

Los algoritmos del control

de la realización de la soldadura y de la cara de la unión con método TIG y oxiacetilénico de las tuberías inoxidable y de grano fino

Ryszard Jastrzębski EWE

Director del Instituto de la Unión de los Metales en Cracovia

Tomasz Robak

Ingeniero de Soldadura en Morska Stocznia Remontowa de Świnoujście

Adam Jastrzębski y Mariusz Jaworski

Instructores de Soldadura de la empresa TechnolKonstrzebski

Marek Kaczor

Director de la empresa de informática Arbor de Cracovia

Traducción de **Izabela Górecka, Katarzyna Hajost-Zak**

Resumen

El método polaco de formación de soldadores, impartido por el Instituto para la Unión de los Metales de Cracovia, ha demostrado su eficacia consiguiendo unos resultados muy elevados de cualificación de soldadores profesionales, en cursos de apenas 60 horas. Este método ha despertado gran interés internacionalmente y su fundamento se explica sucintamente en este artículo. Asimismo, su aplicación concreta a la enseñanza del soldeo por gas se describe en este artículo, para la realización del soldeo con TIG y con oxiacetilénica de tuberías de acero inoxidable y de grano fino.

Abstract

The Polish method for the training of welders, given by the Metals Joining Institute of Cracovia, has shown its efficiency as it allows the reach of very high results in the professional welders qualification, by means of courses as short as 60 hours duration. This method has been internationally recognized, and their bases are shortly explained in this article. Also, its actual application to the learning of gas welding is described in the article, for the performance of TIG welding and OAW welding of stainless steel and fine grain steel pipes.

E Introducción

El método polaco de formación de soldadores a muchos americanos les podría parecer una ciencia ficción si no fuera por el hecho de que actualmente se puede encargar al Instituto de la Unión de los Metales en Cracovia, que organiza cursos para los soldadores de calderas de 60 horas de duración, y personalmente averiguar su eficacia. En la conferencia EWF en Santiago de Compostela los autores del método despertaron gran interés, sobre todo entre los científicos hispanohablantes que ya habían tenido la oportunidad de comprobar este método en los países de América Latina [6]. El método ha sido utilizado en el sector de energía en Polonia y Alemania, tanto en las empresas pequeñas como en los consorcios grandes de capital extranjero.

En el resumen de la conferencia Eurojoin 2006 de la Federación Europea de Soldadura, en Santiago de Compostela, se subrayó el hecho de que a pesar de las regulaciones europeas se siguen investigando otros métodos de formación de soldadores. La publicación del método en Francia, Estados Unidos, España y Holanda, por ser el único artículo polaco y uno de los pocos extranjeros dentro de la literatura, indudablemente ocasionó el aumento de la demanda de los soldadores de Cracovia. El método polaco de formación de soldadores constituye una competencia para los programadores franceses de la empresa Praxair, quienes basándose en las investigaciones básicas de la física del arco llevadas a cabo por los físicos polacos de la Universidad Jagellón, intentan compensar los errores de la técnica de

soldar utilizando la monitorización digital activa y la corrección rápida de los parámetros de soldar (función ColdArc y ForceArc) [3].

Naturalmente a través del perfeccionamiento de la técnica de soldar no se ha logrado soldar el acero con aluminio en frío (el baño frío impide la formación de frágiles compuestos transmetálicos entre acero y aluminio), como se suele hacer con las máquinas de soldadura austriacas con la función CMT de retirar el alambre [1], en el momento del cortocircuito (propulsión rápida de la corriente variable) y función ColdArc [2].

En este artículo nos dedicaremos a la técnica de soldar por gas y TIG desde el punto de vista de las posibilidades de controlar por parte del soldador el volumen del calor introducido con el objetivo de impedir el aumento del grano a la hora de soldar las tuberías de aceros inoxidables y de grano fino.

Las posibilidades de programar el cerebro para soldar basándose en la física descriptiva

Para la construcción de centrales eléctricas, o refinerías, necesitamos muchos soldadores bien cualificados. El clásico sistema de formación de soldadores, que se basa en la observación y la experiencia, permite formar apenas a tres personas con capacidades humanísticas de las cien formadas con capacidades exactas predominantes. De eso resulta que hay que explicarlo todo lógicamente a unos jóvenes inteligentes que presentan predomi-

nantemente unas capacidades exactas. El método TKS permite formar a unos noventa soldadores con muy buenas cualificaciones de los cien técnicos; el método no requiere una práctica industrial antes de encargarles una tarea responsable. El método TKS se basa en la descodificación de unas reglas lógicas, que introducidas en la subconsciencia determinan el reconocimiento del baño de fusión gracias a los movimientos de las manos contra la voluntad del hombre. La metodología de la descodificación de los conocimientos adquiridos durante la práctica a través del análisis de las metáforas ha sido descrita por la literatura dedicada a los análisis microscópicos [5]. Por la repetición y la explicación de esas reglas en la situación del estrés fuerte se elimina una influencia perjudicial de los experimentos con el agua y de la educación anterior (religión, sociedad, medios de difusión) en los movimientos de las manos durante el soldeo. Gracias a eso, es posible obtener una repetibilidad perfecta en calidad suprema de la formación TKS.

El método, gracias a la física descriptiva, posibilita conseguir un tiempo corto de reacción del soldador y una calidad hasta ahora inalcanzable en formación. Es posible realizar la soldadura con una rendija variable. Unas fórmulas físicas determinadas se requieren para manejar de una manera inteligente a los autómatas industriales, no obstante, la mente humana puede por sí sola descodificar aquellas fórmulas. Hay que suministrarle solo la dirección de la actuación a través de la explicación de los fenómenos basándose en la física descriptiva. Más adelante les acercaremos al método mediante una explicación lógica de la coordinación de movimientos con la observación, en el caso de soldeo por gas y TIG, de las tuberías de aceros inoxidables y de grano fino, en las refinerías y centrales eléctricas. Las condiciones genéticas individuales, las diferencias de educación y de experiencia de cada soldador en cada etapa de su vida, influyen sobre el mayor esparcimiento de la eficiencia de la fusión, lo que obliga al tecnólogo a corregir las diferencias de la dirección de la pistola de soldar (provocadas por las diferencias de la lógica inconsciente) a través del cambio de los parámetros.

Por lo anterior, cada soldador podría soldar con otros parámetros de soldeo. La formación y la vida diaria influyen en los movimientos de las manos del soldador. Estos movimientos deberían ser controlados con el objetivo de disminuir las dife-



Figura 1. Cinco de los diez soldadores que participaron en el curso de soldadura de las tuberías de acero 316L resistente al ácido junto al ingeniero de soldadura en Morska Stocznia Remontowa (astillero naval de reparación) de Świnoujście y al director del Instituto del Unión de los Metales

rencias entre los efectos del trabajo de diferentes soldadores y los parámetros del soldeo. Tal hecho explica el sentido de utilizar la norma EN ISO 3834-1.

La metodología de investigación de la red real de neuronas del hombre

Al encargar a un excelente profesor que dio una conferencia de la ciencia exacta para un público suficientemente grande, observamos que durante esta conferencia, el profesor estaba en un trance que permitía nivelar la diferencia entre el estado consciente e inconsciente, y los científicos le hacían preguntas. El profesor daba las respuestas sobre los temas de los que antes no tenía ningún conocimiento y sabía utilizar esos conocimientos en práctica. Sin embargo si no fuera por el hecho de registrar ese acontecimiento, el profesor no sería capaz de reconstruir esos conocimientos en otra situación. La metodología de la descodificación de los conocimientos prácticos a base del análisis de las metáforas técnicas la presentamos en la literatura [5].

