

Matériaux en aluminium.

Procédés de soudage.



La matière d'aluminium.

La combinaison des différentes propriétés de ce métal fait de lui une matière très précieuse.

Propriétés physiques et chimiques de l'aluminium

Les alliages d'aluminium ont pris, au cours des 60 dernières années, une place importante dans beaucoup de domaines de la technique et occupent la deuxième place parmi les métaux utilisés, après les matériaux en acier. C'est dans le domaine des transports que se situe leur principale application, suivis de ceux du bâtiment et de la construction de machines. Depuis de nombreuses années également, l'aluminium est un matériau attrayant pour l'industrie de l'emballage.

L'essor économique et technique de l'aluminium est dû à une combinaison intéressante de propriétés, dont :

faible densité

conductibilité thermique et électrique élevée

grande ductilité même à basses températures

conformité avec les prescriptions d'hygiène

stabilité chimique

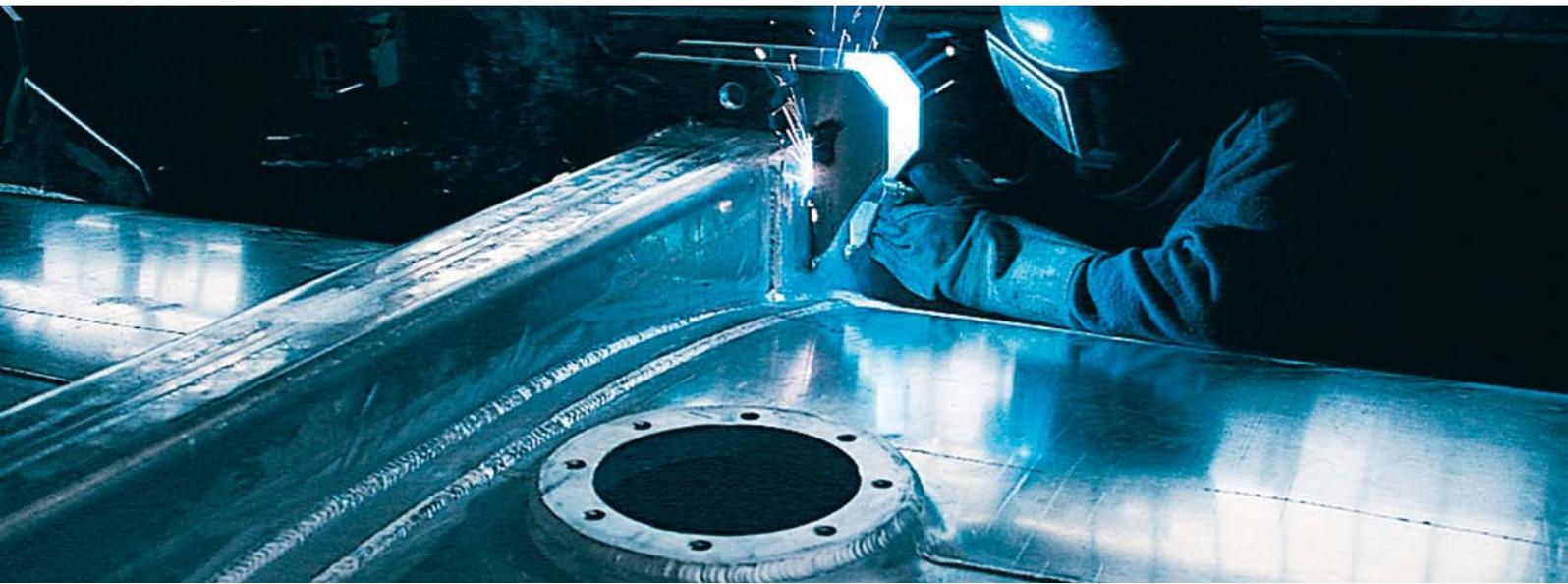
Souvent aussi, on choisit l'aluminium en raison d'autres propriétés, comme l'absence d'étincelles, la neutralité magnétique ou l'incombustibilité.

On distingue entre l'aluminium de grande pureté, l'aluminium pur et les alliages d'aluminium à base de manganèse, de silicium, de cuivre ou de zinc, dont la principale fonction est d'augmenter la résistance mécanique. Outre les alliages à deux composants, on utilise souvent des alliages ternaires ou multiples. L'augmentation de la résistance mécanique ne s'obtient pas seulement par solidification de cristaux mixtes, mais également par écrouissage ou par durcissement. C'est pourquoi dans les matériaux en aluminium, on fait la distinction entre alliages à durcissement structural et non trempants. Une autre caractéristique distinctive est le mode de traitement : il y a les alliages de fonderie et les alliages de corroyage. La table 1 montre les principales propriétés de l'aluminium pur comparées à celles du fer pur. On note la densité nettement plus faible, le point de fusion très bas, mais également la chaleur de fusion élevée et le point de fusion très élevé de l'oxyde d'aluminium. L'aluminium ne présente pas de couleur incandescente au point de fusion. Ces caractéristiques conjuguées avec un coefficient de dilatation plus élevé et une bonne conductibilité thermique font que le soudage de matériaux en aluminium est plus compliqué que celui du fer.

À température ambiante, les cristaux d'aluminium sont à mailles cubiques à faces centrées et ne sont pas sujet à transformation, si bien que l'aluminium ne peut pas développer de structure de trempe comme la martensite. Une fragilisation à froid ne se produit pas sur l'aluminium.

Table 1: Comparaison aluminium - fer

Propriété	Unité	Aluminium	Fer
Masse atomique	g/mol	26,98	55,84
Densité	g/cm ³	2,70	7,87
Module d'élasticité	N/mm ²	71 × 10 ³	210 × 10 ³
Coefficient de dilatation	1/°K	24 × 10 ⁻⁶	12 × 10 ⁻⁶
Chaleur de fusion	kJ/kg	396	270
Limite élastique	N/mm ²	env. 10	env. 100
Résistance à la traction	N/mm ²	env. 50	env. 200
Oxydes		Al ₂ O ₃	FeO, Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄
Point de fusion des oxydes	°C	2046	1400, 1455, 1600
Point de fusion du métal	°C	658	1536



Un matériau à usages multiples

Normalisation des alliages d'aluminium

Les désignations ainsi que l'index numérique des matériaux d'alliages d'aluminium sont définis dans la norme EN 573-1 et répondent au système de désignation de l'«Aluminium Association» de Washington. Vous trouverez des informations détaillées concernant l'analyse chimique dans la norme EN 573-3.

