

Schweissen von Aluminium - Poren und deren Vermeidung

Beim Schweissen von Aluminium werden - durch Feuchtigkeit begünstigte - Porenbildungen oftmals als unvermeidlich bezeichnet. Welche Massnahmen die Porenbildung reduzieren, dies erfahren Sie im Beitrag. Text und Bilder: Messer Schweiz AG

Aluminium ist in vielen Branchen wichtiger Bestandteil. Schweissen ist eine der wichtigsten Füge-technologien für dieses Metall. Beim Schweissen von Aluminium wird Porenbildung häufig als unvermeidlich bezeichnet: «Aluminium-Schweissen ohne Poren gibt es nicht», lautet die verbreitete Meinung in Fachkreisen. Deshalb werden oft übermässig hohe Porengehalte akzeptiert und die Möglichkeit der Reduzierung kategorisch ausgeschlossen, obwohl Poren die Qualität von Aluminium beeinträchtigen. Porenbildung durch Wasserstoff lässt sich jedoch deutlich verringern. Der Wasserstoff kann aus unterschiedlichen Quellen stammen. Hauptsächlich verantwortlich ist jedoch die Luftfeuchtigkeit. Zur Vermeidung oder Verringerung von Poren müssen alle Feuchtigkeitsquellen ausgeschlossen werden. Zu guter Letzt hat auch die Zusammensetzung des Schutzgases einen positiven Einfluss auf die Porenbildung.

Mechanismus der Porenbildung

Je nach Ausbildung im Schweissgut werden mechanische und metallurgische Poren unterschieden. Als mechanische Poren bezeichnet man jene, bei denen der Einschluss von Gasen aus konstruktiven Gründen geschieht. Im Folgenden beschäftigen wir uns mit der Bildung von metallurgischen Poren. Diese entstehen durch die sinkende Löslichkeit von Gasen in Metallen während des Abkühlens und Erstarrens. Beim

Übergang von der flüssigen in die feste Phase müssen die überschüssigen Gase ausgeschieden werden (Entgasung). Im Falle des Aluminiums ist der Wasserstoff als Hauptursache für Poren zu betrachten. Die Löslichkeit von Wasserstoff in Aluminium ändert sich am Phasenübergang sprunghaft von flüssig zu fest (Abbildung 1). Der Wasserstoff wird bei der Abkühlung und der Erstarrung in die Schmelze ausgeschieden. Die Schmelze reichert sich dabei weiter mit Wasserstoff an. Wenn der Entgasungsprozess bis zum Ende der Erstarrung nicht vollzogen werden kann, bleibt ein Teil des Wasserstoffs in Form von Poren an den Korngrenzen eingeschlossen.

Aluminium leitet Wärme sehr gut und erstarrt entsprechend schnell. Die ausgetriebenen Gasblasen haben deshalb oft keine Möglichkeit mehr, in der Schmelze bis an die Oberfläche aufzusteigen. Sie werden von der Erstarrungsfront überholt und bleiben als Poren zwischen den Kristalliten eingeschlossen.

Je nach Erstarrungsgeschwindigkeit werden mehr oder weniger Gasblasen eingeschlossen. Reines Aluminium besitzt nur einen Erstarrungspunkt, neigt somit besonders stark zu Porenbildung. Bei Legierungen bildet sich ein Erstarrungsintervall. Je grösser das Intervall, desto länger dauert der Kristallisationsprozess, desto weniger neigt die Legierung zur Porenbildung. Die gezielte Verwendung unempfindlicher Grundwerkstoffe und Schweisszusatzwerkstoffe verringert also die Porenbildung. Wesentlich

wirkungsvoller ist jedoch das Wasserstoffangebot im Schweissbereich zu senken.

Wasserstoffquellen beim MIG-Schweissen von Aluminium:

- Öle und Fette auf der Blechoberfläche
- wasserstoffhaltige Grundwerkstoffe
- wasserstoffhaltige Schweisszusatzwerkstoffe
- Feuchtigkeit

Quellen der Feuchtigkeit:

- Oxydschicht auf der Draht- oder Blechoberfläche
- Kondenswasser auf der Draht- oder Blechoberfläche
- Luft im Schweissbereich durch: falsche Brennerstellung, turbulente Gasströmung, undichte Brenner oder das Drahtführungssystem
- Schlauchmaterialien

Kondenswasser entsteht, wenn der Grundwerkstoff oder der Schweisszusatzwerkstoff kälter ist als die Umgebung. Dies ist bei der Lagerung von Grundwerkstoff und Schweisszusatzwerkstoff zu beachten. Die Abbildung 2 zeigt einige Möglichkeiten der Feuchtigkeitsaufnahme unmittelbar im Schweissbereich.