La comparación de las experiencias de la formación con el método TKS con las experiencias con los cálculos elaborados con las redes de neuronas y también los análisis hasta hace poco secretos en cuanto a la conexión entre el cerebro del pilo-

to y el ordenador, permite crear los métodos nuevos de la modelación digital de los procesos de soldadura [12]. Si enseñar de la red real de neuronas de la física descriptiva ha acelerado el proceso de aprendizaje, también será posible que la física descriptiva pueda ser utilizada para encontrar el punto de comienzo óptimo de aprendizaje de la red artificial de neuronas. Para eso es necesaria una descripción detallada, preparada por los prácticos, de la coordinación del movimiento

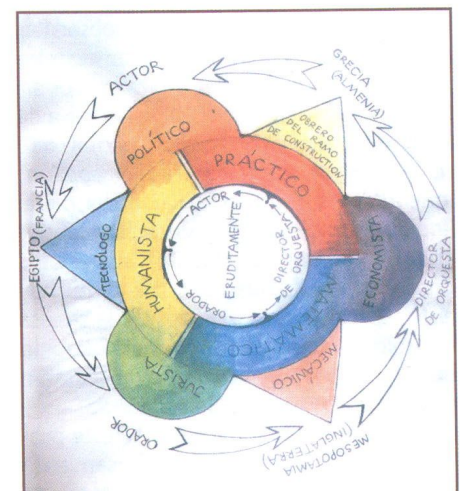


Figura 2. Etapas de la enseñanza del pensamiento lógico inconsciente según las capacidades y sus respectivos métodos de las investigaciones científicas y los métodos de la enseñanza de la inconsciencia con el método de la selección de las capacidades del profesor

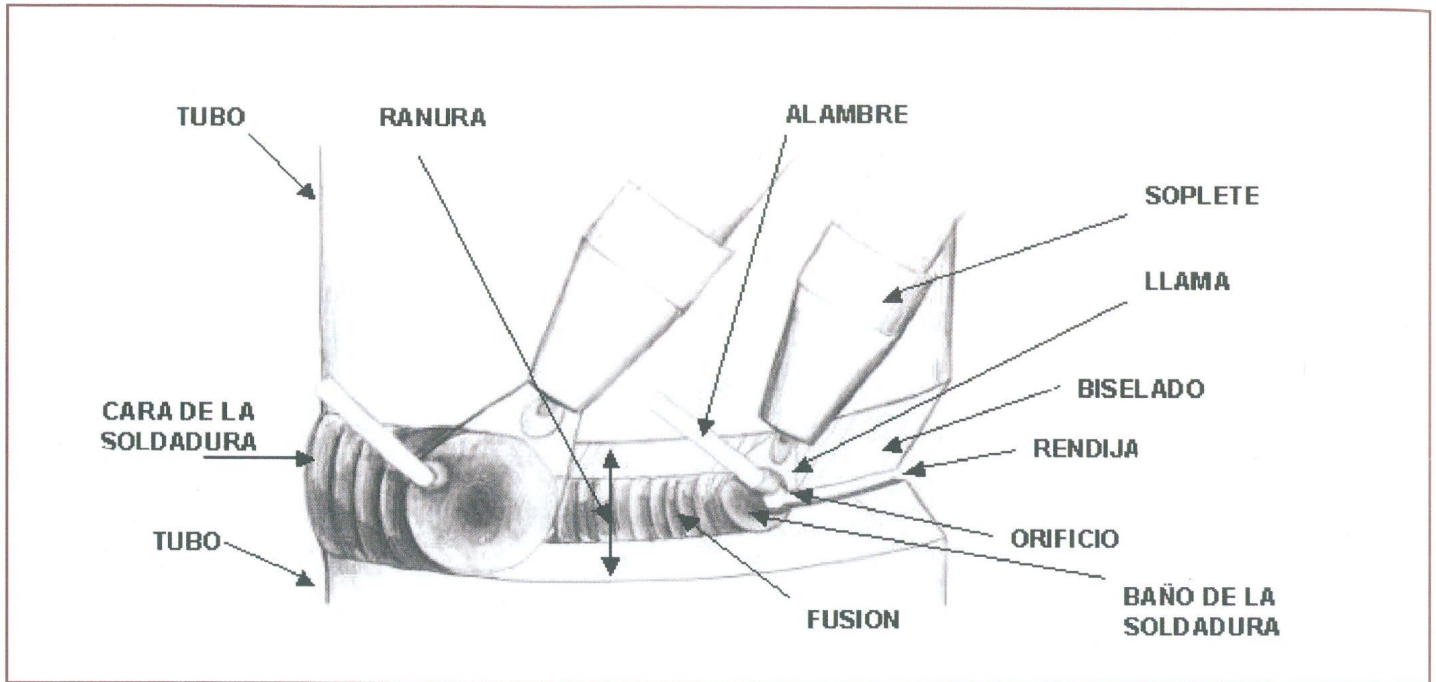


Figura 3. La regla para soldar tubos con la llama oxiacetilénica

con la observación al soldar a gas y al soldar TIG. Casi 15 años de trabajo han dado los resultados que describimos a continuación.

Soldadura por gas

Teniendo en cuenta que las características presentadas más arriba son comunes para la fusión por el soplete oxiacetilénico y el arco eléctrico, vamos a comenzar el análisis lógico de la técnica de soldar que se aplica en el método TKS, precisamente con la soldadura por gas.

El proceso de soldadura por gas ha sido expulsado del sector de energía y, actualmente, se utiliza en Alemania para soldar estructuras de cobre de gran espesor (las estructuras de pequeño espesor se estañan).

El soldador suele tener dificultades a la hora de superar el miedo natural que tiene el hombre de caer en el agujero, entendido aquí como la caída del metal líquido en el ojo de soldadura. El soldador controla la intensidad de la fusión de los bordes con la cantidad del líquido que hay entre el soplete y los bordes de la ranura de soldar, empujando el metal líquido hacia adelante con el extremo del alambre sumergido en el baño de soldadura.

La dificultad en la superación de este problema se encuentra en el pensamiento inconsciente del soldador. Esta es la mayor dificultad a la hora de instruir a los soldadores. Sin embargo, la podemos eliminar mediante una continua observación y manejo físico de las manos del alumno por parte del instructor.

La estabilidad de la llama y el funcionamiento correcto de las válvulas del soplete son muy importantes.

Si la presión del oxígeno que alimenta la llama es diez veces mayor que la del acetileno, esto puede provocar el *soplado* del baño de soldadura. El soldador debe darse cuenta de una situación así y volver a regular, rápidamente, la válvula del soplete.

Otro obstáculo con el que se encuentra frecuentemente el soldador es el ruido producido por el soplete. Suele suceder cuando el soldador saca el alambre fuera de la zona de desoxidación de manera descuidada, provocando una fuerte gasificación de la gota en el extremo del alambre. Después de introducir en el baño de soldadura una gota con alto contenido de nitrógeno, se produce el calentamiento del gas, su explosión y, en consecuencia, proyecciones de metal y ruido del soplete. Es la razón por la que conviene que el soldador separe la gota del extremo del alambre antes de introducirla en el baño de soldadura.

Iniciamos el proceso de fusión fijando, primero, tuberías biseladas dentro de las pinzas que facilitan la alineación de sus ejes y realizando una serie de puntos de longitud tres veces mayor que el espesor del material del trabajo, es decir, alrededor de 10–20 mm. Los puntos deben contar con dos ojos, en ambos lados de la unión.

En la tubería realizamos como mínimo tres puntos, manteniendo entre ellos intervalos menores de quince espesores del material base. La separación debe ser mayor que el diámetro del alambre para que sea posible empujar la gota (de tama-

ño igual que el diámetro del alambre) hacia el otro lado con la presión de los gases, y que estos puedan llegar hasta el borde y fundirlo a causa de entrar en contacto directo con él.

Los dos ojos, en la parte inicial y final del punto, sirven para poder empujar la gota hacia el otro lado a la hora de cerrar la separación, puesto que es cuando la gota está sometida a la actuación de las fuerzas de la tensión superficial desde las cuatro direcciones.

Empezamos el proceso de soldadura tras calentar los bordes hasta el punto de que estos estén rojos en una longitud de 30 mm. A continuación, los fundimos en la zona cercana al punto hasta el momento de la formación del baño de soldadura. Es el momento en el que podemos introducir el alambre en la parte central del baño. Quiere decir que no tenemos dificultad ninguna a la hora de calentar el baño de soldadura, sino que puede resultar problemática la fusión del material base. Cosa contraria sucede en el caso de la soldadura TIG. La alimentación del hilo en las partes laterales causaría la evacuación del calor durante la fusión del hilo y, como consecuencia, pararía el proceso de la fusión del material base y aumentaría el tamaño del baño de soldadura. Cuando el baño es lo suficientemente grande y el ojo empieza a aumentar su tamaño empezamos a mover el alambre, apoyado en el fondo del baño, de manera circular (*rascar* con el alambre el fondo del baño) para llegar a empujar el metal líquido hacia el ojo de soldadura.