Les groupes d'alliages sont classés comme suit:

- Série 1000** Aluminium à min. 99,00 %
- Série 2000** Cuivre comme principal élément d'alliage
- Série 3000** Manganèse comme principal élément d'alliage
- Série 4000** Silicium comme principal élément d'alliage
- Série 5000** Magnésium comme principal élément d'alliage
- Série 6000** Mg + Si comme principaux éléments d'alliage
- Série 7000** Zinc comme principal élément d'alliage
- Série 8000** Autres éléments d'alliage
- Série 9000** Non utilisé

La désignation s'opère avec le numéro du matériau (p.ex. EN AW-5082) ou en écriture avec les symboles chimiques, p.ex. EN AW-ALMg4.5Mn0.7. Le taux d'alliage moyen des principaux éléments d'alliage est indiqué en pourcentage. Mais il peut encore y avoir d'autres éléments d'alliage non repris dans la désignation.

Groupes d'alliages

Alliages écrouis

Les alliages d'aluminium non trempants sont amenés à un degré de résistance plus élevé par des procédés de déformation comme laminage à froid ou étirage à froid. Les qualités d'aluminium pur AL99.5 et AL99.0, ainsi que les alliages ALMn1, ALMg1, ALMg2.5, ALMg3, ALMg2.7Mn, ALMg4Mn et ALMg4.5Mn font partie de ce groupe.

Comme tous les métaux, dont la résistance résulte de l'écrouissage, lorsque ces alliages sont soumis à une température trop élevée, cela peut conduire à une perte irréversible de la résistance à la traction – à moins de leur faire subir un autre formage à froid. La solidité finale est due à une recristallisation. C'est pourquoi on peut s'attendre à trouver dans les raccords soudés – au niveau des soudures et de la zone affectée par la chaleur – un niveau de solidité similaire à celui d'un recuit doux. Sur certains alliages, on parvient à relever le seuil de cristallisation par addition de manganèse, de manière à éviter l'effet de détrempe au soudage.



Graphique 1: Influence du magnésium sur les propriétés mécaniques

Résistance de matériaux en aluminium renforcée par des alliages

Il est possible d'augmenter la résistance mécanique de l'aluminium par l'ajout d'éléments d'alliage (graphique 1). Les principaux composants d'alliage sont le cuivre, le silicium, le magnésium, le zinc et le manganèse. De petites quantités de béryllium, de bore, et de sodium peuvent également intervenir.

Généralement, il ne s'agit pas d'alliages binaires, mais plutôt ternaires ou quaternaires. À côté du taux d'analyse, le fait que les éléments d'alliage soient présents en tant que cristaux mixtes solubilisés, non solubilisés ou en tant que liaisons intermétalliques dans la structure joue également un rôle important.

Alliages trempants

Il est possible d'améliorer nettement la résistance mécanique de certains alliages d'aluminium en les soumettant à un traitement thermique spécial – appelé la trempe. Certaines conditions métallographiques essentielles doivent être remplies pour pouvoir appliquer ce procédé : la solubilité du cristal mixte d'aluminium dans l'élément d'alliage, doit diminuer avec la température. Ceci est le cas par exemple pour le cuivre qui à température ambiante ne peut être dissous qu'à 0,3% environ et qui à 500 °C peut se mettre en solution à plus de 4%.

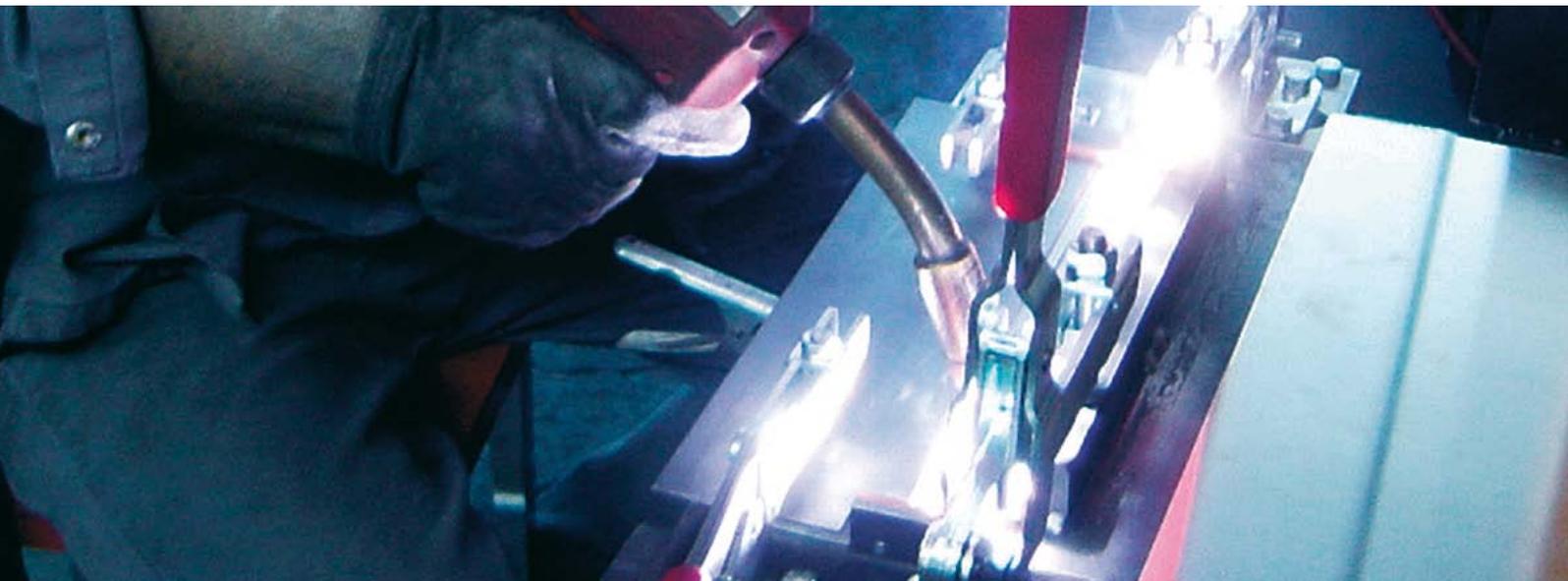
D'autre part, durant le refroidissement, il ne peut se produire de phases d'équilibre, le cristal mixte homogène doit se laisser refroidir à l'état sursaturé. La troisième condition préalable est que le cristal mixte sursaturé se dissocie à température ambiante ou légèrement plus élevée et que les phases suivantes entraînent une augmentation de la solidité.