Feuchtigkeit durch Schutzgasschläuche

Eine der oben genannten Quellen für Feuchtigkeit im Schutzgas ist der aus Gummi oder Kunststoffen bestehende Schutzgasschlauch. Die

TECHNIQUE DE RACCORDEMENT / SOUDAGE

Souder l'aluminium : la formation de pores et sa prévention

La formation de pores (favorisée par l'humidité) est souvent considérée comme inévitable quand on soude l'aluminium. Cet article vous présente les mesures à prendre pour la limiter.

L'aluminium est utilisé dans de nombreux domaines. Le soudage est l'un des principaux modes d'assemblage de ce métal. Quand on soude l'aluminium, la formation de pores est souvent considérée comme inévitable. « Il n'est pas possible de souder l'aluminium sans qu'il ne se forme de pores » est un avis répandu. On admet donc souvent des teneurs élevées en pores et on exclut une possible réduction, bien

que les pores limitent la qualité de l'aluminium. La formation de pores peut cependant être significativement réduite par l'hydrogène issu de sources diverses. Le principal facteur est toutefois l'humidité de l'air. Il convient d'exclure toute source d'humidité pour éliminer les pores ou en réduire le nombre. Enfin, la composition du gaz de protection a un effet positif sur la formation de pores.

Mécanisme de formation de pores

On distingue les pores mécaniques des pores métallurgiques selon leur formation dans le joint de soudure. Les pores mécaniques sont ceux pour lesquels l'inclusion de gaz est d'origine structurelle. Nous allons nous intéresser ici aux pores métallurgiques, produits par la baisse de solubilité des gaz dans les métaux lorsqu'ils refroidissent et durcissent. La transition de la phase liquide

à solide impose l'élimination de gaz (dégazage). Pour l'aluminium, l'hydrogène est considéré comme la principale cause des pores. La solubilité de l'hydrogène dans l'aluminium change brutalement pendant la transition de la phase liquide à solide (illustration 1). L'hydrogène est éliminé du produit de fonte par refroidissement et durcissement. Ce dernier est alors enrichi en hydrogène. Si le processus de dégazage



MIG-Schweissen von Aluminium auf einer Längsschweissanlage.
Soudage MIG d'aluminium sur une installation de soudage en longueur.

verwendeten Materialien können Feuchtigkeit aufnehmen, transportieren und wieder abgeben. Aufgrund der verhältnismässig geringen Wandstärke können Schläuche als Membran betrachtet werden. Die Luft, die den Schlauch umgibt, enthält je nach Temperatur und Sättigung circa 5000 bis 25 000 ppm Feuchtigkeit. Das Schutzgas im Inneren des Schlauches enthält rund 5 ppm. Das Konzentrationsgefälle ist also extrem gross. Der Schlauch, der die Feuchtigkeit aus der Luft aufnimmt, kann diese problemlos an das Schutzgas weitergeben, ohne dem eigenen Sättigungsgrad nahezu kommen. Diesen erreicht ein Schlauch erst bei mehrtägiger Lagerung, etwa übers Wochenende.

Untersuchung

Die zuvor genannten Fakten werfen folgende

Fragen auf: 1. Wie viel Feuchtigkeit wird durch ein Schlauchsystem eingebracht? 2. Wie viel Feuchtigkeit im Schweißprozess führt zu Poren? 3. Welchen Einfluss üben Schutzgase auf die Porenbildung aus?

Feuchtigkeit durch Schläuche

Um diese Frage zu klären, wurden Schläuche aus unterschiedlichen Materialien mit Schutzgas gespült. Die Schläuche waren jeweils zehn Meter lang. Die Spülgasmenge betrug jeweils zehn Liter pro Minute. Neben einem guten Schutzgasschlauch (EPDM) wurde auch PTFE, als besonders feuchtigkeitsdicht bekannt, als Referenz mit untersucht. Die Abbildung 3 zeigt den Feuchtegehalt des ausströmenden Schutzgases in Abhängigkeit von der Spülzeit bei der Verwendung unterschiedlicher Schlauchmaterialien.

Druckluftschläuche sind nicht in der Lage, ein befriedigendes Ergebnis zu liefern. Andere Materialien erreichen die geforderte Schutzgasqualität oft erst nach langer Spülzeit.