Los movimientos del extremo del alambre demasiado intensos provocan el acelera-

miento de su fusión, evacuación del calor durante el proceso de la fusión, disminución del tamaño del baño, desaparición del ojo y, en consecuencia, se puede detener el proceso de fusión de los bordes por el metal líquido que no transmite el calor de la llama de gas *de arriba hacia abajo*. Es cuando se debe disminuir la velocidad de los movimientos del alambre y dirigir la llama hacia el baño del metal líquido. Una vez aumentado el tamaño del baño de soldadura, hay que dirigir la llama hacia el borde del ojo, de manera que los gases se deslicen sobre el baño y no entren (o solo un poco) en la separación.

Si el ojo aumenta su tamaño con demasiada rapidez se procede a ampliar la intensidad del empuje del metal líquido, para separar los bordes fundidos de la llama de gas.

Con el fin de parar el proceso de soldadura y cambiar la posición del soldador, este debe retirar el alambre del baño y calentar con la llama sus bordes para conseguir la evasión de los gases diluidos en el metal líquido.

La realización de la soldadura en posición cornisa requiere el hecho de dirigir la llama de gas hacia la pared inferior de la tubería, con el fin de una fundición adecuada del material base. La pared superior se calentará por sí sola, puesto que la difusión térmica en el metal líquido es *de abajo hacia arriba*.

En el caso de soldar en posición empezamos el proceso desde la posición bajo techo. La llama está dirigida de manera perpendicular respecto a las paredes de la tubería, el alambre está situado en la parte final del baño de soldadura y su extremo debe llegar hasta el lado interior de la tubería en la parte inicial del baño. En esta posición el extremo del alambre, a parte de empujar el metal líquido hacia adelante, lo empuja también hacia el centro de la tubería.

Cuando la realización de la unión llegue a la posición correspondiente a la hora 8:00 en el reloj, resulta mucho más difícil introducir el alambre hasta el borde interior de la pared de la tubería, debido a la solidificación de metal y, además, requiere el cambio de posición del soldador con respecto a la tubería. Una situación así exige la necesidad de hacer evadir los gases calentando la zona que rodea el baño de soldadura. Una vez realizada la unión en posiciones correspondientes a las 8:00 horas hasta las 9:00 (posiciones del reloj), tanto la llama de gas como el alambre deben estar situados de manera perpendicular con respecto al borde de la tubería.

Mientras fijamos los puntos en el tramo de la tubería correspondiente al tramo del reloj desde las 9:00 hasta las 12:00 horas, hay que dirigir la llama hacia el baño de

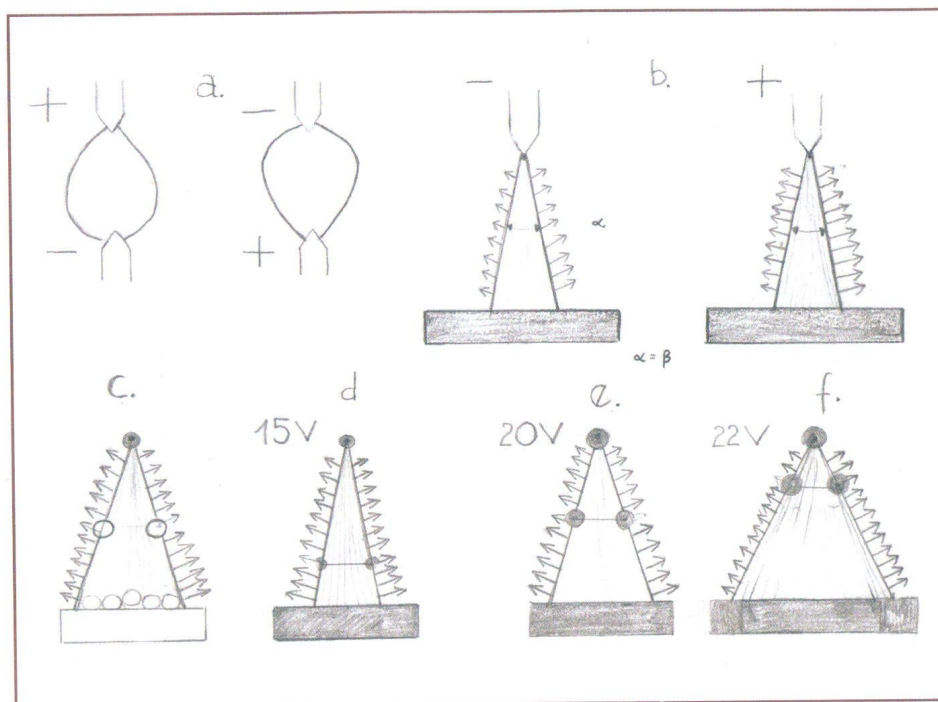


Figura 4. La influencia de la polaridad y el flujo libre de las partículas hacia el ángulo de abertura del arco en el modelo del flujo energético del arco [8] a) b) comparación de los cambios en cuanto a la forma del arco en el momento del cambio de la polaridad en el caso de los electrodos agudos y arco eléctrico c) la influencia del vapor de metal en el ángulo de abertura del arco d) la influencia de la temperatura en el ángulo de abertura del arco en el caso del alambre tubular metálico e) f) la influencia del tamaño de las partículas en el ángulo de abertura del arco en el caso del hilo macizo y alambre tubular de rutilo

soldadura con el fin de reducir la componente perpendicular del vector de presión bajo el cual se encuentra la pared de la tubería y, al mismo tiempo, disminuir el empuje del metal líquido hacia el centro de la tubería. En una posición así, la fuerza de la gravedad actúa en la misma dirección que la presión de los gases.

Una mayor inclinación del soplete en la parte superior de la tubería sirve, también, para mover el metal líquido hacia atrás y, al mismo tiempo para permitir una libre llegada de gases hasta el borde. Teniendo en cuenta que la distribución del calor en el metal caliente no es *de arriba hacia abajo* en este tipo de posiciones suele provocarse ausencia de fusión en el borde o derrame, debido al excesivo input del calor, la disolución de una cantidad grande de los gases y la aparición de un poro. La realización de la pasada de acabado en una posición cornisa requiere unos movimientos circulares con el extremo del alambre, de tal manera que el metal líquido sea arrastrado hacia arriba. En caso contrario, pueden formarse mordeduras y defectos en la pasada del acabado.

La soldadura por gas es posible en el caso de los espesores hasta 8 mm y diámetro de la tubería hasta 150 mm, sin embargo el Organismo de Inspección y Control Técnico en Polonia UDT permite soldar solamente espesores hasta 6 mm.

Las reglas anteriores permitían soldar con este método las tuberías gruesas biseladas en forma de "U", de manera que se podía

fundir la pared de espesor de 2–3 mm y de 15 mm de longitud.

Teniendo en cuenta las dificultades que suponía la fusión del material base con la fuente de calor tan poco concentrada que es el soplete, puede resultar problemático soldar tuberías de mayor espesor a la hora de dar la pasada de acabado en una posición cornisa. Contra todas las predicciones, en vez de ausencia de fusión en el borde, se pueden formar mordeduras y defectos en la pasada de acabado. El hecho de centrar la atención del soldador en la pared de mayor espesor, hace que este seleccione una boquilla del soplete demasiado grande y establezca una excesiva llama de gas.

Como consecuencia, el proceso de la fusión del borde y del alambre es demasiado acelerado, surge el flujo del metal líquido hacia abajo y resulta imposible el calentamiento del metal a la temperatura de humectabilidad. Esta falta de humectabilidad provoca el flujo del metal hacia abajo y la formación de una serie de mordeduras en la parte superior de la pasada del acabado.

