

Evolution de la microstructure des aciers T91 / T22 et leurs joints soudés

Walid Jhinaoui^{#1} Doctorant, Seifallah Fetni^{#2}, Jaleledine Briki^{#3}

[#] Laboratoire de la Mécanique Appliquée et Ingénierie, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis
Tunis el Manar, Tunisie

¹ walidjh@gmail.com

² seifallah.el.fetni@gmail.com

³ jalel.briki@enit.rnu.tn

Centrale Thermique de Rades-STEg

Rades, Tunisie

cprades@steg.com.tn

Résumé— Ce document présente une étude sur l'évolution microstructurale des aciers ASTM A213 T91 et ASTM A213 T22 ainsi que leurs joints soudés après l'opération du soudage, l'éventuel traitement thermique post-soudage et l'exposition au fluage. La microstructure est examinée après fluage après traitement thermique, puis des essais de fluage pour une température de 625°C et différents niveaux de chargement sont appliqués afin d'estimer la tenue au fluage des joints soudés dans les conditions avancées de pression et de vapeur.

Mots-clés— Centrale thermique – Environnement - Soudage – Traitement thermique – Comparaison.

I. INTRODUCTION

Les centrales thermiques telles que les installations à flamme, jouent un rôle très important à travers le monde pour la production de l'électricité, néanmoins elles doivent satisfaire la sécurité de leurs installations, la réduction de l'émission des gaz polluants tout en favorisant une meilleure efficacité du rendement et le moindre coût de maintenance.

Le bon fonctionnement des installations de ces centrales nécessite l'utilisation des aciers de hautes performance afin de résister à un milieu corrosif très avancé de point de vue température de vapeur et pression [650°C, 300MPa].

Les aciers martensitiques (de 9 à 12 % de chrome) représentent des candidats privilégiés pour assurer le bon fonctionnement de ses installations. Parmi ces aciers, on cite : les T91, T22.

Ces aciers permettent d'optimiser le fonctionnement des chaudières en se dotant des bonnes caractéristiques mécaniques notamment la résistance au fluage, fissures et à la corrosion.

Dans notre étude on s'intéresse sur L'acier T91 et T22 utilisé dans la centrale de production d'électricité de Rades (centrale à flamme) sous forme de tubes assemblés par soudure dans la surchauffeur secondaire (SH2).

II. CENTRALES DE PRODUCTION DE L'ELECTRICITE

A. Principe de fonctionnement

Les brûleurs intégrés au niveau de la chaudière chauffent par l'intermédiaire de la combustion du fuel, du charbon ou gaz naturel le fluide présent (généralement de l'eau) pour favoriser son passage de l'état liquide à l'état Vapeur, ce qui engendre l'entraînement d'une turbine moyennant la création d'une dépression à sa sortie par la condensation du gaz à son entrée à l'aide d'une source froide.

La Turbine est couplée à un Alternateur qui permet la transformation de l'énergie cinétique créée par la rotation de cette dernière en énergie électrique utilisable.

L'acier T91 est fréquemment utilisé dans les centrales à flammes surtout dans les surchauffeurs secondaires où la pression et la température sont potentiellement élevées.

L'acier T22 est fréquemment utilisé dans les centrales à flammes surtout dans les surchauffeurs primaires où la pression et la température sont modérées.

