

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ de BLIDA 1

Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : Génie des procédés des matériaux

Traitement de surface métallique par Chromage

Présenté par :

OTMANI khaldi

RAMDANE Yasmine

Encadré par :

Mme HAMITOUCHE .H

Année Universitaire :
2021-2022

الملخص

الهدف من عملنا هذا هو القيام بطلاء الكروم على سطح من الفولاذ , علينا دراسة تأثير العوامل : الحرارة , الوقت, تكوين الحمام , التيار الكهربائي , تركيز الحمام على طلاء الكروم (قمنا باستخدام الخلية المربعة و خلية هوول), تم تحليل السطح قبل و بعد طلاء الكروم بواسطة المطياف , الفحص المجهرى , لتأكيد نتائج فقدان الكتلة , تم الحصول على نوعية جيدة من طلاء الكروم مع :

درجة حرارة 55، 60 دقيقة وقت ، نسبة تركيز 2%

Résumé

L'objectif de notre travail est de réaliser un chromage sur une surface d'acier de nuance XC10 en étudiant l'effet des paramètres opératoires notamment le temps , la température , la composition de bain , l'effet électrique , la concentration de CrO3 sur la qualité de chromage en utilisant deux cellules : carrée et HULL . La surface avant et après le chromage a été analysée par le spectromètre FRX et la microscopie optique . Les résultats trouvés ont été ensuite confirmés par la détermination de la perte de masse . Une bonne qualité de chromage a été obtenue avec : $T=55\text{ C}^{\circ}$, $t= 60\text{ min}$, Rapport = 2%.

Summary

the objective of our work is to make a chrome plating on a surface of the steel of grade XC 10 we studied the effect of operating parameters such as temperature , time , composition of the bath , electric current the concentration of CrO3 on the quality of chromium plating with square cells and hull the surface before and after chrome plating was analyzed by XRF spectrometer and optical microscopy the results obtained are then confirmed by determining the loss of mass the good quality of chrome plating has been obtained with $T=55\text{ C}^{\circ}$, $t= 60\text{ min}$, Rapport = 2%.

DEDICASES

A

- Mon père : Ahmed
- La mère : saadon kaltom

- Les frères: Salima, Nabila, Hicham, Walid
- Gendre : Farhoul Nasser

- Petits enfants: Baraa, Rawnak, Rayane , Yakoub
- Toutes les familles Otmani et Saadoun

Je dédie ce modeste travail

Khaldi

DÉDICACES

- ❖ A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices,
leur amour, leur tendresse, leur soutien et leur
prière tout au long de mes études,
- ❖ A mes chères sœurs : Hanane kH, Amel, Hanane,
Ritadj
- ❖ A mes chers frères: Amar, Riad, Toufik,
Mohamed
- ❖ A toute ma famille pour leur soutien tout au long
de mon parcours universitaire.
Merci d'être toujours là pour moi.

yasmine

Remerciements

*Nous tenons en tout premier lieu à remercier **ALLAH** de nous avoir donné la force et le courage pour l'accomplissement de ce modeste travail.*

*Nos sincères remerciements à notre encadrant **Mme HAMITOUCHE .H**, enseignante au département de génie des procédés .Vous nous avez accordé un immense honneur en acceptant de suivre l'élaboration de ce travail. Veuillez accepter notre profond respect et notre profonde reconnaissance.*

*On adresse aussi toute notre gratitude au **Mme ZERMANE .F** pour son aide et ses conseils judicieux*

Aux membres de jury qui ont accepté de faire partie de ce jury de soutenance

A tous les enseignants de département de génies des procédés

*Nous tenons aussi à remercier tous les responsables et les employés de la **BCL**.*

Yasmine et Khaldi

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

LISTE DES FIGURE, TABLEAUX, GRAPHES ET ABRIVIATION

INTRODUCTION	1
I.PRESENTATION DE BCL	3
I.1. Présentation de la Base Centrale Logistique	3
I .2. Structure de la BCL	3
I.3. Rôles et objectifs de la BCL	4
I.4. Clients de la BCL	4
I.5. Circuit d'une commande	4
I.6. Présentation de l'atelier de traitement de surface de la BCL	5
I. 7. Les différentes opérations dans l'atelier de traitement des surfaces	5
II.LE CHROME : ELECTROCHEMIE ET PROPRIETES	8
II.1. Présentation de chrome	8
II.2. Définition de chromage	11
II .3. Les types de chromage	11
II.4.Facteur d'un dépôt électrolytique	12
II .5. Différents variation suivante le pouvoir de répartition	15
II. 6.Les paramètres du chromage	16
II.7. Chromage dur	22
II.8. Application de revêtement de chrome métallique spécifique	25
II.9. Défauts de chromage courant	
II.10. Conditions opératoire des bains de traitement de surface (Chromage)	32
III. PROCEDURE EXPERIMENTALE	34
III.1 : Méthodes et matériels utilisés	34
III.2. Mesure et évaluation de dépôt	37
III.3.Montage	38
III.4. Le mode opératoire	41
III.5. Cellule carrée	45
III.6. Cellule HULL	46
IV. RESULTATS ET DUSCUSION	47
IV.1. Les caractéristique de la pièce utilisé	47
IV.2. Au niveau de la BCL	48
IV.3. Au niveau du laboratoire	53

CONCLUSION	61
PERSPECTIVE DE CHROME	62
REFERENCE	63

LISTE DES FIGURES

Figure II. 1: Cellule électrolytique [8].	10
Figure II. 2: Cellule électrolytique	16
Figure II. 3: Influence de la densité de courant et de la température sur le rendement Cathodique R .	19
Figure II. 4: Ingénierie générale - conduite de cylindre de livraison	27
Figure II. 6: Secteur de l'ingénierie générale cylindre hydraulique chromé fonctionnel.	28
Figure II. 5: Tiges fonctionnelles chromées avec Couches métalliques chromées entre 20 et 75 μm	28
Figure III. 1: L'appareille du spectroscope	34
Figure III. 2: Microscope optique 1	35
Figure III. 3: Appareille de test d'abrasion	36
Figure III. 4: Pièce après la préparation	36
Figure III. 5: Microscope optique	37
Figure III. 6: Chromage avec Cellule carrée	38
Figure III. 7: Montage de chromage avec cellule carré	39
Figure III. 8: Cellule HULL	40
Figure III. 9: Montage de la Cellule HULL	40
Figure III. 10: les étapes de la préparation de la pièce. [24].	41
Figure III. 11: Pièce au début	42
Figure III. 12: Pièce avant le brossage	42
Figure III. 13: Pièce après le brossage	43
Figure III. 14: Décapage avec acide sulfurique H_2SO_4 de 50% A l'échelle industriel.	43
Figure III. 15: Rinçage avec l'eau distillée	44
Figure III. 16 : Polissage mécanique	44
Figure III. 17: Dégraissage avec la soude et un détergent a température 70 C° Apres Rinçage avec l'eau distillée	45
Figure III. 18: Neutralisation avec l'acide sulfurique H_2SO_4 de 10% Apres Rinçage avec l'eau distillée	45
Figure III. 18: Neutralisation avec l'acide sulfurique H_2SO_4 de 10% Apres Rinçage avec l'eau distillée	45

Figure IV. 1: Pièce avant le chromage	47
Figure IV. 2: Pièce chromée avec cellule carrée	48
Figure IV. 3: Photographie obtenue par microscopie optique de la pièce avant chromage.	49
Figure IV. 4: Photographie obtenue par microscopie optique de la pièce Après chromage dans	50
Figure IV. 5: Photographie obtenue par la microscopie optique de la pièce après chromage dans	50
Figure IV. 6: Photographie obtenue par la microscopie optique de la pièce après chromage dan	51
Figure IV. 7: Epaisseur de la pièce chromée ($e=0.04$ mm)	51
Figure IV. 8 Pièce chromée (Cellule carrée)	53
Figure IV. 9: La qualité du dépôt en fonction des paramètres étudiée (Rapport 2%) .	54
Figure IV. 10: La qualité du dépôt en fonction des paramètres étudiée (Rapport 2.5%) .	55
Figure IV. 11: Photographie obtenue par Le microscope de la pièce avant le chromage.	58
Figure IV. 12: Photographie obtenue par La microscopie de la pièce après lechromage.	59
Figure IV. 13: Pièce chromée avec cellule HULL	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1	Conditions opératoires des bains de traitement de surface (Chromage)	33
Tableau IV.1	La composition chimique de XC10 avant le chromage	48
Tableau IV.2	La composition chimique de XC10 après le chromage	49
Tableau IV.3	Les changements de masse après le procédé de chromage rapport 2%	55
Tableau IV.4	Les changements de masse après le procédé de chromage rapport 2.5%	56

LISTE DES ABRIVIATIONS

BCL	Base central logistique
DTC	Direction technico-commerciale
PEG	Polyéthylène glycol
D.d.c	degré de chromage
HF	Fluorhydrique
CPI	Courant périodiquement inversé
CPu	Courant pulse
FRX	Fluorescence rayon X
CCD	Détecteur électronique photosensibl

INTRODUCTION

Les traitements de surface sont des procédés qui modifient les propriétés superficielles d'un matériau afin de le protéger contre la corrosion et pour le rendre apte à être sollicité dans un domaine ou un milieu donné en procurant à sa surface des nouvelles propriétés pouvant leur conférer une résistance, ainsi que l'utilisation d'un matériau moins cher, en améliorant localement ses propriétés de surface. Ces procédés sont nombreux et font intervenir des domaines très variés de la physique et de la chimie : électrochimie, métallurgie, mécanique, optique...etc. Il existe plusieurs types de traitement de surface parmi lesquels on trouve le revêtement électrolytique. Ce dernier consiste à déposer un matériau différent ou de même nature sur un substrat par voie électrochimique comme le cuivrage, le nickelage et le chromage en mode de courant continu ou en mode de courant pulsé. L'électrodéposition de chrome est une technique permettant d'améliorer certaines caractéristiques de surface des métaux qui vont être recouvertes par le chrome électrolytique. La résistance à la corrosion, la brillance, la résistance à l'usure, la dureté, etc. de la pièce métallique à revêtir sont les caractéristiques ciblées par cette technique. Le chromage électrolytique est utilisé dans plusieurs domaines [1].

Le Chromage est un procédé de revêtement par électrolyse permettant de déposer du chrome métallique sur les surfaces à traiter pour leur conférer les propriétés de ce métal. Ce traitement bien connu est effectué pour deux applications importantes : le chromage décoratif et le chromage dur, pour lesquelles, la couche déposée ne diffère essentiellement que par son épaisseur. Le chromage décoratif s'effectue sur des surfaces généralement revêtues au préalable d'une couche de nickel (ou éventuellement de couches de cuivre et de nickel) et il a pour but essentiel de donner au revêtement les caractéristiques de brillance du chrome. La résistance au ternissement de ce métal, associée à sa dureté, font que cette couche décorative de l'ordre du micromètre permet de donner un aspect brillant qui peut être entretenu pendant de longues années. Les chromes brillants des automobiles d'antan (toujours visibles à l'heure actuelle) et des motos de maintenant en sont un témoignage. Le chromage dur se distingue du précédent par le fait que son épaisseur est plus importante (de quelques micromètres à quelques dixièmes de millimètres). Ce revêtement procure au matériau sur lequel il est effectué un bon coefficient de frottement et lui assure de bonnes propriétés de résistance à l'usure et à

la corrosion. Il est très visible par exemple sur les vérins des appareillages mécaniques (appareils de levage ou engins de travaux publics...). Ce type de traitement est le revêtement privilégié dans le domaine de la mécanique pour les pièces en rotation ou en translation qui ont à résister à l'usure et à avoir de bonnes qualités de frottement, et pour les domaines où l'adhérence pourrait être un handicap (plasturgie, cylindres de laminoir...)[2,3].

Notre travail se présente en deux parties :

La première partie concerne l'étude bibliographique, elle englobe 2 chapitres :

-Le chapitre I : Consiste à présenter de la base centrale logistique.

-Le chapitre II : Est consacré à la présentation du chromage et aux principaux paramètres de l'électrolyse : composition des bains, température à laquelle est effectué le dépôt, densité de courant cathodique utilisé et matériaux constituant les anodes, On verra que la maîtrise de ces paramètres est indispensable pour obtenir des dépôts de bonne qualité.

2. Dans la partie expérimentale qui fait l'objet du **chapitre III** présente les meilleures conditions opératoires pour faire un meilleur dépôt de chromage.

Le chapitre IV représentée les résultats obtenus et la discussion, Notre travail est achevé par une conclusion et quelque perspective proposé.

CHAPITRE I

PRESENTATION DE la BCL

Dans les structures mécaniques, les surfaces des pièces de machines sont les plus vulnérables aux agressions extérieures de différentes natures, et les sollicitations dynamiques peuvent provoquer une rupture brutale des pièces en cours d'utilisation. Le but du traitement de surface est donc de rendre ces pièces plus résistantes à la corrosion.

I.1. Présentation de la Base Centrale Logistique [4]

La Base Centrale Logistique est implantée dans la wilaya de Blida à 2km à l'ouest de Beni-Mered. Elle s'étend sur une superficie de 102 Ha.

La BCL a été créé en janvier 1975 avec l'aide de l'assistance canadienne et japonaise. L'idée de cette création revient au Ministère de l'énergie et des industries pétrochimiques, essentiellement pour répondre aux besoins de la **SONATRACH**.

En juillet 1982, la BCL est passée sous la tutelle du Ministère de la Défense Nationale pour se consacrer aux besoins de l'ANP en matière d'engins, d'armement et de fabrication de pièces de rechange.

I.2. Structure de la BCL [4]

La structure de la BCL a une forme pyramidale à plusieurs niveaux hiérarchiques avec une fonction générale (division, direction) qui contient plusieurs fonctions spécialisées (sous-directions, départements), elle est même composée de plusieurs entités opérationnelles (service, projet).

Nous pouvons admettre que quel que soit son niveau, chaque entité s'apparente à un centre de responsabilité et comme elle est dotée de suffisamment de moyens, elle est chargée

d'une certaine mission et dirigée par un manager responsable de la réalisation d'objectifs particuliers par délégation directe ou en cascade du dirigeant de l'entreprise.

I.3. Rôles et objectifs de la BCL [4]

La BCL est chargée de répondre aux besoins des unités de l'ANP en matière de réparation, rénovation et modernisation des véhicules et engins militaires, de fabrication de pièces de rechange, comme elle fournit des prestations de services les entreprises nationales et privées.

