



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 297 404**

51 Int. Cl.:
B23K 11/04 (2006.01)
B23K 11/24 (2006.01)
G05B 13/04 (2006.01)
B23K 11/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04722925 .7**
86 Fecha de presentación : **24.03.2004**
87 Número de publicación de la solicitud: **1624993**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **15.02.2006**

54 Título: **Sistema y procedimiento para el control en línea autoadaptivo de una máquina de soldadura de tope por contacto o chisporroteo.**

30 Prioridad: **25.03.2003 IT MI03A0589**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.05.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.05.2008

73 Titular/es:
DANIELI & C. OFFICINE MECCANICHE S.p.A.
Via Nazionale, 41
35042 Buttrio, UD, IT
Danieli Automation S.p.A.

72 Inventor/es: **Drius, Francesco;**
Guastini, Fabio;
Venier, Daniele y
Buzzi, Giuseppe

74 Agente: **Esteban Pérez-Serrano, María Isabel**

ES 2 297 404 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento para el control en línea autoadaptativo de una máquina de soldadura de tope por contacto o chisporroteo.

La presente invención se refiere a un procedimiento de control en línea de una máquina de soldadura de tope para barras, tochos o lingotes, por ejemplo del tipo de soldadura por contacto o chisporroteo, insertado en un proceso continuo para la fabricación de tochos o lingotes, y a un sistema de control especialmente diseñado para llevar a cabo dicho procedimiento según los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 6 (véase, por ejemplo, el documento US-A-3 612811), respectivamente.

Estado de la técnica

Son conocidos para el estado de la técnica los procesos de soldadura de tope del tipo de soldadura por contacto o chisporroteo que comprenden diversas etapas.

La primera etapa es la de del precalentamiento, que se inicia cuando la máquina de soldadura recibe el comando externo de habilitación de inicio de la operación de soldadura. En esta etapa, el lingote es sujetado entre las pinzas, y las uniones se acercan y se separan entre sí cíclicamente haciendo que fluya una corriente de gran intensidad en las mismas.

El precalentamiento de los lingotes se lleva a cabo con pulsos de corta duración para prevenir que se peguen los extremos de los lingotes con una fuerza superior a la fuerza de separación que pueden proporcionar las pinzas. Si el voltaje de precalentamiento es demasiado alto, puede producirse el encendido o inicio de los arcos. Durante el precalentamiento, el control de la corriente generalmente mantiene la corriente máxima que la fuente de alimentación es capaz de soportar en cortocircuito. El propósito del precalentamiento no es tanto calentar los lingotes sino más bien quemar y a continuación alisar posibles irregularidades de las superficies de contacto en las que debe concentrarse la corriente. De hecho, en vista de la baja resistencia de los lingotes, con una corriente de 30.000 A, no es posible suministrar una potencia térmica superior a varios miles de vatios (de entre 3 kW y 5 kW), lo que produce únicamente un modesto calentamiento inferior a un grado centígrado por segundo.

Una vez finalizada la etapa de precalentamiento, normalmente, tras un tiempo preestablecido, se lleva a cabo la segunda etapa, denominada escintilación. En el inicio de esta segunda etapa, las trayectorias eléctricas y mecánicas del proceso están destinadas a hacer que se inicie el arco eléctrico y se difunda entre las uniones de manera regular. A continuación, durante la difusión, la geometría del arco eléctrico y la potencia térmica, suministrada a las uniones, se mantienen en trayectorias preestablecidas que optimizan el resultado de la operación de soldadura.

La máxima potencia que puede suministrarse en la escintilación se establece actuando sobre el voltaje de alimentación, que puede ajustarse actuando sobre la relación de transformación del transformador (definido como "cambio de tomas" o ajuste de la tensión) y sobre el ángulo de disparo del divisor de fase presente en el devanado primario. Se dispone un control de posición, que ajusta la distancia relativa entre las pinzas por medio de un cilindro hidráulico. Normalmente, dicha distancia se ajusta, tratando de mantener constante la corriente del arco. Típicamente, la trayectoria de la posición establecida para las pinzas es de tipo parabólico, en la medida en que la etapa de escintilación se divide en tres intervalos de tiempo que deben gestionarse con diferentes velocidades de aproximación mutua de las pinzas.

En el primer intervalo de tiempo, la superficie de los lingotes se lleva hasta los 1.500°C. En esta etapa las velocidades de las pinzas podrían incluso ser cero en la medida en que no se esté fundiendo aún el metal.

En el segundo intervalo de tiempo, manteniendo constante la potencia empleada, el acero se funde. Inicialmente, el acero se encuentra frío hasta que se aproxima a la superficie del lingote, y a continuación el calor se difunde en gran medida hacia el interior del lingote, y por consiguiente el acero se funde lentamente. Conforme se calienta el lingote, el perfil de temperatura en el acero tiende hacia una forma de límite constante, y la velocidad de fusión se vuelve constante. En este intervalo de tiempo, la velocidad de las pinzas debe ser tal como para poder seguir al avance de las superficies que son consumidas.

Si el sistema de soldadura se suministra con un generador de voltaje constante y baja impedancia, este seguimiento del avance de las superficies que son consumidas no es un factor crítico, en la medida en que, si se aumenta la velocidad de las pinzas, se reduce la distancia, y por consiguiente aumentan la corriente y la potencia térmica, y de esta manera la velocidad de fusión se adapta automáticamente a la de las pinzas. Cuanto mayor es la velocidad de las pinzas, mayores son la corriente y la potencia de soldadura, y menores el voltaje del arco y el tiempo de soldadura. Sin embargo, si la velocidad de las pinzas se aumenta de manera excesiva, el incremento de potencia deja de compensar la velocidad de aproximación de los lingotes, y se produce el cortocircuito de manera que se produce el fenómeno no deseado de soldadura inestable.

En el transcurso de la soldadura, el acero que se funde quema el oxígeno de las proximidades de la zona de soldadura, y ello implica la ventaja de que la soldadura se produce en una atmósfera prácticamente inerte. Sin embargo, si se apaga el arco eléctrico, entra oxígeno, lo que genera óxido que daña la soldadura. En este caso, otra desventaja es

ES 2 297 404 T3

que, con el arco eléctrico apagado, el enfriamiento de la superficie de las uniones es tan rápido que provoca problemas de resolidificación. También, los intervalos breves de extinción del arco, en la región de los 100 ms, si se producen poco antes de la posterior etapa de recalado, pueden comprometer la soldadura.

