



NEOWELD - SISTEMAS DE FIJACION SOLDABLES



## Aseguramiento de la calidad en el soldeo al arco de pernos.

### Índice:

¿Qué estipula la EN ISO 14555:2006 con respecto al aseguramiento de la calidad en el soldeo al arco de pernos? (Parte 1).....	2
El desarrollo de normativas para el soldeo de pernos.....	2
Estructura y campo de aplicación de la norma. ....	5
Especificación del procedimiento de soldeo del fabricante.....	6
¿Qué estipula la EN ISO 14555:2006 con respecto al aseguramiento de la calidad en el soldeo al arco de pernos? (Parte 2).....	8
Exámenes y ensayos.....	8
Examen visual.....	8
Ensayo de doblado.....	10
Examen macrográfico.....	11
Ensayo de tracción.....	12
Examen radiográfico.....	12
Verificación de la producción.....	13
Acciones correctivas.....	14
Resumen.....	14
Bibliografía:.....	15
Aseguramiento avanzado de la calidad en el soldeo al arco inducido en los modelos INOTOP y ELTOP de KÖCO. ....	15

¿Qué estipula la EN ISO 14555:2006 con respecto al aseguramiento de la calidad en el soldeo al arco de pernos? (Parte 1)

El desarrollo de normativas para el soldeo de pernos

El proceso de soldeo al arco inducido de pernos ha sido usado de forma habitual durante décadas para fijar elementos de anclaje principalmente redondos o cilíndricos, a láminas o a perfiles metálicos, normalmente componentes de estructuras, o a acero inoxidable. Los distintos tipos difieren unos de otros por el tipo de encendido del arco, fuente de energía, y duración del tiempo de soldeo. Los pernos soldables con diámetros 3 a 25 mm se usan en grandes cantidades en la edificación, sobre todo para conectar el acero con el hormigón (Fig. 1), pero también en la industria de la automoción, construcción de calderas y equipos, en la ingeniería de tanques y en la construcción de barcos (Figs. 2 – 5).



**Fig. 2:** Aplicación en lámina metálica en la industria de la automoción.



**Fig. 1:** Estructura mixta en la ingeniería estructural de construcción de puentes

Hace más de cuarenta años, se reconoció la necesidad de establecer normas y ordenanzas para la preparación, ejecución y comprobación del soldeo de pernos así como para definir los tipos, dimensiones y materiales de los pernos y las férulas cerámicas. El objetivo era ofrecer a los productores, usuarios y organismos de comprobación una base sólida para valorar las soldaduras. Al principio se prepararon los boletines técnicos de la Sociedad del Soldero de Alemania, DVS 0901 a DVS 0903, y las partes 1 y 2 de las directrices DVS 0905 (Tabla 1). En 1984, la norma DIN 8563, parte 10, se creó basándose en las directrices de las DVS 0905, parte 1, para el soldeo al arco inducido, el proceso más frecuentemente usado para el soldeo de espárragos. Cubría los detalles teóricos y prácticos del proceso, las propiedades de las probetas para los ensayos, y los procedimientos de ensayo. Al menos para las aplicaciones sujetas a disposiciones legales, lo que ocurre principalmente en la edificación, aunque también en la construcción de calderas y equipos a presión, las ordenanzas basadas en la norma se hacían de obligado cumplimiento. En otras áreas, los productores y usuarios acordaban cumplir con estas normas de forma voluntaria.



<i>Ordenanzas / Boletines Técnicos</i>	<i>Fecha de emisión</i>	<i>Título</i>
<i>DVS 0905, parte 1</i>	<i>Agosto de 1.977</i>	<i>Aseguramiento de la calidad en el soldeo: soldeo de espárragos al arco inducido y soldeo con ignición en anillo (derogada y sustituida por la DIN 8563, parte 10)</i>
<i>DVS 0905, parte 2</i>	<i>Agosto de 1.977</i>	<i>Aseguramiento de la calidad en el soldeo con ignición en la punta (derogada y sustituida por la EN ISO 14555)</i>
<i>DIN 8563, parte 10</i>	<i>Diciembre de 1984</i>	<i>Aseguramiento de la calidad en el soldeo: uniones soldadas de pernos metálicos en la construcción; soldeo de espárragos al arco inducido y soldeo con ignición en anillo (derogada y sustituida por la EN ISO 14555)</i>
<i>EN ISO 14555</i>	<i>Diciembre de 1.998</i>	<i>Soldeo: Soldeo al arco de espárragos de materiales metálicos (sustituida por la edición de 2006)</i>
<i>DVS 09001</i>	<i>Diciembre de 1.998</i>	<i>Soldeo al arco de espárragos de metales; introducción</i>
<i>DVS 09002</i>	<i>Diciembre de 2.000</i>	<i>Soldeo de espárragos al arco inducido</i>
<i>DVS 09003</i>	<i>Diciembre de 2.000</i>	<i>Soldeo al arco por descarga de condensadores con punta de encendido</i>
<i>DVS 09004</i>	<i>Diciembre de 2.000</i>	<i>Instrucciones prácticas para el soldeo de espárragos al arco inducido.</i>
<i>EN ISO 14555</i>	<i>Octubre 2006</i>	<i>Soldeo: Soldeo al arco de espárragos de materiales metálicos</i>

**Tabla 1:** Ordenanzas actuales y antiguas y Boletines Técnicos de la DVS para el soldeo de espárragos.



**Fig. 3:** Pernos soldados en tubos con aletas en la construcción de calderas.



**Fig. 4:** Anclaje del asa de transporte en una botella de gas líquido.



**Fig. 5:** Pernos soldados en el marco de una boca de hombre.

Los fabricantes orientados a la exportación, sin embargo, a menudo tenían que cumplir diferentes normas nacionales. La cantidad de relativamente estrictas exigencias y los amplios ensayos requeridos por la norma alemana se desconocía en otros países europeos. Por ejemplo, el soldeo a través de chapa colaborante en la edificación era aceptada en otros países, mientras que nunca arraigó en Alemania debido a las estrictas ordenanzas. En vista del emergente mercado único europeo, se remitió al Comité Europeo para la Normalización (CEN) una propuesta de norma europea para el soldeo de pernos a principios de los años 90. Esta propuesta se basaba en la norma reconocida en Alemania, la DIN 8563, parte 10, pero con algún ajuste de los requisitos, de acuerdo con los sistemas de aseguramiento de la calidad establecidos en varias empresas. En la tabla 2, se comparan aquéllos con los correspondientes de la EN ISO 14555 de 1998 relativos al soldeo al arco inducido con aplicación de fuerza.