La física descriptiva de la fusión del metal en el arco eléctrico

En las **figuras 4a** y **4b** vemos que en el momento de arder el arco en la válvula termoiónica, el cambio de la polaridad

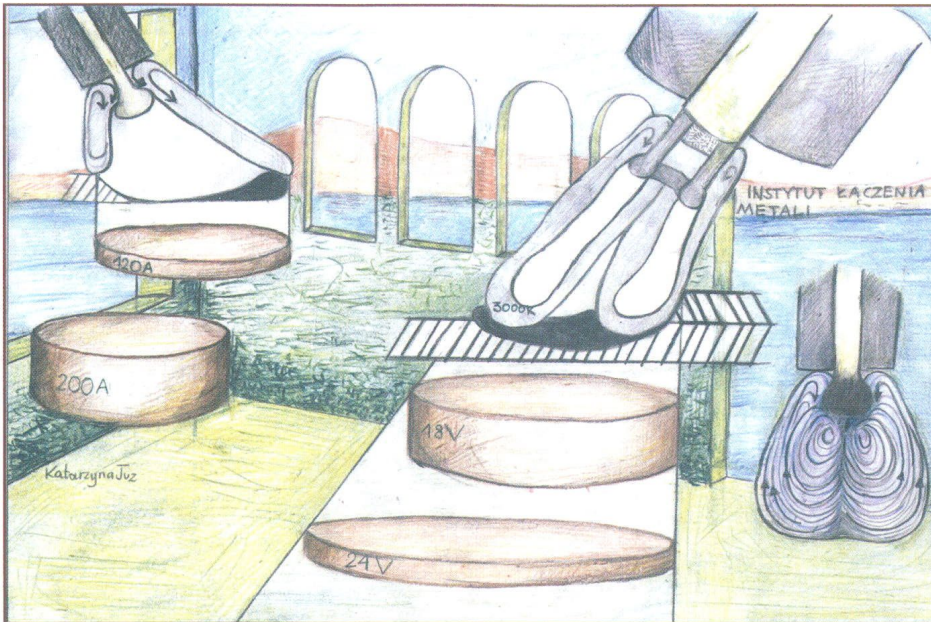


Figura 5. Influencia de la longitud del arco en la profundidad de penetración y del tipo de electrodo en la velocidad de fusión

influye en la forma del arco eléctrico, mientras que durante el soldeo, el cono del arco permanece abierto desde el electrodo hasta la chapa independientemente del cambio de la polaridad. Eso confirma que el carácter de los procesos que tienen lugar en el arco es distinto del eléctrico.

Ya hace muchos años sugerimos que no se debería introducir el modelo de arder el arco en la válvula termiónica, quiere decir en vacío, en la soldadura [7].

En el arco, el movimiento de los portadores de la corriente eléctrica en caso de gran espesor del material, no puede diferenciarse del movimiento de los gases calientes.

Los portadores de la corriente eléctrica no llegan a la superficie de la chapa, sino que vuelven y sirven únicamente para la creación de la diferencia de temperaturas. La diferencia de temperaturas provoca el movimiento de los gases calientes hacia la chapa fundida y la fusión del metal, como efecto del contacto físico, y el choque de los gases calientes contra el fondo. La presión del arco causa la difusión lateral del metal fundido y la fundición de las capas del fondo cada vez más hondas como efecto del contacto físico con los gases calientes. Igual que en el caso de la soldadura por gas. Aquí la tensión sirve para la creación de los iones que recompensan las pérdidas de energía irradiada por la superficie lateral del arco, como efecto de su alargamiento. Y la corriente, que es la medida del flujo de los gases calientes y los iones, sirve para fundir el alambre y el metal del fondo.

En el tamaño y la presión del arco influye el paso libre que permite el choque de los iones. La evaporización del metal causa que las partículas choquen con más fre-

cuencia ionizando más iones. La evaporización del fondo en los aceros aleados causa el choque más frecuente de las partículas en el arco, lo que provoca la difusión de los gases y el aumento del ángulo de abertura del arco. El cubrimiento de la superficie con las sustancias activas que protegen contra la evaporización del metal, alarga el paso libre de las partículas, que se manifiesta por el estrechamiento del arco y, el aumento de la presión y de la profundidad de fundición en el método A-TIG de 3 a 10 mm. Eso es particularmente eficaz en el caso del soldeo de los aceros de alta aleación. Los gases influyen en el ángulo de abertura del arco. El hecho de añadir hidrógeno aporta al arco unas partículas pequeñas cuyos iones chocan con menos frecuencia, lo que en efecto hace el arco más estrecho. Tal dato es muy útil a la hora de soldar los aceros resistentes al ácido de espesor de 1 mm.

Una teoría psicofísica de la realización de fusión y de evitar mordeduras tomando como ejemplo la soldadura TIG

Fenomenología de la percepción, es decir, deducciones sobre la tercera dimensión basadas en la superficie han sido descritas por un investigador francés de la percepción, Merleau-Ponty.

Como resultado de la evolución, en la mente humana se ha formado una connotación que en cuanto mayor es la superficie del agua que llena una desigualdad del terreno, mayor su profundidad. Como demuestra la **figura 5**, el soldador debe superar un miedo natural de *ahogarse* y darse cuenta de que el flujo de

gases de combustión en el arco, provocado por una diferencia de temperaturas en el arco eléctrico, fundirá con la corriente continua el mismo volumen del metal.

Fundimos la pieza y el alambre mediante el contacto físico de los gases de combustión procedentes del arco de soldadura con el material base y el alambre. Calentamos la pieza desde el baño de soldadura gracias a la conductividad térmica. En el caso del baño de soldadura pequeño, este tipo de procedimiento proporciona una penetración grande, al contrario que en el caso del agua. Si tenemos un arco largo y un baño de soldadura grande, el procedimiento mencionado nos ofrece, sin embargo, poca penetración y un eficaz calentamiento de la chapa desde el baño de soldadura.

Las mordeduras suelen formarse cuando la pieza de trabajo no está calentada a la temperatura de la humectabilidad y el metal fundido, en vez de derretirse, se *escapa* hacia el baño de soldadura dejando una huella en forma de mordedura. Cuanto mayor es la superficie que calienta, o sea el baño de soldadura (la tensión y, al mismo tiempo, la longitud del arco) y el tiempo del proceso de calentamiento, mayor es la intensidad del calentamiento del material base (**figura 6**).

En el caso de material de poca conductividad térmica, con el fin de calentar la chapa de manera suficiente mediante un aumento del tiempo de precalentamiento, conviene evitar el flujo del metal líquido parando el proceso de fusión mediante la alimentación de hilo en las partes laterales del baño de soldadura y, en este momento, reduciendo el calor de fusión del alambre. Si disponemos de una fuente pulsada de energía, el calentamiento adicional lo llevamos a cabo por medio de la corriente situada en el nivel bajo del pulso. Es cuanto alimentamos el hilo, puesto que es el nivel seleccionado de tal manera que no funde el alambre y al mismo tiempo calienta el material, la gota se funde cuando la corriente se sitúa en el nivel alto del pulso. Además, el hecho de calentar el alambre con la corriente situada en el nivel bajo del pulso provoca una restricción de la zona de sobrecalentamiento en el caso de aceros resistentes a los ácidos.

Aseguramos el largo tiempo del calentamiento de la pieza desde el baño de soldadura, manteniendo el electrodo de tungsteno en una cierta distancia con respecto al borde de la ranura de soldar donde la evacuación de los gases es pequeña.

En el caso de la soldadura TIG de materiales de cobre y aluminio de una conductividad térmica grande, aportamos el alambre a la parte central del baño cuando la corriente se sitúa en el nivel alto del pulso para no detener el proceso de fusión de la pieza a causa de la evacuación del calor provocada por la fusión del alambre.

El método TKS para formación de soldadores se basa en la decodificación de unas reglas lógicas que se introducen en la subconciencia

También podemos eliminar problemas de penetración mediante la fijación del nivel bajo del pulso en un punto más alto para calentar la pieza a la temperatura que posibilite la fusión del material base y del alambre cuando la corriente se sitúe en el nivel alto del pulso.

