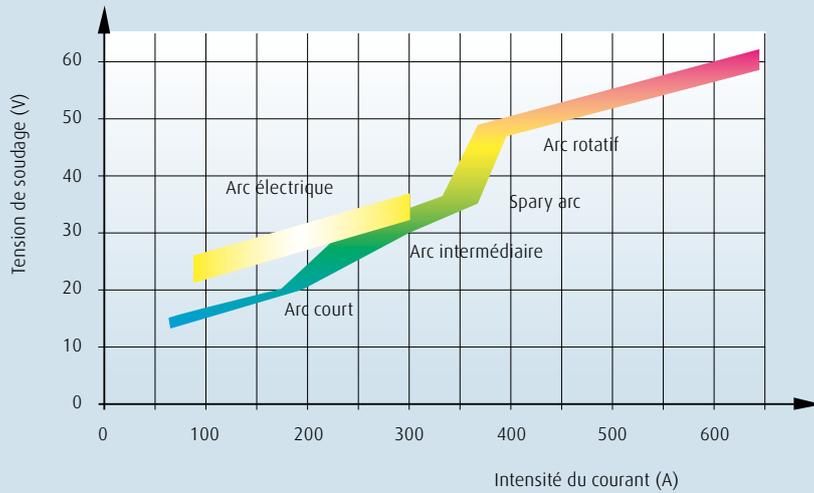
Les propriétés des gaz de protection utilisés en soudage MAG

Les propriétés des gaz de protection utilisés en soudage MAG varient suivant la composition du mélange. Celle-ci influe en outre sur les caractéristiques mécaniques et technologiques du métal déposé ainsi que sur la géométrie des cordons de soudure. Sur le plan mécanique et technologique, ce sont les teneurs en azote et en oxygène du métal déposé qui jouent un rôle déterminant, car ces gaz réagissent avec certains éléments chimiques du matériau en donnant des nitrures et des oxydes. En restant dans la matrice métallique, ces inclusions non métalliques peuvent réduire la ténacité du matériau.

Le gaz de protection conditionne en particulier la teneur en oxygène du métal déposé. Fréquemment utilisé au début de l'utilisation de cette technique, le CO₂ pur induit la présence de 600 à 800 ppm d'oxygène dans la soudure. En l'occurrence, les quantités d'oxygène libérées en outre dans le fil ne jouent plus aucun rôle. A pareille concentration d'oxygène, le métal déposé présente de très nombreuses inclusions d'oxydes et de grosses aiguilles de ferrite. Sa résilience, indicateur de la ténacité du matériau, est plutôt médiocre. Les gaz mixtes riches en argon limitent par contre la teneur en oxygène à 350 à 450 ppm. Il en résulte qu'il y a moins d'inclusions d'oxydes et qu'il se forme de fines aiguilles de ferrite dans la structure. La résilience a une valeur supérieure. Moyennant un très faible pourcentage d'azote, qui dépend toutefois en premier lieu du fil-électrode utilisé, on obtient une très bonne résilience, même si les essais sont réalisés à basse température.

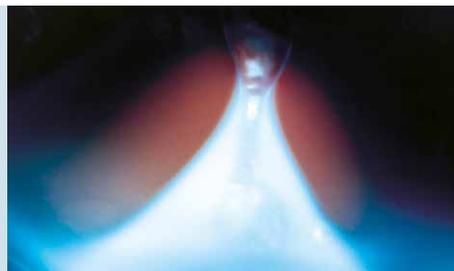


Utilisation du CORGON® 18 pour le soudage robotisé de mâts de levage



Graphique 2: Arcs de soudage sous protection gazeuse

Les types d'arc électrique. Suivant le gaz de protection et les paramètres de soudage choisis, les arcs obtenus en opérant avec un fil-électrode fusible diffèrent nettement les uns des autres par le mode de transfert du métal. L'épaisseur de la tôle, la position de soudage et la nature du gaz sont ici les critères déterminants.



Photos du haut

A gauche: arc court

Au milieu: arc globulaire ou arc long

A droite: spray arc

Photos du bas

Au milieu: arc rotatif haut rendement

A droite: arc pulsé



Les différents types d'arc – Propriétés et champs d'application

L'arc court (short arc)

L'arc court (short arc) est utilisé pour les tôles minces, le soudage en position et les passes de pénétration lorsque les énergies mises en jeu sont faibles. Le métal est transféré par courts-circuits successifs, les projections sont minimales.

L'arc globulaire

L'arc globulaire est privilégié pour le soudage MAG des tôles d'épaisseur moyenne sous gaz mixte à base argon. Le métal est transféré par grosses gouttes, parfois en court-circuit, mais il y a moins de projections qu'avec un arc long sous dioxyde de carbone.

L'arc long

L'arc long est utilisé pour le soudage MAG des tôles d'épaisseur assez forte sous dioxyde de carbone aux énergies élevées. Le transfert de métal a lieu en grosses gouttes, et il y a une quantité importante de projections.

Le spray arc (pulvérisation axiale)

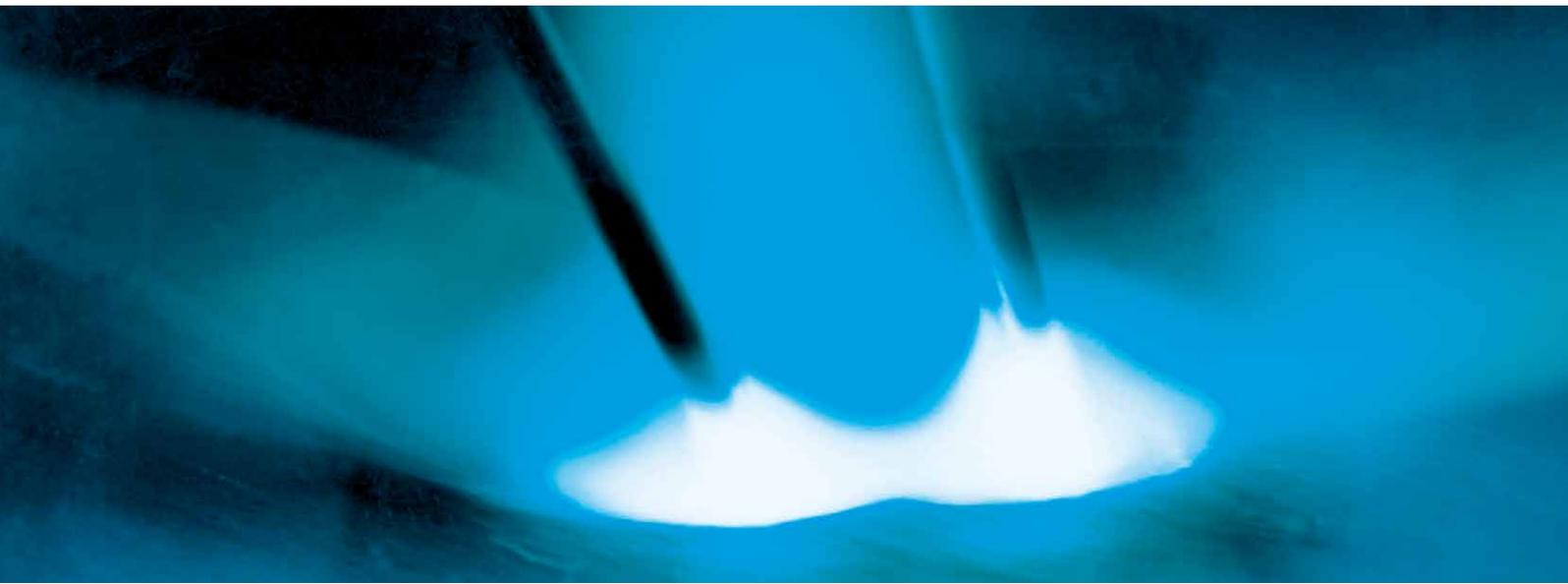
Le spray arc (pulvérisation axiale) permet d'obtenir des taux de dépôt importants et de grandes vitesses pour les épaisseurs moyennes en opérant sous gaz mixte à base d'argon. Le transfert de métal s'effectue en gouttes fines sans courts-circuits, et il y a très peu de projections. Le spray arc n'est pas possible avec du CO₂ comme gaz de soudage.

Les arcs à haut rendement

Les arcs à haut rendement sont utilisés pour les taux de dépôt et vitesses très élevés en opérant sous mélanges argon spéciaux avec ajouts d'hélium. Les types d'arc et les modes de transfert obtenus diffèrent suivant la composition du gaz de protection: arc court à haut rendement, spray arc à haut rendement et arc rotatif.

L'arc pulsé

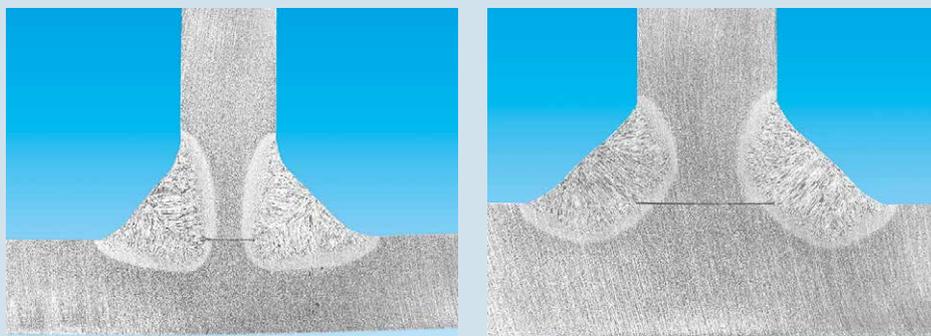
L'arc pulsé est utilisable d'une manière générale en soudage MIG et MAG avec un gaz mixte riche en argon, quelles que soient les énergies mises en jeu: on le préfère en général à l'arc globulaire pour les énergies moyennes. Le transfert de métal a lieu sans court-circuit, le détachement des gouttes est contrôlé par impulsion. L'arc pulsé est celui pour lequel la quantité de projections formées est la plus faible. Son utilisation sous CO₂ n'est pas possible, car le dioxyde de carbone a un effet sur l'arc qui empêche l'étranglement des gouttes (constriction). La goutte de métal fondu est soumise à l'action d'une force dirigée vers le haut et le transfert de métal a lieu en grosses gouttes, ce qui n'est pas souhaitable.



Gaz de protection pour soudage MAG à haut rendement.
Le choix de gaz de protection bien adaptés au process garantit une productivité élevée et d'excellents résultats de soudure.



Pénétration en fonction de l'avance du fil



Les gaz de protection à base d'hélium permettent de souder les mâts de levage des élévateurs à fourche de manière économique en garantissant une très haute qualité.

Le soudage MAG à haut rendement est utilisé avec succès depuis quelques années dans la construction mécanique lourde, le génie civil et la construction d'engins. Les taux de dépôt sont beaucoup plus importants qu'en pulvérisation axiale classique. Outre une protection gazeuse spéciale, ces procédés nécessitent des sources de courant à puissance élevée et une avance de fil régulée avec précision.

Les gaz de protection présentés ci-après ont été spécialement mis au point pour le soudage MAG à haut rendement, c'est-à-dire pour permettre des vitesses d'avance et des taux de dépôt supérieurs.

Compétence-Line	Performance-Line
CORGON® S5	CORGON® He30

CORGON® S5

CORGON® S5 est un gaz de protection contenant de l'oxygène qui stabilise l'arc rotatif (bon raccordement sur les flancs) dans toutes les plages d'énergie.

CORGON® He30

CORGON® He30 est un mélange ternaire qui se révèle avantageux quand on travaille en pulvérisation axiale ou avec un arc pulsé dans le secteur à haut rendement. Ce gaz est également utilisable en procédé MAG tandem.

Table 3: Deux exemples illustrant l'effet des paramètres de soudage

Exemple 1		Exemple 2
10 mm	Epaisseur de la tôle	15 mm
1,2 mm	Diamètre du fil	1,2 mm
5,5 mm	Cote a	7 mm
En gouttière (PA)	Position de soudage	En gouttière (PA)
15 m/min	Avance du fil	25 m/min
8,0 kg/h	Taux de dépôt	13,3 kg/h
365 A	Intensité	446 A
37,5 V	Tension	44,5 V
0,45 m/min	Vitesse	0,50 m/min



Gaz de protection pour soudage MAG des aciers inoxydables.
La mise en œuvre d'aciers résistants à la corrosion représente un challenge particulier. Un gaz de protection approprié permet d'apporter une solution technique et économique optimale.