5 Por otro lado, durante la etapa de escintilación, el acero fundido sale por el hueco y se lleva consigo posibles óxidos. Por consiguiente, la posible interrupción breve del arco, a una distancia lejos del recalado, no siempre compromete el resultado de la operación de soldadura; sin embargo, las interrupciones del arco en cualquier caso deben prevenirse porque, en este caso, la soldadura recibe menos energía y se produce una dispersión de los resultados de la operación de soldadura. Este caso puede producirse si se emplean ángulos de disparo del divisor que sean demasiado grandes,
10 de manera que las caídas de corriente que se producen pueden volver inestable el arco eléctrico y producir extinciones frecuentes del mismo que comprometen la calidad de la soldadura.

Finalmente, la etapa de escintilación también prevé un tercer intervalo de tiempo en el que se cierra el hueco entre los extremos de los lingotes para iniciar la etapa de recalado. Es importante cerrar el hueco rápidamente de manera que, en el lapso de tiempo entre la extinción del arco y el contacto de las superficies de los extremos, el aire no tendrá tiempo de entrar, provocando tanto la oxidación del acero como el enfriamiento de las superficies de los lingotes. Durante la operación de cierre del hueco, se tiene cuidado de que no se apague el arco, de tal manera que la primera parte de la operación de recalado se lleva a cabo en la presencia de una corriente elevada con el fin de compensar, por medio de un suministro de energía mediante el efecto Joule, el enfriamiento debido a la difusión de calor en los lingotes. La corriente es interrumpida solamente durante aproximadamente cien milisegundos tras producirse el cortocircuito.

La velocidad a la que se consume el acero cuando se enciende el arco es un parámetro crítico y es proporcional a la potencia de soldadura. Dicha velocidad debería ser de media de entre 1,8 mm/seg y 2 mm/seg. La velocidad de inicio del proceso de soldadura es la mitad de la velocidad media.

Con una soldadura de alta potencia, existe otra desventaja; es decir, resulta que el acero se quema rápidamente, reduciendo de esta manera la zona “plástica”, es decir, la zona que se encuentra a una temperatura de entre 1.400°C y 1.500°C, y que se utiliza para el recalado. Esto puede dar lugar a cierres “fríos”. En su lugar, a potencias que son demasiado bajas, se alarga el tiempo de soldadura y puede haber una evacuación insuficiente de los óxidos que se forman durante la escintilación.

El tiempo de encendido del arco por lo general se selecciona de tal manera que se fundirá un grosor del acero que es por lo menos igual a la irregularidad máxima original del producto y también teniendo en cuenta la velocidad media de fusión más conservadora, que aproximadamente es de 1,8 mm/seg.

La definición de umbral máximo para la corriente tiene el propósito de interrumpir los cortocircuitos rápidamente incrementando la distancia entre las superficies de los extremos a soldar. Sin embargo, dicho umbral es bastante crítico de calibrar. En el caso de una calibración incorrecta, la producción de los cortocircuitos en la etapa final de escintilación puede comprometer la calidad de la soldadura. A pesar de que los cortocircuitos que se producen al comienzo de la etapa de escintilación no comprometen seriamente la soldadura, sin embargo, si se interrumpen dentro de un intervalo de aproximadamente cien milisegundos, sí que causan una reducción de la energía suministrada a las uniones, y esto conduce a una dispersión de los resultados.

45 En base a lo indicado anteriormente, resulta que la parte de la etapa de escintilación que tiene mayor influencia sobre la calidad de la operación de soldadura es la última (los últimos 2-3 segundos), en la que es absolutamente necesario evitar que se produzcan extinciones del arco o caídas de potencia.

La tercera etapa del proceso de soldadura es la del recalado y sigue a la etapa de escintilación. En esta etapa, la fuerza de presión entre los lingotes y la corriente utilizada se controlan para seguir unas trayectorias preestablecidas que optimizan la calidad de la unión soldada. Al final de la fusión, la corriente se establece a un valor máximo, con el fin de favorecer la fusión de cualquier área que pueda estar fría y oxidada, lo que podría causar una resistencia durante la aproximación de las dos superficies, y se abre completamente la servoválvula que controla el posicionamiento de las pinzas de la máquina de soldadura con el fin de alcanzar la máxima velocidad de cierre de huecos. La presión se determina por la alta presión (PH) del recipiente de expansión que suministra el circuito hidráulico. Una vez que se produce la extinción del arco, es importante cerrar el hueco tan pronto sea posible para evitar la introducción del aire en la zona de soldadura y el enfriamiento de las superficies.

La corriente baja hasta cero solamente cuando la potencia útil cae por debajo de un umbral dado (por ejemplo, 50 kW) o cuando se produce la condición de “Time Out” o tiempo límite (por ejemplo, 200 ms) en el sistema de control.

A partir de un análisis del producto obtenido con algunas máquinas de soldadura por contacto o chisporroteo conocidas, se ha detectado un alto porcentaje de uniones que presentan defectos de soldadura que llegaron hasta la sección de laminación sin ser detectados por el control de calidad. Estas uniones mal soldadas provocaron problemas de calidad en el producto final y en casos extremos incluso atascos en la laminadora.

Un estudio exhaustivo del problema, basado en la adquisición de datos de cientos de soldaduras, ha llevado a la conclusión de que la gran dispersión estadística de los resultados de la soldadura se debe a la gran dispersión de

ES 2 297 404 T3

ciertos factores de perturbación que implica el proceso de soldadura. Los fenómenos de perturbación más importantes identificados son: las irregularidades presentes en la geometría de las superficies de las uniones a soldar, que con frecuencia presentan unas áreas de las superficies de los extremos de los lingotes muy separadas entre sí que no coinciden, y la temperatura inicial diferente del acero.

5

Se ha descubierto que los sistemas de control según el estado de la técnica utilizados en la regulación de los procesos de soldadura en las máquinas son incapaces de controlar las variaciones paramétricas importantes del proceso cuando éstas se producen, lo que conduce a la dispersión de los resultados del proceso de soldadura.

10 Además, entre los sistemas para controlar la soldadura para máquinas de CA (corriente alterna), no se conoce ningún controlador que sea capaz de cumplir con los requerimientos de resistencia exigidos para permitir el funcionamiento en determinadas condiciones desfavorables. La mayoría de controladores de soldadura conocidos (véanse las siguientes aplicaciones: A. P. Chekmarev *et al.*, "Determining the flash allowance for welding hot billets in continuous rolling mills", Svar. Proiz., 1970, No. 8, p.p. 5-7 y "A new control system for the K-190P rail flash welding machine"; 15 N. V. Podola, V. P. Krivenos, B. L. Grabchev, "Automatic Welding", Vol. 36, No. 8, Aug. 1983, p.p. 40-43, Figura 1, Tabla 3, ref. "AUTOMATIC WELDING"), se basan en un sistema que hace que las pinzas sigan una trayectoria parabólica de posición de bucle abierto, es decir, independientemente de las medidas de voltaje y de corriente del arco. Dicha trayectoria se modifica solamente en el caso de que se produzcan cortocircuitos, en cuyo caso se añade, a la trayectoria parabólica de posición predefinida, una pequeña etapa de apertura de las pinzas.

