

## Influence du processus d'électroérosion à fil et du traitement d'anodisation sur l'état de surface de l'alliage 7075T651

LOUATI Sana<sup>1</sup>

MASMOUDI KHABOU Neila<sup>1</sup>

BRADAI Chedly<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire des Systèmes Électromécaniques, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, Université de Sfax- 3038 Sfax

**Mots clés :** électroérosion à fil, rugosité, anodisation, alliage d'aluminium

**Keywords:** Wire electrical discharge machining, roughness, anodization, aluminum alloy

### RÉSUMÉ.

Une évaluation qualitative de l'usinage par électroérosion à fil de l'alliage d'aluminium 7075-T651 en terme de finition de surface est étudiée. 3 facteurs à 3 niveaux sont exploités par un réseau orthogonal L9 de Taguchi pour déterminer l'influence des paramètres du procédé. Sur la base de la valeur de la rugosité de surface, les résultats du rapport signal /bruit (S/N) révèlent que le temps ON d'impulsion (TON) et le courant de crête (IP) sont les paramètres de coupe affectant significativement la rugosité de surface. La topographie de surface du matériau étudié découpé par électroérosion à fil ne montre aucune fissure. Une étude de l'influence de la couche d'oxyde anodique en termes de topographie et morphologie de la surface a révélé la présence de fissures.

### ABSTRACT.

A qualitative evaluation of wire electrical discharge machining of 7075T651 aluminum alloy in term of surface finish is studied. 3-factors, 3-levels are exploited by an L9 Taguchi orthogonal array to determine the influence of the process parameters. Based on the surface roughness value, the signal-to-noise (S/N) results reveal that the pulse ON time (TON) and the peak current (IP) are the cutting parameters significantly affecting the surface roughness. The surface topography of the studied materials wire electrical discharge machined shows no crack. A study of the influence of the anodic oxide layer in terms of topography and morphology of the surface reveal the presence of cracks.

## 1. INTRODUCTION

L'usage d'alliage d'aluminium 7075-T651a connu un développement croissant. Cette augmentation est due à la substitution des métaux lourds par les alliages d'aluminium qui présentent une combinaison unique de propriétés mécaniques tel que la densité faible, la bonne formabilité, la conductivité thermique élevée, la rigidité spécifique élevée, l'excellente résistance à la corrosion, et l'importante résistance mécanique [1].

L'usinage des alliages d'aluminium 7xxx est devenu un domaine de recherche progressif vu leurs utilisations croissantes dans les applications structurelles d'avions, les véhicules militaires, les équipements de terrassement, les ponts et autres applications [2,3]. Les problèmes majeurs dans l'usinage de ces alliages sont la déformation des composants minces et la mauvaise finition de surface qui nécessite une reprise pour finition et engendre des coûts supplémentaires. .

L'usinage par électroérosion à fil est l'une des technologies d'enlèvement de matière non conventionnelle les plus prometteuses pour surmonter ces problèmes. Il offre une grande capacité à couper des composants complexes et de haute précision. Le processus de coupe est accompli avec un fil électrode mince en cuivre, en laiton ou en molybdène pour usiner les matériaux conducteurs. En outre, l'électroérosion à fil nécessite moins de force de coupe pour l'enlèvement de la matière et offre de faibles contraintes résiduelles dans les composants usinés. [4]

La tenue en service d'un matériau dépend non seulement de la combinaison des facteurs de charge et d'environnement auxquels il est soumis mais aussi des facteurs d'intégrité dont l'état de surface constitue un facteur très important. Dans ce cas il est toujours nécessaire de tenir compte des paramètres définissant l'état de surface. Toutes imperfections superficielles apportées par le procédé de fabrication jouent un rôle primordial sur la tenue à la fatigue en service du composant. [5-6]

L'une des causes de l'abatement de la durée de vie des composants mécaniques en alliage d'aluminium est la corrosion [7]. L'anodisation se présente comme solution pour ce problème. Elle produit sur l'aluminium et ces alliages une couche d'oxyde d'aluminium dense, non conductrice, résistante à l'abrasion et d'une grande résistance à la corrosion et aux intempéries.