Poren durch Feuchte im Schutzgas

Die DIN EN ISO 14175 lässt für unterschiedliche Gasgemische verschiedene Feuchtigkeitsgehalte zwischen 40 ppm und 120 ppm zu. Zweck der Untersuchung war jedoch die Ermittlung eines Feuchtigkeitsgrenzwertes, ab dem sich erste Poren bilden. Es wurden Schweißversuche mit gezielt befeuchtetem Schutzgas durchgeführt. Bei steigender Feuchtigkeit im Schutzgas bildeten sich zunehmend gleichmässig verteilte Mikroporen, die auf den Röntgenbildern kaum zu erkennen waren. Um den Einfluss der Schutzgase auf das Schweißergebnis darstellen zu >

ne peut être mené à bien jusqu'au durcissement, une partie de l'hydrogène reste emprisonnée sous forme de pores aux contours des grains. L'aluminium offre une très bonne conductivité thermique et durcit rapidement. Il est donc souvent impossible pour les bulles de gaz expulsées d'atteindre la surface du produit de fonte. Elles sont emprisonnées par le front de durcissement et forment des pores entre les cristallites. Le nombre de bulles de gaz emprisonnées dépend de la vitesse de durcissement. L'aluminium pur présente un seul point de durcissement et montre une forte tendance à la formation de pores. Pour les alliages, on observe un intervalle de durcissement : plus

il est grand, plus le processus de cristallisation dure longtemps et moins l'alliage présente une tendance à la formation de pores. L'usage ciblé de matériaux de base et de métaux de soudure insensibles diminue la formation de pores. Il est cependant bien plus efficace d'abaisser la quantité d'hydrogène disponible dans la zone de soudage.

Sources d'hydrogène pour le soudage MIG d'aluminium :

- huiles et graisses à la surface de la plaque
- matériaux de base avec hydrogène
- métaux de soudure avec hydrogène
- humidité

Sources d'humidité :

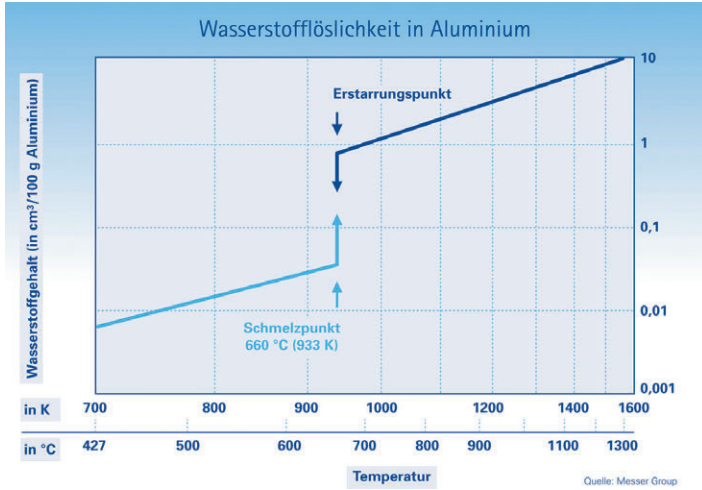
- couche oxydée à la surface du fil ou de la plaque
- condensation à la surface du fil ou de la plaque
- présence d'air dans la zone de soudage : mauvais réglage du chalumeau, turbulences dans le flux de gaz, chalumeau ou système guide-fil non étanches
- Matériaux des tuyaux

Un matériau de base ou un métal de soudure plus froid que l'environnement produit de la condensation. Il convient de tenir compte de ce critère pour le stockage du matériau de base et du métal de soudure. La photo 2 montre certaines possibilités

d'absorption d'humidité directement dans la zone de soudure.