20

De esta manera, el sistema de movimiento es incapaz de estabilizar la geometría del arco en la medida en que no tiene en cuenta dicha geometría.

25 La patente estadounidense US-A-4.940.876 describe un controlador de la impedancia del arco para máquinas de soldadura de CA. El regulador mantiene la impedancia del arco constante actuando sobre el control de posición hidráulico. La impedancia de cortocircuito, que es un parámetro esencial en el sistema de cálculo adoptado, se mide y se reactualiza, en la etapa de recalcado, al final de cada ciclo de soldadura. De esta manera, el sistema de control, sin embargo, no tiene en consideración en modo alguno que la característica del arco en los momentos iniciales del proceso de soldadura varía enormemente, y por lo tanto, no permanece constante en el transcurso del ciclo de soldadura.

30

Esta variación se produce debido a que, especialmente en la presencia de superficies de los extremos irregulares, el arco eléctrico comienza primero en un punto de las uniones que se encuentran más cerca entre sí y a continuación se amplía progresivamente al resto de la superficie del extremo, empleando, sin embargo, algunos segundos para abarcar la unión completa. Con el fin de mantener la impedancia del arco constante en esta etapa en la presencia de un arco 35 que cambia su característica, dicho sistema de control es incapaz de prevenir que se produzcan cortocircuitos durante el encendido. Ya que en cada cortocircuito se produce una extinción del arco y por lo tanto una reducción de la energía térmica suministrada a las uniones, este tipo de controlador produce irregularidades en la energía suministrada a la soldadura, y por lo tanto se produce una dispersión de los resultados.

35

40 El documento US-A-3612811 describe un procedimiento para la realización de la soldadura eléctrica de tope de piezas produciendo continuamente chispas entre los extremos de las piezas. El aparato para el control de soldadura está provisto de dos canales de los cuales uno comprende dos sensores de temperatura. Un ordenador, basándose en estas entradas, controla un actuador para mover las piezas en el transcurso del proceso de generación de chispas o chisporroteo.

45

Sumario de la invención

El propósito principal de la presente invención es eliminar las desventajas indicadas anteriormente, según un primer aspecto de la invención, por medio de un procedimiento para controlar una máquina de soldadura de tope del tipo de 50 "soldadura por contacto o chisporroteo" según la reivindicación 1 y, según un segundo aspecto de la invención, por medio de un sistema de control con las características de la reivindicación 6.

50

Un sistema de diagnóstico según la presente invención, actuando simultáneamente sobre los parámetros variables que intervienen en las diversas etapas de la operación de soldadura, es capaz de optimizarlos resultados de dicha 55 operación.

55

En particular, la presente invención supera problemas que se han dejado sin resolver por controladores conocidos y, en particular, por el controlador de impedancia descrito en el documento US-A-4940876 indicado anteriormente, que, entre los controladores, constituye una de las formas de realización más avanzadas pero que no actúa sobre el voltaje de alimentación para mejorar el control de la soldadura.

60

Con el fin de obtener resultados óptimos, el sistema de control según la invención controla, durante la etapa de escintilación, no solamente la impedancia del arco sino también una pluralidad de otras variables, entre las cuales, en primer lugar se encuentra la impedancia del arco. Debido a este hecho, se reduce drásticamente la posibilidad de 65 que se produzcan cortocircuitos en la medida en que el control de la longitud del arco en efecto prevenga que se toquen las uniones entre sí. Esto se hace estimando la longitud del arco con un modelo matemático que está basado en el conocimiento de las leyes físicas que determinan el comportamiento del proceso, y en las mediciones directas. Además, para garantizar el suministro de la potencia deseada también sobre una impedancia de arco variable, el

ES 2 297 404 T3

voltaje primario se controla actuando sobre el ángulo de disparo del divisor. Si en el inicio del arco en el comienzo de la etapa de escintilación el arco se encierra en una pequeña parte de las superficies frontales a soldar con motivo de las irregularidades de dichas superficies, de esta manera, dicho arco presenta, dada la misma longitud, una alta impedancia. El sistema de control aumenta el voltaje de alimentación con el fin de suministrar al arco, en cualquier caso, toda la potencia que funde más rápidamente las irregularidades de las superficies, sobre las que se ha iniciado el arco. Por lo tanto esto favorece una rápida eliminación de las irregularidades alisando las superficies de los extremos a soldar.

A continuación, se reduce progresivamente la potencia térmica suministrada en el último segundo de la etapa de escintilación para dar lugar a una capa “plástica” más extensiva en el área de los lingotes en las proximidades de las superficies de los extremos, lo que mejora la calidad de la soldadura.

Con el fin de superar también el problema de variaciones extremas en las condiciones para las que el sistema de control no presenta márgenes de tiempo que puedan utilizarse y márgenes de potencia que puedan suministrarse, suficientes para finalizar la operación de soldadura apropiadamente, se proporciona ventajosamente un sistema de diagnóstico en línea que reconoce o identifica la unión soldada de manera fiable y permite su eliminación de la línea de procesamiento.

Una ventaja adicional del sistema de control según la invención es la presencia de un observador de estado dinámico que, considerando la historia completa del proceso de soldadura hasta el momento actual, es capaz de reconstruir y también de predecir para los posteriores instantes la tendencia de un gran número de variables de estado y de rendimiento, sobre las que se basa la acción de control y diagnóstico. El control simultáneo de estas variables, con el fin de mantener las mismas en unas trayectorias predefinidas, conduce a una mejora del rendimiento comparado con sistemas de control conocidos, que se basan solamente en la detección de algunas variables que pueden medirse directamente, un hecho que hace que el proceso de soldadura sea menos fiable.

La combinación de todos estos elementos, previstos en el sistema de control según la invención, determina la calidad de soldadura superior en los lingotes.

Entre los propósitos principales que el sistema de control hace que sean posibles, hay uno que hace referencia a que sea más fiable y repetitiva, en cada etapa de la operación de soldadura, la tendencia de las variables de estado eléctricas, térmicas y mecánicas del sistema de soldadura, mientras que otro hace referencia a la posibilidad de no permitir que ninguna unión en la que la operación de soldadura no ha tenido un éxito total pueda avanzar hacia posteriores etapas de procesamiento.