Soudage MAG d'une poutre plaquée sous protection CRONIGON®

Suivant les éléments d'alliage qui entrent dans leur composition et le traitement thermique qu'ils ont subi, les aciers inoxydables possèdent différentes structures qui conditionnent leurs propriétés mécaniques, leur tenue à la corrosion et leur soudabilité. Cette structure permet de les classer en plusieurs catégories. Les aciers austénitiques résistent très bien à la corrosion, leur mise en forme peut avoir lieu facilement à froid. Les aciers ferritiques se comportent très bien dans les atmosphères acides et résistent bien à la chaleur. Les aciers martensitiques se distinguent en particulier par leur grande dureté. Les aciers Duplex, qui ont une structure biphasée austéno-ferritique, conjuguent de bonnes propriétés chimiques en termes de tenue à la corrosion à d'intéressantes caractéristiques mécaniques et technologiques. Le soudage MAG de tous les aciers fortement alliés et des bases Ni nécessite l'utilisation de métaux d'apport spécifiques ainsi que de gaz de protection parfaitement adaptés à cet usage.

Gaz de protection

Nous proposons pour le soudage MAG des aciers fortement alliés les gaz suivants:

Competence-Line

CRONIGON®

Performance-Line

CRONIGON® He20

CRONIGON® He33

CRONIGON® He30S

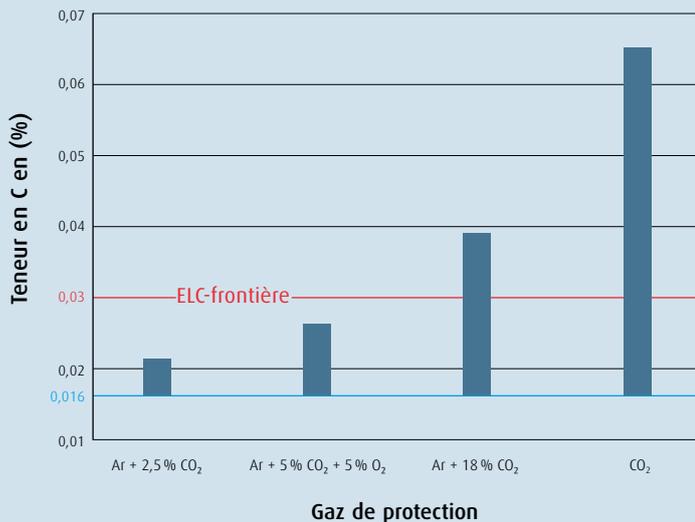
Ces gaz de protection conviennent aux:

- Aciers inoxydables suivant EN 10088
- Aciers laminés et forgés réfractaires conformes à SEW 4670
- Aciers spéciaux
- Nickel et alliages à base nickel

Les métaux d'apport à utiliser pour le soudage des aciers inoxydables et réfractaires sont définis dans la norme EN ISO 14343. Pour le procédé MAG, on peut utiliser les arcs de type court, globulaire et spray, de même que l'arc pulsé.

La teneur en carbone est importante pour la tenue à la corrosion. Dans le cas des aciers de qualité ELC (extra low carbon), il ne faut pas qu'elle dépasse 0,03 % dans le métal déposé si des traitements de recuit sont nécessaires.

Le graphique représentant la carburation/décarburation (page 15) montre clairement qu'il ne peut y avoir de sensibilisation du matériau en présence des gaz CRONIGON® et CRONIGON® He. Bien que dans le cas du COXOGEN® 5/5 la teneur en carbone mesurée dans le métal déposé soit inférieure au seuil ELC, mieux vaut ne pas utiliser ce gaz pour les pièces soumises à des risques de corrosion.



Graphique 3: Augmentation du carbone dans l'acier en fonction du gaz protecteur, teneur en carbone des fils électrodes: 0,016 %

Instructions d'emploi importantes

Les aciers austénitiques (CrNi) et ferritiques (Cr) se soudent très bien au spray arc. L'arc se forme à une vitesse d'avance de fil inférieure de 20 % à celle nécessaire pour les matériaux non alliés. Pour le soudage des matériaux fortement alliés, le régime pulsé présente l'avantage de permettre un transfert de matière stable dans toute la zone de fusion moyennant de faibles projections. Il permet d'utiliser des fils plus gros qui se dévident plus facilement et facilitent le passage du courant. Ce procédé convient en outre remarquablement bien aux soudures verticales descendantes. Les alliages à base nickel ainsi que la plupart des aciers spéciaux devraient être soudés de préférence à l'arc pulsé. L'utilisation d'un mélange contenant de l'hélium se révèle particulièrement avantageuse pour les aciers au molybdène, qui sont relativement visqueux, car elle améliore la fluidité.

Le CRONIGON® He30S a été mis au point principalement pour le soudage MAG des alliages à base de nickel. Sa faible teneur en CO₂ (550 vpm, soit 0,055 % seulement) garantit une très grande stabilité de l'arc tout en préservant les qualités du matériau en termes de résistance à la corrosion. L'addition d'hélium ou d'hydrogène assure une fluidité excellente et permet le soudage en position.

La température entre passes dépend du type du matériau, par exemple:

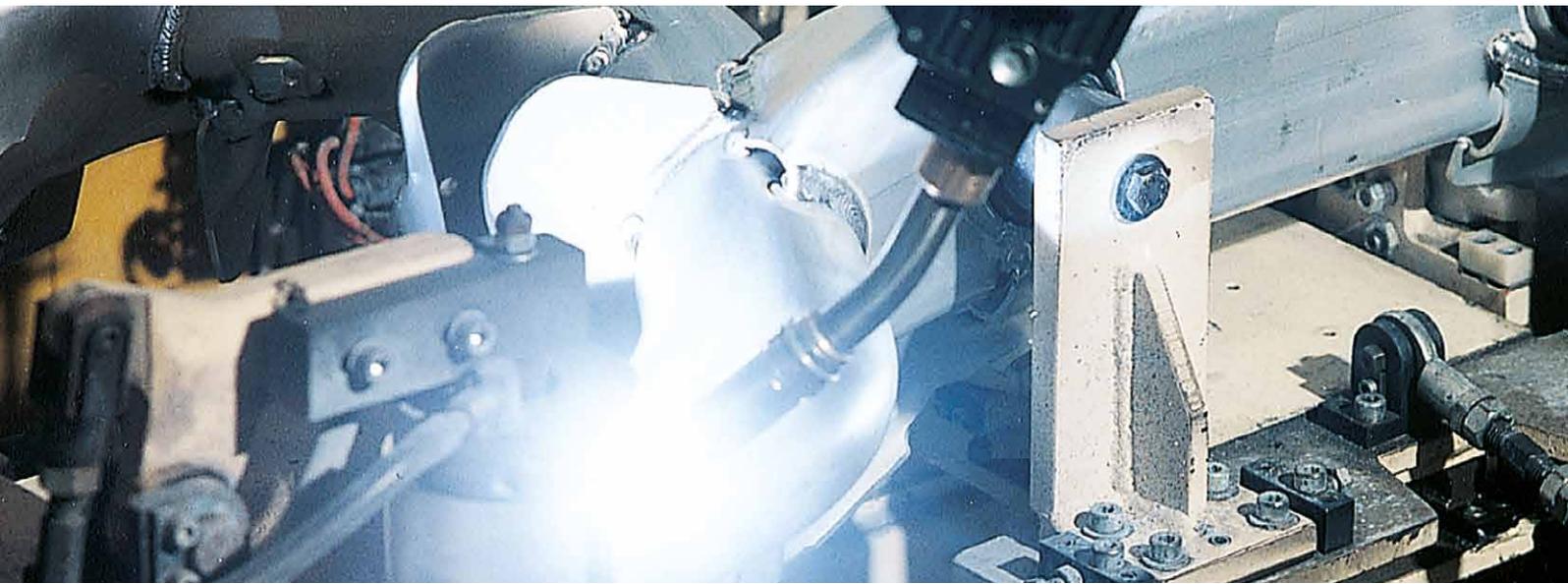
- 150–200 °C pour les aciers CrNi austénitiques
- 50–100 °C pour les alliages au nickel

Les essais réalisés au Centre technologique de Linde ont révélé d'autres particularités intéressantes:

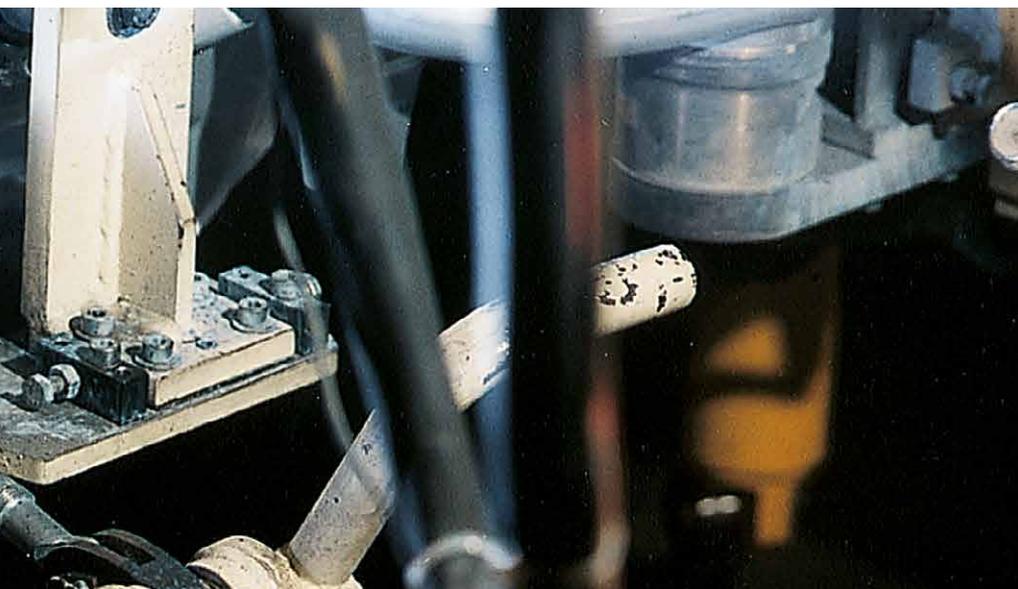
- Les métaux de base et d'apport utilisés ont un effet variable sur la géométrie des cordons, les dépôts superficiels, la mouillabilité et la stabilité de l'arc.
- Quel que soit le matériau, l'inclinaison de la torche doit être d'env. 10 °C.
- Le métal fondu doit être appliqué en passes tirées (moindre sollicitation thermique). L'arc doit être bien maintenu à l'avant du bain. A défaut, il y a de fortes quantités de projections, surtout dans le cas des alliages au nickel.

Table 4: Domaines d'utilisation

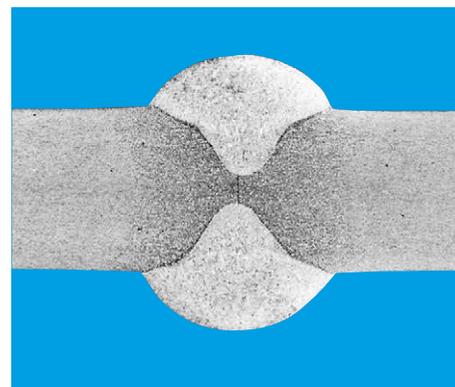
Gaz de protection	Propriétés	Matériaux
CRONIGON®	Peu d'oxydation	Aciers Cr ferritiques, aciers CrNi austénitiques, aciers Duplex et Super Duplex
CRONIGON® He33 CRONIGON® He20	Bon mouillage, vitesse de soudage plus élevée, projections minimales	Aciers CrNi austénitiques résistants à la corrosion, aciers CrNi austénitiques réfractaires, aciers spéciaux, p. ex. aciers Duplex
CRONIGON® He30S	Bon mouillage et bonne soudabilité en multi-passes, peu d'oxydation	Nickel et alliages à base Ni



Gaz de protection pour soudage MIG. Le procédé MIG permet d'assembler les métaux non ferreux, à commencer par l'aluminium, de manière fiable et économique. L'utilisation de gaz de protection spéciaux est ici un point préalable important à l'obtention de bons résultats.



