

9/91

وزارة الجامعات
Ministère aux Universitaires

REX

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT METALLURGIE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Etude du chromage sur
différentes nuances d'aciers
pour coins monétaires

Proposé par :

BCA

Etudié par :

M. Métaoui

Dirigé par :

A. Daimellah

PROMOTION

Juin 1991

"Le choix le plus incompréhensible
est que le monde est compréhensible"

Albert EINSTEIN (1879-1955)

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

- Ma mère
- Mon père
- Mon frère et mes soeurs
- Krimo, Karima
- Tout mes amis(es)
- Aux hommes de science

M. METAOUI

Metaoui

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier sincèrement mon promoteur Mr DAIMELLAH pour ses conseils utiles et son suivi permanent de ce travail. Mes remerciements s'adressent également au personnel de la BCA pour leur constante disponibilité qui m'a énormément aidé dans mon travail; je citerai entre-autre:

-Mr SEBBIHI

-Mr BOURAHLA

-Mlle KERBOUB

-Mlle OURARI

Je n'oublierai pas de remercier également les ouvriers de Galvanoplastie à leur tête Mrs KHALEM et HADJI pour leur précieuse aide et disponibilité .

Que tout ce qui m'ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire trouve ici l'expression de ma très grande estime.

*****RESUME*****

Des essais de revêtement du Chrome sur les aciers qui entrent dans la fabrication de la monnaie en Algérie, par voie électrolytique, ont été effectués afin de déterminer les conditions optimales d'obtention et les caractéristiques de dépôt. L'épaisseur de dépôt est aisément contrôlable par le choix convenable: température, densité de courant, temps de de dépôt.

Les revêtements du Chrome sur ces aciers sont adhérents.

Les couches de Chrome obtenues présentent des microfissures.

Le dépôt entraîne une augmentation de dureté liée à la présence de microcontraintes. La densité de courant influe plus ou moins sur l'hydrogénation des dépôts.

AVANT-PROPOS

"La dernière chose qu'on trouve en faisant un ouvrage est de savoir ce qu'il faut mettre la première"

PASCAL (Pensees)

Ce mémoire est constitué de quatre parties essentielles. La première partie est une rétrospective générale des concepts de base des dépôts électrolytiques, des traitements thermiques et de l'usure et ses mécanismes. Nous avons axé notre travail dans la seconde partie d'une part à la présentation des aciers qui entrent dans la fabrication de la monnaie en Algérie, et d'autre part aux techniques expérimentales. La troisième partie a été consacrée à l'interprétation des résultats obtenus lors de nos expériences. Enfin, la quatrième et dernière partie englobe une conclusion générale de notre travail et de des perspectives d'avenir. Nous avons jugé utile d'adjoindre des annexes consacrées à quelques définitions et outils de base qu'on a utilisé lors de notre 'elaboration de notre mémoire .

Introduction	5
Partie I: CONCEPTS DE BASE DES DEPOTS ELECTROLYTIQUES, TRAITEMENTS THERMIQUES ET L'USURE DES MATERIAUX	
I-1: Généralités sur les dépôts électrolytiques	9
1.1: Définition	9
1.2: Mécanismes de formation des dépôts électrolytiques	9
1.3: Paramètres du dépôt électrolytique & facteurs conditionnant l'exécution des dépôts	10
1.3.1: Tension d'électrolyse	10
1.3.2: Vitesse de déposition	12
1.3.3: Métal de base	13
1.3.4: Composition du bain	13
1.3.5: Conductibilité de la solution	13
1.3.6: Température	14
1.3.7: Agitation	14
1.3.8: Densité de courant	14
1.3.9: Pouvoir de répartition	14
I-2: Opérations préliminaires au chromage	18
2.1: Traitements thermiques	18
2.1.1: Le recuit	18
2.1.1.1: Recuit d'homogénéisation	19
2.1.1.2: Recuit d'adoucissement	19
2.1.1.3: Recuit de stabilisation	19
2.1.2: la trempe	19
2.1.3: Le revenu	19
2.2: Traitement de surfaces à chromer	20
2.2.1: Dégraissage chimique	20
2.2.2: Picklage	21
2.2.3: Polissage	21
2.2.4: Dégraissage aux ultrasons	21
2.2.5: Dégraissage électrolytique	21
I-3: Chromage	23
3.1: Propriétés physiques & chimiques du Chrome	23
3.2: Quelques propriétés des dépôts de Chrome	23
3.3: Propriétés électrochimiques du Chrome	23
3.4: Mécanismes réactionnels du Chromage	24
3.5: Les différences fondamentales entre l'électrolyte du Chrome & les autres électrolytes	26
3.6: Paramètres de dépôt électrolytique du Chrome	26
3.7: Chromage dur ou épais	27
3.8: Caractéristiques du chromage dur & ses propriétés	27
I-4: Caractéristiques du dépôt	31

4.1:Adhérence	31
4.2:Brillance	31
4.3:Oxydation superficielle	31
4.4:Porosité	32
4.5:Dureté	32
4.6:Rugosité	32
I-5:Usure	33
5.1:Definition	33
5.2:Intérêts de la tribologie	33
5.3:Mécanismes de l'usure	33
5.3.1:Usure adhésive	33
5.3.2:Usure abrasive	34
5.3.3:Usure par fatigue	34
5.3.4:Usure érosive	34
5.3.5:Usure corrosive	35
I-6:Rappels théoriques sur la dureté	36
6.1:Définition	36
6.2:Essai BRINELL	36
6.3:Essai VICKERS	37
6.4:Essai ROCKWELL	37
Partie II: <u>MATERIAUX & TECHNIQUES EXPERIMENTALES</u>	
II.1:Présentations des aciers	41
II.2:Téchniques expérimentales	44
Introduction	44
2.1:Traitements thermiques	44
2.1.1:Recuit	44
2.1.2:Trempe	45
2.1.3:Revenu	45
2.1.4:Dureté	45
2.2:Traitement des surfaces à chromer	46
2.2.1:Polissage	46
2.2.2:Nettoyage aux ultrasons	46
2.2.3:Désoxydation & dégraissage chimique	47
2.2.4:Décapage électrolytique	47
2.3:Chromage	48
2.3.1:Equipements utilisés	48
2.3.2:La déposition	49
2.3.3:Processus Canadien du chromage	49
2.4:Caractéristiques de dépôt	51
2.4.1:Aspect du dépôt	51
2.4.2:Etude microscopique	51
2.4.2.1:L'enrobage	51
2.4.2.2:Désoxydation	51
2.4.2.3:Polissage	51
2.4.3:Oxydation superficielle	51
2.4.4:Dureté	52
2.4.5:Essai de pliage	52

Partie 3: RESULTATS et INTERPRETATIONS

III-1:traitements thermiques	55
1.1:Valeurs des essais de dureté	55
1.2:Interprétation des résultats	55
III-2:Aspect de la couche de Chrome obtenue	57
2.1:Aspect macroscopique	57
2.2:Aspect microscopique	57
2.3:Interprétation	57
III-3:Adhérence de la couche de Chrome sur le métal de base	63
3.1:Observation	63
3.2:Interprétation	63
III.4:Détermination de l'épaisseur du dépôt	65
III.5:Vitesse de déposition	69
5.1:Résultats du processus de chromage proposé	69
5.2:résultats du processus de chromage Canadien	72
III-6:Oxydation superficielle	74
6.1:Interprétation des résultats	74
III-7:Microdureté de la couche de Chrome	77
7.1:Résultats	77
7.2:Observations et interprétations	77
III-8:Propositions	82
Partie 4: <u>CONCLUSION GENERALE</u>	88
Annexes	91
Bibliographie	94

Introduction

****INTRODUCTION****

Le problème d'usure a toujours retenu l'attention des industriels soucieux d'obtenir de leurs équipements une durée maximum, une sécurité de marche et un rendement accru.

La méthode de déposition dure consiste à protéger les parties travaillantes en y déposant un métal spécialement étudié pour combattre efficacement le type d'usure à craindre et les dépôts réalisés contribuant à des gains en matière, tout en améliorant les caractéristiques superficielles des matériaux de base.

Une parmi ces méthodes de dépôts durs est le chromage dur par voie électrolytique.

Vue les différentes améliorations qu'il apporte (augmente la résistance à l'usure, faible coefficient de frottement, résistance à certains agents chimiques, ...), il est largement utilisé dans l'industrie automobile, en aéronautique et en général dans tous les engins industriels.

L'épaisseur de revêtement dépend de l'application souhaitée, mais elle varie généralement entre 6 à 500 μm .

Les oxydes, hydroxydes et inclusions étrangères qui sont incorporés dans la structure très fine du dépôt, ainsi que les contraintes internes donnent à ce dépôt une dureté élevée (900 HV) et des fissures sur toute la surface du revêtement.

Le but de notre étude est d'arriver à optimiser la durée de vie des aciers à outils travaillant avec une vitesse de **frappe** de 700 coups/minute; et cela en chargeant leurs surfaces de frappe avec une couche de Chrome dur et analyser en parallèle la bonne adhérence de cette couche avec ces surfaces. Les aciers utilisés sont les aciers

50NC13 et 55WC20 suivant la norme AFNOR.

Notre travail étant consacré à l'étude des dépôts par voie électrolytique suivant les différents modes opératoires.

La première partie est un bref rappel bibliographique sur les généralités des dépôts électrolytiques, opérations préliminaires au chromage, caractéristiques de dépôt et sur l'usure et ses mécanismes. La seconde partie est consacré aux matériaux et aux méthodes expérimentales.

Dans la troisième partie, nous avons regroupé les résultats obtenus après les études micrographiques, pesée, et de dureté .

Nous avons consacré la quatrième et dernière partie à la conclusion où nous avons tiré certaines observations qui nous permettront d'avoir à l'avenir des résultats plus fiables .



Partie I

CONCEPTS DE BASE SUR
LES
DEPOTS ELECTROLYTIQUES
TRAITEMENTS THERMIQUES DES ACIERS
& L'USURE ET SES MECANISMES

"L'homme n'est qu'un roseau, le plus faible de la nature, mais c'est un roseau pensant...
Toute notre dignité donc en la pensée. C'est de là qu'il faut nous et non de l'espace et de la durée que nous saurions remplir.
Travaillons donc à bien penser.
Voilà le principe de la morale."

PASCAL (Pensees)

I.1:Généralités sur les dépôts électrolytiques:

1.1:Définition:

Le dépôt électrolytique est un traitement en phase liquide provoquant un dépôt métallique composé d'un ou plusieurs métaux sur une surface métallique. Cette opération a pour but de conférer au métal certaines propriétés de surface telles que:

- Résistance à la corrosion
- Dureté
- Résistance à l'usure, à l'abrasion, au frottement
- Rugosité
- Soudabilité, etc...

1.2:Mécanisme de formation des dépôts électrolytiques:

Le dépôt électrolytique est engendré par deux mécanismes difficilement dissociables et encore mal connus.

- L'apport de l'ion hydraté, du sein de la solution jusqu'a l'électrode.
- Le transfert de charge et l'intégration au réseau cristallin.

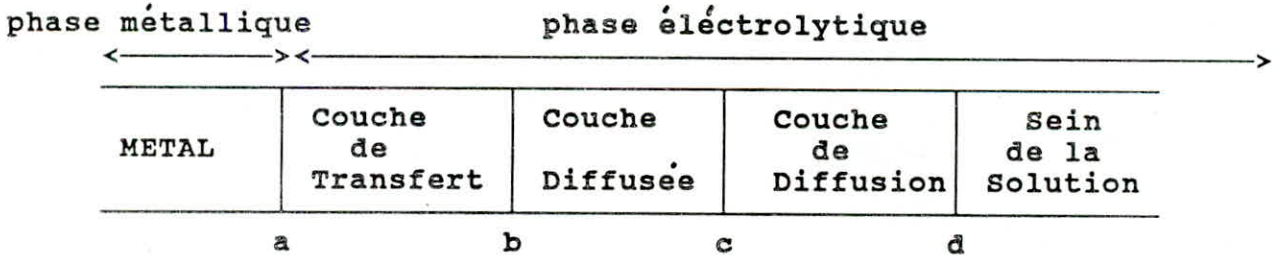


Fig I.1:Interphase métal-solution

- Zone ac ou couche double, se produisent les phénomènes d'électrodes.
- Zone cd où s'efféctuent les phénomènes de diffusion.
- Le premier mécanisme ou transport de masse peut se faire

suivant 3 modes:migration,convéction et, diffusion.

a-Migration:

Le déplacement des particules est influencé par le champ électrique engendré par une différence de potentiel entre deux électrodes placées à une certaine distance.

Le mouvement des charges est équivalent à un courant I .

b-Convection:

La convection assure le transport des ions de la solution vers la couche de diffusion tout en laissant la solution homogène.

c-Diffusion:

La diffusion permet le transport de l'espèce électroactive jusqu'à l'électrode où elle est consommée.Cette consommation crée le gradient de concentration responsable de la diffusion.

-Le deuxième mécanisme peut s'expliquer à l'aide de deux théories:

a:L'ancienne théorie:Admet que le transfert de charges et la cristallisation s'accomplissent simultanément.

b:La théorie actuelle:Admet deux réactions séparées:transfert et cristallisation;L'ion se décharge en n'importe quel point d'une surface et diffuse vers un point privilégié pour s'intégrer au réseau cristallin.

1.3:Paramètres du dépôt électrolytique & facteurs conditionnant l'exécution des dépôts:

1.3.1:Tension d'électrolyse:

Lorsqu'on applique aux bornes d'une cellule d'électrolyse une tension croissante,un courant appréciable est observé lorsque la tension est supérieure à une certaine valeur minimale appelée "tension de décomposition de l'électrolyte".C'est à partir de cette valeur que la décomposition de l'électrolyte devient

notable et que la décharge commence sur la cathode.

Si l'intensité qui traverse la cellule est I et la résistance comprise entre les deux électrodes R_{so} , la tension correspondante

U est égale à: $U = E_a - E_c + IR_{so}$ avec

E_a : Tension de l'anode correspondant au courant I

E_c : " " " la cathode " " " " "

De plus:

$E_a = E_{a0} + n_a$

$E_c = E_{c0} - n_c$

Avec

E_{a0} : Tension de l'anode pour une intensité égale ou voisine de zéro.

E_{c0} : Tension de la cathode pour une intensité égale ou voisine de zéro.

n_a : Surtension de l'anode correspondant au courant I

n_c : " " " la cathode " " " " "

On peut donc écrire:

$$U = E_{a0} + n_a - E_{c0} + n_c + IR_{so}$$

Vu en appelant U_0 la tension de décomposition ($E_{a0} - E_{c0}$)

$$(1) \quad U = U_0 + (n_a + n_c) + IR_{so}$$

$$(2) \quad n = a \pm b \log I$$

a et b étant des constantes

Le signe $+$ s'applique pour un processus anodique

" " $-$ " " " " " " cathodique

D'une façon générale, la vitesse d'une réaction électrochimique ou l'intensité de courant qui traverse l'électrode est d'autant plus grande que la surtension est plus grande.

Dans le cas ou le transfert de charge impose la cinétique d'une réaction, la surtension est donnée par la relation de TAFEL

1.3.2:Vitesse de déposition:

On a, d'après la loi de FARADAY, la masse P de substance réduite est:

$$(3) \quad P = \frac{I \cdot t}{96500} \cdot \frac{M}{n}$$

Avec:

P(g):Masse de la substance réduite

I(A):Intensite du courant

t(s):Temps de passage du courant

M(g):Masse atomique

n :Degré d'oxydation

96500=26.8 Ah

Ainsi, la masse de substance réduite est proportionnelle à l'intensite de courant(ou à la densité de courant) et au temps d'électrolyse.

D'autre part, notons que : (4)

$$P = e S \rho$$

Avec:

e(cm):Épaisseur du depot

S(cm²):Surface de l'électrode sur laquelle il ya dépôt

ρ(g/cm³):Masse volumique du dépôt

Il est possible de déterminer la vitesse de formation du dépôt:

On a de ce qui précède:

$$\frac{e}{t} = \frac{M D}{\rho n 96500}$$

Avec :

D:densité de courant=I/S

D'ou : (Voir 1.3.8)

$$(5) \quad v = \frac{M D}{\rho n 96500}$$

Avec:

V: (cm/s)

La vitesse V est proportionnelle à la densité de courant. En tenant compte du rendement de dépôt (η), l'expression de la vitesse est donnée par:

$$(6) \quad v = \left(\frac{M D}{\rho n 96500} \right) \cdot \eta$$

1.3.3:Métal de base:

Le métal de base conditionne en partie le choix du dépôt. Lorsque ce choix est adapté, il faut que l'adhérence soit la meilleur possible, et pour cela il est nécessaire d'éviter toute interposition de substance étrangère (graisses, poussières, résidus solides, les oxydes, etc...), donc favoriser au maximum le contact direct entre les atomes du réseau cristallin du support et ceux du métal à déposer.

1.3.4:Composition du bain:

On doit dans la mesure du possible, donner la préférence à des bains relativement simples, composés de produit stables et faciles à analyser.

1.3.5:Conductibilité de la solution:

Est donnée par la relation suivante:

$$(7) \quad \delta = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{(R_{so} * S_c)}$$

Où:

δ ($\Omega \cdot \text{cm}$): Conductibilité

ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$): Résistivité de l'électrolyte

L : Distance entre électrodes

S_c (cm^2): Section du conducteur électrolytique

1.3.6: Température:

L'intérêt principal d'une élévation de température est d'accroître le maximum admissible de la densité de courant, ainsi que toutes les vitesses, aussi bien la vitesse de réactions électrochimiques, celle de la diffusion ainsi que la mobilité des ions.

1.3.7: Agitation:

Favorise le transport du sein de la solution jusqu'à l'électrode.