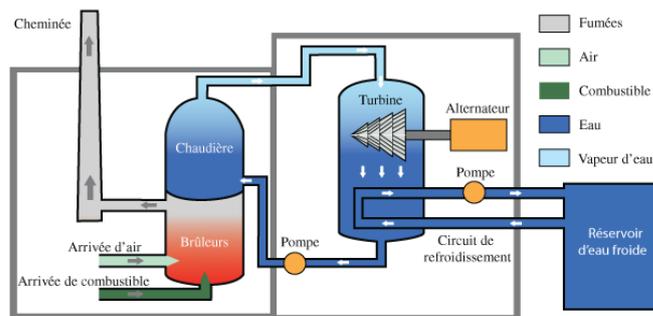
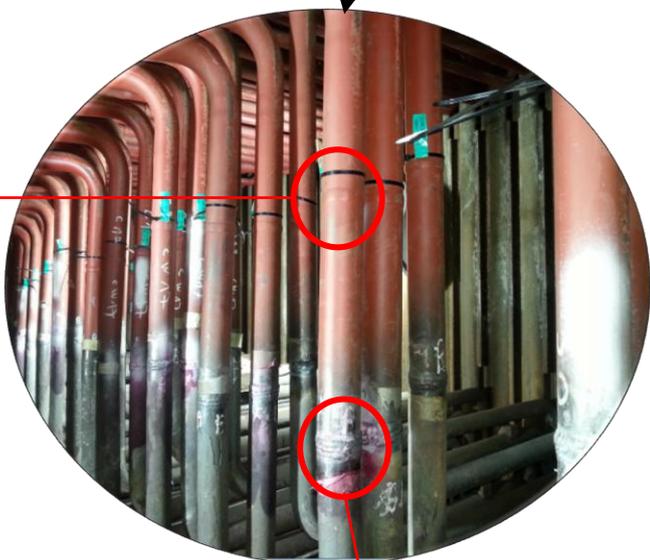
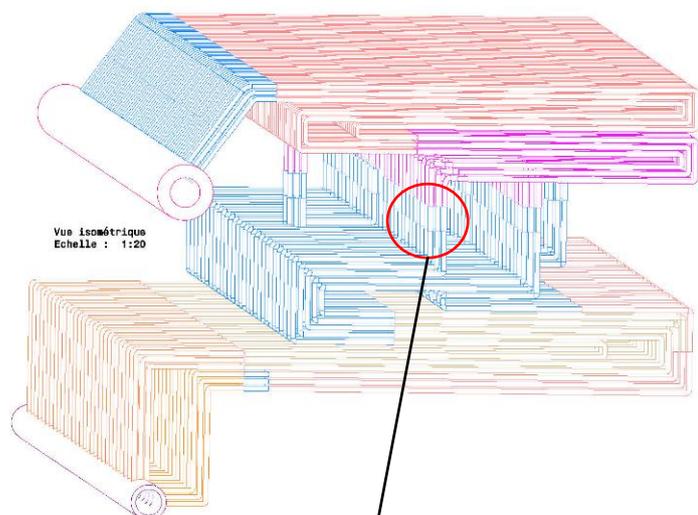


Fig. 1 Principe de fonctionnement du centrale thermique à flamme

B. Mise en situation

1) Architecture générale de surchauffeur



(a)



(b)



(c)

Fig. 2 (a) structure interne de la surchauffeur SH2, (b) Tube rond T91, (c) Tube rond T22

III. CARACTERISATION DE L'ACIER ASTM A213 T91

A. Structure cristallographique

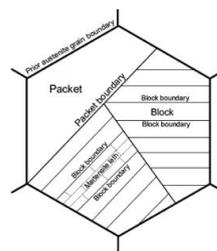


Fig. 3 Illustration simplifiée d'une structure martensitique

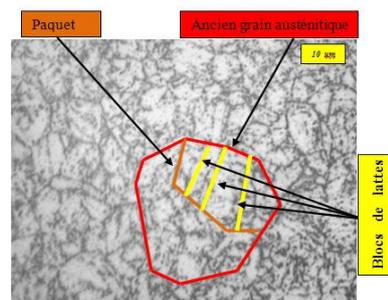


Fig. 4 Microstructure de l'acier T91 obtenue par microscope optique

La Fig. 4 illustre un ancien grain austénitique typique, il est subdivisé en paquets, et chaque paquet est scindé en blocs de lattes. La microstructure des aciers à 9% de chrome est complexe, en effet en changeant le paquet, l'orientation des blocs des lattes change.

Cette désorientation est plus nette dans les images obtenues par microscopie électronique à balayage Fig .5

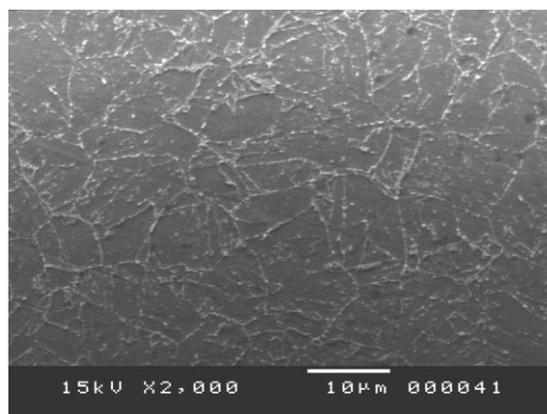


Fig. 5 Microstructure de l'acier T91 : obtenue par microscopie électronique à balayage

La bonne tenue de l'acier T91 est due à sa matrice de martensite tempérée riche en précipités fines, il existe deux topologies de précipités : les précipités M₂₃C₆ (M=Cr/Mo) le long des anciens grains austénitiques, des joints des paquets et joints de blocs, et les précipités MX (M=Nb/V et X=C/N). Ces précipités constituent des obstacles devant les dislocations mobiles ce qui a pour effet de maintenir la stabilité de la microstructure.

