

LOIS DE FISSURATION DES ACIERS MARTENSITQUES A 9 - 12 % CHROME

AUTEURS : C. GABREL - COUSAERT, J. LECOQ, A. VANDERSCHAEGHE
GEC ALSTHOM - STEIN INDUSTRIE
59390 LYS-LEZ-LANNOY

Résumé. Les aciers martensitiques à 9 % Cr (ASME grade P91) et 12 % Cr (DIN X 20 Cr Mo V 12.1) sont couramment mis en oeuvre en soudage et cintrage par la Société Stein Industrie. Pour la conception il est nécessaire de connaître les vitesses de fissuration de ces matériaux et de leurs soudures.

Les auteurs ont mesuré les valeurs seuil de ΔK et les vitesses de fissuration à 20°C et 550°C pour R = 0,1. Les résultats montrent une accélération de la vitesse de fissuration d'un facteur 3 entre 20 et 550°C. En outre, à 550°C, a été étudiée l'influence du rapport R pour les matériaux de base entre R = 0,05 et 0,9. Les résultats révèlent une décroissance linéaire du seuil de non fissuration en fonction de R du type $\Delta K_o(R) = (1 - \alpha R) \Delta K_o(o)$.

Abstract. Martensitic steels with 9 % Cr (ASME grade P 9 1) and 12 % Cr (DIN X 20 Cr Mo V 12 1) are currently bended and welded by Stein Industrie. For our purpose it was necessary to know the crack growth laws of these materials and weldments.

The authors have studied the threshold values and crack growth rates for weldments at 20°C and 550°C for R = 0,1. The results show an increase of the crack growth rate of a factor 3 between room temperature and 550°C. Moreover at 550°C the influence of the ratio R has been studied only for base material in the range of 0,05 and 0,9. The results show a linear decrease of threshold value relating to R according to the relation $\Delta K_o(R) = (1 - \alpha R) \Delta K_o(o)$.

1. INTRODUCTION

STEIN INDUSTRIE a une grande expérience dans l'utilisation des aciers alliés au Cr - Mo qui sont mis en oeuvre par soudage et cintrage pour la réalisation de surchauffeurs, tuyauteries et collecteurs. Parmi ceux-ci, les aciers martensitiques à 9 % chrome (grade P91 développé par ORNL) et à 12 % chrome (X 20 Cr Mo V 12.1 développé par MANNESMANN) sont largement utilisés. Les lois de fissuration des assemblages soudés ont été étudiées.

Dans cet article, nous présenterons d'abord les résultats obtenus à 20°C et 550°C pour R = 0,1 pour le métal de base, la zone affectée thermiquement et la soudure. Ensuite, l'influence du rapport R pour le métal de base à 550°C est discutée.

2. MATERIAUX UTILISES

Les caractéristiques chimiques et mécaniques sont garanties par les normes DIN 17175 pour l'acier X 20 Cr Mo V 12.1 et SA 335 pour l'acier grade P91. Les structures généralement observées sont présentées figure 1. A noter que si la structure de l'acier grade P91 est entièrement martensitique, l'acier

X 20 Cr Mo V 12.1 peut contenir jusqu'à 5 % de ferrite.

3. REALISATION DE L'ETUDE

3.1 FABRICATION DES ASSEMBLAGES

Cette étude a été menée d'une part sur des assemblages soudés d'une tuyauterie de diamètre extérieur 320 mm et d'épaisseur 62 mm en acier X 20 Cr Mo V 12.1 et d'autre part sur des assemblages soudés d'une tuyauterie de diamètre extérieur 390 mm et d'épaisseur 50 mm en acier grade P91. Dans le premier cas, les soudures ont été réalisées par un procédé automatique (TIG + SMAW + SAW) alors que dans le second cas, un procédé manuel a été utilisé (TIG + SMAW). Après soudage, un traitement thermique de revenu a été effectué.

3.2 EPROUVETTES UTILISEES

Les éprouvettes de type CT 15 (conformes à celles décrites dans NFA 03180) ont été prélevées dans le métal de base, la zone affectée thermiquement et la soudure comme indiqué figure 2.

3.3 METHODE EXPERIMENTALE

Les lois de PARIS et les valeurs du seuil de non fissuration ΔK_0 ont été déterminées.

ΔK_0 est défini comme étant le niveau de ΔK correspondant à une vitesse de fissuration égale à 10^{-7} mm/cycle (A 03404,1,2). Les conditions expérimentales sont les mêmes que celles adoptées lors d'une étude précédente (2,3,4), à savoir :

- fréquence d'essai 10 Hz
- suivi de fissuration par méthode électrique à courant continu pulsé.