I.4. Clients de la BCL [4]

La clientèle de la BCL est essentiellement l'Armée Nationale Populaire, plus précisément les unités du Ministère de la Défense Nationale. Néanmoins elle compte aussi parmi ses clients les plus importants, quelques entreprises étatiques (SONATRACH, SONALGAZ...) ainsi que des entreprises privées (nationales ou étrangères) et quelques organisations de contrôle techniques n'agrèent pas l'état Algérien.

I.5. Circuit d'une commande

Le client se présente à la direction technico-commerciale (DTC) muni d'un bon de commande. Il arrive même qu'il soit en possession du plan de définition de la pièce à fabriquer ou de la pièce elle-même.

Pour la réalisation de la commande, la DTC procède à une étude préliminaire, si la commande est réalisable, celle-ci sera enregistrée. Le dossier sera transmis au bureau d'études et méthodes qui se chargèrent de :

- Réaliser le dessin de définition de la pièce.
- Déterminer la gamme de fabrication.
- Déterminer les matériaux et outillages à employer.
- Contrôler la production afin que les délais de livraison soient respectés.

Lorsque la gamme de fabrication est déterminée, le procédé de fabrication défini (forgeage, fonderie, usinage...), le dossier est dirigé au service ordonnancement qui se chargera de lancer les travaux dans l'atelier désigné.

Pour ce faire, le dossier de fabrication doit contenir toutes les informations nécessaires, telles que les caractéristiques mécaniques, chimiques et métallurgiques du matériau.

Le laboratoire de contrôle de qualité suit le processus de fabrication et veille à l'exécution des opérations conformément au dossier technique.

I.6. Présentation de l'atelier de traitement de surface de la BCL

Introduction de l'atelier de traitement de surface BCL [4] : La Base Centrale Logistique de Beni Mered (BCL) est un établissement public à caractère industriel et commercial appartenant à la Branche Économique de l'Armée Nationale Populaire Algérienne (E PIC-BCL). La BCL est située à 2 km à l'est de l'ouest dans la wilaya de Blida, à Beni- Mered rien que l'Allemagne. Il couvre une superficie de 102 hectares. Il a été créé en janvier 1975 avec l'aide du Canada et du Japon. L'idée de cette création est venue du Ministère de l'énergie et des Industries Pétrochimiques, principalement pour répondre aux besoins de SONATRACH. La BCL est chargée de répondre aux besoins de maintenance de l'unité ANP. Transformation et modernisation de véhicules et machines militaires. Fabrication de pièces détachées. Parce qu'il est au service de l'état et des entreprises privées.

I.7. Les différentes opérations dans l'atelier de traitement des surfaces [4]

I.7.1. Séquence de traitement de surface

- Polissage mécanique : Le but de cette opération est d'aplanir la surface selon les étapes séquentielles suivantes : enlever d'abord la couche altérée (peinture, etc.) à l'aide d'un abrasif grossier (carbure de silicium) et/ou d'une brosse métallique.

a) Puis utiliser une brosse électrique brosse.

b) Améliorer l'aspect optique.

- Dégraissage chimique: Nettoyant bain acide de décapage chimique (HCL).

-Déchromisation électrolytique: consiste en une attaque anodique du chrome dans une solution alcaline. Cette attaque peut être réalisée dans des solutions de soude (40 à 50 g/L) à des densités de courant de 15 à 40 A/dm à température ambiante. La cathode et l'anode en acier forment la pièce à traiter.

-Élimination électrolytique du nickel: Le bain contenant la cathode de plomb et l'anode constituent la partie 2.2 à traiter dans une solution acide (HCl).

I.7.2. Séquence de placage

Chaîne de chromage décoratif : Ce type de chromage se fait selon les étapes suivantes

1. Dégraissage électrolytique alcalin avec de la soude et une solution détergente pendant 10 à 15 minutes.
2. Rincage à l'eau distillée.
3. Neutralisation avec de l'eau distillée plus 1 % d'acide.
4. Cuivrage pendant 10 minutes.
5. Neutralisation avec de l'eau distillée plus 1 % d'acide.
6. Nickelage.
7. Chromage décoratif: 5 minutes.
8. Rinçage avec l'eau chaude.

Chaîne chromate ET zinguée: Ce type de chromage se réalise selon les étapes suivantes

1. Dégraissage: Solution alcaline.
2. Neutralisation.

3. Rincage.

4. Zingage avec électrolyte acide pendant 20 minutes.

5. Double rinçage Constitué d'anhydride chromique et d'acide sulfurique.

C'est l'une des baignoires les plus chères et les plus délicates. Ce bain manque de pénétration et perd progressivement l'éclat du dépôt: il est donc important d'intervenir en analysant le comportement du bain pour assurer un meilleur fonctionnement et garantir un aspect et une pénétration satisfaisants.

CHAPITRE II

LE CHROME : ELECTROCHEMIE ET PROPRIETES

Ce chapitre est consacré aux principaux paramètres du chromage et de l'électrolyse : le matériau constituant l'anode, la composition du bain, la température et la densité de courant cathodique utilisée, et on voit que la maîtrise de ces paramètres est essentielle pour obtenir une bonne qualité, dépôt et son effet sur la microstructure et ses effets impact sur les performances.

II.1. Présentation de chrome

II.1.1. Une brève histoire du chrome

L'histoire du chrome débute en 1765 lorsque fut découvert, en Russie, un minerai de plomb orangée 1797, Vauquelin étudia cheminera dont il ôta le plomb par l'action du carbonate de potassium et d'acides minéraux. En chauffant "l'acide de plomb rouge" ainsi obtenu (acide chromique CrO_3) en présence de charbon, il découvrit un métal gris pâle qui réagissait avec le borax pour donner une pervertie. La légende veut que des amis de Vauquelin suggérèrent de donner le nom déchrome à ce nouveau métal (du grec couleur) en hommage aux couleurs vives «de quelques propriétés dont on pourra tirer parti dans les arts». Et de fait, les composés déchrome furent utilisés comme colorants de peintures. Le métal, quant à lui, resta encore de nombreuses années une curiosité de laboratoire [5].

Si, en 1843, Becquerel proposa pour la première fois de préparer le chrome par voie électrolytique, ce n'est qu'en 1854 que Bassens y parvint par électrolyse d'une solution déchlorure de chrome. Malgré ce succès, le chrome métallique ne connut son essor qu'après que Goldschmidt, en 1898, ait mis au point la réduction aluminothermie de l'oxyde de chrome trivalent (Cr_2O_3) procédé qui permettait de produire du chrome en grande quantité. Dès lors, de nouveaux alliages tels que les ferrochromes furent créés [5].

Les procédés électrolytiques étaient face à un problème majeur: bien qu'à plusieurs reprises on ait réussi à obtenir des dépôts de chrome, les expériences étaient peu

reproductibles. C'est pourquoi, en 1905, Carveth étudia l'influence de différent paramètre l'obtention du chrome électrolytique. Ces travaux permirent de mettre en évidence que, non seulement, il était nécessaire d'utiliser une densité de courant élevée mais, surtout, qu'il l'était indispensable d'ajouter des ions sulfates (SO_4^{-2}) à l'acide chromique. Enfin, en 1920, Sergent publia les résultats d'un travail expérimental considérable qui lui permirent de préciser les paramètres majeurs du chromage: la température, la densité de courant, les compositions du bain ainsi que la nature des anodes. Li nota ainsi, qu'il est possible d'obtenir un dépôt de chrome de couleur gris pâle, épais et résistant à de nombreux agents chimiques Sion utilise les paramètres suivants:[5].

- Composition du bain: 30 % d'acide chromique et 0,5% de sulfate de chrome.

- Densité de courant: 75 A/dm².

- Température: 35°C.

- Anode: plomb.

Les bases du chromage étaient posées. Désormais, il était techniquement possible de revêtir de chrome la surface d'une pièce afin de lui conférer les propriétés de ce métal.

II.1.2. Les propriétés du chrome pur

Le chrome de masse atomique 52,01 est le 24^{ème} élément de la classification périodique Mendeleïev. SA structure électronique est $1s^2 2s^2, 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$ Comme pour d'autres éléments de transition (Co, Fe, Ni...), les sous-couches 3d et 4s ont des niveaux énergétiques qui se chevauchent et, par conséquent, les 6 derniers électrons peuvent se partager entre les sous-couches 3d et 4s. La répartition électronique dans chacune de ces sous-couches ne correspond pas à un nombre entier d'électrons, expliquant l'existence d'un faible moment magnétique égal à $0,4 \mu_B$. A l'échelle macroscopique, les propriétés magnétiques de chrome varient avec la température. En effet, à 38°C on constate le passage d'un état anti Ferro magnétique à un état paramagnétique. Cette température (température de Néel) ne semble pas être affectée par la microstructure du métal [6].

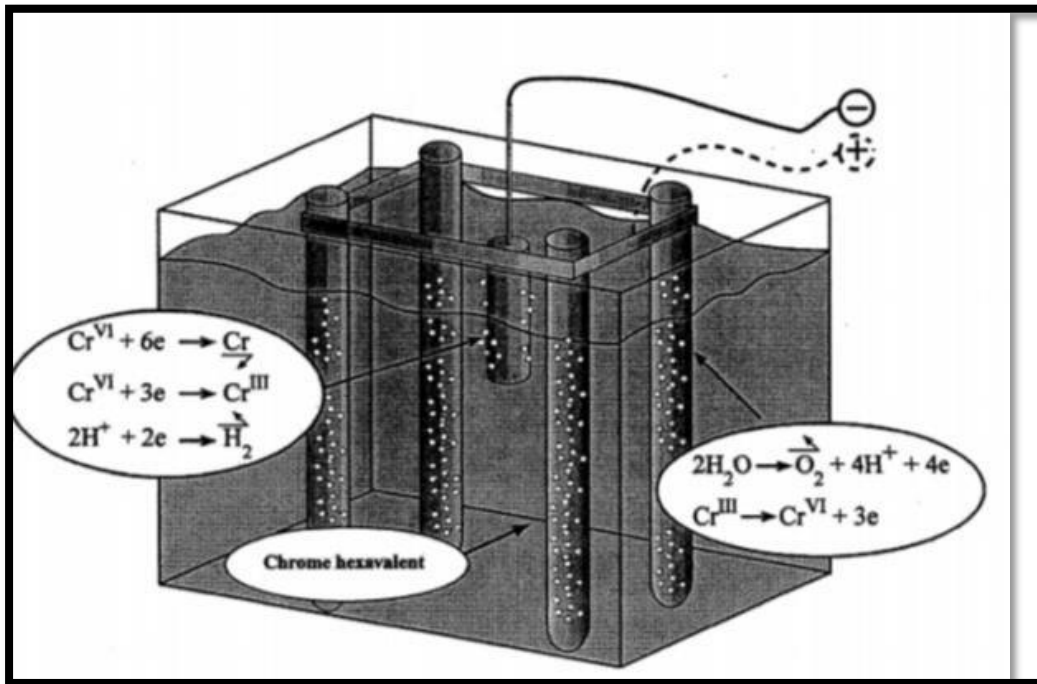


Figure II. 1: Cellule électrolytique [8].

Réduction de chrome hexa valent et des protons a la cathode oxydation du chrome trivalent et dégagement d'oxygène à l'anode.

Les propriétés mécaniques du chrome dépendent bien entendu de son mode de préparation. Pour du chrome de zone fondue, traité deux heures à 100°C, la limite d'élasticité est comprise entre 244 et 250 MPA, la contrainte maximale à rupture est de 260 MPA pour un allongement de 1,5% (à 25°C) [6]. D'autres mesures effectuées sur du chrome préparé par frittage donne une limite d'élasticité de 600 MPA à température ambiante [7]. Cette dernière étude souligne, par ailleurs, l'importance de la pureté et de la structure de ce métal sur la température de transition fragile/ductile. Par exemple, des échantillons de chrome contenant 0,026% et 1% en masse d'azote ont une température de transition de 213 K et de 533 K respectivement. [8].

Cette dispersion se retrouve dans les valeurs du module d'Young du chrome. En effet pour un chrome fritté et un chrome obtenu par électroformage, on rapporte respectivement des modules d'Young de 282 et 204 GPa [3], tandis que pour un chrome pur (sans précision de son origine) le module d 'Young est de 279 GPa [8]. Le chrome possède une maille cubique

Centrée dont le paramètre est $a = 0,28839 \text{ nm}$ [10]. Du fait de cette structure, lorsque le chrome est soumis à un rayonnement X, les plans de diffraction sont peu nombreux.

La température de fusion du chrome est voisine de 1875°C , avec une chaleur latente de fusion variant de 13 à 15 kJ/mol. La température de recristallisation du chrome augmente avec sa pureté, des températures comprises entre 850 et 750°C ont été déterminées sur des zones plus ou moins pures d'un barreau réalisé par zone fondue [8].

En milieu oxydant, il se développe à la surface du chrome une couche d'oxyde hydraté [6]. Ce film, de quelques Angström d'épaisseur, est très stable dans de nombreux milieux chimiques et constitue une barrière protectrice vis à vis de la corrosion. Le chrome se passive dans l'acide nitrique, le chlore, l'anhydride chromique et à l'air tandis qu'il est fortement attaqué par l'acide chlorhydrique et faiblement par l'acide sulfurique. Les composés issus de l'oxydation du chrome sont très nombreux [9].

II.2. Définition de chromage

Le chromage est un procédé de revêtement par électrolyse permettant de déposer du chrome métallique sur les surfaces à traiter pour leur conférer les propriétés de ce métal. Ce traitement bien connu est effectué pour deux applications importantes: le chromage décoratif et le chromage dur.

II .3. Les types de chromage

II .3.1. Chromage dur

Le chromage dur est un procédé de traitement de surface dans lequel du chrome métallique est déposé par électrolyse sur les surfaces à traiter pour leur conférer les propriétés de ce métal.

II. 3.2. Chromage décoratif

Il se distingue du précédent par le fait que son épaisseur est moins importante de quelques micromètres. Le chromage décoratif se fait toujours sur une sous-couche dont la nature peut varier selon les caractéristiques que l'on recherche. Généralement, cette sous-couche est du nickel (En couche unique ou bi couche) avec éventuellement une couche de

Cuivre électrolytique entre le substrat et le nickel. Le chromage de faible épaisseur est réalisé pour produire des surfaces d'un aspect aussi brillant que possible, pour en augmenter la dureté et aussi pour éviter le ternissement (par oxydation) de la couche de nickel [2] [01].