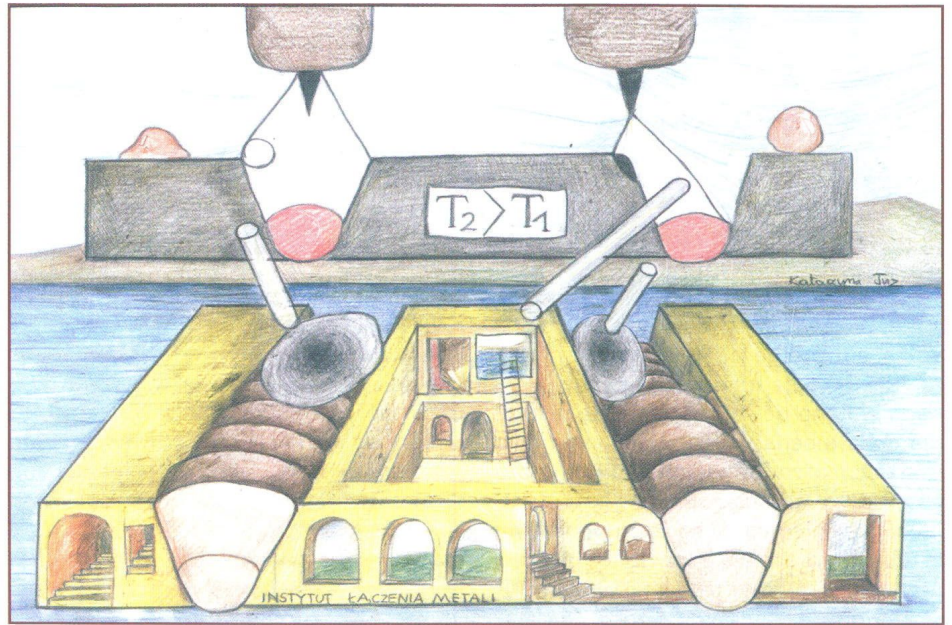


Figura 6. La diferencia entre la técnica de soldar materiales de poca y mucha conductividad térmica en la soldadura TIG

Soldadura de tuberías de caldera de alta presión, en posición PC

La realización de la soldadura consiste en empujar la gota hacia el otro lado con la fuerza de la presión del arco y en la llegada de los gases de combustión en el arco hacia el borde desde debajo de la unión, lo que podemos observar con la iluminación de los gases en el otro lado de la chapa y mediante el eco en el interior de la tubería, provocado por el deslizamiento de los gases del arco a través de la separación.

Durante el proceso de la soldadura TIG, el soldador introduce la punta del alambre en la ranura con una profundidad adecuada para no entrar en la línea con el borde y para permitir el acceso de los gases de combustión a los bordes fundidos.

La superación de la *teoría ingenua*, como consecuencia de una actitud natural, permite cambiar lo suficiente la conciencia del soldador para que este realice la soldadura TIG con el arco corto.

El acceso de los gases de combustión al borde de la tubería más cercano al centro puede resultar problemático, a causa de la gota de metal líquido mayor que la separación o la insuficiente profundidad de penetración del extremo del alambre en la separación (figura 7c, d). Otra causa de la falta de fusión puede ser el arco de soldadura demasiado largo.

Como demuestran las figuras 7e, f, en ambos casos surge el excesivo relleno de la ranura, lo que indica falta de fusión. El motivo de esa falta queda identificado por el supervisor mediante la medición de la anchura de la primera pasada.

En el caso de las chapas de mayor espesor, es suficiente pasar el arco eléctrico a lo

largo del alambre, centrarse en la fusión del alambre y en su contacto con el baño de soldadura en la ranura.

El hecho de retirar el extremo del alambre del baño de soldadura, provoca desigualdades en la unión que no se admiten en el caso de las tuberías inoxidable del sector alimenticio.

La pasada de acabado en el caso de las tuberías de caldera de acero K18, 16M, 15HM, 10H2M en posición PC, la realizamos alimentando y fundiendo el hilo en el

borde superior. Después de humedecer la superficie de la tubería superior desplazamos el metal fundido hacia el borde de la tubería inferior con los movimientos del soplete hacia abajo (figura 7g). En el caso de las tuberías de acero P91 y P5, realizamos la pasada del acabado formando cordones múltiples y estrechos. De esta manera, evitamos el sobrecalentamiento de acero de alto cromo cuyo punto de transformación de austenita en ferrita es menor a 100°C.

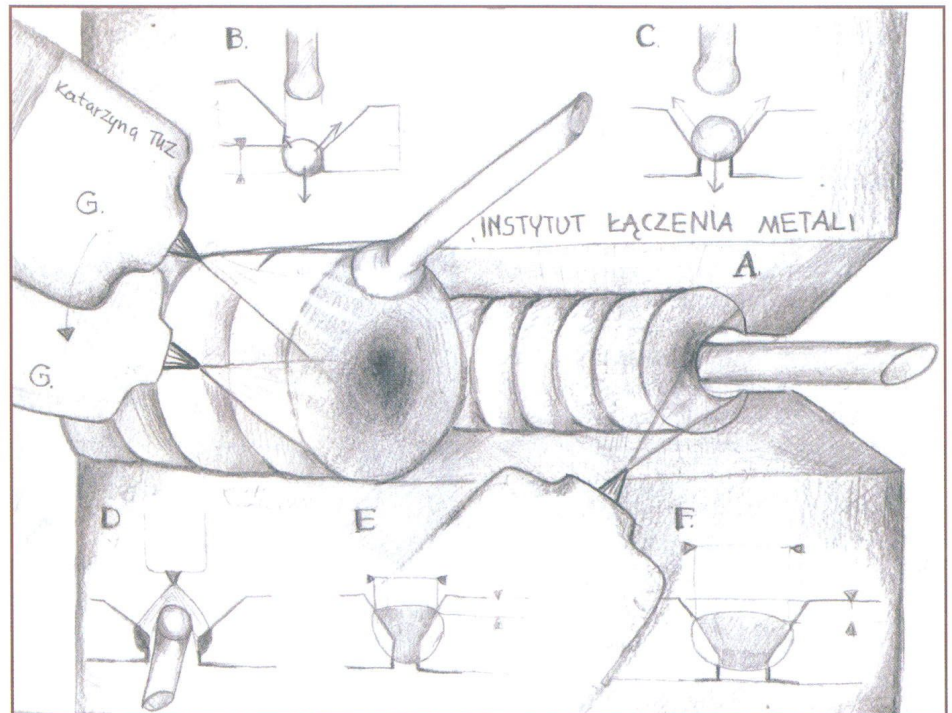


Figura 7. La técnica de soldar las tuberías de caldera con el método TIG en posición cornisa: a) técnica de soldar sin provocar deformaciones, b) c) la influencia del diámetro del alambre en el desplazamiento máximo del borde y en la separación mínima que garantiza la realización de la fusión, d) la influencia de la profundidad de penetración de la punta del electrodo en la fusión del borde, e) f) el excesivo relleno de la ranura con la falta de fusión provocada: por la separación demasiado pequeña y por el arco demasiado largo, g) la técnica de dar la pasada de acabado en posición PC

La soldadura de las tuberías de presión de acero austenita en posición PF

La realización de la fusión de tuberías de eje horizontal en posición PF requiere que el alambre toque la tubería y que el soplete sea perpendicular a ella.

En el caso de las tuberías de caldera de mayor espesor para realizar en el techo una pasada de raíz convexa conviene introducir el alambre en la tubería desde arriba, a través de la separación, de manera que la gota del metal líquido fluya hacia el baño de soldadura desde el interior de la tubería.

Una vez realizada la soldadura del tramo en el techo, en posición PF y PA, el alambre sigue en contacto con la superficie de la tubería y el soplete es perpendicular respecto a ella. A partir de la hora 9:00 (posiciones de las manillas del reloj), inclinamos la pistola hacia el alambre con el fin de disminuir el componente perpendicular del vector de la presión del arco (soldadura TIG hacia la izquierda).

En el caso de soldar tuberías de aluminio inclinamos la pistola hacia el baño de soldadura (soldadura hacia la derecha).

La realización de fusiones ideales en el caso de tuberías inoxidables de espesor de 1–2 mm, requiere la sujeción de la punta del electrodo de tungsteno en el mismo sitio y la inclinación alternativa de la pistola hacia las dos chapas unidas.

El equilibrio de las fuerzas de la tensión superficial lo regulamos mediante el chorro del metal líquido que va desde el extremo del alambre hasta el electrodo, y que reduce la temperatura del pequeño baño de soldadura.

Este método del avance de la pistola facilita el apoyo de la boquilla sobre la tubería y su rotación sobre la superficie de la tubería hacia la izquierda y hacia la derecha.

En el caso de soldar tuberías de poco espesor resistentes a los ácidos, el alambre siempre está en contacto con la tubería.