4. RESULTATS

4.1 COMPORTEMENT A 20°C ET A 550°C POUR R = 0,1

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau 1 pour les essais effectués à 20°C et dans le tableau 2 pour ceux effectués à 550°C. Les courbes da/dN en fonction de ΔK correspondant au métal de base sont illustrées figure 3. Nous avons mis en évidence les éléments suivants pour chacun des deux aciers :

- pour ce qui est de la loi de PARIS, quelle que soit la température d'essai, il n'y a pas de différence significative de comportement entre le métal de base, la zone affectée thermiquement et la soudure. Le domaine d'application de la loi de PARIS s'étend d'environ 10^{-3} à 10^{-6} mm par cycle à 20°C pour environ 10^{-3} à 10^{-4} mm par cycle à 550°C. Le comportement en vitesse de fissuration peut donc être décrit par une seule loi. Nous voyons que pour les températures élevées, la valeur de m chute, ce qui est en bon accord avec les résultats de la littérature (5,6). A 550°C, pour un même ΔK , les vitesses de fissuration sont très sensiblement augmentées par rapport à celles obtenues à 20°C (jusqu'à 3 fois plus).

- Les courbes (da/dN) fonction de ΔK obtenues à 550°C présentent une "bosse" dans la zone des ΔK proches de ΔK_0 , ce qui n'est pas observé à 20°C. Dans cette région, pour un ΔK donné, la fissure se propage plus vite que ne le laisserait prévoir la loi de PARIS.

A 20°C pour l'acier X 20 Cr Mo V12.1, et bien que les différences mesurées entre les valeurs de ΔK_0 soient faibles, on constate que c'est le métal de base qui a le ΔK_0 le plus faible, la zone affectée ayant le plus fort ΔK_0 . Pour l'acier grade P91, les valeurs obtenues pour les différentes zones ne sont pas significativement différentes.

A 550°C, ΔK_0 obtenu pour le métal de base est voisin de celui obtenu à 20°C pour ce qui est de l'acier X 20 Cr Mo V 12.1 alors qu'il est notablement plus élevé dans le cas de l'acier grade P 9.1 (5,4 ou 5,7 MPa \sqrt{m} à comparer à 3,5 MPa \sqrt{m}). L'effet de l'oxyda-

tion à haute température conduisant à une augmentation de la valeur du seuil de non fissuration qui a été expliqué par J.E KING (7) est dans ce dernier cas mis en évidence.

4.2 INFLUENCE DU RAPPORT R A 550°C

L'influence du rapport R n'a été étudiée que pour le métal de base. Les résultats obtenus sont donnés tableau 3 et illustrés figures 4 et 5 pour R = 0,1 - 0,5 et 0,7. Comme on peut le constater, pour chacun des deux matériaux, l'influence du rapport R dans le domaine où la loi de PARIS s'applique est faible. Par contre, dans la zone des ΔK proches de ΔK_0 , une influence du rapport R sur ΔK_0 est mise en évidence : plus R est grand plus ΔK_0 est petit. Il ne semble y avoir que peu de différence entre les résultats obtenus pour l'acier X 20 Cr Mo V12.1 et l'acier grade P 91. Les essais effectués à chaud se caractérisent par la présence d'un film d'oxyde épais et compact dans la zone des ΔK proches de ΔK_0 alors qu'il est plutôt strié dans la zone concernée par la loi de PARIS. Des exemples typiques sont donnés figures 4 et 5.

L'étude de l'influence du rapport R a été complétée pour l'acier grade P91. Les résultats obtenus pour R = 0,05, 0,3 et 0,9 sont donnés tableau 3. La courbe ΔK_0 fonction de R obtenue pour l'ensemble des valeurs mesurées sur chacun des deux matériaux est présentée figure 6. Il apparaît une décroissance de ΔK_0 qui est linéaire et peut s'écrire sous la forme $\Delta K_0(R) = (1 - \alpha R) \Delta K_0(0)$ avec $\alpha = 0,307$.