Listado de figuras

Ventajas adicionales que pueden conseguirse con la presente invención resultarán más claras para un experto en la materia a partir de la descripción detallada de una forma de realización particular y no limitativa de un sistema para el control en línea de una máquina de soldadura de tope que a continuación sigue con relación a las siguientes figuras, entre las que:

La Figura 1 es el diagrama de bloques de un sistema de control según la invención;

La Figura 2 es el diagrama lógico funcional del procedimiento según la invención; y

La Figura 3 presenta un número de gráficos con trayectorias óptimas de algunas variables de rendimiento.

Descripción detallada de la invención

La solución según la invención para resolver el problema técnico prevé un procedimiento para el control y el diagnóstico en línea de una máquina de soldadura de tope del tipo “soldadura por contacto o chisporroteo”, adaptado para ser incluido en un proceso continuo para la fabricación de tochos y lingotes.

El procedimiento según la invención básicamente prevé controlar, en base a criterios predeterminados ilustrados en mayor detalle en la descripción que a continuación sigue, dos actuadores que actúan respectivamente sobre el ángulo de disparo del divisor para controlar la máquina eléctrica que suministra la potencia térmica a la soldadura y sobre las apertura de la válvula que controla el posicionamiento de las pinzas de la máquina de soldadura.

Con particular referencia a la Figura 1, en la que se utilizan los siguientes símbolos:

U = señales de control (relación de transformación, ángulo de disparo, interruptor de válvula);

Ym = mediciones directas (potencia de CA, voltaje de CA, corriente, voltaje de CC (corriente continua), temperatura de salida, temperatura de entrada, posición del cilindro, posición de la válvula, presión del cilindro);

ES 2 297 404 T3

Z = variables de rendimiento;

Z_{set} = trayectorias deseadas para Z ;

5 Z_{spec} = especificaciones de las trayectorias de Z ;

X = variables de estado estimadas;

Sync = estado de la secuencia de soldadura; y

10 Y_{diag} = alarmas de diagnóstico,

el procedimiento según la invención se implementa por medio de un sistema de control que comprende una ley de control dinámico multivariable, bloque C, basada en técnicas de optimización multiobjetivo y de síntesis robusta capaces de mantener bajo un control preciso todas las trayectorias de las variables que determinan la calidad del proceso, incluso en condiciones en las que hay una incertidumbre sobre los parámetros que definen la característica del arco y la geometría de las uniones, con el fin de hacer que las tendencias de todas las cantidades eléctricas, mecánicas y térmicas converjan rápidamente, justo desde el inicio de la operación de soldadura, hasta los valores deseados, a pesar de que se produzcan amplias variaciones paramétricas en el transcurso del proceso de soldadura.

Según un aspecto ventajoso particular de la invención, el sistema de control también prevé un sistema de diagnóstico capaz de identificar las uniones que no se pudieron soldar correctamente con motivo de la presencia de valores extremos de los fenómenos de perturbación.

La ley de control dinámico, bloque C, actúa simultáneamente sobre el ángulo de disparo de un divisor, que regula la alimentación, y sobre el control hidráulico del movimiento de las pinzas manteniendo la tendencia real de los valores eléctricos, mecánicos y térmicos del proceso de soldadura cerca de la tendencia óptima. Ya que no todas las variables que determinan la tendencia del proceso de soldadura pueden medirse, se dispone un procedimiento de estimación basado en un modelo matemático y heurístico que reconstruye en línea las variables necesarias para completar la información sobre el estado de la soldadura. En base a estas variables de estado, se identifican las variables que determinan la calidad del proceso, cuya tendencia determina la calidad del resultado global de la soldadura. Para estas variables, denominadas "variables de rendimiento", a través de ensayos, se han determinado las trayectorias óptimas que deberían seguirse durante la operación de soldadura.

En base a las variables de rendimiento suministradas por un observador de estado dinámico se ha desarrollado también un sistema de diagnóstico capaz de detectar si la soldadura no ha podido alcanzar la calidad deseada con motivo de algún problema. La alarma generada mediante este sistema de diagnóstico permite evitar que la unión defectuosa proceda a la posterior etapa de procesamiento.

El sistema de control según la invención comprende los bloques funcionales descritos a continuación con particular referencia a la Figura 1.

El sistema comprende un observador de estado dinámico, bloque A, que detecta el estado del proceso de soldadura X , y que detecta también aquellos componentes que no se miden directamente pero cuya tendencia tiene unos efectos importantes sobre el resultado final. El observador dinámico, bloque A, utiliza las mediciones directas Y_m , los controles de entrada U , y un conjunto de leyes físicas y reglas experimentales que definen la tendencia del proceso ($f(X, U, Y_m, \text{Sync})$) para obtener una imagen del estado en el que se encuentra el proceso de soldadura y para predecir su evolución dX/dt en el tiempo. El observador de estado dinámico, bloque A, suministra una pluralidad de salidas de rendimiento Z que representan aquellas variables cuyas trayectorias definen un buen resultado de la operación de soldadura.

También se encuentran incluidas en esta pluralidad de variables de rendimiento Z cantidades que, ya que no se miden directamente, se obtienen interpretando la evolución dinámica del proceso a través de leyes físicas y experimentales apropiadamente almacenadas en el observador dinámico A. Debido a dicha pluralidad de variables de rendimiento Z , se lleva a cabo la actividad de control y diagnóstico en línea del sistema de control. Las variables que en las diversas etapas tienen la función de identificar el estado y los resultados del proceso de soldadura son reconstruidas por el observador de estado dinámico A.

Entre las variables de rendimiento consideradas se encuentran ventajosamente: la presión en el cilindro; la posición del cilindro; la velocidad del cilindro; la posición de la servoválvula; el ángulo de disparo del divisor; la relación de transformación del transformador, utilizada únicamente en el caso en el que el controlador es capaz de controlarlo automáticamente; la potencia eléctrica absorbida por la red; el voltaje de la alimentación de CC a los terminales del transformador; el voltaje del arco; la corriente del arco; la energía térmica suministrada a las uniones; la potencia térmica comunicada a las uniones; el mapa térmico de las uniones; la anchura del hueco entre las uniones; la cantidad de metal fundido; la velocidad de fusión de las uniones; la potencia del arco; la potencia eléctrica suministrada por la fuente de alimentación eléctrica; y la impedancia del arco.

ES 2 297 404 T3

El observador de estado dinámico, bloque A, prevé la tendencia del proceso en respuesta a las entradas de control con la utilización de algoritmos que tienen en cuenta leyes físicas y experimentales, y utiliza las mediciones solamente para actualizar las previsiones hechas y para corregir el valor de aquellos parámetros que están sujetos a variaciones en el tiempo.