La présente étude vise à étudier l'influence des paramètres de découpage par électroérosion à fil et ceux de l'anodisation sur l'état de surface de l'alliage 7075-T651.

Dans une première étape, une analyse expérimentale de l'état de surface après élaboration par découpage par électroérosion à fil, selon le plan expérimental de Taguchi, est présentée. Suivie par l'étude des surfaces anodisées du point de vue topographie et morphologie.

## 2. MATERIAU ET METHODES

La composition chimique à la réception de l'alliage d'aluminium 7075T651 sujet de cette étude est présentée dans le Tableau 1.

Tableau 1. Composition chimique du **7075-T651** (poids %)

Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Ni	Ga	V	Al
5.1	2.1	1.2	-	-	-	0.18	-	-	-	-	RES
6.1	2.9	2	0.5	0.4	0.3	0.28	0.2	0.05	0.05	0.05	

Les usinages pour l'alliage 7075T651 sont réalisées sur une machine d'électroérosion à fil à commande numérique du type EZEECUT PLUS EZ-01. Le fil électrode est en cuivre de 0,25 mm de diamètre. Le lubrifiant utilisé est un mélange d'eau distillée et de l'huile Multicut SC 3% (1: 2). Les éprouvettes en 7075T651 sont usinées dans le sens de la longueur et ont une forme prismatique de 50 mm de longueur, de 20 mm de largeur et de 4 mm d'épaisseur. Les

échantillons obtenus représentent différents états de surfaces associées aux combinaisons des paramètres selon le plan expérimental de Taguchi à 3 paramètres et à 3 niveaux comme le montre le Tableau 2.

Une anodisation sulfurique incolore est finalement appliquée aux éprouvettes d'alliage d'aluminium.

Tableau 2. Paramètres de contrôle et leurs niveaux

Paramètre N°	Paramètre de contrôle	Symbole pour la valeur codée	Niveau		
			1	2	3
1	Temps ON d'impulsion ( $\mu$ s)	TON	1	24	64
2	Temps Off d'impulsion ( $\mu$ s)	TOFF	1	2	4
3	Courant de crête (A)	IP	1	2	3

### 3. TESTS ET CARACTERISATIONS

Différents tests sont effectués pour évaluer la topographie et la morphologie des surfaces usinées et anodisées. Les moyens utilisés sont :

- Un microscope à force atomique AFM du type Agilent 5600 LS. Les résultats sont présentés sous forme de micro graphies 3D à température ambiante et ceci afin de mesurer la rugosité de surface. Toutes les éprouvettes sont testées 5 fois et la valeur moyenne des rugosités obtenues est prise comme résultat final. La dimension de la surface mesurée est de  $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ .
- Un microscope électronique à balayage à champ d'émission à ultra haute résolution SEM, Nova Nano-SEM 200 pour illustrer la morphologie des échantillons découpés et anodisés

### 4. RESULTATS, ANALYSE ET DISCUSSION

#### 4.1. Analyse de la rugosité

Selon la méthode Taguchi, le rapport signal/bruit (S/N) est appliqué pour étudier l'influence de chaque paramètre de contrôle : temps marche d'impulsion (TON), temps arrêt d'impulsion (TOFF) et courant de crête (IP), sur la rugosité de surface ( $R_a$ ). Le Tableau 3 indique le rapport S/N de la rugosité ( $R_a$ ) de surface de l'alliage d'aluminium 7075-T651 obtenue par AFM et correspondant aux mesures expérimentales des surfaces découpées par électroérosion à fil à partir du réseau orthogonal L9.

Tableau 3. Paramètres de contrôle et réseau orthogonal standard L9

Paramètres de contrôle/niveaux			
Expérience N°	TON	TOFF	IP
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Les valeurs des rapports S/N des paramètres de contrôle à différents niveaux de l'alliage d'aluminium 7075T651 sont présentées aux Tableaux 4 et 5 et tracées sur la Figure 1.

