

Cuantificación de la contaminación del gas de protección en procesos de soldadura con arco eléctrico por medio de mediciones de oxígeno en la superficie del material base

(Quantification of contamination of the shielding gas in arc welding processes through measurement of oxygen on the surface of the base material)

Julio Fuentes-Muñoz¹, Michael Dreher²

¹GSI mbH Niederlassung SLV Duisburg, Alemania, ¹fuentes@gsi-slv.de

²Universidad Técnica de Dresde, Alemania

Resumo

A metodologia apresentada neste trabalho se baseia em medições do teor de oxigênio na superfície do metal base, possibilitando assim, uma avaliação quantitativa da contaminação do gás de proteção. Os gases utilizados nos processos de soldagem definem as características do arco e protegem a poça de soldagem. A contaminação do gás, por exemplo, com o ar do meio ambiente, prejudica as propriedades da união soldada. A contaminação do gás de proteção não é somente dependente da qualidade do gás utilizado, como também tem que ser considerado os componentes contidos na tocha. Até agora, o nível da contaminação do gás produzido pela tocha tem sido analisado somente de forma empírica, avaliando a qualidade e forma do cordão de solda. A medição do oxigênio na superfície do metal de base é um método simples e preciso para analisar o nível de contaminação do gás de proteção. Este procedimento permite uma avaliação quantitativa, inclusive na presença do arco. No contexto deste trabalho se apresentará por meio de exemplos em tochas TIG e MIG/MAG as possibilidades da utilização desta metodologia para o desenvolvimento e análise de processos de soldagem a arco.

Palavras-chave: Arco, gás de proteção, contaminação, oxigênio, tocha.

Abstract: The method presented in this paper is based on the measurement of oxygen on the surface of the base metal to enable a quantitative assessment of the contamination in the shielding gas. The gas used in arc processes affected arc properties and simultaneously protected the welding pool. The contamination of the shielding gases, e.g. with atmospheric air, damages the properties of the weld joint. The contamination in the shielding gas is not only dependent on the purity of the utilized gas, but also on the components of the welding torch. The level of contamination in the gas produced by the torch had been analyzed so far only by empirical evaluation of the quality and appearance of the welding seam. The measurement of oxygen on the surface of the base metal is a simple and accurate method to analyze the level of contamination in the shielding gas. This method allows a quantitative assessment even in the presence of the arc. This work shows the possibilities of using this method for the development and analysis of arc welding processes using the example of TIG and MIG / MAG torches.

Key-words: Arc, shielding gas, contamination, oxygen, torch.

1. Introducción

En la soldadura por fusión, los principales componentes del aire, tales como nitrógeno y oxígeno, acompañados de un elevado contenido de humedad pueden perjudicar las propiedades de la unión soldada.

La contaminación del gas de protección con el aire puede venir de diferentes fuentes, siendo la torcha y su geometría uno de los mayores focos de contaminación del gas. En la Figura 1 están esquematizadas las fuentes de contaminación del gas de protección. Un mal diseño del difusor de gas, de la boquilla y el mal funcionamiento de esta última por causa de las salpicaduras producen turbulencias en el gas de protección, favoreciendo así,

una mezcla de este gas con el aire. Incluso, la humedad y el oxígeno atmosférico pueden penetrar en la torcha por difusión a través de mangueras sintéticas y con ello en el gas de protección [1, 2]. El efecto venturi y defectos en los conductos de gas de la torcha favorecen de igual manera la contaminación del gas de protección [3]. Otro foco de contaminación del gas es el uso de un caudal inapropiado. Un caudal muy alto de gas genera turbulencias y uno muy bajo es insuficiente para evacuar la zona de soldadura.

La contaminación en el gas de protección producida por los diferentes focos mencionados anteriormente produce defectos en el cordón tales como, oxidación excesiva, pérdida de las propiedades mecánicas, poros metalúrgicos y agrietamiento inducido por hidrógeno. Por ejemplo, el deterioro de la resistencia a la corrosión de aceros inoxidables y la fragilización del titanio por el oxígeno y el nitrógeno es ampliamente conocido [4, 5, 6]. Poros metalúrgicos se forman por la diferente solubilidad de los gases en los metales en sus fases sólida y líquida [3].

(Convidado em 15/05/2012; Texto final em 21/08/2012).