5. CONCLUSION

a) Cette étude montre que les lois de PARIS sont similaires pour le métal de base, la soudure et la zone affectée thermiquement, que ce soit à 20°C ou à 550°C et quel que soit le matériau étudié. D'autre part, les deux matériaux ont des lois similaires.

b) Les valeurs des seuils de non fissuration obtenues à 20°C sont plus faibles pour l'acier grade P91 que pour l'acier X 20 Cr Mo V 12.1. Ces valeurs sont par contre similaires à 550°C.

c) L'influence de la température sur la forme de la courbe (da/dN) fonction de ΔK est importante surtout du côté des faibles ΔK . L'influence de l'oxydation sur la valeur de ΔK_0 pour diverses valeurs de R est bien mise en évidence.

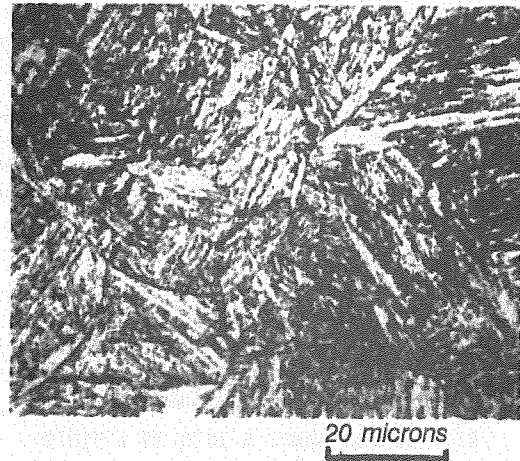
d) le seuil de non fissuration décroît linéairement en fonction de R, le même comportement étant mis en évidence pour l'acier grade 9.1 et l'acier X 20 Cr Mo V 12.1.

Remerciements : Les auteurs remercient la société STEIN INDUSTRIE pour leur avoir permis de publier ces résultats.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) J.H Bulloch, L.W Buchanam
"Fatigue Crack Growth Behaviour of
2 1/4 Cr 1 Mo Steel Tube at
Elevated Temperature"
Res Mechanica 20 (1987) 73-95
Elsevier Applied Science
Publishers Ltd
- (2) C. Gabrel, J. Lecoq, A. Vanderschaeghe
"Influence de la température sur les
vitesses de fissuration des différen-
tes zones d'un assemblage soudé en
acier martensitique à 12% de Chrome"
Journées Métallurgiques d'Automne de
la Société Française de la Métallur-
gie - Paris Octobre 1987
- (3) Modified 9% Cr steel (grade P91) : low
cycle fatigue and crack propagation
rate of base material and welds at
room and high temperature
C. Gabrel-Cousaert, A. Vanderschaeghe
J. Lecoq
ICPVT-7 Dusseldorf, 31 May-5 June 1992
- (4) "Application of Metallurgical Proper-
ties to the Industrial Development
of a 12 % Chromium Martensitic Steel
for Piping"
A. Vanderschaeghe, J. Lecoq,
G. Vigneron
VGB, vol 69 n° 8, August 1989
- (5) ORNL : Technical Program and Data
Package of Modified 9 Cr-1Mo Steel
P. Patriarca
- (6) Vinod K. Skikka
"Data Package on Modified 9 Cr-1Mo
alloy for review by ASTM Committee"
ASM Materials Design Conference,
Philadelphia 2-3 Déc 1980
- (7) J.E King, P.J Cotterill
"Role of oxides in fatigue crack
propagation"
Materials Science and Technology
January 1990 - vol 6 p19-31