Tableau 4. Disposition expérimentale utilisant un réseau orthogonal L9

Expérience N°	TON	TOFF	IP	Ra	S/N Ratio
1	1	1	1	0.759	2.39516
2	1	2	2	0.884	1.07095
3	1	3	3	0.998	0.01739
4	2	1	2	1.024	-0.20600
5	2	2	3	1.113	-0.92990
6	2	3	1	0.899	0.92481
7	3	1	3	1.351	-2.61311
8	3	2	1	1.003	-0.02602
9	3	3	2	1.132	-1.07693

Tableau 5. Tableau de réponse pour les rapports S / N de l'alliage d'aluminium 7075T651

Niveau	TON	TOFF	IP
1	1,16117	-0,14131	1,09798
2	-0,07037	0,03834	-0,07066
3	-1,23868	-0,04491	-1,17521
Max-min	2,39985	0,17966	2,27319
Rang	1	3	2

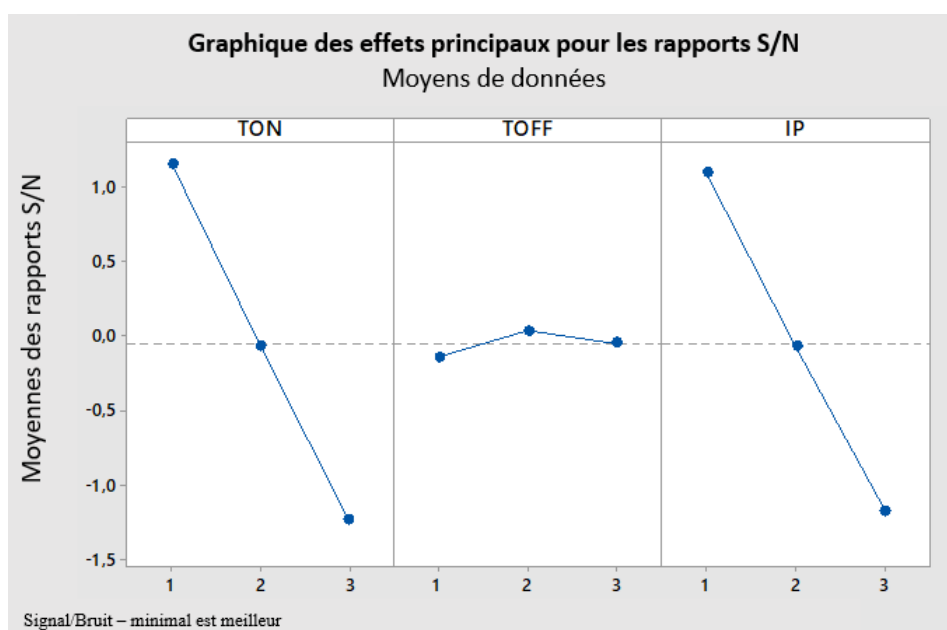


Figure 1 : Graphes des effets des paramètres de contrôle sur le rapport S/N de la rugosité de surface

A partir des rapports S/N et du rang de chaque paramètre de contrôle, on peut déduire que le TON a l'influence la plus forte sur la rugosité de surface (Ra) suivie par l'IP et enfin le TOFF. Les résultats montrent que la combinaison optimale des niveaux de paramètres d'usinage pour une rugosité de surface minimale correspond à 1  $\mu$ s TON, 2  $\mu$ s TOFF avec 1 A IP.

Les éprouvettes ainsi obtenues ont subi un traitement d'anodisation sulfurique. Les surfaces anodisées sont étudiées par AFM. Le Tableau 6 indique la rugosité de surface de l'alliage d'aluminium 7075-T651 anodisé obtenue par AFM

Tableau 6. Rugosité de surface des éprouvettes tel que découpées et anodisées

Expérience N°	Ra	Ra Anodisé
1	0.759	0.875
2	0.884	0.929
3	0.998	1.09
4	1.024	1.12
5	1.113	1.23
6	0.899	0.962
7	1.351	1.46
8	1.003	1.09
9	1.132	1.33

Les résultats indiquent une augmentation de la rugosité de surface suite au traitement d'anodisation.

