

Influence des Flux Cellulosique et Basique sur la Composition Chimique, la Microstructure, les Inclusions et la Micro-dureté des Soudures SMAW d'un acier X42

line1: 1st F. Khamouli
line2: Laboratoire de Métallurgie et Génie des Matériaux, LMGM
line 3: Université, Annaba
line 4: Annaba, Algeri
line 5: fkhamouli@yahoo.fr

line1: 2nd M. Zidani
line2: Laboratoire de Génie Energétique et Matériaux, LGEM
line3: Université Mohamed Khider BP145, Biskra 07000
line4: Biskra, Algérie
line 5: zidani.sabih@gmail.com

line1: 3rd K. Digheche
line 2: Département de chimie industrielle
line 3: Université Mohamed Khider BP145, Biskra 07000
line 4: Biskra, Algérie
line 5: k.digheche@univbiskra.dz

line1: 4th A. Saoudi
line2: CRAPC Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-Chimiques, BP 384
line 3: Zone Industrielle Bou-Ismaïl RP 42001
line 4: Tipaza, Algérie
line 5: A.Saoudi@yahoo.fr

line1: 5th L. Atoui
line2: Laboratoire de Métallurgie et Génie des Matériaux, LMGM
line 3: Université Annaba 23000
line4: Annaba, Algeri
line 5: L.Atoui@yahoo.fr

Résumé — L'objectif de ce travail consiste à l'étude de l'influence des flux cellulosique et basique sur la composition chimique, la microstructure, la formation des inclusions et la micro dureté des soudures SMAW de l'acier X42. La variation de composition chimique commercialisée des flux utilisés est: E6010, E8010-P1 et E8018-G, avec des électrodes à faible teneur en carbone. Les conditions de soudure ne sont pas constantes. La microstructure de la zone de fusion pour chaque flux est principalement constituée de ferrite aciculaire. On constate que le manganèse augmente respectivement dans les zones de fusion (C, B et A). La variation de concentration massique du manganèse est homogène à travers les trois points avec tous les flux utilisés. Les inclusions non métalliques observées sont de deux types: blanches et noires et indépendamment du flux utilisé. La micro-dureté à valeurs décroissantes a été obtenue dans les zones de fusion (C, B et A).

Mots clés — Acier X42, Flux cellulosique et basique, Soudage SMAW, Microstructure, Inclusion non métallique, Micro-dureté.

I . INTRODUCTION

Le transport par pipelines s'impose depuis le début du siècle dernier, reconnu comme le moyen le plus sûr et économique, il se développe d'avantage suite à l'accroissement continu du besoin mondial en énergie et l'apparition de nouveaux consommateurs d'hydrocarbures sur le marché. La partie conduite d'un pipeline est une

construction mécano- soudée, ainsi la soudabilité des aciers des tubes à des répercussions sur le coût de réalisation et sur la fiabilité de la conduite (1). Dans l'entreprise de COSIDER de BISKRA. Les assemblages de canalisation de transport de gaz sont préférentiellement effectués par le procédé à l'arc électrique avec électrode enrobée (SMAW) (2-5). On utilise actuellement le procédé de soudage à l'arc électrique à l'électrode enrobée (Fig1, 2). Les électrodes utilisées se différencient par leurs particularités technologiques, le type et l'épaisseur de l'enrobage, la composition chimique de l'âme et de l'enrobage, le caractère de laitiers, les propriétés mécaniques du métal du cordon et le moyen d'adhérence de l'enrobage à l'âme de l'électrode (6-7). La matière composant l'enrobage assure trois fonctions : métallurgique, électrique et physique (8). Pour la construction des pipelines, on utilise plus particulièrement les électrodes à enrobage cellulosique pour les joints soudés par la technique descendante. Elle permet d'obtenir une bonne pénétration. Les électrodes basiques présentent des meilleures qualités mécaniques et notamment la résilience (8). L'objectif de notre travail est d'étudier de l'effet des flux sur la composition chimique, la microstructure et les inclusions des joints soudés par procédé SMAW d'un acier type X42.