5

Entre los parámetros que pueden variar en el tiempo y que el observador de estado dinámico, bloque A, identifica en línea en el transcurso de la ejecución del proceso de soldadura se encuentran: los parámetros correspondientes a la característica voltaje-corriente-longitud del arco, el rendimiento térmico del arco, definido como la relación entre la energía térmica suministrada a las uniones y la energía eléctrica suministrada al arco, el rendimiento de la fuente de alimentación eléctrica, la resistencia del circuito de CC, y la posición de las uniones al inicio de la operación de soldadura. En el caso de un fallo a algún sistema de medición directa de una variable, el observador de estado dinámico A continúa en cualquier caso en predecir la tendencia de dicha variable, y, a pesar de que ésta última no se mide más, la ley de control dinámico, bloque C, es capaz de regular el proceso, aunque con un rendimiento ligeramente inferior.

10

Otro elemento que comprende el sistema de control es el generador de trayectorias dinámico para las variables de rendimiento, bloque B, que utiliza algoritmos basados en leyes físicas y reglas experimentales, del tipo $g(X, U, Y_m, Sync)$. El generador de trayectorias dinámico suministra las trayectorias óptimas Z_{set} que se desea que sigan las variables de rendimiento Z . Las trayectorias se configuran por medio de un conjunto de parámetros Z_{spec} apropiadamente seleccionados por el diseñador.

15

20

En el sistema de control se proporciona la ley de control ya indicada anteriormente, bloque C, que calcula el control para los actuadores U en base a los valores de las variables de rendimiento Z y las trayectorias óptimas Z_{set} .

Además se dispone un dispositivo de diagnóstico dinámico, bloque D, que, comparando las trayectorias de las variables de rendimiento con las deseadas, genera unos índices de calidad de la soldadura X_{diag} . En caso de que estos índices de calidad queden fuera de un intervalo predeterminado, se genera una señal de alarma que hace que la ley de control dinámico, bloque C, adopte una estrategia de recuperación de la soldadura, que prevé la interrupción de la operación de soldadura previamente a la etapa de recalcado. En casos extremos, en los que la alarma se haya generado durante la etapa de recalcado, la siguiente etapa consistirá en cortar la unión soldada. El dispositivo de diagnóstico dinámico D también controla el rendimiento del dispositivo de medición y actuación. En el caso de un fallo, se generan unas alarmas, que inducen a que la ley de control dinámico, bloque C, adopte una estrategia de control adecuada para operar en condiciones degradadas.

25

30

El sistema también comprende un generador de señales de sincronización, representado por el bloque E (también denominado Gestor de Secuencias) que induce a que la ley de control dinámico, bloque C, adopte, en cada etapa de la operación de soldadura, la estrategia de operación apropiada, enviando las señales apropiadas a todos los bloques del sistema de control.

35

La modalidad de funcionamiento del observador de estado dinámico, bloque A, según la invención se lleva a cabo de la siguiente manera. A través del proceso de soldadura, el observador de estado, bloque A, sigue el perfil de la unión a soldar. Detectando el comportamiento de los actuadores U , que comprenden una fuente de alimentación de potencia eléctrica y una válvula hidráulica, el observador de estado dinámico A calcula el estado de los voltajes y las corrientes del circuito, calcula el equilibrio de la potencia térmica en las uniones, detecta el mapa térmico del lingote, la geometría del arco eléctrico, y el estado del sistema de movimiento hidráulico. Comparando los valores estimados de las variables con las respectivas mediciones reales, el observador de estado A actualiza el estado estimado y el valor de los parámetros que están sujetas a variación llevando a cabo su identificación en línea.

40

45

La estrategia de observación cambia en las diferentes etapas del proceso de soldadura según las modalidades operativas definidas por el generador de señales de sincronización, bloque E. A partir de un estado reconstruido del proceso, el observador de estado genera unas variables de rendimiento Z que representan las trayectorias principales a controlar para un buen resultado de la soldadura, las variables sobre las que debe llevarse a cabo la inferencia del diagnóstico, las variables que permiten al generador de señales de sincronización establecer los pasos de una etapa a otra del proceso de soldadura y los cambios del modo de funcionamiento.

50

El modo de funcionamiento del generador de trayectorias óptimas, bloque B, se describe a continuación. Las trayectorias óptimas Z_{set} varían en el tiempo y se calculan empezando desde determinados parámetros de configuración Z_{spec} de la máquina.

55

Las variables de rendimiento Z a las que se asignan trayectorias para el control de la etapa de precalentamiento comprenden la fuerza de compresión de los lingotes a soldar, la velocidad de desplazamiento de las uniones, la corriente que hay que hacer fluir en las uniones, y el tiempo de contacto entre las uniones.

60

Las variables de rendimiento Z a las que se asignan trayectorias para el control de la etapa de escintilación comprenden la longitud del arco, la potencia térmica suministrada por el arco, el voltaje del arco, la impedancia del arco, y el perfil de temperatura en las uniones.

65

Las variables de rendimiento Z a las que se asignan trayectorias para el control de la etapa de recalcado comprenden la presión de recalcado de los lingotes, la corriente que hay que hacer fluir en las uniones, y la posición de las uniones.

ES 2 297 404 T3

Las trayectorias óptimas para las variables de rendimiento Z que son una función dinámica del tiempo y de las propias variables de rendimiento Z y se generan, utilizando algoritmos apropiados, que incorporan un conjunto de reglas obtenidas a partir de leyes físicas y de datos experimentales.

5 Ya que las variables de rendimiento son mutuamente dependientes, estando unidas mediante relaciones precisas, por ejemplo, impedancia del arco, voltaje del arco, corriente del arco, son suficientes unos pocos parámetros de configuración Z_{spec} para poder determinar las tendencias de las innumerables trayectorias para las variables de rendimiento Z .

10 La modalidad de funcionamiento de la ley de control dinámico, bloque C, se describe a continuación. La ley de control dinámico, bloque C, induce a que un subconjunto de las variables de rendimiento Z , seleccionadas según la etapa del proceso, siga las respectivas trayectorias óptimas. Si no resulta posible seguir exactamente todas las trayectorias especificadas, la ley de control dinámico, bloque C, minimiza una media ponderada de los errores de seguimiento de las trayectorias; los valores de esta media ponderada se determinan mediante las ganancias de control y se calculan con una técnica de optimización multiobjetivo. De esta manera, serán los errores más grandes los que produzcan la mayor contribución a la acción de control.