#### 4.2 Analyse AFM

Les images 3D-AFM présentent des zones sombres et claires où le contraste le plus sombre correspond aux zones inférieures de la surface et le plus lumineux correspond au plus élevé[8]. Les microphotographies AFM révèlent que les surfaces contiennent des défauts d'usinage tels que les crêtes et des micro-globules formées par le matériau fondu pendant le procédé d'électroérosion et expulsées de la surface par la pression de décharge[9]. Les figures 2(a) et 2(b) montrent les échantillons obtenus avec la rugosité moyenne de surface la plus faible et la plus élevée respectivement.

L'AFM rapporte aussi l'impact important de l'anodisation sur les surfaces d'alliage 7075-T651. Les figures 2(c) et 2(d) montrent des fosses presque régulièrement réparties avec des dimensions pratiquement égales résultant du développement de la couche d'oxyde.

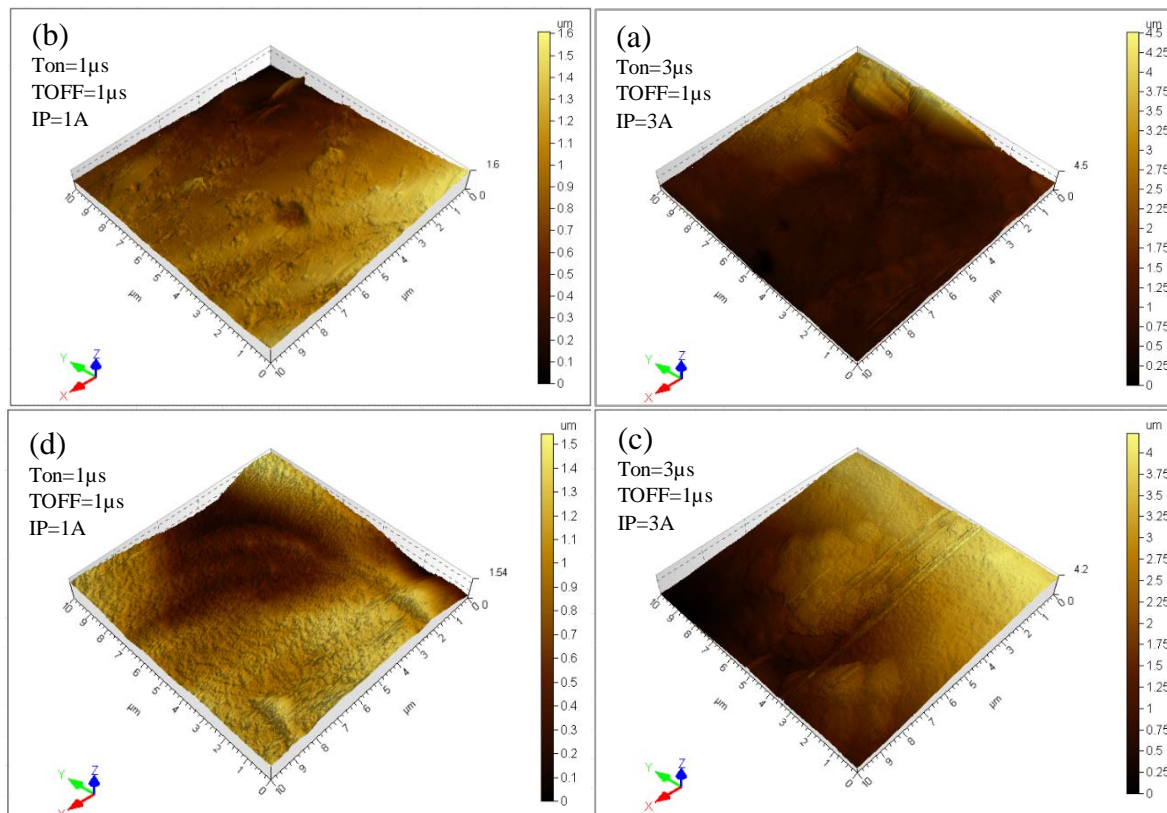


Figure 2. Images 3D des surfaces (a), (b) tel que découpées et (c), (d) anodisées

### 4.3 Analyse MEB

Les micrographies MEB des surfaces usinées et anodisées d'alliage d'aluminium 7075-T651 sont présentées dans la Figure 3.