X 20 Cr Mo V 12.1



A 335 GRADE P9.1

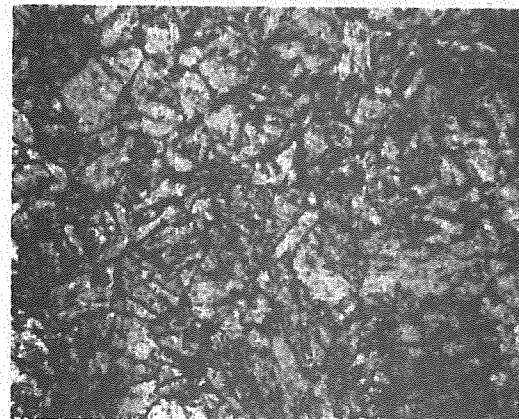


Figure 1 Typical structure of base materials

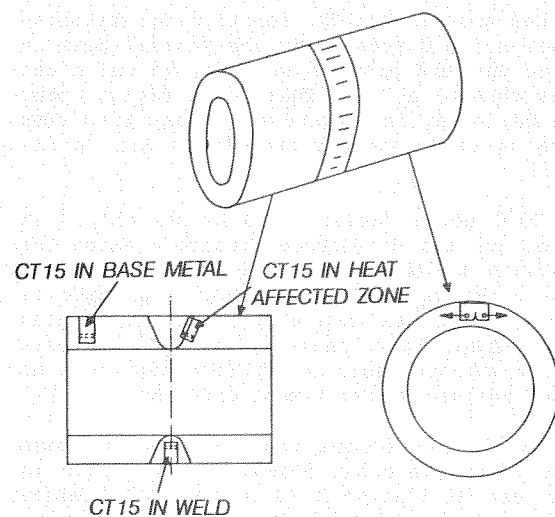


Figure 2 Sampling of CT 15 test specimens

	MATERIAL	PARIS LAWS (mm/cycle) - (MPa \sqrt{m})	THRESHOLD VALUES ΔK_0 (MPa \sqrt{m})
BASE MATERIAL	P91	$(da/dN) = 3,23 \cdot 10^{-9} \Delta K^{3,04}$	3,5
	X 20 Cr Mo V 12.1	$(da/dN) = 2,6 \cdot 10^{-9} \Delta K^{3,23}$	4,5 - 5,5
WELD	P91	$(da/dN) = 2,97 \cdot 10^{-9} \Delta K^{3,06}$	3 - 3,5
	X 20 Cr Mo V 12.1	$(da/dN) = 5,5 \cdot 10^{-9} \Delta K^{3,05}$	5,3 - 6
FUSION LINE	P91	$(da/dN) = 6,59 \cdot 10^{-9} \Delta K^{2,85}$	3,5 - 4
	X 20 Cr Mo V 12.1	$(da/dN) = 8,7 \cdot 10^{-9} \Delta K^{2,89}$	6 - 7

Table 1 : PARIS LAWS and Threshold Values at 20°C (R = 0,1)

	MATERIAL	PARIS LAWS (mm/cycle) - (MPa \sqrt{m})	THRESHOLD VALUES ΔK_0 (MPa \sqrt{m})
BASE MATERIAL	P91	$(da/dN) = 8,57 \cdot 10^{-8} \Delta K^{2,37}$	5,4 - 5,7 - 5,75
	X 20 Cr Mo V 12.1	$(da/dN) = 5,6 \cdot 10^{-8} \Delta K^{2,52}$	interpolated 5,7
WELD	P91	$(da/dN) = 2,30 \cdot 10^{-7} \Delta K^{2,11}$	/
	X 20 Cr Mo V 12.1	$(da/dN) = 9,2 \cdot 10^{-8} \Delta K^{2,41}$	/
FUSION LINE	P91	$(da/dN) = 1,42 \cdot 10^{-7} \Delta K^{2,25}$	/
	X 20 Cr Mo V 12.1	$(da/dN) = 1,3 \cdot 10^{-7} \Delta K^{2,3}$	/

Table 2 : PARIS LAWS and Threshold Values at 550°C (R = 0,1)

	MATERIAL	PARIS LAWS (mm/cycle) - (MPa \sqrt{m})	THRESHOLD VALUES ΔK_0 (MPa \sqrt{m})
0,05	P91	$(da/dN) = 3,05 \cdot 10^{-7} \Delta K^{1,98}$	6,06 - 5,4
	X 20 Cr Mo V 12.1	/	/
0,1	P91	$(da/dN) = 8,57 \cdot 10^{-8} \Delta K^{2,37}$	5,4 - 5,7 - 5,75
	X 20 Cr Mo V 12.1	$(da/dN) = 5,6 \cdot 10^{-8} \Delta K^{2,52}$	interpolated 5,7
0,3	P91	/	5,6 - 5,14 - 4,8
	X 20 Cr Mo V 12.1	/	/
	P91	$(da/dN) = 8,25 \cdot 10^{-7} \Delta K^{1,70}$	4,7 - 5,3
	X 20 Cr Mo V 12.1	$(da/dN) = 1,3 \cdot 10^{-7} \Delta K^{2,3}$	5,4
0,7	P91	$(da/dN) = 4,55 \cdot 10^{-7} \Delta K^{1,91}$	5 - 4,1
	X 20 Cr Mo V 12.1	$(da/dN) = 3,5 \cdot 10^{-7} \Delta K^{1,97}$	4,9
0,9	P91	$(da/dN) = 9,90 \cdot 10^{-10} \Delta K^{5,19}$	4,0 - 4,5
	X 20 Cr Mo V 12.1	/	/

TABLE 3 : Influence of R at 550°C for base materials