II .3.3. Chromage noir

Le chrome noir possède des propriétés dans le domaine de l'absorption des rayonnements du visible, IL est très utilisé dans l'industrie des panneaux solaires, en optique, aussi bien que pour les appareils de rayons X [8].

II .3.4. Chromage poreux

On désigne par le chrome poreux, un dépôt électrolytique de chrome dur qui présente en surface une structure poreuse susceptible d'améliorer la lubrification et surtout les cylindres de pistons de moteur à explosion [8]. Le chrome poreux est réalisé soit par des procédés mécaniques, soit par des procédés chimiques ou électrochimiques.

II .4.Facteurs d'un dépôt électrolytique

II .4.1.Densité du courant

La densité du courant à appliquer dépend du métal à déposer et du type d'application recherchée. Si la densité du courant augmente, un effet favorable peut être constaté au début : en augmentant la densité du courant, il est possible d'obtenir une augmentation de la vitesse de diffusion des ions et donc une accélération de l'électrolyse. Cependant, si la densité du courant est trop grande, la croissance de revêtement devient irrégulière. Au-delà d'un seuil, il se forme un dépôt pulvérulent se réduisant facilement en poudre qui ne tarde pas à se désagréger [00].

Si la densité de courant croît, un effet favorable peut être constaté au début : la vitesse de formation des germes augmente sans que la vitesse de croissance de ceux-ci soit modifiée. En effet, par une accélération de l'électrolyse, il est possible d'obtenir une augmentation de la vitesse de diffusion des ions .Cependant, si la densité de courant devient trop grande, la croissance des cristaux est irrégulière. Au-delà d'un seuil, il se forme un dépôt pulvérulent qui e tarde pas à se désagréger [00].

II .4.2.pH du bain

Il joue également un rôle important. Dans des bains de nickelage, un pH trop grand donne un dépôt mat. Pour éviter ces inconvénients, les solutions électrolytiques sont maintenues à un pH constant par addition d'une substance tampons. Cela permet d'éviter les modifications de qualité du dépôt qui résulteraient des variations de l'acidité [00] [25].

II .4.3.Agitation de l'électrolyte

Au cours de l'électrolyse, la concentration de l'électrolyte au niveau de la cathode diminue. Il est Nécessaire de maintenir une certain agitation pour uniformiser les concentrations afin d'obtenir un dépôt continu et régulier. En outre, cela facilite la diffusion des ions et s'oppose à l'épuisement de la couche de diffusion [12,25].

II .4.4.Température

Deux effets opposés peuvent être prévus. Si la température du bain augmente, la vitesse de diffusion des ions et la conductibilité du bain croît aussi ; cela accélère le processus de micro cristallisation. Cependant, dans le même temps, les surtensions diminuent et cela favorise la croissance des grains. En effet, la température augmente la mobilité latérale des atomes métalliques dans la couche de croissance et les atomes peuvent atteindre plus facilement les centres actifs de croissance, ils favorisent une croissance de petits cristaux [12] [25].

II .4.5.Conductibilité de l'électrode

L'addition d'électrolytes indifférents, c'est-à-dire qui ne prennent pas de part dans le processus électrolytique mais permettant de diminuer la résistance de l'électrolyte, est souvent intéressante. La tension appliquée à la cellule peut être qu'elle est plus petite dans ce cas et de ce fait, l'énergie consommée est plus faible [8].

II .4.6.Concentration de l'électrolyte

Si la concentration de l'électrolyte augmente, le nombre des ions devient plus grand et la vitesse de leur décharge croît. Néanmoins, lorsque la concentration dépasse une limite déterminée, le dépôt devient pulvérulent. En général, une augmentation de concentration

conduit à une meilleure micro cristallisation, tandis qu'une diminution de celle-ci donne des dépôts incohérents. En effet, si la concentration augmente, le nombre des ions devient plus grand, la vitesse de leur décharge croît et cela favorise le dépôt des grains fins. Par exemple, il est possible d'obtenir des dépôts compacts d'étain en utilisant des solutions très concentrées de chlorure stanneux, bien que ce métal donne en général des dépôts à gros grains. Néanmoins, lorsque la concentration dépasse une limite déterminée, les germes ne peuvent grossir et le dépôt devient pulvérulent [8].

II .4.7.Nature de l'électrolyte

UN électrolyte c'est un composé qui produit une solution ionique quand il est dissous dans une solution aqueuse. En effet, on désigne par le terme « électrolytique », toute substance qui augmente la conductivité de la solution lorsqu'elle est dissoute dans cette dernière. L'expérience a montré que l'utilisation de sels complexes donne des dépôts très cohérents et qui adhèrent bien au métal que ceux obtenus à partir des sels simples. Ainsi, les dépôts d'argent réalisés en électrolysant une solution d'un sel simple (par exemple, nitrate d'argent AgNO_3) ont formé de longues aiguilles consistants, alors qu'avec des solutions cyanures, le dépôt est très compact et très adhérent; les cristaux sont alors plus fins [8].

II 4.8.Métal de base

La structure du dépôt est souvent semblable à la structure de la surface métallique à recouvrir (effet épistémique). Les propriétés de la couche dépendent de la surface métallique à recouvrir (elle doit être très propre et parfaitement polie). Cette structure possède des caractéristiques de qualité fondamentale du revêtement, à raison de plus s'il s'agit d'un revêtement [5].

II .4.9. Le dépôt électrolytique

Le dépôt électrolytique a pour but d'apporter des propriétés superficielles particulières qui peuvent être utilisées pour un aspect décoratif, une protection contre la corrosion, ou des propriétés physiques ou mécaniques différentes de celles du substrat (dureté, frottement, conductivité, adhérence de produits organiques, couches barrière...) d'une façon générale.

Le métal d'apport initialement sous forme ionique dans un bain, est soumis à une réaction électrochimique de réduction qui le porte à l'état métallique. Cette réaction est provoquée à la surface de la pièce à revêtir par un apport d'électrons assuré par un circuit extérieur. L'opération se déroule dans une cellule d'électrolyse constituée des éléments suivants:

- Une cuve contenant le bain d'électrolyse.
- Les électrodes immergées dans le bain.
- La cathode polarisée négativement constituée de la pièce à revêtir, siège de la réaction de réduction conduisant au dépôt. Cette électrode peut également être le siège d'autres réactions de réduction dont l'électrolyse de l'eau avec dégagement d'hydrogène, qui peut être une source de fragilisation de certains substrats.
- L'anode, est le siège d'une ou des réactions d'oxydation. Elle peut être soluble ou insoluble, lorsqu'elle est soluble, elle est constituée du métal à déposer et est soumise à la réaction inverse de celle qui se produit à la cathode. Lorsqu'elle est insoluble, la composition du bain varie de façon continue au cours de l'électrolyse.
- Le circuit électrique est constitué de conducteurs alimentant les électrodes reliées à un générateur de courant.

La qualité de résistance dépend de :

- * La brillance.
- * La durée de corrosion.
- * La résistance à l'usure.
- * La porosité [5].

II .5. Influence des paramètres secondaire

- Il croît avec la d.d.c.
- Il croît avec la température.
- Il décroît avec la concentration Cr_2O_3 (sans augmentation)

II. 6. Les paramètres du chromage

Au cours du chromage, la pièce que l'on désire revêtir est placée à la cathode d'une cellule électrolytique. Elle est plongée dans une solution aqueuse contenant un ion de chrome (généralement du chrome hexa valent [03] Cr^{+6} qui sera réduit en chrome métallique. Dans le cas où on utilise de l'anhydride chromique (désigné abusivement par le terme "acide chromique"), les réactions d'oxydoréduction mises en jeu au cours du processus électrolytique sont très schématiquement représentées par :

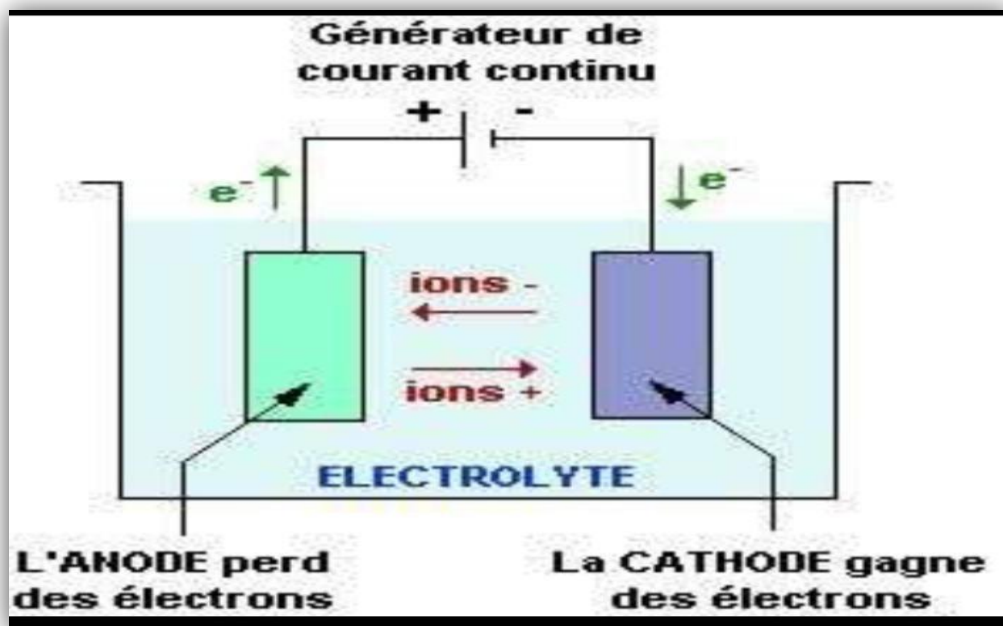
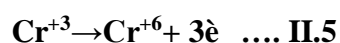
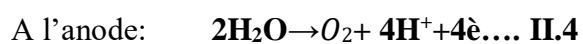
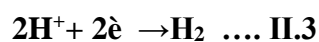
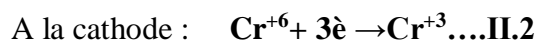
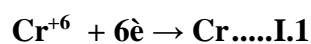


Figure II. 2: Cellule électrolytique



Tout paramètre ayant une influence sur ces réactions conditionnera la formation revêtement de chrome. Ainsi, la nature du bain, la densité de courant, la température de la solution et le type d'anodes utilisées jouent un rôle important sur le chromage.

II .6.1.1.Bains de chrome hexa valent

Le bain de chromage est constitué d'acide chromique. Sa concentration varie entre 150 et 400 g/l (soit 1,5 à 4 mol/l). En solution aqueuse, l'acide chromique forme des poly chromates dont la structure dépend de la température, du PH et de la concentration du bain en CrO_3 , Dans le cas d'un bain standard, la concentration est de 250 g/l en CrO_3 , la solution est donc constituée d'ions dichromatique et trichromes qui confèrent à l'électrolyte une couleur rouge orangée.

Il est également important de préciser que la température influence le degré de polymérisation des chromates et que leur nature n'est pas toujours bien identifiée. C'est pourquoi, on emploie couramment la formule " CrO_3 " pour désigner l'acide chromique. Cet abus d'écriture sera donc utilisé dans la suite du texte, conformément à la terminologie en vigueur chez les chromeurs.

La teneur en CrO_3 , influence fortement l'une des caractéristiques importantes du bain: le rendement cathodique R. Cette grandeur correspond au rapport de la masse de chrome effectivement déposée sur la masse que l'on déposerait théoriquement (masse calculée en appliquant la loi de Faraday) [14].

Le potentiel de réduction de l'ion Cr^{6+} en chrome métallique est négatif. Il se produit donc, au cours du dépôt, un dégagement d'hydrogène consécutif à la réduction des protons. Les rendements cathodiques obtenus sont largement inférieurs à 100%. La figure II.1 présente l'évolution de cette caractéristique avec la teneur en anhydre chromique : un maximum de l'ordre de 20% est atteint pour une teneur de 250 g/l à 300 g/l. Les rendements obtenus lors de chromage décoratif dont les bains sont plus riches en CrO_3 (- 400 g/l) ont donc des valeurs plus faibles (- 15%). Par comparaison, le rendement d'un bain de cuivre acide est de l'ordre de 100%, celui d'un bain de nickel, en milieu acide, varie de 95 à 98 % [15].

• Catalyseurs

Comme l'avait souligné Sergent, il est indispensable d'ajouter un catalyseur au bain d'acide chromique. Il s'agit, principalement, d'acide sulfurique. Sa teneur dépend de la

Concentration en acide chromique du bain. En effet, pour obtenir un dépôt de chrome, le rapport des masses d'acide chromique et d'acide sulfurique doit être compris entre 80 et 120. On a constaté expérimentalement qu'au-dessous de 80, le dépôt est constitué d'un mélange d'oxydes de chrome et de chrome métallique appelé chrome noir. Au-dessus de 120, aucun dépôt n'est obtenu à la cathode [12]. Le rendement cathodique maximum est atteint pour un rapport de 100 (cf. figure 6). Il correspond, pour les bains standards (250 g/l en CrO_3), à une concentration de 2,5 g/l en H_2SO_4 l'ion sulfate n'est pas le seul catalyseur utilisé. L'acide fluorhydrique (HF) ou l'acide fluo silicique (H_2SiF_6) permettent d'augmenter le rendement de 17% à 23 et 25%

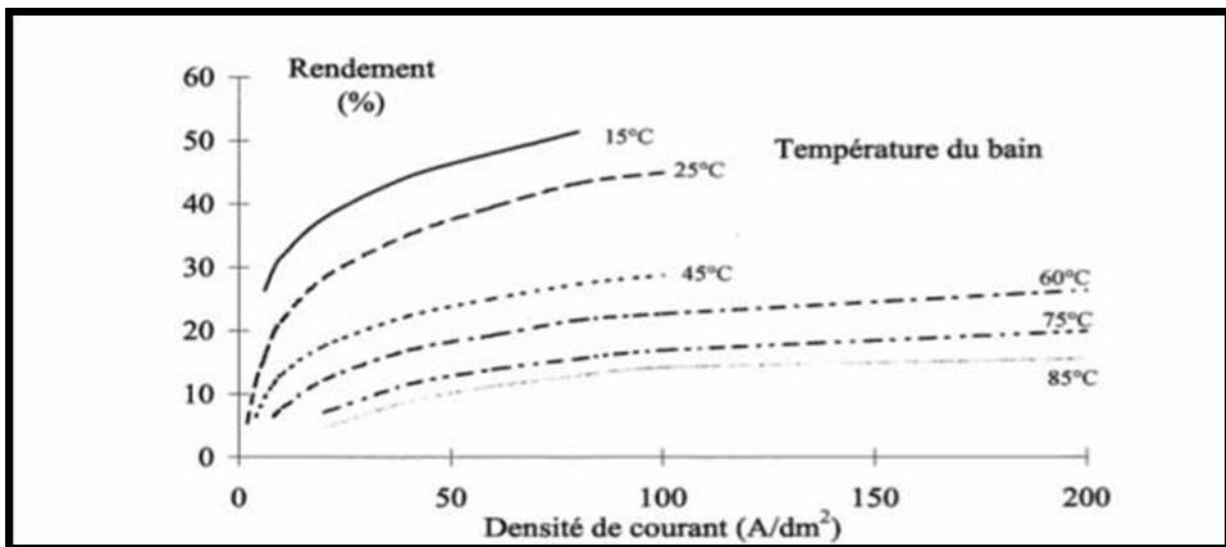
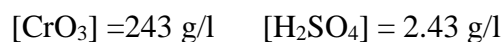


Figure II. 3: Influence de la densité de courant et de la température sur le rendement Cathodique R .