Dans la pratique, le traitement consiste en trois étapes : le recuit de mise en solution à env. 500–570 °C, la trempe – avec de l'eau par exemple – et la précipitation à température ambiante ou dans une plage de 120–160 °C.

Parmi les alliages trempants, les types aluminium-magnésium, silicium et aluminium-zinc-magnésium sont largement utilisés. La vitesse de refroidissement après le soudage des alliages AlMgSi ne suffit pas à former un cristal mixte sursaturé, de sorte qu'une précipitation ne permet pas d'équilibrer la perte de solidité dans la zone influencée par la chaleur.

Les alliages AlZnMg perdent également une partie de leur résistance mécanique lors du soudage. Les cristaux mixtes qui se forment sur ces alliages présentent une plus faible température de dissolution et il suffit d'une vitesse de refroidissement modérée pour supprimer les phases de précipitation.

Le soudage de ces métaux agit pratiquement comme un second recuit de mise en solution et la bonne conductibilité thermique génère une trempe suffisante. Le vieillissement naturel prend quelques jours, voire quelques mois, de sorte qu'après cette période, l'état trempé est à nouveau atteint même dans la zone de la soudure.



Soudage MIG avec torche Push-pull

Propriétés du matériau

On considère généralement que le soudage de métaux à base d'aluminium est nettement plus difficile que celui d'alliages d'acier. Ceci est dû aux propriétés physiques spécifiques de l'aluminium, dont nous décrivons les plus importantes ciaprès.

Couche d'oxyde avec un point de fusion élevé

L'aluminium forme une très fine couche d'oxyde naturelle de l'ordre de $0,01 \mu\text{m}$ de composition Al_2O_3 , qui assure sa résistance à la corrosion et qui présente un point de fusion (env. 2050°C) très élevé par rapport au métal. Son poids spécifique est plus élevé que celui du métal pur, c'est pourquoi dans le bain de fusion, les oxydes coulent vers le bas. La couche d'oxyde fonctionne comme un isolant électrique et doit être éliminée avant le soudage. Pour le soudage autogène ou le brasage fort, on utilise des flux de soudage, qui transforment l'oxyde en un laitier visqueux de très faible poids spécifique. Ce laitier protège la zone de soudage et empêche l'oxydation.

Il existe aussi d'autres procédés pour éliminer la couche d'oxyde, comme le brossage, le ponçage, le fraisage et le décapage. Dans les procédés à l'arc électrique, l'électrode au pôle positif accélère des ions positifs dans l'arc en direction du métal à charge négative, ce qui a pour effet de déchirer la couche Al_2O_3 qui vient de se former. Le gaz de protection inerte empêche la formation de nouveaux oxydes et assure une soudure de grande qualité technique. Une autre théorie explique la détérioration de la couche d'oxyde par l'échappement d'électrons.

Dans tous les cas, une préparation très soignée de la soudure est nécessaire. Elle doit permettre d'éliminer entièrement les oxydes qui se précipitent de la surface de contact vers l'envers de la soudure: c'est pourquoi le bord inférieur de la soudure doit toujours être chanfreiné.



Soudage TIG en courant continu avec une électrode au pôle négatif

Chaleur de fusion très élevée

La conductivité thermique oscille entre $230 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ pour l'aluminium pur et entre $115\text{--}155 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ pour les alliages. Cette propriété rend indispensable un apport de chaleur très élevé et concentré durant le soudage. Elle entraîne également une très grande vitesse de refroidissement qui favorise la formation de pores et de soufflures en raison de la vitesse de solidification élevée.

Chaleur de fusion très élevée

En raison de l'enthalpie de fusion élevée, le procédé de soudage mis en oeuvre doit apporter une énergie thermique relativement importante par rapport au point de fusion. En outre, il n'y a pas de couleurs d'incandescence pour signaler que la température de fusion est atteinte.

Coefficient de dilatation thermique élevé

Le coefficient de dilatation thermique de l'aluminium est presque deux fois plus élevé que celui de l'acier et se situe dans la plage d'env. $20 \times 10^6 \text{ K}^{-1}$; il provoque un retrait plus important lors du refroidissement. C'est pourquoi il est nécessaire de prendre des mesures spéciales pour éviter les déformations et fissures de retrait sur la pièce à souder.

Table 2: Propriétés de divers alliages d'aluminium

Alliage	Propriétés	Application
Al99.0 ... 99.98	Résistance réduite, se prête bien à la mise en forme, excellente stabilité chimique	Électronique, placage
AlMn0.2 ... AlMn1	Résistance modérée, bonne ténacité, bonne stabilité chimique	Construction d'appareils, construction de véhicules, industrie des denrées alimentaires
AlMg1 ... AlMg5	Résistance augmentant avec la teneur en Mg, bonne stabilité chimique	Construction, génie civil, construction d'appareils, industrie du meuble
AlMgMn Exemple: AlMg4.5Mn0.7	Résistance thermique améliorée par le Manganèse	Construction d'appareils, de véhicules, construction navale
AlMgSi, AlSiMg	Vieillessement naturel et artificiel, se prête bien à la mise en forme, excellente solidité	Construction, électrotechnique, qualité Eloxal
AlCuMg	Trempant, très grande solidité, stabilité chimique modérée	Génie civil et construction de machines, industrie des denrées alimentaires
AlZnMg Exemple: AlZn4.5Mg1	Trempant, solidité élevée, spécialement les alliages de cuivre	Composant à haute résistance pour le soudage, construction de véhicules
AlSi5 ... AlSi12	L'alliage de silicium améliore la plasticité et la coulabilité, surtout avec un taux de silicium de plus de 7%	Pièces moulées en fonte, construction, qualité Eloxal

Le soudage des alliages d'aluminium.

L'aluminium est un matériau aux propriétés particulières. Le soudage de l'aluminium ne sera pas un mystère si l'on tient compte de ses propriétés particulières.

Aptitude au soudage de l'aluminium

Ci-après, vous trouverez une description des propriétés spécifiques des différents groupes d'alliages avec une représentation synoptique aux tables 2 et 3.

Aluminium pur et alliages d'aluminium-manganèse

L'aluminium pur se caractérise par une bonne aptitude au soudage, mais a une tendance plus élevée à la formation de pores que les alliages d'aluminium. Vu sa bonne conductibilité thermique, un apport de chaleur est nécessaire et avec des parois de relativement épaisse, également le préchauffage avant le soudage. Vous trouverez à la table 5 les températures et durées de préchauffage..