Ensayo / Especificación	DIN 8563 parte 10 (1.984)	DIN EN ISO 14555 (1.998)
<b>Prueba de idoneidad</b>		
Inspección visual	todos los espárragos (hasta $\varnothing$ 12 mm, mínimo 12 espárragos, mayores $\varnothing$ , al menos 17 espárragos)	todos los espárragos (hasta $\varnothing$ 12 mm, mínimo 12 espárragos, mayores $\varnothing$ , al menos 17 espárragos)
Ensayo de doblado	5 espárragos ángulo de flexión de 60 °	5 espárragos ángulo de flexión de 60 °
Ensayo dinámico a flexión	5 espárragos	no aplicable
Ensayo de tracción	no aplicable	5 espárragos o examen radiográfico
Examen radiográfico	en espárragos > 12 mm $\varnothing$	para pernos $\varnothing$ > 12 mm
Examen macrográfico	2 espárragos, secciones a 90 °	2 espárragos, secciones a 90 °
Período de validez	durante 1 año después de ensayo de producción	ilimitado con el registro de verificación de la producción y el ensayo anual de producción
Diferencias según el área de aplicación	no	sí, según EN 729-2 a EN 729-4
<b>Ensayo de producción</b>		
Inspección visual	todos los espárragos (al menos 10)	todos los espárragos (al menos 10)
Ensayo de doblado	5 espárragos ángulo de flexión de 60 °	5 espárragos ángulo de flexión de 60 °
Ensayo dinámico a flexión	3 espárragos	no aplicable
Examen macrográfico	2 espárragos	2 espárragos
<b>Examen de producción simplificado</b>		
Inspección visual	todos los espárragos (al menos 3)	todos los espárragos (al menos 3)
Ensayo de doblado	3 espárragos ángulo de flexión de 60 °	3 espárragos ángulo de flexión de 60 °

**Tabla 2:** Diferencia entre los requisitos del soldeo al arco inducido según DIN 8563 de 1.984 y EN ISO 14555 de 1.998.

La norma EN ISO 14555 publicada al final de 1998 tuvo una buena acogida, principalmente por su detallada explicación de los principios básicos y profusas instrucciones prácticas. Además del soldeo al arco inducido con férula cerámica o gas de protección, también cubría el soldeo por arco inducido de ciclo corto, soldeo al arco inducido por descarga de condensadores y soldeo de espárragos por descarga de condensadores con ignición en la punta del espárrago. Por lo tanto, las directrices DVS 0905, parte 2, podrían resultar prescindibles. La periódica revisión obligatoria de esta norma, después de un tiempo de aplicación de cinco años, tuvo lugar bajo los auspicios de la Organización Internacional para la Normalización (ISO). En este sentido, participaron las delegaciones de Japón y EEUU, junto con los comités de normativización europeos. Como resultado se obtuvo una versión revisada de la EN ISO 14555 que se publicó al final de 2006.

- ➔ Se establece una separación coherente entre la parte normativa y la parte informativa.
- ➔ Los requisitos de calidad de la norma se han adaptado de manera más precisa al sistema de gestión de la calidad que se aplique.
- ➔ En vez de distinguir entre transmisión de fuerza y calor, se ha hecho una distinción entre aplicaciones a temperaturas hasta 100 ° C y de más de 100 ° C.
- ➔ Ya no se exige el examen radiográfico, excepto para los pernos sometidos a cargas de agotamiento.
- ➔ Las cualificaciones para acero estructural y acero inoxidable se aplican recíprocamente para materiales de espárragos hasta  $\varnothing$  13 mm.
- ➔ Se permiten desviaciones del ángulo de doblado estipulado, si se espera una deformación no homogénea, debido a la geometría del espárrago (como por ejemplo los espárragos con la base reducida).

**Fig. 6:** Cambios más importantes entre las versiones de 1.998 y 2.006 de la EN ISO 14555.

El trabajo de normativización requiere invariablemente de la disponibilidad al compromiso de todas las partes involucradas. Por lo tanto, deben hacerse concesiones a aquellos países no europeos con respecto a métodos de ensayo que, sin embargo, no sean necesariamente una desventaja para la industria europea. Las modificaciones más importantes en comparación con la versión de 1998 se enumeran en la Fig. 6.

### Estructura y campo de aplicación de la norma.

La norma puede aplicarse a todos los ámbitos del soldeo al arco inducido. Especifica los requisitos con respecto al personal (niveles de conocimiento técnico), requisitos de calidad, especificación del procedimiento de soldeo, cualificación del proceso de soldeo, cualificación de soldadores y exámenes y ensayos de las soldaduras terminadas. Las referencias hechas a esta norma, por ejemplo en la DIN 18800-7, la han convertido en obligatoria en la edificación. De la misma manera, esto se aplica a todos los productos e industrias sujetas a disposiciones legales (Fig. 7).

Área de aplicación	Requisitos
<p>Materiales de clase 8, aceros inoxidables resistentes a la intemperie y grados de fundiciones de acero hasta S275, en casos de carga de presión sólo hasta S355</p> <p>Espesor de la chapa portante: hasta 30 mm, con chapas soldadas frontales, superiores e inferiores hasta 40 mm.</p> <p>Procesos de soldeo: manual, parcialmente mecanizado, completamente mecanizado y procesos automáticos (soldero de pernos según EN ISO 14555)</p>	<p>Los operadores de soldeo certificados a contratar deben aprobar un ensayo reconocido de operador de soldeo de acuerdo con la EN 287-1/EN 1418. La validez de este examen debe cumplir completamente el campo de aplicación en el que el operador de soldeo vaya a trabajar. Para los nudos tubulares (entre perfiles cilíndricos), se requiere un examen adicional de acuerdo con la DIN 188808.</p> <p>La empresa debe tener al menos un supervisor de soldeo como empleado fijo para la supervisión de las operaciones de soldeo.</p>

**Fig. 7:** Referencia a EN ISO 14555 en el área de aplicación clase C según la DIN 18800-7:2000

La norma en sí misma consiste en una introducción formal (área de aplicación, referencias normativas, términos y definiciones, símbolos y abreviaturas), una parte normativa (determinación de exámenes/ensayos y criterios de aprobación), y una parte informativa (conocimiento técnico, formatos de registro y registro de seguimiento). Se examina a continuación, en conjunto con el aseguramiento de la calidad, la parte normativa, principalmente.

En todos los productos fabricados bajo un sistema de gestión de la calidad, los procesos de producción comienzan con un análisis estructural. El objetivo es determinar si los requisitos estructurales previos que debe satisfacer su fabricación son alcanzados. Se deben comprobar los detalles de las soldaduras de espárragos deseadas, la necesidad de ciertos preparativos, los materiales, etc. El personal de soldeo adecuado (operadores y supervisores), deben existir y poseer los conocimientos técnicos necesarios. El equipo necesario, como fuentes de energía, pistolas, dispositivos portátiles, etc., incluso los datos técnicos para tales elementos, deben recogerse en un listado. En ciertos casos, se requiere un plan de mantenimiento para asegurar el buen funcionamiento del equipo. Todos los detalles necesarios para llevar a cabo las operaciones de soldeo deben establecerse en una serie de especificaciones de soldeo que debe estar disponible para su consulta en la obra (Fig. 8).

Especificación del procedimiento de soldeo del fabricante.

Donde se deba llevar a cabo por primera vez un soldeo de espárragos, se debe preparar una especificación preliminar del procedimiento de soldeo (pWPS), y entregarla antes del inicio de los trabajos para posibilitar la cualificación del soldador. El procedimiento de cualificación puede variar; el método más utilizado es a través de una cualificación del procedimiento de soldeo.

**ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDEO DEL FABRICANTE (WPS)**

Procedimiento de soldeo del fabricante	Persona u organismo examinador
Nº de referencia:	Nº de referencia:
Fabricante:	Proceso de soldeo de espárragos:
Nº del WPQR:	Método de limpieza o estado superficial del metal base:
Metal base:	Material del espárrago:
Espesor del metal base (mm):	Designación del espárrago:
Temperatura de precalentamiento (°C):	Diámetro del espárrago (mm):
Gas de protección y caudal:	Utilización del amortiguador: <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no
Designación de la férula cerámica:	
Secado de la férula cerámica: ..... h ..... °C	
Fuente de energía:	Unidad de control:
Pistola/cabezal de soldeo:	Posición de soldeo

Soldeo de espárragos por arco con férula cerámica o gas de protección y soldeo por arco de ciclo corto	Intensidad de soldeo A	Tiempo de soldeo s	Protusión mm	Elevación mm	Observaciones

Soldeo de espárragos por descarga de condensadores con ignición de la punta del espárrago y por arco	Separación mm	Tensión de carga V	Capacidad mF	Fuerza del muelle N o velocidad de hundimiento mm/s	Observaciones

Otras observaciones: .....

Fabricante:	Persona u organismo examinador:
(Nombre, fecha y firma):	(Nombre, fecha y firma):

**Fig. 8:** Ejemplo de especificación del procedimiento de soldeo del fabricante de la EN ISO 14555.

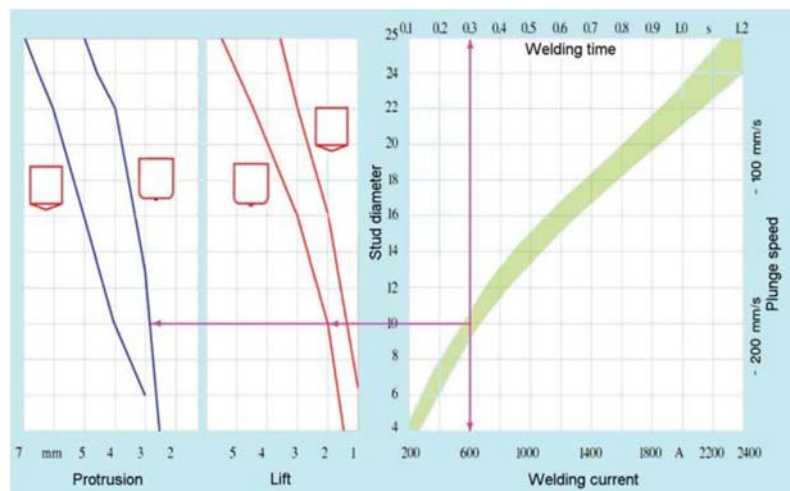
Para este propósito, se realizan soldaduras de piezas de ensayo, se examinan y se validan por examinadores acreditados. Una vez que los ensayos de cualificación se han aprobado, el procedimiento de soldeo preliminar se convierte en un procedimiento de soldeo válido (WPS). Los resultados del ensayo y su evaluación se recogen en un registro de cualificación del proceso de soldeo (WPQR). Como ejemplo, el



procedimiento de cualificación se describe a continuación para una empresa de construcciones metálicas realizando una ampliación de su cualificación clase C (de acuerdo con la DIN 18800-7:2002 (Fig. 7), para el soldeo de espárragos entre  $\varnothing$  10 y 25 mm en aplicaciones sujetas a disposiciones legales en la edificación. Se debe disponer de una prueba de conformidad tanto para el material base como el del espárrago. La versión de la norma elaborada en 1998 aún requería certificados 3.1 B. No obstante, como desde entonces cada vez más espárragos con certificado CE se introducen en el mercado, la prueba de conformidad estipulada en la versión actual es suficiente y la suministra el vendedor de los pernos en todos esos casos.

Para tener un rango de pernos con cualificación, solo es necesario examinar el menor y el mayor diámetro de pernos ensayados. De esta manera, se deben inspeccionar dos muestras de ensayo. Primero, debe prepararse una especificación preliminar del procedimiento de soldeo (pWPS) (Fig. 9), basada en las recomendaciones contenidas en las directrices DVS y boletines técnicos, o realizadas por el proveedor del equipo. Entonces, se sueldan las muestras de ensayo con pernos menor y mayor diámetro. En contraste con la anterior norma DIN 8563, parte 10, no se especifican dimensiones para las muestras de ensayo. De esta manera, el espesor de las muestras puede elegirse para representar lo más fielmente posible a las condiciones generales de la producción. En la norma, se explicita que debe mantenerse una distancia suficiente entre los espárragos y las mordazas laterales de tierra para prevenir el soplado del arco, lo que tiene un efecto adverso sobre los resultados de la soldadura. El mismo principio se aplica a la distancia desde el borde de la pieza de trabajo.

A los fabricantes de equipos les gusta hacer recomendaciones sobre las muestras de ensayo. El soldeo generalmente debería empezar en el medio de la pieza de ensayo, especialmente cuando hay que ensayar diámetros grandes, ya que los efectos del soplado son más débiles aquí. A medida que nos vamos aproximando a los bordes podemos ir tomando medidas para evitar el soplado del arco. Las láminas metálicas gruesas son generalmente menos susceptibles al soplado del arco que las láminas finas.



**Fig. 9:** Determinación de parámetros de soldeo para un espárrago de 10 mm de punta plana.

En la revista “der praktiker” (el práctico) [1; 2], la publicación de la DVS “Bolzenschweißen - Grundlagen und Anwendung” (Soldero de espárragos – Principios y Aplicaciones) [3] como en los boletines técnicos nº 0902 “Soldero al arco inducido” y nº 0904 “Instrucciones prácticas para el soldeo al arco inducido”, se dan instrucciones más detalladas.

El tipo y cantidad de ensayos se especifica en la norma (Fig.10). Los exámenes visuales y los ensayos de doblado los realiza normalmente el productor y atestiguado por un examinador. Esto es para evitar costes innecesarios si el resultado de estos ensayos no consigue alcanzar los requerimientos de la norma. Las macrografías, y donde sea necesario las imágenes radiográficas se realizan normalmente en los laboratorios de ensayo. Un espárrago defectuoso se puede compensar con dos ensayos libres de fallos; si dos o más espárragos resultan defectuosos, se precisará una nueva tanda de ensayos.



Tipo de ensayo	Número de espárragos a ensayar		
	Para aplicaciones ≤ 100 °C		Para aplicaciones > 100 °C
	$d_w \leq 12$ mm	$d_w > 12$ mm	Todos los diámetros ( $d$ )
Examen visual	todos		
Ensayo de doblado a 60° [véanse las figuras 1a), 1b) o 1c)]	10		No aplicable
Ensayo de doblado mediante llave dinamo-métrica (véase la figura 2)	No aplicable		10
Ensayo de tracción (véanse las figuras 3, 4 ó 5)	10 <sup>a</sup>	5 <sup>b</sup>	–
Examen radiográfico	No aplicable	5 <sup>b</sup> (opcional en vez del ensayo de tracción)	–
Examen macrográfico (desplazado 90° desde el centro del espárrago)	2		

<sup>a</sup> El ensayo de tracción solo se requiere en soldaduras entre espárragos con materiales del grupo 8 y materiales base de los grupos 1 ó 2 de acuerdo con el informe Técnico ISO/TR 15608.

