

Preheating temperature using Smaw process on AISI9260 steel: microstructure, hardness, and susceptibility to cold cracking

Breitner Guillermo Diaz Rodriguez.¹; Maguiña Gerónimo Giovanni Boris, Mg²; Florián Plasencia Ernestina Haydee, Dra³; Aldo Roger Castillo Chung, Msc⁴; Luis Wilfredo Aguilar Rodríguez, Dr.^{5*}
^{1,2,3} Departamento de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Católica de Trujillo, Perú, b.diaz@uct.edu.pe,
g.maguina@uct.edu.pe, haydeeinvestigacion@gmail.com,
^{4,5} Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, alocas@unitru.edu.pe,
laguilar@unitru.edu.pe

*corresponding author:

laguilar@unitru.edu.pe

Av. Juan Pablo s/n, Phone 044 633952

Abstract: microstructure, susceptibility to cold cracking, hardness, and HAZ extension in the joint of AISI 9260 steel plates welded by SMAW process with E7018 filler electrode has been studied. A one-factor design with 5 levels of the variable (100°C, 140 °C, 180°C, 220°C, and 260°C), three experiment replicates, and three process control tests was used, resulting in 18 total tests. Each specimen, according to WIC standard, consists of two AISI 9260 steel plates of 50.0 x 76.0 x 12.5 mm, joined in a "V" shape with a root separation of 1.0 mm, mounted on a cooling plate made of A36 steel with dimensions of 70.0 x 180.0 x 12.5 mm. The initial temperature before preheating was 9°C. The welding was performed according to a randomized test design, executing 3 multi-pass welds and controlled start and interpass preheating before placing on an aluminum rail at 14°C. The hardness profiles versus microstructure at 4 selected points (ZF, HAZ, HAZ final line, and MB) show the relationship between hardness and microstructural changes due to preheating temperatures, process energy, and filler material. Microcracks were observed in the HAZ of almost all specimens. In the HAZ, new microconstituents generated zones of extreme hardness under the weld bead and low hardness zones due to overtempering. The measured distances from the center of the weld bead to these zones and to the maximum HAZ end increased as preheating temperature increased from 9°C to 260°C for SMAW. In the ZF, columnar zones and refined zones with typical microconstituents were observed, and the resulting hardness values were low, with minimum hardness values of 182 Hv5.0 and 186 Hv5.0 after using the SMAW process and remained approximately constant. The hardness levels in ZF for SMAW were not at an acceptable level for the welded joint service. An optimal preheating temperature in the temperature range studied for the given study conditions has not been determined. At temperatures above 426°C, there may be risks of overtempering, and the AISI 9260 steel would rapidly lose toughness. The elasticity conditions of the joint in HAZ and ZF for SMAW process due to the cooling rail at 14°C were affected compared to the base metal in the supply state, rendering the structure unusable for service.

Keywords: Steel; elasticity; process; welding; temperature; preheating; interpass; microstructure; hardness; cracking.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).

DO NOT REMOVE

Temperatura de precalentamiento con proceso Smawen acero AISI 9260: microestructura, dureza y susceptibilidad a fisuración en frío

Breitner Guillermo Diaz Rodriguez.¹; Maguina Gerónimo Giovanni Boris, Mg²; Florián Plasencia Ernestina Haydee, Dra³; Aldo Roger Castillo Chung, Msc⁴; Luis Wilfredo Aguilar Rodríguez, Dr.^{5*}

^{1,2,3}Departamento de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Católica de Trujillo, Perú, b.diaz@uct.edu.pe, g.maguina@uct.edu.pe, haydeeinvestigacion@gmail.com

^{4,5}Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, alrocas@unitru.edu.pe, laguilar@unitru.edu.pe

*corresponding author:

laguilar@unitru.edu.pe

Av. Juan Pablo s/n, Phone 044 633952

INTRODUCCION

Resumen: Se ha estudiado la influencia de la temperatura de precalentamiento sobre la microestructura, susceptibilidad a la fisuración en frío, dureza y extensión de ZAC en la unión de planchas de acero AISI 9260, soldadas mediante proceso SMAW con electrodo de aporte E7018. Se utilizó diseño unifactorial con 5 niveles de la variable (100 °C; 140 °C; 180°C; 220°C y 260°C), tres réplicas del experimento y tres pruebas testigo para el proceso, obteniéndose 18 pruebas en total. Cada probeta, según norma WIC, consta de dos planchas de acero AISI 9260 de 50,0 x 76,0 x 12,5 mm, junta en "V" y separación de raíz de 1,0 mm, montados sobre una plancha enfriadora, de acero A36, de dimensiones 70,0 x 180,0 x 12,5 mm. La temperatura inicial, antes de precalentamiento fue de 9°C. El soldeo se realizó según el diseño de aleatorización de pruebas, ejecutando 3 cordones en multipase y precalentamientos controlados de inicio y de interpase para luego colocar en carril de aluminio a 14°C. En los perfiles de dureza versus microestructura en 4 puntos selectos (ZF, ZAC, línea final ZAC y MB), muestran la relación entre la dureza y cambios microestructurales debido a las temperaturas de precalentamiento, energía del proceso y material de aporte. Se observaron microfisuras en la ZAC de casi todas las probetas. En la ZAC, los nuevos microconstituyentes generaron zonas de extrema dureza bajo el cordón y zonas de baja dureza debido a sobrevenidos. Las distancias medidas desde el centro del cordón hacia dichas zonas y hacia el extremo máximo de ZAC se incrementaron como influencia del precalentamiento desde 9°C hasta 260°C para SMAW. En la ZF se observaron zonas columnares y zonas refinadas con microconstituyentes típicos, las durezas resultaron bajas, con valores de menor dureza de 182 Hv5.0 y 186 Hv5.0, luego de utilizar proceso SMAW y se mantuvieron aproximadamente constantes. Los niveles de dureza en ZF para SMAW no resultaron de un nivel aceptables para el servicio de la unión soldada. No se ha determinado una temperatura óptima de precalentamiento en el rango de temperaturas estudiado para las condiciones dadas en el estudio. A más de 426°C pueden existir riesgos de sobrevenido, además el acero AISI 9260 perdería tenacidad rápidamente. Las condiciones elasticidad de la unión en ZAC y ZF para proceso SMAW debido a carril enfriador a 14°C resultaron afectadas respecto al metal base en estado de suministro, inutilizando la estructura para el servicio.

