

APLICACIÓN PARA EL DISEÑO DE TECNOLOGÍAS DE SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO METÁLICO REVESTIDO

Alexey Laguardia Ibáñez¹, Ramón Quiza Sardiñas², Marcelino Rivas Santana³

*1. Empresa Comercializadora de Combustible, Zona Industrial, Matanzas.
alexey@divmtzas.empet.cupet.cu*

2. Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS), Universidad de Matanzas, Autopista a Varadero km 3½, Matanzas 44740, Cuba. ramon.quiza@umcc.cu

3. Centro de Estudio de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS), Universidad de Matanzas, Autopista a Varadero km 3½, Matanzas 44740, Cuba. marcelino.rivas@umcc.cu



Resumen

El diseño de tecnologías de soldadura por arco con electrodo revestido a una tarea común en la fabricación de una amplia variedad de estructuras metálicas y componentes mecánicos. La formalización y elaboración de las correspondientes especificaciones, aunque de gran importancia, suele ser un trabajo lento, muy susceptible a errores e imprecisiones humanas. Este trabajo presenta el diseño, el desarrollo y las pruebas preliminares de una aplicación informática para el diseño de tecnologías de soldadura por arco con electrodo revestido, de aceros. La aplicación, denominada Opifex Spark/SMAW, fue desarrollada utilizando el lenguaje C++ y la plataforma Qt, y es distribuida bajo la licencia pública general GNU. Se añadieron bases de datos para ayudar en la selección de materiales, máquinas y electrodos. Se obtuvieron versiones tanto para MS Windows como para Linux. El software permite no sólo calcular el régimen de soldadura y determinar los costos del proceso, sino también ayuda a seleccionar la preparación de bordes y los electrodos más adecuados para utilizar, según las recomendaciones y lineamientos obtenidos de normativas y manuales. Los resultados de la aplicación son utilizados para conformar una carta tecnológica del proceso de soldadura que puede ser impresa o exportada. Las pruebas de funcionamiento, ejecutados no sólo por el equipo de desarrollo sino también por personal independiente de la academia y la industria, permitieron verificar el buen desempeño de la aplicación y las ventajas de su uso. Como una próxima etapa, se considera la introducción práctica en varias empresas de fabricación.

Palabras claves: SMAW; Aplicación informática; Tecnología de soldadura; Acero

1 Introducción

La soldadura por arco con electrodo metálico revestido (shielded metal arc welding, SMAW) es uno de los procesos mecánicos más comunes utilizados para la unión de elementos metálicos. Esto se debe a sus múltiples ventajas, dentro de las que cabe destacar la flexibilidad de su aplicación que incluye todas las posiciones y un amplio rango de espesores, el relativamente bajo costo del equipamiento necesario y la posibilidad de utilizarse tanto en talleres como a pie de obra (Cary, 1998).

El diseño de tecnologías de SMAW es relativamente sencillo (al menos, si se compara con otros procesos de manufactura, como el maquinado o la conformación) (Vimal et al., 2017), pero es realizado usualmente a un grupo grande de costuras en cada elemento constructivo. Esto hace que, acumulativamente, se vuelva una tarea tediosa y propensa a errores e imprecisiones humanas debidas a la repetición y el cansancio. Debe sumársele, a lo anterior, que la consulta de normativas y manuales para la selección de preparaciones de bordes y consumibles hace aún más lento y engorrosa la tarea de diseñar tecnologías de soldadura.

Un aspecto a tener en cuenta, en los procesos de soldadura, es que, la importancia de las uniones realizadas (por el impacto de seguridad humana, ambiental o económico que puede

tener un fallo), hace que la formalización de la tecnología, en especificaciones o cartas tecnológicas sea imprescindible (incluso, muchas veces legalmente obligatorio) con el fin de garantizar la trazabilidad del proceso de cara a posibles auditorías técnicas (Singh, 2012).