<sup>b</sup> Sólo en estructuras sometidas a cargas de fatiga.

**Fig. 10:** Alcance de los ensayos y exámenes para la cualificación de un procedimiento previo de soldeo del fabricante, en soldeo al arco inducido con férula cerámica o gas de protección.

Una vez alcanzados los requisitos, la autoridad de control confirma la cualificación y simultáneamente emite la cualificación del procedimiento de soldeo para el operador u operadores. La cualificación es válida durante un tiempo indefinido mientras no se hagan modificaciones con un efecto importante en la calidad, se realice un registro de la verificación de la producción, y se realicen ensayos de producción (ensayos de doblado y dos macrografías) al menos una vez al año. El ámbito de validez ampara espárragos de todas las formas y todos los espesores de las piezas de trabajo hasta el espesor mínimo de la placa base para cada diámetro de perno, así como las aleaciones más bajas del mismo grupo de materiales. Para pernos de diámetros hasta 13 mm, los aceros no aleados y los aceros inoxidable (grupo 8) están ambos incluidos también. La reglamentación también intentó cubrir originalmente los materiales base, pero esto fue ignorado, desgraciadamente, en el posterior desarrollo de establecimiento de la norma. Si las muestras de ensayo se sueldan en la posición de soldeo más utilizada, la PA, la cualificación se limita a esa posición de soldeo. Sólo las muestras de ensayo realizadas en la posición de soldeo PC (soldaduras horizontales) son aptas para una cualificación que cubra el resto de posiciones de soldeo.

## ¿Qué estipula la EN ISO 14555:2006 con respecto al aseguramiento de la calidad en el soldeo al arco de pernos? (Parte 2)

### Exámenes y ensayos

Las soldaduras de espárragos deben estar libres de imperfecciones inaceptables, como los socavamientos y los estrechamientos producidos por impedimento del hundimiento. Para alcanzar altos niveles de calidad, resulta inaceptable una sola imperfección que cubra un máximo del 20 % del diámetro del perno con una porción no soldada del 5% de la sección transversal del perno. Los requisitos de calidad limitan a un 10 % la parte de sección transversal no soldada.

### Examen visual

En el transcurso del ensayo visual, se examinan sobre todo la forma y la apariencia exterior del anillo de soldadura. Como es difícil establecer unos criterios de aceptación precisos, los resultados aceptables e inaceptables se indican en la tabla 5 de la EN ISO 14555:2006. Las descripciones de imperfecciones de la

norma son exhaustivas. Generalmente, no es tarea del organismo examinador establecer criterios adicionales por su cuenta.

En el soldeo al arco inducido de espárragos, un anillo brillante es indicativo de buena soldadura (Fig.11). El examen visual se considera aprobado si la longitud del espárrago una vez soldado está dentro de la tolerancia. Una corriente de soldeo demasiado baja puede reconocerse por una superficie del anillo de soldeo mate y porosa (Fig. 12). Además, en estos casos el espárrago queda demasiado largo una vez soldado. Un perno que quede demasiado corto implica que la energía de soldeo es demasiado elevada. Este fallo puede reconocerse porque existe un gran número de salpicaduras por fuera de la férula cerámica (Fig. 13).



**Fig. 11:** Espárragos con un anillo de soldeo completo, brillante, perfectamente soldado con férula cerámica.

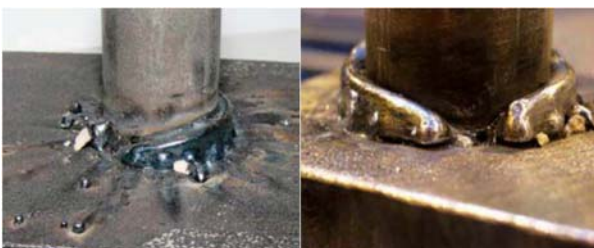


**Fig. 12:** Anillos de soldeo con superficie porosa y mate, resultado de unos ajustes de corriente de soldeo demasiado bajos.



**Fig. 13:** Gran número de salpicaduras por fuera del espacio ocupado por la férula cerámica, debido a una energía de soldeo demasiado elevada.

El sopleo magnético del arco causa una fusión asimétrica del perno. Esto implica un anillo de soldeo asimétrico (Fig. 14). El resultado de problemas en el hundimiento (insuficiente protusión) causado por el cortocircuitado por goteo (izquierda) y el salpicado entre el espárrago y la férula cerámica (derecha) se muestran en la Fig. 15.



**Fig. 14:** Fusión asimétrica y anillo de soldadura incompleto, resultados del sopleo magnético del arco.



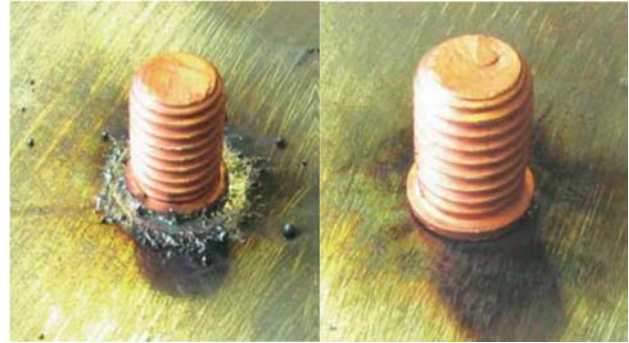
**Fig. 15:** Protusión insuficiente causado por el cortocircuitado del arco por goteo (izquierda) y salpicaduras entre en perno y la férula cerámica (derecha).

En el soldeo al arco con ignición en la punta del espárrago, el cerco de salpicaduras debería ser de 1,0 a 1,5 mm más ancho que el borde del perno soldado (Fig. 16). Un cerco de salpicaduras mayor, con muchas salpicaduras por el exterior del área de soldeo, es indicativo de que la energía de soldadura está

ajustada en valores muy elevados (Fig. 17, izquierda). Si, al contrario, el cerco de salpicaduras es difícilmente visible (Fig. 17, derecha), el suministro de energía ha sido demasiado bajo. El soplo magnético del arco se manifiesta por un cerco de salpicaduras descentrado (Fig. 18, izquierda). Si existe un espacio entre el lado del perno y la pieza de trabajo (Fig. 18, derecha), o ha ocurrido un fallo de protusión o bien un movimiento relativo entre el perno y la pieza de trabajo.



**Fig. 16:** Soldadura impecable de un espárrago con ignición en la punta: cerco de salpicaduras de 1,0 a 1,5 mm más ancho que el borde del espárrago.