On observe que la surface représente un lot irrégulier de cratères en chevauchement, des micro-globules et des débris fondus après usinage. Pendant le processus d'électroérosion à fil, la chaleur générée dans la plage de 8000-12000 °C entraîne une fusion et une évaporation locales du matériau de la pièce. La chaleur induit une pression de haut niveau qui est insuffisante pour l'évacuation totale du matériau en fusion. Le matériau fondu restant, se solidifie à la surface de l'échantillon usiné formant ainsi une topographie ondulée [10]. Au cours de la re-solidification de la matière en fusion pendant le TOFF, un peu de gaz est piégé pour former des cratères, des globules et des micro-vides.

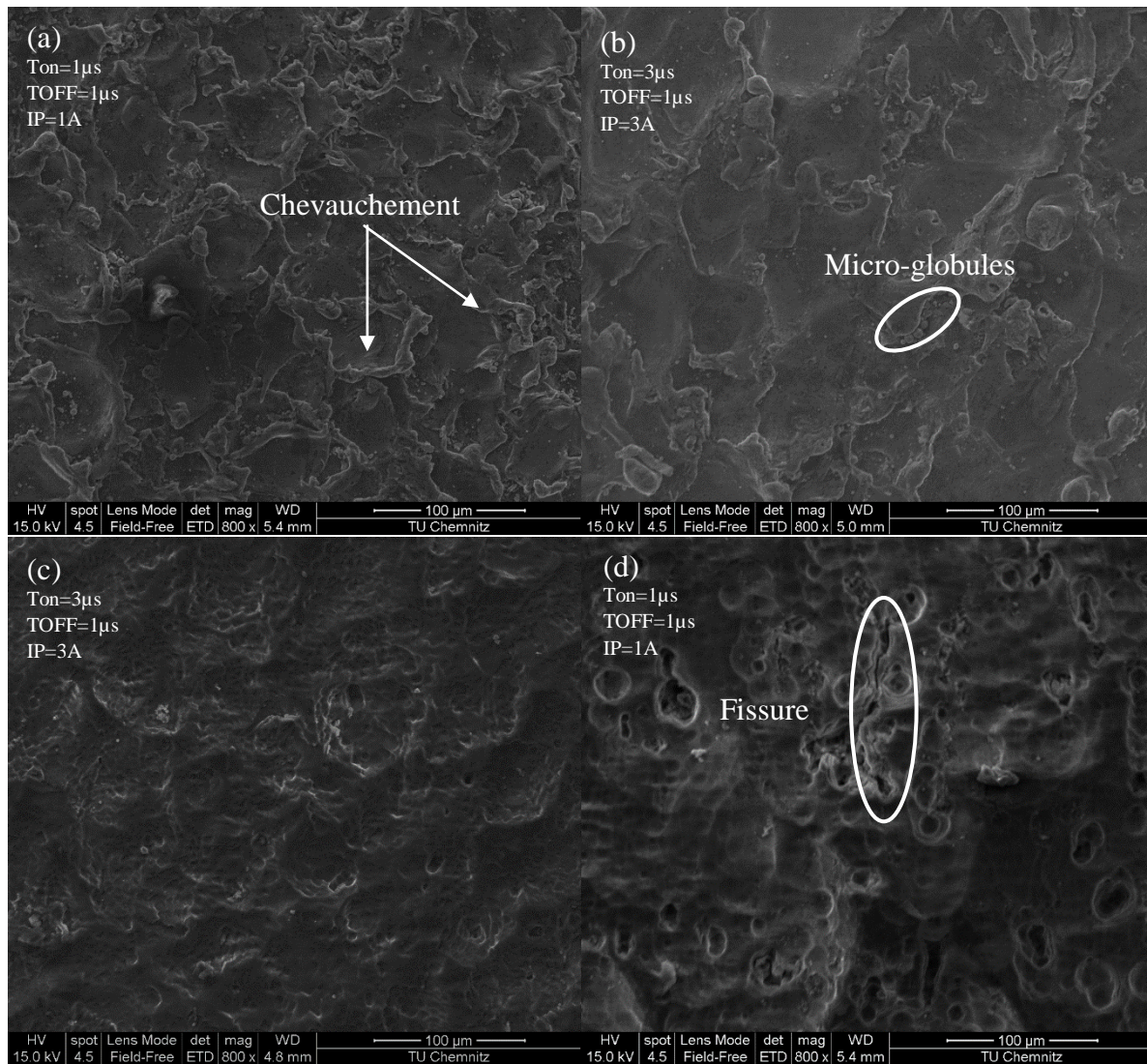


Figure 3. Micrographies MEB des surfaces : (a) et (b) usinées. (c) et (d) usinées et anodisées