Palabras clave: Acero; elasticidad; proceso; soldadura; temperatura; precalentamiento; interpase; microestructura; dureza; fisuración

En la actualidad la industria minera peruana y la agricultura se están incrementando sostenidamente, provocando el consumo a gran escala de componentes mecánicos de maquinaria pesada que son sometidas a condiciones extremas de trabajo, impacto y abrasión por parte de los materiales presentes en los terrenos agrícolas y en especial en los yacimientos mineros. Esto ha obligado a los empresarios mineros y agroindustriales a tratar de reducir los costos de operación, donde se ha hecho muy importante el reemplazo de determinados tipos de acero por otros más económicos, pero con características mecánicas similares o parecidas. Aquí las técnicas y procesos de soldadura tienen una enorme importancia en su aplicación para mejorar las características mecánicas de la estructura fabricada con el acero de reemplazo escogido, así como para la habilitación, montaje y recuperación de las estructuras fabricadas de aceros especiales de alta resistencia a la abrasión y de alta elasticidad que han fallado.

La fisuración en frío es una de las fallas más comunes que se presentan en la mayoría de las uniones soldadas de los aceros, manifestándose en el cordón depositado de metal de aporte, en el metal de base o en la zona afectada por el calor (ZAC), luego de haber depositado la soldadura. Esto depende de muchos factores y entre ellos está la composición química del acero y del metal de aporte. [1] (Granjon, H., Abrigo, y. Devedia, L., 1982).

Diversos procesos de soldadura con alambre macizo (GMAW), alambre tubular con o sin protección gaseosa (FCAW-S, FCAW-G) y con electrodos revestidos (SMAW) son ampliamente utilizados en la soldadura de aceros antidesgaste y de alta elasticidad, tal como los aceros AISI 9260. Aquí la elección de los consumibles y de los parámetros operativos como la temperatura deben garantizar la mejor tenacidad de la región soldada, pues, dependiendo del proceso y del consumible utilizado se puede obtener en el cordón, la ZAC y en el metal base regiones con propiedades mecánicas que no siempre son las más adecuadas si es que no se hacen interactuar adecuadamente dichos parámetros [2] Devedia, L., 1985).

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

En el Perú el elevado precio de los accesorios y herramientas, que son fabricados de aceros tan costosos como los de alta resistencia y de alta elasticidad, ha provocado que se utilicen procesos de soldadura para reducir los costos de mantenimiento de los equipos y de los componentes de máquinas, mediante la recuperación de dichas piezas metálicas cuando éstas ya cumplieron su vida útil o cuando fallaron prematuramente en servicio. Estas técnicas, basadas en la soldadura están teniendo relativo éxito, pero por desconocimiento e imprecisiones en la selección y manejo de los parámetros de soldeo, correspondientes a un tipo de acero específico, ha ocasionado el uso generalizado estos parámetros para cualquier tipo de acero, para los cuales no fueron estudiados y desarrollados [3](Coloma, P.; Salazar, M.; Granjon, H.; Herrera, E. y Haward, C., 1992-2002)

El mecanismo por el cual ocurre la falla se conoce como mecanismo de fisuración en frío y ocurre debido a la presencia del hidrógeno y su acción en estructuras frágiles sometidas a altas tensiones. Mucho se ignora o subestima este problema y son muy pocas las empresas que ponen atención en comprender y tomar en cuenta las causas y mecanismos que sensibilizan a los aceros a fisurar en frío. La causa principal pues, es la presencia nociva del hidrógeno en zonas de alta dureza y fragilidad de los aceros de alta resistencia al desgaste y de alta elasticidad [4] [1](Nazario, G., Granjon, H.; Devedia, L.; Banley, N., 1985).

La microestructura es la que influye en la dureza de un cordón de soldadura, la que es consecuencia del proceso de soldeo y de las técnicas empleadas en su ejecución. La dilución del carbono y de los demás elementos de aleación desde el metal base hacia el cordón de soldadura, denominado zona de fusión, a través de la línea de fusión es un aspecto muy importante que es favorecido por los tratamientos con calor tanto antes como después del soldeo [5](Brooks, J. A. and Garrison, Jr. W. M., Li, D., Lu, B. Zheng, X., 1999).

Últimos estudios han permitido determinar que existe una relación muy fuerte entre la dureza de la zona soldada y los cambios microestructurales provocados por los tratamientos con calor posteriores al soldeo en estructuras soldadas de aceros HARDOX500 y HARDOX400, cuya finalidad era eliminar los denominados problemas de “capas blandas” que se presentan en las uniones soldadas en estado de suministro y mejorar las condiciones antidesgaste de estos tipos de acero soldados mediante el proceso SMAW. Aquí se logró minimizar las diferencias entre las durezas de las tres zonas de soldadura, por normalizado.[6] (Frydman, S. and Konat, L. 2008).