Alliages d'aluminium-magnésium et d'aluminium-silicium

La composition de ces alliages joue un rôle déterminant dans la tendance à la fissuration: les alliages AlMg avec 1,2% de magnésium et les alliages AlSi avec env. 0,75% présentent une tendance maximale à la fissuration à chaud (graphique 2, p. 8).

Comme règle approximative, on peut considérer que plus le métal d'apport est fortement allié moins sa tendance à fissurer au soudage sera grande. C'est pourquoi le métal d'apport est toujours nettement surallié avec 2% de silicium ou 3,5% de magnésium. On obtient également une amélioration des propriétés de soudage par addition de manganèse ou de chrome, c'est pourquoi l'AlMg4.5 est plus apte au soudage que les sortes AlMg.

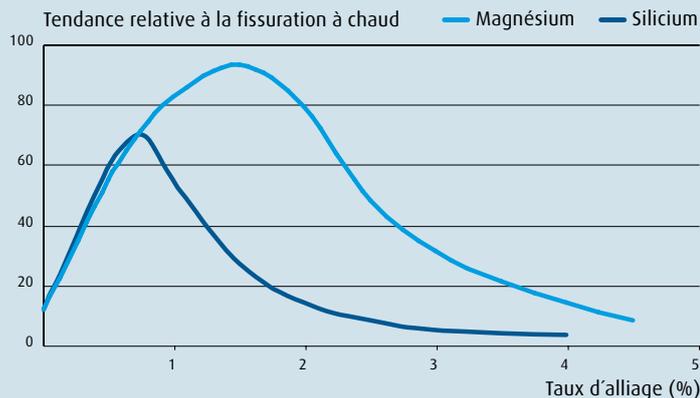
Si dans un assemblage de différents matériaux, l'un des deux est allié au magnésium, le métal d'apport sera choisi en fonction de celui-ci.

Alliages d'aluminium-magnésium-silicium

Ce groupe d'alliages est fort sujet aux fissures – indépendamment de sa composition, c'est pourquoi pour le soudage, on n'utilise pas de métal d'apport de la même série, mais du SG-AlSi5 selon DIN 1732. Si par contre la pièce doit être anodisée après le soudage, on utilisera le SG-AlMg3 comme métal d'apport. Si les propriétés mécaniques doivent répondre à des exigences élevées, on choisira le SG-AlMg4.5Mn.

Table 3: Aptitude au soudage de divers alliages d'aluminium

Alliage	Aptitude au soudage	Métal d'apport
Al99.0 ... 99.98	Bonne	SG-Al99.5, SG-Al99.5Ti, SG-Al99.8
AlMn0.2 ... AlMn1	Très bonne	SG-AlMn, SG-AlMg3 ... 5
AlMg1 ... AlMg5	Bonne	SG-AlMg3, SG-AlMg5, SG-AlMg4.5Mn
AlMg4.5Mn	Très bonne	SG-AlMg5, SG-AlMg4.5Mn
AlMgSi, AlSiMg, AlSiMgMn	Bonne	SG-AlMg3 ... 5, SG-AlSi5
AlCuMg	Tendance à la fissuration à chaud	
AlZnMg Exemple: AlZn4.5Mg1	Uniquement alliages AlZn4.5Mg1 bonne	SG-AlMg5, SG-AlMg4.5Mn
AlSi5 ... AlSi12	Avec un taux de cuivre inférieur à 1%	Al-Si5, SG-AlSi12



Graphique 2: Courbe de la tendance à la fissuration à chaud

Alliages d'aluminium-zinc-manganèse

Les alliages AlZnMg sont trempants et ont la tendance à se fissurer au soudage en raison de la quantité de composants d'alliage. C'est pourquoi il n'est pas possible de souder avec un alliage du même type. L'alliage AlZn4.5Mg1 est considéré comme très apte au soudage. Généralement, on n'utilise les métaux d'apport trempants SG-ALMg5 et SG-ALMg4.5Mn.

Alliages d'AlMgCu et d'AlZnMgCu

Les alliages de cette composition sont trempants à haute résistance et sont considérés comme très sujets à la fissuration, c'est pourquoi le soudage par fusion n'est possible que sous certaines conditions – en fonction de la teneur en cuivre.

Particularités survenant lors du soudage

Le problème de l'apparition de fissures

Le risque d'apparition de fissures est plus élevé au moment du refroidissement et du retrait – surtout lorsque l'alliage a un grand intervalle de solidification et forme des eutectiques de joints de grains fondant à basse température. La tendance à la fissuration dépend fortement du type d'alliage qui doit toujours être pris en compte dans le choix du métal d'apport. La table 4 indique les plages de fissuration à chaud pour quelques types d'alliages ainsi que les taux minimum en silicium, cuivre et magnésium recommandés dans le métal d'apport. Il faudrait également vieillir à ce que le taux de plomb dans l'aluminium soit le plus faible possible.

Des fissures de cratère final peuvent être évitées par un programme d'économissement d'arc final intégré dans les postes de soudage modernes ou par le soudage sur une tôle d'appendice.

Les fissures à la racine sont souvent dues à des oxydes d'aluminium et peuvent être évitées par un chanfreinage en racine.

Table 4: Tendance à la fissuration à chaud d'alliages en aluminium en fonction du taux de silicium et de magnésium

Groupe	Sensibilité maximale aux fissures	Taux minimum pratique	Plage de température critique
AlSi	0,75 % Si	2,0 % Si	660–577 °C
AlCu	3,0 % Cu	5,0 % Cu	660–577 °C
AlMg	1,2 % Mg	3,5 % Mg	660–449 °C
AlSiMg	0,5–0,8 % Si et 0,2–1,2 % Mg	2,0 % Si	



Composant en AlMg4.5Mn, soudage TIG avec SG-AlMg4.5Mn sous MISON® He20



MISON® He20: soudure TIG sur un réservoir en aluminium

Le problème de l'apparition de soufflures

Une des principales causes de l'apparition de soufflures dans le métal d'apport déposé est la chute abrupte de la solubilité des gaz lors de la solidification. Ici, c'est principalement l'hydrogène qui apparaît, vu que l'oxygène éventuellement présent est lié à l' Al_2O_3 pour former de l'azote nitrure d'aluminium. La baisse de la solubilité du gaz conduit au dégagement de petites cloques submicroscopiques qui continuent à se gorger de gaz et se déplacent vers le haut à l'intérieur du métal en fusion. Lorsque la vitesse de soudage est élevée et que le bain de fusion se solidifie rapidement, le dégazage n'a pas le temps de s'effectuer entièrement et des soufflures apparaissent dans le métal d'apport.