La pasada de acabado de acero energético K18, 16M, 15HM, 10H2M en posición PF la realizamos aportando el hilo a las partes laterales y trasladando el baño desde el lado izquierdo hasta el derecho [4].

La pasada de acabado de acero P91 y P5 la realizamos haciendo múltiples cordones estrechos.

El soldeo de las tuberías de acero de grano fino

El modo tradicional de tratar el soldeo de los aceros de grano fino consiste en el control de la energía lineal, hecho que no dice nada al soldador. Por eso se limita la anchura de los movimientos. En el artícu-

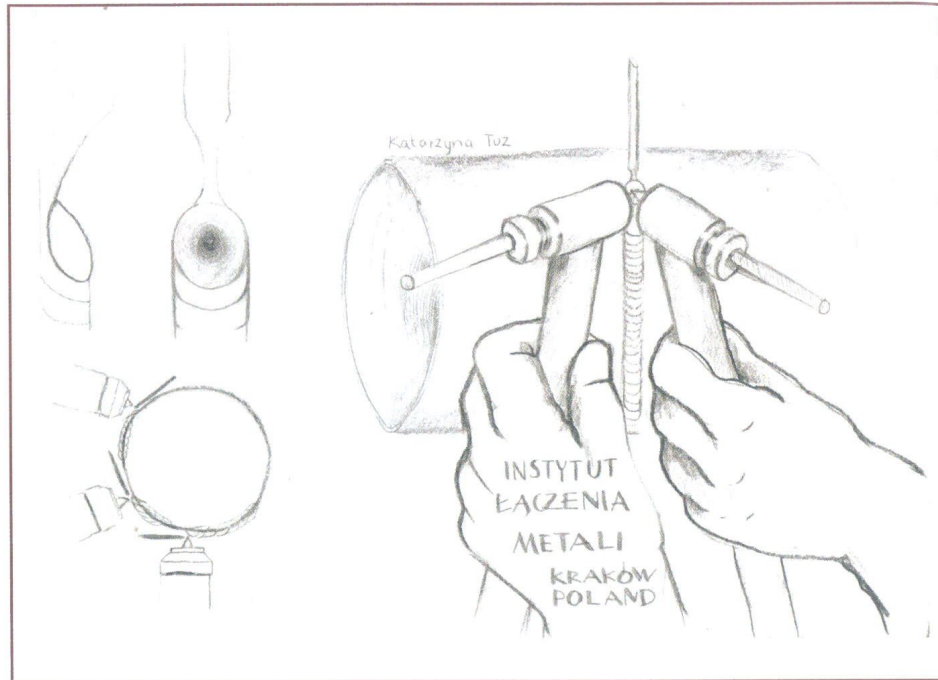


Figura 8. Técnica de soldar tuberías de poco espesor resistentes a los ácidos con los fines alimenticios en posición PF (falta de deformaciones de la fusión, lo que elimina la acumulación de bacterias)

lo presentado en Santiago de Compostela hemos mencionado que gracias a la formación adecuada de los soldadores, se puede conseguir lo que teóricamente es imposible, o sea mayor tenacidad de la unión en la posición vertical en comparación con la unión cuya cara ha sido elaborada en la posición vertical con múltiples cordones. Más adelante vamos a intentar explicar la base física del control visual del volumen del calor introducido al material y por lo tanto mostrar cómo crear las posibilidades de conseguir unos efectos altamente satisfactorios.

El flujo del calor desde la soldadura es discreto dada la poca conductividad térmica del metal líquido en la posición vertical de arriba hacia abajo y la mucha conductivi-

dad del material solidificado. El baño del metal líquido acumula la energía térmica. El depósito del metal líquido, es decir el baño de soldadura, devuelve el calor cuando el material se solidifica y cambia de conductividad térmica. El hecho de que el metal se solidifica y funde de nuevo, aumenta casi dos veces el calentamiento de la línea de fundición causando el sobrecalentamiento y el aumento del tamaño del grano.

Por eso, para soldar los aceros de grano fino hay que mantener el baño frío de manera que a la hora de realizar los movimientos laterales con la fuente de calor, el baño no se solidifique al lado izquierdo mientras el soplete se encuentra al lado derecho. En el caso de que el baño se soli-

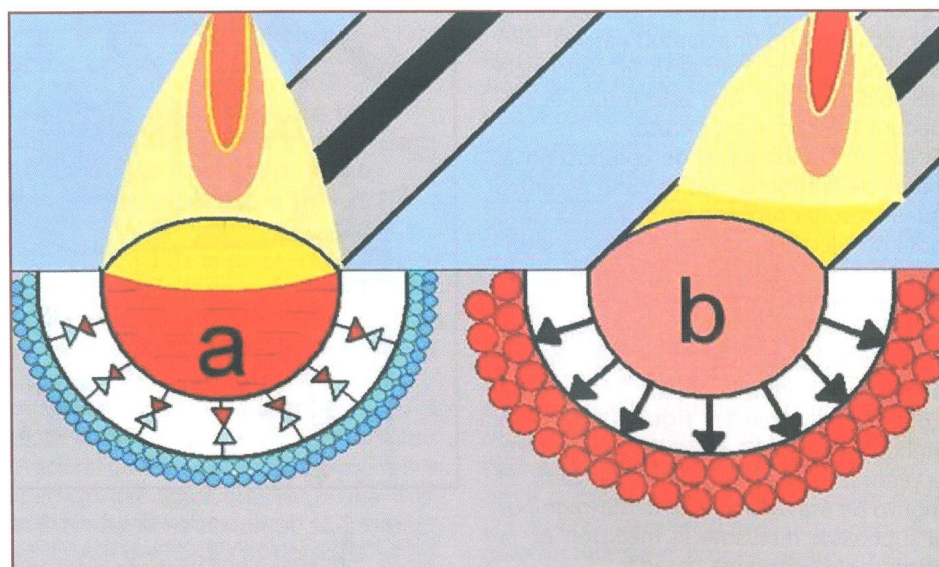


Figura 9. La diferencia de la intensidad de la transmisión del calor de la ranura hasta la zona del sobrecalentamiento (del aumento del grano) antes de la solidificación de la ranura (a) y después (b)

difique, podemos tratar la soldadura como si hubiéramos rellenado la fundición transversalmente con los cordones singulares con la temperatura pasada entre ellos.

Para que los fenómenos físicos puedan tener lugar, hay que liquidar el efecto del intercambio térmico a través la mezcla del baño de soldadura como resultado del cambio de la tensión superficial dependiente de la distribución de la temperatura. Con este fin se debería mantener el baño frío que permanecerá frío siempre y cuando el arco esté frío, y caliente, cuando el arco esté caliente. En el caso de soldar las tuberías de los aceros superdúplex, para impedir el sobrecalentamiento del material, hay que establecer la separación de 5 mm, lo que obliga al soldador a soldar con baño frío. Si el soldador soldara con el baño grande, los resultados de la inspección por radiografía serían negativos.

Las dificultades de identificación de las imágenes del baño de soldadura mediante ordenador

Los métodos de coordinación del movimiento con la observación, conocidos de los cursos de formación de soldadores como el método polaco TKS, se pueden adaptar sin problemas a la programación de los sistemas visuales de los robots industriales. Las dificultades aparecerán a la hora del análisis de la imagen.

En el borde de las fases entre el líquido y la chapa soldada hay la misma temperatura y el mismo material. Tal hecho causa que no haya diferencia en el aspecto de este lugar.

Como demuestra la **figura 10**, la intensidad de la iluminación cambia lentamente cuando pasa del eje del baño de soldadura a fuera, baja hasta el sobreenfriamiento y después sube para bajar de nuevo rápidamente. En la formación de los soldadores se domina sin problemas cómo enseñar al soldador a detectar la superficie de separación entre las fases. Según el método de la formación TKS eso se llama *instalación de las capacidades*. El hecho de disminuir la memoria que se necesita para el análisis de la imagen en la soldadura TIG causó algunas dificultades a los científicos ingleses de Liverpool y TWI. El problema consiste en la velocidad de la transformación de la información.

En polaco no hablamos del borde del baño de soldadura sino de la frontera que se podría identificar con la frontera de un país que siempre ha sido móvil (por lo menos en caso de Polonia). Tal planteamiento nos da indicación de que los métodos presentados en el artículo anterior en cuanto a los análisis del idioma pueden ser útiles a la hora de reconstruir los algoritmos de transformación incons-

ciente de la información por parte del cerebro humano.