Humidité produite par les tuyaux de gaz de protection

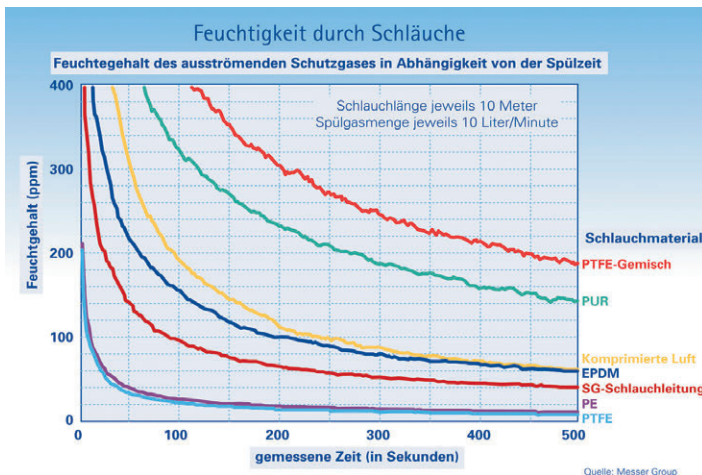
Le tuyau de gaz de protection en caoutchouc ou plastique constitue une source d'humidité dans le gaz de protection. Les matériaux utilisés peuvent absorber, transporter et rejeter de l'humidité. Au vu des épaisseurs de paroi relativement faibles, les tuyaux peuvent jouer un rôle de membrane. L'air présent autour du tuyau affiche un taux d'humidité d'environ 5000 à 25 000 ppm, selon sa température et sa saturation. Le taux d'humidité du gaz de protection présent dans le tuyau est >



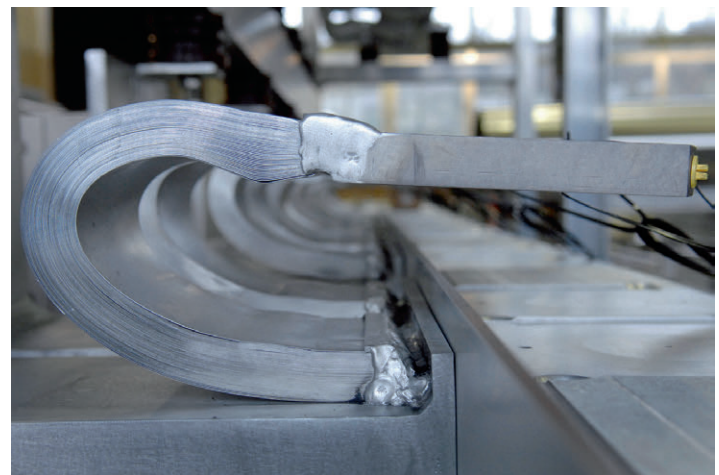
Solubilité de l'hydrogène dans l'aluminium



Sources d'humidité dans le processus de soudage



Humidité au travers des tuyaux



MIG-geschweißte Aluminium-Anschlüsse
Assemblage aluminium à soudage MIG

> können, wurden metallografische Schiffe angefertigt, die den Einfluss eindeutig zeigen.

Einfluss der verschiedenen Schutzgasgemische (Bild 3-8, Seite 24)

Die unterschiedlichen Schutzgase zeigen einen eindeutigen Einfluss auf die Porenbildung. Für die Schweißversuche wurden Argon und Argon-Heliumgemische mit 30 und 50 Prozent Helium

verwendet. Die Schlibbilder zeigen eindeutig, ab welchem Feuchtegehalt im Schutzgas eine erste Veränderung in der Schweißnaht auftritt:

- Argon 4.6 ab circa 400 ppm H₂O
 - Aluline He30 ab circa 800 ppm H₂O
 - Aluline He50 ab circa 1.000 ppm H₂O
- Oberhalb dieser Feuchtegehalte im Schutzgas weisen die Proben eindeutig sichtbare Mikroporen auf.

Verringerung der Porenbildung

Um beim Schweißen von Aluminium die Porenbildung gezielt zu vermeiden, ist die Betrachtung aller möglichen Quellen für Wasserstoff oder Feuchtigkeit erforderlich. Besonders sensibel ist das Schutzgas-Führungssystem. Dieses beginnt am Druckminderer und endet an der Gasdüse.

TECHNIQUE DE RACCORDEMENT / SOUDAGE

> d'environ cinq ppm. Le gradient de densité est donc extrêmement important. Le tuyau qui absorbe l'humidité de l'air peut la transmettre aisément au gaz de protection, sans s'approcher du degré de saturation propre. Ce degré de saturation est atteint par un tuyau en cas de stockage de plusieurs jours, voire un week-end.

Essai

Les faits décrits ci-dessus soulèvent les questions suivantes : 1. Quelle est la quantité d'humidité absorbée par un système de tuyaux ? 2. En quelle quantité l'humidité crée-t-elle des pores durant le processus de soudage ? 3. Quelle est l'influence des gaz de

protection sur la formation de pores ?