Respectivement (figure II.2). On constate sur la figure (II.3) qu'il existe une plage de concentration pour laquelle l'efficacité de ces anions est maximale. Cette plage est plus réduite que lorsqu'on utilise des sulfates. De plus, l'utilisation d'acides fluorés pose des problèmes de corrosion des pièces à revêtir. Ces bains sont donc d'un emploi plus délicat que l'électrolyte standard à catalyse sulfurique [03].

Il existe donc de nombreuses formulations de bain à base de chrome hexa valent qui constitue l'essentiel du chromage industriel. Toutefois, avant de conclure ce paragraphe, il est important de préciser l'existence d'électrolytes au chrome trivalent.

II 6.1.2. Bains de chrome trivalent

Ces bains ne sont encore employés industriellement que dans le domaine du chromage décoratif car il est difficile d'obtenir des dépôts épais avec ces électrolytes. De plus, le chrome trivalent forme, en solution aqueuse de Cr_2O_3 . Pourtant, au stade du laboratoire, des formulations existent qui permettent d'obtenir des dépôts durs et épais ($> 100 \mu\text{m}$) [9]. Afin de prévenir la formation du complexe aqueux, deux grandes méthodes ont été employées. La première consiste à former des complexes avec des anions hypo phosphites. Ces complexes peuvent être réduits en chrome métallique. La seconde solution consiste à réduire du chrome hexa valent en chrome trivalent par voie chimique.

La mise au point et l'emploi de bains à base de chrome trivalent sont donc difficiles mais de tels électrolyte bénéficient de deux atouts majeurs, un rendement cathodique élevé (30%) et une toxicité moindre : le seuil maximal de rejet de Cr^{3+} dans les effluents liquides est de 3 mg/l soit 30 fois plus que celui du chrome hexa valent.

II .6.2.Densité de courant et température du bain

La densité de courante et la température du bain constituent les deux paramètres principaux qui conditionnent les qualités du dépôt de chrome. Ils sont indissociables l'un de l'autre car ils ont des effets opposés. En effet, si on considère la figure 7, on remarque que, à température constante, le rendement cathodique augmente avec la densité de courant. Une formule empirique relie le rendement cathodique R , et la densité de courant D . [16]:

$$R. = a(T) \cdot \log D + b(T) \dots\dots(1)$$

Avec :

R : le rendement cathodique (%), **D** : la densité de courant (A/dm), **a(T)** et **b(T)** des constantes (%) dépendant de la température T ($^{\circ}\text{C}$).

Les courbes de la figure II.3 montrent que à D, constante le rendement est une fonction décroissante de la température. Sur cette même figure, on peut constater que l'influence de la température de la solution est plus marquée que celle de la densité de courant. Pour une densité de courant de 40 A/dm², lorsque la température du bain augmente de 15 à 75°C, le rendement est divisé par 4 (44 à 11%). 25°C, il faut diviser la densité de courant par 22,5 (90 à 4 A/dm²) pour obtenir une diminution identique du rendement.

Signalons que, si la grande majorité des dépôts est effectuée à densité de courant constante, il existe des procédés récents qui utilisent des techniques de courant périodiquement variables. Les cycles de courant se décomposent en une période pendant laquelle la pièce à chromer est traversée par un courant cathodique et une période durant laquelle le courant est soit anodique (technique du courant périodiquement inversé - CPI) soit nul (courant pulsé – CPu).

La densité de courant et la température sont donc des paramètres qui influencent fortement la formation de dépôt de chrome tant sur son homogénéité en terme d'épaisseur.

II.6.3. Matériaux constituant l'anode

Outre leur rôle de transport de courant, les anodes doivent répondre à d'autres contraintes techniques: le matériau utilisé pour leur conception ne doit pas être corrodable par l'électrolyte employé et il doit permettre l'oxydation du chrome trivalent en chrome hexa valent. En effet, toute augmentation de la concentration en Cr conduit à une diminution de la conductivité du bain.

En Ce qui concerne la résistance chimique des anodes, le matériau le plus couramment utilisé est un alliage de plomb contenant de l'antimoine ou de l'étain. Ces éléments renforcent la tenue au fluage du plomb et lui confèrent donc une durée de vie accrue. L'étain quant à lui augmente la résistance à la corrosion de l'alliage en milieu fluoré [5].

Afin de rendre compte de l'influence du métal de base des anodes sur les processus électrochimiques, on peut citer les résultats de deux études distinctes. La première consiste en une analyse de la teneur en chrome trivalent présent au sein d'une solution avant et après chromage, lorsqu'on utilise des anodes en plomb ou en fer. L'influence de l'aire de l'anode est également caractérisée. [16]. Une électrode en platine, la réaction anodique la plus rapide était

La formation de l'oxygène bloquant ainsi la régénération du Cr en Cr. Inversement, avec une anode en plomb, la surtension d'oxydation du chrome trivalent est inférieure à celle de l'oxygène. Contrairement au platine, l'emploi du plomb est bénéfique pour la régulation de la teneur en Cr.

Ainsi, la déposition de chrome métallique à partir d'une solution de chrome hexa valent dépend du contrôle de nombreux paramètres dont les principaux sont : la composition du bain, la température de l'électrolyte et la densité de courant cathodique utilisée. Lorsque ces paramètres sont maîtrisés, il est possible d'obtenir une bonne répartition du dépôt sur le substrat et les revêtements présentent des caractéristiques (dureté, usure, résistance à la corrosion...) irremplaçables pour quantité d'applications industrielles.

II.7. Chromage dur

Il se distingue du précédent par le fait que son épaisseur est plus importante (de quelques micromètres à quelques dixièmes de millimètres). Il procure au matériau sur lequel est effectué, un bon coefficient de frottement et de bonnes propriétés de résistance à l'usure et à la corrosion.

Il est très visible par exemple sur les vérins des appareillages mécaniques (appareils de levage ou engins de travaux publics, etc.). Ce type de traitement est le revêtement privilégié dans le domaine de la mécanique pour les pièces en rotation ou en translation qui ont à résister à l'usure et à avoir de bonnes qualités de frottement, et pour les domaines où l'adhérence pourrait être un handicap (plasturgie, cylindres de laminoir, etc.) [01].

II .7.1.Caractéristiques essentielles

D'une manière générale, industriellement, le chromage des pièces à revêtir est réalisé au moyen des solutions dans lesquelles le chrome est au degré d'oxydation 6, c'est-à-dire chromage avec électrolyte au chrome hexa valent. Il est généralement utilisé avec des épaisseurs pouvant varier de 5 à 500 μm . L'utilisation des dépôts découle des caractéristiques décrites qui permettent de conférer à la surface revêtue une bonne résistance à l'usure, à l'abrasion et des propriétés anti adhérentes. Le chromage peut aussi être utilisé pour le rechargement des surfaces usées ou pour rattraper des erreurs lors de la réalisation de pièces. Les dépôts de chrome dur présentent comme caractéristiques importantes, outre bien sûr leur

dureté, le fait qu'ils soient micro fissurés, et qu'ils soient aussi le siège de 50°C , contraintes résiduelles de traction qui sont, pour les dépôts brillants réalisés à de l'ordre de plusieurs centaines de MPA [17].

II .7.2.Micro dureté

La micro dureté est, de manière générale, de l'ordre de 1 000 HV pour les dépôts de chrome dur. Cette micro dureté peut varier de 800 à 1 200 HV. Pour les dépôts obtenus à partir de chrome hexa valent, cette micro dureté chute notablement en fonction de la 700°C .température de traitement pour atteindre des valeurs de l'ordre de 300 HV à [17].

II.7.3.Contraintes résiduelles [17]

Deux modèles ont été proposés:

Le premier fait l'hypothèse que ces contraintes seraient liées directement à la présence d'hydrogène piégé au sein du dépôt au cours de l'électrolyse et qui diffuserait par la suite en provoquant une contraction du dépôt. Cette contraction étant bloquée par le substrat, il s'ensuivrait l'apparition de contraintes résiduelles de traction.

Le second modèle proposé fait appel, au cours du dépôt, à la formation d'hydrures de chrome de structure hexagonale, qui se transformeraient en chrome de structure cubique centrée de taille plus réduite que la structure hexagonale, provoquant par là des contraintes de traction.

II .7.4.Propriétés de chromage dur [01]

Le chrome dur est un dépôt électrolytique appliqué directement sur l'acier, la fonte, les alliages d'aluminium et les alliages cuivreux, avec une épaisseur assez forte pour profiter des propriétés remarquables du chrome:

- Dureté très élevée.
- Résistance à l'usure.
- Qualités spéciales de frottement et de non mouillabilité.

- Résistance à la corrosion.
- Large palette d'épaisseur qui autorise la protection de pièces neuves comme le rechargement pour réparation.
- Non nuisible à l'environnement.
- Adaptable sur tous supports à caractère métallique, pièces cylindriques, planes.
- Offre un très bel aspect largement modulable par différents procédés.

II. 7.5. Avantages et inconvénients [01]

a) Avantages

- Facilité de réalisation des dépôts.
- Faible coût d'application, comparé aux autres procédés concurrents faite adhérence sur son support (accroche moléculaire).
- Absence de modification des propriétés du substrat (il est nécessaire toutefois de prévenir la Fragilisation du substrat par l'hydrogène) font que le chromage s'avère un traitement de choix Dans de nombreuses applications.

b) Inconvénients

- Mauvais rendement cathodique (compris entre 10 et 25 % suivant la nature du catalyseur).
- Pouvoir médiocre de pénétration notamment pour des pièces de formes complexes.
- Utilisation de chrome hexa valent, produit réputé toxique, peut rendre ce procédé polluant si Les mesures de prévention ne sont pas utilisées correctement.

II.7.6. Domaine d'application [0].

Les dépôts de chrome dur peuvent être appliqués dans les activités suivantes:

- Aéronautique (pièces de réacteurs) et armement.
- Automobile (vilebrequins, chemises de cylindres, etc.).
- Céramique, tuilerie briqueterie et verrerie.
- Chemin de fer.
- Industrie nucléaire, chimique et matières plastiques.
- Automatismes.
- Industrie du papier et du textile.
- Machines hydrauliques et oléo-pneumatiques (vérins, cylindres, arbre de transmission...etc.).
- Machines thermiques.
- Matériels miniers et travaux publics.
- Mécanique générale (outillage, moules métalliques).
- Photo, optique, cinéma.
- Travail des métaux.

II.8.Applications de revêtement de chrome métallique spécifiques à un secteur

II .8.1Aéronautique

- Train d'atterrissage et composants de commande.
- Essieux de roues, goupilles ou tiges de vérins hydrauliques.
- Pièces de moteurs à turbine à réaction (matériel rotatif tel que roulements, arbres, rotors et pièces de fixation plus petites).
- Systèmes de portance élevée (volets et becs).

- Actionneurs hydrauliques.
- Broches et axes.
- Coussinets, loquets et douilles d'usure.
- Systèmes de roulement.
- Épissures de suspension.

II. 8.2. Automobile et génie général

- Parties mobiles de: train, transmission, direction, composants différentiels.
- Amortisseurs, segments de piston, groupe motopropulseur, pièces d'injection de carburant, pistons pour ruptures, soupapes de moteur.
- Vérins hydrauliques, vérins de couverture, vérins à plaques.
- Gaines, rouleaux d'alimentation.
- Tuyaux des bouteilles de livraison.
- Arbres de scie.
- Appuie-tête.
- Langues de ceinture.

II. 8.3. Industrie de l'acier

- Rouleaux et roulements de laminoirs.
- Forgeage de matrices.

II .8.4. Fabrication de matériel d'imprimerie

- Mandrins.
- Vestes de cylindres.
- Plaques/rouleaux de rotogravure.

II. 8.5.Pièces métalliques de précision

- Tamis à sucre.
- Autres supports de filtration et de séparation.

Fait important, dans ces environnements exigeants, la corrosion se produit même dans les systèmes de revêtement hautement développés contenant du trioxyde de chrome utilisés aujourd'hui. Pour les revêtements actuellement utilisés, il existe une vaste expérience sur l'apparence et les impacts de la corrosion. Sans une alternative sans trioxyde de chrome bien développée, la corrosion augmentera certainement, car ces revêtements n'offrent pas toutes les propriétés cruciales des systèmes de revêtement au trioxyde de chrome et leur performance à long terme ne peut actuellement être estimée. Par conséquent, une diminution des performances en matière de protection contre la corrosion peut entraîner des intervalles d'inspection plus courts, ce qui a une incidence importante sur les coûts de maintenance, p. ex., pour les avions.

Certaines zones sujettes à la corrosion sont illustrées dans les figures II.4 à II.6 suivantes



Figure II. 4: Ingénierie générale - conduite de cylindre de livraison



Figure II. 6: Tiges fonctionnelles chromées avec Couches métalliques chromées entre 20 et 75 μm



Figure II. 5: Secteur de l'ingénierie générale cylindre hydraulique chromé fonctionnel.