Les raisons de la présence d'hydrogène sont nombreuses et vont de l'humidité de la couche d'oxyde au mauvais positionnement de la torche jusqu'à l'absorption de l'humidité de l'air par le matériau du tuyau de gaz de protection. Vu la différence importante de pression partielle de vapeur d'eau entre l'air ambiant et le flux de gaz de protection, l'humidité peut s'introduire assez facilement par diffusion dans le gaz de protection et pénétrer dans l'arc électrique.

Principales mesures pour éviter l'apparition de soufflures

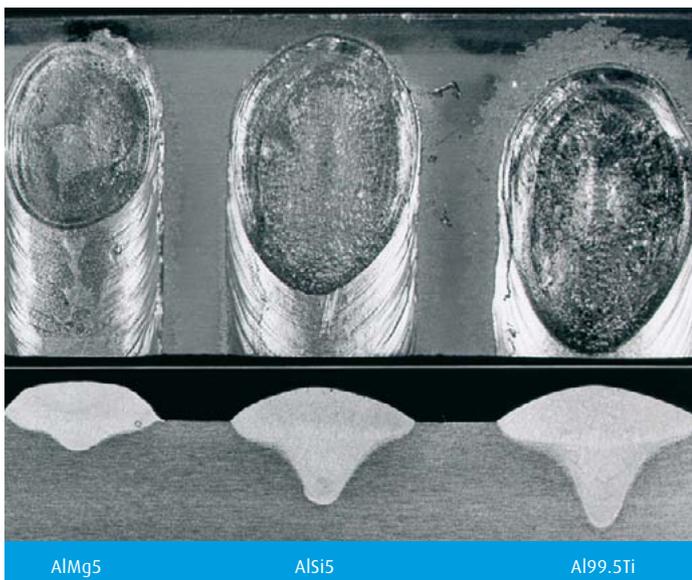
- les surfaces de la matière de base et de la matière d'apport doivent être propres et sèches
- traiter les pièces au préalable par ponçage, brossage, décapage, dégraissage
- arc stable et guidage sans à-coups de la torche
- le flux de gaz de protection doit être exempt de turbulences – dosage et degré de pureté corrects du gaz
- buse de gaz de protection largement dimensionnée, propreté de la buse
- le faisceau doit être le plus court possible
- utiliser une torche avec un système de refroidissement fermé
- rincer suffisamment longtemps avant le soudage
- prévoir une protection de la racine
- souder autant que possible en position PA ou PF
- éviter les positions de soudure PC et PE

Le problème des soufflures se pose plus pour le soudage MIG que pour le procédé TIG qui est relativement plus stable et où il y a moins d'air ambiant humide qui s'infiltrerait dans l'atmosphère protégée.

Ci-dessous, nous indiquons les principales mesures à prendre pour éviter l'apparition de soufflures.

Colorations anormales au niveau de la soudure

Des colorations anormales, plus ou moins fortes, peuvent apparaître dans la zone de soudure, indépendamment du procédé de soudage utilisé. Elles augmentent avec le taux de magnésium et de silicium. Si une anodisation est prévue après le soudage, on peut s'attendre à un changement assez important de couleur sur les alliages hétérogènes – surtout lorsque certains composants de la structure sont décapés lors de l'anodisation ou éliminés par la solution électrolytique.



La pénétration et la forme de la soudure différente suivant la conductibilité électrique



Poste MIG pour le soudage d'aluminium

Technique de soudage

Poste de travail

La propreté est un critère primordial pour le soudage de matériaux en aluminium. Veiller à ce que le poste de travail, les outils, dispositifs de serrage et métaux d'apport soient toujours propres. Il est recommandé de séparer ce poste de travail de ceux où l'on usine de l'acier de construction ou fortement allié pour éviter des pollutions réciproques.

Préchauffage

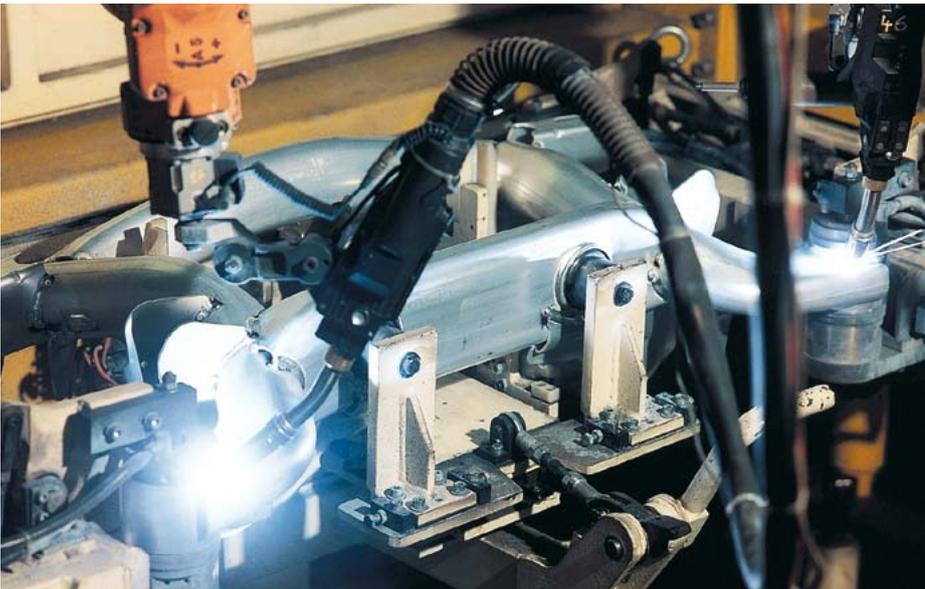
Le préchauffage de matériaux en aluminium est nécessaire lorsqu'il n'est pas possible d'obtenir une pénétration suffisante, alors que les paramètres de soudage sont respectés et que le gaz de protection utilisé contient de l'hélium. Le préchauffage peut s'effectuer avec des chalumeaux autogènes dont la flamme a été légèrement réduite. L'utilisation de gros chalumeaux de préchauffage peut entraîner un épaissement indésirable de la couche d'oxyde. Pour ne pas risquer une altération des propriétés du métal, il est impératif de respecter les consignes de préchauffage et de temps de maintien des fournisseurs. La table 5 donne quelques valeurs indicatives.