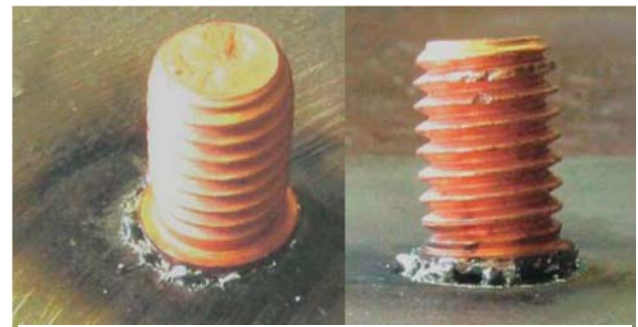
**Fig. 17:** Soldaduras inaceptables debido a una energía de soldeo demasiado elevada (izquierda) o demasiado baja (derecha) en un soldeo al arco con ignición en la punta del espárrago.

### Ensayo de doblado

El ensayo de doblado (Fig. 19) sirve para comprobar la resistencia de la unión, y por lo tanto, los parámetros de soldeo seleccionados. Se debe alcanzar un ángulo de doblado de 60° en el soldeo al arco inducido de pernos, y un ángulo de 30° en el soldeo al arco con ignición en la punta del espárrago. Si existen imperfecciones evidentes en el anillo de soldeo, se debe colocar esta zona en el área de tracción. El criterio de aceptación de una buena soldadura es que tanto el perno como el material base romperán antes que la unión soldada.

Las imperfecciones admisibles definidas por la norma (5% ó 10%, depende de la norma 3834 aplicada), son irrelevantes en un ensayo de doblado, porque la rotura normalmente sólo ocurre en el área de soldeo afectada en mucha mayor proporción. Una rotura en la zona de soldeo no ocurrirá a menos que el área con poros y falta de fusión supere el 20% del área total de soldeo.

En espárragos con punta cónica (como el RD de la EN ISO 13918), no se puede conseguir una deformación homogénea después del doblado. Por lo tanto, a veces no es posible alcanzar el doblado a 60° de la norma, a pesar de una soldadura impecable con pernos de material adecuado. La resistencia de la soldadura debe entonces comprobarse por otros métodos, por ejemplo mediante una deformación plástica suficiente sin llegar al ángulo de doblado



**Fig. 18:** Consecuencias del soplo del arco (izquierda), e impedimentos para el hundimiento (insuficiente protusión) o movimientos relativos entre espárrago y pieza de trabajo durante el soldeo (derecha) en un soldeo con ignición en la punta del espárrago.



**Fig. 19:** Conectores de corte soldados al arco inducido, después de pasar el ensayo de doblado.

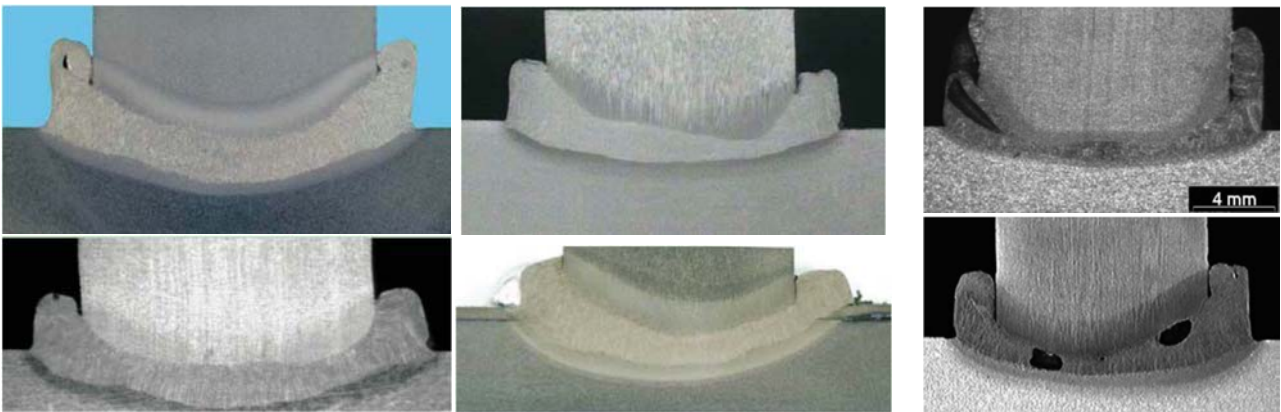


especificado. En los ensayos de producción simplificados, para los espárragos anchos como los conectores de corte de largo 50 mm y 22 mm de diámetro, muy difíciles de doblar, pueden usarse espárragos más largos para la muestra de ensayo.

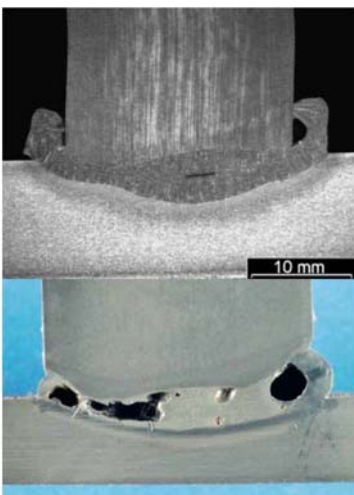
### Examen macrográfico

El examen macrográfico (Fig. 20) sirve para verificar la forma de penetración de la fusión, para la cual, por cierto, no se ha establecido aún un criterio de aceptación. Para evitar grietas de contracción en el centro del área de fusión, la zona fundida debería ser más fina en el centro que en los bordes.

Al contrario que en la versión de 1.998, ahora se establece claramente una ampliación de diez veces como máximo para el examen macrográfico. No obstante, se debe prestar especial atención a los poros (Fig. 21) y a las áreas sin soldar (Fig. 22). Pero como cada muestra de ensayo produce una más o menos aleatoria imagen de la zona de soldeo, esto sirve, en opinión del autor de este artículo, sólo para un muy pequeño grado de verificación de la extensión de las imperfecciones.

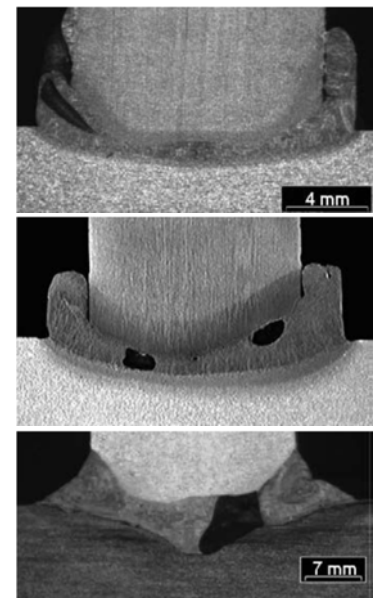


**Fig. 20:** Muestras de ensayo de examen macrográfico de soldaduras de pernos al arco inducido aprobadas como libre de fallos.