II.9. Défauts de chromage courant

Problèmes de placage au chrome les plus courants La galvanoplastie est généralement un processus efficace et efficient, mais parfois des défauts se produisent pendant ou après le placage. Les défauts de chromage courants que vous pouvez t'être rencontrer sont présents ces dessous :

A/ Cloquage : Le cloquage se produit lorsque des gaz, généralement de l'hydrogène ou de l'azote, se dilatent depuis l'intérieur des pores de l'objet plaqué. Ces gaz proviennent souvent du lubrifiant appliqué sur la matrice lors de la fabrication. Lorsque l'objet devient suffisamment chauffé, les gaz se dilatent vers sa surface et poussent contre le chromage, créant une bulle ou une cloque visible. Une ampoule sévère peut également faire décoller complètement le placage. Des cloques peuvent également se produire si la surface de l'objet était sale au moment du placage. Dans ce cas, les particules de saleté peuvent provoquer des cloques en raison de la mauvaise adhérence du placage. Assurer la propreté du métal de base peut aider à éviter ce problème.

B/ Dépôts brûlés : Des dépôts brûlés se forment généralement dans les zones de densité de courant la plus élevée, souvent près des embouts ou des formes irrégulières. Une densité de courant extrêmement élevée signifie que le chromage s'accumule incroyablement rapidement. Lorsque le chrome s'accumule dans ces conditions, les zones touchées peuvent brûler. Le contrôle de la densité de courant évite ce problème.

C/ Points de clivage : Les points de clivage se forment généralement pendant le processus de moulage sous pression.

Lors du moulage sous pression, le placage peut se diviser en deux le long de ses plans structurels. Les points de clivage peuvent causer des problèmes de rigidité structurelle dans les produits plaqués finis-ils réduisent considérablement la résistance à la rupture du produit. Le contrôle de la chaleur pendant le moulage sous pression et la surveillance étroite du processus peuvent aider à réduire le clivage.

D/ Fermetures à froid : Les fermetures à froid font partie des problèmes les plus courants de la galvanoplastie au chrome.

Ces défauts se produisent lorsque différentes parties du matériau de placage durcissent à des vitesses différentes - généralement parce que la matrice plus froide refroidit une partie du métal en fusion. Lorsque cela se produit, une partie du métal refroidit avant que le moule ne soit plein. Lorsque le prochain flux de métal en fusion arrive, il remplit les fissures et le métal en fusion se lie au métal plus froid. Qui une zone plus chaude de rectal durcit contre 3 zones de contact - au lieu d'une section fondue entière.

E/Fissuration : La fissuration du chromage peut prendre différentes formes :

Fissuration par l'hydrogène : L'hydrogène, qui pénètre souvent dans les pièces métalliques, est problématique dans le travail des métaux car il rend les métaux cassants et fracturables. La fragilisation par l'hydrogène, ou fissuration par l'hydrogène, se produit une fois le placage terminé et devient soumis à des contraintes industrielles pendant le fonctionnement. Pour minimiser les effets négatifs du craquage à l'hydrogène, les fabricants essaient souvent d'augmenter la résistance des composants métalliques grâce à des techniques telles que la cuisson de détente. Microfissuration : Des microfissures de placage au chrome dur se reproduisent au fur et à mesure que le placage de chrome se forme, en particulier avec des dépôts allant de 1 à 3 μm . De minuscules fissures se développent dans une couche, la couche suivante les recouvre.

F/Dépôts ternes ou laiteux : Des dépôts ternes ou laiteux peuvent résulter de nombreuses conditions, notamment :

- Des déséquilibres chimiques ou des contaminants dans le bain.
- Température du bain incorrecte. Densité de courant incorrecte.
- Distribution de courant déséquilibrée. Préchauffage insuffisant.
- Rinçage inefficace. Immersion insuffisante de la pièce en métal de base dans le bain.

G/ Oxydation : L'une des principales raisons d'appliquer le chromage est d'empêcher l'oxydation du métal en dessous - mais que se passe-t-il si le métal s'oxyde avant de recevoir son placage ?

Si de la rouille se forme sur le métal avant la fin du processus, le placage peut ne pas adhérer correctement au métal, ou il peut coller mais ensuite se décoller. L'application rapide du placage avant que le métal ne puisse réagir avec l'eau ou l'air peut aider à prévenir l'oxydation.

H/ Piqûres : Des piqûres se produisent lorsque de petits trous se forment dans le chromage. Il est courant dans quelques conditions différentes:

Qualité du produit plaqué : Parfois, l'état du produit peut provoquer des piqûres de chrome - des piqûres dans le métal de base sont souvent responsables, tout comme les surfaces sales. Les débris de brosse métallique et les grains de sableuse peuvent également provoquer des piqûres.

Dépôts plus épais : Les dépôts épais peuvent provoquer des piqûres car ils contiennent plus d'accumulations qui peuvent se déformer. Il s'agit de quelques causes courantes de piqûres, notamment le métal retravaillé, les résidus d'arrêt, la cambrure des bus et les résidus de bain tels que les huiles. L'utilisation de métaux de base de haute qualité, la réduction des dépôts et le soin d'éviter les contaminants et les résidus peuvent aider à prévenir les piqûres.

I/ Mauvaise adhérence : Une mauvaise adhérence se produit lorsque le chromage n'adhère pas au métal de base, et c'est l'une des causes les plus fréquentes de défaillance des pièces dans les composants métalliques plaqués. Une mauvaise adhérence peut résulter d'une surface métallique sale - le chromage ne peut pas adhérer à la poussière ou aux débris. Cela se produit également lorsque la surface contient des huiles, des substances libérant des colorants, des agents d'alliage ou des oxydes - ou lorsque l'agent de prétraitement expire avant l'application du chromage. S'assurer de la propreté des surfaces avant le placage peut s'avérer difficile à adhérer.

J/ Rugosité ou arêtes vives : Ces défauts concernent l'état du métal de base.

Les bords rugueux se produisent souvent en raison d'un métal de base de mauvaise qualité. La raison en est que, contrairement à d'autres métaux comme le cuivre, qui ont tendance à combler les fissures, les piqûres et les irrégularités en douceur, le chrome suit généralement exactement la forme du métal. Si le métal de base est rugueux, le métal plaqué sera également rugueux. Les arêtes vives du métal de base présentent un défi pour l'agalvanoplastie en raison de la façon dont le métal de base interagit avec le courant électrique. Certaines formes, y compris les arêtes vives, attirent plus de courant électrique. Là où le courant est plus dense, des couches excessives de revêtement ont tendance à s'accumuler et elles rendent cette section de placage plus fragile. Le meulage et l'ébavurage des arêtes vives sont essentiels pour prévenir la faiblesse structurelle.

II.10. Risques liés à l'utilisation de trioxyde de chrome ou de solutions d'acide chromique [1].

Ces risques se situent dans les domaines liés à ces propriétés chimiques (réaction violemment exothermique) et à ses risques pathologiques chez l'homme.

A/ Risques chimiques : Le trioxyde de chrome n'est pas directement inflammable, mais il peut donner lieu à des réactions violentes avec d'autres composés en raison de son fort pouvoir oxydant. Cependant, le trioxyde de chrome chauffé sans ménagement au-dessus de 330 °C peut produire, par le dégagement d'oxygène dû à sa décomposition, une déflagration. Son action en tant que trioxyde ou acide chromique sur des composés qui sont susceptibles d'être oxydés (soufre, phosphore, ammoniac, sulfure d'hydrogène, produits organiques, alcool.) peuvent générer des réactions avec explosion ou incendie. Son utilisation, dès qu'il y a possibilité d'une réaction chimique, doit être faite avec précaution, en particulier, une étude préalable sur de faibles quantités est à recommander.

B/ Risques pathologiques : Nous envisagerons dans ce cas uniquement la toxicité sur l'homme. Le contact avec le trioxyde de chrome qui est envisagé est celui soit chronique, exceptionnellement important. Dans le cas de contact chronique, les troubles sont essentiellement du type ulcération sur les mains (pigeonneaux ou eczéma sur la peau), œsophagites, gastro-entérites sur les voies digestives et sur les voies respiratoires, rhinites, laryngites, bronchites.

Conditions opératoires des bains de traitement de surface (Chromage)

Le tableau II.1 représente les conditions opératoires

Formulation du bain de traitement	Conditions opératoires de dépôt	Propriétés du dépôt	Remarques
$[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] = 0,3\text{M}$ $[\text{Na}_2\text{SO}_4] = 0,6\text{M}$ $[\text{HCOONa}] = 0,4\text{M}$ [Al $2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}] = 0,2\text{M}$ [19].	$T = 50^\circ\text{C}$ Densité de courant = 20 à 30A/dm ² Cathode en acier (99,4% de fer) Prétraitement : Polie mécaniquement, dégraissé	- Epaisseur : 10µm - Dureté : 800 à 900HV Présence de chrome métallique, de carbure de chrome et d'oxyde/hydroxyde de chrome	Dépôt plus lisse
$[\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] = 0,5\text{M}$ $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0,5\text{M}$ $[\text{NH}_4\text{Br}] = 0,5\text{M}$ [KCl] = 1M [20].	$T = 45^\circ\text{C}$ pH = 1,5 Densité de courant = 40A/dm ² Anode en cuivre Cathode en graphite Prétraitement : polissage mécanique	- Dépôt non fissuré - Dépôt amorphe - Présence de particules d'alumine (Ø 0,5µm) uniformément dispersées	La taille des particules influe
$[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] = 0,5\text{M}$ $[\text{HCOOH}] = 1\text{M}$ [NH ₄ Cl] = 1M [KCl] = 1M 7M [PEG] = 0 g/L ; 2g/l [21].	$T (55^\circ\text{C})$ pH = 1,5 – 4,5 Densité de courant = 10A/dm ² Cathode en laiton Anode en métal d'oxyde mixe MMO	- Epaisseur = 15µm - Dépôts fissurés - Dépôts amorphes - Présence de chrome métallique, de carbure de chrome et d'oxyde/hydroxyde de chrome	L'ajout de PEG ne modifie pas la forme complexe en solution. Fissures très larges sans PEG. Avec PEG, fissures fines.
$[\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] = 0,8\text{M}$ $[\text{NH}_4\text{Cl}] = 0,5\text{M}$ [NaCl] = 0,6M B(OH) ₃ = 0,3M $[(\text{CH}_3)_2\text{NCHO}] = 189,4\text{mg/L}$ (200mL) [22].	$T = 30^\circ\text{C}$ pH = 2 Cathode en laiton Anode en graphite Courant pulsé	- Epaisseur : 1 à 7,3 µm - Dépôt fissuré - Dureté : 200 à 1000 HV	Le maximum d'épaisseur, de courant efficace

CHAPITRE III

PROCEDURE EXPERIMENTALE

Le but de cette étude est d'introduire l'aspect expérimentale de notre travail à fin d'évaluer la qualité de notre chromage. Nos essais ont été effectués dans deux cellules : cellule carrée et cellule de HULL, quelque expérience ont été faite dans la BCL et les autres dans le département de génie des procédés de la faculté de technologie de l'université de Blida.

III.1 : Méthodes et matériels utilisés

III .1.1. Spectromètre (FRX)

Le spectromètre est un instrument à émission optique qui exécute une analyse quantitative d'échantillons solides à haute vitesse. L'opération est basée sur le principe d'une lecture directe par une technique analytique d'émission atomique. La fonction principale du système est de fournir la capacité de conversion d'unité numérique en % en concentration des éléments de l'échantillon.



Figure III. 1:L'appareille du spectroscope

III .1.2. Microscope optique

Le microscope optique utilise la lumière. Il a deux lentilles :

- Une lentille pour grossir l'objet que l'on souhaite observer (il existe plusieurs grossissements).
- Oculaire pour que la lumière atteigne l'œil parallèlement à l'œil, permettant à l'œil de se reposer.

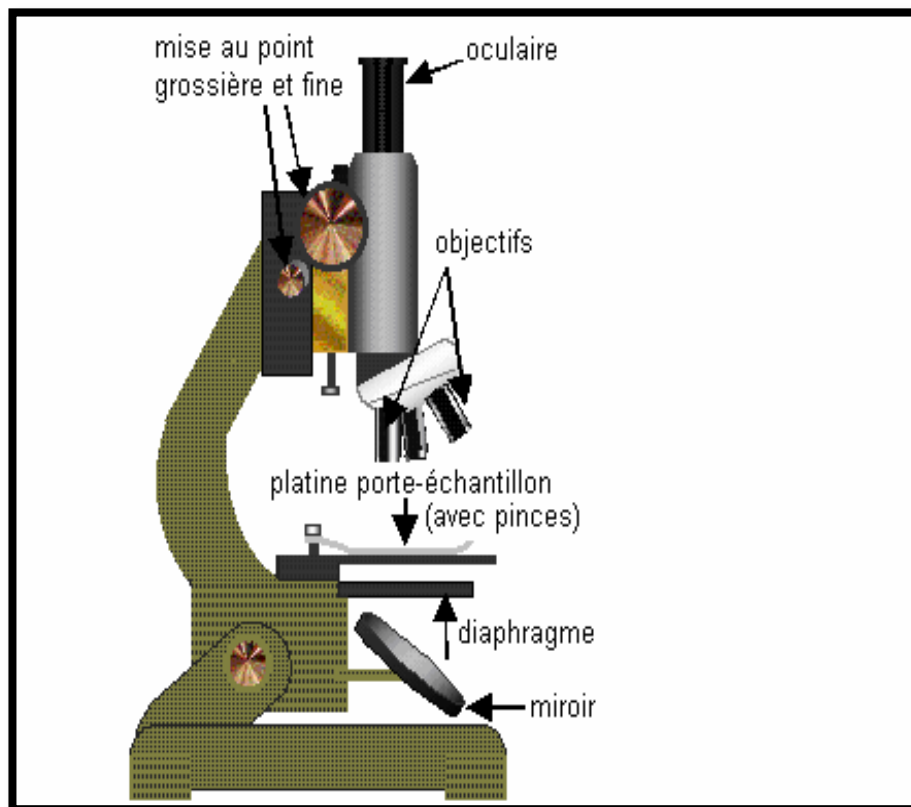


Figure III. 2: Microscope optique1

III .1.3. La méthode de mesure avec microscope optique :

A/ Préparation de la pièce B/ Polissage C/ Attaque chimique

A/ Préparation de la pièce



Figure III. 3: Appareille de test d'abrasion

Les conditions de cette opération :

Temps chauffage : 2 min , Temps refroidissement : 4 min , Pression : 290bar



Figure III. 4: Pièce après la préparation

B/ polissage : (Papier : 200, 400, 600, 800 ,1200 ,2100)

C/ Attaque chimique : Une solution d'acide nitrique et d'alcool couramment utilisée pour l'attaque chimique des métaux ferreux. Il est particulièrement adapté pour révéler la microstructure des aciers au carbone. L'alcool peut être du méthanol, de l'éthanol ou des spiritueux méthyliques. (Nital 3%) Attaque macro et micrographique des aciers au carbone faiblement alliés.