L'hélium modifie le profil du cordon, la forme de la pénétration et la tension de soudage



Argon: 20 l/min, 280 A/25 V

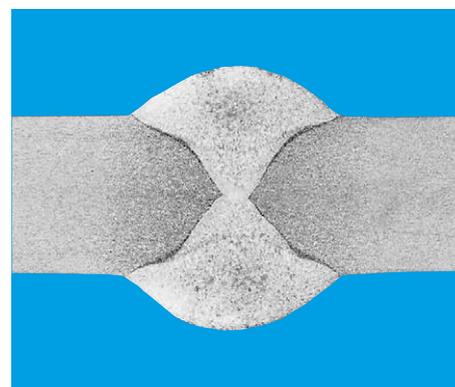
Le procédé MIG ne se distingue du procédé MAG que par la nature du gaz de protection utilisé: comme les métaux à souder ne tolèrent pas la présence de composés actifs, seuls sont employés des mélanges de gaz inertes. Comme l'effet dopant de l'oxygène ou du monoxyde d'azote est avantageux pour stabiliser l'arc MIG, on peut toutefois tolérer la présence de ces gaz en microquantités qui restent généralement sans effet sur le matériau.

Gaz de protection pour le soudage MIG des métaux non ferreux

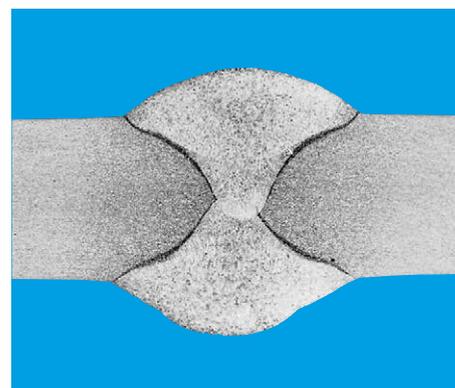
Pour le soudage MIG des métaux non ferreux comme l'aluminium ou le cuivre il convient d'utiliser des gaz inertes tels que:

Compétence-Line	Performance-Line
Argon 4.6/Argon 5.0	VARIGON® He10
VARIGON® S	VARIGON® He30S
	VARIGON® He50
	VARIGON® He60
	VARIGON® He70

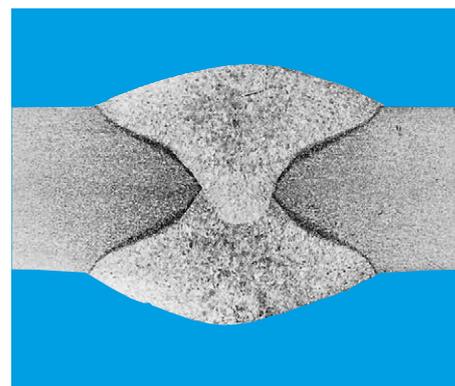
Les arcs de type court, en spray et pulsé peuvent être utilisés en soudage MIG. Pour les métaux d'apport plutôt mous comme l'aluminium, l'arc pulsé présente des avantages déterminants du fait de l'utilisation de fils-électrodes de diamètre supérieur favorisant la stabilité.



VARIGON® He30S: 20 l/min, 282 A/27 V



VARIGON® He50: 28 l/min, 285 A/30 V



VARIGON® He70: 38 l/min, 285 A/34 V



Cordon de soudure MIG sur l'aluminium



MISON® He20: soudures MIG sur un élément de carrosserie



MISON® He20: soudure MIG sur une pièce en aluminium

Les métaux d'apport pour matériaux non ferreux sont normalisés comme suit:

- Alliages d'aluminium: EN ISO 18273
- Cuivre et ses alliages: EN ISO 24373
- Nickel et ses alliages: EN ISO 18274

L'arc à température relativement élevée que donnent les mélanges VARIGON® He et VARIGON® HeS a fait notamment ses preuves pour le soudage des alliages de cuivre et d'aluminium qui sont de bons conducteurs thermiques. Mieux vaut toutefois utiliser des gaz de protection sans hélium pour le magnésium et ses alliages.

Le dopage des gaz inertes améliore la stabilité de l'arc lors du soudage de l'aluminium sous protection gazeuse. On utilise à cet effet soit 275 vpm de monoxyde d'azote dans les mélanges MISON® Ar et MISON® He20, soit 300 vpm d'oxygène dans le mélange VARIGON® He30S. Résultat: une réduction sensible des projections ainsi que des soudures d'aspect nettement amélioré, car plus lisses.

Remarques concernant l'utilisation de l'hélium

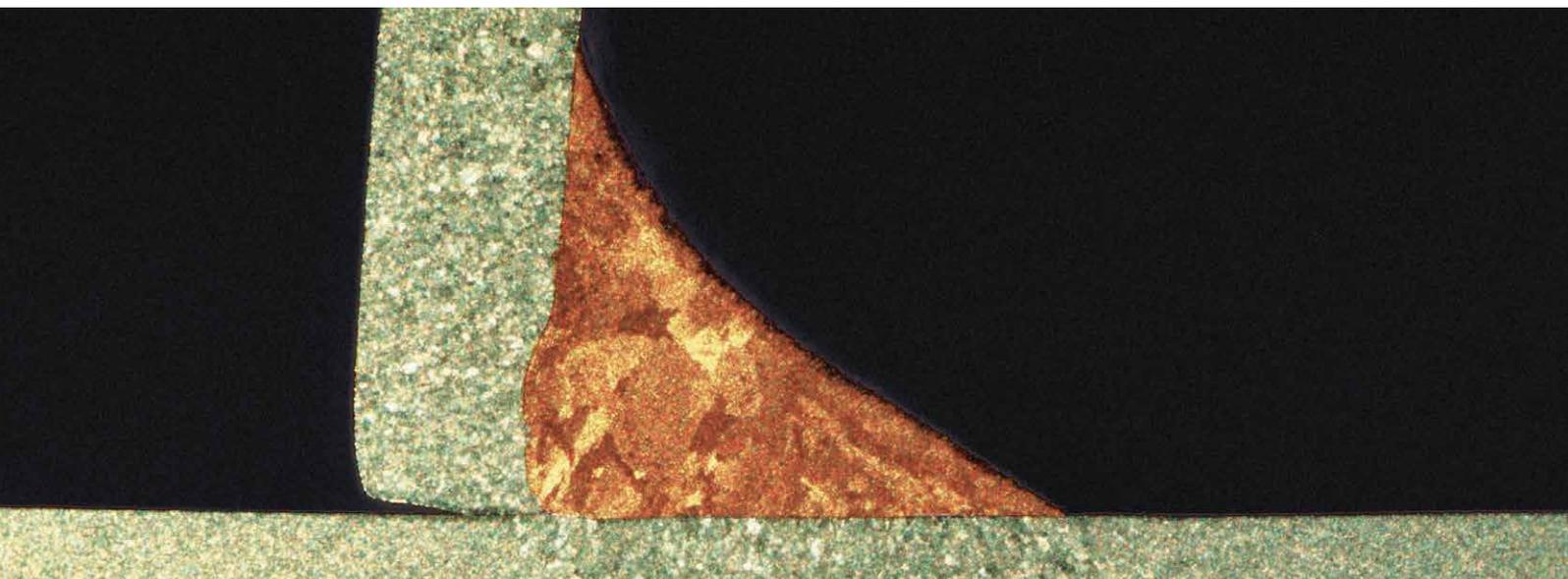
A longueur d'arc égale, une plus forte proportion d'hélium requiert une tension plus élevée. La présence d'hélium dans le gaz de protection conduit en outre à un cordon plus large et donc plus plat. La pénétration n'est plus en forme de doigt comme avec l'argon, mais plus arrondie et plus profonde. Les conditions de pénétration étant plus favorables, l'imbrication des passes est meilleure et il est possible de souder à plus grande vitesse.

L'hélium est beaucoup plus léger que l'air, propriété dont il faut tenir compte tant pour la mesure du débit (facteur de correction) que pour la détermination de la quantité minimale de gaz de protection. De plus, l'hélium favorise le dégazage du bain de fusion et réduit la porosité.

En fin de compte, le coût plus élevé d'un gaz de protection contenant de l'hélium est largement compensé par la rentabilité supérieure de la fabrication des pièces.

Table 5: Facteurs de correction et quantités minimales de gaz

Gaz de protection	Facteur de correction – quantité de gaz relevée multipliée par	Quantité minimale de gaz
VARIGON® He30S	1,14	18 l/min
VARIGON® He50	1,35	28 l/min
VARIGON® He70	1,75	35 l/min
100% He	3,16	40 l/min



Gaz de protection pour soudo-brasage. Moyennant l'utilisation d'une protection gazeuse bien adaptée, le soudo-brasage peut constituer une intéressante alternative au soudage.

Le brasage ou soudo-brasage sous protection gazeuse est un procédé assez récent destiné à l'assemblage des tôles minces revêtues. Il est avantageux en l'occurrence de travailler avec un arc pulsé ou court. L'apport énergétique devant être le plus bas possible pour limiter l'usure du revêtement et les déformations, il est nécessaire d'opérer avec des sources de courant de basse puissance et des gaz de protection ayant une faible conductivité thermique.

Matériau de base et métal d'apport

On fait appel à ce procédé surtout pour les tôles zinguées sur une ou deux faces par électrolyse. La tôle fine d'acier non allié, STE 180 BH ZE par exemple, ayant une limite d'élasticité de 180–240 N/mm² est souvent utilisée. Les épaisseurs de zinc les plus courantes sont de 0,0025–0,0100 mm pour des tôles de 0,5–3,0 mm. Le zinc a un point de fusion de 419 °C et se vaporise à 908 °C, soit des valeurs nettement inférieures à la température de fusion de l'acier. Un brasage est donc tout indiqué pour préserver le revêtement de zinc, dans la mesure où le joint obtenu satisfait aux exigences requises sur le plan mécanique. Ce sont les fils de bronze qui sont le plus fréquemment utilisés comme métal d'apport sur les tôles zinguées, p. ex. SG-CuSi 3 conforme à DIN 1733.

Avantages du CRONIGON® par rapport à l'argon:

- Meilleur mouillage
- Formation réduite de pores
- Meilleur détachement des gouttes, d'où moins de projections
- Vitesse de brasage plus grande

Les gaz de protection suivants sont conseillés:

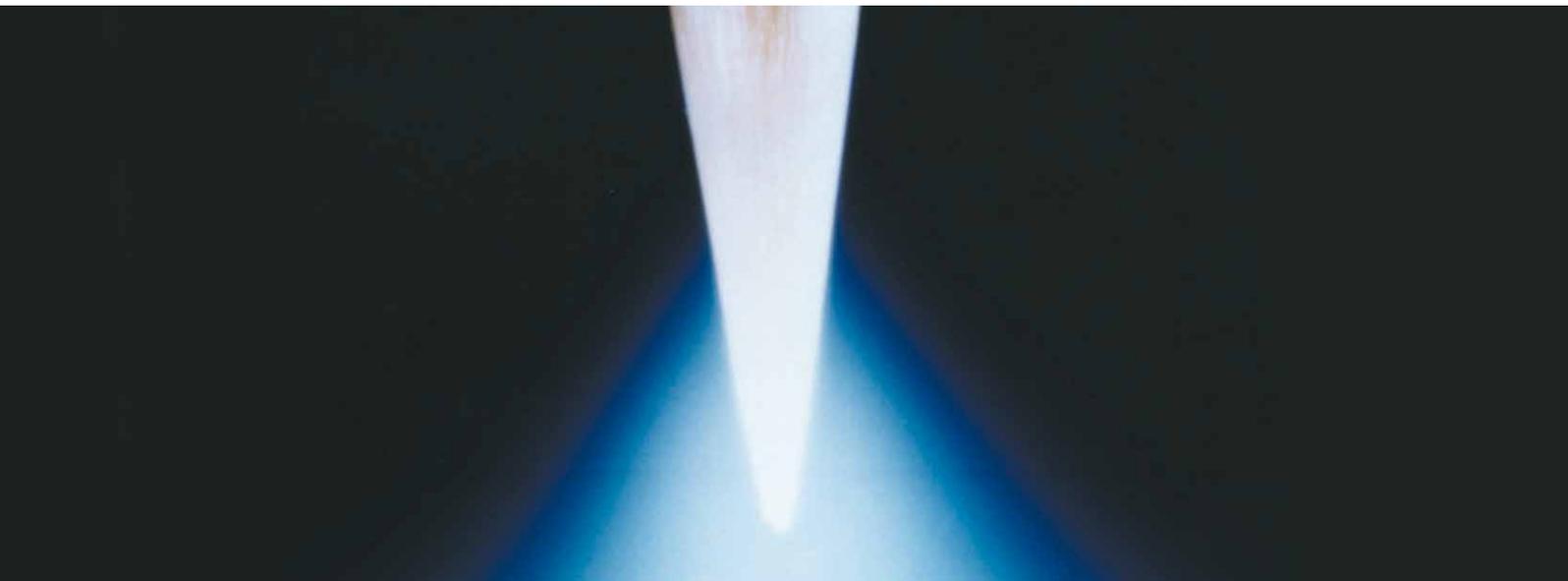
Competence-Line

Argon 4.6/Argon 5.0

CRONIGON®

Ce procédé de brasage est également utilisé avec succès en construction métallique sur des aciers de construction assez résistants comme le S 355 JR G3. La construction automobile ayant de plus en plus recours à des tôles zinguées, il devrait également acquérir une signification croissante dans ce secteur.