Corresponding author: e-mail fkhamouli@yahoo.fr Université Badji Mokhtar BP12, Sidi Ammar, Annaba 23000, Algérie.

mesures de la micro-dureté Vickers ont été effectuées sur la zone de fusion avec une charge de 500 grammes.

TABLEAU I. COMPOSITION CHIMIQUE DES FLUX

Flux wt. %	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	C ₁₈ H ₃₀ O ₆	TiO ₂	MgCO ₃	CaCO ₃	CaF ₂	Ni ₂ O ₃	CrO ₂	MoO ₃
Cellulosique E6010(A)	70-90	1-5	---	<5	<5	<10	<2	---	---	---	---	---
Cellulosique E8010P1(B)	70-90	1-5	<2	---	<5	<5	<1	5-10	---	<2	---	<1
Basique E8018-G(D)	60-90	1-5	<5	-	<5	<5	<1	5-10	4-15	<5	<9	<2

TABLEAU II: COMPOSITIONS CHIMIQUES DE L'ACIER X42, DES ELECTRODES ET DE LA ZONE FUSION

Eléments	Métal de base X 42	Electrode cellulosique E6010	Electrode cellulosique E8010-P	Electrode basique E8018-G	Zone de la fusion (A)	Zone de la fusion (B)	Zone de la fusion (C)
C	0.18	0.15	0.15	0.05	0.17	0.15	0.10
Si	0.20	0.16	0.21	0.32	0.14	0.22	0.30
Mn	0.80	0.41	0.71	0.87	0.59	0.90	1.19
P	0.000	0.000	0.008	0.013	0.000	0.000	<0.001
S	0.000	0.000	0.013	0.006	0.000	0.000	<0.001
Cr	0.02	0.07	0.05	0.03	0.01	0.02	0.02
Mo	0.01	0.01	0.10	0.01	0.04	0.02	0.27
Ni	0.02	0.09	0.68	0.71	0.11	0.06	0.72
Al	0.0164	0.00	-	-	0.0005	0.0043	<0.0010
Co	0.00	0.00	-	-	0.00	0.00	<0.00
Cu	0.06	-	-	-	0.02	0.09	0.04
Nb	0.00	-	-	-	0.00	0.00	<0.00
Ti	0.0013	-	-	-	0.0104	0.0040	0.0039
V	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
W	0.00	-	-	-	0.00	0.00	<0.00
Sn	0.004	-	-	-	0.003	0.004	0.002
As	0.004	-	-	-	0.004	0.004	0.002
Ca	0.0020	-	-	-	0.0006	0.0036	<0.0010
Ce	0.000	-	-	-	0.000	0.000	<0.001
Se	0.0000	-	-	-	0.0000	0.0000	<0.0015
B	0.0020	-	-	-	0.0019	0.0021	0.0021
N	>0.0240	-	-	-	≈0.0231	≈0.0201	0.0071
Fe	98.64	99.1	98.069	97.98	98.87	98.50	97.34

III. RÉSULTATS

A. Composition chimique

Les réactions entre le métal liquide et le flux sont similaires à celles entre le métal fondu et le laitier dans le procédé de soudage de l'acier (11). En comparant le tableau II au tableau 1, on constate la différence des compositions chimiques entre la zone de fusion et le flux. La teneur en Mo, Cr, Ni, Ca et Si augmente dans la zone de fusion du flux (A). Le contenu des oxydes correspond à leurs faibles teneurs dans le flux initial (A). Les flux (A et C) ont respectivement la teneur la plus élevée en TiO₂ et en SiO₂. La teneur la plus élevée en Ti et en Si a été également détectée respectivement dans les zones de fusion (A et C). Le MnO₂ dans les flux (A, B et C) est constant. Alors que le Mn augmente respectivement dans les zones de fusion (C, B et A). La teneur la plus basse du carbone a été détectée dans la zone de fusion des flux (C et B) ; ceci est attribué à la teneur élevée en MnO, SiO₂ et CaO.