B. Spécification chimique

L'acier de l'étude a été fourni sous forme de tube (diamètre extérieur = 45 mm, épaisseur = 9 mm). L'analyse spectrométrique a donné la composition chimique suivante :

TABLE I

Spécification chimique			
	Métal utilisé	ASTM standard [2]	Métal d'apport AWS 9015-B9
C	0.143	0.05 – 0.15	0.08 – 0.13
Fe	88.6	-	-
Si	0.26	0.2 – 0.5	0.3 max
Mn	0.4	0.3 – 0.6	1.2 max
Cr	8.72	8 – 9.5	8 – 10.5
Mo	1.208	0.85 – 1.2	0.85 – 1.2
Ni	0.26	0.4 max	0.8 max
Al	0.005	0.004 max	0.004 max
Co	0.01	-	-
Cu	0.07	0.25 max	0.25 max
Nb	0.111	0.02 – 0.1	0.02-0.1
Ti	0.005	-	-
V	0.178	0.18 – 0.25	0.15 – 0.3
W	0.02	-	-
Pb	0.023	-	-

C. Soudure et cycle thermique proposés par [1]

1) Propriétés mécaniques:

Propriétés mécanique du matériau de livraison utilisé T91

TABLE II

Propriétés Mécaniques	
Limite élastique	363 Mpa à 500 °C Et 276 Mpa à 600 °C
Traitement	1060°C/30 min
Tempering	760°C/30 min
Hardness	220 Hv
Contrainte maximale	585 Mpa

2) Préparation des portions:

Pour la soudure, seifallah et al ont utilisées, des portions du tube P91 de longueur 26 mm avec la réalisation de chanfreins en X comme l'indique la Fig 6.

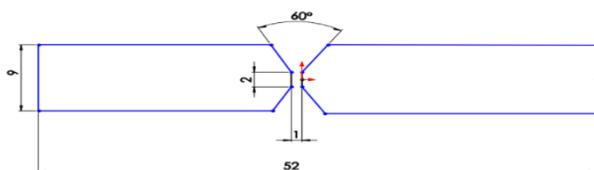


Fig. 6 Géométrie du chanfrein

3) Paramètres de soudure utilisée par [1]:

Les paramètres de la soudure sont également illustrés dans le tableau III

TABLE III

Paramètres de soudure	
Technique	Smaw
Préchauffage	200°C
Nombre de passes	monopasse
Voltage	~26V
Ampérage	160A
Vitesse	~~~2cm/min

4) Traitement thermique:

Trois temps de maintien sont appliqués par [1] lors des traitements thermiques, comme le montre la Fig. 7.

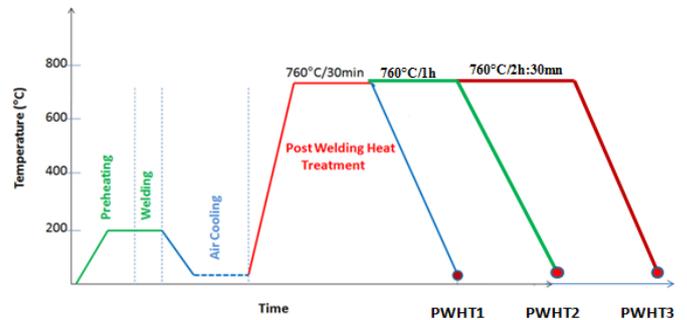


Fig. 7 Cycle de traitement thermique

D. Résultats et interprétations données par [1]

1) Microstructure des zones métallurgiques :

Après une investigation métallurgique du joint de soudure, Fetni et al.[1] ont interprétés que le gradient de température engendré par le soudage fait apparaitre 03 zones métallurgiques hétérogènes La zone fondue, la zone à gros grains (CGHAZ), la zone à petits grains (FGHAZ) et une zone inter-critique (ICHAZ) Fig 8.