Pour les autres métaux d'apport, comme SG-Cu Al 8 par exemple, nous conseillons d'utiliser les mélanges de gaz adaptés à cet usage.



Gaz de protection pour soudage TIG. Même pour la «discipline reine du soudage», un gaz de protection approprié permet souvent d'améliorer encore considérablement la productivité.

Table 6: Gaz de protection et matériaux

Gaz de protection	Matériau	Remarques
Argon	Tous les métaux soudables	<ul style="list-style-type: none"> → Emploi le plus fréquent → Nécessaire pour les matériaux sensibles au gaz et la protection de racine
VARIGON® S VARIGON® He30S	Al et alliages Al	<ul style="list-style-type: none"> → Stabilité de l'arc accrue et amorçage sûr lors du soudage en courant continu
VARIGON® He10 VARIGON® He30S VARIGON® He50 VARIGON® He70 Hélium	Al et alliages Al Cu et alliages Cu	<ul style="list-style-type: none"> → Vitesse de soudage plus élevée et meilleure pénétration grâce à l'arc plus chaud → Difficultés d'amorçage par He → Amorçage sous argon
HYDRARGON® 2 HYDRARGON® 5 HYDRARGON® 7 HYDRARGON® 10	Aciers fortement alliés au chrome-nickel Ni et alliages à base de Ni	<ul style="list-style-type: none"> → Vitesse de soudage plus élevée et meilleure pénétration grâce à l'arc plus chaud → Pour éviter les pores



Bride soudée en TIG

Extrêmement polyvalent, le procédé TIG permet d'obtenir des soudures de bel aspect et de haute qualité, sans projections ni laitier. Son principal champ d'application est constitué par les matériaux de 0,3–4,0 mm d'épaisseur, pour le soudage en toutes positions. Les gaz de protection utilisés sont adaptés aux spécificités de ce procédé. Contrairement aux procédés MIG-MAG, l'arc TIG brûle entre une électrode en tungstène infusible et le métal de base. Pour protéger l'électrode et le bain de fusion, on utilise un gaz inerte, comme l'argon et l'hélium, ou un mélange ne comportant pas d'éléments oxydants. Le procédé TIG est utilisable avec tous les métaux soudables. L'intensité du courant, la polarité et le gaz de protection doivent être choisis en fonction du métal de base.

Gaz de protection pour le soudage TIG de l'aluminium, du cuivre et des aciers alliés et non alliés

Compétence-Line	Performance-Line
Argon 4.6/Argon 5.0	Hélium 4.6
VARIGON® S	VARIGON® He10
	VARIGON® He30S
	VARIGON® He50
	VARIGON® He60
	VARIGON® He70

Les mélanges argon-hélium à pourcentage croissant d'hélium favorisent le développement de chaleur dans l'arc électrique. Ceci permet de compenser la dissipation rapide de chaleur observée avec les métaux ayant une bonne conductivité thermique comme l'aluminium et le cuivre. Une plus forte proportion d'hélium permet en outre d'augmenter la vitesse de soudage. Il ne faut en aucun cas utiliser de mélanges contenant de l'hydrogène pour souder les alliages d'aluminium (porosité accrue) et les aciers sensibles à l'hydrogène.

Gaz de protection pour le soudage TIG des aciers alliés et des alliages à base de nickel

Compétence-Line	Performance-Line
Argon 4.6	HYDRARGON® 2
CRONIWIG® N3	HYDRARGON® 5
	HYDRARGON® 7
	CRONIWIG® N3He
	VARIGON® He10

L'hydrogène permet aussi d'améliorer le bilan énergétique de l'arc TIG. Il ne doit toutefois être utilisé que pour les aciers inoxydables fortement alliés ainsi que pour le nickel et les bases nickel. La présence de jusqu'à 10 % d'hydrogène dans l'argon améliore sensiblement la pénétration et la vitesse de soudage.

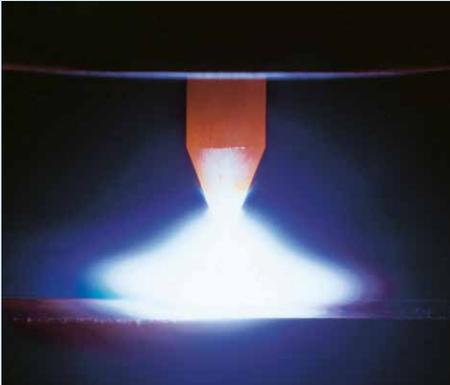
Gaz de protection limitant la teneur en ferrite

Il arrive que la teneur en ferrite des aciers austénitiques se révèle un problème en induisant une corrosion sélective au niveau de la structure ferritique. Ceci concerne certaines applications des industries pharmaceutiques, chimiques et agroalimentaires, mais aussi les salles blanches des fabricants de circuits intégrés.

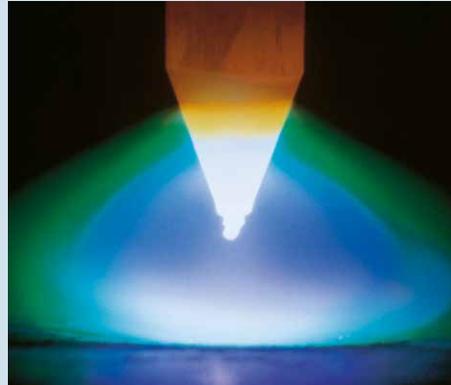
Deux aciers-types dont la teneur maximale en ferrite est limitée par des prescriptions:

- X2CrNiMo17-13-2 (1.4404)
- X2CrNiMo18-14-3 (1.4435)

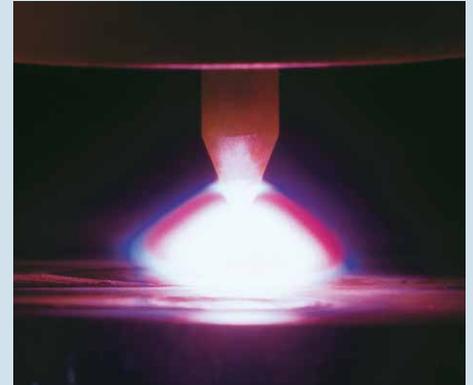
L'hélium modifie les caractéristiques de l'arc



Arc TIG avec argon



Arc TIG avec hélium



Arc TIG avec HYDRAGON®

Lorsque le soudage a lieu sans métal d'apport, les mélanges azotés ont fait leurs preuves à l'égard de la limitation de la teneur en ferrite. L'effet stabilisant de l'azote dissous dans l'acier sur l'austénite est alors mis à profit. Comme l'azote contenu dans le gaz de protection est dissocié par l'arc, il peut se dissoudre dans l'acier fondu dans la mesure où celui-ci ne contient pas à l'état libre d'éléments susceptibles de former des nitrures, comme le titane.

Les gaz de protection stabilisant l'austénite sont:

Compétence-Line	Performance-Line
CRONIWIG® N3	CRONIWIG® N3He
	VARIGON® NH
	VARIGON® N3H1

Ces gaz peuvent aussi être utilisés dans les aciers Duplex et Super Duplex afin d'assurer un bon équilibre entre ferrite et austénite. Afin de prévenir les risques de fissuration induits par l'hydrogène, il convient de ne pas utiliser de mélange contenant ce gaz pour souder des aciers Duplex.

En règle générale, le taux de ferrite des aciers Duplex augmente dans les conditions suivantes:

- Refroidissement rapide
- Energie linéaire faible
- Epaisseurs importantes
- Soudage sans métal d'apport

En revanche, la teneur en austénite est favorisée par les paramètres suivants:

- Refroidissement lent
- Energie linéaire élevée
- Soudage avec métal d'apport
- Gaz de protection endroit et envers azotés

Les énergies linéaires suivantes sont conseillées pour le soudage multi-passes:

- Aciers Duplex 0,5–2,5 kJ/mm
- Aciers Super Duplex 0,2–1,5 kJ/mm

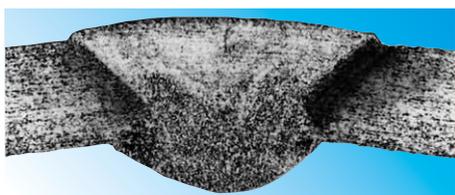
Matériaux spéciaux

Pour le soudage de métaux sensibles aux gaz comme le titane, le tantale ou le zirconium, il est conseillé de recourir à des gaz de protection ayant une pureté plus élevée. On utilise alors la qualité 4,8 dont le degré de pureté est de 99,998 %. Une qualité 4,6 suffit en général pour les autres matériaux.

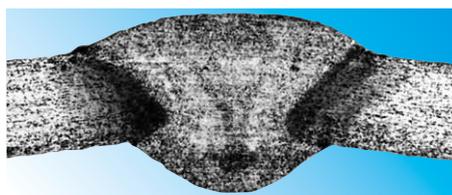
Matériaux	Type de courant et polarité
Aciers non alliés	= (-) courant continu, polarisé nég.
Aciers alliés	= (-) courant continu, polarisé nég.
Cuivre et alliages Cu	= (-) courant continu, polarisé nég.
Nickel et alliages Ni	= (-) courant continu, polarisé nég.
Titane et alliages Ni	= -) courant continu, polarisé nég.
Zircon, tantale et tungstène	= -) courant continu, polarisé nég.
Aluminium et alliages Al	~ courant alternatif = (-) courant continu, polarisé nég., avec hélium
Magnésium et alliages Mg	~ courant alternatif

Table 7: Matériaux et type du courant/Polarité

Effet des gaz de protection sur la vitesse de soudage



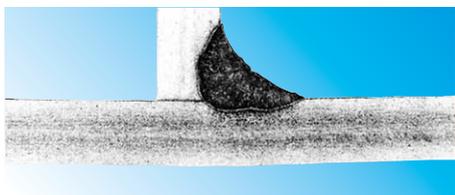
Argon
Vitesse de soudage 10 l/min
10 cm/min



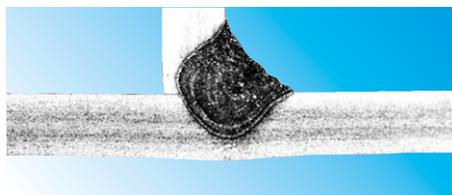
VARIGON® He50
15 l/min
20 cm/min

Un plus fort pourcentage d'hélium se traduit par une plus grande vitesse de soudage. Ici, soudage d'un alliage AlZn 4,5 Mg 1 de 3 mm d'épaisseur.