En uniones soldadas, con electrodo revestido, en los aceros de alta resistencia y de alta elasticidad se detectaron zonas de baja dureza como resultado del calor del proceso de soldadura y a los cambios microestructurales de la zona soldada. Las zonas de baja dureza se ubicaron en la zona de fusión (cordón, ZF) y en la zona afectada por el calor (ZAC) del metal base y se les llamó “capas blandas” que determinan la resistencia final de la estructura soldada, sin embargo, estas zonas de baja dureza a veces son difíciles de detectar si es que son muy angostas, debido a un efecto de reforzamiento por parte de las estructuras

vecinas ya que se crearon debido a ello un estado triaxial de tensiones en la zona.[7] (Engineer Hand Book. 2003 y Akselsen, O. M., Rorvik, G., Onsoien, M.L., Grong, O., 2003)

En estudios realizados acerca del efecto de la temperatura de precalentamiento sobre la microestructura, dureza, susceptibilidad a fisuración en frío y ancho de la ZAC en juntas soldadas de acero NKK500 mediante proceso FCAW-G, mostraron la relación entre la dureza y los cambios microestructurales provocados por las temperaturas de precalentamiento previos entre 100°C y 260°C. En ZAC, los nuevos microconstituyentes generaron zonas de alta dureza bajo el cordón y zonas de baja dureza debido a sobreenvenidos. Las distancias desde el centro del cordón hacia el extremo máximo del ZAC variaron notablemente como efecto del precalentamiento, cuando la temperatura superaba los 180°C. En ZF se observaron zonas de granos columnares y zonas refinadas con microconstituyentes típicos (ferritas de tipo poliédrico dentro de granos y en sus límites, también ferritas en forma de agujas o aciculares) la dureza fue baja en esta zona, pero de niveles aceptables para el servicio de la unión soldada. No se observaron fisuras en ninguna de las zonas estudiadas.

La temperatura óptima de precalentamiento se determinó en 100°C para el acero NKK500 para el proceso de soldeo utilizado. A más de 200°C de precalentamiento se observó riesgos de sobre revenido y a temperaturas cercanas a 300°C el acero NKK500 pierde su tenacidad rápidamente. Finalmente, las condiciones anti desgaste de la unión en ZAC y ZF, para proceso FCAW-G resultaron poco afectadas respecto al estado de suministro, siendo aceptables para servicio inmediato, sin pos calentamiento. [8] (Oerlikon, 2009).

Se planteó el siguiente problema ¿En qué medida se puede evaluar la influencia de la temperatura de precalentamiento en el rango de 100°C a 260°C sobre la microestructura, dureza, susceptibilidad a fisuración en frío y extensión de ZAC en la soldadura del acero AISI 9260, utilizando el proceso SMAW? el objetivo principal fue: Evaluar y explicar la influencia de la temperatura de precalentamiento en las variaciones micro estructurales, dureza, tendencia a fisuración en frío e incremento de ZAC en las uniones soldadas de acero AISI 9260 al variar la temperatura de precalentamiento para el proceso SMAW con enfriador a temperatura extrema de 14°C, utilizando técnicas de indentación, inspección visual y metalográficas. Así, mismo se determinaron seis objetivos específicos:

(1) Determinar la influencia del incremento de la temperatura de precalentamiento en el rango de 100°C a 260°C sobre las distancias desde el centro de la zona de fusión hacia el extremo máximo de ZAC y puntos de máxima y mínima dureza.

(2) Determinar la influencia del precalentamiento en el rango de 100°C a 260°C desde temperatura de inicio sobre el ancho de la zona afectada por el calor ZAC

(3) Determinar la influencia de la temperatura de precalentamiento en el rango de 100°C a 260°C desde la temperatura de inicio sobre la dureza final del cordón de soldadura.

(4) Conocer el efecto del enfriador utilizado sobre la microestructura de probetas soldadas con precalentamientos en el rango de temperaturas de 100°C a 260°C.

(5) Precisar la temperatura máxima de precalentamiento permisible para el acero AISI 9260. Determinar la temperatura óptima de precalentamiento para evitar la fisuración, según las condiciones dadas para este estudio.

Hipótesis: A medida que incremento de la temperatura de precalentamiento en el rango de 100°C a 260°C provoca cambios en la microestructura, reduce la dureza, disminuye la susceptibilidad a fisuración en frío e incrementa la extensión de ZAC en la zona soldada de las planchas de acero AISI 9260, soldados mediante el proceso SMAW”

El rango de temperaturas de precalentamiento que afectan a estas estructuras susceptibles, cuando el enfriamiento desde la fase austenítica está entre los 200°C y 500°C, dependiendo de la composición química. Se ha encontrado una relación muy marcada entre la estructura susceptible y la velocidad de enfriamiento al pasar por los 300°C. Por ello las temperaturas de precalentamiento influyen en la disminución de la velocidad de enfriamiento y por consiguiente en la tendencia a la fisuración. [9] (Olson, D. L. and Liu, W., 1996).

La fisuración retardada, ocurre después de finalizado el soldeo a temperatura ambiente. Aquí, las fisuras pueden aparecer en un rango de temperaturas de -100°C a +200°C, pero no pueden ocurrir fisuraciones a temperaturas por debajo de -100°C debido a que la facilidad de difusión del hidrógeno atómico es muy baja no permitiendo la recombinación entre los átomos de hidrógeno para formar hidrógeno molecular en cantidades suficientes para provocar fisuración retardada. Tampoco puede fisurar a más de +200°C ya que a éstas temperaturas todo el hidrógeno está en estado atómico, sin posibilidades de formar la molécula de H₂ y la difusión es muy alta, migrando los átomos de hidrógeno hacia la superficie del metal y luego hacia la atmósfera (Park, Y.D. and Maroef, I. S., 2000)

La temperatura de precalentamiento. - Debe balanceada con el calor de aporte (Hnet) durante la operación de soldadura de acuerdo al tipo de acero y en función de las propiedades requeridas de la junta.