Considerando todo lo anterior, resulta evidente la conveniencia de automatizar el proceso de diseño de tecnologías de SMAW, en forma de una aplicación informática, de modo que permita acelerar el proceso y mejorar la precisión y confiabilidad de los resultados. Aunque existen productos de software con este propósito, su costo es elevado y no siempre se adaptan a los requerimientos de la industria cubana.

Se propone, entonces, como objetivo del presente trabajo, diseñar, implementar y realizar las pruebas preliminares a una aplicación informática para el diseño de tecnologías de SMAW para la unión de partes de acero.

2 Breve descripción de la metodología utilizada

Para el diseño de las tecnologías de SMAW, se utilizaron las indicaciones dadas por las normativas cubanas (NC-ISO 6947, 2004; NC-ISO 9692-1, 2011) e internacionales (AWS D1.1/D1.1M, 2015; ASME BPVC.IX, 2015), así como las recomendaciones dadas por la literatura especializada (Justel Ramos, 2012; Cary, 1998; Burgos Sola, 1987).

El algoritmo general del diseño de tecnología de SMAW, consiste en cinco etapas fundamentales. La primera etapa consiste en la entrada de los datos requeridos para diseñar la tecnología: la geometría de la unión, las propiedades del metal base y las características de la máquina de soldadura a utilizar.

En la segunda etapa, se selecciona la preparación de bordes a utilizar y se determina el esquema de soldadura para la costura (es decir, si se utilizarán pasadas de raíz, de relleno y de sellado). En la tercera etapa, se seleccionarán los electrodos a utilizar en cada una de las etapas y se calculará el número de pasadas.

En la cuarta etapa, para cada uno de los cordones a realizar, se selecciona el electrodo a utilizar y se calculan los parámetros tecnológicos (intensidad de la corriente, consumo de electrodos y de energía eléctrica, y costos del proceso). Finalmente, en la quinta etapa, se determina parámetros tecnológicos comunes para toda la costura y se selecciona el equipamiento auxiliar.

Una descripción más completa del algoritmo a utilizar ha sido dada previamente por Laguardia y coautores (2016).

3 Descripción de la interfaz gráfica de usuario

La aplicación desarrollada para diseñar tecnologías de SMAW recibió el nombre de Opifex Spark/SMAW. Fue implementada en lenguaje C++, utilizando el entorno de desarrollo y las librerías de Qt. Aprovechando las funcionalidades de Qt, la aplicación se concibió como multiplataforma, pudiendo funcionar en MS Windows o en Linux.

La aplicación cuenta con una ventana principal (Fig. 1) cuyo contenido es la carta tecnológica del proceso de soldadura. Dicha carta ha sido elaborada siguiendo las recomendaciones de la ASME BPVC.IX (2015) y se va llenando según se van entrando los datos correspondientes y realizando los cálculos necesarios para determinar los parámetros del régimen de soldadura y los costos del proceso.

DATOS				ELECTRODOS								
GEOMETRÍA DE LA UNIÓN				PASADAS DE RAÍZ		PASADAS DE RELLENO		PASADAS DE SELLADO				
TIPO DE UNIÓN				MARCA								
POSICIÓN				FABRICANTE								
DIMENSIONES				CÓDIGO AWS								
ESPESOR DE LA PLANCHA			mm	DIÁMETRO			mm	mm				
LONGITUD DE LA COSTURA			mm									
MATERIAL BASE				RÉGIMEN DE SOLDADURA								
NORMA				PASADAS			TOTAL	UNIDAD				
MARCA				DE RAÍZ	DE RELLENO	DE SELLADO						
TIPO DE MATER.				CANTIDAD DE PASADAS			-	-				
MÁQUINA DE SOLDADURA				INTENSIDAD DE CORRIENTE			-	-	A			
MARCA/MODELO				POLARIDAD			-	-				
RANGO CORR.				CONSUMO DE ELECTRODO					kg			
TIPO DE CORR.				CONSUMO DE ELECTRICIDAD					kWh			
COSTURA				TIEMPO TECNOLÓGICO					min			
PREPARACIÓN DE BORDES				TIEMPO AUXILIAR	-	-	-	-	min			
CÓDIGO	NORMA	NC-ISO 9692-1 2011		TIEMPO DE SERVICIO	-	-	-	-	min			
CROQUIS				TIEMPO DE DESCANSO	-	-	-	-	min			
				TIEMPO TOTAL	-	-	-	-	min			
				PRECALENTAMIENTO			REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS					
				TEMPERATURA								
				TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR								
				TEMPERATURA								
				TIEMPO DE PERMANENCIA								
				COSTOS								
				COSTO DE ELECTRODO								
				COSTO DE MANO DE OBRA								
				COSTO DE ELECTRICIDAD								
				COSTO TOTAL								
				EQUIPAMIENTO AUXILIAR								
				PORTAELECTRODO								
				CABLE								
				FILTRO VISUAL								
					NOMBRE	FRMA	FECHA					
				TECNÓLOGO								
				SOLDADOR								
				SUPERVISOR								
				RESPONSABLE								
							PROCESO					
							SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO REVESTIDO					
							OBJETO					
							COSTURA					