Arcs obtenus sans et avec ajout de H₂

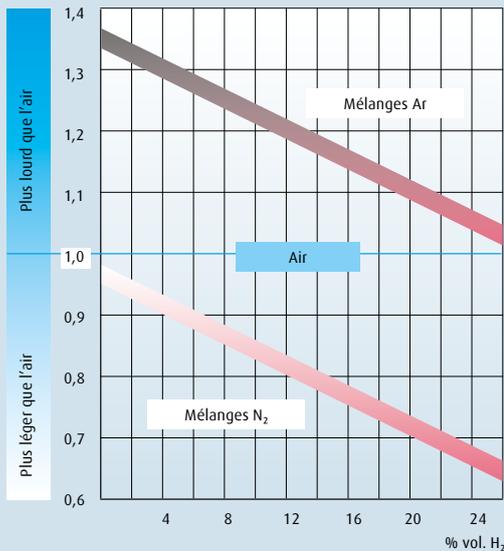


Argon
Vitesse de soudage 7 cm/min



HYDRAGON® 7
11 cm/min

Soudure d'angle sur acier 1.4301. La vitesse de soudage et la pénétration sont nettement meilleures lorsque la proportion d'hydrogène est plus élevée.



Graphique 4: Densité relative du gaz de protection envers

Prévention de l'oxydation grâce aux gaz de protection envers. L'envers du cordon est important pour la qualité d'un joint soudé, surtout à l'égard de la résistance à la corrosion. L'utilisation de Formiergaz constitue un moyen élégant d'éviter les défauts ainsi que de coûteux travaux de finition.

Dans de nombreux cas, il est indispensable de protéger la racine de soudure pour assurer une résistance optimale de la pièce à la corrosion. Une purge par un gaz éliminant l'oxygène de l'air permet d'éviter la formation d'oxydes et la coloration des soudures (irisations).

Différents procédés

Deux procédés peuvent être utilisés pour assurer la protection envers des tubes et corps creux:

- Élimination de l'air par un gaz inerte comme l'argon ou quasi inerte comme l'azote.
- Élimination de l'air et mise à profit de l'effet réducteur de l'hydrogène.

C'est la raison pour laquelle les gaz de protection envers ont généralement la composition suivante:

- Azote additionné d'hydrogène
- Argon additionné d'hydrogène

L'argon n'est utilisé que dans des cas exceptionnels, par exemple avec les aciers sensibles à l'hydrogène. D'une manière générale, on emploie le terme de «Formiergaz» pour désigner les mélanges d'azote et

d'hydrogène. Pour opérer dans les règles de l'art, il faut tenir compte de la densité relative du gaz, par exemple en purgeant les réservoirs par le bas (gaz lourds) ou par le haut (gaz légers). Des informations plus précises sont fournies dans la plaquette Linde «Formiergaz et protection de la racine lors du soudage sous atmosphère protectrice» ainsi que dans la brochure «Conseils pratiques de Linde pour la protection de racine».

Linde propose également le «système de protection de racine V & K» pour les tubes ayant un diamètre intérieur de 50 mm et plus.

Consignes d'utilisation

Les gaz sont normalisés conformément à ISO 14175. Distinction est faite entre plusieurs groupes:

- Groupe R (mélanges Ar/H₂)
- Groupe I (Ar + mélanges Ar/He) et
- Groupe N (N₂ + mélanges N₂/H₂)

Pour éviter les irisations, il faut amener du gaz jusqu'à ce que les pièces aient refroidi à une température voisine de 220 °C.



Jaunissement typique: acier CrNi stabilisé au titane (protection envers avec azote)



Pas de coloration: acier CrNi stabilisé au titane (protection envers avec HYDRARGON® 7)



Soudage sous protection Formiergaz

Pour exclure tout risque d'oxydation lors du soudage des tuyauteries, il faut les purger pendant une durée déterminée qui dépend de la quantité de gaz injecté et de la géométrie de la pièce. Un balayage avec le gaz de protection permet d'éliminer l'air avant d'effectuer la soudure. A titre indicatif, le volume de gaz nécessaire représente 2,5 à 3 fois le volume géométrique du tube calculé entre les points d'alimentation et de soudage. Un débit de 5 à 12 l/min est conseillé, suivant le diamètre du tube. Dans le cas des aciers inoxydables stabilisés au titane, les gaz à base de N_2 provoquent un jaunissement des racines. Pour les matériaux de base comme les aciers Super Duplex, l'utilisation d'un gaz contenant environ 3 % de N_2 en volume peut se révéler avantageuse car elle permet de maîtriser la teneur en ferrite.

Table 8: Gaz de protection de la racine convenant pour divers matériaux

Gaz de protection	Matériau
Argon	Tous les matériaux
Mélanges Ar/ H_2	Aciers austénitiques, Ni et alliages à base Ni
Mélanges N_2 / H_2	Aciers, sauf aciers de construction à grain fin haute résistance, aciers austénitiques (non stabilisés au Ti)
N_2 Mélanges Ar/ N_2	Aciers CrNi austénitiques, aciers Duplex et Super Duplex

Consigne de sécurité

Les gaz de protection envers contenant de l'hydrogène (Formiergaz et mélanges HYDRARGON®) peuvent donner avec l'air des mélanges inflammables à partir d'une teneur en H_2 voisine de 4%. Il est donc recommandé, en particulier dans le cas de pièces d'assez grande taille, de commencer par chasser l'air au moyen d'un balayage à l'azote avant d'utiliser le gaz de protection contenant de l'hydrogène. Pendant la protection envers, il y a lieu d'empêcher toute arrivée d'air incontrôlée. Conformément à la fiche DVS 0937, il convient de faire brûler à la sortie côté pièce les gaz de protection ayant une teneur en H_2 de 10% ou plus. Après l'achèvement des travaux, le gaz de protection envers doit être rejeté à l'air libre de façon contrôlée, notamment lorsque des quantités importantes ont été utilisées.

Le déplacement de l'air est un autre danger que présente la protection envers. En particulier lorsque le volume à balayer est très important, il importe absolument de veiller à ce qu'il n'y ait pas d'appauvrissement local en oxygène au niveau de la sortie des gaz. Il y a lieu également de faire preuve de la plus grande prudence en cas de pénétration dans une cuve où a été mise en place une protection envers. L'asphyxie par manque d'oxygène survient sans qu'il y ait de signes avant-coureurs perceptibles.



Gaz de protection pour soudage au faisceau laser.

Le soudage au faisceau laser est un procédé à la fois performant et fascinant. Bien qu'il ait déjà une haute productivité intrinsèque, l'utilisation de mélanges de gaz idoines augmente encore son potentiel.

Comparativement aux procédés classiques de soudage, le laser présente divers avantages: apport d'énergie concentré, très faibles déformations, gain considérable de vitesse. La plupart du temps, le soudage a lieu sans métal d'apport, sauf si celui-ci est absolument indispensable pour des raisons de liaison et d'aspect du dépôt ou de métallurgie. Le soudage au faisceau laser convient, entre autres, pour les aciers, les métaux légers et les matières thermoplastiques. D'une manière générale, on fait appel à deux types de laser: le laser CO₂ et le laser Nd:YAG. Dans les deux cas, des gaz de protection sont nécessaires pour assurer la haute qualité des soudures.

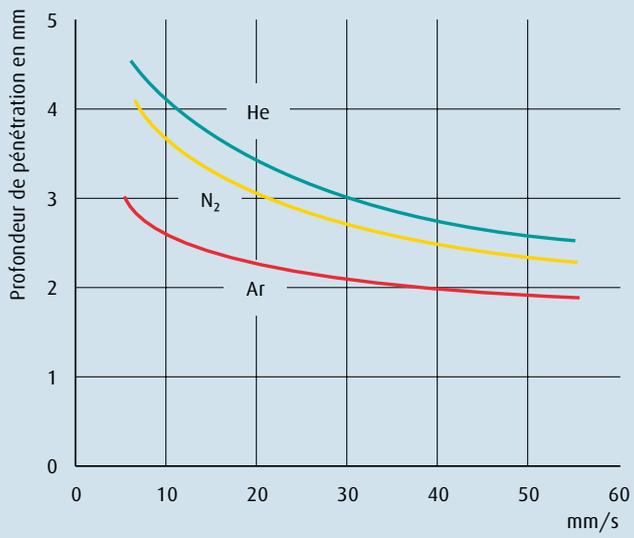
Laser CO₂

Le laser CO₂ est le plus généralement utilisé par les constructeurs automobiles et leurs sous-traitants. Le choix du gaz de protection est très important pour la qualité des soudures, car son interaction avec le faisceau laser est déterminante pour l'apport d'énergie dans la pièce. Lorsque l'intensité du faisceau laser dépasse une certaine valeur à la surface de la pièce, il se forme un plasma thermique qui,

en conjonction avec d'autres facteurs, détermine la profondeur de pénétration. Grâce à sa forte énergie d'ionisation, l'hélium se montre ici d'une remarquable efficacité, mais l'argon, l'azote et divers mélanges, tels le VARIGON® He50, sont employés aussi. Nous proposons sous la marque LASGON® des mélanges ternaires dont la composition est adaptée aux exigences de chaque application spécifique.

Laser Nd:YAG

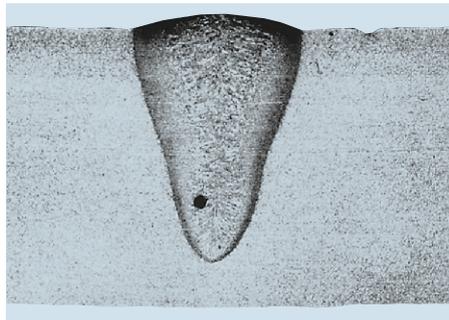
Les principaux champs d'application du laser Nd:YAG sont la micro-mécanique et l'industrie électrique, mais cette technologie est aussi de plus en plus utilisée dans l'industrie automobile. Les puissances mises en jeu vont jusqu'à 2 kW. Comme la longueur d'onde du laser Nd:YAG n'interfère quasiment pas avec les gaz de protection, seuls des critères de compatibilité avec le matériau interviennent dans le choix du gaz. C'est pourquoi l'argon est majoritairement utilisé, même s'il est aussi fait appel à l'hélium, à l'azote ou à des gaz mixtes.



Graphique 5: Effet de la nature du gaz de protection sur la profondeur et la vitesse de soudage

Laser CO₂: développement du plasma et pénétration avec différents gaz de protection

Argon



Hélium



Boîtier de stimulateur cardiaque soudé au laser Nd:YAG



Un outil universel: la lumière laser

Gaz pour découpe au faisceau laser. La découpe au faisceau laser est une technologie qui allie puissance et haute précision. La pureté des gaz utilisés est déterminante pour que l'opération se déroule de manière optimale.

La découpe est celui des procédés d'usinage laser qui est le plus fréquemment utilisé. Cette technologie s'est imposée grâce à sa grande souplesse, à la diversité de fabrication offerte et à la très bonne qualité de coupe. Le faisceau laser permet de découper pratiquement tous les matériaux, mais différents paramètres doivent être pris en compte comme le pouvoir d'absorption de la surface (réflectivité), la température d'inflammation, la température de fusion et la température de vaporisation ainsi que la conductivité thermique du matériau. Les faisceaux utilisés sont le laser CO₂ (puissance de jusqu'à 5 kW) et le laser Nd:YAG (jusqu'à 2 kW).

On distingue trois variantes du procédé de découpe laser:

- Oxycoupage
- Fusion
- Sublimation

Oxycoupage

Le faisceau laser porte le matériau à la température d'inflammation. L'oxygène insufflé provoque la combustion du métal et expulse le laitier formé. Cette combustion génère un supplément d'énergie qui accélère le process de découpe. A qualité (élevée) égale, il est prouvé qu'il existe une corrélation entre la pureté de l'oxygène utilisé et la vitesse

de coupe maximale possible. C'est ainsi que l'oxygène de qualité 3.5 (pureté de 99,95 %) permet d'augmenter la vitesse de 15 % par rapport à l'oxygène de qualité industrielle 2.5 (99,5 %).

Fusion

Dans ce procédé de découpe, c'est le faisceau laser focalisé qui fait fondre directement le matériau. La matière fondue est expulsée par un gaz inerte. La fusion laser avec un gaz à pression élevée s'impose de plus en plus pour le coupage des aciers inox sans formation d'oxydes. Ce procédé donne aussi de très bons résultats avec les aciers de construction et l'aluminium. C'est généralement l'azote de pureté 4.5 (99,995 %) qui est utilisé comme gaz de coupe. La pression du gaz à la sortie de la buse peut atteindre 20 bars et plus.