Cuantificación de la contaminación del gas de protección en procesos de soldadura con arco eléctrico por medio de mediciones de oxígeno en la superficie del material base

Ejemplo de ello, es el aluminio con el hidrógeno, con su brusco cambio en la solubilidad en dependencia de la temperatura [5]. Por otro lado, cantidades excesivas de nitrógeno y oxígeno también producen poros metalúrgicos en aceros al carbono [5, 3]. Hidrógeno produce agrietamiento en aceros ferríticos. El agrietamiento inducido por hidrógeno se genera cuando este gas es diluido en el charco en forma de átomo. Los átomos de hidrógeno se difunden para su recombinación entre los granos del acero produciendo así el agrietamiento [5].

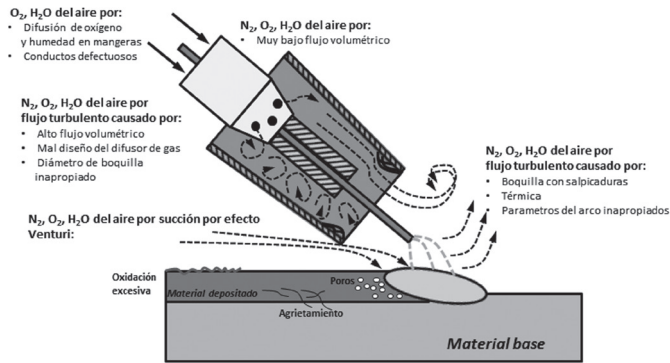


Figura 1. Esquema de fuentes de contaminación del gas de protección y defectos de soldadura.

Para ciertas aplicaciones, sin embargo, los gases del aire como el nitrógeno, oxígeno e hidrógeno pueden ser útiles. El nitrógeno actúa como estabilizador de fases austeníticas en aceros duplex y el oxígeno mejora la estabilidad del arco en el proceso MAG para soldar aceros inoxidable [7, 3]. También, por medio de la adición de oxígeno en el gas de protección es posible modificar la penetración del cordón. El oxígeno cambia la tensión superficial del charco de soldadura modificando así la dirección de la convección de marangoni. A través de ello es posible cambiar la relación alto/ancho del charco de soldadura y así obtener otros resultados en la unión soldada. En el caso de aceros inoxidables del tipo 1.4301 Schaping et al [8, 9] logro subir la relación alto/ancho del charco de soldadura desde 0,2 a 0,5. Para ello se aplicaron 3000 ppm de oxígeno al gas de protección con el proceso TIG. También, mezclas de argón e hidrógeno son utilizados en aceros austeníticos para aumentar la velocidad de soldado. El hidrógeno posee una mayor conductividad térmica y energía de ionización que el argón. Esto posibilita una mayor aplicación de calor desde el arco al material base [3].

Como discutido anteriormente, dependiendo del material a soldar los gases del aire pueden beneficiar o no las propiedades del cordón de soldadura. Es por ello, que la composición del gas de protección debe ser apropiada para obtener resultados óptimos en la unión soldada. Cantidades desconocidas de estos gases, producto de la contaminación del gas de protección pueden generar efectos no deseados en el cordón de soldadura. En el presente trabajo se presenta un método de cuantificación de la contaminación del gas de protección por medio de la medición del oxígeno en la superficie del material base. Por medio de este método es posible analizar el efecto de diferentes geometrías de torchas TIG y MIG/MAG, así como, los efectos de los parámetros de soldadura en la pureza del gas de protección. Con

este método es posible analizar sistemáticamente los diferentes factores de influencia en la contaminación del gas de protección.

2. Método

Las mediciones de oxígeno en la superficie del metal base fueron implementadas por primera vez [10, 11] para el análisis de torchas en procesos de arco con gas de protección. En este caso, la función del gas, entre otros, es de proteger el charco de soldadura y para el caso particular de los procesos TIG y plasma el electrodo de tungsteno de la interferencia del aire atmosférico. El aire es una mezcla de gases que posee una presión parcial de oxígeno cuasi constante de 0,209 bar a nivel del mar.

La concentración de oxígeno se puede medir con precisión con la ayuda de sensores de óxido de circonio dopados con itrio (sondas lambda). Mediante la medición de la concentración de oxígeno sobre la superficie del metal base se puede determinar la proporción de aire mezclado en el gas de protección. Para esto, una pequeña parte del gas de protección y del arco se extrae a través de un agujero en una placa de cobre refrigerada por agua (Figura 2). El sensor de oxígeno se conecta directamente en el conducto de extracción. Por medio de una bomba de succión se extrae un caudal pequeño, aproximado a un 1% del caudal total del gas de protección.