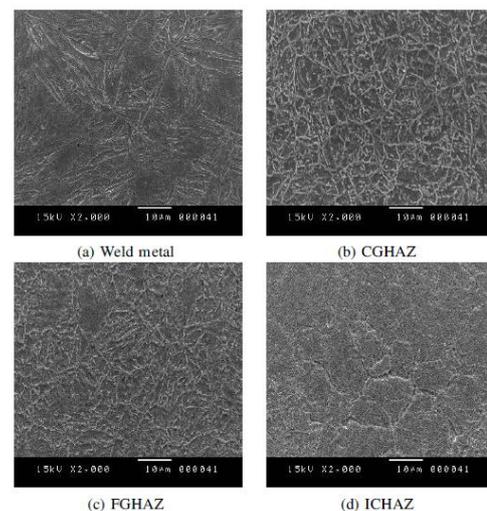


Fig. 8 Images MEB de différentes zones du joint soudé

2) Evolution de la micro-dureté :

Seifallah et al. ont utilisées trois temps de maintien lors des traitements thermiques Fig. 7 afin d'adoucir la microstructure et réduire les tensions induites par le soudage. Ils ont affirmés qu'une température de 760°C est trop conseillée pour les aciers à 9% du chrome avec la variation du temps de traitement pour l'obtention d'une dureté équi-répartie sur tout l'échantillon, ce qui traduit une structure homogène.

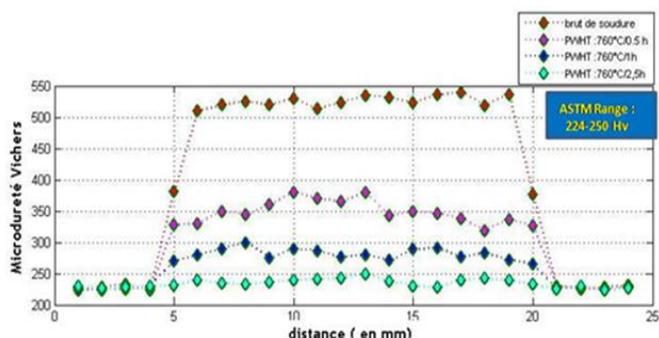


Fig. 9 Evolution de la micro-dureté en fonction du temps

3) Tenue au Fluage de l'acier T91 :

L'essai de Fluage réalisé par [1] on choisissant une température de 625°C, afin de réaliser des essais relativement courts en termes de temps. Deux essais sont menés avec deux charges différentes : 100 Mpa et 40Mpa.

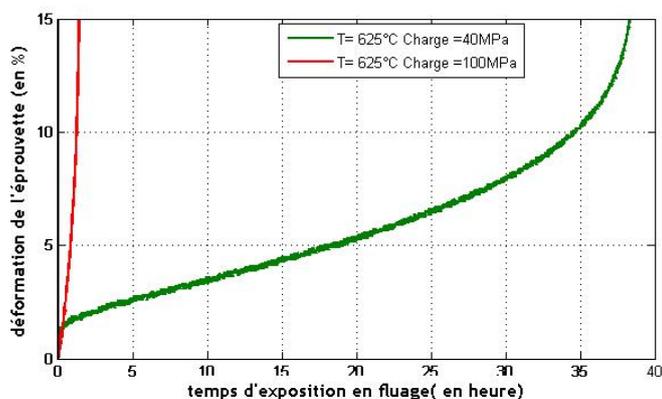


Fig. 10 Déformation en fonction du temps de fluage

Pour 100 Mpa l'échantillon passe directement du stade I au stade III, la rupture rapide. Par contre, pour une charge modérée (40 Mpa), le stade secondaire de rupture a eu lieu, au niveau de la microstructure plus précisément dans la ZAT danc on remarque que les travaux de [1] sont en accord avec les résultats donnés par [3] sur le même acier le T91.

IV. AMELIORATION DU PROCEDE DE SOUDAGE

A. Amélioration des paramètres de soudure

Procédé de soudage	GTAW	Manuel	Position				
	SMAW	Manuel	Position du chanfrein 6G				
Joints			Préchauffage				
			Température de préchauffage minimum 200 °C				
			Température maximum entre passes 300°C				
			Traitement thermique Post-soudage				
			Gamme de températures 720 °C				
			Gamme de durée 0,5 h				
Métal de Base ASTM A 213 T91							
Analyse chimique 9Cr-1Mo-V							
Métal d'apport	GTAW	SMAW	Size of Filler	2,4	2,5		
Spec.No	SFA -5,28	SFA-5,5	Nature du métal	File	Baguette		
AWS No	ER90S-B9	E9018-B9	Chanfrein (mm)	2	4,7		
Caractéristiques techniques et électriques							
Couches de soudures	Procédé	Métal d'apport		Courant			Gamme de vitesse(cm/ min)
		Classification	Diamètre	Polarité	Ampérage(A)	Energie(KJ/s)	Voltage(V)
Racine	GTAW	ER90S-B9	2,4	DC-	50-80	0,5-1,6	10-20
Remplissage	GTAW	ER90S-B9	2,4	DC-	80-120	0,8-2,4	10-20
	SMAW	E 9018-B9	2,5	DC+	60-90	1,32-2,25	22-25
Couverture	SMAW	E 9018-B9	2,5	DC+	60-90	1,32-2,25	22-25