Estimar la temperatura de precalentamiento es necesario, pero no suficiente. Algunos de los factores que influyen en la fisuración en frío son: Composición química del acero, difusión de hidrogeno, calor aportado, espesor del material base, tensiones residuales en la soldadura y restricción de la junta. Sin embargo, hay una diferencia en la valoración de cada uno de estos factores para los distintos métodos. Por ejemplo, el efecto de la composición química difiere entre un método y otro y por tanto se obtienen diferentes carbonos equivalentes

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó, el método experimental hipotético deductivo. La población estuvo constituida por uniones soldadas de hojas de muelle, de camiones de marca Toyota, fabricadas del acero AISI 9260, de dimensiones de 12,50 mm de espesor y 76 mm

de ancho1. Tamaño muestral: Se utilizaron 18 probetas de uniones soldadas, según norma WIC (Instituto Canadiense de Soldadura) (Fosca C. 2003), para reproducir las condiciones geométricas más susceptibles a la fisuración en frío y que sirvieron para medir y observar las variables consideradas en el estudio.

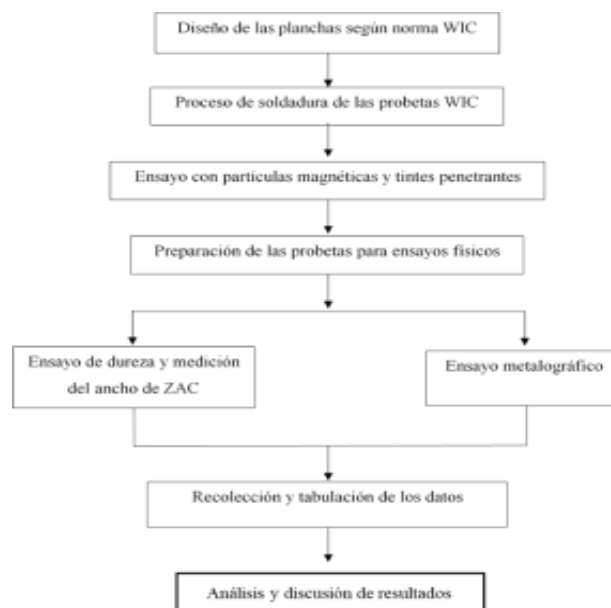


Fig. 1: Desarrollo experimental

Unidad de análisis

La unidad de análisis que se utilizó fueron hojas de muelle, de camiones de marca Toyota, fabricadas del acero AISI 9260, de dimensiones de 12,50 mm de espesor y 76 mm de ancho1

Procesamiento de la información

Diseño: El diseño utilizado fue experimental unifactorial. Formulación del modelo unifactorial Si Y_{ij} representa la respuesta j para el nivel i ,

$$Y_{ij} = \mu_i + u_{ij}, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, n_i.$$

μ_i es el nivel medio de la respuesta para el nivel i del factor. u_{ij} es la variable de error que recoge el resto de variables que influyen en la respuesta. Estas variables son independientes y tienen distribución normal con media 0 y desviación típica σ

A) Material de estudio

Universo objetivo: el universo objetivo del estudio esta investigación son las uniones soldadas de acero AISI 9260

Población o universo muestral: Son uniones soldadas de hojas de muelle, de camiones, fabricadas del acero AISI 9260, de dimensiones de 12,50 mm de espesor y 76 mm de ancho.

B) Muestra

Se utilizan 18 probetas de uniones soldadas, según norma WIC (Instituto Canadiense de Soldadura) (Fosca C. 2003), para reproducir las condiciones geométricas más susceptibles a la

fisuración en frío y que sirvieron para medir y observar las variables consideradas en el estudio.

TABLA I
COMPOSICIÓN QUÍMICA (% PESO) DEL ACERO AISI 9260

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
0,58	1,822	0,87	0,027	0,021	0,008	0,010	<0,0020	0,034	0,0088
Co	Ti	Nb	V	W	Pb	B	Sn	Zn	As
0,0092	0,0026	<0,0030	0,0035	<0,010	0,012	0,0001	0,0079	<0,0020	0,0071
Bi	Ca	Ce	Zr	La	Fe	---	---	---	---
<0,0020	0,0007	<0,0030	0,0120	<0,0010	96,54				

La dureza Rockwell (HRC), realizada a la muestra de acero AISI 9260, dió como resultado un valor promedio de 42,62 HRC (418,82 Hv5.0) de medición real como promedio de 14 indentaciones, los valores menores resultaron del orden de 41,70 HRC (409 Hv 5.0) y los valores mayores de 43,00 HRC (423 Hv5.0), medido es escala HRC, con cono de diamante, 150 kg de carga y 3 segundos de indentación.

TABLA II
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ELECTRODOS UTILIZADOS EN PROCESO SMAW

Electrodo	Tipo de revestimiento	Resistencia a la tracción, postsoldadura	Límite de Fluencia	Elongación en 2"
E 7018	Revestido básico	520 – 610 [Mpa(psi)]	400 [Mpa(psi)]	23%

Figura: Diagrama en bloques del procedimiento experimental.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA III
RESULTADOS DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO SOBRE DUREZA Y EXTENSIÓN DE LA ZAC DESPUÉS DE SOLDAR MEDIANTE PROCESO SMAW.