Para obtener la distribución de la concentración de oxígeno en la superficie del material base se utiliza un sensor de posición. Simultáneamente se mide la concentración de oxígeno y la posición de la torcha con respecto al orificio de medición. A través de mediciones en dos ejes es posible también de obtener una representación tridimensional de la concentración de oxígeno en el gas de protección [12]. Esto permite la detección incluso de una distribución asimétrica de la contaminación en el gas de protección.

Altas concentraciones de oxígeno en el gas de protección dificultan la medición por la alta oxidación de la placa de cobre refrigerada. Es por ello, que para este método se utilizan en primer lugar gases inertes. También, para el análisis de torchas MIG/MAG se puede utilizar un electrodo modificado. En este caso se utiliza un electrodo de tungsteno montado en la boquilla de contacto. Con esta modificación es posible analizar torchas MIG/MAG contemplando la influencia del arco eléctrico.

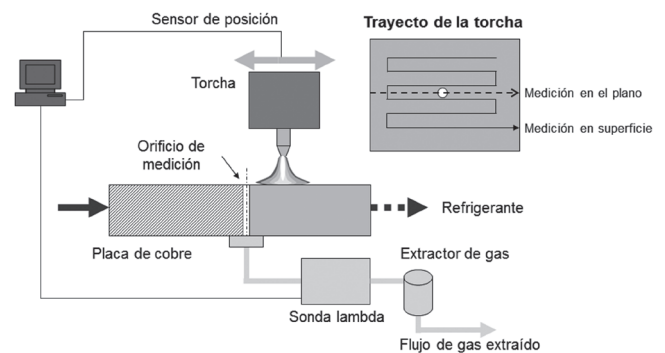


Figura 2. Esquema de la medición del oxígeno sobre la superficie del material base.

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis en torchas TIG

Para este estudio se utilizó una tocha estándar SR-18 con un largo de 4 m y el gas de protección argón 4.0. La influencia de la geometría del difusor de gas, el flujo volumétrico y la corriente de soldadura en la contaminación del gas de protección fueron analizados. En el caso del difusor de gas, se analizaron variantes con dos, cuatro y ocho perforaciones (Figura 3). Las perforaciones del difusor de gas estudiado fueron distribuidas homogéneamente y poseen el mismo diámetro. Con ello se alcanzan tres diferentes velocidades de salida del gas desde el difusor de gas pero con la misma velocidad de salida desde la boquilla de la torcha. Para el caso de la torcha TIG se analizó solo la mitad de la zona de protección de la torcha, representando la posición cero mm, el centro del arco eléctrico (Figura 3).

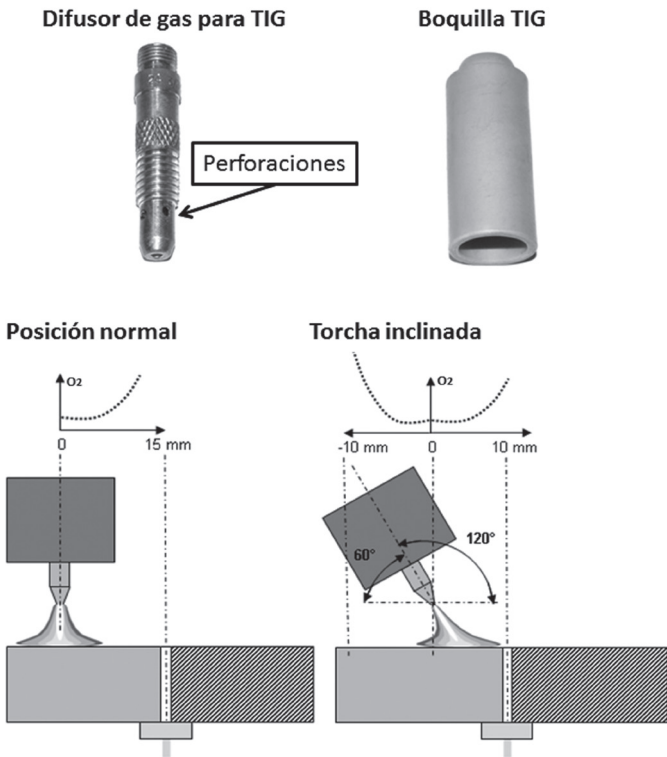


Figura 3. Difusor de gas, boquilla TIG y esquema de posicionamiento de la torcha.