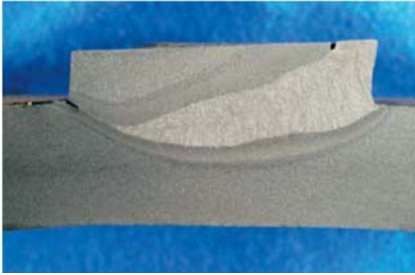


**Fig. 22:** Falta de fusión en la zona de soldeo.

La versión de 1.988 de la EN ISO 14555 contenía una regla estricta: “no se permiten grietas”. Esta regla ha sido ahora sustituida, debido a que la frontera entre grietas y falta de fusión es difícil de establecer, y a que fisuras en caliente paralelas a la dirección de las cargas, por ejemplo, son normalmente inocuas. En tales casos, se necesita un experto ingeniero para una correcta evaluación. Las grietas de contracción en el centro (Fig. 22, arriba) que a veces ocurren sobre todo en grandes baños de fusión, deben considerarse realmente como una falta de fusión, y tienen normalmente un efecto muy pequeño en la capacidad de carga de la unión. El efecto de soplo del arco que aparece en un examen macrográfico se muestra en el figura 23. La protusión insuficiente o movimientos relativos del perno con respecto a la pieza de trabajo después del hundimiento y/o mientras el baño de fusión se está enfriando, también produce soldaduras que fallarán a cargas muy bajas (Figs. 24 y 25).



**Fig. 21:** Poros en soldaduras resueltos por el examen macrográfico.



**Fig. 23:** Socavamiento en el extremo del espárrago soldado causado por el soplo del arco.



**Fig. 24:** Fallos causados por impedimentos para el hundimiento (insuficiente protusión) o movimientos relativos entre espárrago y pieza de trabajo después del hundimiento del espárrago.



**Fig. 25:** Fallos causados por el movimiento relativo entre el espárrago y la pieza de trabajo durante el proceso de enfriamiento.



### Ensayo de tracción

En el ensayo de tracción, los pernos soldados se someten a una tracción axial hasta la fractura (Fig. 26). Para los requisitos completos de calidad (ISO 3834), se considera el ensayo como satisfactorio si la rotura ocurre fuera de las zonas de soldadura y de afección del calor (Fig. 27). Para los requisitos de calidad normales, el ensayo será satisfactorio si se alcanza al menos el valor nominal de la resistencia a tracción del material con que está hecho el espárrago. Para soldaduras de pernos del grupo 8 de materiales, en materiales base de los grupos 1 y 2 (hasta un diámetro máximo de 12 mm), se requieren diez ensayos de tracción.

Esto se estipulaba igualmente en la versión de 1.998 de la EN ISO 14555, y estaba de acuerdo con la condición establecida por la Aprobación Técnica nº Z-30.3-6. La consideración detrás de esta regulación es una creciente susceptibilidad a la rotura frágil de estas uniones blanco-negro (disimilares).

### Examen radiográfico

El examen radiográfico ahora sólo se lleva a cabo en el espárragos sujetos a cargas de agotamiento (de acuerdo con el preámbulo a la edición alemana) y/o a componentes sujetos a cargas de agotamiento (de acuerdo con la tabla 2, edición 6/2008 [4] de la norma. El ensayo de tracción sigue siendo una alternativa aceptable al examen radiográfico en cualquier caso.



**Fig. 26:** Fractura en la zona de fusión producida en el ensayo de tracción, debido a fallos generalizados en la soldadura.

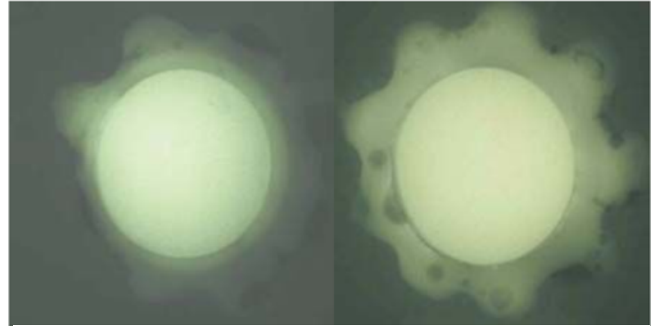


**Fig. 27:** Fractura fuera de la zona de afección del calor y de la zona de soldeo; el ensayo de tracción ha sido satisfactorio.

Antes de la radiografía, se cortan los espárragos justo encima del anillo de soldeo (Fig. 28), y se radiografían verticalmente. El resultado es una imagen completa de la zona de fusión, siendo posible evaluar la extensión de los poros u otras imperfecciones (Fig. 29). El criterio general de aceptación del 5 ó 10 % de zona aceptable con fallos se aplica con este examen. La no exigencia de exámenes radiográficos a los espárragos sometidos a cargas estáticas es una concesión a los EEUU y Japón, donde tales ensayos eran inexistentes hasta ahora.



**Fig. 28:** Espárragos aserrados por encima del anillo de soldeo en preparación del examen radiográfico.



**Fig. 29:** Imágenes radiográficas de espárragos soldados, para la verificación de zonas defectuosas en la soldadura.

### Verificación de la producción.

Para la calidad del trabajo, la EN ISO 14555 ofrece unas pocas instrucciones concernientes a la superficie de la pieza de trabajo, que se debe mantener limpia y seca, y para el manejo de las férulas cerámicas y el gas de protección. La norma estipula una adecuada verificación de la producción, y hace una distinción entre:

- Control del proceso (antes denominado “control del proceso normal”, en la versión de 1.998)
- Control del proceso simplificado, y
- Verificación de la producción.

Antes de empezar un trabajo se realiza un ensayo de producción, ya sea en una estructura en particular o en un grupo de estructuras similares, si no existe experiencia previa con esta aplicación en particular. Ello incluye un mínimo de 10 espárragos para el examen visual y 5 pernos para el ensayo de doblado. En el soldeo al arco inducido de espárragos con férula cerámica o gas de protección, y en el de arco de ciclo corto, se deben realizar también dos soldaduras para examen macrográfico y/o cinco soldaduras para ensayo de torsión.

Antes del inicio de cada turno, se debe realizar un proceso simplificado de control sobre al menos tres espárragos. Esto sirve para comprobar los ajustes correctos y la operatividad del equipo de soldeo (tanto fuente de energía como accesorios portátiles). Incluye un examen visual de todos los espárragos soldados y un ensayo de doblado en al menos tres espárragos soldados. Este número de ensayos de producción simplificado puede sufrir variaciones en función de las reglas de la norma de aplicación o en condiciones contractuales de suministro.

El resultado de la verificación de la producción debe documentarse. La norma proporciona formularios en los que introducir los valores obtenidos, pero también es posible el registro en forma digital. En caso de daños, el productor es el primer y principal obligado a cumplir la normativa. Si no existen registros de verificación de la producción, o son incompletos, le será difícil relegar responsabilidades.



Para el control simplificado de verificación de la producción, el examen visual es suficiente generalmente, pero debe cubrir todas las soldaduras. También es posible la medición de las longitudes de los espárragos soldados o ensayos mecánicos a cargas limitadas, como los ensayos de tracción, ensayos de doblado o ensayos de torsión.