Temperatura de Proceso precalentamiento (°C)	Dureza HRC (Hv 5.0) promedio en MB	Dureza HRC (Hv 5.0) promedio en ZAC y línea de fusión Prom.	Dureza HRC (HV 5.0) promedio en ZF	Ancho de ZAC promedio (mm)	Distancia desde el centro al extremo máximo de ZAC (mm)
TESTIGO	39,46 (386,60)	51,15 (530,40)	6,47 (182,00)	7,03	12,13
SMAW 100	39,60 (389,92)	39,78 (389,80)	7,06 (184,24)	7,50	12,60
140	41,16	46,00	7,38	7,50	12,60

	(404,67)	(458,00)	(185,52)		
180	41,74 (410,38)	51,42 (534,72)	7,00 (184,00)	8,10	13,10
220	42,60 (419,66)	53,34 (565,78)	7,60 (186,40)	7,75	12,85
260	41,80 (408,46)	40,98 (401,80)	7,70 (186,80)	8,75	13,85

TABLA IV
DISTANCIAS DESDE EL CENTRO DE ZF A PUNTOS DE LÍNEA DE FUSIÓN, DUREZA MÁXIMA BAJO EL CORDÓN "b" Y EXTREMO DE ZAC SEGÚN LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO- PROCESO SMAW

Punto evaluado	Distancia medida (mm) según temperatura de precalentamiento					
	Sin precal. (9 °C)	100 °C	140 °C	180 °C	220 °C	260 °C
Línea de fusión	5,00	5,10	5,00	5,00	5,10	5,10
Punto de dureza máxima bajo el cordón (b)	7,10	7,50	7,50	7,60	7,80	8,00
Extremo de ZAC	12,13	12,60	12,60	13,10	12,85	13,85

TABLA V
DATOS CUALITATIVOS DE FISURACIÓN

Proceso de soldadura	Material de aporte	T° precal. (°C)	N° Cordón es	Probetas fisuradas
SMAW	E7018	100 °C	03	Fisura en ZAC (tres fisuradas)
		140 °C	03	Fisuras en ZAC, cerca de la raíz en las (tres fisuradas)
		180 °C	03	Fisura en ZAC (tres fisuradas)
		220 °C	03	Fisura en ZAC bajo en cordón, hasta la raíz (tres fisuradas)
		260 °C	03	Una Sin fisuras en ZAC, fisura en bajo el cordón, y Fisura en la raíz
SMAW	E7018	Sin precal. 9°C	03	Fisura en ZAC (tres fisuradas)

En la Tabla III se muestra el resumen de las mediciones de dureza HRC y Hv, ancho de ZAC, distancia hacia el extremo máximo de ZAC, obtenidos desde las probetas examinadas. Los datos están relacionados con los cambios microestructurales que ocurren debido al proceso de soldadura SMAW, a las temperaturas de precalentamiento de inicio y de entre pasadas (tres en total) a las que fueron sometidas las planchas de acero AISI 9260, durante el soldeo. También se tiene los datos de las tres pruebas testigo, del experimento.

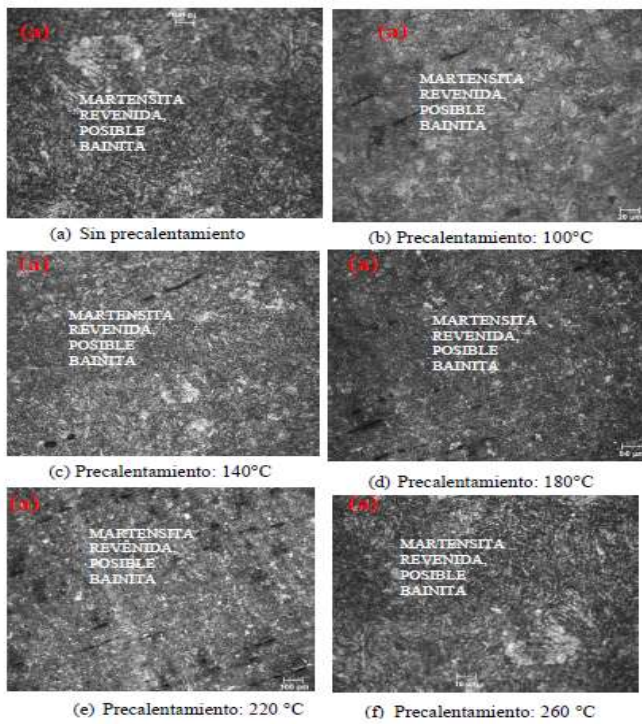


Fig 2: Microestructura del metal base

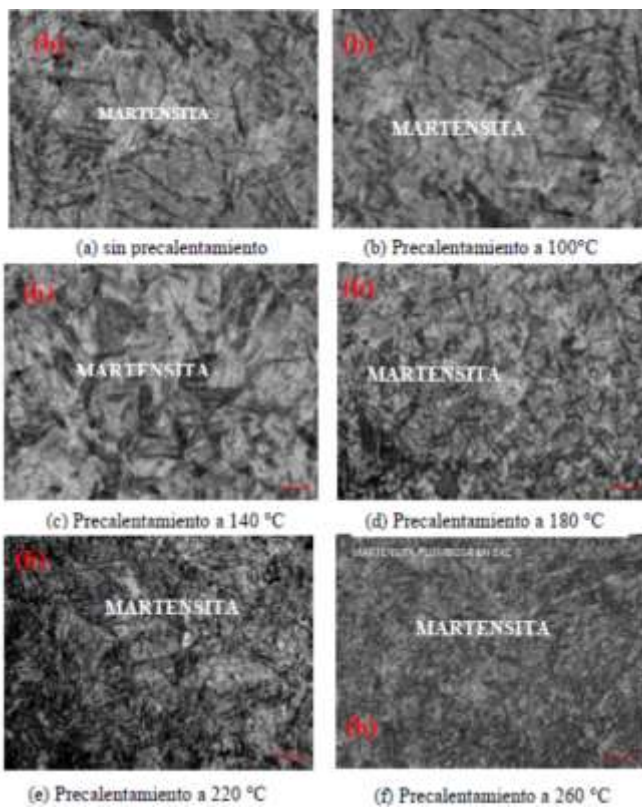


Fig 3: Microestructura del punto selecto "b"