En la Figura 4 Se muestra la distribución de oxígeno en el gas de protección para las diferentes geometrías de difusor estudiadas. Para este caso, con un flujo de gas de 8 l.min⁻¹ no se evidencian mayores diferencias entre los difusores estudiados. Por el contrario, cuando estos difusores son expuestos a diferentes caudales de gas de protección se evidencian grandes diferencias en la distribución de oxígeno en el gas de protección.

Para el caso del difusor estándar de 4 perforaciones, la concentración de oxígeno en el centro del arco eléctrico se mantiene cuasi constante en un valor aprox. de 100 ppm para los diferentes caudales de gas estudiados (de 5 l.min⁻¹ hasta 15

l.m⁻¹)(Figura 5). En este caso la concentración de oxígeno en el centro del arco eléctrico es definida por el gas succionado por el arco en la región colindante a la punta del electrodo [12]. Para el caso estudiado de 5 l.min⁻¹ la concentración de oxígeno asciende desde el centro del arco hasta la periferia de la boquilla en forma constante. Para mayores caudales de gas, la concentración de oxígeno se mantiene baja en toda la zona de protección de la boquilla. Esto, producto de la disminución de la difusión del aire en esta zona [12].

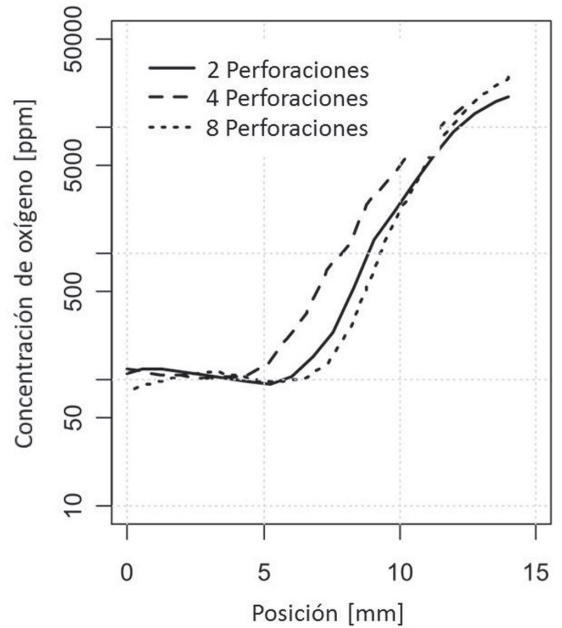


Figura 4. Contaminación del gas de protección para diferentes difusores de gas con un caudal de 8 l.min⁻¹; corriente 150A.

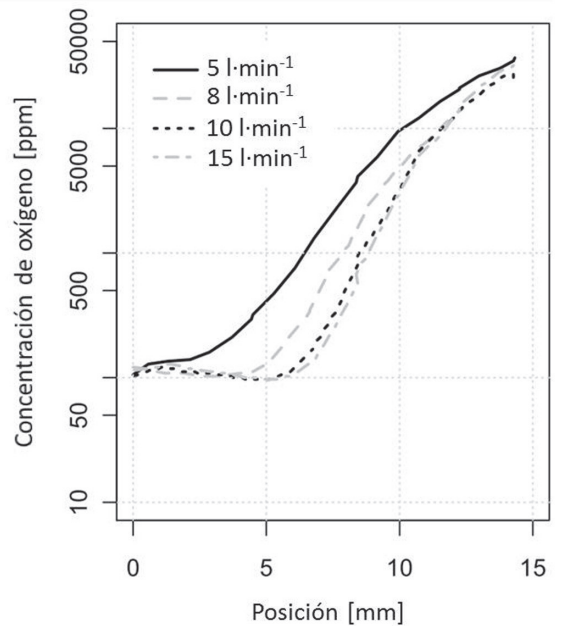


Figura 5. Contaminación del gas de protección para diferentes caudales con difusor de cuatro perforaciones; corriente 150A.

Cuantificación de la contaminación del gas de protección en procesos de soldadura con arco eléctrico por medio de mediciones de oxígeno en la superficie del material base

El difusor de ocho perforaciones muestra un comportamiento similar al difusor de cuatro perforaciones. Sin embargo, el difusor de ocho perforaciones es menos propenso a la contaminación con el aire en los diferentes rangos de caudal del gas (Figura 6). En comparación con el difusor de cuatro perforaciones la velocidad de salida del gas desde el difusor, es la mitad. Esto provoca una disminución en la turbulencia del gas y con ello, la mezclas de este gas con el aire atmosférico.