1.3.8: Densité de courant:

On appelle densité de courant le quotient de l'intensité de courant par la surface traversée par ce courant.

$$(8) \quad D = \frac{I}{S}$$

Où:

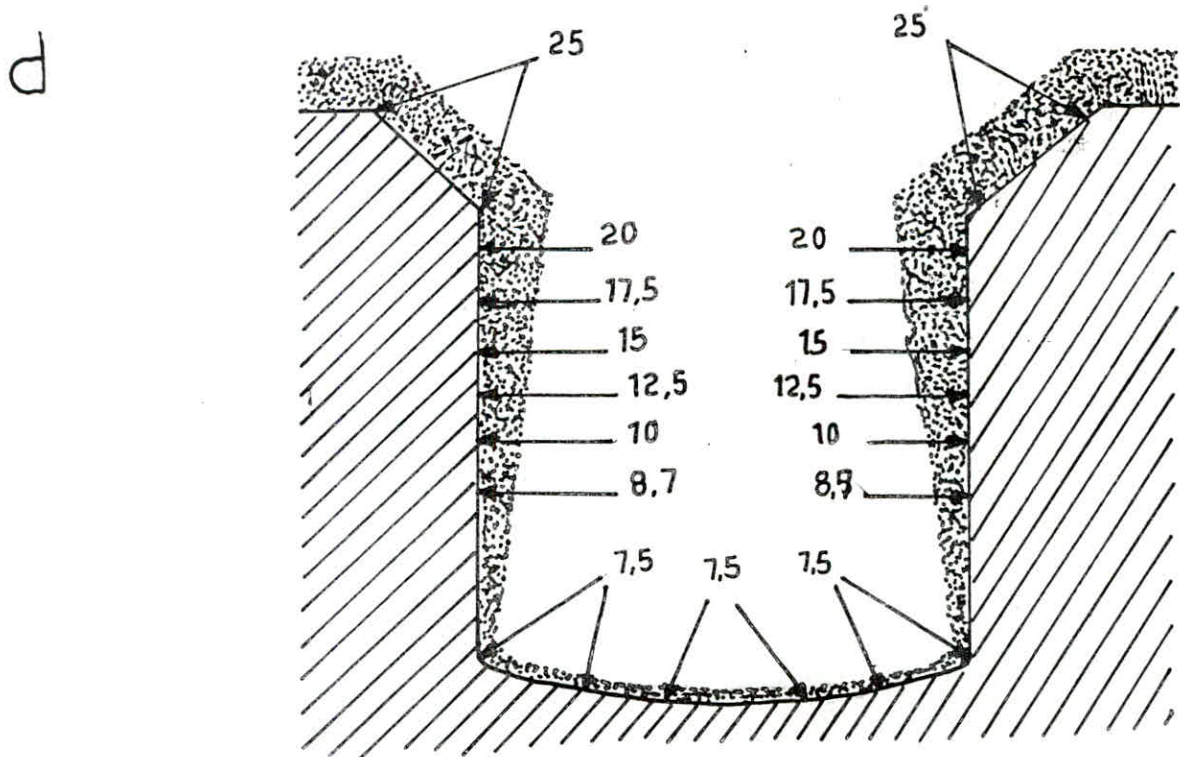
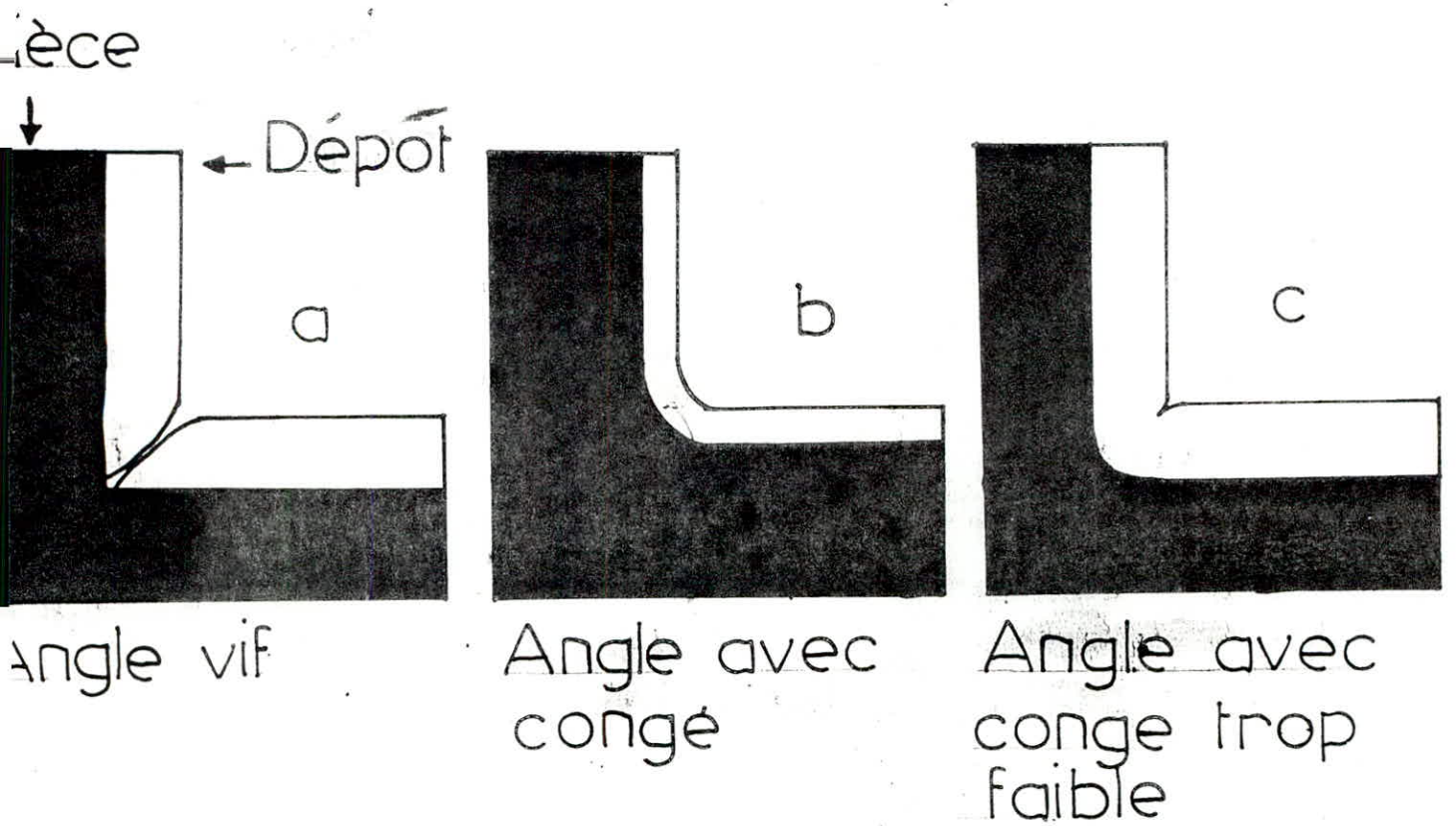
D (ampères/ dm^2): Densité de courant

I (ampères) : Intensité de courant

S (dm^2) : Surface sur laquelle se fait le dépôt

1.3.9: Pouvoir de répartition:

Le pouvoir de répartition est l'aptitude pour un bain d'électrolyse à produire des dépôts uniformes sur une



Repartition du depot dans les Fig (I.2) angles arrondis, à arrêtes vives et dans une cavite

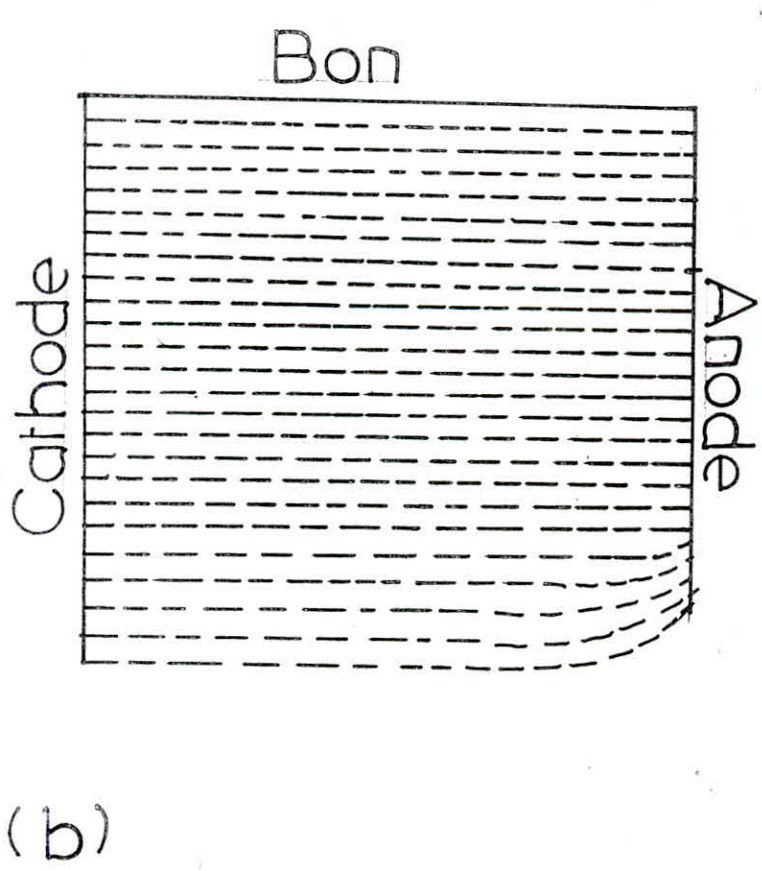
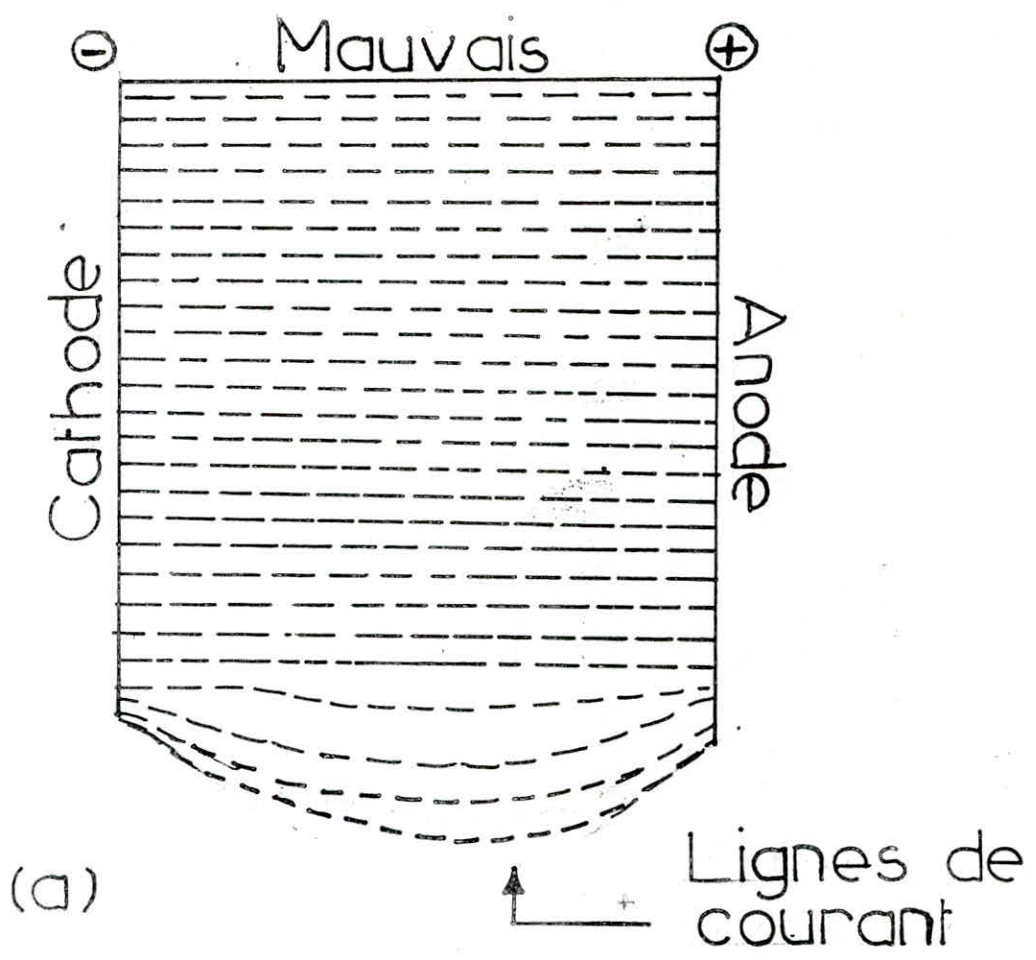


Fig (I.3) Disposition des anodes par rapport aux cathodes

cathode dont les points sont inégalement distants de l'anode. Pratiquement, pour avoir un bon pouvoir de répartition, il faut agir surtout sur:

-La conception de la pièce:

- Les angles ne doivent jamais être à arrêtes vives, mais arrondis avec le plus grand rayon de courbure possible. Les figures (I.2 a, b, c) montrent l'influence du degré de rayon de courbure sur le pouvoir de répartition au niveau des angles.
- Pour les Cavités, en règle générale le rapport entre la profondeur et la largeur ne devrait pas dépasser $2/5$. La figure (I.2, d) montre la répartition des épaisseurs de nickel brillant dans une cavité dont le rapport profondeur-largeur est égal à $7/8$.

-Disposition des anodes par rapport aux pièces:

Le fait de raccourcir une anode et de la rendre plus courte que la cathode évite une trop grande concentration de lignes de courant à l'extrémité de la pièce. Voir figure (I-3)

-Disposition des pièces:

Elles doivent être disposées de telle sorte que les lignes de courant se répartissent le plus uniformément à leur surface. Il faut veiller à ce qu'elles ne forment pas d'écrans les unes par rapport aux autres.

I-2-OPERATIONS PRELIMINAIRES AU CHROMAGE:

Avant de faire le chromage, les pièces à traiter devraient subir une séquence de traitements préparatoires, appelée "prétraitement".

Ce prétraitement est composé des étapes suivantes:

- Traitements thermiques
- Traitement des surfaces à chromer

2-1:Traitements thermiques:

Un traitement thermique est une opération qui fait subir au métal un cycle thermique contrôlé en vue de lui conférer une structure, donc des propriétés mécaniques adaptées au but recherché.

Les traitements thermiques agissent sur l'état physique et mécanique de l'acier en éliminant de nombreuses contraintes mécaniques et/ou thermiques et introduction de nouvelles contraintes (contraintes de trempe).

Les traitements thermiques usuels comportent les traitements élémentaires suivants:

- Le recuit
- la trempe
- Le revenu

2.1.1:Le recuit

Le but de ce traitement est d'amener le métal dans un état d'équilibre le plus complet possible.

Il agit sur la structure du métal en lui donnant une structure micrographique correspondant au diagramme d'équilibre.

Suivant le but à atteindre on peut distinguer plusieurs types de recuits:

2.1.1-1: Recuit d'homogénéisation:

A pour effet de combattre les effets de ségrégation chimique et structurale des pièces forgées et des lingots coulés, sa température de chauffage est de ($AC3 + 200^{\circ}C$).

2.1.1-2: Recuit d'adoucissement:

Il s'applique aux pièces trempées pour faciliter leur usinage. Le refroidissement doit être d'autant plus lent que l'acier est riche en carbone.

2.1.1-3: Recuit de stabilisation:

Un recuit conduit à la stabilité des formes et des dimensions des pièces par suppression des autocontraintes.

Il se pratique au dessous de $AC1$, pour l'ensemble des aciers d'outillage, la température usuelle se situant entre 600 et $700^{\circ}C$.

2.1.2: La trempe:

Tremper un acier, c'est le maintenir à la température ambiante dans un état hors d'équilibre.

Ce traitement est destiné à donner à l'acier des qualités de tenacité, d'usure, et de dureté.

Pour réaliser une trempe, donc la transformation austénite \rightarrow martensite la vitesse de refroidissement doit être au moins égale à la vitesse de trempe (VC). Le choix du mode de refroidissement dépend à la fois de la trempabilité de l'acier et de la forme de la pièce. Les plus fréquemment utilisés sont:

- L'air calme
- L'huile
- L'eau à $15-20^{\circ}C$ normale

2.1.3: Revenu:

C'est un traitement thermique appliqué exclusivement aux pièces

trempeés. Son but est d'attenuer certains effets néfastes de la trempe et en particulier la fragilité de la martensite. D'une manière plus précise, c'est de réaliser le meilleur compromis entre des caractéristiques mécaniques évoluant dans des sens opposés, et ceci en fonction de l'emploi de la pièce traitée. Il consiste en un chauffage et un maintien à une température inférieure à AC_1 .

2.2: Traitements des surfaces à chromer:

L'adhérence des dépôts électrolytiques sur le métal de base est le propre fait de "l'accrochage" du métal de dépôt sur le support. On ne peut obtenir une bonne adhérence que sur un support métallique présentant une surface parfaitement propre. Il faut pour ce faire éliminer sans la moindre trace résiduelle la totalité des couches ou dépôts intermédiaires perturbateurs tels que les particules de salissure, les traces de graisse, et les pellicules d'oxyde. L'obtention d'une surface métalliquement propre est un travail préparatoire, qui doit être exécuté en profondeur et avec le plus grand soin.

Les traitements des surfaces à chromer sont des combinaisons des traitements élémentaires suivants:

Dégraissage chimique, picklage, polissage, dégraissage électrolytique et dégraissage aux ultrasons. Les pièces doivent être rincées entre chaque opération avec de l'eau distillée .

2.2.1: Dégraissage chimique:

Les pièces peuvent être dégraissées par dissolution chimique dans les solvants usuels. Essence, Benzène, etc... ou par saponification dans les solutions alcalines classiques à base de soude. On utilise surtout les solvants chlorés, et parmi ceux-ci

le trichloréthylène (CCL₂ CHCL) qui présente des propriétés dissolvantes remarquables. Le dégraissage s'effectue soit à la vapeur de trichloréthylène, soit dans le liquide de celle-ci. (voir annexes)

2.2.2: Picklage:

Le picklage a pour but d'éliminer la rouille ou l'oxyde et l'hydroxyde engendrés par d'autres métaux. On fait disparaître ces pellicules d'oxyde d'une manière chimique en les dissolvant à l'aide de l'acide dilué (HCL 10-20% en poids ou H₂SO₄ 10-20% en poids).

Si on ne respecte pas les normes de l'opération, le traitement va présenter de nombreux effets néfastes sur les pièces. Les plus importants sont:

- Le phénomène de "fragilisation" engendré par la pénétration de l'hydrogène dans le métal.
- Le phénomène de "surpicklage" ou le picklage a duré longtemps, ce qui engendre des rugosités, et des piqures sur la surface du métal.

2.2.3: Polissage:

Son but est d'éliminer les impuretés et d'améliorer le nivellement et la brillance des surfaces des pièces.

2.2.4: Dégraissage aux ultrasons:

Le dégraissage aux ultra-sons permet un nettoyage rapide des pièces à traiter et cela grâce à la grande énergie des ultrasons. Pour un nettoyage en profondeur, cette méthode est la plus indiquée.

2.2.5: Dégraissage électrolytique:

Il lui revient toutes les fois le rôle le plus important, à savoir

la production d'une surface microfinement nettoyée pour servir de support à un dépôt électrolytique adhérent.

Lorsqu'une pièce est placée en polarité cathodique, il se dégage de l'hydrogène, qui élimine mécaniquement les particules de graisses. En outre, il se forme alors une couche électrolytique fortement alcaline, qui exerce une action émulsifiante sur les dépôts de salissure, d'huile et de graisse présents sur la surface de la pièce.

L'hydrogène qui a diffusé dans la pièce, doit être oxydé par un dégraissage anodique.

I.3:Le chromage:

3.1:Propriétés physiques & chimiques du chrome:

Symbole :	Cr	Cr
Nombre de protons :		24
Densité :		7.1 g/cm ³
Point de fusion :		1880°C
Masse atomique :		52
Dureté VICKERS environ		110 - 1300 HV
Dureté ROCKWELL environ		65 - 72 HRC
Cristallisation		Cubique centrée
Résistance à la rupture		60 MPa
Allongement		<= 0.1%
Module d'élasticité en traction		25000 MPa

3.2:Quelques propriétés des dépôts de Chrome:

-les dépôts de chrome ont une teinte voisine de celle de l'argent, d'un blanc bleuté.

-Le pouvoir réfléchissant d'une surface chromée parfaitement polie est d'environ 65% (88% pour l'Argent et 55% pour le Nickel).

-La mouillabilité pour les liquides, comme l'eau ou l'huile est très faible. Les dépôts de Chrome ne sont pas soudables. Les revêtements minces, dont l'épaisseur est inférieure à 0.5 µm sont éventuellement déformables en même temps que le métal support.

-Le Chrome est résistant aux gaz et aux sels. L'acide sulfurique chaud attaque le chrome au même titre que l'acide chlorhydrique en toute concentration et à toute température. Par suite de leur passivité chimique, les dépôts de Chrome possèdent une très bonne résistance dans l'atmosphère.