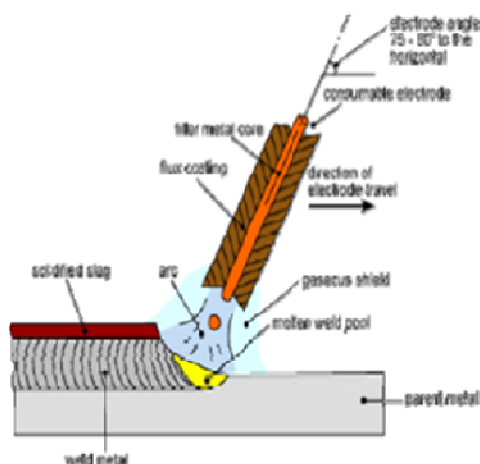


Fig.1. Procédé SMAW (9)



Fig. 2. Assemblage de deux tubes d'acier X42 avec le procédé de soudage à l'arc avec électrodes enrobées (SMAW) (10).

II. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Les compositions chimiques des flux utilisés dans ce travail figurent sur le tableau I. Les compositions chimiques ont été choisies afin d'analyser l'effet des flux sur la zone de fusion de l'acier de pipelines X42 avec un joint simple-V. Le procédé de soudage utilisé est le procédé SMAW. Les compositions chimiques de l'acier X42 et des électrodes sont présentées dans le tableau 2. Les échantillons de la soudure pour les observations métallographiques ont été préparés avec du réactif de Nital 4% pour 30 s, puis observés dans un microscope électronique à balayage (MEB) à 15 et 20 kV. L'analyse chimique des soudures a été exécutée par une spectrométrie. La microanalyse a été également effectuée sur les inclusions de la zone de fusion en utilisant un équipement d'EDX attaché aux MEB. Les

Ces flux contiennent des ions d'O₂ réagissant avec le carbone (11). En comparant les colonnes du tableau 2, on constate la différence évidente des compositions chimiques entre le métal de base, l'électrode et la zone de fusion. Les zones de fusion (A, B et C) contiennent en moyenne 0.14% de C ceci est lié à la teneur en carbone dans les électrodes (A, B et C). La teneur du Si demeure entre 0.14- 0.32 % pour les électrodes et les zones de fusion. On a constaté aussi que lorsque la teneur en Mn dans l'électrode est supérieur 0.41%, la teneur en Mn dans la zone de fusion varie entre 0.59% et 1.19% .Cependant, si la teneur des électrodes en N est plus basse, la plupart des zones de fusions présentent une teneur en N entre 0.0071 et 0.0231%. Si la teneur en Mo dans les électrodes (A et C) est constante, la plupart des zones de fusion (A et C), présentent des teneurs en Mo entre 0.04 et 0.27%. En plus, on peut constater une diminution du pourcentage de carbone dans les zones de fusion(A, B et C) par rapport au métal de base estimé à 0,18 % C, on remarque aussi une augmentation des pourcentages de Si et de Mn dans les zones de fusion (B, et C) avec une diminution des pourcentages de ces éléments dans de la zone de fusion (A) , par rapport au métal de base , mais on a constaté aussi une augmentation du pourcentage de Ti dans les zones de fusion (A, B et C) par rapport au métal de base .

B. Microstructure

La Figure 3, montre les micrographies MEB de l'acier (X42) et des zones de fusions pour les différents flux utilisés (A, B et C). La microstructure du métal de base a montré une structure ferrito perlitique. (12-14). On constate bien des colonies de perlite, mais avec une quantité plus faible par rapport à la phase ferritique, car notre acier a un faible pourcentage de carbone. Les microstructures identiques à la zone déposée des soudures, correspondant aux flux (A, B et C) montrent une structure de dendrites. Cependant La microstructure de la zone de fusion pour chaque flux est constituée principalement de ferrite aciculaire(FA). On a remarqué que la ferrite aciculaire décroît dans les zones de fusion (B et C) ceci est lié à l'effet de l'oxyde SiO₂ dans les flux (B et C) (15). On a déjà vu que le contenu élevé du Mn dans la zone de fusion correspondant aux flux (C et B) a limité la formation de ferrite aciculaire (16). Alors qu'une teneur élevée en Ti dans la zone de fusion du flux (A) favorise la formation de ferrite aciculaire (16). On a remarqué aussi que plus la teneur en TiO₂ augmente dans le flux A plus la nucléation de la ferrite aciculaire est favorisée. (15).