Table 5: Valeurs indicatives pour les températures maximales de préchauffage

Matière	T (°C)
AlMgSi	180
AlSi1MgMn	200
AlSiMg	220-250
AlZn4.5Mg1	140
AlMg4.5Mn0.7	150-200
AlMg4.5Mn0.7	150-200

Choix du métal d'apport

Pour réaliser une soudure correcte, il faut aussi savoir choisir les métaux d'apport adéquats; ceci vaut d'autant plus pour les procédés de soudage sous protection gazeuse, où la grande vitesse de soudage entraîne une solidification rapide du métal en fusion. La table 3 (p. 7) indique les principaux métaux d'apport pour les types d'alliages les plus courants. À côté d'une bonne analyse, il faut également veiller au dosage correct des micro-éléments d'alliage inhibiteurs de grossissement des grains, à des tolérances étroites et à un bobinage soigneusement effectué avec un bobinage en couches sans torsions.



Soudage MIG de composants d'essieux d'automobiles



Poste de soudage TIG

Choix du procédé de soudage

On a tendance à préférer le procédé MIG, principalement pour des raisons économiques. Même dans le domaine des tôles de faible épaisseur, ce procédé conquiert de plus en plus un vastes champs d'application grâce à la mise en oeuvre de la technique de soudage à l'arc pulsé.

Mais pour les pièces de très faible épaisseur, pour le soudage à des endroits difficilement accessibles ou lorsque les surfaces doivent répondre à de hautes exigences et que les soudures doivent être exemptes de soufflures, l'on utilise le procédé TIG.

Les autres procédés employés sont: le soudage au gaz, le soudage par résistance électrique, le soudage manuel à l'arc électrique, le soudage par friction, le soudage par friction thixotropique, le soudage par bombardement électronique, le soudage par ultrasons et le soudage laser. En termes d'économie, les principaux procédés de soudage sont toutefois le soudage sous protection gazeuse MIG et le soudage TIG

Soudage MIG

Le soudage MIG est un procédé économique avant tout utilisé pour l'assemblage de tôles d'assez forte épaisseur. Les matériaux en aluminium sont généralement soudés au courant continu avec fil l'électrode servant de pôle positif, afin de détruire la couche d'oxyde et obtenir un fin transfert de goutte. À partir d'une épaisseur de tôle d'env. 4 mm, on soude à l'arc avec fusion en pluie (spray-arc).

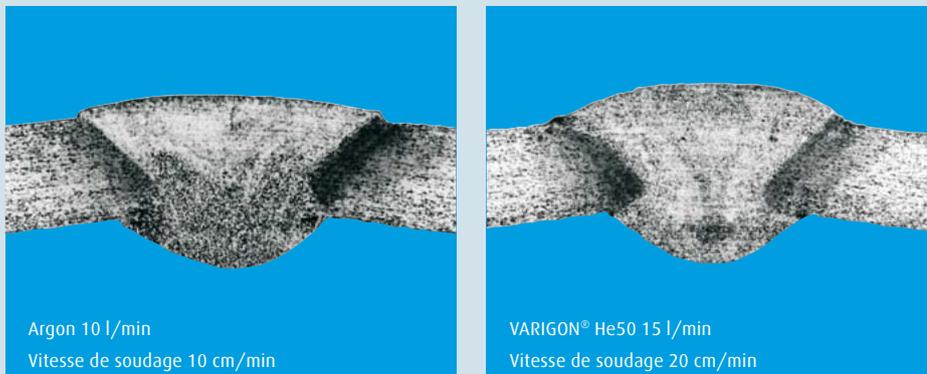
Pour élargir la gamme d'applications aux matériaux de faible épaisseur, on a développé les soudage MIG à arc pulsé. Ce procédé permet de définir la taille et le détachement des gouttes à partir de divers paramètres d'impulsion et de réduire globalement l'apport de chaleur. Les paramètres typiques tels que fréquence d'impulsion, puissance du courant pulsé et du courant de base, cours du temps, forme de courant pulsé peuvent être sélectionnables dans des fourchettes assez larges et permettent, lorsqu'ils sont bien choisis, un transfert de matière sans court-circuit avec un arc stable et une faible charge demetal, ce qui

donne d'excellentes soudures. Lors des phases de courant de base, le métal en fusion se calme et peut dégazer.

Même les tôles minces peuvent être soudées à l'arc pulsé avec un fil-électrode relativement épais, dont l'effet positif est de réduire la porosité des soudures. La technique de l'arc pulsé réduit en outre l'évaporation de magnésium et de zinc ce qui améliore les propriétés métallurgiques des soudures.

Les postes de soudage modernes disposent généralement de programmes de commande permettant par exemple l'amorçage de l'arc sans projections ou le remplissage du cratère final. L'avance intermittente du fil pour réaliser des vagues de soudure régulières fait également partie de l'état de la technique. Pour assurer une avance correcte du fil, un entraînement du fil à l'intérieur de la torche est recommandé. Actuellement, on travaille aussi beaucoup avec une télécommande intégrée dans la poignée pour commander les diverses opérations de soudage.

D'autres développements techniques vont dans le sens du soudage MIG à courant alternatif, qui permet d'optimiser l'élasticité des composants et le remplissage des interstices surtout pour le soudage de tôles minces.



Un plus grand pourcentage d'hélium entraîne des vitesses de soudage plus élevées. Comme ici pour le soudage d'un alliage AlZn4,5Mg1 de 3 mm d'épaisseur

Soudage TIG

Le soudage TIG d'alliages en aluminium est un procédé standard largement répandu. Normalement, on soude au courant alternatif, dans lequel la demi-onde positive détruit la couche d'oxyde d'aluminium. Lorsque le courant passe en demi-onde négative, l'électrode au tungstène est soumise à une contrainte thermique moindre. Au passage par zéro, l'arc s'éteint avec une progression sinusoïdale du courant et doit être ré-amorcé par des impulsions de tension haute fréquence. Les générateurs de soudage TIG modernes permettent d'obtenir une progression rectangulaire du courant et évitent ainsi l'extinction de l'arc, vu que le passage par zéro est pratiquement vertical. Cette technique assure un soudage correct et régulier.