Sublimation

Le matériau à découper est vaporisé au point de focalisation du faisceau laser. Un gaz inerte, comme l'azote ou l'argon, chasse les produits de la réaction hors de la fente de coupe. Ce procédé de découpe est utilisé pour les matériaux qui n'ont pas de phase liquide ou fondue tels que le papier, le bois, certaines matières synthétiques, les textiles et la céramique.

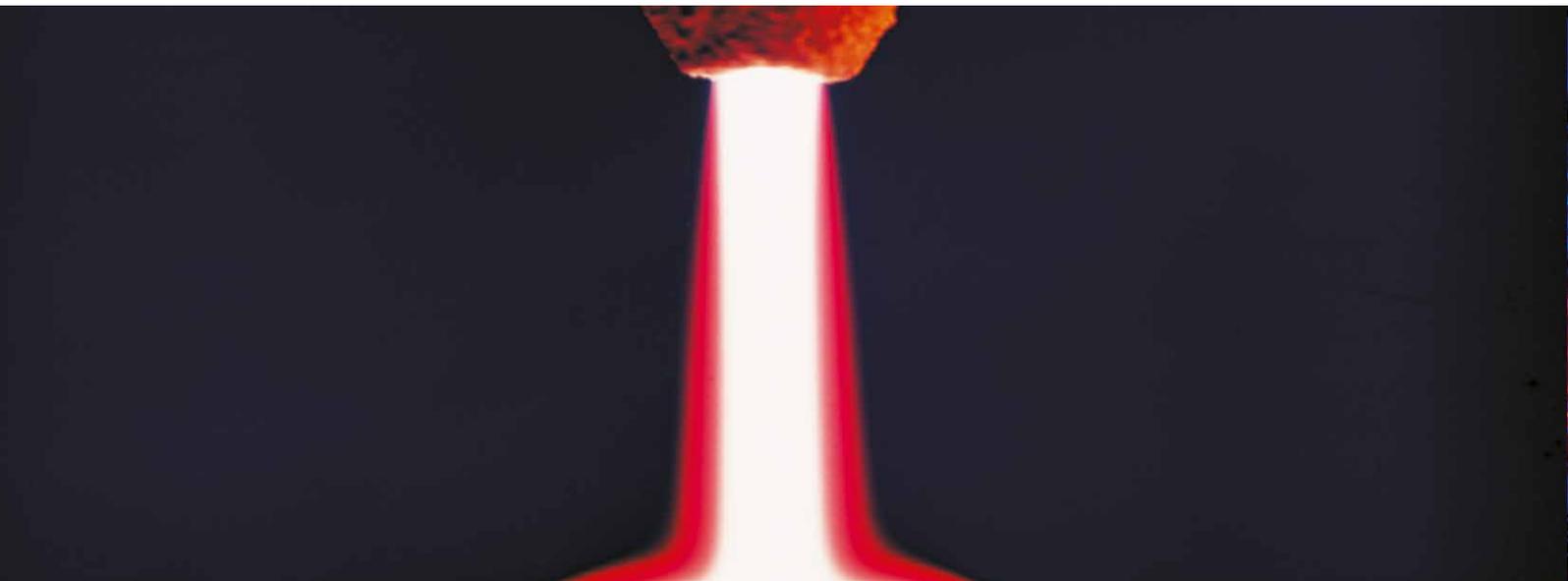


Gaz lasants

Le fonctionnement du laser CO_2 nécessite l'utilisation de gaz lasants (ce n'est pas le cas pour le laser Nd:YAG). Les gaz lasants sont CO_2 , N_2 et He. Pour certains lasers CO_2 , il est nécessaire d'ajouter des éléments comme CO ou H_2 . Linde propose sous la marque LASERMIX® une gamme de mélanges de gaz convenant pour divers types d'équipements.

Les mélanges LASERMIX® sont utilisés dans les sources laser qui ne possèdent pas de mélangeur de gaz. Pour les équipements dotés d'un mélangeur, Linde propose les gaz ultra-purs suivants:

- Hélium 4.6
- Azote 5.0
- Dioxyde de carbone 4.5



Gaz de protection pour soudage plasma.

Le procédé de soudage plasma s'est surtout imposé pour le haut de gamme. Il nécessite un gaz plasmagène et un gaz annulaire.

Comme pour le soudage TIG, l'arc électrique s'établit entre une électrode tungstène infusible et le métal de base. A la différence toutefois du procédé TIG, l'arc plasma est étranglé (constriction) dans une tuyère en cuivre de conception spéciale refroidie à l'eau, ce qui lui confère une densité de puissance supérieure. La température de l'arc se situe ainsi entre 10 000 et 24 000 °K alors qu'elle est de 4 000 à 10 000 °K pour l'arc TIG. Il est donc possible de souder à une vitesse beaucoup plus grande.

Trois variantes du procédé plasma sont utilisées:

- Soudage micro-plasma pour les tôles fines et ultrafines (dès 0,01 mm), intensités de soudage à partir d'env. 0,1 A.
- Soudage plasma pour les tôles d'épaisseur 1–3 mm.
- Soudage plasma de type «key hole», c'est-à-dire avec formation d'un trou qui traverse le joint, pour le soudage des épaisseurs jusqu'à 8 mm en une passe. Pour les épaisseurs supérieures, p. ex. soudure en Y avec talon de 8 mm, il faut des passes de remplissage sous protection gazeuse ou sous flux.

Le soudage plasma nécessite toujours deux types de gaz différents:

- Un gaz plasmagène, le plus souvent de l'argon, parfois avec un ajout d'hydrogène ou d'hélium.
- Un gaz de protection annulaire qui, outre l'argon, peut contenir de l'hydrogène pour les aciers inox fortement alliés et les alliages de nickel ou de l'hélium pour le soudage de l'aluminium et de ses alliages, du titane et des alliages de cuivre.

Il existe d'autres procédés plasma, par exemple pour le revêtement par soudage avec des poudres d'alliages hautement fusibles, parfois aussi pour l'assemblage. Citons aussi le rechargement plasma fil chaud et le soudage plasma MIG, un procédé d'assemblage à haut rendement.



Gaz pour découpe plasma. Ce procédé permet de couper des matériaux qui ne peuvent l'être au chalumeau. Il nécessite de combiner un gaz plasmagène et un gaz secondaire de manière ciblée.

Le procédé plasma a été mis au point pour couper les métaux qui ne pouvaient l'être par des procédés thermiques comme le chalumeau. Contrairement à l'oxycoupage autogène, ce procédé permet de couper tous les matériaux électro-conducteurs. Le métal à couper doit être porté à la température de fusion sur toute son épaisseur par le jet plasma.

Le procédé de découpe plasma peut être utilisé avec les métaux suivants:

- Aciers non alliés
- Aciers fortement alliés
- Nickel, cuivre, laiton, bronze, aluminium et leurs alliages.

Le coupage plasma est avant tout un procédé de fusion localisée. L'arc électrique et le gaz plasmagène sont étranglés dans une tuyère en cuivre refroidie à l'eau, ce qui provoque la dissociation et une ionisation partielle du gaz en générant une flamme dont la température peut atteindre 30 000 °K. Le matériau est fondu instantanément et évacué par le jet de plasma hors de la fente formée. Les installations qui fonctionnent en plus avec un gaz secondaire servant de gaz de refroidissement ont une bonne productivité. Le flux de gaz secondaire forme une enveloppe autour de l'arc plasma, l'étrangle encore plus et améliore à la fois la qualité et la vitesse de coupe.

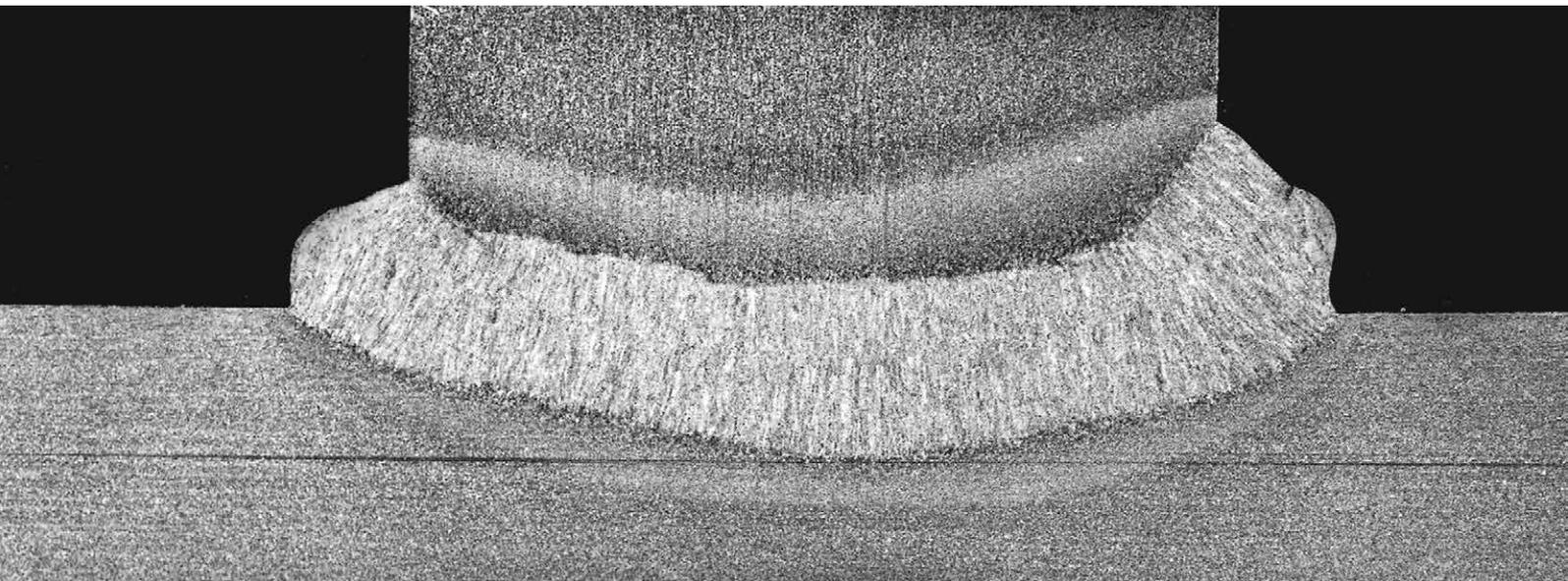
Une nouvelle variante de la découpe plasma avec gaz secondaire est le procédé à jet fin. En présence d'oxygène, il est possible alors d'obtenir une qualité de coupe comparable à celle donnée par le laser. Suivant la nature et l'épaisseur du matériau à couper, on utilise des gaz très divers. Pour éviter la pollution, il est indispensable d'aspirer les poussières et vapeurs formées. Quand on opère sous l'eau, cette aspiration n'est toutefois obligatoire que dans certains cas (oxydes d'azote). On travaille ici aussi avec un gaz de coupe, par exemple l'oxygène ou l'azote. Les combinaisons de gaz plasmagène et secondaire figurant dans le tableau ci-dessous sont données à titre indicatif. Suivant le type de poste de coupage utilisé, il peut s'avérer nécessaire de recourir à d'autres mélanges pour obtenir une bonne qualité de coupe. L'azote et les gaz azotés (l'air contient 80% d'azote) provoquent une forte absorption d'azote dans la zone de coupe. La teneur de cette dernière en azote peut alors atteindre 15 fois celle du matériau de base. En se diffusant ensuite dans le métal fondu lors du soudage final, cet azote peut générer des pores, ce qui entraîne une forte diminution de la résilience.

Le tableau présente les gaz conseillés pour la découpe plasma des aciers alliés et fortement alliés ainsi que de l'aluminium.