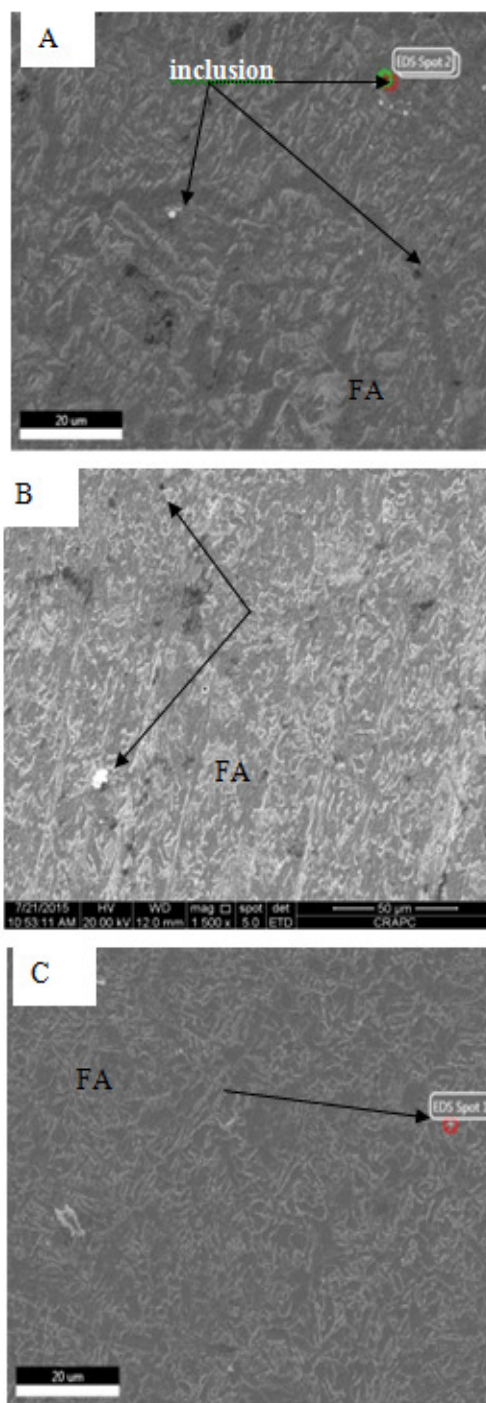
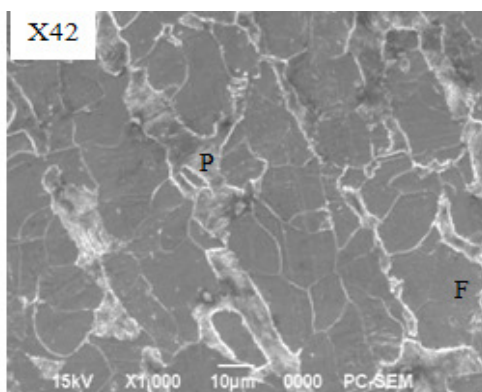


Fig.3. Micrographies du MEB de l'acier X42 et de la zone fusion (A , B et C) pour les flux utilisés.

C. L'analyse chimique par EDX

Le tableau III. montre les analyses chimiques par EDX dans les zones de fusion (A, B et C). En comparant les différentes analyses chimiques du centre du point 1 aux différents flux utilisés, on constate que les éléments Al, Mg, Ca et V ont des taux plus élevés dans le centre du point 1 de la zone de fusion (A), mais, la zone de fusion (C) les taux les plus élevés des éléments Ti, Mn, Cr et Si dans le centre du

point 1. De même, les éléments Al, Ca et V ont des pourcentages identiques dans le centre du point 1 de la zone de fusion (B). On remarque aussi que le tableau 4 montre que les éléments Mn et Si augmentent progressivement dans les trois points de la zone de fusion (C) (3,5).