Humidité dans les tuyaux

Pour clarifier cette question, du gaz de protection a été injecté dans des tuyaux composés de différents matériaux. Chaque tuyau mesurait dix mètres de long. Le débit de gaz injecté était à chaque fois de dix litres par minute. Outre un tuyau de gaz de protection de bonne qualité (EPDM), l'essai a utilisé du PTFE en référence, connu pour être particulièrement étanche à l'humidité. La photo 3 présente le taux d'humidité du gaz de protection sortant en fonction du temps de rinçage, pour différents matériaux de tuyaux. Les tuyaux à

air comprimé ne permettent pas un résultat satisfaisant. D'autres matériaux permettent d'obtenir un gaz de protection de qualité adéquate après un temps de rinçage prolongé.

Des pores causés pas l'humidité dans le gaz de protection

La norme DIN EN ISO 14175 autorise des taux d'humidité compris entre 40 ppm et 120 ppm en fonction des mélanges gazeux, mais l'objectif de l'essai était de déterminer un seuil d'humidité à partir duquel se formaient les premiers pores. Des essais de soudage ont été menés avec un gaz de protection humidifié de façon ciblée. Une augmentation du taux

d'humidité dans le gaz de protection s'accompagnait de la formation croissante de micropores répartis de façon homogène, à peine visibles sur les clichés radiographiques. Pour représenter l'influence des gaz de protection sur le résultat de soudage, des coupes métallographiques indiquant clairement leur impact ont été réalisées.

Influence des différents mélanges de gaz de protection (photos 3-8)

Les différents gaz de protection montrent une influence claire sur la formation de pores. De l'argon et des mélanges d'argon et d'hélium >

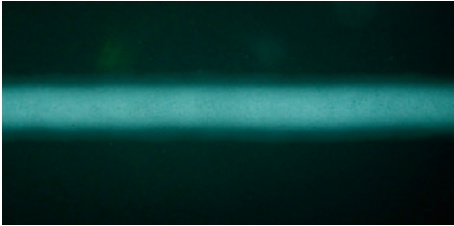


Bild 1: Argon, 2000 ppm Feuchte
Photo 1 : argon, 2000 ppm d'humidité

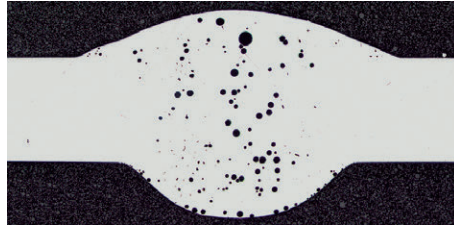


Bild 2: Schliffbild zu Bild 1
Photo 2 : Cliché de coupe de la photo 1



Bild 3: 100% Argon, 300 ppm Feuchte
Influence des différents mélanges de gaz de protection
Photo 3 : 100 % d'argon, 300 ppm d'humidité

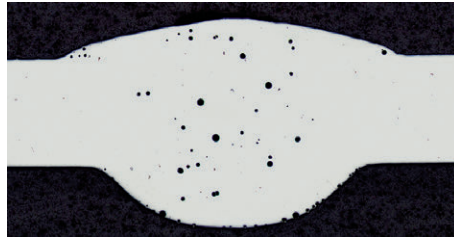


Bild 4: 100% Argon, 500 ppm Feuchte
Photo 4 : 100 % d'argon, 500 ppm d'humidité

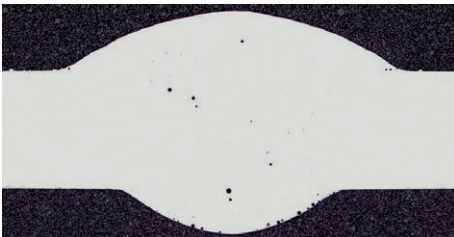


Bild 5: Ar/He 70/30, 500 ppm Feuchte
Photo 5 : Ar/He 70/30, 500 ppm d'humidité

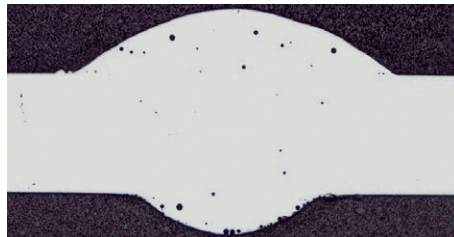


Bild 6: Ar/He 70/30, 800 ppm Feuchte
Photo 6 : Ar/He 70/30, 800 ppm d'humidité



Bild 7: Ar/He 50/50, 800 ppm Feuchte
Photo 7 : Ar/He 50/50, 800 ppm d'humidité



Bild 8: Ar/He 50/50, 1000 ppm Feuchte
Illustration 8 : Ar/He 50/50, 1000 ppm d'humidité