P = Gaz plasmagène S = Gaz secondaire

Table 9: Gaz pour découpe plasma

Matériaux	80 Ar/20 H ₂	Formiergaz 25/10	Air 80 N ₂ /20 O ₂	Azote N ₂	Oxygène O ₂	Dioxyde de carbone CO ₂
Aciers au carbone	—	—	S	S	P	S
Aciers CrNi	P	S	—	S	—	—
Aluminium	—	—	P + S	P + S	—	—



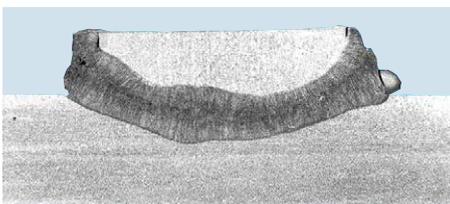
Gaz de protection pour le soudage de goujons par arc tiré.

Le soudage des goujons par arc tiré est un procédé spécial pour lequel l'utilisation d'une atmosphère inerte conduit à une amélioration sensible de la qualité.

Des études récentes ont montré que la qualité du soudage pour les procédés BH 10 et BH 100 était sensiblement améliorée quand on utilisait un gaz de protection approprié. Les combinaisons matériau/gaz inerte figurant ci-après ont fait preuve en l'occurrence d'une grande efficacité. En permettant de supprimer les bagues réfractaires, les gaz de protection se révèlent particulièrement avantageux pour le soudage totalement mécanisé, y compris dans les applications industrielles robotisées.

Table 10: Combinaisons matériau/gaz de protection

Matériau de base	Matériau du goujon	Gaz de protection
Acier de construction	Acier de construction	CORGON® 18
Acier fortement allié	Acier fortement allié	CORGON® 18/ CRONIGON®
AlMg 3	Al99,5 ou AlMg 3	VARIGON® He30S





Gaz pour les techniques autogènes. Qui dit techniques autogènes dit acétylène. Grâce à ses remarquables propriétés, ce gaz combustible universel est omniprésent dès lors qu'il s'agit de chauffer, braser et souder en combinaison avec l'air ou l'oxygène.



On parle de techniques autogènes pour tous les procédés de fabrication dans lesquels les pièces sont soumises à la chaleur de la flamme générée par la combustion d'un gaz avec l'oxygène ou l'air. Les procédés «à la flamme» les plus fréquemment utilisés sont le soudage au gaz, le brasage, la métallisation, l'oxycoupage, le gougeage, le décapage, la chauffe, la trempe superficielle et le redressage. Le meilleur des gaz combustibles, à savoir l'acétylène, permet de les mettre en œuvre de manière optimale.

Pourquoi l'acétylène est-il aussi avantageux ?

Les performances de l'acétylène: énergie libérée lors de la combustion, température élevée et vitesse de la flamme oxyacétylénique, s'expliquent facilement par la structure moléculaire de ce gaz. La molécule d'acétylène est constituée de deux atomes d'hydrogène réunis par une triple liaison ainsi que de deux atomes d'hydrogène disposés symétriquement. Lors de la décomposition de l'acétylène, et c'est là

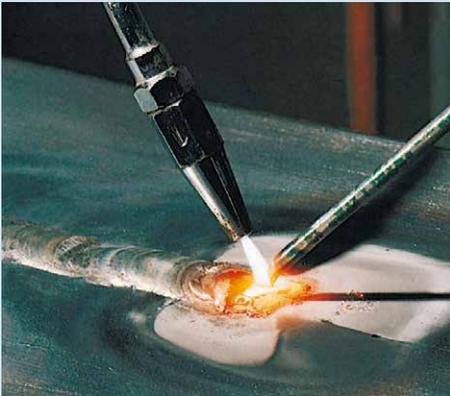
que ce gaz se distingue des autres hydrocarbures, l'enthalpie de formation est libérée, soit environ 8714 kJ par kg d'acétylène, ce à quoi vient s'ajouter l'énergie de la flamme primaire résultant de la combustion avec l'oxygène. Et comme seule la flamme primaire est importante en technique autogène, les propriétés de l'acétylène représentent un très grand avantage.

Chaque fois qu'une pièce à usiner doit être chauffée ou préchauffée de manière rapide et concentrée, c'est la température de la flamme qui joue le rôle le plus important. Car plus cette température est élevée, plus le transfert de chaleur est rapide entre la flamme et la pièce. Avec ses 3160 °C, la flamme oxyacétylénique atteint la température la plus élevée de tous les hydrocarbures. De plus, l'acétylène est le gaz combustible ayant la plus grande vitesse de flamme, autrement dit de propagation de la combustion. En pratique, cela veut dire que le transfert de chaleur et le rendement thermique sont d'autant meilleurs que les produits de combustion brûlants arrivent plus vite sur la pièce.

Seul l'acétylène est à même de donner la température et la puissance requises pour faire fondre et souder l'acier à flamme neutre. La flamme oxyacétylénique est dite «neutre» pour un rapport de combustion acétylène/oxygène de 1/1. La flamme air-acétylène, plus molle, a une action plus douce que la flamme oxyacétylénique. Ceci est important lorsque la flamme obtenue avec de l'oxygène pur est trop chaude pour le matériau ou la brasure. Là aussi, l'acétylène se révèle supérieur aux autres mélanges de gaz combustible et d'air, puisque la température de la flamme s'élève encore à 2325 °C.



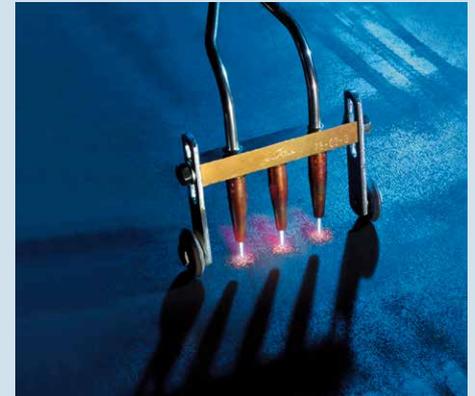
Bouteille à robinetterie intégrée (système EVOS™ VIPR)



Soudage au gaz



Oxycoupage



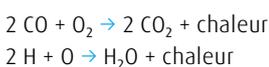
Redressage à la flamme

La combustion de l'acétylène

Au début de la combustion, les molécules d'hydrocarbure sont dissociées. Dans un premier temps (zone primaire, dard éblouissant), le carbone est oxydé par l'oxygène disponible en donnant du monoxyde de carbone et de l'hydrogène pur. Cette réaction dégage de la chaleur.



Pendant la deuxième phase de combustion, le monoxyde de carbone CO et l'hydrogène sont oxydés à leur tour et donnent respectivement du dioxyde de carbone CO₂ et de la vapeur d'eau. L'oxygène nécessaire à cette combustion provient de l'air ambiant lorsque la flamme est neutre.



La quantité de vapeur d'eau formée est bien plus faible que lors de la combustion d'autres hydrocarbures. Conformément à l'équation ci-dessus, elle représente 3,6 % seulement dans le cas de l'acétylène alors qu'elle est respectivement de 31 % et de 40 % pour le propane et le méthane. Ceci mérite considération, par exemple lors du préchauffage de matériaux sensibles à l'hydrogène comme les aciers alliés à grain fin très résistants ou l'aluminium.

Soudage au gaz

Le soudage au gaz continue de tenir une place importante parmi les procédés autogènes. L'avantage majeur de la flamme oxyacétylénique est son effet réducteur et sa facilité de réglage. Les soudures autogènes à l'acétylène se distinguent par la bonne liaison des joints. Cette utilisation sans problème est également très précieuse pour le soudage en position. La flamme oxyacétylénique trouve de nombreuses possibilités d'application dans le secteur des tuyauteries et canalisations. La combustion du mélange d'acétylène et d'oxygène se caractérise par la forme très nette du dard dans la flamme.

Brasage à la flamme

Comme le soudage au gaz, le brasage à la flamme est un procédé d'assemblage thermique. Il permet toutefois d'assembler des matériaux de différente nature, ce qui pose souvent problème en soudage. Ce procédé a fait ses preuves également pour l'assemblage des pièces minces et sensibles à la chaleur en permettant de fabriquer des joints métal-métal de résistance, fiabilité et étanchéité supérieures. Pour le brasage, on utilise aussi bien la flamme oxyacétylénique que la flamme air-acétylène.

Métallisation

La métallisation par projection thermique est un procédé de traitement de surface des matériaux métalliques ou non. Le métal à appliquer (fil ou poudre) est fondu par la flamme oxyacétylénique puis projeté à la surface de la pièce à revêtir par un jet d'air comprimé ou d'un autre gaz. La haute température de la flamme oxyacétylénique permet de projeter même des métaux à point de fusion très élevé, comme le molybdène.

Oxycoupage

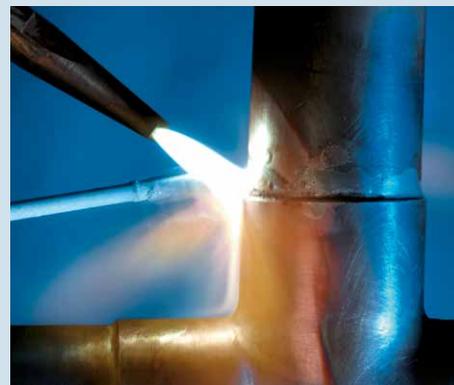
L'oxycoupage, à la main ou à la machine, est l'un des principaux champs d'application de la flamme oxyacétylénique. C'est un procédé à coût salarial élevé: 80 à 90 % des coûts sont des coûts de main-d'œuvre et de machines. La grande puissance de la flamme acétylénique présente donc ici des avantages particulièrement intéressants: préchauffage rapide pour l'amorce de coupe ou le perçage ainsi que vitesse de coupe optimale, même avec des tôles rouillées, calaminées ou peintes.



Décapage



Chauffe à la flamme



Brasage

Gougeage

Le gougeage à la flamme ou oxyrainurage est utilisé pour remédier aux défauts des cordons de soudure ainsi que pour préparer les passes de remplissage. Moyennant un guidage approprié de la torche, la flamme oxyacétylénique permet d'obtenir des résultats de qualité irréprochable.

Découpage à la lance thermique

Ce procédé qui fait appel à une lance à oxygène mérite d'être signalé car il permet de découper pratiquement tous les matériaux, c'est-à-dire aussi bien les métaux ferreux et non ferreux que le béton et d'autres substances minérales. Principe: c'est la chaleur dégagée par la combustion du fer dans le courant d'oxygène qui est utilisée pour faire fondre le matériau mis en œuvre.

Chauffe à la flamme

Le terme de chauffe à la flamme désigne les procédés de chauffe localisée permettant le façonnage à chaud, p.ex. pour le cintrage des tubes, le dégorgeage des collecteurs, le refoulement des fonds de réservoir ou pour le préchauffage et la chauffe de retrait (soaking) en soudage et oxycoupage. L'utilisation de chalumeaux oxyacétyléniques à haut rendement spécialement conçus à cet effet est conseillée lorsque l'apport de chaleur dans la pièce doit être le plus rapide et le plus concentré possible. Pour un préchauffage plus doux, on utilise aussi des brûleurs spéciaux à flamme air comprimé-acétylène.

Décapage à la flamme

On recourt au décapage à la flamme oxyacétylénique dans tous les cas où il est indispensable de nettoyer parfaitement la surface des tôles avant de procéder à leur traitement ultérieur. Le décapage thermique

permet d'éliminer rouille, croûte de laminage et couches de calamine sans peine et à moindres frais. Les surfaces décapées à la flamme assurent ensuite une remarquable adhérence des peintures et revêtements. Ce procédé est aussi utilisé pour le traitement thermique des surfaces en béton ou en pierre naturelle.

Trempe superficielle

La trempe des pièces en acier aptes au revenu sert à prévenir leur usure. Ce procédé consiste à chauffer localement la surface des pièces et à la refroidir brusquement de manière à obtenir une couche durcie. Ici aussi, la grande puissance de la flamme oxyacétylénique permet de chauffer si rapidement que la chaleur peut s'accumuler sur l'épaisseur voulue sans pénétrer dans des couches plus profondes. Le refroidissement immédiat à l'eau permet de dissiper la chaleur. Les variations de structure et les tensions internes conduisent à une structure de trempe martensitique. La forme et les caractéristiques mécaniques de la pièce sont conservées.