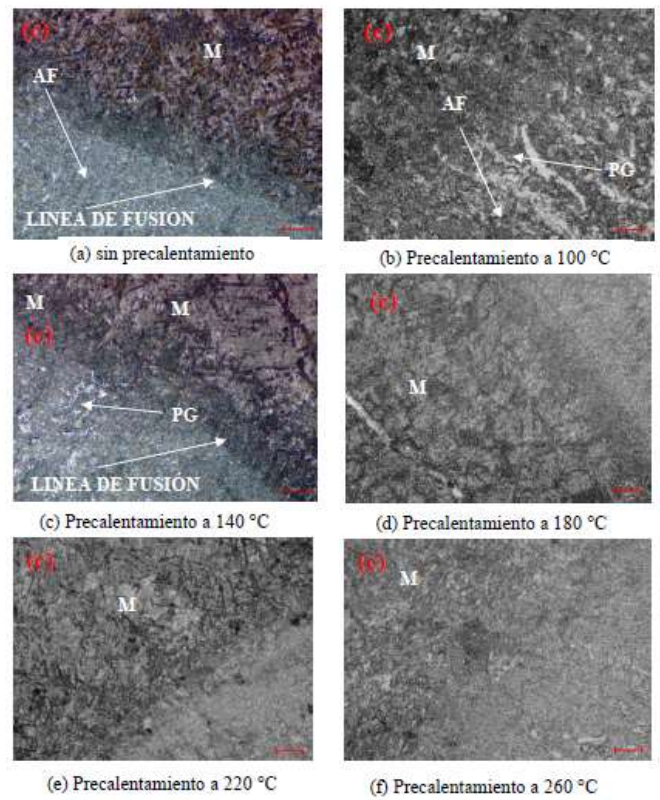


Fig 4: Microestructura del punto selecto "c"

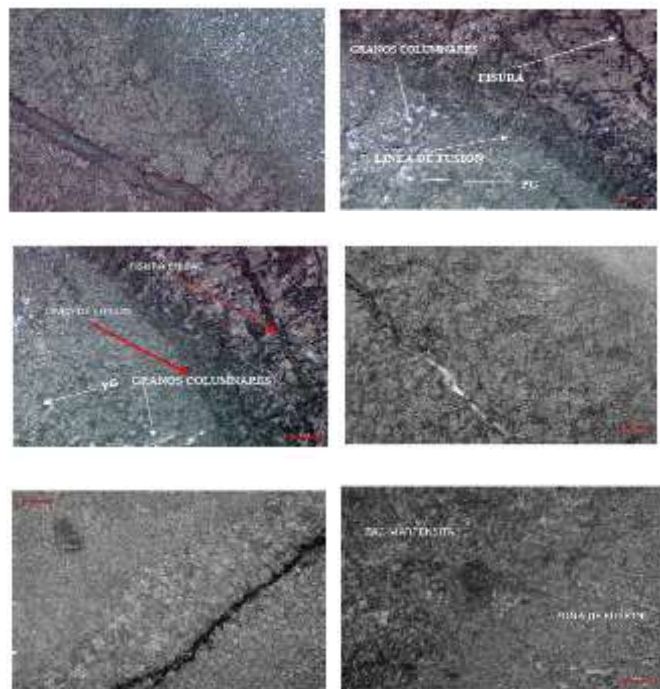


Fig 5: Fisuras a en ZAC bajo línea de fusión a 100, 180, 220, 260, °C

Al evaluar MB, ZAC, límite ZAC- F y F (zona de fusión) en puntos selectos “a”, “b”, “c” y “d”, respectivamente para probetas seccionadas, previamente soldadas mediante proceso SMAW con cinco temperaturas de precalentamiento y sin precalentamiento (9°C) y luego colocadas en carril de aluminio a 14°C en promedio para simular temperaturas ambientales de trabajo en sitios mineros de la serranía peruana, el ancho de la zona afectada por el calor se considera desde el límite ZAC-F hasta el punto en el cual ocurrió el sobre revenido máximo, evidenciado por tener la más baja dureza de la zona .

En el punto “a”: Inmediatamente pasando la zona del sobre revenido se aprecia el metal base sin nada o casi nada del efecto del calor, puesto que es un punto alejado del ZAC. En esta zona la temperatura máxima lograda posiblemente fue inferior a 426°C, que es la temperatura de revenido de suministro del metal base. Dando en este caso especial una microestructura de martensita revenida, posibles trazas de bainita, sin variación del metal original de suministro. Se infiere que el sobre revenido en zona de más baja dureza la temperatura superó los 426°C, dando en esa zona muy posiblemente martensita revenida con muchos carburos globulares que se evidencia con la dureza detectada allí en ese punto específico. Se infiere que para mayores temperaturas de precalentamiento se tiende a sobre revenidos máximos a temperaturas más altas y distancias ligeramente mayores desde el centro del cordón de soldadura o zona de fusión, sin embargo, para este experimento, en particular dichas aseveraciones se ven un poco afectadas por las fluctuaciones de calor, debido a las condiciones extremas de enfriamiento a que han sido sometidas las pruebas pertinentes. Sin embargo, la tendencia se mantiene como se puede apreciar en los datos de las tablas III y IV.