Figure III. 5: Microscope optique

III.2. Mesure et évaluation de dépôt

Pour la mesure du pouvoir de répartition, diverses cellules ont été proposées :

* Cellule de HARING et BLUM

* Cellule de MOHLER

* Cellule de BERTORELLE

III.3.Montage :

III.3.1 Cellule carrée (électrodes parallèles) :

Avant d'utiliser les cellules carrées, nous avons testé des cellules prismatiques pour déterminer les conditions de fonctionnement optimales, y compris la composition, la densité et la température, pour une meilleure qualité de dépôt



Figure III. 6:Chromage avec Cellule carrée

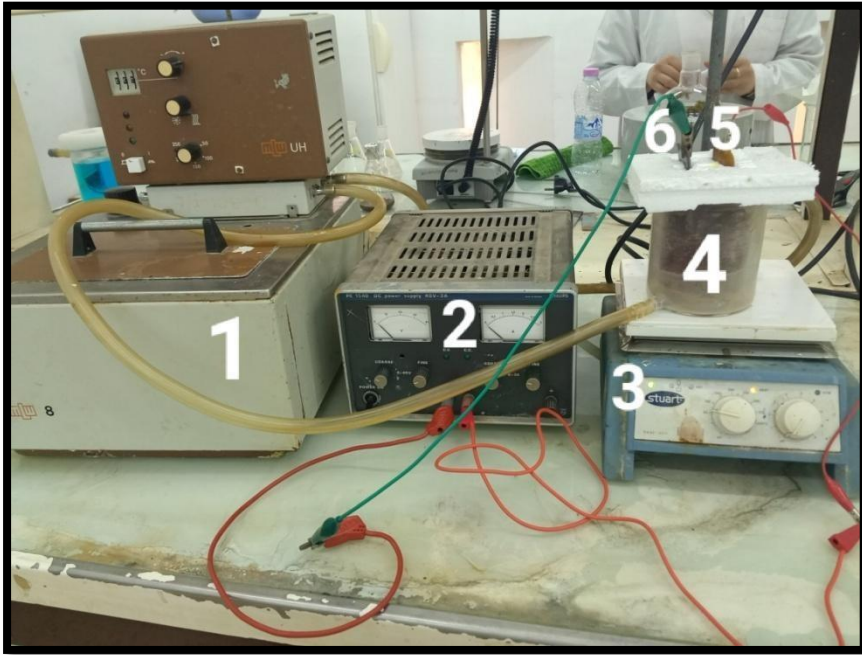


Figure III. 7: Montage de chromage avec cellule carré

- 1) Plaque chauffante pour chauffer les solutions
- 2) Générateur pour redresser le courant alternatif en courant continu
- 3) Agitateur magnétique pour homogénéiser les solutions
- 4) Cellule cubique de 80 mm de cote avec des électrodes placées en parallèle.
- 5) La cathode est une pièce en acier (XC10) connectée au pôle négatif de dimension 50mm x 70mm avec une épaisseur de 4 mm
- 6) L'anode en (plomb) connectée au pôle positif de dimension 130 mm x 70 mm avec une épaisseur de 4 mm

III.3.2 Cellule de HULL :

La cellule est en PVC polychlorure de vinyle, un matériau qui n'est pas affecté par les différentes tailles d'électrolytes.

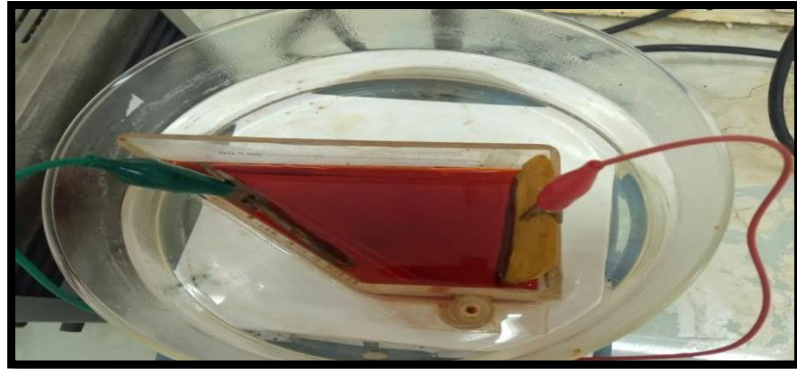


Figure III. 9: Cellule HULL

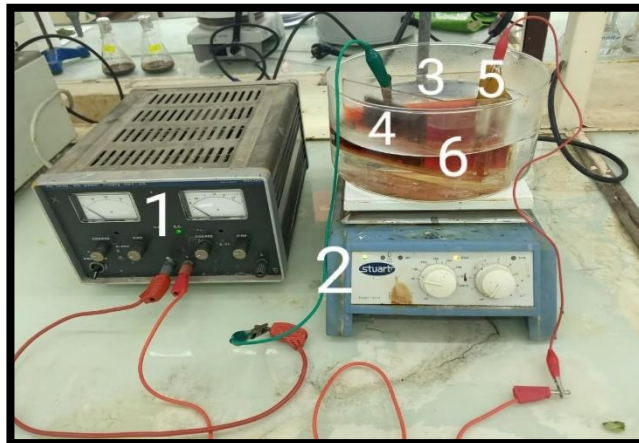


Figure III. 8: Montage de la Cellule HULL

- 1) Générateur pour redresser le courant alternatif en courant continu
- 2) Agitateur magnétique pour homogénéiser les solutions
- 3) Cellule HULL.
- 4) La cathode est une pièce en acier (XC10) connectée au pôle négative de dimension 50mm x 70mm avec une épaisseur de 4 mm
- 5) L'anode en (plomb) connectée au pôle positif de dimension 130 mm x 70 mm avec une épaisseur de 4 mm
- 6) Bag

III.4. Le mode opératoire

III.4.1.Préparation de la pièce

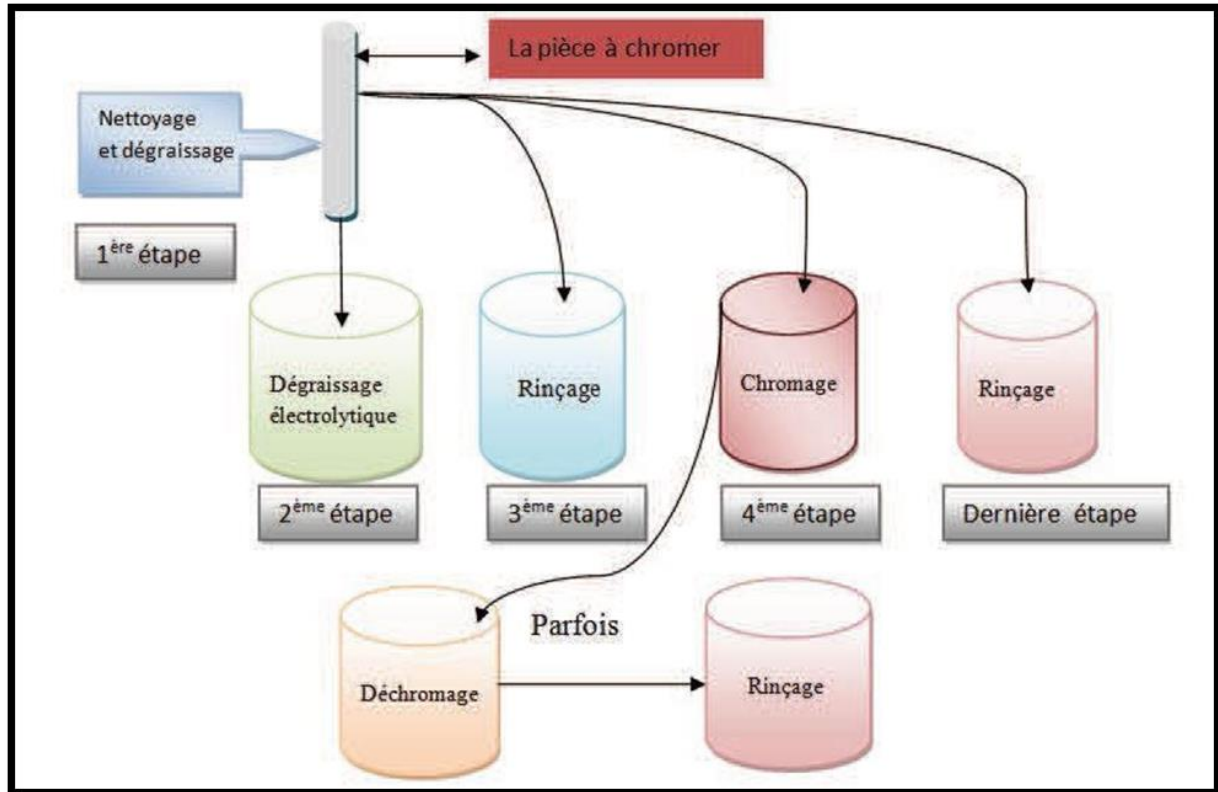


Figure III. 10: les étapes de la préparation de la pièce. [24].

- * Dégraissage chimique ($H_2SO_4 + NaOH$) 30 min
- *Rinçage double avec l'eau distillée
- *Décapage ($H_2O + HCl$) 2 heures.
- *Rinçage avec l'eau distillée
- * Dégraissage
- * Polissage (rendre la surface de la pièce très propre étape a accepté un dépôt de chromage dur)



Figure III. 11: Pièce au début



Figure III. 12: Pièce avant le brossage



Figure III. 13: Pièce après le brossage

III.4.2. Préparation de la surface :

Les principales techniques de mise en œuvre pour la préparation d'une surface sont comme les suivantes :



Figure III. 14: Décapage avec acide sulfurique H_2SO_4 de 50% A l'échelle industriel.



Figure III. 15: Rinçage avec l'eau distillée



Figure III. 16 : Polissage mécanique

Initialement avec un abrasimètre puis avec la brosse pour enlever tous la rayure par la pâte diamant



Figure III. 17: Dégraissage avec la soude et un détergent a température 70 C°

Après Rinçage avec l'eau distillée



Figure III. 18: Neutralisation avec l'acide sulfurique H_2SO_4 de 10%

Après Rinçage avec l'eau distillée

III.5. Cellule carrée

- Les essais ont été menés dans une cellule cubique de capacité de 120 cm^2 de solution.
- Les électrodes placées en parallèle.
- Distance de 3 cm.
- La surface plongée est de 20 cm^2
- La température est maintenue à la valeur choisie à l'aide d'un bain marie.

- Le courant est imposé grâce à un générateur de courant continu.
- Contrôle par un ampèremètre

III.5.1. Composition de bain

Des solutions à base de CrO_3 et H_2SO_4 et l'eau distillée ont été préparées dans des fioles de 250 ml dont la concentration en $\text{CrO}_3 = 250 \text{ g/l}$ pour différents rapports / 2% et 2.5%

III.5.2. Les paramètres opératoires

En travail avec ces paramètres :

$T = [50-60 \text{ C}^\circ]$, $t = 30 \text{ min à } 90 \text{ min}$, Rendement 2 à 2.5%

III.6. Cellule HULL

Le test de la cellule Hull est effectué sur le meilleur état de la cellule carré .

III.6.1. Composition de bain

Une solution à base de CrO_3 et H_2SO_4 et l'eau distillée. ont été préparées dans des fioles de 250 ml dont la concentration en $\text{CrO}_3 = 250 \text{ g/l}$ pour un rapport 2%.

III.6.2. Les paramètres opératoires

En travail avec ces paramètres :

$T = 50 \text{ C}^\circ$, $t = 60 \text{ min}$, Rapport= 2%

CHAPITRE IV

Résultats et discussion

Dans ce chapitre on va présentée les résultats obtenu dans le chromage dans deux cellules a savoir : HULL et carrée. Réalisé au niveau de la BCL aussi que dans laboratoire de département de génie des procédés de faculté de technologie de l'université Blida. Il est très intéressant de signalé que nous avons étudié l'effet de plusieurs paramètre opératoire tels que : $[CrO_3]$, T, t.

IV.1. Les caractéristique de la pièce utilisé

Cette figure représente la pièce à base de l'acier XC10 acier non alliée avant l'opération de chromage cette figure Elle a était prise après traitement physique, chimique, électrochimique ...etc.



Figure IV. 1: Pièce avant le chromage

A/ Analyse par spectroscopie

L'échantillon avant d'être chromée il à été analysé par FRX (Fluorescence rayon X) afin de connaître la composition chimique :

Tableau IV.1 : La composition chimique de XC10 avant le chromage :

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%
0.12	0.33	0.51	0.0094	0.01	0.018	0.059	0.0018
Al%	Cu%	Co%	Ti%	Nb%	V%	W%	Pb%
0.027	0.018	0.039	<0.0005	<0.004	<0.001	0.118	0.05
Mg%	B%	Sb%	Sn%	Zn%	As%	Bi%	Ta%
0.0005	0.0019	-0.197	0.018	0.018	0.022	0.0098	0.022
Ca%	Ce%	Zr%	La%	Se%	N%	Fe%	
0.0011	<0.002	<0.0015	0.0005	0.45	0.032	<98.6	

IV2.Aux niveaux de la BCL (Cellule carrée)

Cette figure représente la pièce après le chromage dans les conditions opératoires suivantes : $[\text{CrO}_3]=200 \text{ g/l}$ $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2.5 \text{ g/l}$ $t = 60 \text{ min}$ $T = 55 \text{ C}^\circ$ dans la cellule carrée

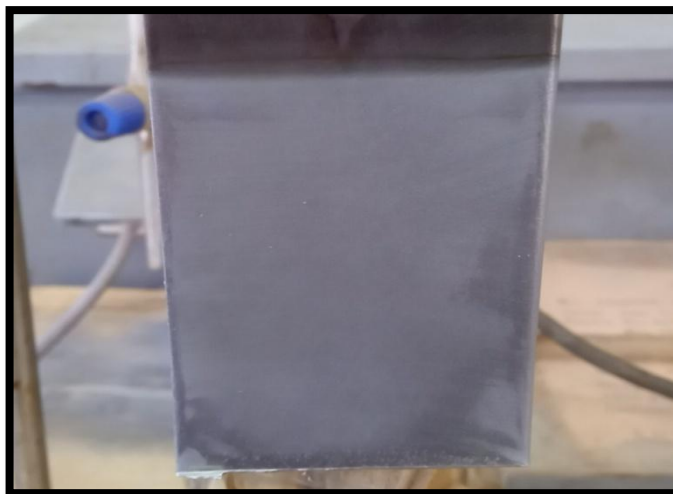


Figure IV. 2: Pièce chromée avec cellule carrée

Tableau IV.2 : La composition chimique de XC10 après le chromage .