Figura 1 Ventana principal de la aplicación

La ventana principal dispone, además, de una barra de menú donde se muestran las diferentes opciones de la aplicación y una barra de herramientas que permite acceder a las opciones más utilizadas.

Para la entrada de datos, se cuenta con un grupo de cuadros de diálogo. El primero de ellos permite especificar los datos de llenado del cajetín (código del documento, nombre del artículo, código de la costura, nombre del personal que interviene en el proceso de soldadura y fecha en que se realiza -si corresponde-).

El siguiente diálogo permite establecer la geometría de la unión (Fig. 2). Esto incluye el tipo de junta (a tope, a solape, en ángulo, en T, en tubo a tope o en tubo en esquina). También se establece la posición según lo normado en la NC-ISO 6947 (2004). Finalmente, se especifican el espesor de la plancha a soldar y la longitud de la costura.

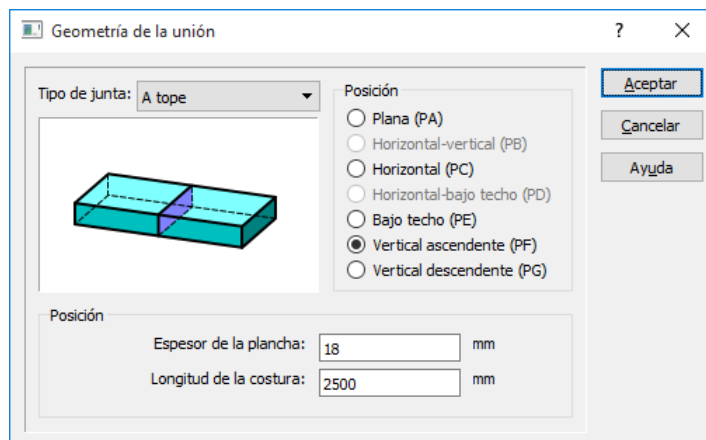


Figura 2 Diálogo de geometría de la unión

Otro cuadro de diálogo permite establecer las características del material base, las cuales incluyen el tipo de material (acero al carbono, bajoaleado o inoxidable), su designación (norma y marca), la composición química del mismo y su resistencia a la rotura.

Una importante opción de este cuadro de diálogo permite cargar el material de una base de datos, a través de otro diálogo, lo cual acelera el proceso de entrada de datos y facilita el trabajo del usuario.

La última utilidad de entrada de datos es el diálogo que permite establecer las características de la máquina de soldadura. Estas incluyen la marca, el fabricante, el tipo de corriente suministrada y el rango de la misma.

Al igual que en la entrada del material base, la entrada de los datos de la máquina incluye una opción para cargar las características desde la base de datos.