Similaires aux micrographies AFM, les micrographies MEB des éprouvettes anodisées illustrent des fosses presque régulièrement réparties avec des dimensions pratiquement égales. De plus, on constate des fissures au niveau de la couche d'oxyde. En condition de service, ces fissures peuvent entraîner l'abaissement de la tenue en fatigue des alliages d'aluminium 7075-T651 anodisés.



## CONCLUSION

Sur la base de la conception des expériences TON, TOFF et IP sont sélectionnés comme paramètres de control de la machine pour l'usinage d'éprouvettes en alliage d'aluminium 7075-T651 par le processus d'électroérosion à fil. La surface est étudiée en termes de différents aspects. Les conclusions suivantes ont été retenues :

- A partir de l'étude AFM de la morphologie de surface et de l'analyse du rapport S/N, pour obtenir la plus faible rugosité de surface, la configuration suivante est recommandée TON = 1 $\mu$ s, TOFF = 2 $\mu$ s et IP = 1A.
- On constate à partir des micrographies MEB que la surface de chaque échantillon est couverte de cratères. La couche de cratère forme une topographie ondulée. De plus la couche d'oxyde anodique est sous forme de fosses presque régulièrement réparties avec des dimensions pratiquement égales
- Aucune fissure n'est détectée au niveau des surfaces produites par électroérosion à fil.
- Des fissures au niveau de la couche d'oxyde sont détectées à partir des micrographies MEB.

## BIBLIOGRAPHIE :

- [1]S.Kumar, R.Singh, T.P.Singh, B.L. Sethi. Surface modification by electrical discharge machining: A review. Journal of Materials Processing Technology 209 (2009) 3675–3687
- [2] Starke ER, Staley JT. Application of modern aluminium alloys to aircraft. Progress Aero Sci32 (1996)131-172
- [3]Aluminum Alloys: Structure and Properties. L. F. Mondolfo (1976)
- [4] K.H. Ho, S.T. Newman, S. Rahimifard, R.D. Allen. State of the art in wire electrical discharge machining (WEDM).International Journal of Machine Tools & Manufacture 44 (2004) 1247-1259[5]D. Novovic, R.C. Dewes, D.K. A spinwall, W. Voice and P. Bowen, The effect of machined topography and integrity on fatigue life, International Journal of MachineTools & Manufacture, Vol. 44, pp. 125-134, 2004.
- [6]H. YAHYAOU1 , N. BEN MOUSSA, C. BRAHAM , N. BEN FREDJ , H. SIDHOM.Role of machining defects and residual stress on the AISI 304 fatigue crack nucleation.Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures 38(4),2014
- [7]Bing Liu, Xinxin Zhang, Xiaorong Zhou ,Teruo Hashimoto, JunjieWang.The corrosion behaviour of machined AA7150-T651 aluminium alloy.Corrosion Science 126 (2017) 265–271
- [8]Y.H.Guu. AFM surface imaging of AISI D2 tool steel machined by the EDM process.J. Aplied Surface Science 242 (2005) 245-250.
- [9]Gangaram Mandaloi, Subhash Singh, Pradeep Kumar, Kaushik Pal. Effect on crystalline structure of AISI M2 steel using tungsten–thorium electrode through MRR, EWR, and surface finish. Measurement 90 (2016) 74–84.
- [10]Muhammad Azam, Mirza Jahanzaib, Junaid Ali Abbasi, Musharaf Abbas, Ahmad Wasim, Salman Hussain. Parametric analysis of recast layer formation in wire-cut EDM of HSLA steel.Int J Adv Manuf Technol 87 (2016) 713-722