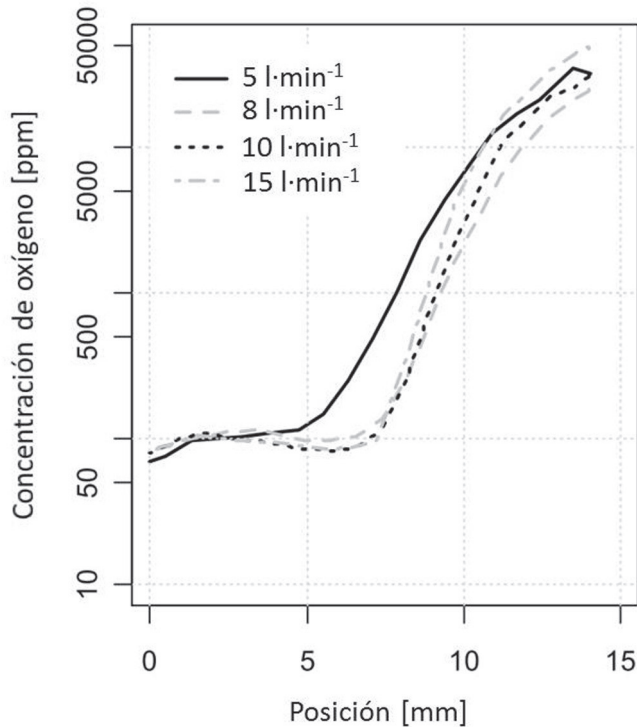


Figura 6. Contaminación del gas de protección para diferentes caudales con difusor de ocho perforaciones; corriente 150A.

En el caso de un difusor de dos perforaciones varía la concentración de oxígeno fuertemente en dependencia del caudal del gas de protección (Figura 7). En comparación al difusor estándar de cuatro perforaciones genera este difusor una velocidad de salida de las perforaciones de un 100% más alta. Esta alta velocidad de salida del gas desde el difusor provoca turbulencia en el gas de protección, las cuales, favorecen la contaminación de este. Por ejemplo, para un caudal de 15 l·min⁻¹ la concentración de oxígeno del gas de protección en el centro del arco es de 500 ppm en comparación con 100 ppm para el difusor estándar de cuatro perforaciones.

El efecto estabilizador del arco eléctrico en el gas de protección queda demostrado por medio del análisis de la contaminación como ejemplo del difusor de dos perforaciones (Figura 8). En la Figura 8 se muestra el análisis de los difusores sin el efecto del arco eléctrico. La concentración de oxígeno se eleva hasta valores de 5000 ppm en la zona bajo la boquilla de la torcha. Cuando el arco eléctrico está encendido, la concentración de oxígeno baja drásticamente. En el caso de 150 A la concentración alcanza un valor aproximado de 120 ppm.

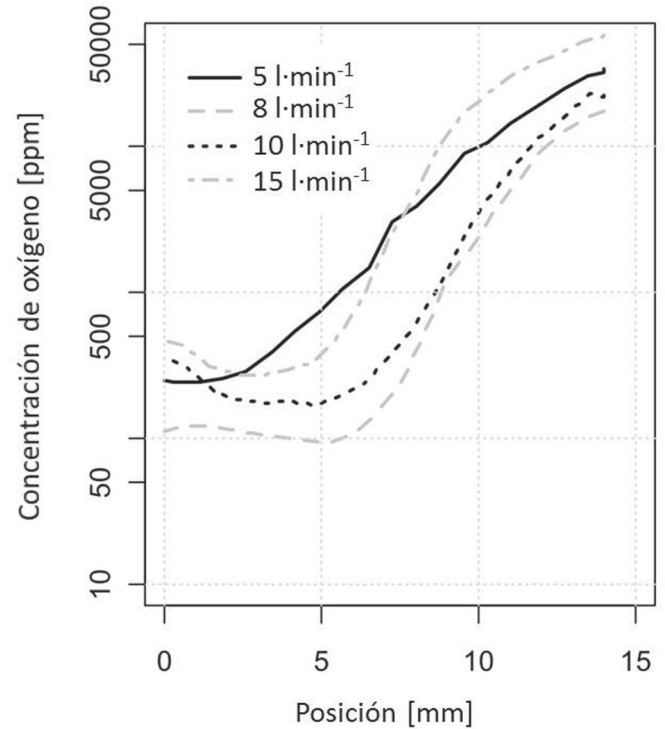


Figura 7. Contaminación del gas de protección para diferentes caudales con difusor de dos perforaciones; corriente 150A.