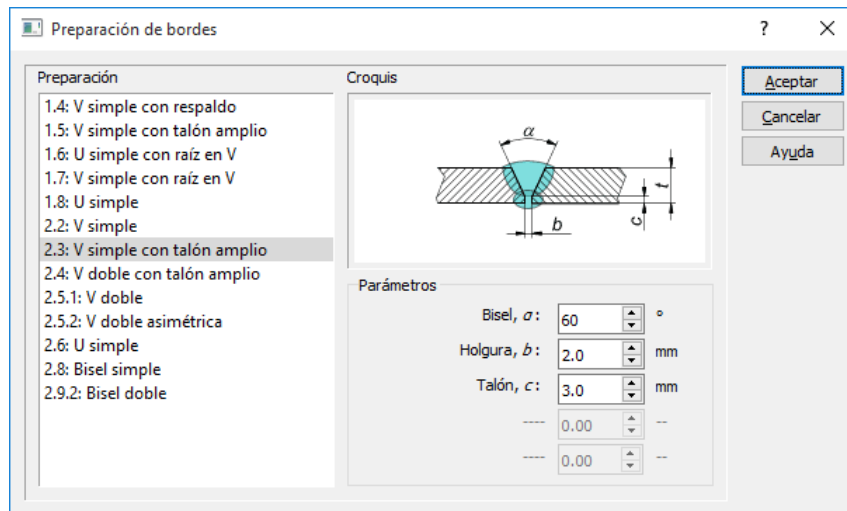


Figura 3 Diálogo de selección de la preparación de bordes

Cuando se completa la entrada de los datos, se habilitan las opciones que permiten diseñar la tecnología. En primer lugar, se cuenta con la opción de seleccionar la preparación de bordes a emplear. En el cuadro de diálogo correspondiente (Fig. 3), se muestran las preparaciones admisibles, según establece la NC-ISO 9692-1 (2011) y de acuerdo con el tipo de unión y el espesor de plancha a soldar. El usuario selecciona una de las preparaciones recomendadas y, luego, establece los valores de los parámetros geométricos de la unión dentro de los intervalos indicados por la citada norma.

Una vez establecida la preparación de bordes, se procede a seleccionar el electrodo a utilizar (Fig. 4). Para ello, en dependencia de la preparación seleccionada, se especifica si se desea utilizar el mismo electrodo para todo el proceso, o diferentes electrodos para raíz, relleno y sellado (respaldo).

En cada uno de los casos, el electrodo se selecciona a partir de aquellos extraídos de la base de datos y que cumplen con los criterios de selección con respecto al diámetro, la resistencia mecánica, la posición de soldadura, el tipo de pasada y el rango de corriente que suministra la máquina de soldadura. En todos los casos, estas recomendaciones son optativas y el usuario puede elegir no seguir alguna de ellas o, incluso, ninguna.

Una vez seleccionados los electrodos, el programa permite calcular el régimen de soldadura (cantidad de pasadas, intensidad de corriente y polaridad) de cada tipo de pasada. También permite calcular los consumos de electrodo y energía eléctrica así como los tiempos del proceso.

También el programa permite calcular la temperatura de precalentamiento y el tratamiento térmico posterior. Finalmente, se pueden calcular los costos del proceso.