Gaz protecteurs pour le soudage MIG et TIG

Le soudage MIG ne se distingue du soudage MAG que par le type de gaz de protection utilisé: le procédé MIG met en oeuvre uniquement des mélanges gazeux inertes, étant donné que les métaux à souder ne supportent pas de composants gazeux actifs. L'adjonction d'infimes quantités d'oxygène ou de monoxyde d'azote peut cependant avoir un effet favorable sur la stabilisation de l'arc MIG; dans beaucoup de cas, ce dopage n'a pas d'influence négative sur le matériau.

Le gaz de protection de base est l'argon, qui en tant que gaz noble est absolument inerte et n'entre dans aucune réaction chimique avec le métal de base ou le métal d'apport. Il protège les bains de fusion très réactifs d'interactions chimiques avec l'oxygène et l'azote. L'argon se laisse ioniser sans trop de difficulté pour faciliter ainsi l'amorçage de l'arc électrique. Le poids spécifique de l'argon est supérieur à celui de l'air et par conséquent l'argon couvre parfaitement le bain de fusion dans les positions normales (photo en haut à gauche, p. 13).

Un autre gaz utilisé pour les soudages MIG et TIG est l'hélium qui n'est pratiquement jamais utilisé seul, mais toujours mélangé à de l'argon. Tout comme l'argon, il est absolument inerte et n'entre en réaction avec aucune composition chimique.

L'hélium se caractérise avant tout par son extraordinaire conductivité thermique qui améliore le transfert de la chaleur de l'arc sur le bain de fusion. Ceci compense d'un part la dissipation de chaleur des métaux bons conducteurs, tels que l'aluminium ou le cuivre, et permet de réaliser de plus beaux cordons de soudure.

Vu le faible poids spécifique de l'hélium, il faut un débit volumétrique plus élevé pour obtenir une couverture suffisante du bain de fusion. En comparaison avec l'argon, l'énergie d'ionisation de l'hélium est plus élevée et exige une tension de soudage supérieure. Plus le pourcentage d'hélium dans le gaz de protection est élevé, plus l'amorçage de l'arc est difficile (photo en haut à droite, p. 13).

Le gaz carbonique et l'hydrogène ne conviennent pas en tant que composants d'atmosphères de protection pour les procédés inertes en raison de leur forte réactivité; ils ne sont pas utilisés.



Arc TIG sous argon



Arc TIG sous hélium

L'adjonction d'oxygène ou de monoxyde d'azote en toutes petites quantités de l'ordre des ppm permet d'améliorer nettement la stabilité de l'arc électrique surtout lors du soudage TIG à courant alternatif. Ces deux gaz sont souvent utilisés; au sens stricte, ces gaz ne peuvent plus être considérés comme complètement inertes. N'empêche qu'on a pris l'habitude de parler dans ce cas du procédé MIG et non du soudage MAG.

Ces gaz de protection conviennent également pour le soudage de cuivre et de nickel. Pour le soudage MIG, on peut appliquer un arc court, un arc à fusion en pluie ou un arc pulsé.

L'arc pulsé est particulièrement avantageux pour les métaux d'apport en aluminium tendre, car il permet l'utilisation de fils-électrodes de plus grand diamètre qui se transportent facilement. L'arc comparativement plus chaud des mélanges gazeux VARIGON® He et VARIGON® HeS donne de bons résultats particulièrement sur des matériaux en aluminium et en cuivre bons conducteurs thermiques.

Le dopage des gaz inertes donne un aspect plus régulier des soudures, du fait de l'amélioration de la stabilité de l'arc. En outre, il est possible de démontrer dans certains cas l'amélioration de la pénétration sur micrographie, due à la meilleure qualité de l'arc.

Tous les dopants servent soit à raison de 275 vpm au monoxyde d'azote dans MISON® Ar et MISON® He20 ou à raison de 300 vpm à l'oxygène dans la gamme VARIGON® S. Il en résulte une nette diminution des projections ainsi qu'un meilleur aspect des soudures grâce à une vague de solidification plus fine de la soudure MIG.

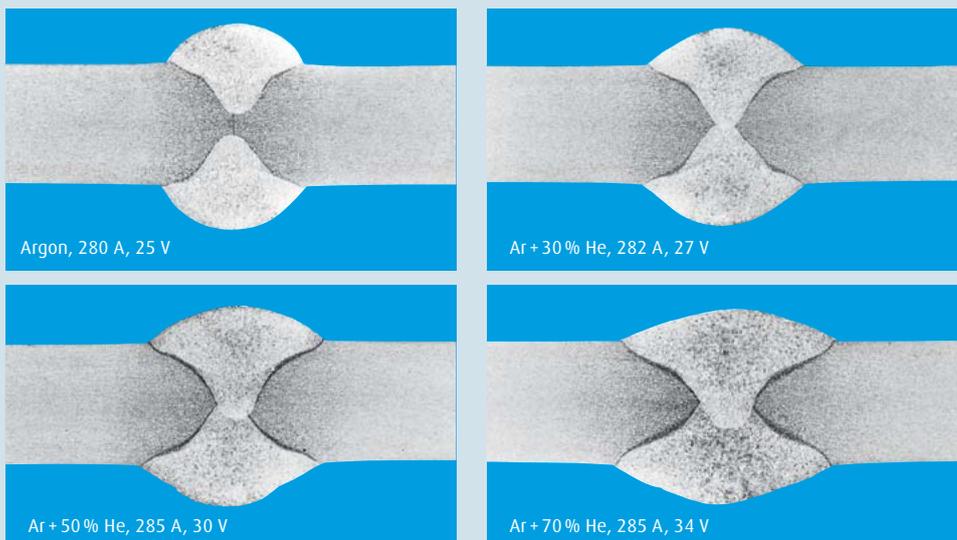
Gaz de protection et mélanges gazeux typiques pour les soudures MIG et TIG d'alliages d'aluminium:

Argon 4.6	100 % Argon de pureté technique
Argon 4.8	100 % Argon de grande pureté
MISON® Ar	Argon avec 275 ppm NO
VARIGON® He10	Argon avec 10 % d'hélium
MISON® He20	Argon avec 20 % d'hélium et 275 ppm de NO
VARIGON® He30S	Argon avec 30 % d'hélium et 300 ppm de O ₂
VARIGON® He50	Argon avec 50 % d'hélium
VARIGON® He60	Argon avec 60 % d'hélium
VARIGON® He70	Argon avec 70 % d'hélium

Table 6: Valeurs de correction pour les gaz de protection comprenant de l'hélium

AC: arc court
AFP: arc en fusion en pluie
AP: arc pulsé

Gaz de protection	Consommation	Facteur C
Argon/MISON® Ar	12 – 15 AC	1,00
Argon/MISON® Ar	12 – 15 AFP, AP	1,00
VARIGON® He10	15 l/min	1,06
MISON® He20	18 l/min	1,12
VARIGON® He30S	20 l/min	1,17
VARIGON® He50	28 l/min	1,35
VARIGON® He70	35 l/min	1,70



Remarques concernant l'utilisation d'hélium

Lorsqu'on augmente la part d'hélium et qu'on garde la même longueur d'arc, il y a accroissement de la tension de l'arc. L'adjonction d'hélium au gaz protecteur a pour effet de former une soudure plus large et par conséquent plus plate. La pénétration n'est plus «en forme de doigt», comme avec l'argon, mais plus ronde et plus profonde.