Los científicos japoneses que se dedican a la elaboración de la soldadura MAG dada la peor visibilidad a la hora de pasar la gota, se ocuparon del análisis visual de la longitud del arco (**figura 11**).

En el caso del soldeo manual las imágenes de pasar la gota cambian rápido y son analizadas en el nivel inconsciente. Por eso los soldadores que aprendieron la lógica de pasar la gota establecen el arco mejor y realizan mejor la soldadura en las posiciones difíciles en la rendija variable. Hasta ahora en los estudios politécnicos no han habido los métodos científicos que permitirían resolver un problema parecido. Por lo tanto hemos acudido a los métodos científicos utilizados en otros campos que aparentemente no tienen nada que ver con la soldadura, como por ejemplo psicología, medicina, biocibernética y lingüística. Aquí hemos intentado comparar las informaciones sobre la transformación del conocimiento visual elaboradas por psicólogos, informáticos y lingüistas.

La inspiración biológica en la modelación digital de los procesos de soldadura

A pesar de la existencia de los métodos numéricos de la modelación de los procesos de soldadura [11] (aunque a veces esos cálculos duran varios días), se acude a la red de neuronas para poder elaborar esos cálculos en el tiempo real con el objetivo de controlar el proceso de soldadura. En el desarrollo biológico se distingue los procesos evolutivos, los procesos adaptativos y los procesos reproductores.

El hecho de basarse en biología, sobre todo en la construcción y el funcionamiento de una neurona, es decir en una célula nerviosa cuyo funcionamiento consiste en que en cada salida de esta célula se encuentra la suma de las señales de las entradas multiplicadas por las constantes denominadas como balanzas sinápticas, provocó la creación del modelo de cálculo

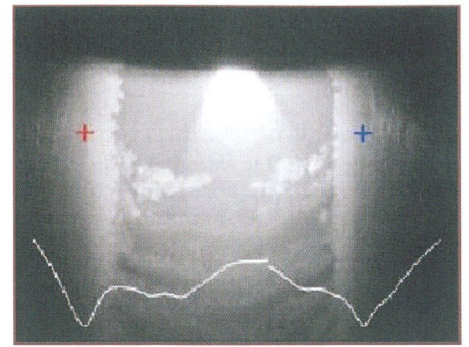


Figura 10. La diferencia del aspecto del baño de soldadura y el cambio de la iluminación [9]

los denominado red de neuronas. Las redes de neuronas constituyen una combinación de las conexiones de entradas y salidas de las neuronas colocadas en varias capas.

Las capas de las redes artificiales de neuronas son el equivalente de los niveles de la transformación de la información, del nivel de la transformación inconsciente y lógica, y del nivel de la transformación consciente y lógica en el modelo del cerebro del soldador presentado en las publicaciones anteriores. Como inspiración para los informáticos en la construcción de tal modelo del sistema nervioso, sirvieron tanto los procesos evolutivos, como los procesos adaptativos. Sin embargo no hubo interés por los procesos reproductores.

Los procesos evolutivos desarrollan la red de las conexiones de neuronas para aumentar la cantidad de capas y nudos en las capas escondidas, partiendo de las más básicas, para luego llegar a una red de neuronas mucho más complicada, para que la diferencia de los resultados del análisis con la red de neuronas y de los experimentos sea suficientemente pequeña. El modelo adaptativo es un proceso contrario y consiste en el hecho de saltar algunas partes poco significantes del cálculo, con el objetivo de disminuir el tiempo de trabajo del ordenador.

Naturalmente tal fascinación por la biología delimita significativamente las posibilidades del cálculo, relacionadas por ejemplo con la condición de continuidad que tiene que ver con el carácter de la natura-

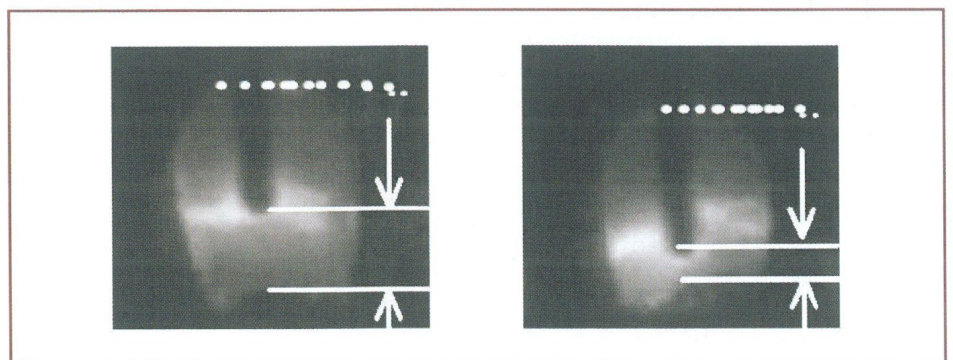


Figura 11. El manejo de la elaboración de la soldadura MAG en la separación variable a través del control visual de la longitud del arco

leza de los organismos vivos. La biología no inventó la rueda que forma la base del desarrollo de nuestra civilización. Por lo tanto deducimos que la construcción de la rueda exige la pérdida de la continuidad de la materia y en la biología cada neurona tiene que estar conectada con otra. Igual de absurdo resultaría la sustitución de los precisos análisis matemáticos y físicos que son imprescindibles a la hora de colocar un cohete en la órbita, por el modelo de cálculo del sistema nervioso del aborígen que tira el bumerán para cazar a un animal.

Por las mismas razones no se construyen los autobuses con piernas, sino con ruedas, aunque desde el punto de vista técnico eso sería posible. Naturalmente teniendo en cuenta el enorme número de datos de los experimentos, los métodos de investigación utilizados por las mentes exactas fallan y resultan más útiles los métodos descriptivos aplicados por las mentes humanistas, con las cuales los autores identifican los análisis con las redes de neuronas. Las redes de neuronas contienen algunos fallos que están relacionados con el hecho de que los resultados de sus operaciones dependen de manera estricta del momento del comienzo.

Si empezamos a optimizar la red con los métodos gradientes, y después aplicamos el método evolutivo, como han hecho los autores de la publicación, será posible comparar este modo de actuar con la medida (elaborada con precisión de hasta un micrómetro) de un charco muy profundo que pudo haber sido formado por la huella de la pata de un animal, y luego saltar con el objetivo de encontrar una convección o abismo. Naturalmente el hecho de encontrar por casualidad este abismo nivela nuestros esfuerzos relacionados con la mayor profundidad del charco [10].

El algoritmo evolutivo que es la base de la eficacia de las redes de neuronas no siempre conlleva una solución más eficaz. La evolución en el sentido de Darwin es el resultado de la estadística y no se refiere solamente al desarrollo biológico de los organismos. Las diferencias mínimas en las mutaciones entre generaciones, y la rivalización casi mortífera hacen que estas diferencias sean más potentes en las generaciones siguientes. De esa manera la rata europea se extinguió por rivalizar con las demás ratas traídas por el hombre al continente europeo. La evolución puede desarrollarse en el sentido opuesto si tenemos en cuenta la competencia media. Un ejemplo de esto son los parásitos cuyo organismo cuando empiezan a comer un árbol se parece a un cáncer primitivo, y después de comer todo el árbol se convierten en plantas mucho más desarrolladas que dan fruta. La fruta de tal organismo forma raíces y ramas y al llegar hacia el árbol que puede comer, se convierte en

cáncer mientras que sus raíces y hojas desaparecen.

Lo mismo pasa en la formación de los soldados que llegan a una especialización muy estrecha que no requiere esfuerzo y que les impide el posterior desarrollo profesional. Para evitarlo el método TKS empieza por enseñar a los empleados las posiciones más difíciles de soldar. En este caso el instructor guía la mano del soldador y le obliga a coordinar de una manera correcta el movimiento con la observación, mientras que la física descriptiva crea el momento de comienzo óptimo para enseñar al sistema nervioso de los soldados. Con el fin de adaptar estos experimentos de la enseñanza de las redes reales de neuronas del soldador a los cálculos que guían la automática tenemos que inventar un método innovador de analizar los espacios que puedan crear las posibilidades de obtener las funciones de computación que impedirían esos peligros.