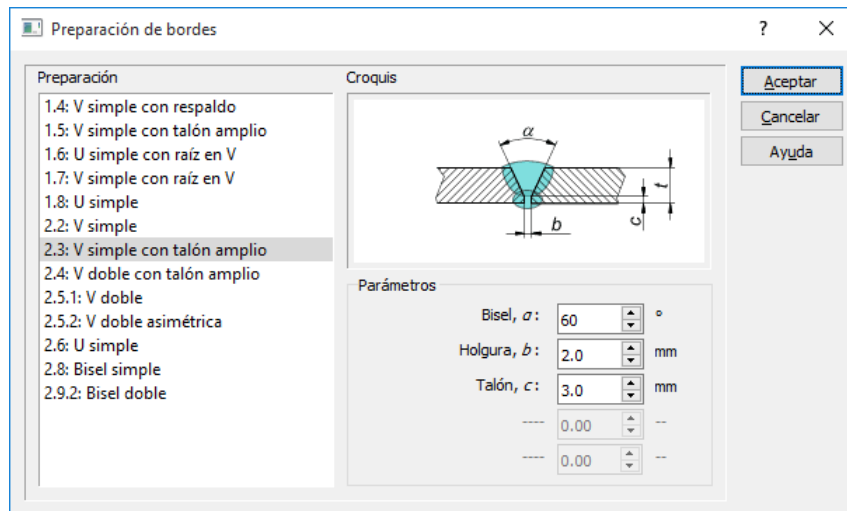


Figura 4 Diálogo de selección de electrodos

El programa también da la opción de seleccionar el equipamiento auxiliar a utilizar, lo cual incluye el tipo de portaelectrodo (tenaza), el filtro visual y el calibre de cable para la longitud dada.

Una última opción que ofrece la aplicación es la indicación de requerimientos tecnológicos textuales, para lo cual dispone, también, de un cuadro de diálogo.

La aplicación cuenta con la opción de guardar y abrir los archivos de trabajo que contienen los datos y la tecnología diseñada. Para eso, se utiliza el formato de texto JSON.

Otra opción que ofrece el programa es imprimir o exportar (como documento de formato portable, PDF, o formato de intercambio de dibujo, DXF) la carta tecnológica creada como resultado del uso del programa (Fig. 5).

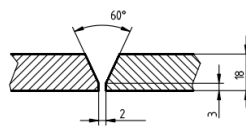
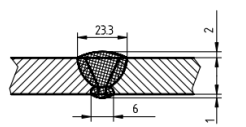

DATOS				ELECTRODOS						
GEOMETRÍA DE LA UNIÓN				PASADAS DE RAÍZ		PASADAS DE RELLENO		PASADAS DE SELLADO		
TIPO DE UNIÓN	A TOPE			MARCA	Vitichs 6010	Vitichs 7016	Vitichs 7016			
POSICIÓN	VERTICAL ASCENDENTE (PF)			FABRICANTE	Cometal Vitichs	Cometal Vitichs	Cometal Vitichs			
DIMENSIONES				CÓDIGO AWS	E-6010	E-7016	E-7016			
ESPESOR DE LA PLANCHAS	18	mm		DIÁMETRO	6	6	4		mm	
LONGITUD DE LA COSTURA	2500	mm		RÉGIMEN DE SOLDADURA						
MATERIAL BASE				PASADAS						
NORMA	AISI			DE RAÍZ	DE RELLENO	DE SELLADO	TOTAL	UNIDAD		
MARCA	1020			CANTIDAD DE PASADAS	1	3	1	5	-	
TIPO DE MATER.	ACERO AL CARBONO			INTENSIDAD DE CORRIENTE	375	375	220	-	A	
MÁQUINA DE SOLDADURA				POLARIDAD	CC+ (CCEN)	CC+ (CCEN)	CC+ (CCEN)	-	-	
MARCA/MODELO	Kemppi/Kemppi PS-5000			CONSUMO DE ELECTRODO	124	4.5	0.31	6.05	kg	
RANGO CORR.	(10 - 500) A			CONSUMO DE ELECTRICIDAD	4.33	15.75	1.08	21.16	kWh	
TIPO DE CORR.	CC (CONTINUA)			TIEMPO TECNOLÓGICO	22.1	79.8	7.3	109.2	min	
COSTURA				TIEMPO AUXILIAR	-	-	-	32.8	min	
PREPARACIÓN DE BORDES				TIEMPO DE SERVICIO	-	-	-	4.4	min	
CÓDIGO	23	NORMA	NC-ISO 9692-1 2011	TIEMPO DE DESCANSO	-	-	-	10.9	min	
CROQUIS				TIEMPO TOTAL	-	-	-	157.3	min	
				PRECALENTAMIENTO		REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS				
				TEMPERATURA	-	°C	1. ELIMINAR GRIETAS Y POROS VISIBLES ANTES DE CONTINUAR.			
				TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR		2. ELIMINAR LA ESCORIA, ENTRE PASADAS, POR PROCEDIMIENTOS MECÁNICOS.				
				TEMPERATURA	-	°C	COSTOS			
				TIEMPO DE PERMANENCIA	-	min				
				COSTO DE ELECTRODO	19.32	CUP				
				COSTO DE MANO DE OBRA	9.18	CUP				
				COSTO DE ELECTRICIDAD	254	CUP				
				COSTO TOTAL	3104	CUP				
				EQUIPAMIENTO AUXILIAR		PROCESO				
				PORTAELECTRODO	Grande		SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO REVESTIDO			
				CABLE	1/0 x 15 m					
				FILTRO VISUAL	No. 11					
				TECNÓLOGO	R. QUIZA	FIRMA	FECHA	BTK-T12-190		
				SOLDADOR	R. PÉREZ		2017.08.07	OBJETO	TANQUE DE 10000 M3	
				SUPERVISOR	M. RIVAS			COSTURA	190	
				RESPONSABLE	E. TORRES					