3.3:Propriétés électrochimiques du chrome:

-Le potentiel d'électrode de Cr / Cr³⁺ = -0.71 Volts

-La masse électrochimique équivalente de Cr⁶⁺ est 0.323 g/Ah

- " " " " " Cr³⁺ " 0.647 g/Ah

-De par sa position dans la série des tensions des métaux, le Chrome est un métal très commun (-0.71V), et si malgré cela les dépôts de Chrome résistent à la plupart des produits chimiques, ce phénomène repose sur le fait que le Chrome est transposé dans un état d'inaptitude particulière à réagir qu'on appelle "passivité".

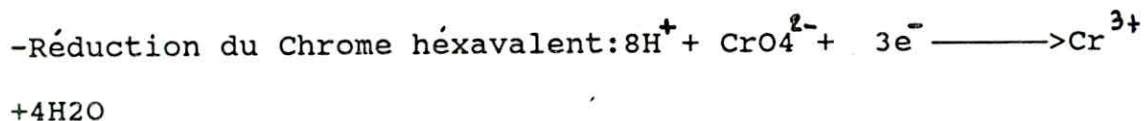
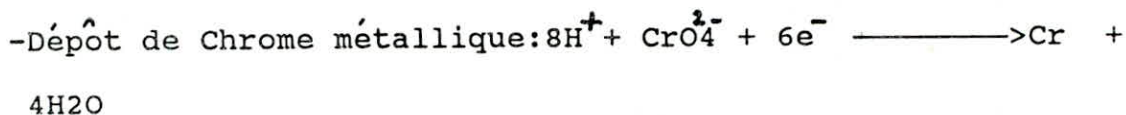
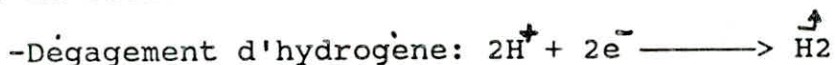
La passivité repose elle même sur le fait qu'il se forme sur la surface un oxyde de Chrome(III) ou (Cr₂O₃). celui ci évolue le potentiel vers une valeur très appréciable et de ce fait le Chrome se comporte comme un métal noble.

3.4: Mécanismes réactionnels du chromage:

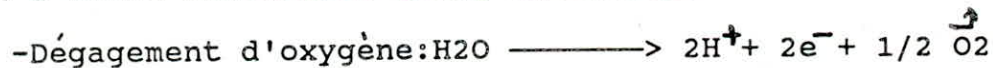
L'électrolyte est une solution aqueuse de trioxyde de Chrome CrO₃ donnant l'acide chromique suivant les réactions:



*A la cathode



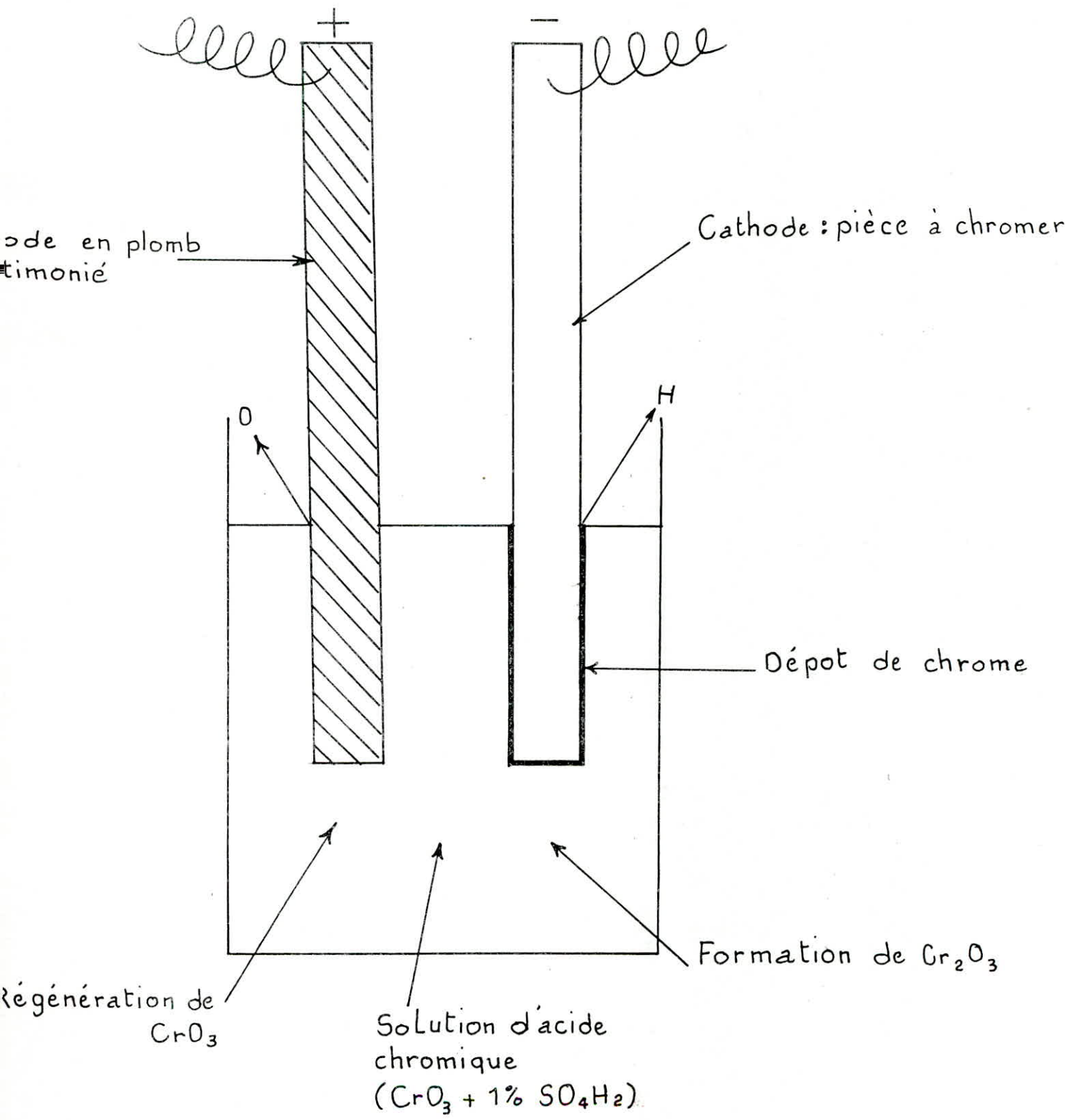
*A l'anode considérée comme insoluble:



-Réoxydation du Chrome trivalent en Chrome hexavalent:



Le dépôt s'accompagne d'un important dégagement d'hydrogène du fait de l'acidité de la solution. Le rendement faradique est de 12 à 30%. (voir fig I-4)



Fig(I-4) - SCHEMA de L'ELECTROLYSE -

3.5: Les différences fondamentales entre l'électrolyte du Chrome et les autres électrolytes

-La déposition du Chrome en solution aqueuse se distingue de la déposition à partir d'autres électrolytes. Pour le chromage, on se sert d'électrolytes acides. Tous les autres métaux sont déposés à partir d'électrolytes à base de sel .

Il travaille avec des anodes insolubles en plomb, sur lesquelles se déroulent des phénomènes chimiques (formation de chromate de plomb $PbCrO_4$), ce qui nécessite de fréquents grattages des anodes.

-Pour une déposition correcte de Chrome, l'électrolyte exige une plage de températures déterminée et étroitement limitée ($40^{\circ}C$ - $50^{\circ}C$) pour le Chrome décor brillant, ($50^{\circ}C$ - $60^{\circ}C$) pour le Chrome dur.

-L'important dégagement d'hydrogène exige une bonne aspiration, car les gouttelettes d'acide chromique peuvent être à l'origine d'ennui de santé.

3.6: Paramètres de dépôt électrolytique du Chrome:

Les paramètres de dépôt électrolytique du Chrome sont :

- la densité de courant
- La température de bain
- La composition du bain en CrO_3 et H_2SO_4

La détermination de ces facteurs est en fonction des qualités que doit posséder le dépôt de Chrome ou des conditions de travail de la pièce chromée.

Exemple:

-Pièces fonctionnant avec déplacement des surfaces de frottement sous charge et avec vitesses variées (pistons plongeurs).

-Les propriétés exigées du dépôt de Chrome: Grande résistance à l'usure avec une surface brillante et lisse.

-Paramètres de dépôt électrolytique de Chrome:

*Composition du bain: ($[\text{CrO}_3]$ (g/l))=250

($[\text{H}_2\text{SO}_4]$ (g/l))=2.5

*Température: $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$

*Densité de courant: $(35-55)\text{A}/\text{dm}^2$

La figure(I-5) nous resume les parametres d'électrolyse en fonction de la durée et de l'aspect de dépôt.

3.7:Chromage dur ou epais:

cette technique de chromage pour usage industriels concerne des dépôts plus épais (8 à $250\mu\text{m}$) que pour les usage decoratifs, où l'on tire partie d'une ou plusieurs des propriétés suivantes:

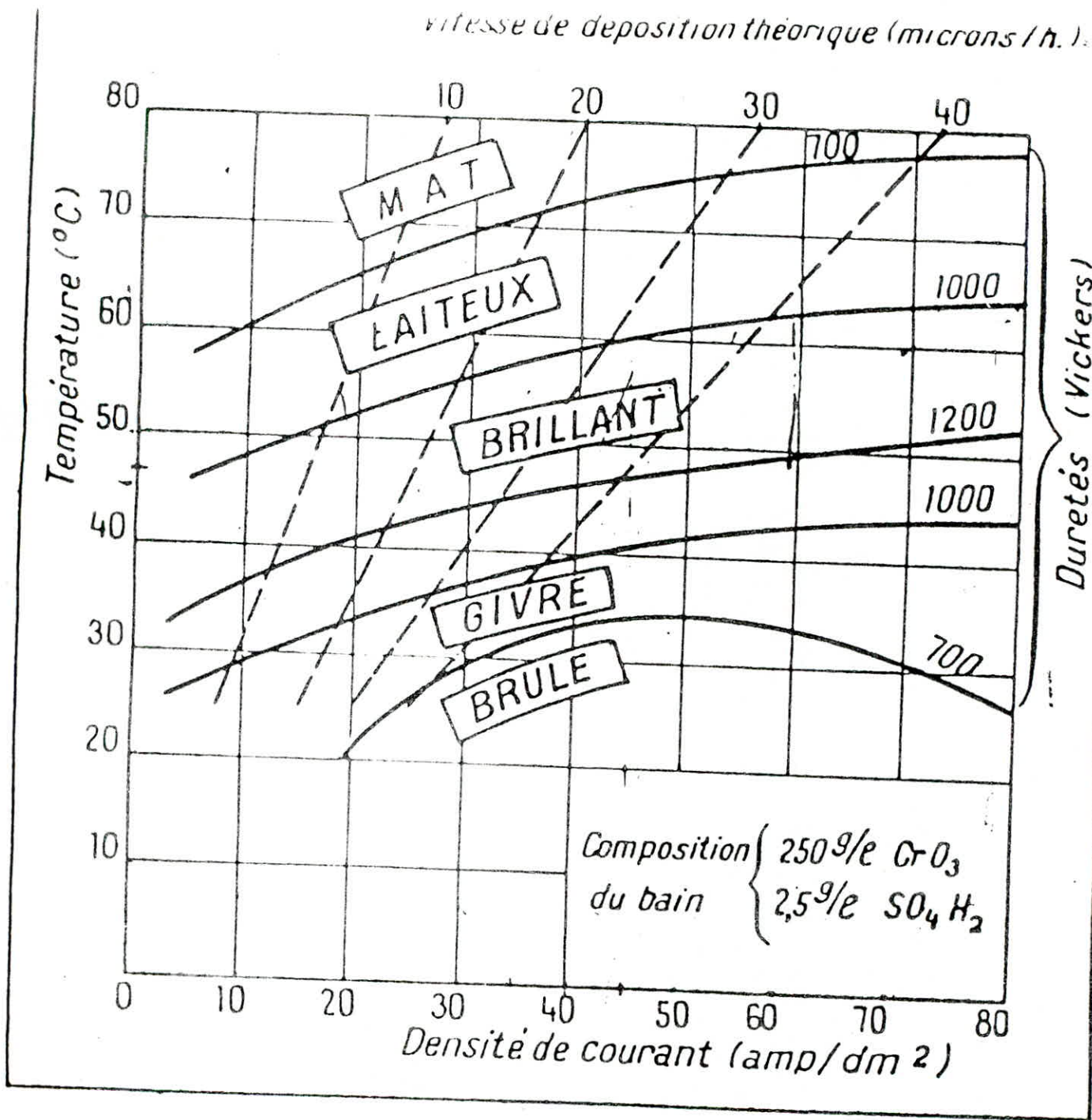
- Faible coefficient de frottement
- Résistance à l'usure et haute dureté
- Résistance à la corrosion
- Qualités de résistances aux charges

3.8:Caractéristiques du chromage dur & ses propriétés:

-la température de chromage dur est supérieure à 50°C , ce qui permet des densités de courant allant jusqu'à $80\text{A}/\text{dm}^2$, donc des duretés élevées (1000 HV) (fig I-6).

-Le chromage épais mettant en jeu d'importantes densités de courant cathodique et donc une grande intensité par unite de volume, il sera souvent utile de prévoir un systeme de refroidissement de bain adapté à la puissance dissipée par effet Joule.

-La composition et le mode opératoire d'un électrolyte de



Fig(I-5) Graphie reliant les principaux facteurs du chromage aux propriétés des dépôts.

Fig (I - 6) Déposition en chromage dur

Vitesses théoriques de dépositions en microns/heure

pour un bain de concentration: $\begin{cases} 250 \text{ g/l } \text{CrO}_3 \\ 2,5 \text{ g/l } \text{H}_2\text{SO}_4 \end{cases}$

Pour une augmentation de 100 g/l de CrO_3
diminuer les nombres du Tableau de 5 microns/heure

Température (°C)	70				11	15	20	23	27	30	34	37	40	45	50	55
	65			8	12	17	22	25	29	33	37	40	45	50	56	62
	60			10	14	19	24	27	32	36	40	49	50	55	60	66
	55			12	16	21	26	30	35	39	44	50	58	62	66	72
	50		8	14	19	23	28	33	38	43	50	58	62	70	73	98
	45		10	16	22	27	32	38	44	50	56	65	68	75		
	40		12	18	24	30	37	42	50	60	64					
	35	8	14	22	28	35	42	50								
	30	10	18	25	32	42	50									
	25	12	20	30	38	50										
	20															

densité de courant (amp/dm²)

chromage dur est :

Acide chromique [CrO ₃] (g/l)	250
Acide sulfurique [H ₂ SO ₄] (g/l)	2.5
Temperature (°C)	50-60
Densité de courant (A/dm ²)	40-60

-Même à faible épaisseur, le dépôt de Chrome électrolytique se fissure car les tensions internes du dépôt (1000 MPa) sont supérieures à la ténacité du Chrome (15MPa) .

-L'examen au microscope montre ainsi des réseaux de microfissures caractéristiques, réseaux qui se superposent sans continuité.

I-4:Caracteristiques du depot:

4-1:Adhérence:

Une des premières qualités recherchées lors de l'obtention d'un dépôt est une bonne adhérence, qui nécessite des forces de cohésion suffisantes entre métal déposé et substrat. Le contrôle de l'adhérence peut consister en un essai de rupture de la liaison dépôt-substrat par traction, mais un essai de traction pure est malheureusement difficilement réalisable. De ce fait, diverses méthodes de contrôle dont le but est l'évaluation de l'adhérence par l'établissement d'une échelle de valeurs, font intervenir à la fois des forces de traction et de cisaillement. Parmi ces essais simples et rapides on a :

- Essai de quadrillage
- Essai à la lime
- Essai de choc thermique
- Essai de pliage

4.2:Brillance:

La brillance est déterminée par la mesure du pouvoir de réflexion à l'aide du réflectomètre. La mesure prend en compte la lumière réfléchie et la lumière diffusée.

4.3:Oxydation superficielle:

Pour certains métaux comme le chrome, l'aluminium, en raison de leur forte affinité pour l'oxygène, on observe une oxydation du dépôt de ces métaux dès la mise à l'atmosphère des échantillons. Des mesures par pesée nous permettent de suivre ce phénomène d'oxydation au cours du temps.

4.4: Porosité:

En vue d'une bonne tenue à la corrosion, la couche déposée doit présenter une bonne continuité et une porosité minimale.

I.4.5: Dureté:

Facteur très important dont il faut tenir compte pour les pièces qui doivent avoir une bonne résistance à l'usure.

I.4.6: Rugosité:

Il s'agit de déterminer trois paramètres d'état de surface.

Ra: Moyenne arithmétique des valeurs absolues de tous les écarts du profil de rugosité par rapport à la ligne moyenne.

Rm: Profondeur maximale de rugosité

Rz: Pondération de Rm correspondant à la moyenne des profondeurs de rugosité de cinq zones d'évaluation successives.

I.5:L'usure:

5.1:Définition:

L'usure est la perte progressive de matières de la surface active d'un corps par suite du mouvement relatif d'un autre corps sur cette surface.

5.2:Intérêts de la tribologie:

L'étude de l'usure présente un double intérêt: Economique et scientifique.

-Une étude systématique des problèmes de contact aurait pour conséquence une amélioration des techniques et de leur enseignement, qui pourrait se traduire par une économie de l'ordre de grandeur très élevée.

-Les programmes de tribologie ont pour objet d'apporter aux ingénieurs et techniciens des données leur permettant d'améliorer les dispositifs existants ou d'en construire de nouveaux.

5.3:Mécanismes de l'usure:

Suivant le mode de travail des machines et des pièces, on peut distinguer plusieurs mécanismes d'usure qui sont les suivants:

- Usure adhésive
- Usure abrasive
- Usure par fatigue
- Usure érosive
- Usure corrosive

5.3.1:Usure adhésive:

La manifestation première de l'usure adhésive est le transfert de matière d'une pièce frottante sur la surface d'un

corps antagoniste.

Ce transfert de matière a été expliqué et proposé sous le modèle suivant:

- Les surfaces des corps comportent des aspérités dont les dimensions sont très grandes.
- Naissances de jonctions qui peuvent constituer de véritables soudures à froid.

5.3.2:Usure abrasive:

L'usure abrasive est définie comme étant l'usure par déplacement de matière, produite par des particules dures peuvent se trouver entre les deux surfaces en mouvement relatif ou être encastrées dans des surfaces.

l'usure abrasive se manifeste par des polissages, des arrachements de copeaux.

5.3.3:Usure par fatigue:

Des charges trop fortes peuvent détériorer les surfaces. On peut observer des déformations plastiques sur les métaux ductiles et des cassures sur les matériaux fragiles. Les phénomènes de fatigue se manifestent par des fissures, des écailles et des déplacements de couches superficielles.

-Fissures & écailles: Les fissures prennent naissance dans les régions où les contraintes triaxiales sont les plus fortes. En se propageant, les fissures donnent naissance à des particules d'usure appelées écailles. Les écailles ont des dimensions voisines de celle de l'aire de contact.

5.3.4:Usure érosive:

C'est une perte de matière d'une surface solide sous l'effet d'un fluide en mouvement relatif contenant des particules

solides. L'usure érosive se manifeste par des fissures et des écailles sur les matériaux fragiles et par des piqures, des rayures et des copeaux sur des matériaux ductiles.

5.3.5: Usure corrosive:

Elle se définit comme un processus d'usure dominé par une réaction chimique ou électrochimique avec le milieu environnant. Elle est très prononcée à haute température ou dans des atmosphères humides.

Dans certains cas il y a d'abord une réaction chimique suivie d'un enlèvement de matières (des produits de corrosion) par action mécanique.

-Il se produit une corrosion des surfaces métalliques selon les processus classiques de corrosion.