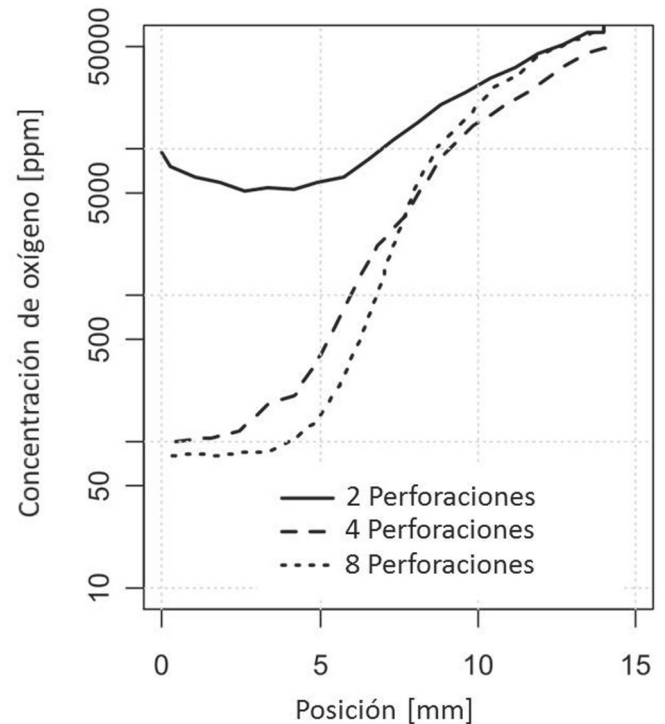


Figura 8. Contaminación del gas de protección para diferentes difusores; sin arco eléctrico.

Usualmente, en el proceso de soldadura TIG se inclina la torcha para añadir el material de aporte. En la Figura 9 se muestra la contaminación del gas de protección producto de una

inclinación de 30° de la torcha. La inclinación se realizó en el plano ZY (Figura 3). Para el caso estudiado se detectó una distribución asimétrica de la contaminación del gas de protección. En la zona con el mayor ángulo de apertura se detectaron mayores valores de oxígeno. La zona en la cual se añade el material de aporte se ve más afectada por la contaminación del gas de protección.

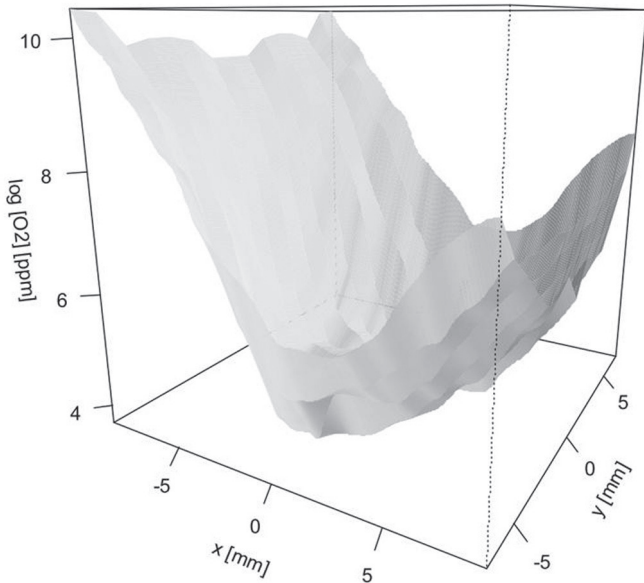


Figura 9. Distribución superficial de la contaminación para una antorcha inclinada en 30°; caudal 8 l.m⁻¹; corriente 150 A.

3.2. Análisis en torchas MIG/MAG

El proceso MIG/MAG es un proceso de soldadura con electrodo consumible. Por ello, para el análisis de la contaminación del gas de protección se utiliza un electrodo de tungsteno montado en la boquilla de contacto y un gas inerte.

Durante la producción de componentes soldados con el proceso MIG/MAG la torcha está expuesta a ser contaminada por salpicaduras y humos del proceso. Estos elementos externos cambian la superficie y la sección transversal del flujo de gas en la torcha. Es por ello que el flujo de gas y la zona de protección de la boquilla se ven afectados. Hasta ahora, la influencia de la contaminación sobre la calidad o pureza del gas de protección se ha analizado sólo empíricamente. A partir de estos valores empíricos se fijan ciclos de pausa para la limpieza en sistemas automatizados. Estos tiempos muertos de producción elevan los costos. Para investigar la influencia de la contaminación de la torcha en la pureza del gas de protección se utilizaron boquillas las cuales estuvieron expuestas a condiciones reales de producción. Estas boquillas se analizaron sistemáticamente por medio del método aquí presentado.