Redressage

C'est là un procédé qui met particulièrement à profit les propriétés de l'acétylène, car les caractéristiques de la flamme oxyacétylénique permettent de l'orienter de manière rapide et précise sur les points à redresser. Grâce à la souplesse d'utilisation de la flamme et à la facilité de changement des lances, la chaleur fournie peut être modulée à volonté, ce qui permet un traitement optimal des pièces dans les conditions les plus économiques possibles.

A chaque procédé son gaz de protection

Procédés	Gaz de protection	Matériaux	
 <p>MAG Soudage (M: Métal, A: Actif, G: Gaz)</p>	COXOGEN® 5/5 CORGON® 15/5 COXOGEN® 10 COXOGEN® 15 CORGON® 18	Dioxyde de carbone CRONIGON® He20	Acier pour tuyauteries, construction, chaudronnerie, construction navale, acier de construction à grain fin, aciers de cémentation et de revenu
	CRONIGON® CRONIGON® He20 CRONIGON® He33	CRONIGON® He30S	Acier au CrNi, acier au Cr et aciers alliés divers, alliages à base de nickel, aciers Duplex et Superduplex
 <p>MSG-HL Soudage sous gaz de protection Haute Performance</p>	CORGON® He30	CORGON® S5	Aciers pour tuyauteries, construction, chaudronnerie, construction navale, acier de construction à grain fin
 <p>MIG Soudage (M: Métal, I: Inerte, G: Gaz)</p>	Argon 4.6/Argon 5.0 VARIGON® S VARIGON® He10 VARIGON® He30S	VARIGON® He50 VARIGON® He60 VARIGON® He70	Aluminium, cuivre, nickel et autre alliages
	Argon 4.6/Argon 5.0 VARIGON® S	CRONIGON®	Aciers de construction non alliés et galvanisés
 <p>MSG Brasage sous protection gazeuse</p>			
 <p>WIG/TIG Soudage (T: Tungstène, I: Inerte, G: Gaz)</p>	Argon 4.6/Argon 5.0 VARIGON® S VARIGON® He10 VARIGON® He30S	VARIGON® He50 VARIGON® He60 VARIGON® He70 Hélium 4.6	Tous les métaux soudables comme aciers alliés et non alliés, aluminium, cuivre
	HYDRARGON® 2 HYDRARGON® 7 CRONIWIG® N3He Argon 5.0	HYDRARGON® 5 CRONIWIG® N3	Aciers CrNi, nickel et ses alliages
 <p>WP Soudage tungstène et plasma</p>	Gaz central/plasmagène: Argon 5.0 Gaz annulaire: Argon 4.6 HYDRARGON® 2 HYDRARGON® 5 HYDRARGON® 7	Hélium 4.6 VARIGON® He60 VARIGON® S	Tous les métaux soudables, voir soudage TIG
 <p>Protection envers Protection de racine</p>	Formiergaz 5 Formiergaz 8 Formiergaz 10 Formiergaz 25 Argon 5.0	HYDRARGON® 2 HYDRARGON® 5 HYDRARGON® 7	Tous les matériaux pour lesquels on veut éviter l'oxydation sur l'envers des soudures (racine). Au-dessus de 10 % d'hydrogène, brûler à la torche. Pour matériaux sensibles aux gaz tels que titane, tantale et zirconium
 <p>Laser Soudage et coupage</p>	Argon 4.6, Argon 5.0 Hélium Gaz spéciaux Gaz fonctionnels, par ex. pour laser CO ₂ LASPUR®		Tous les métaux soudables
 <p>Soudage à l'arc des goujons par étincelage</p>	CORGON® 18 CRONIGON® HYDRARGON® 2 VARIGON® He30S	CRONIGON® He33	Aciers de construction Aciers fortement alliés Aluminium et alliages d'aluminium

Composition des gaz de protection Linde

Gaz de protection	ISO 14175	Ar % vol.	CO ₂ % vol.	O ₂ % vol.	He % vol.	N ₂ % vol.	H ₂ % vol.	NO % vol.
Competence-Line:								
Argon 4.6	I 1	100						
Argon 5.0	I 1	100						
CORGON® S5	M 22	Reste		5				
COXOGEN® 10	M 20	Reste	10					
COXOGEN® 15	M 20	Reste	15					
CORGON® 15/5	M 25	Reste	15	5				
CORGON® 18	M 21	Reste	18					
COXOGEN® 5/5	M 23	Reste	5	5				
CRONIGON®	M 12	Reste	2,5					
CRONIWIG® N3	N 2	Reste				3		
Dioxyde d'azote	C 1		100					
VARIGON® S	Z	Reste		0,03				0,03
Performance-Line:								
CORGON® He30	M 20	Reste	10		30			
CRONIGON® He20	M 12	Reste	2,5		20			
CRONIGON® He30S	Z	Reste	0,05		30		2	
CRONIGON® He33	M 11	Reste	3		33		1	
CRONIWIG® N3He	N 2	Reste			20	3		
Hélium 4.6	I 2				100			
HYDRARGON® 2	R 1	Reste					2	
HYDRARGON® 5	R 1	Reste					5	
HYDRARGON® 7	R 1	Reste					7	
VARIGON® He10	I 3	Reste			10			
VARIGON® He30S	Z	Reste		0,03	30			
VARIGON® He50	I 3	Reste			50			
VARIGON® He60	I 3	Reste			60			
VARIGON® He70	I 3	Reste			70			
Formiergaz 5	N 5					Reste	5	
Formiergaz 8	N 5					Reste	8	
Formiergaz 10	N 5					Reste	10	
Formiergaz 25	N 5					Reste	25	
Azote	N 1					100		
VARIGON® NH	N 4	Reste				2	1	
VARIGON® H5C	M 11	Reste	0,5				5	
VARIGON® N3H1	N 4	Reste				3	0,7	

Competence-Line:

Pour les soudures manuelles de haute qualité, avec une bonne pénétration. Ces gaz de protection sont à base d'argon additionné d'oxygène, de dioxyde de carbone ou d'azote.

Performance-Line:

Pour les soudures manuelles et, surtout, entièrement mécaniques ou automatisées de haute qualité, à vitesse élevée. Ces gaz de protection sont additionnés d'hélium et d'hydrogène.

Bibliographie

DVS Merkblatt 0937, Wurzelschutz beim Schutzgasschweißen, DVS Verlag, Düsseldorf 1990

ISO 14175, Schutzgase zum Lichtbogenschweißen und -schneiden, Ausgabe Mai 1995

Trube, S., Auswahl von Schutzgasen zum Schweißen von Stahlwerkstoffen, Sonderdruck 04/99, Höllriegelskreuth 1999

Trube, S., Ammann, T., Schutzgase zum Schweißen und Formieren von Chrom-Nickel-Stählen, Jahrbuch Schweisstechnik 2001, S. 77–84, DVS-Verlag, Düsseldorf 2000

Trube, S., Schutzgasschweißen von A–Z, Schutzgas für Aluminium bis Zirkon, unveröffentlichter Bericht der Linde AG, Höllriegelskreuth 1998

Gümpel, P. et al., Rostfreie Stähle, Grundwissen, Konstruktions- und Verarbeitungshinweise, Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim 1996

Brune, E., Spichale, B., Schweißschutzgase, Technica 10/99, S. 50–54, Ruppertswil 1999

Brune, E., Schweiß- und Schneidtechnik, Handbuch für Praktiker, PanGas Luzern, Luzern 2000

Brune, E., Besonderheiten beim Titan-Schweißen, Technica 25–26/2000, S. 50–55, Ruppertswil 2000

Schumacher, K. et al., Rationelles Vorwärmen, PanGas Sonderdruck 52/96, Luzern 1996

Böhme, D., Plasmaverbindungsschweißen, DVS-Berichte Band 128, Düsseldorf 1989

Linde Sonderdruck, Laser in der Materialbearbeitung, Grundlagen der Lasertechnik, München 1995

Niederberger, K., Herrmann, J., Gase – unverzichtbarer Bestandteil der Lasermaterialbearbeitung, Linde Sonderdruck 13/92, München 1992

Stenke, V., Schutzgasauswahl – vom CO₂ zum T.I.M.E.-Gas, in: Filler Materials and other Consumables for Welding, ISBN 953-96454-1-7, 10.–13.10.1996, Porec, S. 101–116

Pomaska, H.-U., MAG-Schweißen, ISBN 3-7863-0779-2. 1. Aufl., September 1989, Linde AG, Höllriegelskreuth

Trube, S., MAG-Hochleistungsschweißen mit dem LINFASST-Konzept, IIW-DOC XII-1499-97 und Sonderdruck 36/97, Linde AG, Höllriegelskreuth

Hornig, J., Schweißen verzinkter Bleche, in: Jahrbuch Schweisstechnik 1996, S. 27–39, Düsseldorf 1996

Baum, L., Fischer, H., Der Schutzgasschweisser, Teil 1, WIG-Schweißen/Plasmaschweißen, DVS Verlag, Düsseldorf 1997

SN EN 10 088-1, Nichtrostende Stähle, Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle, Ausgabe 1995

DIN EN 10 088-2, Nichtrostende Stähle, Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band für allgemeine Verwendung, Ausgabe 1995

DIN EN 10 088-3, Nichtrostende Stähle, Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht und Profile für allgemeine Verwendung, Ausgabe 1995

Trumpf Firmenschrift, Laserzelle zum Schweißen, Trumpf Systemtechnik, Ditzingen 1998

Trumpf Firmenschrift, Flexible Blech- und Materialbearbeitung, Trumpf Systemtechnik, Ditzingen 1996

Mair, H., Abgrenzung der thermischen Schneidverfahren: Laserstrahlschneiden, Plasmaschneiden und autogenes Brennschneiden, Linde Sonderdruck 29/95, München 1995

Mair, H., Thermische Schneidverfahren: Autogenes Brennschneiden, Plasma-Schmelzschnitten, Laserstrahlschnitten – ein technologischer und wirtschaftlicher Vergleich, Linde Sonderdruck 128, München 1993

Bernhard, P., Arbeitsschutz beim Umgang mit Brenngasen und mit Sauerstoff, Beratungsstelle für Autogentechnik, Hürth 1975

...et des conseils utiles en pratique

- Soudage MAG des aciers de construction
- Soudage MAG en réparation automobile
- Soudage MAG des alliages d'aluminium
- La protection de racine (Formiergaz)
- Gaz de soudage et Formiergaz
- Oxycoupage
- Décapage à la flamme
- Redressage à la flamme

Nous remercions les entreprises suivantes pour les photos et illustrations mises à notre disposition
Fronius, Rümlang ZH, Trumpf, Baar ZG, Linde, München D, SLV-München, Fontargen, Eisenberg D, INOX-Schweisstechnik, Zug ZG

Édité par PanGas,
Département «Techniques de soudage et de coupage»
Rédaction et responsabilité technique:
Thomas Ammann, Dipl.-Ing. (TU)
Dagmersellen, 2012

A la pointe de l'innovation, partout dans le monde.

Filiale du Linde plc, l'un des chefs de file mondiaux du secteur gaz, Linde Gas Schweiz joue un rôle de pionnier sur le marché grâce à ses concepts innovants de production et d'approvisionnement. Leadership technologique oblige, nous nous devons de placer la barre toujours plus haut. C'est donc dans un esprit d'entreprise et de progrès que nous œuvrons sans cesse à développer des produits de pointe et des procédés résolument novateurs.

Au-delà, Linde apporte à sa clientèle une réelle valeur ajoutée, des avantages concurrentiels significatifs et une optimisation de la rentabilité. Chaque solution constitue une réponse aux exigences spécifiques d'un client. Elle est unique et personnalisée. Cette approche individualisée s'applique à toutes les entreprises, grandes ou petites, et à tous les secteurs d'activité.

Pour faire face à la concurrence de demain, vous avez besoin d'un partenaire averti qui maîtrise parfaitement les enjeux du futur en terme de qualité, d'efficacité et de productivité. A nos yeux, un partenariat ne signifie pas simplement présence ou assistance, mais une véritable collaboration avec vous. La réussite commerciale n'est-elle pas le fruit d'une activité conjointe?

Linde – ideas become solutions.

Linde Gas Schweiz AG

Siège principal, Industriepark 10, CH-6252 Dagmersellen
Téléphone 0844 800 300, contact.lg.ch@linde.com, linde.ch