-Le film de matériau corrodé est enlevé lors du mouvement relatif des pièces en contact, le matériau sous-jacent est mis à nu et le processus recommence.

I.6:Rappels theoriques sur la durete:

6.1:Définition:

La dureté d'un matériau est caractérisée par la résistance qu'il oppose à sa déformation plastique ou permanente .

-Elle est symbolisée par deux caractères :

*La lettre H qui caractérise la dureté .

*D'une autre lettre qui caractérise le type d'essai .

-Le principe de cet essai consiste à actionner une charge sur un pénétrateur engendrant une déformation permanente; suppression de l'application de cette charge; interprétation de la déformation permanente résiduelle conduisant à un nombre .

6.2:Essai BRINELL:

a-Principe:

consiste à imprimer dans la pièce une bille en acier de diamètre D sous une charge (F) ,et à mesurer le diamètre d de l'empreinte après une suppression de (F) .

b-Nombre BRINELL:

-Il est défini par le quotient de la charge (F) exprimée en décanewton(daN) ,sur l'aire en mm² ,de l'empreinte considérée comme une calotte sphérique .

D'où :

$$\boxed{HB = F/S} \quad \text{ou} \quad \boxed{HB = 2F/\pi D(D \cdot \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (9)$$

-La lecture du diamètre d de l'empreinte se fait sur les instruments de mesure suivants :

- Microscope d'atelier
- Lecture directe sur machine
- Tables de dureté

Pour les aciers à outils, cet essai leur est appliqué à l'état recuit .

6.3:Essai VICKERS:

a-Principe:

Consiste à imprimer dans la pièce un pénétrateur en forme de pyramide droite, sous une charge (F), à mesurer la diagonale d de l'empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge .

b-Nombre VICKERS:

-S'obtient comme le nombre HB :

$$\boxed{HV=F/S} \quad \text{ou} \quad \boxed{HV=1.854 f/d^2} \quad (10)$$

Avec :

F: Valeur numérique de la charge en daN

S: Surface de l'empreinte en mm²

-La lecture de l'empreinte se fait avec les mêmes instruments qu'en dureté HB . Des tables donnent le résultats HV .

-Cet essai ne s'applique bien qu'aux matériaux à grains suffisamment fins .

6.4:Essai ROCKWELL:

a-Essai:

Cet essai consiste à imprimer dans la pièce étudiée un pénétrateur de type normalisé, à mesurer l'accroissement rémanent de la profondeur de pénétration et en déduire le nombre HR .

b-Exécution de l'essai:

Il se fait en trois temps :

-Application d'une précharge P constante

- " " " surcharge P' " "

-Suppression de la surcharge P'

-On lit directement sur un comparateur le nombre HR .

-Pour les aciers à outils, cet essai leur est appliqué à l'état trempé et après revenu .



Partie III

MATERIAUX & TECHNIQUES

EXPERIMENTALES

"Ne cherchons donc point de fermeté.
Notre raison est toujours déçue par
l'inconstance des apparences, rien ne
peut fixer le fini entre les deux
infinis, qui l'enferment et le fuient

PASCAL (Pensees)

II-1Présentation des aciers:

Les deux nuances d'acier étudiés ont été fournis par la B.A (Banque d'Algérie) sous forme de cylindres.

Ces nuances d'acier suivant la norme AFNOR sont :

I.1) 50 NC 13 : Diamètre D1 = 40 mm

-La composition chimique complète de cet acier est la suivante:

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	W
0.51	0.23	0.35	0.012	0.013	1.07	0.25	3.08	0.05

C'est un acier qui est destiné pour un travail à froid, offrant un maximum de tenacité et de trempabilité. Il est surtout employé pour les outils d'estampage, poinçons, lames de cisailles à froid pour pièces de fortes épaisseurs.

-Ses propriétés physiques (à température ambiante) sont :

Poids spécifique (g/cm ³)	7.85
Module d'élasticité (10 ³ N/mm ²)	210
Conductibilité thermique (W/m °C)	28
Résistivité électrique (Ω mm ² /m)	0.3
Chaleur spécifique (j/g °C)	0.46
Dilatation thermique entre 20°C et °C	100 200 300
(10 ⁻⁶ m/m °C)	11.0 12.5 13.0

I.2) 55 W C 20 Diamètre D2 = 60 mm

-La composition chimique de cet acier est la suivante:

C	Si	Mn	P	S	Cr	V	W
0.60	0.69	0.34	0.015	0.012	1.19	0.18	2.0

-C'est un acier à haute résistance aux chocs et à l'usure; On

l'emploie pour la fabrication des outils de coupe, poinçons pour le travail à froid, outils à estomper des pièces massives...

Ses propriétés physiques (à température ambiante) sont:

Poids spécifique (g/cm ³)		8.0		
Module d'élasticité (10 N/mm ²)		210		
Conductibilité thermique (W/m°C)		25		
Résistivité électrique (Ω ·mm ² /m)		0.3		
Chaleur spécifique (J/g°C)		0.46		
Dilatation thermique entre 20°C et °C (10 ⁻⁶ m/m°C)	100	200	300	
	11.0	12.5	13.0	

A la B.A, les aciers sont destinés à la fabrication des coins monétaires qui sont soumis à des sollicitations mécaniques très sévères (chocs mécaniques, usure par fatigue, compression sous forte charge).

MATERIAUX & TECHNIQUES

EXPERIMENTALES

"Ne cherchons donc point de fermete.
Notre raison est toujours deçue par
l'inconstance des apparences, rien ne
peut fixer le fini entre les deux
infinis, qui l'enferment et le fuient

PASCAL (Pensees)

II.2:Techniques experimentales:

Introduction:

les techniques expérimentales mises en oeuvre pour étudier le chromage d'un acier sont :

-Les méthodes qui permettent l'obtention du dépôt de chrome sur l'acier, comme le chromage par voie électrolytique appliqué à différents paramètres opératoires (densité de courant, température, composition du bain).

-les méthodes qui permettent l'étude du dépôt après son obtention, tant qualitative que quantitative, comme les essais de microdureté, essais d'adhérence, la pesée et la micrographie.

2.1:Traitement thermique:

Des traitements thermiques classiques ont été réalisés sur des éprouvettes circulaires de dimensions approximatives:

40mm de diamètre et 6mm d'épaisseur pour l'acier 50NC13 et 60mm de diamètre et 5mm d'épaisseur pour l'acier 55WC20 .

Ces traitements thermiques ont été effectués dans un four de marque CONTROLAB .Le système de régulation est propre au four.La vitesse de chauffage au four est d'environ 990°C/h .

2.1.1:Recuit:

Les éprouvettes ont été chauffées jusqu'à 650°C, ils ont été maintenues à cette température pendant 60mn.

Le refroidissement a été fait dans le four, tout en gardant

le four fermé pour éviter tout choc thermique .

2.1.2:Trempe:

Les éprouvettes de l'acier 50NC13 ont été austénisées à $870^{\circ}\text{C} = \text{AC3} + 94^{\circ}\text{C}$ (voir annexes), suivi d'un temps de maintien de 10mn, puis elles ont été trempées à l'huile, du fait de leur bonne trempabilité de l'acier ($M_s=243.3^{\circ}\text{C}$) (voir annexes).

les éprouvettes de l'acier 50NC13 ont été austénisées à $870^{\circ}\text{C} = \text{AC3} + 94^{\circ}\text{C}$ (voir annexes) suivi d'un temps de maintien de 10mn, puis elles ont été trempées à l'huile , du fait de leur bonne trempabilité de l'acier ($M_s=243.3^{\circ}\text{C}$) (voir annexes).

De même, les éprouvettes de l'acier 55WC20 ont été austénisées à $900^{\circ}\text{C} = \text{AC3} + 125^{\circ}\text{C}$ suivi d'un temps de maintien de 20mn, puis elles ont été trempées à l'huile à cause de leur faible dimension et de la bonne trempabilité de l'acier. ($M_s=260.4^{\circ}\text{C}$)

2.1.3:Revenu:

Le but de ce traitement est d'avoir un meilleur intervalle de dureté et d'essayer d'atténuer d'une façon très appréciable la fragilité des aciers .

Les éprouvettes trempées de l'acier 50NC13 ont été chauffées à la température de $250^{\circ}\text{C} < \text{AC1}$ avec un temps de maintien de 180mn suivi d'un refroidissement à l'air .

Les éprouvettes de l'acier 55WC20 ont été chauffées jusqu'à la température $260^{\circ}\text{C} < \text{AC1}$ suivi d'un temps de maintien d'environ de 120mn et refroidies à l'air .

2.1.4:Dureté:

-Sur les différents états de nos aciers (état recuit, état trempé et après revenu), on a fait des essais de dureté pour mieux constater la variation de cette propriété mécanique, ou la

résistance des deux aciers à la déformation plastique dans la pratique industrielle.

-Pour cela, on a préparé de petits échantillons à partir des éprouvettes traitées au four, en les découpant à la tronçonneuse sous un flux de lubrifiant pour éviter tout échauffement .

-Pour mieux qualifier les surfaces de ces échantillons à cet essai, ces surfaces ont subi un polissage mécanique sur une série échelonnée de papiers abrasifs. Les numéros de papiers utilisés sont : 120 , 320 et 1000 .

-Les essais de dureté ont été exécutés dans le laboratoire de la B.A (Banque d'Algerie), sur une machine de marque OTTO-WOLPERT qui est très sensible aux vibrations .

-L'essai BRINELL a été effectué sur les aciers à l'état recuit sous une charge de 187.5 Kgf et une bille de diamètre 2.5mm.

-L'essai ROCKWELL a été exécuté sur les aciers traités (état trempé et après revenu) sous une charge de 150 Kgf .

2.2: Traitement des surfaces à chromer:

Le traitement de surface subi par les échantillons est composé par les traitements élémentaires suivants :

2.2.1: Polissage:

Dans le but d'obtenir des surfaces lisses, plus planes et uniformes, on a effectué un polissage mécanique sur une série de papiers abrasifs . Les numéros de papiers utilisés sont : 120 , 320 , 600 , 1000 .

2.2.2: Nettoyage aux ultrasons:

On a plongé nos échantillons dans un liquide (eau) soumis aux

ondes ultrasonores pendant une période de 10 secondes, pour dégager les débris et les graisses emprisonnés dans les microcavités engendrées par le polissage .

2.2.3: Desoxydation et dégraissage chimique:

-les échantillons ont été désoxydés manuellement avec un produit chimique appelé "Miror".

-Après la desoxydation, les échantillons ont été rincés avec de l'eau distillée, suivi d'un dégraissage chimique chloré avec du trichloréthylène, suivi d'un rinçage à l'eau distillée . .

2.2.4: Decapage électrolytique:

les échantillons ont été immergés dans l'acide chlorhydrique (10% en poids) pendant 5 secondes suivi d'un rinçage à l'eau distillée .

2.3:Le chromage:

-Le chromage a été réalisé dans les ateliers de galvanoplastie de la B.A(Banque d'Algérie).

-Le chromage a été effectué sur des échantillons qui avaient une forme de secteurs circulaires .

2.3.1:Equipements utilisés:

a-cuve:

La cuve utilisée est en matière plastique pour avoir une meilleure résistance à la pression des liquides et surtout une résistance chimique contre les attaques des solutions (acides,bains agressifs) .

b-Redresseur à courant:

On s'en sert pour transformer en courant alternatif.La tension du réseau de distribution est transformée à l'aide d'un transformateur,en une tension relativement faible exigée par l'électrolyse,puis cette tension faible est redressée à l'aide d'un redresseur.

c-Résistances chauffantes:

Elles assurent le chauffage du bain.Les résistances chauffantes avec un thermocouple sont liées à un système de régulation de température .

d-Agitateur:

l'agitation est assurée par un système rotatif pour empêcher un appauvrissement en ions métalliques à la cathode .

e-Anodes insolubles:

L'anode utilisée est en plomb antimoinier à 6%(Pb-sb). Avant son utilisation,elle a été grattée avec une brosse

métallique pour éliminer la couche de peroxyde de plomb(PbO₂).

2.3.2:La deposition:

-Avant de réaliser la déposition de chrome sur les échantillons, ces derniers sont pesés sur une balance mono-plateau de portée maximale 162g et de précision +0.1mg .

-Les échantillons ont été plongés et placés soigneusement dans le bain de chromage classique de **SARGENT** qui a la composition suivante:

Acide chromique [CrO₃] (g/l) :250

Acide sulfurique [H₂SO₄] (g/l) :2.5

-Le bain est recouvert d'un couvercle en plastique car au cours de la déposition électrolytique, il se produit à la cathode un dégagement d'hydrogène ,de ce fait il ya entrainement d'acide chromique sous forme de brouillard très fin qui peut être nuisible pour la santé.

-Le chromage a été effectué à une température de 58°C et à des densités de courant de 60A/dm², 52A/dm² et 38A/dm².

-Le temps de chromage allant de 1mn à 30mn .

-A la fin du chromage, les échantillons ont été sortis du bain et rinçés avec de l'eau distillée .

-Pour mieux caractériser la quantité de Chrome déposé, les échantillons ont été pesés sur la même balance, et conservés dans du coton pour éviter l'oxydation du Chrome .

2.3.3:Processus Canadien du chromage:(voir annexes)

Les échantillons ont subit la même préparation de surface, en plus d'un décapage électrolytique dont le mode opératoire est le suivant :

Composition du bain [CrO3] (g/l) :	171
Température (°C) :	50
Tension (V) :	6
Temps d'immersion (s) :	15

Après cela, les échantillons ont été pesés et plongés dans un bain de chromage de composition:

Acide chromique [CrO3] (g/l) : 200

Acide sulfurique [H2SO4] (g/l) : 2

-Le chromage a été effectué à une température de 55°C, densité de courant de 30A/dm² pendant des durées de 30 et 40mn

-Après le chromage, les échantillons sont retirés du bain, rincés, séchés, puis pesés une deuxième fois.

2.4:Caracteristiques de depot:

2.4.1:Aspect du depôt:

Après rinçage des échantillons chromés avec de l'eau distillée, et séchage, le contrôle de l'aspect de dépôt a été effectué visuellement .

2.4.2:Etude microscopique:

-Nous avons préparé de petits échantillons pour les évaluer au microscope optique et pour en prendre des micrographies .

-Ces petits échantillons ont été obtenus à partir des échantillons chromés, en les découpant à la tronçonneuse en présence d'un lubrifiant .

-Ces échantillons avant d'être observés au microscope optique, doivent subir au préalable une préparation . Celle-ci comprend l'enrobage, la désoxydation et le polissage .

2.4.2.1:L'enrobage:

L'enrobage a été réalisé à froid .

2.4.2.2:Desoxydation:

La désoxydation a été effectuée par l'acide sulfurique (H_2SO_4) dilué sans que la couche de Chrome ne soit atteinte .

2.4.2.3:Polissage:

Le polissage a été effectué à la pâte diamantée .

2.4.3:Oxydation superficielle:

-L'échantillon utilisé appartient à la nuance d'acier 50NC13.

-Immédiatement après l'opération de désoxydation avec l'acide sulfurique (H_2SO_4) dilué, l'échantillon est placé sur la balance .

-Avec un chronomètre, on a suivi le phénomène

2.4.4:Durete:

Nous avons effectué des mesures de microdureté à l'aide d'un microduremètre à pointe de diamant, pyramidal à base losangique avec une charge de 200g .

2.4.5:Essai de pliage:

-L'essai de pliage a été effectué dans le département génie mécanique de l'ENP .

-Il comporte une flexion manuelle autour d'un mandrin ;

-On a plié jusqu'à la rupture de nos échantillons (angle de rupture $\theta=45^\circ$) .

-Au microscope optique, on a observé nos échantillons et on a pris des micrographies pour mieux caractériser l'adhérence qualitativement .

Partie IIII

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

"On se persuade mieux par l'ordinaire
par les raisons qu'on a soit meme
trouvees que par celles qui sont venu
dans l'esprit des autres"

PASCAL (Pensees)

III-1 Traitements thermiques:

1-1: Valeurs des essais de dureté:

Les valeurs des essais de dureté sont groupées dans le tableau suivant:

Tableau (1)

	NUANCES	HB			HBm	HRC			HRCm
Etat recuit	50NC13	224	224	224	224	20	20.30	19.30	19.86
	55WC20	219	219	219	219	18.30	18.70	18.50	18.50
Etat trempé	50NC13					59	59.10	59	59.03
	55WC20					60	60	60	60
Etat traité après revenu	50NC13					55	55	55	55
	55WC20					57	57	56.50	56.83

1.2: Interprétation des résultats:

-Les duretés obtenues à l'état recuit sont de 224 HB pour l'acier 50 NC13 et 219 HB pour l'acier 55 WC20. Ces duretés sont assez faibles, elles permettent une usinabilité aisée de ces aciers .

-A l'état recuit , la dureté de l'acier 50 NC13 est supérieure à celle de l'acier 55 WC20 . Cela est dû à la présence de certains éléments fortement carburigène comme le molybdène dans le premier acier et leur absence dans le second .

-A l'état trempé, nous avons obtenu une dureté de 59,03 HRC pour l'acier 50 NC13 et une dureté de 60 HRC pour l'acier 55WC20 et cela en trempant nos éprouvettes à l'huile .

ces duretés démontrent la bonne trempabilité de nos aciers, et la teneur moins importante d'austenite résiduelle qui est restée comprimée entre les blocs de martensite .

-A l'état recuit les duretés sont encore assez élevées 55 HRC pour l'acier 50 NC13 et 56,83 HRC pour l'acier 55 WC20 .

Le carbone diffuse localement pour former de fines particules de carbures qui entraînent un effet de durcissement par dispersion dans la structure, laissant le réseau quadratique de la martensite évoluer lentement vers la structure cubique centrée du fer alpha .

-Les duretés ont augmenté très largement après les traitements thermiques des aciers de 19,86 HRC à 55 HRC pour l'acier 50NC13 et de 18,50 HRC à 56,83 HRC pour l'acier 55 WC20 .

Donc, il est de même pour la résistance à certains efforts déterminés par l'emploi des coins: compression, chocs mécaniques .

-A l'état recuit les duretés sont encore assez élevées 55 HRC pour l'acier 50 NC13 et 56,83 HRC pour l'acier 55 WC20 .

Le carbone diffuse localement pour former de fines particules de carbures qui entraînent un effet de durcissement par dispersion dans la structure, laissant le réseau quadratique de la martensite évoluer lentement vers la structure cubique centrée du fer alpha .

-Les duretés ont augmenté très largement après les traitements thermiques des aciers de 19,86 HRC à 55 HRC pour l'acier 50NC13 et de 18,50 HRC à 56,83 HRC pour l'acier 55 WC20 .

Donc, il est de même pour la résistance à certains efforts déterminés par l'emploi des coins: compression, chocs mécaniques .

III.2:Aspect de la couche de Chrome obtenu:

2.1:Aspect macroscopique:

Les couches de Chrome obtenues sur les deux nuances d'acier 50NC13 et 55WC20 ont un aspect brillant, et cela pour les différentes densités de courant: 60A/dm^2 , 38A/dm^2 , 30A/dm^2 , 52A/dm^2 .