Muchos físicos opinan que los métodos evolutivos que se utiliza en las redes de neuronas se pueden aplicar con éxito en las funciones exponenciales, o en las funciones racionales. Incluso en el caso de la función con 17 variables de tercer grado, después de quitar los elementos cuyo valor es pequeño se podrían crear unas fórmulas matemáticas que tuvieran no más de unos mil elementos (lo que debería ser suficiente para dirigir la soldadura en el tiempo real). Con el objetivo de aumentar la eficacia y disminuir el tiempo del cálculo, sería preciso aplicar algo que no se encuentra en la red de neuronas y algo que existe en la biología y que podría denominarse como la reproducción de las funciones. No habría problema con la creación de una función que dominara la precisión de nuestra función racional, que disminuiría con la diferencia de los valores de los cálculos y los valores reales, y aumentaría con el número de los elementos. Eso permitiría en un tiempo relativamente corto llegar a una función racional, que con el pequeño número de elementos (teniendo en cuenta las posibilidades de los ordenadores) garantizaría mucha precisión de los cálculos del tamaño del baño de soldadura, la adecuada profundidad de fundición y la velocidad del enfriamiento, impediría excesivo sobrecalentamiento del grano, etc.

La reproducción de varias funciones permitiría utilizar los conocimientos de la física descriptiva de manera más amplia y también crear los modelos físicos de los procesos de soldadura mucho más avanzados. La eficiencia de tal modo de investigación la confirma nuestra experiencia con la descodificación de los conocimientos prácticos de la verdadera red biológica de neuronas, que es el cerebro humano. Las relaciones aquí descritas, conseguidas con esta metodología y aplicadas en el método de for-

mación TKS que constituye un equivalente de la programación del cerebro del soldador, permitirían obtener más eficiencia.

Enseñar a los soldados la física descriptiva hace que la red biológica de neuronas del sistema nervioso del soldador sea más eficaz en muy poco tiempo. Un aumento similar de la eficiencia en cuanto a la red artificial de neuronas tradicional, se podría conseguir a la hora de aplicar el modelo de cálculos aquí propuesto a la enseñanza de la red artificial de neuronas. Para que el lector pueda familiarizarse con los métodos de enseñar a soldar y con las reglas de física descriptiva utilizadas con éxito en este proceso, hemos descrito detalladamente estas reglas y los métodos, resultantes de esas, de coordinación del movimiento con la observación que se aplica para aumentar la eficacia de aprendizaje de la red biológica real del sistema nervioso del soldador.

Conclusiones

- a) El metal de aporte hace disminuir la temperatura del baño de soldadura.
- b) La fusión de la pieza es consecuencia del contacto físico en el que entran los gases de combustión del arco eléctrico con los gases procedentes de la llama acetilénica.
- c) El flujo de los iones es imprescindible para establecer la diferencia de temperaturas, que es el motor del flujo de los gases de combustión hacia la pieza fundida.
- d) El calentamiento de la pieza a la temperatura de la humectabilidad es consecuencia de la conductividad térmica entre el baño y la pieza y depende del tamaño del baño (longitud del arco eléctrico y su tensión) y del tiempo de duración del calentamiento.
- e) El uso de la teoría ingenua de los procesos físicos de la soldadura incluida en este artículo incrementa notablemente el proceso de aprendizaje y la absorción del método de soldadura TIG por parte de las mentes de ciencias exactas que dominan en la industria polaca.
- f) Los algoritmos tratados en el artículo pueden desarrollar significativamente los sistemas de automática basados en el análisis del aspecto del baño de soldadura y estudiados en la Universidad de Liverpool.
- g) Para impedir el sobrecalentamiento del material, los aceros de grano fino y los aceros superdúplex, hay que mantener el arco corto y enfriar el baño con la aportación de la gota del hilo y realizar los movimientos laterales de tal manera que el metal no se solidifique al lado izquierdo, cuando el arco se sitúa al lado derecho de la fundición.

Bibliografía

- [1] M Jany: *Advantages of the new technologies applied to AC&DC Welding Processes*, EUROJOIN 2006 conferencia EWF, 28-30 de junio de 2006 en Santiago de Compostela, pp 153-158
- [2] M De Dompablo: *Nuevos desarrollos en las tecnologías de soldadura: ColdArc y ForceArc*, EUROJOIN 2006 conferencia EWF, 28-30 de junio de 2006 en Santiago de Compostela, pp 73-81
- [3] S Zielińska: *Własności fizyczne plazmy MIG-MAG*, doctorado, Uniwersytet Jagielloński – Uniwersytet w Orleanie, Cracovia 2005. (Doct 2005/056), bajo la tutoría del prof. Musiał, el rector de la Universidad Jagellón, <http://ilm.pl/polska/ucp.htm>
- [4] W Lucas, D Bertaso: *The application of constricted TIG and Plasma Arc Welding to increase productivity*, EUROJOIN 2006 conferencia EWF, 28-30 de junio de 2006 en Santiago de Compostela, pp 167-172
- [5] G Padula, R Jastrzębski, J Nowacki, Z Latala: *Decodificación de los conocimientos prácticos como un paso más hacia la creación de software de apoyo para el análisis microscópico cualitativo de las juntas*. EUROJOIN 2006 conferencia EWF, 28-30 de junio de 2006 en Santiago de Compostela, pp 627-644
- [6] R Jastrzębski, H Padula, M Cenin, J Zielinski, M Jaworski, R Karcz, M Dexter: "La aplicación del método polaco TKS de la formación de soldadores para una ejecución precisa de la fusión y la cara de soldadura con electrodo básico en las posiciones PF y H-L045". *Soldadura y Tecnologías de Unión*, septiembre/octubre 2004 vol. 89, pp 36-47 España, impreso en Méjico en Boletín Técnico en Soldadura noviembre/diciembre 2004 http://www.sms.com.mx/boletin/04noviembre_diciembre_2004.pdf
- [7] R Jastrzębski, M Filipek, M Cenin, J Książ, T Filipek M.Jaworski: "Principes fondamentaux de l'apprentissage par penser inconsciente". 2 Parte: "Methodologie appliquee a la formation pratique. Pospektivs des techniques de stimulation tactiles". *Soudage at Techniques Connexes*. No 11/12 2004
- [8] R Jastrzębski, H Padula, Krzysztof, A Jastrzębski.: *Steering algorithms of the root pass and the face for pressure high strength carbon steels and stainless steel pipes using the flux cored welding wire*. EUROJOIN 2006 conferencia EWF, de 28-30 de junio de 2006 en Santiago de Compostela, pp 363-373.
- [9] C Balfour, JS Smith, D Bertaso, G Melton, W Lucas: *Real-time vision based control of weld pool size*. IIW Doc No:XII-1833-04. pp 294-305, artículo de la Conferencia Osaka 2004 organizada por el International Institute of Welding
- [10] S Mishra, T Debriy. 2006: A genetic algorithm and gradient-descendant-based neural network with the predictive power of a heat and fluid flow model for welding. *Welding Journal* 85(11)P, pp 231-242
- [11] A De, T DebRoy, 2005: "Reliable calculations of heat and fluid flow during conduction mode laser welding through optimization of uncertain parameters" en *Welding Journal* 84(7), pp 101-112.
- [12] M Cenin: *The experimental investigations of communication conditions via electrical stimulation of the human skin receptors. Eksperymentalne określenie możliwości przekazywania sygnałów poprzez elektryczną stymulację receptorów skórnych*, bajo la tutoría del prof. dr hab. Eugeniusz Talejko. 1977 UAM Poznań



Linde, empresa líder mundial en el ámbito de la soldadura, ofrece un programa para soldadores, que permite la obtención en tiempo record de un certificado con validez internacional, avalado por el instituto internacional de soldadura (IIW).

- * Soldador Linde TIG
- * Soldador Linde MIG/MAG



SOLICITE INFORMACIÓN AL
902 023 070
info@adslinde.com
www.adslinde.com

Aproveche las ventajas que le aportarán a su empresa los cursos que ofrece Abelló Linde.

C/ Bailén, 105 · 08009 Barcelona
Pol. Ind. Banuelos · C/ Haiti, 1
28806 Alcalá de Henares (Madrid)

NUEVA ACADEMIA DE SOLDADURA LINDE

Abelló Linde   **ACADEMIA DE SOLDADURA LINDE**