Fig.11 Paramètres de soudure

B. Préparation des joints et soudage des aciers T91 et T22



Fig. 12 Préparation des chanfreins selon les paramètres utilisés



Fig. 13 Soudure qualifiée des joints



Fig. 14 Joint de soudure de l'acier T91



Fig. 18 Répartition des zones métallurgiques au niveau du cordon obtenu



Fig. 15 Joint de soudure de l'acier T22

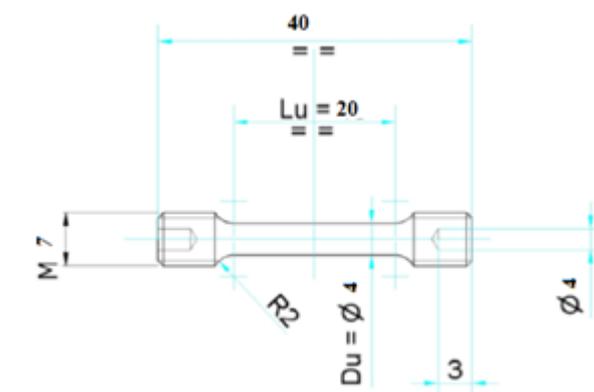


Fig. 19 Géométrie de l'éprouvette

C. Préparation des éprouvettes

1) Découpage sur fraiseuse :



Fig. 16 Utilisation d'un plateau diviseur et une fraise disque pour le découpage



Fig. 20 Chariotage et dressage des éprouvettes par outil coudé



Fig. 17 la réalisation d'une forme prismatique selon la géométrie Fig.6



Fig. 21 Filetage et finition des éprouvettes

V. CONCLUSIONS

D'après les travaux réalisés par [1] on remarque que les joints soudés de l'acier P91 ont un temps de tenue à la rupture plus court que le métal de base, l'assemblage soudé peut favoriser l'apparition des défauts (inclusions, retassures etc.) dont l'effet est néfaste sur la résistance au fluage du joint. Sous une charge modérée, la rupture a lieu dans la ZAT, en outre on remarque que le PWHT affecte directement la durée de vie des joints soudés donc une bonne préparation avant et en cours de soudage paraît très obligatoire pour minimiser l'hétérogénéité, les inclusions, les microfissures, les fissures au raccordement, les fissures à chauds suite à cette interprétation nous avons améliorés les paramètres du procédé de soudage afin de révéler l'impact engendré sur le comportement des matériaux utilisés de point de vue métallurgique et tenue au fluage, donc il reste à comparer les résultats obtenus par [1] avec les résultats des essais qui sont en cours d'exécution dans le but de les présenter lors de la conférence.

RECONNAISSANCE

Nous tenons à remercier les membres de l'équipe de la centrale thermique de Rades de leurs soutiens pour la préparation de ce présent travail.

REFERENCES

- [1] S. Fetni, I. Mkaour, J. Briki, *Optimization of the high temperature properties of T91 welds by controlling PWHT parameters*, Journal of Mechanical Engineering Science class Files, Vol.11, No.4, August 2016.
- [2] ASTM A213/A213M-06a, Standard Specification for Seamless Ferritic and Austenitic Alloy-Steel Boiler, Superheater, and Heat-Exchanger Tubes.
- [3] Charlotte Klack, Benjamin Fournier, Françoise Barcelo, Laurent Forest, France Dalle, Pierre-François Giroux, Ivan Tourni, and Anne-Françoise Gourgues-Lorenzon. High temperature creep properties and microstructural examinations of P92 welds. In T. Beck B. Kuhn J. Lecomte-Beckers, Q. Contrepois, editor, 9th Liege conference : materials for advanced power engineering, pages 424-434, Liege, Belgium, September 2010. Julich forschungszentrum.