2.2:Aspect microscopique:

Pour les deux nuances d'acier, les couches de Chrome sont plus ou moins traversées par un fin réseau de fissures qui chevauchent. leur allure est définie par la série de clichés (figures (III.1, III.2, III.3, III.4, III.5))

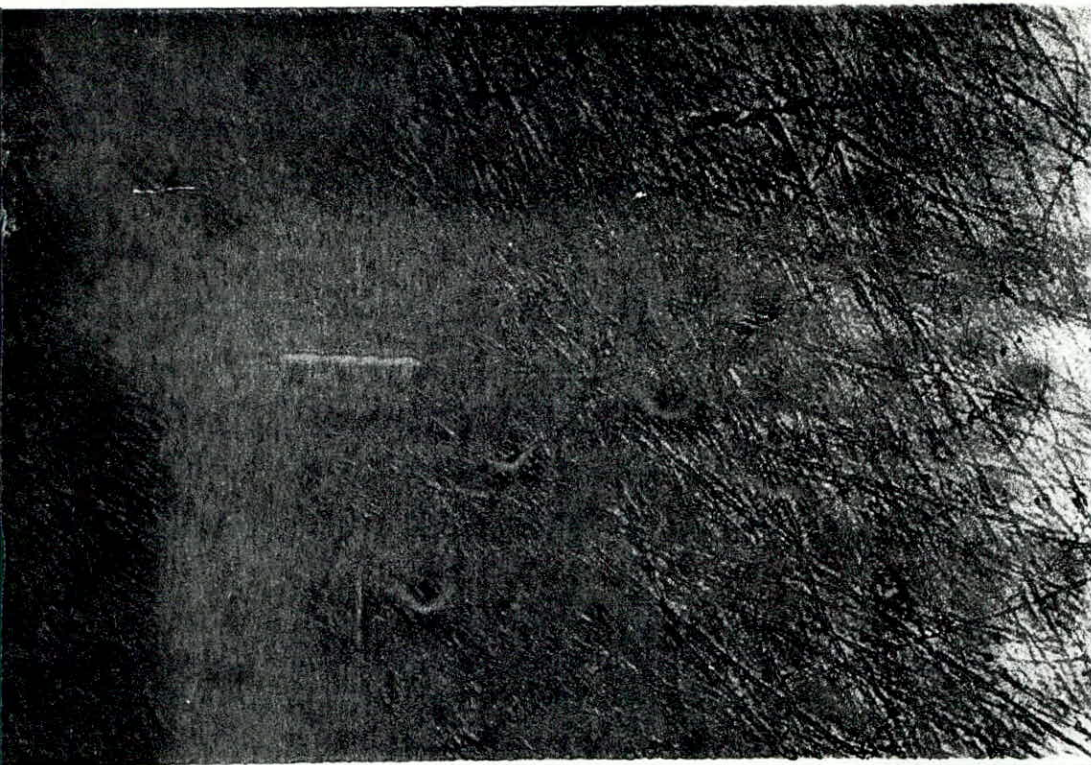
2.3:Interpretation:

-La déposition électrolytique du Chrome est toujours liée à un violent dégagement d'hydrogène et il se forme au premier stade des hydrures de Chrome à la cathode.

-Ces hydrures de Chrome ont un réseau hexagonal, vont se décomposer en cédant de l'hydrogène et en formant du Chrome métallique qui a un réseau cubique .

-L'hydrogène cédé par la décomposition des hydrures va être emprisonné dans la maille du Chrome sous forme de solution solide en insertion dans la maille en provoquant la dilatation de celle-ci

-Par suite de ce changement de structure cristalline de l'hexagonal en cubique , et la dilatation des mailles de ce dernier, il se forme dans les revêtements de Chrome des tensions internes très élevées, qui pour une certaine épaisseur de dépôt dépassent le seuil de résistance de Chrome et entraînant la fissuration du revêtement.



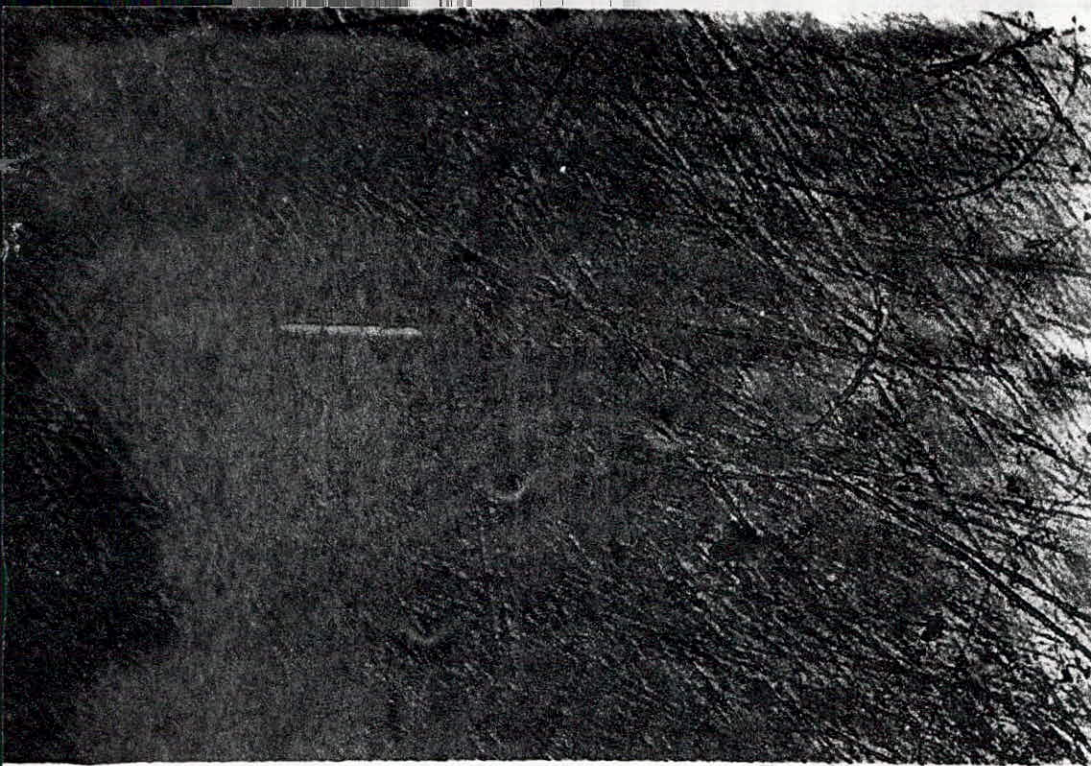
Densité
De Courant
 $D = 60 \text{ A/dm}^2$



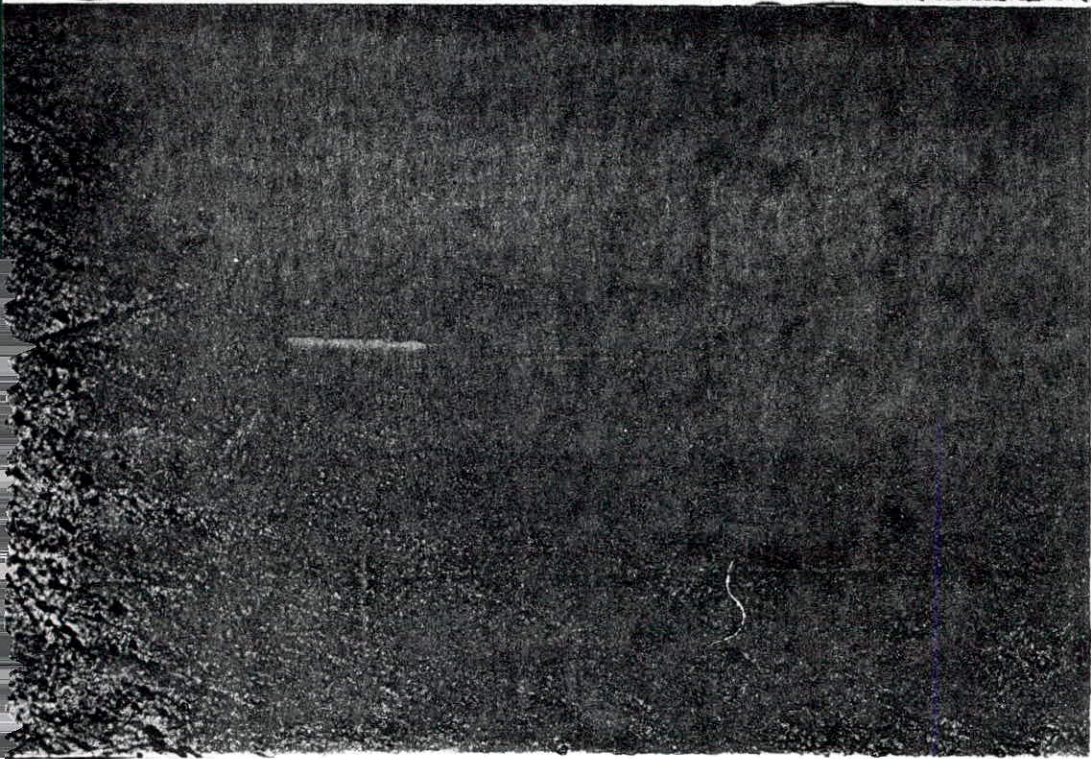
Densité
De Courant
 $D = 52 \text{ A/dm}^2$

Acier 50 NC 13

Fig (III.1) Aspect Microscopique
De La Couche de Chrome
Grossissement: 200



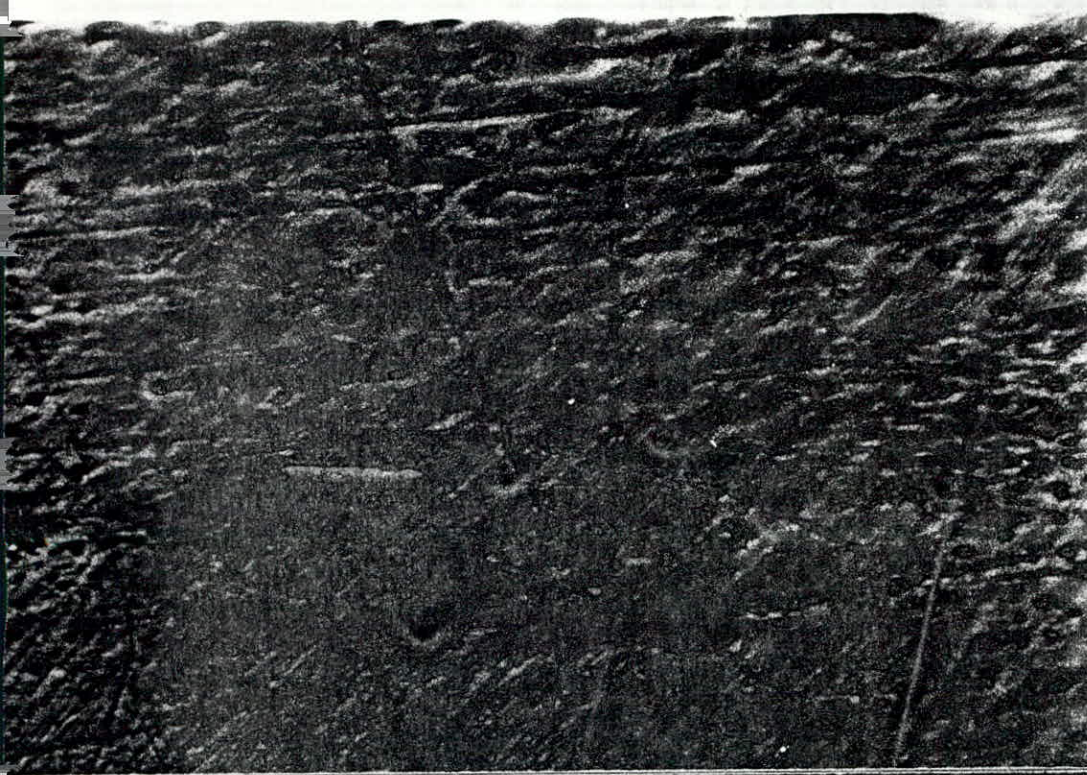
Densité
de courant
 $D = 38 \text{ A/dm}^2$



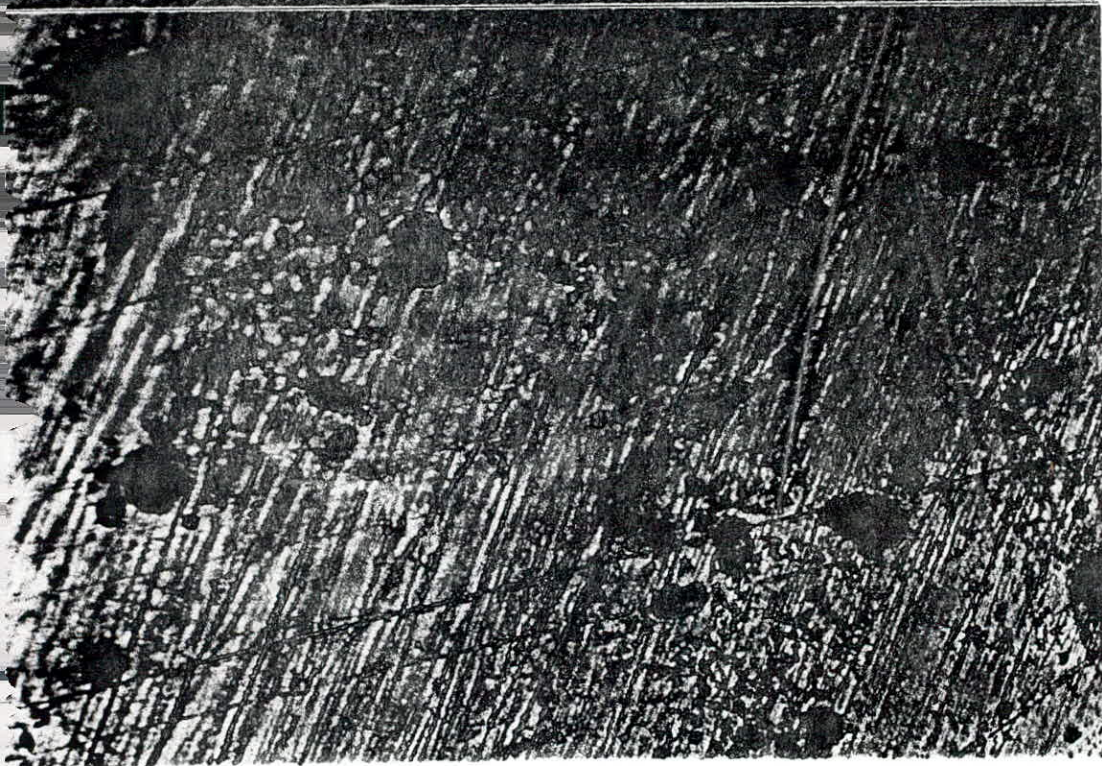
Densité
de courant
 $D = 30 \text{ A/dm}^2$

Acier 50NC13

Fig (III.2) Aspect microscopique de
La couche de chrome
Grossissement 200



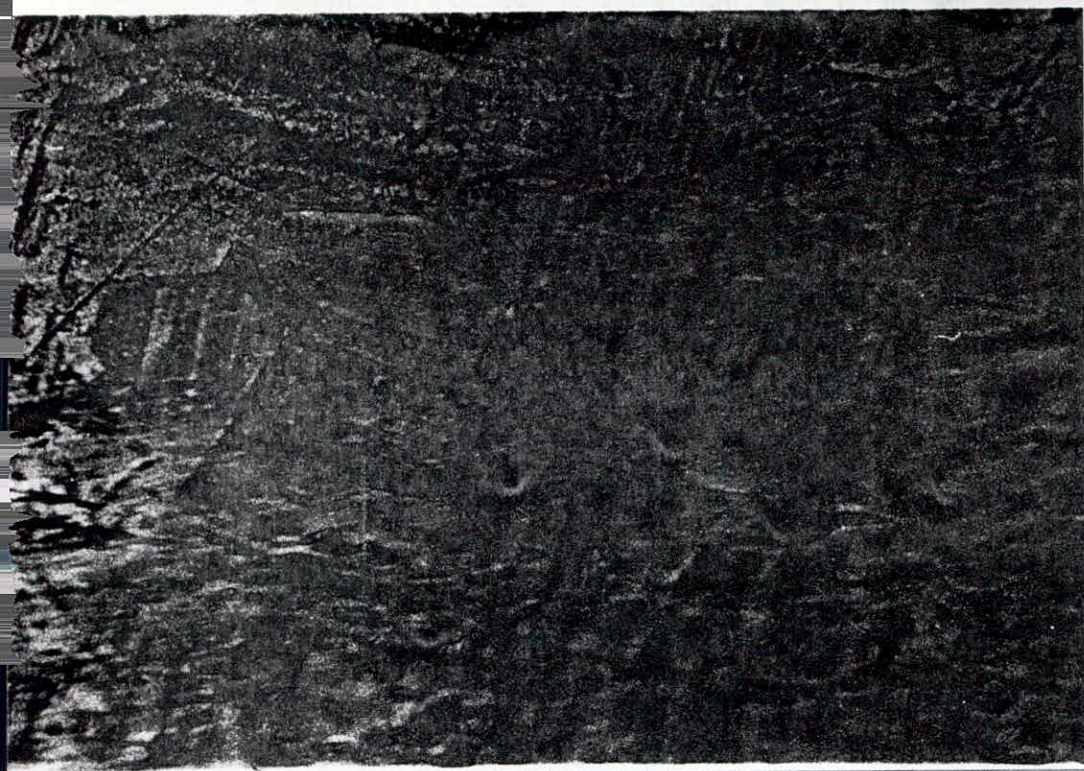
Densité de
courant
 $D = 60 \text{ A/dm}^2$



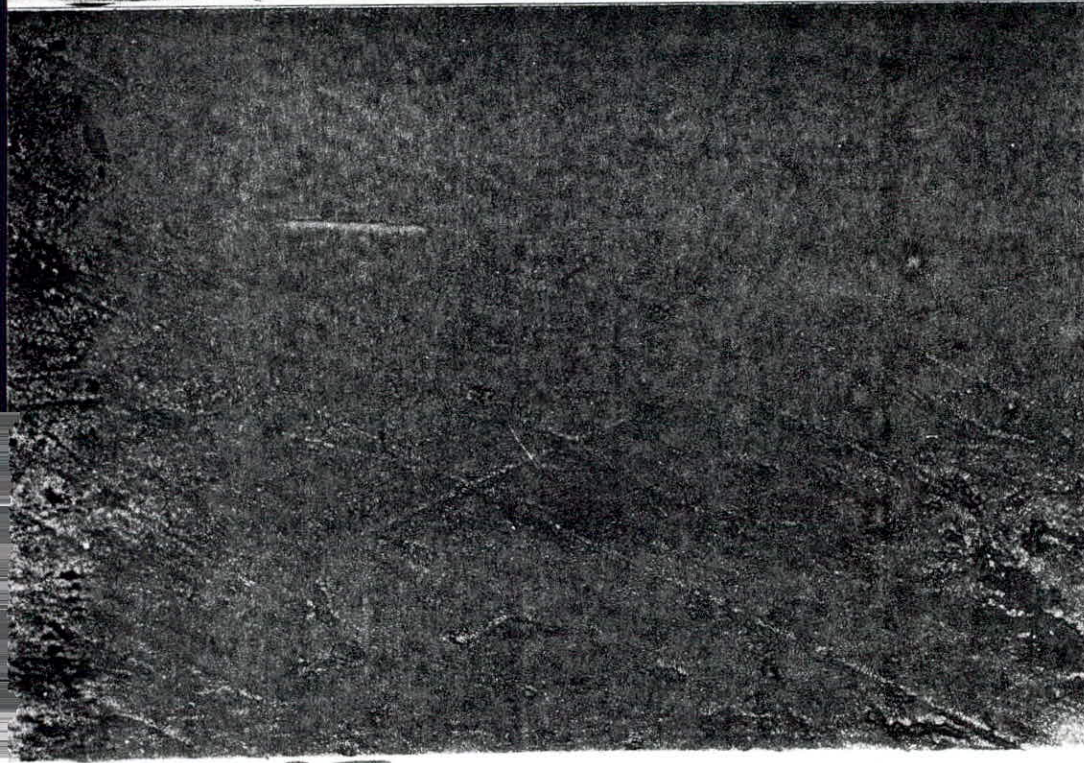
Densité de
courant
 $D = 52 \text{ A/dm}^2$