En la Figura 10 se muestra la influencia de las boquillas de gas contaminadas (boquillas B y C) en la pureza del gas de protección. Las diferencias entre las boquillas estudiadas pueden ser observadas en la gran variación en la concentración de oxígeno. En el caso de la boquilla B, con salpicaduras de gran tamaño, se aprecia un aumento significativo de la contaminación

en el gas de protección. También el cambio de la forma de la boquilla producto de colisiones afecta el gas de protección. En el caso de la boquilla C, no solo aumento el nivel de oxígeno, sino también disminuyó el tamaño de la zona protegida por el gas.

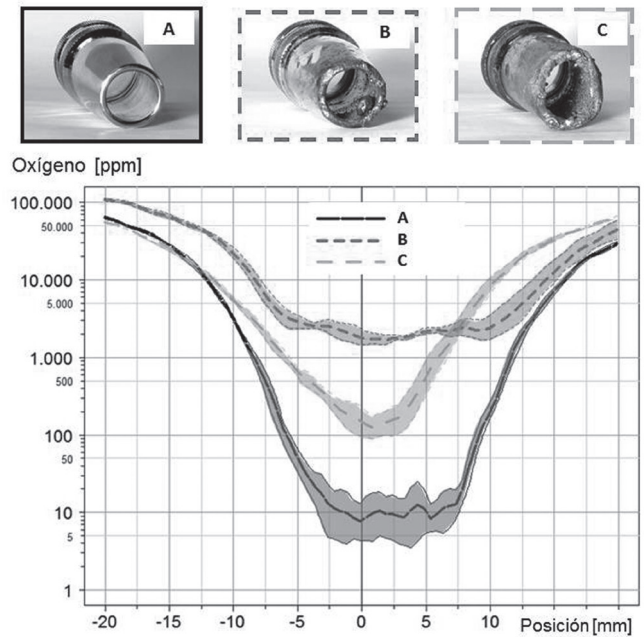


Figura 10. Variación en la pureza del gas de protección en dependencia de la contaminación de la torcha MIG/MAG.

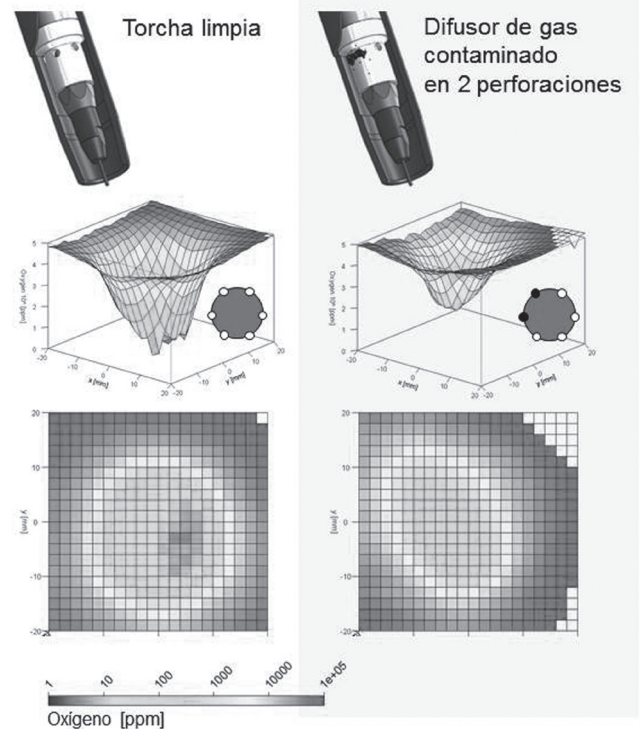


Figura 11. Comparación de los niveles de contaminación del gas entre una torcha MIG/MAG limpia y una alterada por salpicaduras en el difusor de gas.