La modalidad de funcionamiento del dispositivo de diagnóstico dinámico, bloque D, se lleva a cabo de la siguiente manera. El propósito principal del dispositivo de diagnóstico es el de interrumpir la operación de soldadura en el caso de que algún factor de perturbación imprevisible detectado mediante el dispositivo de diagnóstico dinámico fuera a degradar la calidad de la soldadura. Una soldadura pobre puede ser extremadamente peligrosa ya que puede provocar un atasco en las posteriores etapas de procesamiento, en particular en la laminadora.

25 El factor más frecuente y más crítico de perturbación consiste en una irregularidad marcada en el perfil de las uniones a soldar; sin embargo, también pueden producirse otras perturbaciones tales como altas resistencias de contacto con las pinzas que no permiten la comunicación de la potencia deseada al arco, variaciones en el voltaje de línea, etc.

Una función adicional llevada a cabo por el dispositivo de diagnóstico dinámico D es la de la detección de posibles fallos en el sistema de soldadura.

30 El dispositivo de diagnóstico dinámico, bloque D, se suministra por las variables de rendimiento Z , y mediante las especificaciones de trayectorias Z_{set} . Comenzando desde estas variables de entrada, genera dinámicamente dentro del mismo una serie de variables de diagnóstico Y_{diagn} por medio de un algoritmo basado en un conjunto de reglas físicas e intervalos experimentales de valores X_{diagn} . Si las variables de diagnóstico Y_{diagn} se salen de los respectivos intervalos de valores preestablecidos experimentalmente, el dispositivo de diagnóstico D emite unas alarmas específicas. Las alarmas son enviadas al generador de señales de sincronización, bloque E, que implementa correspondientemente la estrategia de respuesta adecuada.

40 La modalidad operativa del generador de señales de sincronización, bloque E, se describe a continuación. El generador de señales de sincronización tiene la principal tarea de informar al bloque funcional del sistema de control sobre el estado de la secuencia de soldadura. La secuencia de soldadura fundamentalmente comprende las tres etapas indicadas anteriormente: precalentamiento, escintilación, y recalcado. Cada una de estas se divide en subetapas. El inicio del ciclo de soldadura se determina mediante una señal de habilitación, que es emitida por el sistema de control central de la laminadora, que puede integrarse en el sistema para controlar la soldadura, si resulta necesario, en el instante en el que el lingote a soldar se ha posicionado correctamente en la máquina de soldadura.

La transición de una etapa a otra del ciclo de soldadura se determina en base al tiempo o en base a determinadas condiciones de las variables de rendimiento Z a las que se llega.

50 El generador de señales de sincronización, bloque E, informa a los bloques del sistema de control sobre la etapa y la subetapa del ciclo de soldadura en el que se encuentra operando.

La modalidad de funcionamiento de cada etapa del proceso de control puede modificarse en el caso en el que las alarmas hayan sido emitidas por el dispositivo de diagnóstico, bloque D. El generador de señales de sincronización recibe dichas alarmas de diagnóstico, las interpreta, y envía, a los bloques del sistema de control, los comandos para proceder del modo correcto de funcionamiento degradado.

60 En los gráficos de la Figura 3, se ilustran una serie de trayectorias óptimas establecidas durante la escintilación sobre algunas variables de rendimiento no medidas directamente, a modo de ejemplo ventajoso.

El sistema para controlar una máquina de soldadura de tope según la invención descrito anteriormente puede obtenerse por medio de un sistema informático diseñado para tal propósito, o también, de una manera particularmente ventajosa, por medio de un programa para un procesador electrónico de propósito general, por ejemplo, un PC. En este caso, los bloques funcionales descritos anteriormente, es decir, el observador de estado dinámico A, el generador de trayectorias dinámico B, la ley de control dinámico C, el generador de señales de sincronización E, y el sistema de diagnóstico dinámico D se corresponden con los bloques software, apropiadamente escritos en el lenguaje de programación adecuado para una utilización óptima sobre el tipo de procesador utilizado para el control de la máquina de soldadura.

ES 2 297 404 T3

El diagrama indicado en la Figura 2 representa el diagrama lógico funcional o el diagrama de flujo, del proceso con la indicación de las cantidades que permiten el paso de una etapa del proceso de soldadura a la siguiente. Se pone de manifiesto claramente la ventaja que la presencia del sistema de diagnóstico según la invención proporciona con respecto a sistemas de control conocidos, en el que a través de una comprobación en línea, durante la etapa de centelleo, la calidad de la unión puede discriminar el estado posterior. De esta manera, las soldaduras defectuosas pueden ser rechazadas sin que esto cree problemas durante las posteriores operaciones de procesamiento.

Referencias citadas en la descripción

Esta lista de referencias citadas por el solicitante de la presente invención se proporciona solamente para conveniencia del lector. Dicha lista no forma parte del documento de patente europea. A pesar de que se ha tenido mucho cuidado durante la recopilación de las referencias, no debe excluirse la posibilidad de que se hayan producido errores u omisiones y a este respecto la OEP se exime de toda responsabilidad.

Documentos de patente citados en la descripción

- US 3612811 A
- US 4940876 A

Documentos que no son patentes citados en la descripción

• Determining the flash allowance for welding hot billets in continuous rolling mills. A. P. CHEKMAREV *et al.* *Svar. Proiz.* 1970, 5-7

• N. V. PODOLA; V. P. KRIVENOS; B. L. GRABCHEV. A new control system for the K-190P rail flash welding machine. *Automatic Welding*, August 1983, vol. 36 (8), 40-43.

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento para el control en línea de una máquina de soldadura de tope del tipo de soldadura por contacto o chisporroteo para barras, tochos o lingotes, durante los ciclos de soldadura, que comprende las etapas de:

- Medición sobre la máquina de medidas directas mediante un sistema de adquisición,
- Control de un accionamiento de una válvula que controla el posicionamiento de las pinzas de la máquina de soldadura; y
- Control del ángulo de disparo de un divisor para controlar la potencia térmica suministrada al proceso de soldadura; en el que dichas etapas de control se regulan en base a un análisis mediante un observador de estado dinámico (A) de la historia del proceso de soldadura durante la ejecución de cada ciclo de soldadura, **caracterizado** por el hecho de que dicho observador de estado dinámico (A) estima, por medio de un modelo matemático, la tendencia de una pluralidad de variables de estado (X) y de variables de rendimiento (Z), en el que estas últimas comprenden la longitud del arco, la impedancia del arco, el voltaje primario y la corriente del arco, utilizadas como una base para controlar el propio ciclo de soldadura y los posteriores ciclos de soldadura, utilizando una pluralidad de mediciones directas (Ym) realizadas por el sistema de adquisición.