Acier 55 WC20

Fig(III.3) Aspect microscopique de
la couche de chrome
Grossissement 200



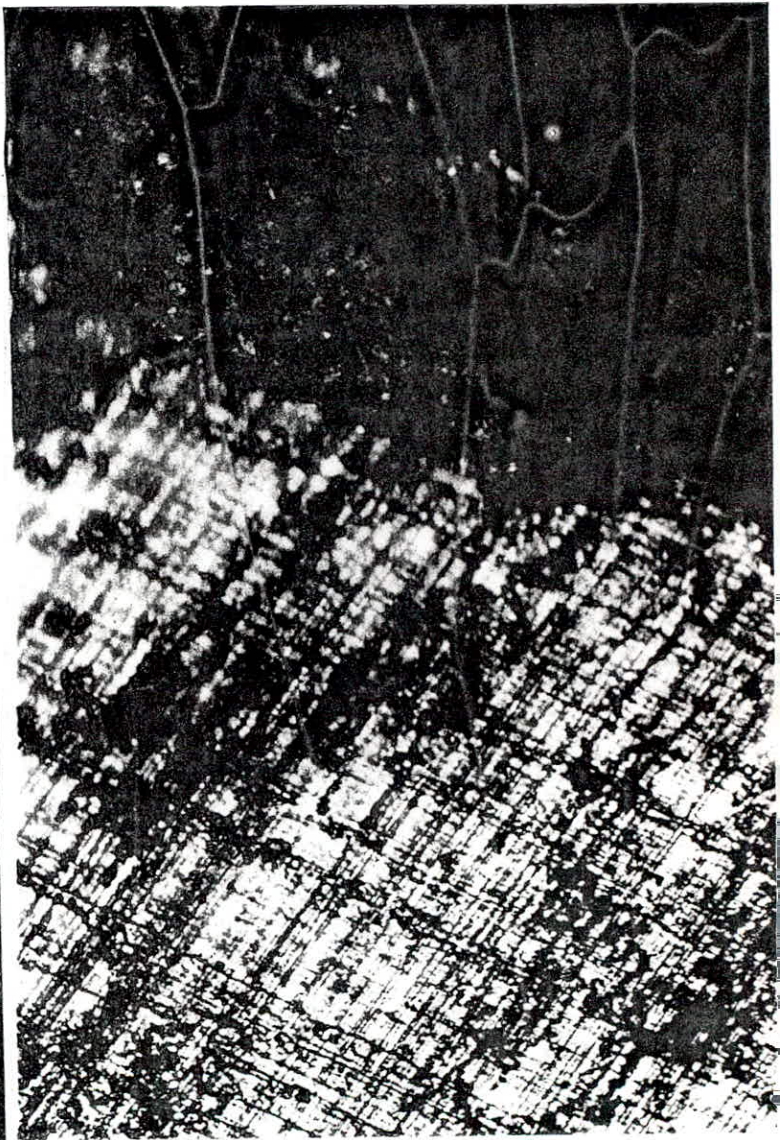
Densité de
courant
 $D = 30 \text{ A/dm}^2$



Densité de
courant
 $D = 30 \text{ A/dm}^2$

Acier 55 WC 20

Fig (III.4) Aspect microscopique de
La couche de chrome
Grossissement 200



Acier de base
50NC13

Acier de base
55WC20

Fig (III.5) La coupe transversale
du dépôt de chrome

Grossissement 500

III-3:Adherence de la couche de Chrome sur le metal de base:

3.1:Observation:

Aucun écaillage ni arrachement n'a été observe à l'échelle macroscopique, par contre à l'échelle microscopique dans la zone de déformation, on a observé des fissurations (voir fig(III.6)).

3.2:Interpretation:

- les fissures observeés dans la zone de déformation pour des raisons qui ne sont pas liées à la mauvaise adhérence, mais aux propriétés physiques du Chrome (résistance à la rupture).
- L'adhérence de la couche de Chrome sur les deux aciers est jugée bonne. cette bonne adhérence est liée au bon accrochage des atomes de Chrome sur le métal de base, donc au bon choix de la gamme de préparation de l'état de surface des deux aciers avec un plus grand soin.



Acier 50NC13



Acier 55WC20

Fig(III.6) Aspect microscopique de
La couche de chrome dans
La zone de deformation

Grossissement 200

III-4: Détermination de l'épaisseur de dépôt:

-L'épaisseur du dépôt est déterminée par la formule(4); compte tenu du fait que la détermination de l'épaisseur par pesée nécessite la connaissance de la masse volumique du Chrome et implique une répartition uniforme de dépôt, nous avons vérifié la validité de la méthode utilisée par comparaison avec la méthode de référence de la coupe micrographique (voir annexes).

-les résultats obtenus par les deux méthodes sont résumés dans les tableaux suivants:

Tableau (2)

		55 WC 20						
D=60A/dm ²	épaisseur déduite par pesée (μm)	e	2.95	4.30	6.30	9.20	16.95	
	épaisseur déduite par micrographie (μm)	em	2.50	4.00	6.00	9.50	17.00	

Tableau (3)

		50 NC 13						
D=60A/dm ²	épaisseur déduite par pesée (μm)	e	2.40	3.00	6.54	7.00	10.00	19.50
	épaisseur déduite par micrographie (μm)	em	2.00	2.50	6.50	6.80	9.50	19.50

-la corrélation entre épaisseur obtenue par coupe micrographique et épaisseur déduite de la pesée est satisfaisante (fig III.7) et (fig III.8) l'écart relatif peut être assez grand aux faibles épaisseurs, au delà de 5μm, il n'excède pas 5% pour l'acier 50NC13 et 3% pour l'acier 55WC20 .

-La méthode de mesure par pesée, qui est d'une mise en oeuvre

Fig (III.7)

Corrélation Entre Les Mesures
D'épaisseur Par Peseé et Par
Micrographie

Acier 50NC13

Epaisseur Deduite
Par Peseé
(μm)

Epaisseur Obtenu
Par Micrographie (μm)

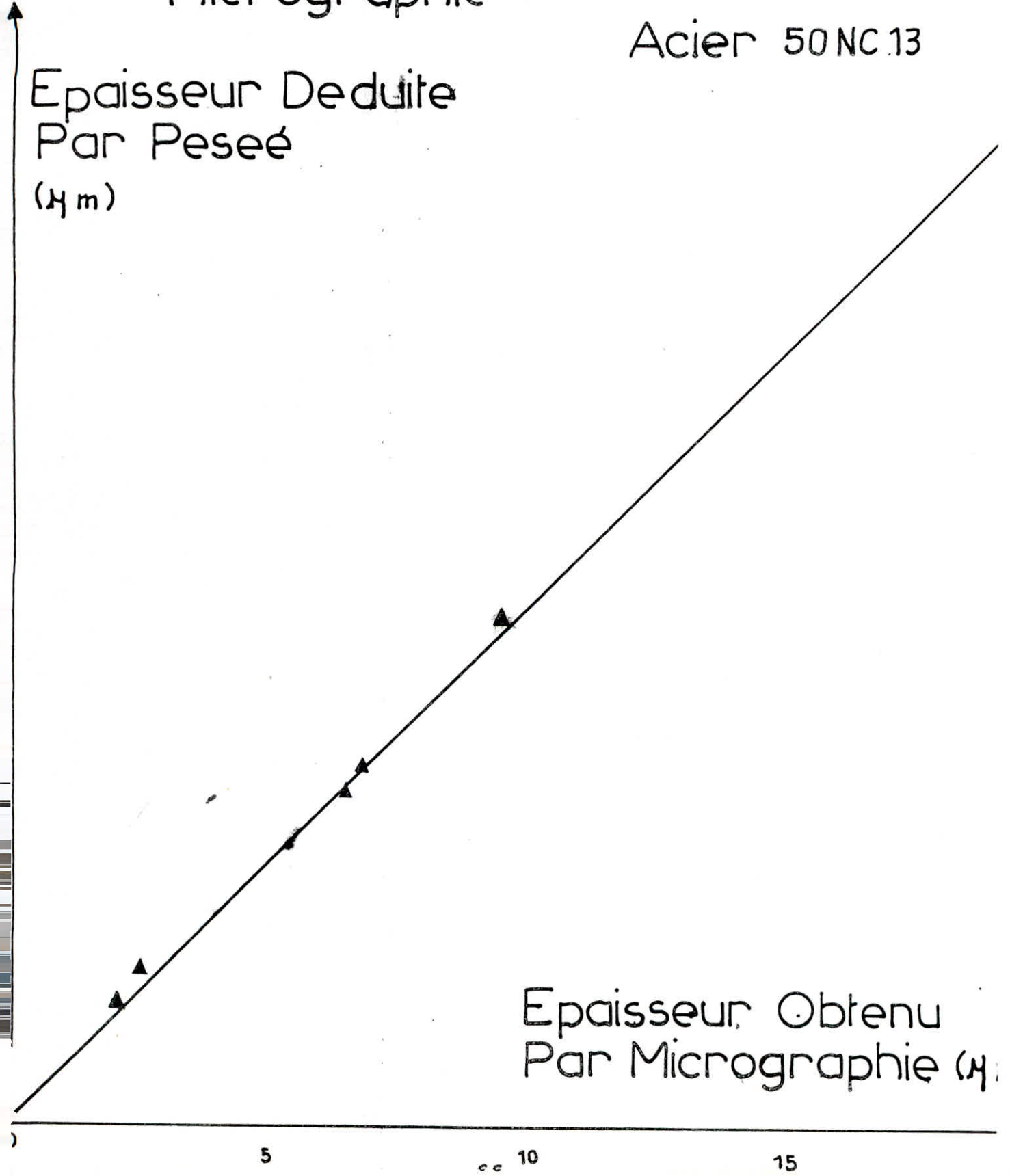


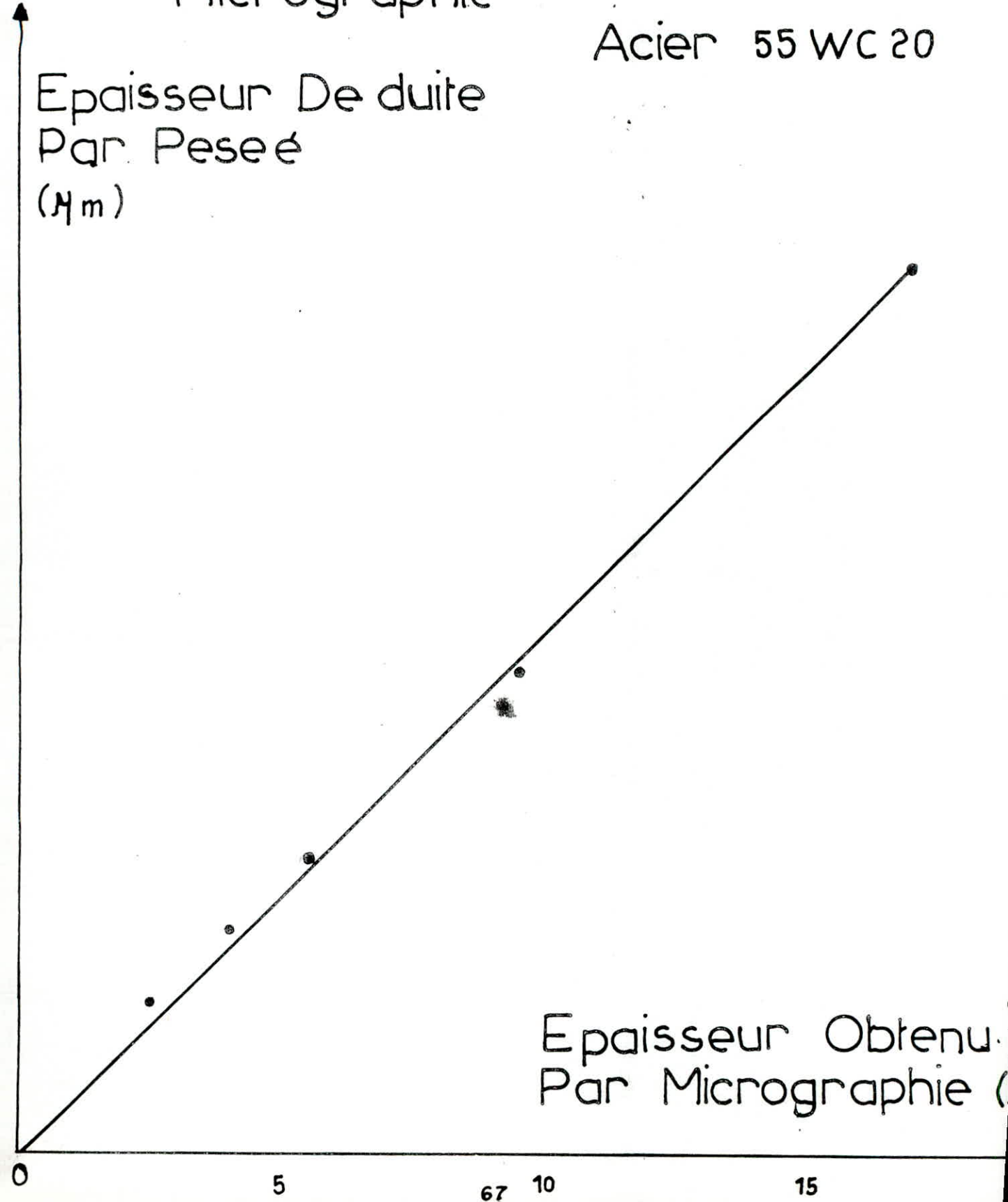
Fig (III.8)

Correlation Entre Les Mesures
D'épaisseur Par Peseé et Par
Micrographie

Acier 55 WC 20

Epaisseur De duite
Par Peseé
(μm)

Epaisseur Obtenu
Par Micrographie (



simple, est donc d'une précision suffisante pour des épaisseurs supérieures à $5\mu\text{m}$.

III.5: Vitesse de deposition:

5.1: Résultats du processus proposé du chromage:

Après avoir déterminé l'épaisseur du dépôt du processus de chromage proposé, par la formule (4), on a dressé des tableaux à partir desquelles on trace les variations de l'épaisseur en fonction du temps.

Tableau (4)

		55WC20						
D=60A/dm ²	e (μm)	0.40	1.00	1.95	4.30	6.30	9.2	16.95
	t (mn)	1	2	5	10	15	20	25
D=52A/dm ²	e (μm)	1.26	2.03	4.18	7.43	12.32	15.60	-
	t (mn)	5	10	15	20	25	30	-
D=38A/dm ²	e (μm)	0.2	1.4	2.2	3	3.62	9.48	-
	t (mn)	1	5	10	15	20	30	-

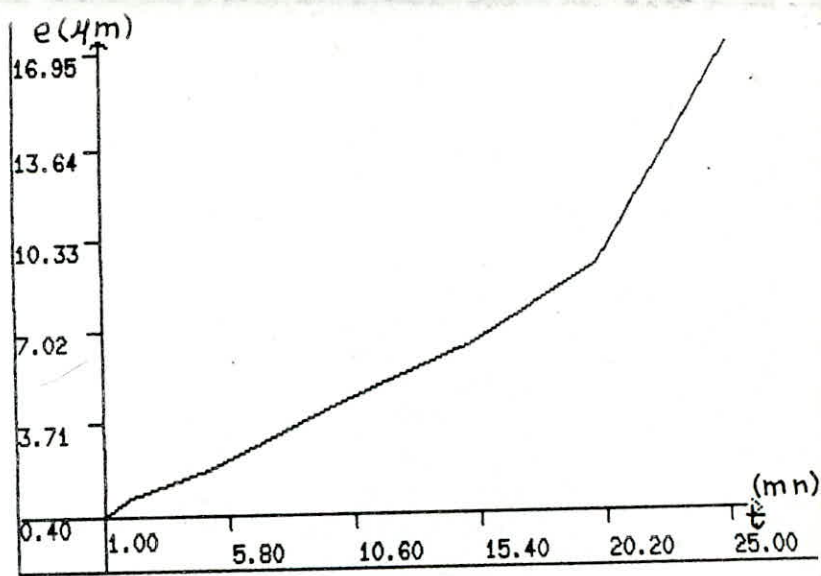
Tableau (5)

		50NC13					
D=60A/dm ²	e (μm)	0.4	3	6.54	7	10	19.5
	t (mn)	1	5	10	15	20	30
D=52A/dm ²	e (μm)	2.30	4.05	6.50	10.04	15.50	-
	t (mn)	5	10	15	20	30	-
D=38A/dm ²	e (μm)	0.10	1.20	2	2.9	4	6.5
	t (mn)	1	10	12	15	20	30

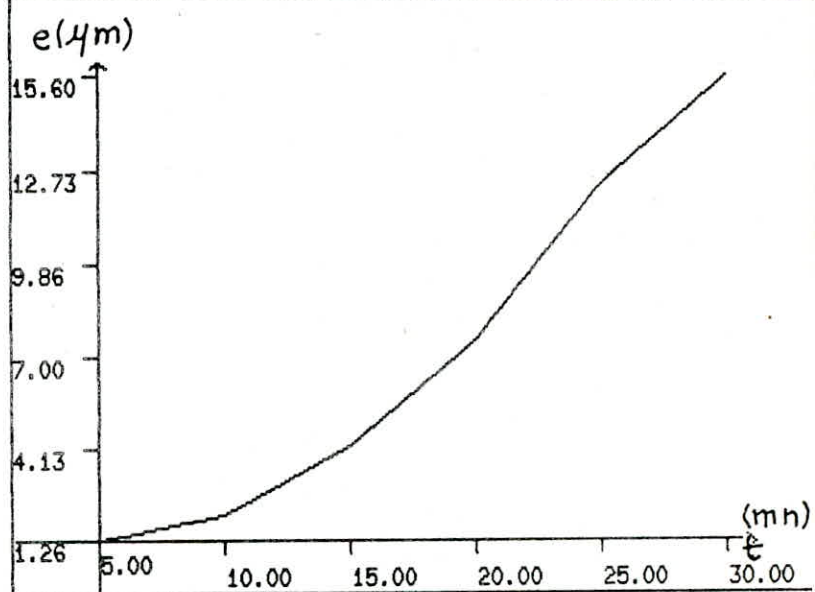
-Pour les courbes de l'épaisseur en fonction du temps $e=f(t)$, voir fig(III.9) et fig(III.10). L'allure de la courbe $e=f(t)$ suit une loi croissante non uniforme .