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%
0.098	0.81	0.428	0.010	0.013	10.43	0.073	0.032
Al%	Cu%	Co%	Ti%	Nb%	V%	W%	Pb%
0.021	0.017	0.044	-0.0007	0.016	0.0011	0.156	0.050
Mg%	B%	Sb%	Sn%	Zn%	As%	Bi%	Ta%
0.029	0.0026	>0.216	0.016	>0.036	0.043	<0.0015	0.231
Ca%	Ce%	Zr%	La%	Se%	N%	Fe%	
0.0010	0.012	<0.0015	0.0034	<0.0020	0.037	<87.1	

On a constaté après chromage qu'il ya une augmentation de pourcentage de chrome de 0.018 à 10.43% ce qui 'interprète que l'opération de chromage à été effectuée.

IV. 2.1. Analyse par microscope optique

Les Figures (IV.3, IV.4, IV.5, IV.6) suivantes représentent les résultats obtenus par la microscopie optique des pièces suivantes avant et après le chromage :



Figure IV. 3: Photographie obtenue par microscopie optique de la pièce avant chromage.

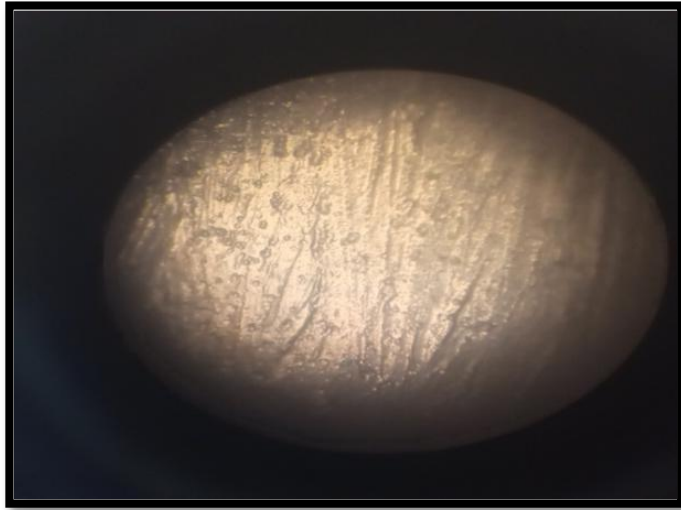


Figure IV. 4: Photographie obtenue par microscopie optique de la pièce Après chromage dans

$[\text{CrO}_3] = 200 \text{ g/l}$ $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2.5 \text{ g/l}$ t = 60 min T = 50 C°

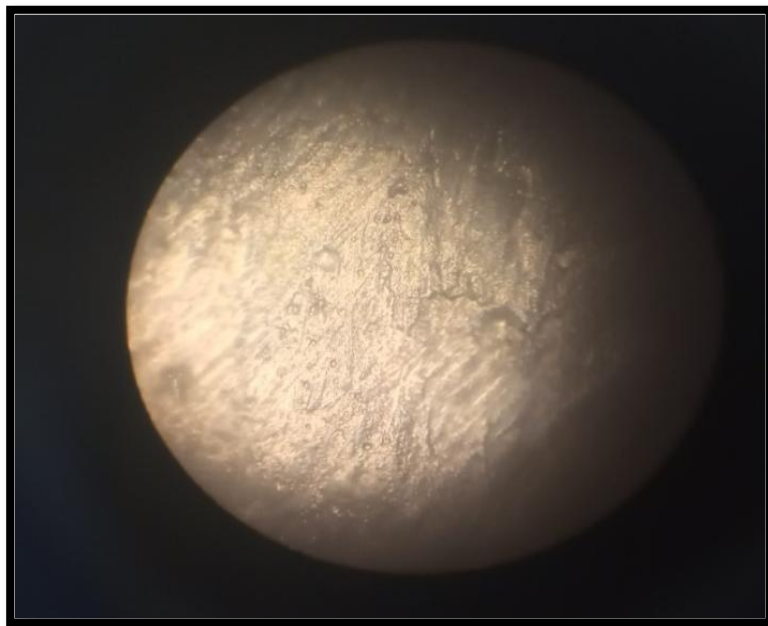


Figure IV. 5: Photographie obtenue par la microscopie optique de la pièce après chromage dans

$[\text{CrO}_3] = 200 \text{ g/l}$ $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2.5 \text{ g/l}$ t = 60 min T = 55 C°

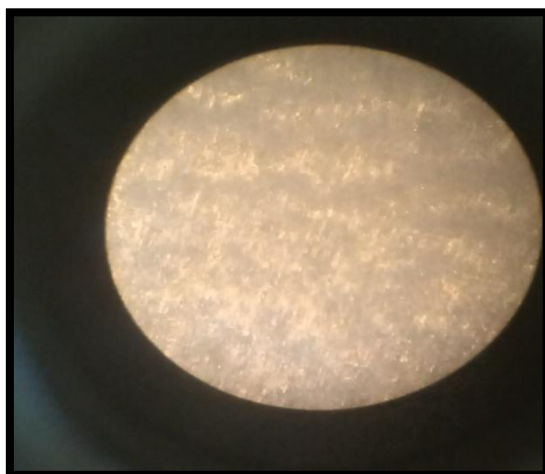


Figure IV. 6: Photographie obtenue par la microscopie optique de la pièce après chromage dans

$[\text{CrO}_3] = 200 \text{ g/l}$ $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 2.5 \text{ g/l}$ $t = 60 \text{ min}$ $T = 45 \text{ C}^\circ$

On à remarque dans ces conditions : $[\text{CrO}_3] = 200 \text{ g/l}$ $T = 55 \text{ C}^\circ$ $t = 60 \text{ min}$ qu'il ya l'apparition des rayeurs plus prononcés que l'autre expérience dans les conditionssuivantes : $[\text{CrO}_3] = 200 \text{ g/l}$ $T = 45$ et 60 C° $t = 60 \text{ min}$. On peut constater qu'il ya une différence entre la pièce chromée (Figure IV.3) et la pièce non chromée (figures IV.4, IV.5).

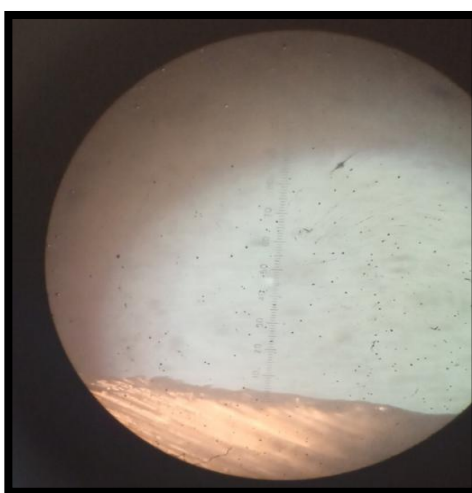


Figure IV. 7: Epaisseur de la pièce chromée ($e = 0.04 \text{ mm}$)

Cette figure prouve qu'il y a le dépôt par l'apparition d'une certaine épaisseur de dépôt.

IV.3.Au niveau du laboratoire

IV.3.1.Cellule carrée

Cette figure représente la pièce XC10 après chromage dans laboratoire



Figure IV. 8 Pièce chromée (Cellule carrée)

A/Analyse de la qualité de chromage

Après plusieurs essais avec des différents paramètres physiques de T , t , $[CrO_3]$ donc les résultats obtenus sont regroupés sur les graphes suivants :

Les Figures (IV.9, IV.10) ci-dessous montrent l'évolution de la qualité du dépôt en fonction des paramètres étudiés. Cette qualité est désignée par un dépôt soit bien, moyen, pas bien.

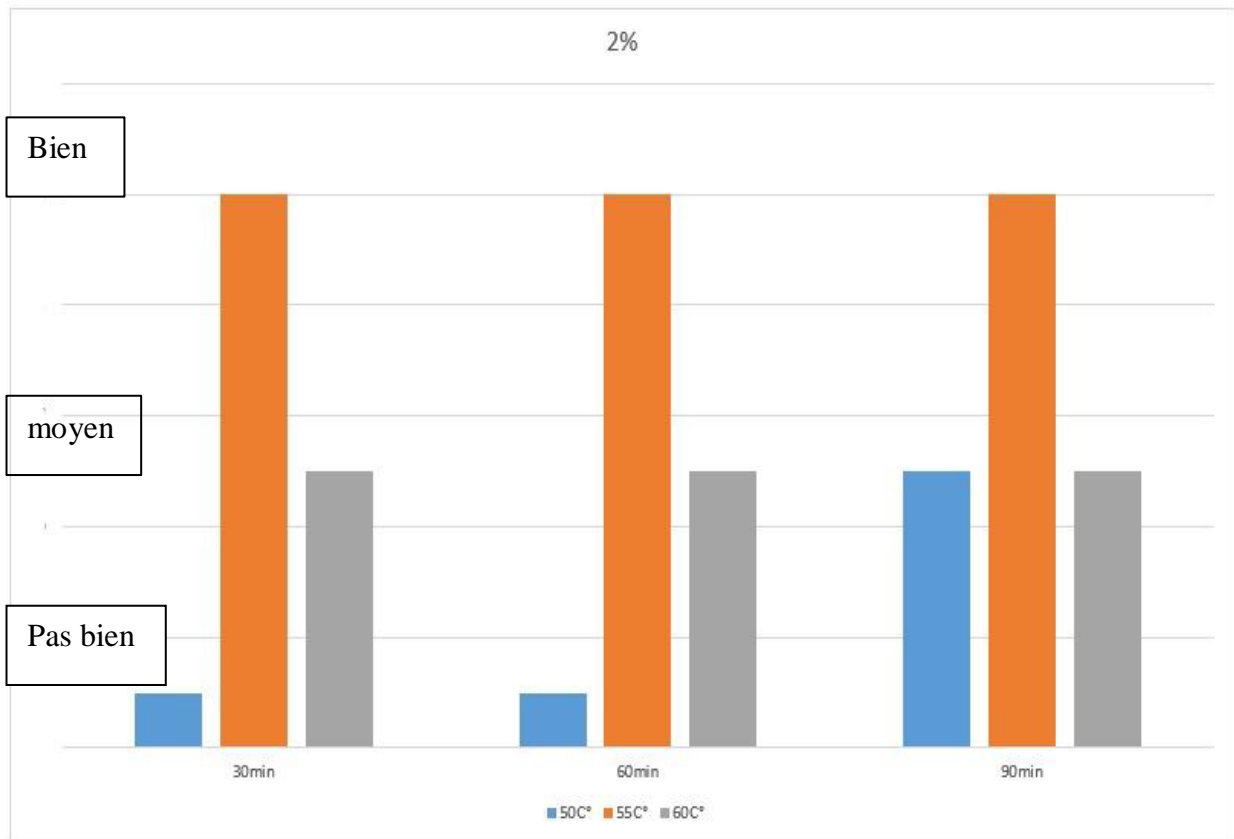


Figure IV. 9: La qualité du dépôt en fonction des paramètres étudiés (Rapport 2%) .

On a remarqué que le dépôt de chromage dans : (T=50°C et t=30 min) et (T=55°C et t=30 min) qu'il n'était **pas bien** et dans : (T=50°C et t= 90 min) et (T=55°C et t=60 et 90 min) et (T=60°C et t= 30et60et90 min) qu'il était **moyenne**. Et dans : (T=50°C et t=60 min) qu'il était **bien**.

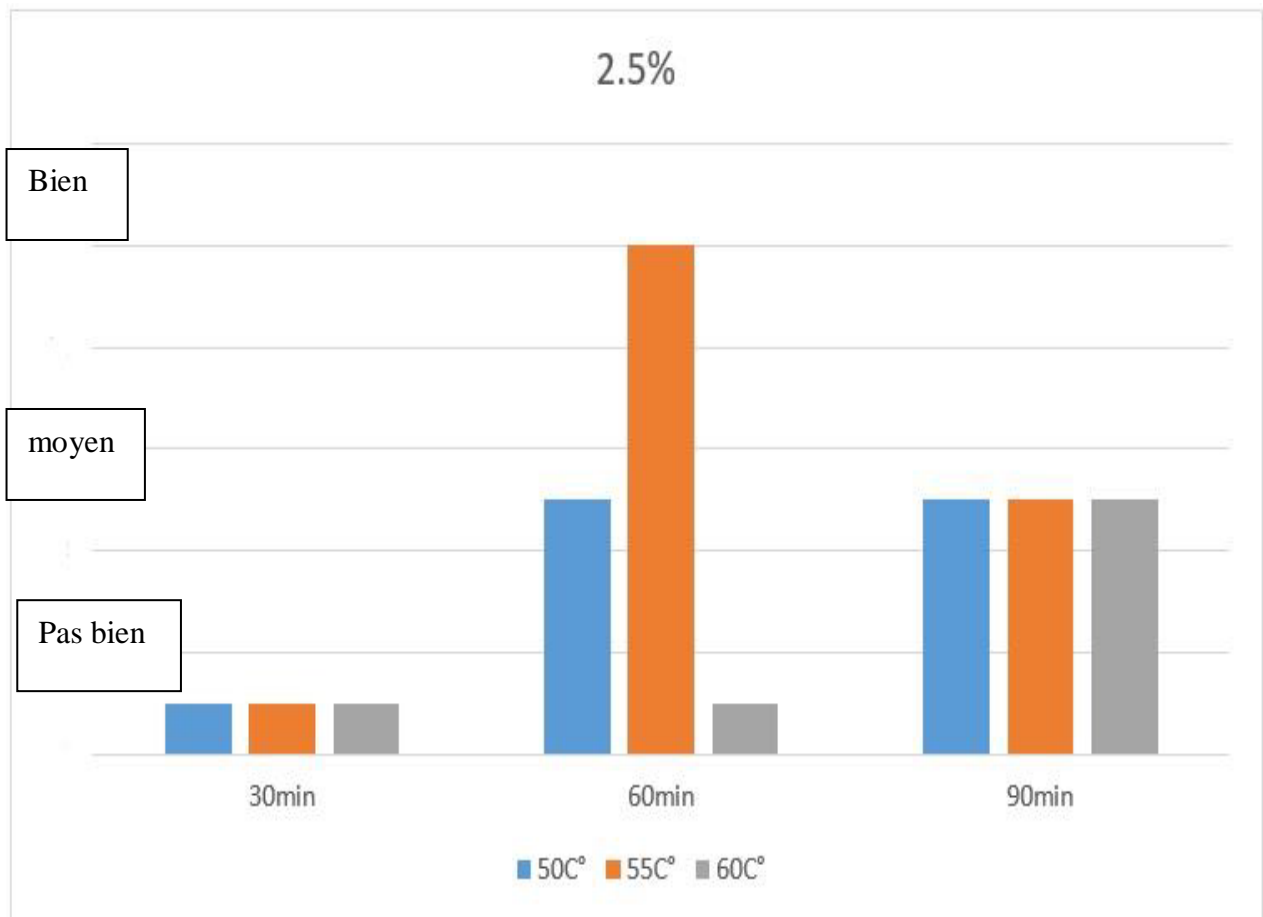


Figure IV. 10: La qualité du dépôt en fonction des paramètres étudiés (Rapport 2.5%) .