TABLEAU III. ANALYSES PAR EDX DES CONCENTRATIONS MASSIQUES DES ELEMENTS D'ALLIAGE DANS LE CORDON DE SOUDAGE .

Zone fusion Element	E6010(A)(point analysée 1,2et3)			E8010-P(B)(point analysée 1,2et3)			E 8018-G(C) point analysée 1,2et3)		
	1 Wt% Centre	2 Wt% Centre	3 Wt% Centre	1 Wt% Centre	2 Wt% Centre	3 Wt% Centre	1 Wt% Centre	2 Wt% Centre	3 Wt% Centre
Mg	0.47	0.30	0.33	0.29	0.25	0.29	0.00	0.37	0.32
Al	0.15	0.12	0.15	0.12	0.11	0.15	0.09	0.26	0.13
Si	0.19	0.18	0.15	0.22	0.26	0.22	0.35	0.42	0.29
Ca	0.36	0.18	0.22	0.12	0.15	0.13	0.35	0.09	0.17
Ti	0.29	0.23	0.20	0.23	0.18	0.13	0.32	0.18	0.17
V	0.24	0.14	0.15	0.12	0.17	0.07	0.22	0.36	0.09
Cr	0.20	0.22	0.20	0.22	0.16	0.17	0.25	0.38	0.13
Mn	0.87	0.89	0.74	0.99	1.01	0.89	1.12	1.35	1.00

D. Composition chimique des inclusions non métalliques

Les compositions chimiques de certaines inclusions non métalliques observées dans les différentes zones de fusion sont citées dans le tableau IV. On constate généralement que le noyau de l'inclusion consiste principalement à un mélange des oxydes à différentes proportions. Les inclusions observées sont présentes pour les différents types des flux utilisés et elles sont blanches et noires. L'inclusion blanche correspond au contenu riche en oxydes de Si, Mg et Mn, avec une petite proportion d'Al, Ti, V, Ca et Cr. L'inclusion noire correspond principalement au contenu riche en oxydes de Ti et Mn, mais a une petite proportion de V, Ca, Si et Cr dans de la zone de fusion (A). On note aussi que les inclusions blanches dans de la zone de fusion (B), sont riche en oxyde de Ca, Si et Mg, avec une petite proportion d'Al, Ti, V, Mn et Cr, ainsi que les inclusion noires ont des teneurs riches en oxyde de Mn, de Si et de Ti, avec une petite proportion de V, de Ca, d'Al, de Mg et de Cr. Nous avons vu dans la zone de fusion (C) des inclusions blanches aux teneurs riches de F, Cr et Mn, et à une petite proportion de V, Ca, Si et Ti, Mg et Al. La composition chimique des produits de désoxydation peut varier dans des larges limites, selon les activités relatives de Si, Ti, Mn, Al et de l'oxygène dans la zone de fusion (17).