ensité de courant

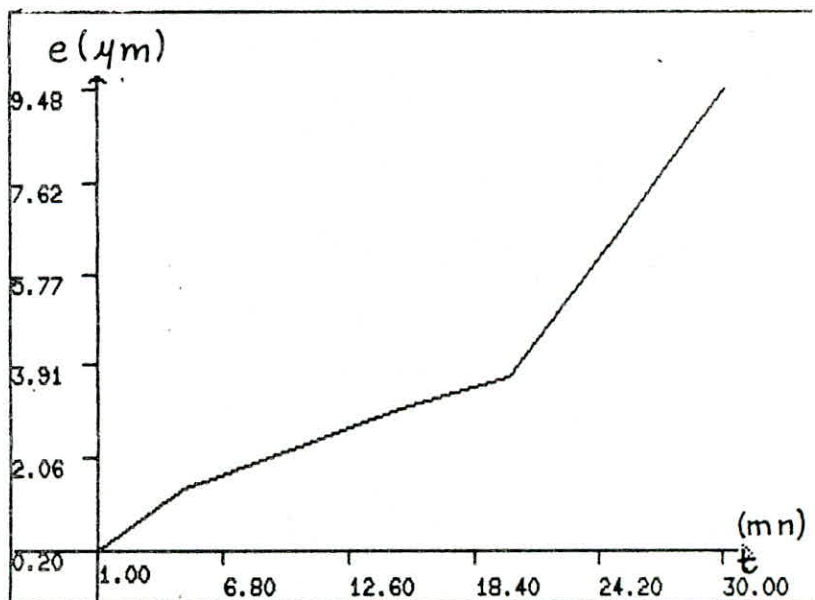
$$D=60A/dm^2$$



$$D=52A/dm^2$$



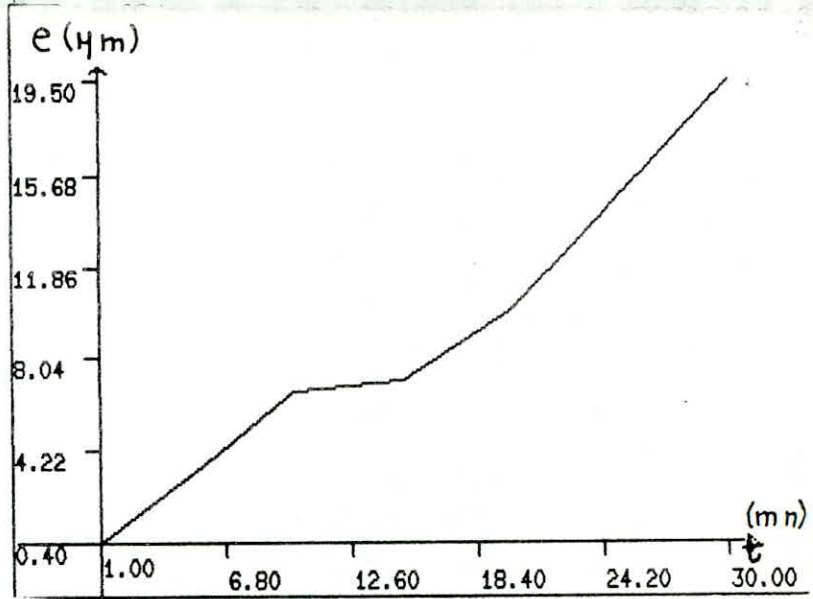
$$D=38A/dm^2$$



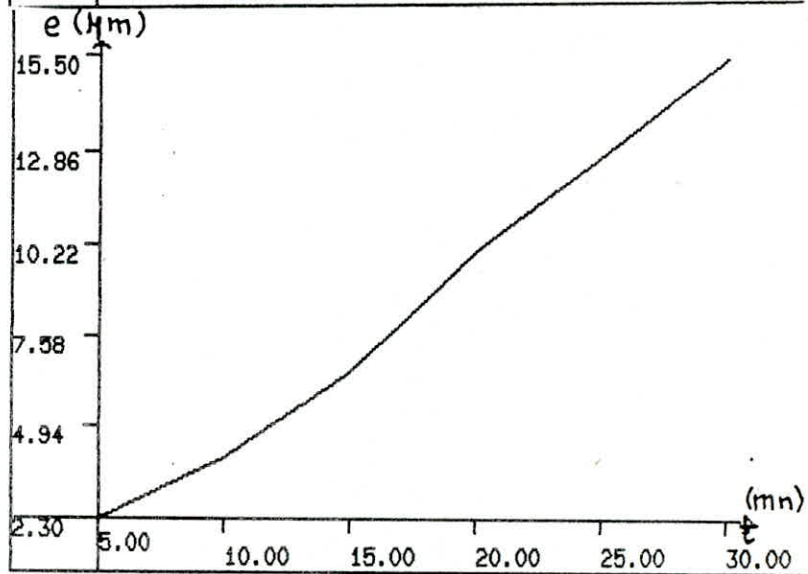
Fig(III.9) Variation de l'épaisseur en fonction du temps
Acier de base 55WC20

densité de courant

$$D=60\text{A/dm}^2$$



$$D=52\text{A/dm}^2$$



$$D=38\text{A/dm}^2$$

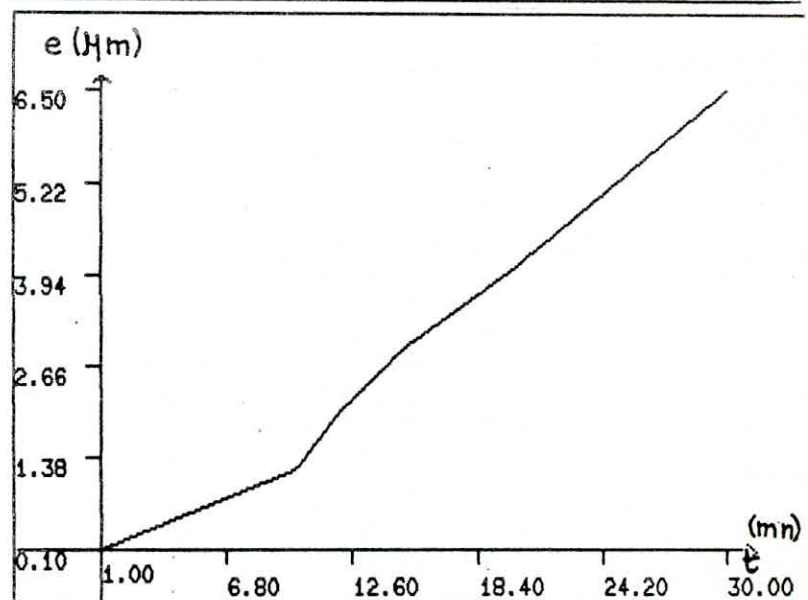


Fig (III.10) Variation de l'épaisseur en fonction du temps
Acier de base 50NC13

-Pour chaque densité de courant, on a calculé la vitesse de déposition moyenne. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau (6)

-	-	60A/dm ²	52A/dm ²	38A/dm ²
55WC20	Vm (μm/h)	52	35	20.4
50NC13	Vm (μm/h)	34.41	31.8	13.2

-pour une même nuance d'acier, la vitesse de déposition augmente avec la densité de courant, ce qui concorde avec la théorie (formule 5).

-Les valeurs de vitesse de déposition pratiques sont plus ou moins compatibles avec les valeurs théoriques. (fig 1.6)

-Pour l'acier 50NC13, à 60A/dm² et 38A/dm², il ya un grand écart entre les valeurs des vitesses de déposition théoriques et les valeurs pratiques dues :

*A la forte surtension d'hydrogène, donc un fort et violent dégagement de ce gaz ce qui va augmenter la résistance de l'électrolyte et empêcher les atomes de Chrome de se déposer sur la cathode donc diminuer la vitesse de déposition.

*Aux erreurs commises pendant le déroulement de l'expérience.

5.2: Résultat du processus canadien du chromage:

les résultats de l'épaisseur du dépôt, vitesse de déposition, et du temps sont présentes dans le tableau suivant:

Tableau (7)

55WC20			50NC13		
e (μm)	6.50	11.30	e (μm)	7.00	12.75
t (mn)	30	45	t (mn)	30	45
V ($\mu\text{m}/\text{h}$)	19.20	19.20	V ($\mu\text{m}/\text{h}$)	22.8	22.8

-Les valeurs obtenues de l'épaisseur et de la vitesse de déposition sont très compatibles avec les résultats du processus lui même; tout en insistant que des étapes du processus ont été éliminées lors de la préparation de la surface à chromer.

-En suivant le processus étape par étape, on aboutira à des résultats plus conformes avec les résultats du processus.

-On peut dire aussi qu'on est arrivé à bien maîtriser l'opération de chromage de ce processus.

III.6 Oxydation superficielle:

Après avoir suivie la croissance du poids de l'échantillon au cours du temps, on a regroupé tous les résultats dans le tableau suivant :

Tableau (8)

t (mn)	0	0.41	1	3	5	7	9	11	13
P (g)	121069	121072	121077	121093	121106	121109	121109	121110	121110
ΔP (g)	0	$3 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$24 \cdot 10^{-4}$	$37 \cdot 10^{-4}$	$40 \cdot 10^{-4}$	$40.99 \cdot 10^{-4}$	$41 \cdot 10^{-4}$	$41 \cdot 10^{-4}$
ΔP ($\frac{\mu g}{cm^2}$)	0	10.6	28.30	84.92	130.9	141.5	145.0	148.6	148.6

6.1 Interprétation des résultats:

Après une croissance initiale rapide (fig III.11), l'augmentation du poids devient négligeable au bout de 13 mn.

La variation du poids due à l'oxydation du Chrome en Cr_2O_3 n'introduit qu'une faible incertitude quant à la détermination de l'épaisseur du dépôt.

La détermination de l'épaisseur de la couche d'oxyde est :

$$e = P / \rho S$$

S: Surface chromée de l'échantillon = 7.06 cm²

P: Gain du poids au bout de 13 mn

ρ : Masse volumique du Chrome

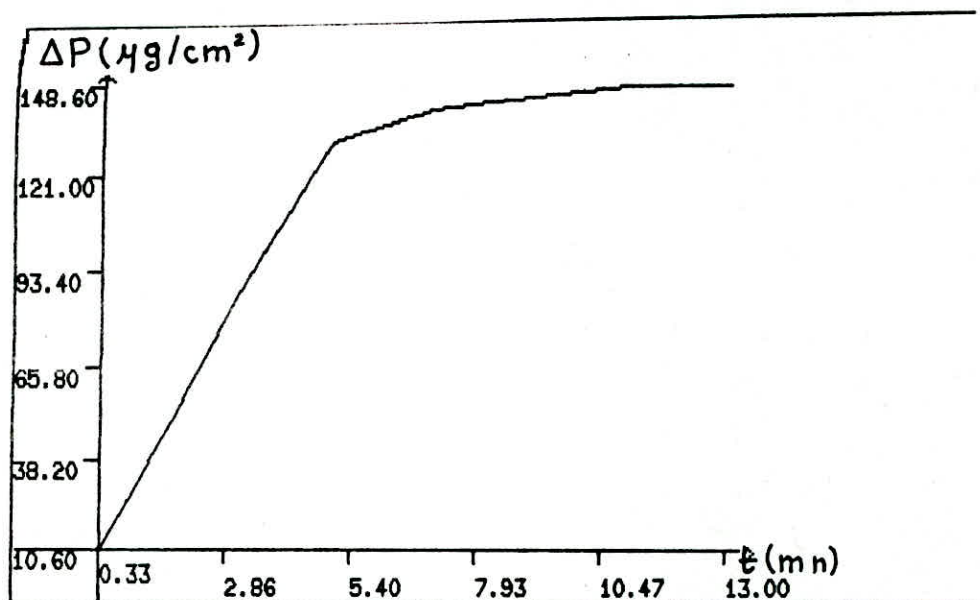
A.N:

$$e = 41 \cdot 10^{-4} / (7.1 \cdot 7.06)$$

$$= 8.17 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$$

$$= 0.817 \mu\text{m}$$

$$e = \boxed{0.82 \mu\text{m}}$$



Variation de poids d'un échantillon
au cours du temps après chromage.

Fig (III.11)

D'où la couche d'oxyde superficielle peut-être ainsi de $0.82\mu\text{m}$ d'épaisseur .

- Cette couche d'oxyde superficielle peut-être mise en évidence par des microscopes électroniques.

- Pour obtenir une bonne étude microstructurale du dépôt de chrome, il faut enlever ces particules avec l'acide sulfurique dilué sans que le dépôt de chrome pur ne soit attaqué.

III-7:Microdurete de la couche de Chrome:

7-1:Résultats:

Aprés avoir obtenu les résultats de microdureté, on les a présentés dans les tableaux suivants:

Tableau (9)

55WC20							
D=60A/dm ²	e (μm)	1.95	4.30	6.30	9.20	16.95	-
	Hv (moy)	625.0	675.0	697.0	827.0	875.0	-
D=52A/dm ²	e (μm)	1.26	2.03	4.18	7.43	12.32	15.60
	Hv (moy)	600.0	637.0	668.0	803.0	837.0	877.5
D=38A/dm ²	e (μm)	1.40	2.20	3.00	3.62	9.48	-
	Hv (moy)	585.0	630.0	647.5	652.0	820.0	-

Tableau (10)

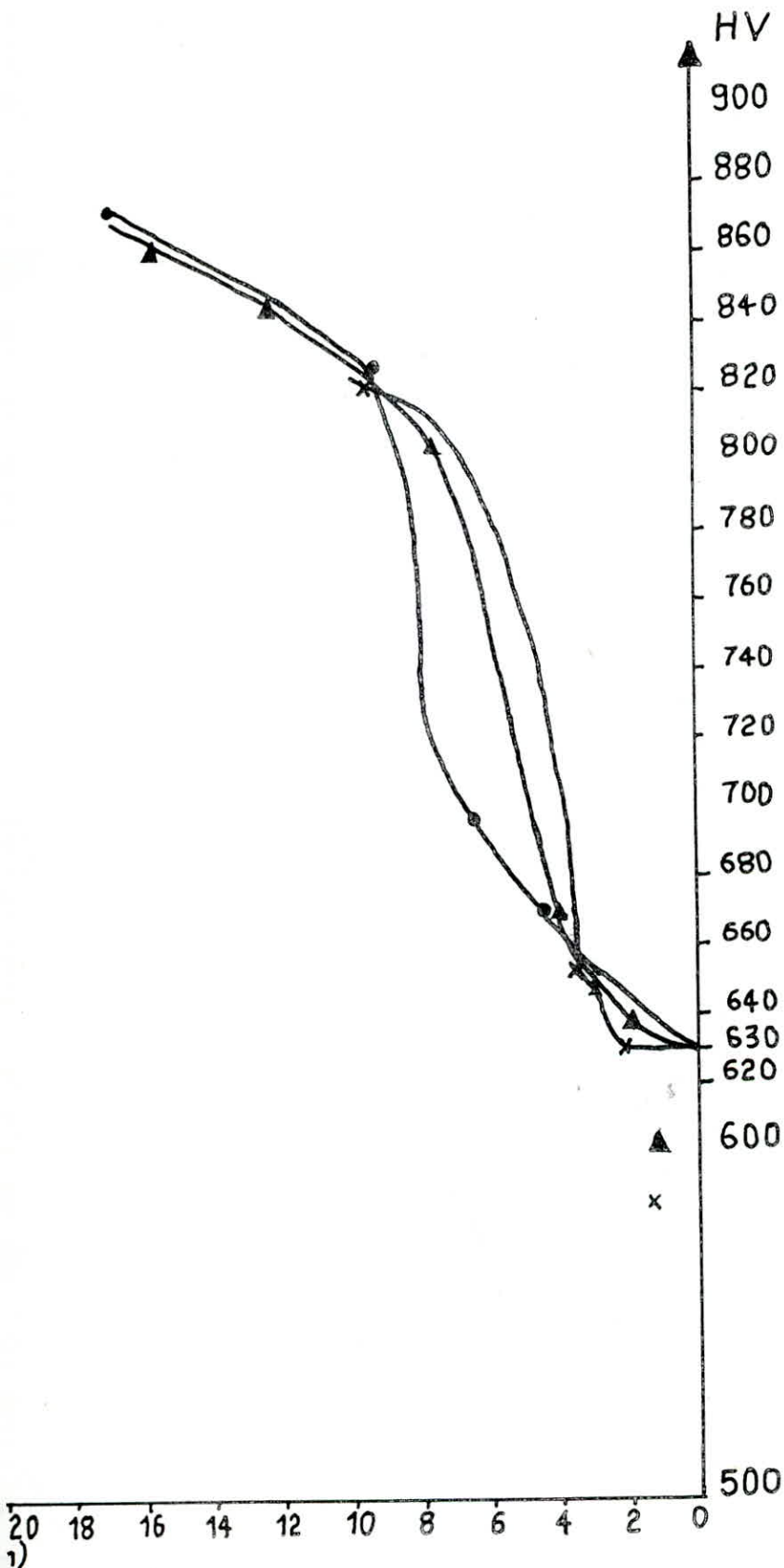
50NC13							
D=60A/dm ²	e (μm)	3	6.54	7	10	19.5	-
	Hv (moy)	620	700	777.5	825	887	-
D=52A/dm ²	e (μm)	2.30	4.05	6.50	10.04	15.5	-
	Hv (moy)	613	645	690	820	862	-
D=38A/dm ²	e (μm)	1.20	2.00	2.9	4	6.5	-
	Hv (moy)	602	610	616	635	730	-

7-2:Observations & interprétations:

-les figures (III.12) et (III.13) montrent, pour chaque nuance d'acier, pour chaque densité, et pour une température non variable T=58°C les courbes de variations de la microdureté de la couche de Chrome en fonction de l'épaisseur de celle-ci.

-Pour chaque nuance d'acier et pour une densité de courant

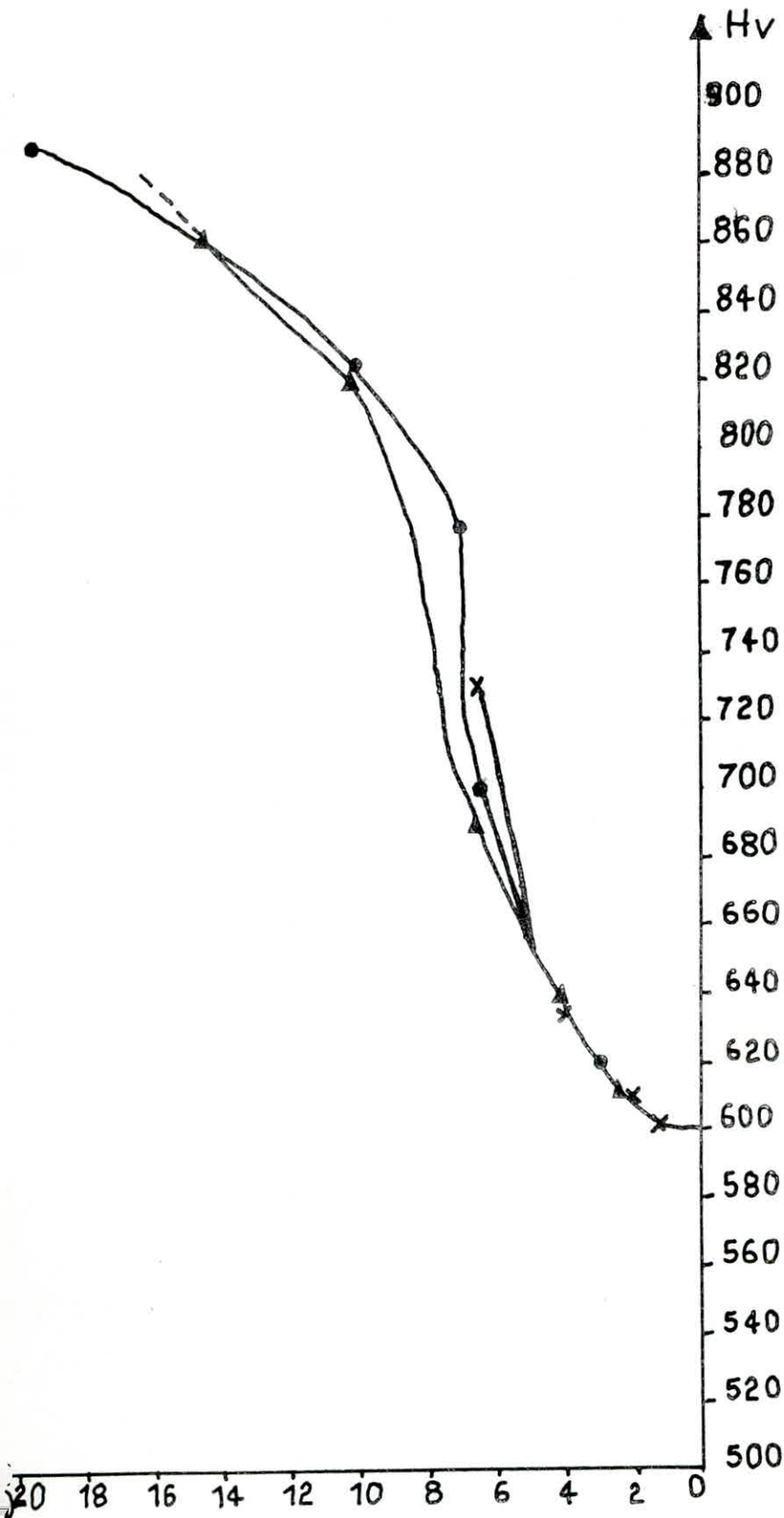
Courbe de variation de la microdureté en fonction de l'épaisseur de la couche de chrome



- $D = 60 \text{ A/dm}^2$
- $D = 52 \text{ A/dm}^2$
- x $D = 38 \text{ A/dm}^2$

Métal de base
Acier 55 W/C 20
Fig (III-12)

Courbe de variation de la microdurete en fonction de l'épaisseur de la couche de chrome



- D=60 A/dm²
- ▲ D=52 A/dm²
- × D=38 A/dm²

Metal de base
Acier 50NC13
Fig (III_13)

donnée, les mesures de microdureté effectuées sur les surfaces des échantillons après chromage montrent une importante augmentation de la dureté superficielle, avec l'épaisseur de dépôt, bien que le matériau de départ soit déjà très dur.