Los parámetros de soldeo más importantes deben comprobarse a intervalos regulares. Se pueden usar equipos de medida y ensayo del control de proceso para la verificación de la producción. No obstante, los soldadores están especialmente advertidos contra la dependencia exclusiva de tales equipos como sustitutos del control simplificado del proceso. Al menos los modelos más sencillos de amperímetros o cronómetros son incapaces de identificar fallos como el del soplo del arco. Más aún, programar los equipos de control requiere de una vasta experiencia en el campo de la supervisión responsable de soldadura.

En un sistema exhaustivo de gestión de la calidad, el equipo de soldeo debe calibrarse a intervalos regulares. En la En ISO 17662 se pueden encontrar los detalles al respecto. El procedimiento de calibración se ha descrito en la edición 4/2.008 [5].

### Acciones correctivas

La norma menciona posibilidades y procedimientos para comprobar soldaduras dudosas y reparar soldaduras con fallos. Un fallo típico como un anillo de soldadura incompleto puede solucionarse con una soldadura en ángulo del suficiente espesor (espesor de garganta igual a un cuarto del diámetro del espárrago). Esto debe hacerse mediante una soldadura manual al arco inducido o soldadura con gas de protección realizada por un operador de soldeo cualificado. Especialmente en el caso de pernos delgados, debe tenerse en cuenta el efecto debilitador causado por la mayor aportación de calor de este sistema comparado con la del soldeo de pernos. También será normal identificar y solucionar las causas de imperfecciones.

En algunos casos individuales, está permitido incluso soldar los espárragos totalmente con soldadura en ángulo, por ejemplo donde no sea posible el uso del equipo de soldeo de pernos por la posición de soldeo o insuficiente suministro eléctrico en la obra. Sin embargo, debe observarse lo que tanto en la aprobación técnica general para componentes metálicos como en las normativas pertinentes para las construcciones mixtas de algunos países, como por ejemplo Alemania, se estipula expresamente para el soldeo de espárragos para conectores de corte. La producción de vigas mixtas o componentes de acero con conectores sin equipos de soldeo acorde a norma no está permitida por estas ordenanzas técnicas.

### Resumen

La EN ISO 14555:2006 es una norma apropiada para una producción segura y un examen adecuado de las soldaduras de espárragos en todos y cada uno de sus campos de aplicación. Cumplir los procedimientos de las normas asegura a los productores estar en vanguardia.

R. Trillmich, Ennepetal/Alemania

**Bibliografía:**

- [1] Trillmich, R.: *Bolzenschweißen im Bauwesen – Sicheres Bolzenschweißen unter Werkstatt- und Baustellenbedingungen. "der praktiker" 52, No. 6, pp. 223/29, 2000.*
- [2] Klier, R.: *Lichtbogenschweißen – Teil 2: Einflussgrößen und ihre Auswirkungen auf das Fügeergebnis. "der praktiker" 59, No. 12, pp. 386/90, 2007.*
- [3] Trillmich, R. and Welz, W.: *Bolzenschweißen – Grundlagen und Anwendung. Fachbuchreihe Schweißtechnik, Band 133. DVS-Verlag, Düsseldorf, 1997.*
- [4] Trillmich, R.: *What does the DIN EN ISO 14555:2006 standard stipulate in respect of quality assurance in stud welding? (Part 1). Welding and Cutting, 7 (2008) No. 6, pp. 332/336.*
- [5] Trillmich, R.: *Experience with the calibration of stud welding equipment, Welding and Cutting 7 (2008) No. 4, pp. 205/209.*

**Aseguramiento avanzado de la calidad en el soldeo al arco inducido en los modelos INOTOP y ELOTOP de KÖCO.**

Durante años, el soldeo al arco inducido ha sido un proceso de buena aceptación para soldar conectores de corte en la construcción mixta, y para ejecutar componentes de acero en la construcción de buena calidad. Las ventajas destacadas son su alta eficiencia y seguridad. Una regla básica es que la capacidad de absorber cargas de una buena soldadura de espárragos es mayor que la del perno o la del material base.

Aunque las normas (como la EN ISO 14555) y recomendaciones establecen cómo inspeccionar y ensayar las soldaduras de espárragos, muchos de los ensayos propuestos (de doblado, radiográficos, macrográficos) son destructivos, y por lo tanto sólo se pueden realizar en muestras aleatorias. No es posible comprobar completamente la calidad de la soldadura en cada espárrago por estos métodos de ensayo.

La calidad de cada soldadura depende en primer lugar de la correcta elección de parámetros, Además, el equipo de soldadura debe estar en perfecto estado, de tal forma que los parámetros de ajuste se alcancen de forma consistente. Por último, la pieza de trabajo debe estar adecuadamente preparada, habiendo eliminado el óxido, las incrustaciones y la humedad, por ejemplo.

Donde no se cumpla alguno de estos requisitos, no se pueden descartar irregularidades inaceptables en la zona de soldadura. El mantenimiento inadecuado de la pistola de soldeo, con frecuencia implica una inconsistencia creciente en la calidad de la soldadura, incluyendo el riesgo de que los operadores del equipo de soldeo se vayan acostumbrando a unos resultados cada vez peores. Cuando los fallos ya son obvios, se requerirá un costoso trabajo de reparación, y en el peor de los casos ocurrirá el fallo total de la soldadura. Desgraciadamente, el personal u operarios desentrenados, no familiarizados con los detalles de la soldadura de pernos, disminuyen peligrosamente la fiabilidad del proceso de producción.

Para dotar a los soldadores de una documentación completa de sus soldaduras de espárragos, Köco ofrece un sistema de vigilancia y documentación del proceso de producción en sus equipos INOTOP de soldeo de pernos (también como opción en sus modelos ELOTOP). Esto no significa de ninguna manera, que se puedan obviar los ensayos destructivos. Al contrario, el almacenamiento y evaluación de todos los valores reales aumenta la transparencia de documentar el proceso, como se establece en la EN ISO 14555, apartados

14.5.2 (Los parámetros de soldeo relevantes deben controlarse de forma regular. Pueden registrarse con un equipo adecuado) y 14.6 (El fabricante debe guardar el registro de la verificación de la producción).

En primer lugar, el sistema de vigilancia del proceso incluye una herramienta de medición que registra a lo largo del tiempo de soldeo, la evolución de corriente y voltaje de soldeo, con gráficos de alta resolución. Una vez que ha transcurrido el tiempo de soldeo, se calculan la energía de soldeo y los valores medios de corriente y voltaje de soldeo. Evaluando la forma de la curva, se ajusta el cálculo para evitar el efecto de la caída de tensión en los cables de soldeo, de forma que sólo se muestra la energía consumida por el arco inducido, sin tener en cuenta las variaciones en la configuración.



Un análisis de los valores reales medidos en cada soldadura para los propósitos de estimación de la calidad, estará seguramente por encima de la capacidad de cualquier operador del equipo de soldeo.

Por lo tanto, en el sistema de vigilancia del proceso está incluida una unidad de evaluación que compara los valores reales obtenidos con los valores de referencia almacenados. Si uno sólo de los valores reales se desvía de los márgenes de tolerancia, el operador del equipo recibe una señal de alarma inmediatamente, y la continuación del trabajo es sólo posible confirmando que se ha percibido la señal. Así se evita la posibilidad de ignorar los fallos involuntariamente, incluso cuando el operador del equipo está a una distancia considerable de éste.