TABLEAU IV: CARACTERISTIQUES DES INCLUSIONS NON METALLIQUES OBSERVEES DANS DIFFERENTS ZONES DE FUSION

Zone de fusion	Inclusions non métalliques	Caractéristiques des inclusions	
		Composition chimique	Description
A (E6010)	2 Wt% Inclusion blanche	12.19 C, 20.48 O, 1.18 Mg, 0.46 Al, 1.76 Si, 0.12 Ca, 0.10 Ti, 0.11 V, 0.16 Cr, 0.80 Mn	O, C, Si, Mg, Mn riche
	3 Wt% Inclusion noire	6.79 C, 0.98 O, 0.00 Mg, 0.00 Al, 0.03 Si, 0.21 Ca, 0.55 Ti, 0.30 V, 0.35 Cr, 2.45 Mn	C, Mn, O, Ti, Cr riche
B (E8010-P1)	2 Wt% Inclusion blanche	9.73 C, 21.66 O, 0.82 Mg, 0.42 Al, 1.29 Si, 16.00, Ca, 0.17 Ti, 0.11 V, 0.13 Cr, 0.42 Mn	Ca, O, C, Si, Mg riche
	3 Wt% Inclusion noire	1.67 C, 25.36 O, 0.11 Mg, 0.07 Al, 11.93 Si, 0.30 Ca, 4.83 Ti, 0.44 V, 0.27 Cr, 16.96 Mn	O, Mn, Si, Ti, C riche
C (E8018-G)	2 Wt% Inclusion blanche	5.66 C, 22.25 O, 0.69 Mg, 0.17 Al, 0.15 Si, 0.11 Ca, 0.15 Ti, 0.08 V, 3.62 Cr, 0.95 Mn, 3.94 F	O, C, F, Cr, Mn, riche

E. Micro-dureté

Le tableau V. montre les valeurs moyennes de la micro-dureté Vickers aux cordons de soudage (A, B et C) et le carbone équivalent donné par l'équation suivante (11).

$$C \text{ équivalent} = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/4 \dots\dots\dots 1$$

On remarque que la micro-dureté la plus élevée et la plus basse ont été obtenues pour les zone de fusion (C, B et A) avec des carbones équivalents décroissants (9). Le carbone équivalent des cordons de soudage pour tous les flux (A, B et C) est inférieur à 0.45. Un acier avec un carbone équivalent supérieur à 0.45 a une susceptibilité élevée à la fissuration froide après soudure. En outre, la formation de la martensite est facilitée pendant le refroidissement des soudures. (11). On a aussi remarqué sur la zone de fusion C, un taux de Mn le plus élevé par rapport aux zones de fusion (B et A). Cela conduit à ce que la zone de fusion (C) présente le niveau le plus élevée de micro-dureté. Ceci peut être attribué à un taux plus élevé de Mn qui améliore la dureté de l'acier (11).

TABLEAU V : LES VALEURS MOYENNES DE LA MICRO-DURETE VICKERS ET AU CARBONE EQUIVALENT DES SOUDURES POUR LES DIFFERENTS FLUX.

Zone fusion		HV ZF moyen	Ceq
Flux A		207.32	0.28
xmm	ZF		
0	212.8		
1	210.8		
2	204.8		
3	200.9		
FluxB		211.05	0.31
xmm	ZF		
0	222.4		
1	200.1		
2	213.1		
3	208.5		
Flux C		218.57	0.40
xmm	ZF		
0	222.8		
1	221.3		
2	220.9		
3	209.3		

VI. CONCLUSION

Ce travail, étant une étude sur l'influence des flux cellulosique et basique sur la composition chimique, la microstructure, la formation des inclusions non métalliques et la micro-dureté des soudures SMAW de l'acier x42, a pour conclusions suivantes :

- Les flux (A et C) ont la teneur la plus élevée de TiO_2 et SiO_2 . La teneur la plus élevée de Ti et de Si a été également détecté pour les cordons de soudage (A et C).
- l'oxyde de Mn (MnO_2) dans les flux (A, B et C) est constant, mais le Mn augmente dans les zones de fusion (C, B et A).
- La teneur en Si demeure entre 0.14 et 0.30% pour les électrodes et les zones de fusion. Ceci montre que si la teneur en Mn de l'électrode est plus élevée à 0.41%, la teneur de Mn dans la zone de fusion peut varier entre 0.59% et 1.19%.
- La microstructure de la zone de fusion pour chaque flux est principalement constituée de ferrite aciculaire.
- la variation des concentrations massiques des éléments d'alliage [Mg, Al, Si, Ca et Ti] obtenu est homogène à travers le centre de point 1 avec le flux A.
- la variation des concentrations massiques du Mn est homogène à travers les trois points avec tous les flux utilisés.
- La variation des concentrations des éléments d'alliage [Mg, Al, Si, Ca, Ti et Cr] obtenu est hétérogène à travers le centre de point 1 avec les flux B et C.
- Les inclusions non métalliques observées se présentent en différents types suivant les flux utilisés. On a remarqué des inclusions blanches et noires.
- Le carbone équivalent des zones de fusion pour tous les flux (A, B et C) est inférieur à 0.45.
- Dans la zone fusion (C), nous avons obtenu que l'élément le plus élevé est le Mn, par rapport à la zone fusion (B et A), cela conduit à ce que la zone de fusion (C) à la micro-dureté la plus élevée.