- Cette augmentation de dureté est liée à la distorsion de la maille de Chrome, et à tous les défauts de microstructure qui résultent de l'hydrogénation, en particulier de l'augmentation considérable de la densité de dislocation.

D'une façon plus générale, les contraintes internes résultant de l'hydrogénation durcissent le métal et diminuent sa ductilité par blocage partielle du glissement (voir annexes).

Plus la quantité d'hydrogène pénétrante dans le dépôt de Chrome est importante, plus ce dépôt est dur et fragile.

Il existe effectivement un traitement correctif des défauts de fragilisation qui est une opération de dégazage (voir annexes).

- La fig (III.12) montre trois régions différentes qui sont:

*1^{ere} région: C'est une région caractérisée par l'épaisseur de dépôt compris entre 0 et $3\mu\text{m}$.

- Pour une épaisseur donnée, on constate que la microdureté Hv croît avec la densité de courant.

*2^{ieme} région: Elle est caractérisée par l'épaisseur de dépôt compris entre 4 et $9\mu\text{m}$.

- Pour une épaisseur de dépôt donnée, on voit que la microdureté et la densité de courant varient en sens inverse.

*3^{ieme} région: Elle est caractérisée par l'épaisseur de dépôt compris entre 9 et $16\mu\text{m}$.

- Pour une épaisseur de dépôt donnée, on constate que la micro-

- dureté du dépôt est la même pour les trois densités de courants.
- La fig(III_13) montre deux régions différentes :
- *1ere région: Elle est caractérisée par l'épaisseur de dépôt compris entre 0 et $5\mu\text{m}$.
- Pour une épaisseur donnée du dépôt, la microdureté est invariable pour les trois densités de courant.
- *2ieme région: Elle est caractérisée par l'épaisseur de dépôt compris entre 5 et $19\mu\text{m}$.
- Pour une épaisseur donnée du dépôt, la microdureté varie plus ou moins avec les trois densités de courant .

En se basant sur les résultats antérieures obtenus, on peut dire que: Dans notre cas, pour une température bien fixe $T=58^{\circ}\text{C}$, pour certaines épaisseurs de dépôt, la microdureté varie plus ou moins et pour d'autres reste invariable à quelques différences près avec la densité de courant. Cette variation de microdureté est liée à la quantité d'hydrogène dégagée à la surface cathodique dont une partie plus ou moins importante pénètre dans le dépôt .

-La densité de courant qui est un des paramètres de chromage influe plus ou moins fort sur l'hydrogénation des dépôts de Chrome.

III-8: Propositions:

-Les revêtements de Chrome sur les deux aciers 50NC13 et 55WC20 sont adhérents, ce qui implique qu'on a fait un bon choix de la gamme préparatoire de l'état de surface avant-chromage.

-Suivant les différents paramètres opératoires, en particulier la densité de courant, nous avons obtenu des dépôts, à travers lesquels, nous avons augmenté la dureté des aciers .

-L'acier 50NC13 : La dureté a augmenté de 600HV jusqu'à 880HV, pour des épaisseurs de dépôt allant jusqu'à $19\mu\text{m}$.

-L'acier 55WC20 : La dureté a augmenté de 630HV jusqu'à 870HV, pour des épaisseurs de dépôt allant jusqu'à $15.60\mu\text{m}$.

-L'hydrogène pénétrant à l'intérieur du dépôt au cours de la déposition durcit le métal et augmente sa fragilité .

-En ce qui concerne le chromage des coins monétaires, le choix qu'on devrait faire est le suivant :

*C'est de réaliser des dépôts qui n'auront pas une très grande dureté, pour éviter le phénomène de fragilisation, et qui n'auront pas une faible dureté afin de maximiser la durée de vie de ces coins.

Pour aboutir à ce résultat, il faut faire un bon choix de l'épaisseur de dépôt et de la densité de courant.

En se basant sur les figures (III.12), (III.13), et les résultats qu'on a obtenu auparavant, on propose :

*Pour l'acier 50NC13:

-Température de chromage: $T=58^{\circ}\text{C}$

-L'épaisseur du dépôt: $e=6$ à $8\mu\text{m}$

-Densité de courant: $D=52\text{A}/\text{dm}^2$

*Pour l'acier 55WC20:

-Température de chromage: $T=58^{\circ}\text{C}$

-L'épaisseur du dépôt: $e=6$ à $8\mu\text{m}$

-Densité de courant: $60\text{A}/\text{dm}^2$

Les résultats proposés peuvent être améliorés et vérifiés par leur application dans le processus de fabrication de la monnaie.

-En plus des deux processus de chromage des aciers qui entrent dans le cadre de la fabrication de la monnaie, on peut ajouter un troisième processus. Ces trois processus sont les suivants :

Processus de chromage proposé:

Polissage



Rinçage



Nettoyage aux ultrasons



Désoxydation chimique avec du "Miror"



Rinçage avec de l'eau distillée



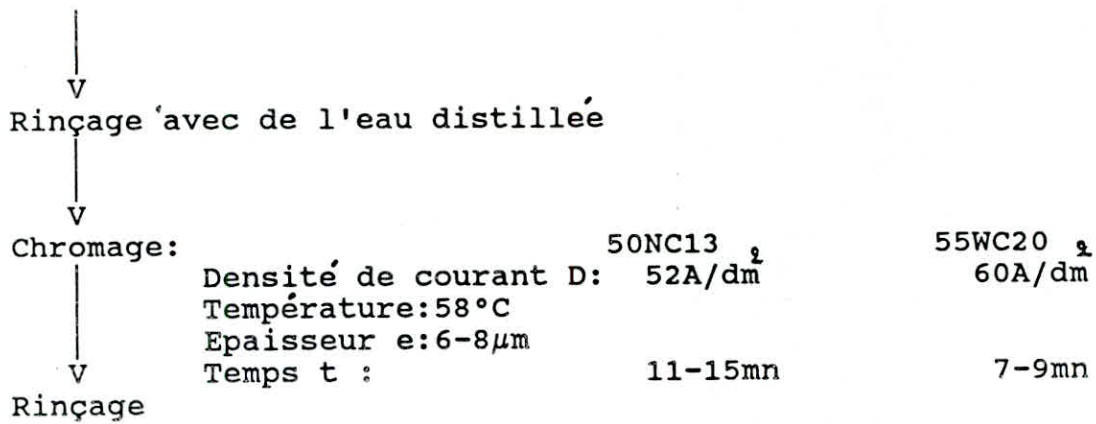
Dégraissage chimique avec trichloréthylène



Rinçage avec de l'eau distillée

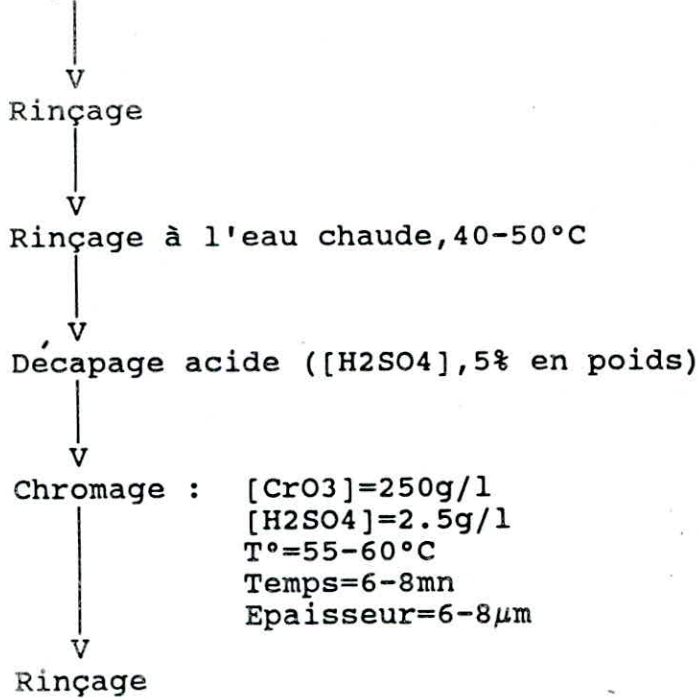


Décapage (HCl 10% en poids , temps : 5 secondes)

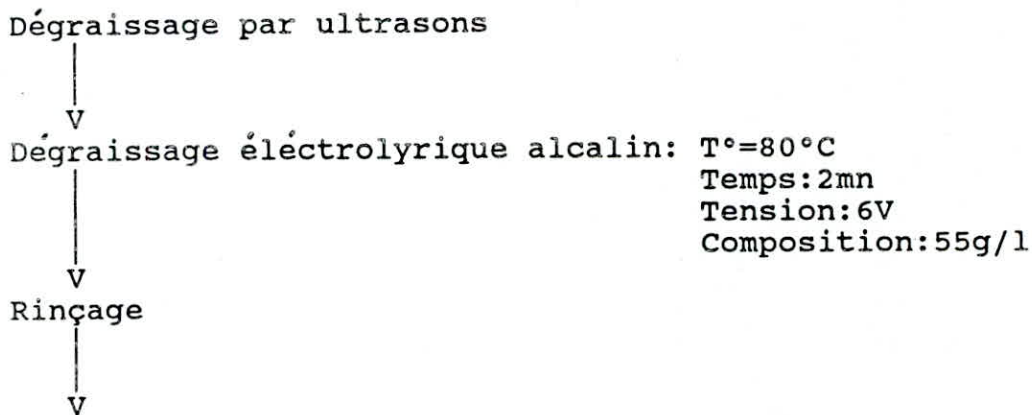


Procédus de chromage en Allemagne:

Dégraissage chimique



Procédus de chromage au Canada:



Décapage électrolytique : [CrO3]=171g/l
T°:50°C
Tension:6V
Temps:15 secondes

↓

Rinçage

↓

Chromage: [CrO3]=192-219 g/l
T°=52-55°C
Tension=6V
Temps=30-45mn
Epaisseur=7.62_12.7µm

↓

Rinçage

↓

Dégazage T°=176-232°C
Temps=2 heures



Partie IV



Conclusion

IV: Conclusion:

L'objectif de ce travail a été donc d'acquérir une formation théorique à travers l'étude bibliographiques des dépôts électrolytiques, et une bonne maîtrise de tous les problèmes inhérents à l'obtention de ces dépôts, en particulier les dépôts de Chrome; ainsi que celle du matériel utilisé dans les différentes étapes de notre travail .

La première partie de notre travail a été consacré aux traitements thermiques des aciers: trempe et revenu .

La seconde partie concerne l'élaboration des dépôts de Chrome suivant différents modes opératoires proposés , et suivant le mode opératoire du processus Canadien.

La troisième partie a été consacrée à la détermination de la qualité des couches obtenues.

de l'ensemble des résultats, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

1-Pour les conditions d'obtention des dépôts:

*Le choix convenable de la valeur des paramètres tels que: Température, densité de courant, temps de déposition, permet aisément de fixer l'épaisseur du dépôt.

*Le contrôle de l'épaisseur par une méthode indirecte simple, telle que la pesée des échantillons est d'une précision satisfaisante pour des épaisseurs de dépôt supérieures à $5\mu\text{m}$.

2-pour les caractéristiques de dépôt:

*Les revêtements de Chrome sur les deux aciers 50NC13 et 55WC20 sont adhérents, ce qui prouve le bon choix de la gamme préparatoire de l'état de surface.

*Les couches de Chrome obtenues présentent des microfissures qui sont dues à la présence des tensions internes.

*La valeur de l'épaisseur $e=0.82\mu\text{m}$ de l'oxyde de Chrome Cr_2O_3 formée sur le dépôt de Chrome au bout de 13mn, n'introduit qu'une faible incertitude quant à la détermination de l'épaisseur de dépôt.

*Le dépôt entraîne une augmentation de microdureté liée à la présence de microcontraintes.

*La densité de courant influe plus ou moins fort sur la microdureté suivant l'épaisseur de dépôt.

Les résultats ainsi obtenus peuvent être optimisés et vérifiés.

-Le microscope électronique pour déceler et identifier la couche d'oxyde Cr_2O_3 .

-Faire passer ces résultats à l'état réel de travail.

A la base de ces résultats, d'autres études pourraient être lancées :

*Influence des paramètres opératoires sur l'hydrogénation des dépôts

*Comportement de la couche de Chrome lors de l'usure par fatigue.



Annexes

[1]-Le solvant organique trichloréthylène a les propriétés suivantes:

-Densité:1.47g/cm

-Point d'ébullition:87°C

-Point de congélation:-88.4°C

A cause de son faible point d'ébullition, il peut être utilisé à son état vapeur ou liquide.

[2]:Les relations empiriques d'ANDREWS ,à savoir :

* $AC1=723-10.7Mn-16.9Ni+29.1Si+16.9Cr+6.38W+290AS$

* $AC3=910-203\sqrt{C}-15.2Ni+44.7Si+104V+315Mo+13.1W-30Mn-11Cr+20Cu$
+(700P+400Al+120AS+400Ti) .

Nous obtenons pour :

50NC13 AC1=692.3°C

AC3=775.34°C

50WC20 AC1=772.32°C

AC3=774.38°C

* $MS=539-423C-30.4Mn-12.1Cr-17.7Ni-7.5Mo$

Nous obtenons pour :

50NC13 MS=243.3°C

55WC20 MS=260.4°C

[3]:Procédus de chromage Canadien

-Dégraissage par ultra-son

-Dégraissage électrolytique alcalin:80°C, 2mn, 6V, 55g/l

-Rinçage

-Décapage électrolytique:171g/l=[CrO3], 50°C, 6V, 15s

(pièce à l'anode, cathode en plomb)

-Rinçage

-Chromage: 192-219g/l, 52-55°C, 6V, 30-45mn, 7.62-12.7µm
-Rinçage

-Dégazage: 176-232°C pendant deux heures.

[4]: Déformation par glissement

Le glissement est caractérisé par un cisaillement du réseau cristallin, selon un plan et une direction qui provoque la translation la partie supérieure par rapport à la partie inférieure. Selon la structure cristalline, les systèmes de glissement diffèrent

a): CFC

A température ambiante, le glissement est caractérisé par un plan et une direction de densité maximale.

Plan {111} , direction <110>

A température élevée (supérieure à 400°C), on trouve le système {100} , <100> .

b): CC

On a les systèmes de glissement suivant:

{110}, <111> ; {112}, <111> ; {123}, <111>

[5]: Le traitement thermique de dégazage élimine la fragilité de la pièce chromée et lui redonne une résistance mécanique normale. Ce traitement s'effectue après chromage et avant les opérations mécaniques de fonction.

En général il consiste à chauffer la pièce à des températures de 150°C à 200°C, pendant une durée d'environ 2 heures, mais pouvant aller de 30 minutes à 4 heures, suivant l'importance de la section de la pièce.

On rencontre diverses variantes dans le mode de chauffage:

-Chauffage dans le vide

-Chauffage dans l'eau bouillante. Ce procédé est assez lent.

[6]:Épaisseur obtenue par coupe micrographique

-Cette méthode, quoique classique pour les dépôts électrolytiques, n'est guère utilisée pour les dépôts de Chrome. Elle ne peut pratiquement donner de précision acceptable que si l'épaisseur du dépôt de Chrome est supérieure à 2 microns .

-L'essai se pratique suivant le mode classique de sectionnement avec enrobage et polissage, pour le polissage mécanique de la section par abrasifs de plus en plus fins (papier abrasif 1000).

*****BIBLIOGRAPHIE*****

- 1-Paul MORISSET: "Chromage dur et décoratif"
(centre d'information du Chrome dur) (Paris 1961)
- 2-Bernhard GAIDA: "L'électroplastie en questions et réponses"
(La librairie de traitements de surface) (Paris 1983)
- 3-K.N STRAFFORD-P.K DATTA-C.G GOOGAN: "Coating and surface
treatment for corrosion and wear resistance"
(Ellis Horwood) (Chichester 1984)
- 4-Bernard BAUDELET: "Mise en forme des métaux et alliages"
(Centre national de la recherche scientifique) (Paris 1976)
- 5-Allen J.BARD-Larry FAULKNER: "Electrochimie: principes
méthodes et application" (Masson 1976)
- 6-Guy BACQUIS: "Pratique et conduite des bains d'électrolyse
Partie 1"
(La librairie de traitement de surface) (Paris 1984)
- 7- "Bulletin d'information"
(Centre d'information du Chrome dur) (Paris 1975-1977)
- 8-J.LICNON-R.MAILLEBUAU: "Métaux ferreux: fascicule 9"
(Delagrave 1983)
- 9-"Construction des diagrammes TTT et TRC d'un acier allié
au manganèse, de la production nationale"
(Thèse de magister par M.BOUABDALLAH: Juin 1986)
- 10-"Etude des carbures extraits d'un acier allié en
fonction des traitements thermiques"
(Mémoire de fin d'étude par A.DAIMELLAH: Juin 1983)
- 11-"Etude de la tenacité et de l'écaillage d'un dépôt
électrolytique de Chrome"
(Mémoire de fin d'étude par OULD BABA ALI: Juin 1990)
- 12-Téchniques de l'ingénieur M 1615 (chromage)
- 13-Téchniques de l'ingénieur M 585 (usure)
- 14-GALVANO-ORGANO-traitement de surface (Revue)

Numéro	582	Janvier 1988
"	588	Septembre 1988
"	587	Juin-Juillet 1988
"	593	1989
"	602	1990
"	603	1990

15-METAUX CORROSION - INDUSTRIE (Revue)
Numéro 709 Septembre 1984

16-"VEREINIGTE EDELSTAHLWERKE"
(Revue autrichienne sur les aciers (55WC20,50NC13))