2. Procedimiento de la reivindicación 1, en el que para regular dichas etapas de control se disponen:

- La observación de las variables de estado (X) de los ciclos de soldadura mediante el observador de estado dinámico (A);
- La definición de trayectorias óptimas predeterminadas (Z_{set}) a seguir por una pluralidad de variables de rendimiento (Z) por medio de un generador de trayectorias dinámico (B) para las variables de rendimiento (Z);
- La ejecución de una ley de control dinámico (C) basada en el valor de las variables de rendimiento (Z), de las trayectorias óptimas (Z_{set}) y de la estrategia de funcionamiento determinada según la etapa que se esté ejecutando en el proceso de soldadura; y
- La generación de señales de sincronización (Sync) por medio de un generador de señales (E), en base a que la ley de control dinámico (C) adopta las estrategias de operación dadas.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que la ley de control dinámico (C), durante la etapa de escintilación del proceso de soldadura, mantiene constante la longitud del arco y varía el voltaje primario en base a la variación de la impedancia del arco.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que se proporciona un diagnóstico en línea mediante un sistema de diagnóstico dinámico (D), para el que se realiza la comparación de las trayectorias de las variables de rendimiento (Z) con las trayectorias deseadas (Z_{set}) mediante dicho sistema de diagnóstico dinámico (D), generando unos índices de calidad de soldadura.

5. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que se dispone una variación en línea, automática, de la relación de transformación de un transformador (con cambiador de tomas o ajuste de la tensión) para el suministro de la máquina de soldadura de tope.

6. Sistema para controlar una máquina de soldadura de tope para barras, tochos o lingotes, en el que la máquina comprende una válvula para controlar el posicionamiento de las pinzas de la máquina, y un divisor, en el que el sistema de control se adapta para llevar a cabo el procedimiento según la reivindicación 1 y comprende:

- Un sistema de adquisición para realizar mediciones directas sobre la máquina, y **caracterizado** por comprender adicionalmente:
- Un observador de estado dinámico (A) adaptado para observar una pluralidad de variables de estado (X) de un proceso de soldadura llevado a cabo por dicha máquina;
- Un generador de trayectorias dinámico (B) para las variables de rendimiento (Z), adaptado para definir trayectorias óptimas predeterminadas (Z_{set}) para que sean seguidas por las variables de rendimiento (Z), en el que estas últimas comprenden la longitud del arco, la impedancia del arco, el voltaje primario y la corriente del arco;
- El observador de estado dinámico y el generador de trayectorias dinámico que son adecuados para estimar a través de un modelo matemático implementado en los mismos la tendencia de las variables de estado y de las variables de rendimiento.

ES 2 297 404 T3

- Una ley de control dinámico (C) adaptada para controlar la válvula y el divisor en base al valor de las variables de rendimiento (Z) y las trayectorias óptimas predeterminadas (Z_{set}); y
- Un generador de señales de sincronización (E) adaptado para generar señales de sincronización (Sync).

5

7. Sistema según la reivindicación 6, en el que se dispone un variador de la relación de transformación (con cambiador de toma o ajuste de la tensión), adaptado para controlar la relación de transformación.

10

8. Sistema según la reivindicación 7, en el que se dispone un sistema de diagnóstico dinámico (D), adaptado para generar índices de calidad de soldadura, comparando las trayectorias de las variables de rendimiento (Z) con las trayectorias deseadas (Z_{set}).

15

9. Sistema según la reivindicación 8, en el que el observador de estado dinámico (A), el generador de trayectorias dinámico (B), la ley de control dinámico (C), el generador de señales de sincronización (E), y el sistema de diagnóstico dinámico (D) se implementan por medio de un programa informático.