REFERENCES

- [1] J.N.H.TIRATSOO, "Pipeline Pigging Technology", 2nd Ed, 1992.
- [2] Z. Boumerzoug, K. Digheche, and V. Ji, "X-Ray Analysis of Residual Stress in Weld Region of X70 Pipeline Steel": Advanced Materials Research, 936, 2014, 2011-2016.
- [3] F. Khamouli, M. Zidani, H. Farh, A. Saoudi, and L. Atoui, "Effects of Cellulosic and Basic Flux on the Structure, Composition and Hardness of SMAW Welds on Steel X42", International Journal of Engineering Research, 27, 2016, 11-19,
- [4] K. Digheche, Z. Boumerzoug, Malika Diafi, and K. Saadi, "Influence of heat treatments on the microstructure of welded API X70 pipeline steel, Acta Metallurgica Slovaca, Vol. 23, 2017, 72-78
- [5] F. Khamouli¹, M. Zidani², K. Digheche³ A. Saoudi^{1, 4}, L. Atoui¹, "Effect of E6010 and E8018-G fluxes utilization on SMAW multi-pass welded steel", Diffusion Foundations Vol.18, 2018, 55-64
- [6] G. Singh Sidhu, S. Singh Chatha "Role of shielded metal arc welding consumables on pipe weld joint", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website, Certified Journal, 2, 1 12, 2012.
- [7] CSWIP, Welding Inspection - Steels, welding-inspection-notes-and-questions, 2008, 98-99.
- [8] M.K. Bencharif Welding Inspection, "Procèdes de Soudage", Vinçotte international Algérie 2007.
- [9] CSWIP -3-2-Book, "Welding Consumables", World Centre For Materials Joining Technology, Copyright © TWI, 2008.
- [10] COSIDER CANALISATION Document de L'industrie. Biskra 2012.
- [11] A.M. Paniagua- Mercado, Victor M. Lopez-Hirata, Maribel L. Saucedo Munoz "Influence of the chemical composition of flux on the microstructure and tensile properties of submerged-arc welds", Journal of Materials Processing Technology 169, 2005, 346-351.
- [12] A. M. Paniagua-Mercado, Victor M. Lopez-Hirata, Hector J. Dorantes-Rosales, Paulino Estrada Diaz, Elvia Diaz Valdez "Effect of TiO_2 -containing fluxes on the mechanical properties and microstructure in submerged-arc weld steels". materials characterization 60, 2009, 36-39.
- [13] Z. Boumerzoug, C. Derfouf and T. Baudin, "Effect of welding on microstructure and mechanical properties of an industrial low carbon steel" Journal of Engineering, 2, 2010, 502-506.
- [14] Z. Boumerzoug, E. Raouache, F. Delaunois, "Thermal cycle simulation of welding process in low carbon steel", Materials Science and Engineering, 530, 2011, 191-195.
- [15] A.G. Fox, M.W. Eakes, G.L. Franks, "The effect of small change in flux basicity on the acicular ferrite content and mechanical properties of submerged arc weld metal of navy HY-100 steel", Weld J, 75, 1996, 330-42.
- [16] B. Beidokhti, A.H. Koukabi, A. Dolati, "Influences of titanium and manganese on high strength low alloy SAW weld metal properties", materials characterization 60, 2009, 225-233
- [17] J. E. Ramirez, "Characterization of high-strength steel weld metals: chemical composition, microstructure, and nonmetallic inclusions", Welding Journal-New York, 87, 3, 2008, 65-75.