Figura 5 Documento en formato portable (PDF) exportado por la aplicación

Conclusiones

La aplicación desarrollada cuenta con una interfaz cómoda y amigable, que permite realizar el diseño de una tecnología de soldadura por arco con electrodo revestido en un tiempo muy reducido. A esto ayuda, además, la existencia de bases de datos de materiales, máquinas de soldadura y electrodos, que facilitan la introducción de las características y la selección de los mismos.

En estos momentos, el software está siendo aplicado con fines docentes, en la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Matanzas, con el objetivo de comprobar sus potencialidades y verificar su funcionamiento.

Recomendaciones

Se deriva, como recomendación evidente del trabajo, la introducción del programa en el entorno industrial para comprobar su aplicación práctica y para recabar retroalimentación sobre correcciones necesarias o mejoras que faciliten en trabajo con la misma. Se debe

considerar, también la extensión del programa para su aplicación a otros materiales como las aleaciones de aluminio y cobre.

Bibliografía

ASME BPVC.IX (2015). *Boiler and pressure vessel code. Section IX: Qualification standard for welding and brazing procedures, welders, brazers, and welding and brazing operators*. New York (USA): The American Society of Mechanical Engineers.

AWS D1.1/D1.1M (2015): *Structural welding code - Steel*. Miami, FL (USA): American Welding Society.

BURGOS SOLA, J. (1987). *Tecnología de soldadura*. La Habana (Cuba): Pueblo y Educación.

CARY, H.B. (1998). *Modern welding technology*. 4th Ed. Upper Saddle River, NJ (USA): Prentice-Hall, ISBN 0-13-241803-7

JUSTEL RAMOS, M.A. (2012). *Soldadura: Manual para operarios y técnicos*. La Habana (Cuba): Editorial Científico-Técnica, ISBN 978-959-05-0654-3.

LAGUARDIA, A; LÓPEZ, O; PÉREZ, J.E.; QUIZA, R (2016). Algoritmización de la metodología para el diseño de tecnologías de soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido de aceros, *CD de Monografías 2016*, Universidad de Matanzas, Matanzas (Cuba), ISBN 978-959-16-3242-5

NC-ISO 6947 (2004). *Soldaduras - Posiciones de trabajo - Definición de los ángulos de pendiente y de rotación*. La Habana (Cuba): Oficina Nacional de Normalización.

NC-ISO 9692-1 (2011). *Soldadura y procesos afines - Recomendaciones para la preparación de la unión. Parte 1: Soldadura por arco con electrodos revestidos, soldadura por arco protegido con gas y electrodo de aporte, soldadura por llama, soldadura por arco con gas inerte y electrodo de volframio y soldadura por haz de alta energía de aceros*. La Habana (Cuba): Oficina Nacional de Normalización.

SINGH, R. (2012). *Welding and joining processes: Processes, codes, and standards*. Waltham, MA (USA): Butterworth-Heinemann, ISBN 978-0-12-391916-8.

VIMAL, K.E.K.; VINODH, S. & RAJA, A. (2017). Optimization of process parameters of SMAW process using NN-FGRA from the sustainability view of point. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(6), 1459-1480. doi: 10.1007/s10845-015-1061-5