En el punto “b”: El precalentamiento de planchas de acero AISI 9260 en el rango de 100°C a 260°C y posterior enfriamiento con enfriador a 14°C produjo cambios microestructurales significativos en la ZAC generando zonas de extrema dureza, en especial bajo el cordón, con estructuras martensíticas de granos muy gruesos y zonas de baja dureza con granos más pequeños por sobre revenidos en extremo máximo del ZAC.

En puntos “c” El incremento de la temperatura de precalentamiento desde temperatura de inicio en el rango de 100 a 260°C incrementa las distancias desde el centro de zona de fusión hacia el punto de dureza máxima bajo el cordón, con granos mas gruesos conforme se incrementó la temperatura de precalentamiento, también incrementó la distancia hacia el punto de sobre revenido máximo y extremo máximo del ZAC.

El incremento de la temperatura de precalentamiento desde la temperatura de inicio en el rango de 100°C a 260°C incrementa el ancho del ZAC.

En Punto “d”: El incremento de la temperatura de precalentamiento desde la temperatura de inicio en el rango de 100°C a 260°C prácticamente no afecta la dureza promedio de la zona de fusión. Esta condición es el resultado de la mezcla de microconstituyentes típicos como: Ferrita poligonal (PF) , ferrita borde de grano (FG), ferrita acicular (AF), ferritas de segunda fase (AC) no alineadas, ferritas (FC con posibles agregados de carburos) que varían ligeramente con la

temperatura de precalentamiento. Aquí la distribución es granos finos equiaxiales al lado de línea de fusión (punto “c”) y granos columnares alargados progresando hacia el centro de la zona de fusión (F)

IV CONCLUSIONES

El precalentamiento de planchas de acero AISI 9260 en el rango de 100°C a 260°C y posterior enfriamiento con enfriadora 14°C produjo cambios microestructurales significativos en la ZAC generando zonas de extrema dureza en especial bajo el cordón y zonas de baja dureza por sobre revenidos en extremo máximo del ZAC, en tanto que la ZF de todos los casos exhibe zonas columnares y zonas refinadas con micro constituyentes típicos, formadas por efecto del soldeo en multipase y del precalentamiento de interfase. Además el calor del proceso y el material de aporte empleado influyeron en la estructura exhibida y en la dureza de las zonas evaluadas. Se observan micro fisuras en ZAC en casi todas las microestructuras evaluadas lo cual afecta negativamente la calidad junta soldada, inutilizándola para el servicio.

El incremento de la temperatura de precalentamiento desde temperatura de inicio en el rango de 100 a 260°C incrementa las distancias desde el centro de zona de fusión hacia el punto de dureza máxima bajo el cordón, punto de sobre revenido máximo y extremo máximo del ZAC.

El incremento de la temperatura de precalentamiento desde la temperatura de inicio en el rango de 100°C a 260°C incrementa el ancho del ZAC.

El incremento de la temperatura de precalentamiento desde la temperatura de inicio en el rango de 100°C a 260°C prácticamente no afecta la temperatura promedio de la zona de fusión.

El enfriamiento con enfriador a 14°C luego del soldeo con precalentamiento provocó la formación de estructuras frágiles y susceptibles a fisuración, aún con precalentamientos de 260°C en soldeo multipase.

Precalentar hasta los 426°C puede ocasionar sobre revenidos y calentar a temperaturas mayores puede disminuir la tenacidad y propiedades de alta elasticidad del acero AISI 9260

No se ha encontrado para este caso particular la temperatura óptima de precalentamiento para evitar fisuras en frío, según las condiciones dadas para este estudio.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Aceros Especiales. (2006). Boletín técnico. Consultado 20 dic 2005. Recuperado de <http://www.Boehlerperu.com>.
- [2] Aceros XARR. Aceros especiales. Boletín técnico. Consultado 18 dic 2006. Recuperado de <http://www.thysenkrupp.com>
- [3] Akselsen, O. M., Rorvik, G., Onsoien, M.L., Grong, O. Assessment and predictions of HAZ tensile properties of high – strength steels. Welding journal. September 1989.
- [4] Banley, N. (1990). Welding steels without hydrogen cracking. Alingston Publishing.
- [5] Bollinghaus, T.H. and Hoffmeister, H. (1996). Scatter bands for hydrogen diffusion coefficients in steels having a ferritic or martensitic microstructure and steel having an austenitic microstructure at room temperature. Welding in work (UK), vol.37 n°1, pp.10-23.
- [6] Brooks, J. A. and Garrison, Jr. W. M. (1999). Weld microstructure