Les conditions de pénétration plus favorables permettent un meilleur soudage à coeur dans la zone de la racine (photos en haut) et des vitesses de soudage plus élevées. L'hélium améliore en outre les conditions de dégazage du bain de fusion et diminue la porosité. Très souvent, les coûts de gaz de protection plus élevés sont largement compensés par un raccourcissement de la durée de travail et la réduction des frais de retouche.

L'hélium est nettement plus léger que l'air. Il faut tenir compte de cette propriété lors de la mesure du débit tout comme lors de la détermination du volume minimal de gaz de protection. La correction de débit sur le débitmètre d'argon s'effectue par multiplication du facteur de correction ou autrement dit: le volume de gaz de protection nécessaire divisé par le facteur de correction donne la valeur de débit à régler sur le débitmètre d'argon (table 6, p. 13).

Le soudage TIG à courant continu avec électrode négative constitue un cas à part: ce type de soudage ne fonctionne qu'avec minimum 85% d'hélium et 15% d'argon. Ce procédé est surtout utilisé pour les soudages de réparation de carters-moteurs en aluminium et permet une bonne pénétration sur des composants à paroi épaisse. Notons que cette technique de soudage spéciale est brevetée.

Bibliographie

Trube, S.

Schutzgasschweissen von A-Z
Schutzgase für Aluminium bis Zirkon

(Soudage en atmosphère gazeuse de A à Z
Gaz de protection pour l'aluminium
jusqu'à zircon)
Rapport non publié de Linde AG
Höllriegelskreuth, 1998

Brune, E.

Schweissschutzgase

(Gaz de protection pour le soudage)
Technica 10/99, p. 50-54
Rapperswil, 1999

N. N.

Schutzgasschweissen TIG und MIG von
Aluminium-Werkstoffen

(Soudage MIG et TIG en atmosphère
gazeuse de matériaux en aluminium)
Rapport de l'Alusuisse AG
Zurich, 1991

Wesling, V.

Syllabus de cours

Institut des techniques de soudage et procédés
de fabrication par enlèvement
Université technique Clausthal
Clausthal, 2003

Dorn, L.

Schweisverhalten von Aluminium und
seinen Legierungen

(Le comportement au soudage de l'aluminium
et de ses alliages)
Mat.-wiss. U. Werkstofftech. 209
P. 412-413
Weinheim, 1998

Brune E.

Schweissen verbindet

(Souder assembler)
Texte de la société PanGas
Dagmersellen, 2003

Les gaz de protection appropriés à chaque procédé de soudage

Procédés

Gaz de protection

Matériaux

	MAG Soudage (M: Métal, A: Actif, G: Gaz)	COXOGEN® 5/5 CORGON® 15/5 COXOGEN® 10 COXOGEN® 15 CORGON® 18	Dioxyde de carbone CRONIGON® He20 MISON® 18 MISON® 8 MISON® 25	Acier pour tuyauteries, construction, chaudronnerie, construction navale, acier de construction à grain fin, aciers de cémentation et de revenu
	MSG-HL Soudage sous gaz de protection Haute Performance	CRONIGON® CRONIGON® He20 CRONIGON® He33 CORGON® He30	CRONIGON® He30S MISON® 2 MISON® 2He CORGON® S5 MISON® 8	Acier au CrNi, acier au Cr et aciers alliés divers, alliages à base de nickel, aciers Duplex et Superduplex Aciers pour tuyauteries, construction, chaudronnerie, construction navale, acier de construction à grain fin
	MIG Soudage (M: Métal, I: Inerte, G: Gaz)	Argon 4.6/Argon 4.8 MISON® Ar VARIGON® He10 MISON® He20 VARIGON® He30S	VARIGON® He50 VARIGON® He60 VARIGON® He70	Aluminium, cuivre, nickel et autre alliages
	MSG Brasage sous protection gazeuse	Argon 4.6/Argon 4.8 MISON® Ar MISON® 2	CRONIGON®	Aciers de construction non alliés et galvanisés
	WIG/TIG Soudage (T: Tungstène, I: Inerte, G: Gaz)	Argon 4.6/Argon 4.8 MISON® Ar VARIGON® He10 MISON® He20 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 MISON® H2	HYDRARGON® 5 CRONIWIG® N3	Aciers CrNi, nickel et ses alliages
		Argon 4.8/Argon 5.0		Matériaux sensibles aux gaz comme Ti, Ta, Zr
	WP Soudage tungstène et plasma	Gaz central/ plasmagène: Argon 4.8 Gaz annulaire: Argon 4.6, MISON® Ar HYDRARGON® 2 HYDRARGON® 5 HYDRARGON® 7	Hélium 4.6 VARIGON® He60 MISON® Ar	Tous les métaux soudables, voir soudage TIG
	Protection envers Protection de racine	Formiergaz 5 Formiergaz 8 Formiergaz 10 Formiergaz 25 Argon 4.8	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
	Laser Soudage et coupage	Argon 4.6, Argon 4.8 Hélium Gaz spéciaux Gaz fonctionnels, par ex. pour laser CO ₂ LASPUR®		Tous les métaux soudables
	Soudage à l'arc des goujons par étincelage	CORGON® 18	MISON® 18	Aciers de construction
		CRONIGON® HYDRARGON® 2	CRONIGON® He33 MISON® 2	Aciers fortement alliés
		VARIGON® He30S		Aluminium et alliages d'aluminium

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

Filiale du Linde Group, l'un des chefs de file mondiaux du secteur gaz, PanGas 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, PanGas 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?

PanGas – ideas become solutions.