Cuantificación de la contaminación del gas de protección en procesos de soldadura con arco eléctrico por medio de mediciones de oxígeno en la superficie del material base

Durante el proceso de soldadura MIG/MAG no solo se contamina la boquilla sino también el difusor de gas y su zona colindante. Mediante mediciones de oxígeno en la superficie del metal base fue posible identificar que la contaminación en el difusor provoca altos niveles de impurezas en el gas de protección. En el caso acá estudiado se comparó un difusor obstruido en dos perforaciones con uno limpio (Figura 11). En la Figura 11 se aprecia que el nivel de oxígeno de la torcha contaminada es mucho más alto que la torcha limpia, incluso más, se afecta la forma y tamaño de la zona de protección. Formas de contaminación de la torcha como la mencionada anteriormente se producen especialmente con sistemas automáticos de limpieza de boquillas con de fresas. Estos sistemas de fresadora no limpian el difusor y su zona colindante, incluso más, existe la posibilidad de empujar suciedad a esta zona. Este hecho podría contribuir a la obstrucción de algunas de las perforaciones del difusor de gas y con ello favorecer altos niveles de contaminación en el gas de protección.

4. Conclusión

Mediante mediciones de oxígeno en la superficie del material base es posible analizar en forma cuantitativa, simple y exacta la contaminación del gas de protección. El método aquí presentado permite mediciones en sistemas de torchas para procesos de arco con y sin electrodo consumible. En el caso de un proceso con electrodo consumible tal como MIG/MAG, se utiliza un electrodo de tungsteno para la medición. Por medio de ejemplos en torchas TIG y MIG/MAG se dieron a conocer algunos de los campos de aplicación de este método. Para el caso de las torchas TIG se analizó el efecto de la geometría del difusor y algunos parámetros de proceso en la contaminación del gas de protección. La sensibilidad del método acá utilizado, es adecuada para representar los cambios en la contaminación del gas de protección. Torchas MIG/MAG están expuestas a la contaminación por salpicaduras y humos durante el proceso. Es por ello que en este trabajo se mostraron algunas de las posibilidades de análisis de estas torchas con las mediciones de oxígeno. La variación en la pureza del gas de protección producto de contaminación de la boquilla y el difusor de gas fueron analizados sistemáticamente. Por último, las mediciones de oxígeno en la superficie del metal base contribuyen a el análisis y posterior desarrollo sistemático de procesos de soldadura con gas de protección.

5. Referencias Bibliográficas

- [1] REISGEN, U.; DILTHEY, U.; KAMPFFMEYER, D. Der Einfluss von Gasschläuchen bei Lichtbogenschweißen. In: GROSSE SCHWEISSTECHNISCHE TAGUNG. Dresden, Alemania, 2008.
- [2] REISGEN, U.; STEIN, L.; OLSCHOK, S.; KAMPFFMEYER, D. Einfluss von Gasschläuchen auf die Fuchte-, Wasserstoff- und Sauerstoffproblematik in Schutzgasschweißprozessen, Der Praktiker, Alemania, v. 3, p. 114-117, 2010.
- [3] sfí aktuell: gsi mbh. Düsseldorf: DVS Verlag, 2005.
- [4] LANCASTER, J. metallurgy of welding. 6 ed. Cambridge:

Abington Publishing, 1999.

- [5] DILTHEY, U. Schweißtechnische Fertigungsverfahren 2: Verhalten der Werkstoffen beim Schweißen. 3 ed. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.
- [6] OTANI, T. titanium welding technology, Nippon Steel, p. 88-92, 2007.
- [7] TRUBE S. Handbook: Auswahl von Schutzgasen zum Schweißen von Stahlwerkstoffen, 1999.
- [8] LU, S.; FUJII, H.; NOGI, K. Sensitivity of marangoni convection and weld shape variations to welding parameters in O₂-Ar shielded GTA Welding, Scripta Materialia, v. 51, n. 3, p. 271-277, 2004.
- [9] LU, S.; et al. Effects of oxygen additions to argon shielding gas on GTA weld shape, ISIJ International, v. 43, p. 1590-1595, 2003.
- [10] FUENTES-MUÑOZ, J.; FÜSSEL, U.; ZSCHETZSCHE J. Optimierung von Schweißbrenner zum Wolfram-Schutzgasschweißen durch Sauerstoffmessungen. In: ASSISTENTENSEMINARFÜGEUNDSCHWEISSTECHNIK, 29°, Tangemünde, Alemania, 2007.
- [11] FUENTES-MUÑOZ, J.; FÜSSEL, U.; SCHNICK, N.; ZSCHETZSCHE, J. Lichtbogendiagnostik an der Werkstoffoberfläche. In: GROSSE SCHWEISSTECHNISCHE TAGUNG, Dresden, Alemania, 2008.
- [12] FUENTES-MUÑOZ, J. Einfluss der Brennergestaltung auf den WIG-Lichtbogen: 2010, 130p. Tesis doctoral - Fakultät Maschinenwesen, technische Universität Dresden, Alemania.