- development and properties of precipitation – strengthened martensitic stainless steels. *Welding journal*. Aug.1999.
- [7] Clark, M. D. and Olson, D. L. (1999). The role of welding parameters in hydrogen managements. *Proc. of hydrogen managements of high strength steel welds*, pp.215-228, CANMET, Ottawa, Ontario, Canadá.
- [8] Coloma, P. (2002). Resistencia a la fatiga de uniones soldadas. *Boletín técnico de soldadura* N° 102, edición especial consultado el 15 dic 2002. Recuperado de <http://www.exsa.com.pe>.
- [9] Devedia, L. (1985). *Soldar CONARCO*. Publicación periódica. Bs. Aires, Argentina.
- [10] Engelhard, W. J. and Olson, D. L. (1998). Disolution of gaseous hydrogen in high strength steels at elevated temperatura, conf.proc. of avanced and specialty materials. Pp. 133-140, ASM, Materials Park, OH.
- [11] *Engineer Hand Book*. (2003). *Welding technology*. T 1, WNT. Warszawa.
- [12] Fosca, C. (2003). *Introducción a la metalurgia de la soldadura*. Edit. Grams. IV edic. Lima. Perú. Frydman, S. and Konat, L. (2008). *Structure and hardness changes in welded joints of Hardox Steels*. Wroclaw University of technology, *Wybrzeze Wyspianskiego*27, 50- 370. Wroclaw. Poland
- [13] Gavelan, H y Vera, J. (2003). Influencia de la temperatura de precalentamiento sobre las propiedades mecánicas de una unión soldada por arco eléctrico con electrodo revestido en un acero AISI 4140H. Trabajo de investigación. Universidad Nacional De Trujillo. 102 p.
- [14] Granjon, H. (1971). Cold cracking in welding of steels. *Intl. Symposium on cracking and fracture in welds*, conf. Proc. Japan weldings society, IB, 1.1.
- [15] Granjon, H. (1989). *Bases metalúrgicas de la soldadura*. Traducido por Carlos Melero Álvarez. Edit. Eyrolles. París, Francia.
- [16] Graville, B. A. (1990). Hydrogen cracking sensitivity of HSLA steels. *The metallurgy welding and qualification of microalloy (HSLA) steel weldments*,127.
- [17] Haward, C. (1992). *Manual de soldadura moderna*. Tomo II- Edit. Prentice Hall. México. D.F, México.
- [18] Hernandez, R. G. (1991). *Manual del soldador*. Edit. Cesol. 8va edic. Mexico, D.F.
- [19] Herrera, E. (2002). Influencia de la temperatura de postcalentamiento sobre las propiedades mecánicas de una unión soldada por arco eléctrico con electrodo revestido en un acero AISI4140H. Trabajo de habilidad UNT.
- [20] Horwitz, H. (1990). *Soldadura: Aplicaciones y prácticas*. Traducido por Rafael Garcia Diaz. Edit. Alfaomega S.A. México D.F. México.
- [21] Li, D., Lu, B. Zheng, X. Fatigue crack initiation and propagation in built joint welds of ultralight strength steel. *Welding journal*, February 1993.
- [22] Montgomery, D. (2002). *Diseño y análisis de experimentos*. Edit. LIMUSA S.A.
- [23] Nazario, G. (1997). *Procedimientos de soldadura para la reparación de piezas de acero al carbono de difícil soldabilidad*. Primer curso de especialización en soldadura. Trujillo. Perú.
- [24] Oerlikon (2009). *Catálogo de soldadura automática y semiautomática*. Tercera edición.
- [25] Olson, D. L. and Liu, W. (1996). Martensite start temperature as a weldability index, in *Conf. proc. on research trends in welding science and technology*. Pp. 615- 620. Gattimburg, Temesse, ASM Intl- Material Park, OH.
- [26] Olson, D.L and Maroef, I. (2001). *Weld metal hydrogen trapping*. Review paper submitted to international material review, ASM intrl. Materials park, OH.
- [27] Olson, D.L. and Maroef, I. (1996). Hydrogen management in high strength steel weldments. *Proc. in Join Seminar, Hydrogen management in steel weldments* eds J.S. Davi and D.L. Olson, pp. 1- 20.
- [28] Park, Y.D. and Maroef, I. S. (2000). Hydrogen trapping of high strength steel weld metal, *ASM International, Materials Park, OH, joining of advanced and sapeciality materials II (USA)*, pp. 284-296.
- [29] Pero, J. A. and Elorz, S. (2004). *Aceros, metalurgia física, selección y diseño*. Edit. Cie Inversiones Editoriales Dossat. Ira edición. Madrid. España.
- [30] Rodríguez, M. (1994). *Investigación científica- teoría y métodos*. Edit. Pacífico editores. Lima. Perú.
- [31] Salazar, M. (2003). Evaluación de la soldabilidad de un acero de alta resistencia mediante procesos con protección gaseosa. *ESAB-CONARCO* N° 120-2003, publicación periódica. Consultado 15 ene 2004-Bs Aires. Argentina.
- [32] Smith, R.D. and Olson, D. L. (2000). Fiber optic sensor for diffusible hydrogen determination in high strength steel. *Proceeding from photonicswest 2000*, SPIE, San José, California, pp. 174-184.
- [33] Tasak, E. (1985). *Metallurgy and structural metallurgy of welded joints*. Script AGH Kraków. Thewlis, G. (2004). *Materials perspective classification and quantification of microstructures in steels*. UK: *Materials Science and technology*, vol. 20
- [34] Trotti, J.L. (1988). *Microestructuras del metal de soldadura*. Fundación latinoamericana de soldadura. *Boletín técnico CONARCO* N° 990. Publicado en agosto de 1988.
- [35] Wang, W. W. and Liu, S. (1996). Consequences of Weld undermatched and overmatching non uniform hydrogen distribution, *Proceedings of OMAE, Vol.III. Materials Engineering*, pp. 403- 409. Florence. Italy.
- [37] Wang, Wong and Liu, S. (1996). The use of martensite start temperatures for hydrogen control, *Proc.of shipbuilding Welding conf.TMS*, Cleveland. OH. October, pp. 17-31. *Weld automation in ship building*, TMS, Warrendale, P.A.
- [38] Yamada, Y. (2007). *Materials for Springs*. 7. ed. Usa: Springer. 377 p.
- [39] Yurioka and Suzuki, H. (1990). Hydrogen assisted cracking in C-Mn and alloy steel weldments.
- [40] *International materials review*, 35(4); 217-249.