>

Im Einzelnen sind folgende Bestandteile regelmässig zu prüfen:

1. Druckminderer - Dichtheit
2. Schlauchanschluss am Druckminderer - Dichtheit
3. Gasschlauch zur Schweissanlage - Dichtheit, Porosität, Material
4. Schlauchanschluss an der Schweissanlage - Dichtheit
5. Schläuche in der Schweissanlage - Dichtheit, Porosität, Material
6. Schlauch im Schlauchpaket - Dichtheit, Porosität, Material
7. Brenner und Gasdüse - Dichtheit
8. Drahtführung - Dichtheit
9. Drahtdüse und Drahtführungsrohr - korrekte Grösse

Schon kleine Leckagen oder geringe Porosität führen zu einem Eindringen von Luft und somit Feuchtigkeit in das Gasversorgungssystem. Fälschlicherweise wird oft angenommen, wo Gas ausströmt, könne keine Luft eindringen. Eine regelmässige Kontrolle und Wartung sind unersetzlich. Das spart Geld, Zeit und Ärger.

Schutzgasauswahl

Sollte prozessbedingt keine Verringerung der Porenbildung möglich sein, ist über den Einsatz von heliumhaltigen Schutzgasen nachzudenken. Neben anderen positiven Effekten - intensivere Wärmeeinbringung, weniger Vorwärmung, sichere Durchschweissung - wird hierdurch die Vorspülzeit verringert und eine höhere Prozesssicherheit erreicht. Besonders im Ansatz der Schweissnähte ist der Effekt zu spüren. Die Mehrkosten für das Schutzgas durch den Heliumanteil werden durch die oben genannten Vorteile schnell kompensiert. ■

Messer Schweiz AG

Kurt Schenkel, Schweissfachmann SVS/EWS

Product Management Schweißen & Schneiden

5600 Lenzburg, www.messer.ch

TECHNIQUE DE RACCORDEMENT / SOUDAGE

> contenant 30 et 50 pour cent d'hélium ont été utilisés pour les essais de soudage.

Les clichés de coupe montrent clairement à partir de quel taux d'humidité dans le gaz de protection survient un premier changement dans le point de soudure :

- Argon 4.6 à partir de 400 ppm d'H₂O environ
- Aluline He30 à partir de 800 ppm d'H₂O environ
- Aluline He50 à partir de 1000 ppm d'H₂O environ

Au-delà de ces taux d'humidité dans le gaz de protection, les échantillons montrent des micropores clairement visibles.

Diminution de la formation de pores

Pour éviter de façon ciblée la formation de pores dans l'aluminium soudé, il convient de tenir compte de toutes les sources d'hydrogène ou d'humidité possibles. Le système d'alimentation en gaz de protection y est particulièrement sensible. Il commence au niveau du réducteur de pression pour se terminer à la buse de distribution de gaz. Dans le détail, il convient de vérifier régulièrement les éléments suivants :

1. réducteur de pression : étanchéité
2. raccordement du tuyau sur le réducteur de pression : étanchéité
3. tuyau à gaz sur l'installation de soudage : étanchéité, porosité, matériau

4. raccordement du tuyau sur l'installation de soudage : étanchéité
5. tuyaux dans l'installation de soudage : étanchéité, porosité, matériau
6. tuyau dans le bloc de tuyaux : étanchéité, porosité, matériau
7. brûleur et buse de distribution de gaz : étanchéité
8. guide-fil : étanchéité
9. buse à fil et tube guide-fil : taille adaptée

Des petites fuites ou une légère porosité permettent la pénétration d'air et d'humidité dans le système d'alimentation en gaz. On considère souvent à tort que là où du gaz sort, l'air ne peut pas entrer. Un contrôle et un entretien réguliers sont indis-

pensables. Ceci permet d'économiser de l'argent, du temps et de s'épargner des contrariétés.

Choix du gaz de protection

Si le processus utilisé ne permet pas de réduire la formation de pores, il convient d'envisager l'emploi de gaz de protection à base d'hélium. En plus d'autres effets positifs (apport plus intense de chaleur, préchauffage réduit, soudage à cœur fiable), il réduit le délai de pré-rinçage et offre une plus grande sécurité des processus. Cet effet est particulièrement frappant à la base des points de soudure.

Le surcoût en hélium pour le gaz de protection est rapidement compensé par les avantages listés ci-dessus. ■