On a trouvé que le chromage dans ces conditions : (T = 50 C° et t=30 min) et (T= 55C° et t= 30 min) et (T= 60C° et t= 30 et 60 min) qu'il n'était **pas bien** et dans : (T=50 C° et t=60 et 90 min) et (T=55C° et t=90 min) et (T=60C° et t=90min) qu'il était **moyen**. Et dans : (T=55C° et t=60 min) qu'il était **bien**.

Finalement, il existe une température optimale qui est 55 C° avec laquelle on peut obtenir un bon dépôt chromage. Car :

Cependant : à une T= 50C° il y a un dégagement instantané de l'hydrogène ce qui bloque la réduction de chrome.

B/Analyse de variation :

Les tableaux (IV.3, IV.4) suivants représentent les changements de masse après le procédé de chromage :

Le tableau IV.3 : les changements de masse après le procédé de chromage Rapport 2%

Températures Temps	50 C°	55 C°	60 C°
30 min	$m_i=69.4235\text{g}$ $m_f=69.4243\text{g}$ $\Delta m =0.0008\text{g}$	$m_i=70.0417\text{g}$ $m_f=70.0552\text{g}$ $\Delta m =0.0135\text{g}$	$m_i=70.1936\text{g}$ $m_f=70.1959\text{g}$ $\Delta m =0.0023$
60 min	$m_i=69.5013\text{ g}$ $m_f=69.5090\text{ g}$ $\Delta m =0.0077\text{ g}$	$m_i=70.5550\text{g}$ $m_f=70.6271\text{g}$ $\Delta m =0.0721\text{g}$	$m_i=69.6243\text{g}$ $m_f=69.6343\text{g}$ $\Delta m =0.01\text{g}$
90 min	$m_i=70.6590\text{g}$ $\square m_{\square f}=70.6600\text{g}$ $\Delta m =0.001\text{g}$	$\square m_{i\square}=70.3955\text{g}$ $\square m_{f\square}=70.4097\text{g}$ $\Delta m =0.0142\text{g}$	$\square m_{i\square}=70.8989\text{g}$ $\square m_{f\square}=70.9059\text{g}$ $\Delta m =0.007\text{g}$

L'analyse de ce tableau nous permet de tirer les conclusions suivantes :Si que à T=55C° et t= 60 min la perte de masse est importante.et ce résultat concorde bien osque on 'a trouver précédente.

Le tableau IV.4 : les changements de masse après le procédé de chromage Rapport 2.5%

Températures Temps	50 C°	55 C°	60 C°
30 min	$m_i = 70.5301\text{g}$ $m_f = 70.5464\text{g}$ $\Delta m = 0.0163\text{g}$	$m_i = 70.6041\text{g}$ $m_f = 70.6067\text{g}$ $\Delta m = 0.0026\text{g}$	$m_i = 70.8700\text{g}$ $m_f = 70.8795\text{g}$ $\Delta m = 0.0095\text{g}$
60 min	$m_i = 69.9996\text{g}$ $m_f = 70.0019\text{g}$	$m_i = 70.4033\text{g}$ $m_f = 70.4219\text{g}$	$m_i = 71.0032\text{g}$ $m_f = 71.0045\text{g}$
	$\Delta m = 0.0023\text{g}$	$\Delta m = 0.0186\text{g}$	$\Delta m = 0.0013\text{g}$
90 min	$m_i = 70.7213\text{g}$ $m_f = 70.7382\text{g}$ $\Delta m = 0.0169\text{g}$	$m_i = 70.3033\text{g}$ $m_f = 70.3270\text{g}$ $\Delta m = 0.0237\text{g}$	$m_i = 69.1490\text{g}$ $m_f = 69.1601\text{g}$ $\Delta m = 0.0111\text{g}$

L'analyse de ce tableau nous conduit bien aux conclusions suivantes :

La perte masse est significative à $T = 55\text{C}^\circ$ et $t = 60\text{min}$. Ce résultat est en bon accord avec ce que nous avons trouvé précédemment.

C/Analyse du microscope optique :

En effet le microscope optique de la pièce avant le chromage est la meilleure pièce chromée avec les conditions suivantes :

Rapport: 2%

Température: 55 C°.

Temps: 60 min

Les figures ci-dessous montrent les résultats du microscope optique avant et après le chromage des pièces suivantes:

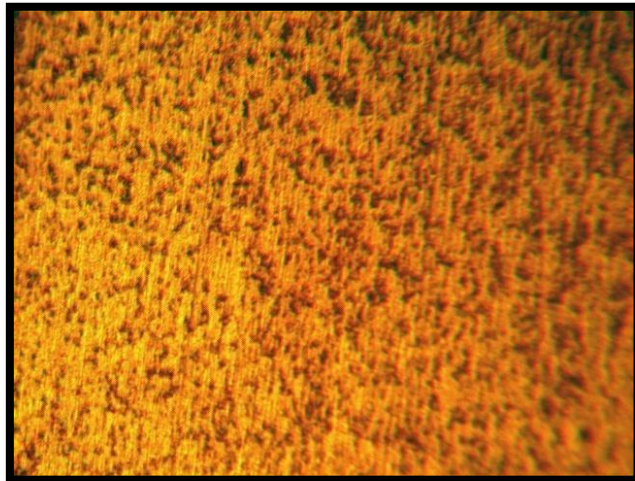


Figure IV. 11: Photographie obtenue par Le microscope de la pièce avant le chromage.



Figure IV. 12: Photographe obtenue par La microscopie de la pièce après le chromage.

Nous n'avons constaté que Les piques de la pièce chromée son nombreux par rapport la pièce no chromée. Apres les deux figures nous concluons l'apparition de la couche de chrome et son épaisseur égale à 0.03 mm.

IV.3.2.Cellule HULL

Cette figure représente une pièce non alliée de XC10 après l'opération de chromage les conditions opératoires suivantes :

t = 60 min T = 5C° Rendement = 2% dans la cellule HULL

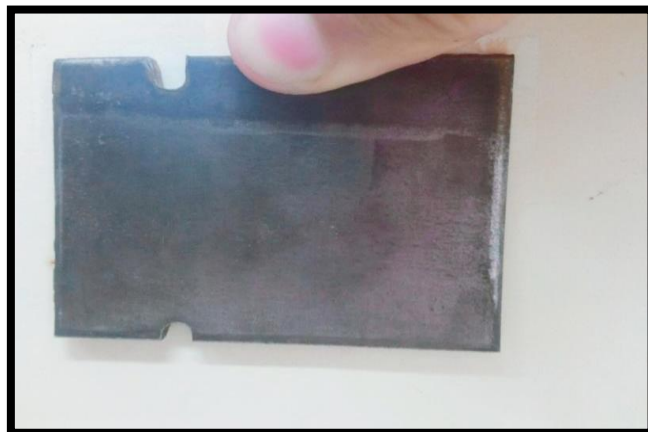


Figure IV. 13: Pièce chromée avec cellule HULL

On remarque que le chromage à coté de l'anode était bien par rapport à l'autre coté. et $m_i = 70.3639\text{g}$ $m_f = 70.3790\text{g}$ $\Delta m = 0.0151\text{g}$ nous avons conclue après l'autre essai que Le chromage n'était pas bien car la pièce et l'anode n'étaient pas en parallèles.

CONCLUSION

Le travail présent consiste à réaliser un chromage dur sur une surface d'acier de nuance XC10 . L'étude réalisée a porté sur le contrôle de qualité de ce chromage en fonction des paramètres opératoires notamment la température , la concentration , le temps d'électrolyse , et la forme de la cellule électronique . Différentes expériences ont été faites en utilisant plusieurs techniques d'analyses comme la spectroscopie FRX , la microscopie optique et la perte de masse en utilisant deux cellules différentes carrée et HULL .

Les résultats obtenus pour la cellule carrée révèlent que :

- Un meilleur chromage nécessite une température de 55 ° c , un temps de 60 minutes et un rapport de 0.2 % .
- une bonne préparation de la surface de la pièce à chromer donne un dépôt de meilleure qualité
- À température de 60 ° c , la réduction du Chrome est empêchée à cause d'un important dégagement d'hydrogène .
- Pour la cellule HULL , les résultats montrent que le chromage à côté de l'anode est beaucoup mieux par rapport à l'autre côté .

PERSPECTIVES DU CHROMAGE

Dans ce paragraphe qui est d'avantage une approche prospective qu'une présentation de résultats scientifiques, nous montrons les possibilités futures de ce type de dépôt. Malgré de nombreux efforts ont l'été réalisées pour trouver des substituts à ce revêtement de surface, aucun procédé n'est à l'heure actuelle susceptible, à court terme, de remplacer le chromage dur. Nous reprendrons la comparaison faite par Michael Murphy, éditeur en chef de la revue bien connue Metal Finishing, qui dans un éditorial récent (1995), comparant le chromage dur à un joueur de rugby de classe exceptionnelle, atteint par l'âge de la retraite, ne trouve pas de remplaçant mais plutôt un certain nombre de joueurs faisant aussi bien (voire mieux) dans certains domaines, cependant aucun d'eux n'étant susceptible de le remplacer.

REFERANCES

- [1] P. Morisset, Chromage dur et Décoratif CETIM, Edition 1993
- [2] C. Kasper, Théorie du Chromage, J, Res, Nat, Bur . Stand (USA) .1932
- [3] M, Wery, Dégraissage .M1450, Technique de l'ingénieur, 2000.
- [4] Document de la base central logistique 1975-1976
- [5] : f.ogburn A. Brenner ; Expériences sur les dépôts électrolytiques de chrome à partir du Chrome radioactif, j électrochimie, soc, usa, Décembre 1949
- [6] G.J SARGENT, « Electrolytic chromium », Transactions of the American Electrochemical Society
, 37, 1920, p479-497
- [7] : g. laala, mémoire de magister, tenue à la corrosion d un dépôt de la chrome
Électrolytique sur substrat en acier xc45, université hadj lakhdar de Batna 2008
- [8] : P. MORISET. 'chromage dur et décoratif, édité par le CETM ,1982
- [9] : P. morisset, chromage dur et décoratif CETIM ,4e Edition 1993
- [10] M. CYMBOLISTE, la durée du chrome électrolytique .compte Rendu de l'Académie des sciences, 1937, p1069-1071
- [11] : M. Mouzdalifa, mémoire master, effet de ph sur la résistance a la corrosion des couches de nickel Electro déposés université Mohamed kieder Biskra 2014
- [12] : M. AMER, mémoire master, Elaboration et caractérisation des revêtements de NICKEL
Déposés par voie Electrochimique université Mohamed kieder Biskra 2013
- [13] : P. benaben, chromage .technique de l'ingénieur M1615

- [14] J.P.Hoare « An Electrochemical mystère story : a scientific approach to chromium »
Plating and surface finishing .septembre 1989 p 46-52
- [15] L. Lacourcelle. « Traité de galvano technique » édité par le CETIM (1982).
- [16] Ahoufi anas, projet de fin d'étude station de chromage sur les chemises de piston
université de fès 2012.
- [17] Johnson, C.E.; Lashmore, D.; Soltani, E. Methods and Electrolyte Compositions for
Electrodepositing Chromium Coatings. US5415763 A, May 16, 1995.
- [18] P .Benaben, Techniques de l'ingénieur, Traité des matériaux métalliques,
quot;Chromage quo, Paris VI.72
- [19] Survilienė, S.vJasulaitienė, V.vNivinskienė, O.vČešūnienė, A. Effect of Hydrazine and
Hydroxyle amino phosphate on Chrome Plating from Trivalent Electrolytes .Applied
Surface Science, 2007, 253, 6738–6743.
- [20] Zeng, Z.; Zhang, J. Electrode position and Tribological Behavior of Amorphous
Chromium-Alumina Composite Coatings.Surface and Coatings Technology, 2008, 202,
2725–2730.
- [21] Phuong, N.V.; Kwon, S.C.; Lee, J.Y.; Lee, J.H.; Lee, K.H. The Effects of PH and
Polyéthylène Glycol on the Cr(III) Solution Chemistry and Electrode position of
Chromium. Surface and Coatings Technology, 2012, 206, 4349–4355.
- [22] Saravan an, G.; Mohan, S. Pulsed Electrode position of Micro crystalline Chromium
from
Trivalent Cr-DMF Bath. Journal of Applied Electrochemistry, 2009, 39, 1393–1397.

[23] Patrick BENABEN « Chromage » Technique de l'ingénieur 10 juin 1997 M1615

[24] A. Lembarek, A. Gouasmia, Récupération du chrome des boues issues du procédé de chromage, mémoire de master, Université 08 Mai 1945 Guelma, 2011.

[25] D. Landolt, Corrosion et Chimie des Surfaces des Métaux, Presses Polytechniques et Universitaires Rommandes, Lausanne, 1993.