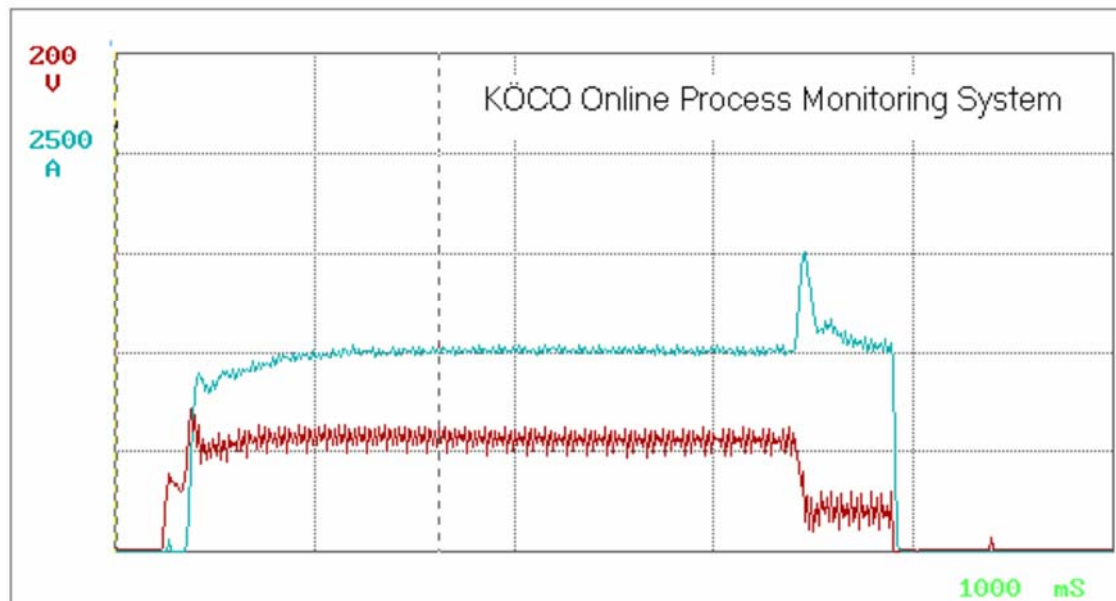
Causas posibles de fallos son, por ejemplo: una elevación demasiado pequeña (lo que produce un arco inducido demasiado corto, conllevando un cortocircuitado por goteo, insuficiente energía de soldeo, y fallo en la unión); fallo en el suministro de corriente debido a sobrecargas (lo que conlleva una caída sustancial de la energía de soldeo, desestabilización del proceso de soldeo, salpicado); y obstáculos en los movimientos del pistón (lo que produce inmersión en frío, formación de poros, fallo en la unión).

El sistema de vigilancia del proceso es de especial interés junto con los aparatos de calibración del equipo de soldeo, lo cual es necesario hacer de forma regular de acuerdo con EN ISO 17662. El supervisor del soldeo obtiene de esta manera información sobre la conformidad de los valores reales con los valores de ajuste, sin prácticamente ningún esfuerzo adicional por su parte. El deterioro gradual de los resultados por culpa del desgaste es detectado tan pronto como se produce.

Para una evaluación precisa por métodos estadísticos, todos los parámetros pueden almacenarse en una tarjeta de memoria. Incluso es posible conseguir un registro gráfico de las curvas de evolución de corriente, voltaje y movimiento del espárrago.

En resumen: El sistema de vigilancia del proceso de soldeo de Köco permite obtener un registro completo de los resultados alcanzados en el soldeo y tomar las medidas correctivas inmediatamente, cuando se producen desviaciones fuera de las tolerancias permitidas. Los signos del desgaste se reconocen en una fase temprana, la calibración necesaria es fácil de ajustar y los fallos de procedimiento desencadenan señales de error. Por lo tanto, el sistema de vigilancia del proceso aumenta la fiabilidad del proceso de soldadura de espárragos.





Gráficos de un proceso de soldeo de espárragos con conectores de corte de 16 mm de diámetro. Intensidad, tiempo y voltaje son los valores instantáneos en la posición del cursor. Tiempo de soldeo y energía de soldeo son constantes para todo el ciclo.

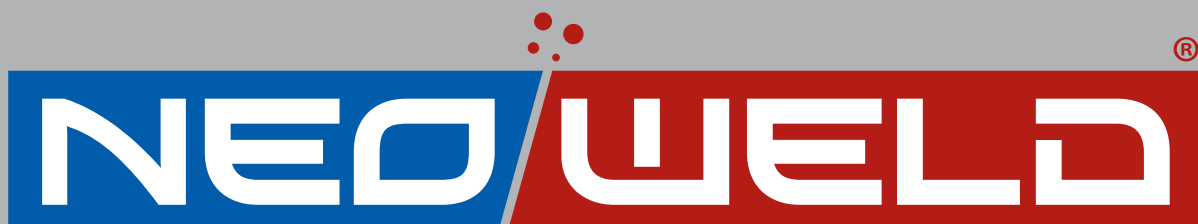
27.04.2004	No.	Channel/set	Current	Time	Arc/volt.	Lift	Energy	Error code
			/A	/ms	/V	/mm	/ws	
10:31:51								
10:31:51	33362	1:19	1620	884	30,2	3,6	43249	
10:32:14	33363	1:19	1617	876	29,8	3,7	42211	
10:35:27	33364	1:19	1619	888	31,9	3,5	45862	
10:35:45	33365	1:19	1620	891	34,1	3,7	49221	
10:36:05	33366	1:19	1618	868	30,7	3,8	43116	
10:36:27	33367	1:19	1619	884	30,1	3,8	43079	
10:36:57	33368	1:19	1620	887	32,7	3,8	46988	

Ejemplo de impresión de vigilancia del proceso soldando conectores de corte de 19 mm. No se detectaron desviaciones fuera de tolerancias.

**Neoweld Soldadura, S.L.** es distribuidor oficial en España de productos de las marcas **Hilbig** y **KÖCO**

**Neoweld soldadura S.L.** Les ofrece:

- ✓ Venta y alquiler de máquinas para soldadura de pernos por arco o por descarga de condensadores.
- ✓ Pistolas adecuadas a cada máquina y trabajo a realizar.
- ✓ Los repuestos para máquinas y pistolas.
- ✓ Pernos y fijaciones en aluminio, acero, acero inoxidable, etc.
- ✓ La formación y asesoramiento en soldadura de pernos y fijaciones.
- ✓ Servicio de reparación de máquinas y pistolas.



Neoweld Soldadura, S.L.  
Pol. Ind. de Sigüeiro  
C/ Otero Pedrayo, 32  
15888 Sigüeiro, A Coruña.  
Tel (+34) 881 977 401 Fax (+34) 981 691 943  
[www.neoweld.es](http://www.neoweld.es)      [info@neoweld.es](mailto:info@neoweld.es)