20

25

30

35

40

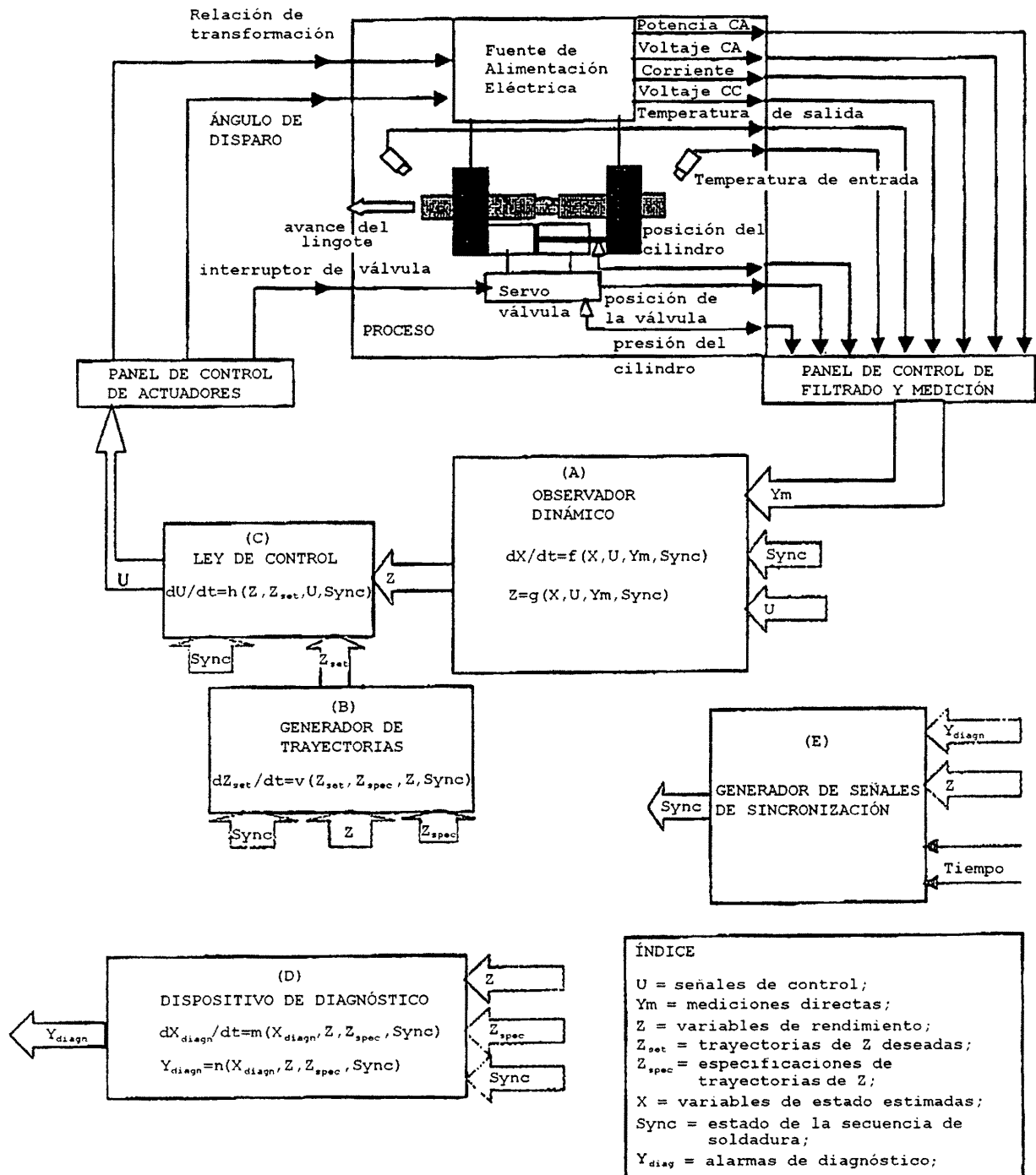
45

50

55

60

65



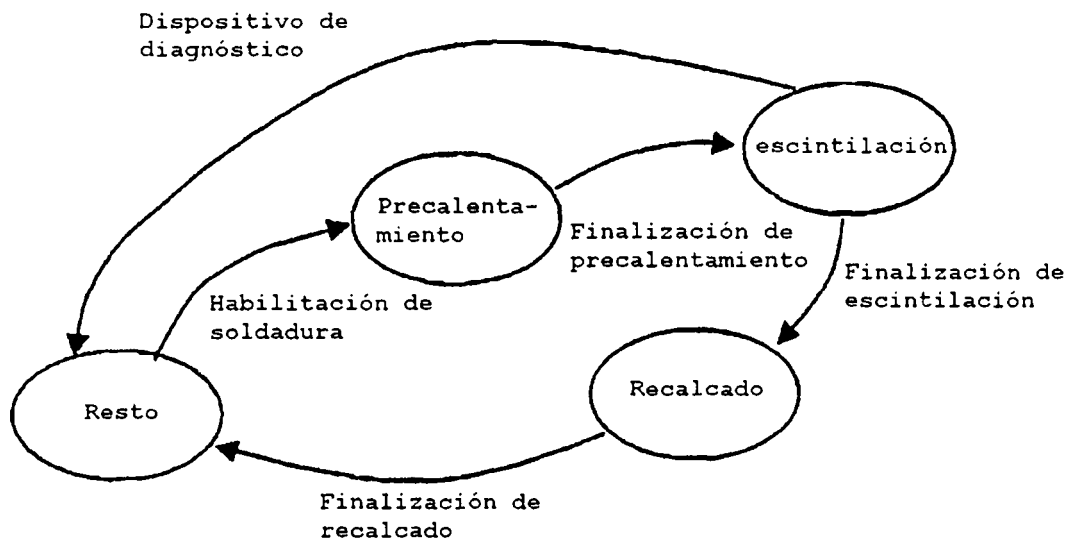


FIGURA 2

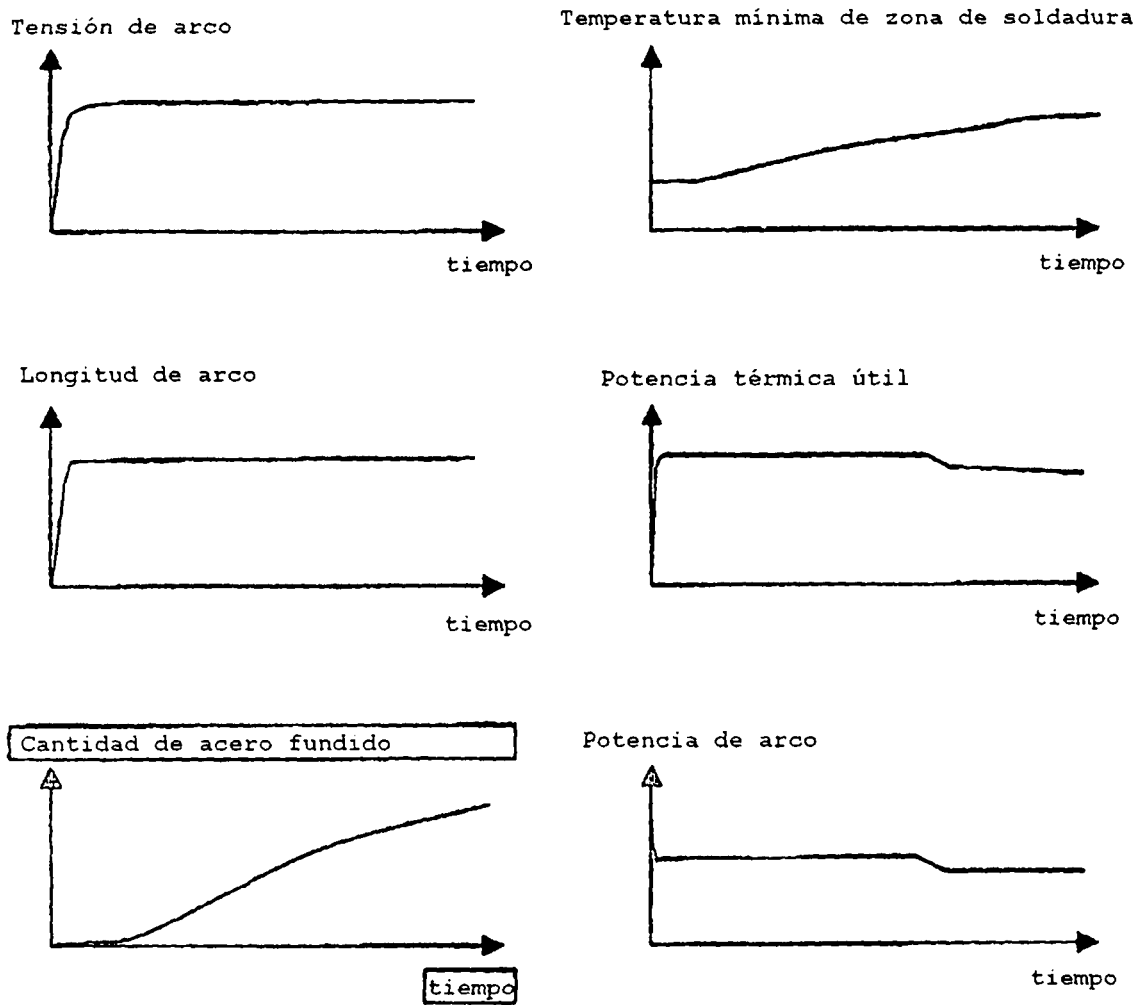


FIGURA 3