

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Technologie
Département : Génie mécanique
Domaine : science et technologie
Filière : Génie mécanique
Spécialité : Fabrication mécanique et productique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Etude de la réparation du rouleau Ø380 13CD 44 par la technique de rechargement par soudage et l'influence de rechargement à l'aide d'essais mécanique.

Présenté par :

➤ *BECHACHHIA Imene*

➤ *FALI Besma*

Encadrant : *MEKHILEF Slimane*

Dr

UBMA

Jury de Soutenance :

| | | | |
|----------------|----|------|-----------|
| LAOUAR. L | Pr | UBMA | Président |
| MEKHILEF .S | Dr | UBMA | Encadrant |
| BOUCHLEGHEM .A | Pr | UBMA | Examineur |

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

*Avant d'aborder le vif du sujet, nous tenons à remercier
vivement :*

*Nous remercions s'adresse en premier lieu à ALLAH le tout
puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a
accordées pendant toutes ces longues années.*

Nous remercions les plus sincères vont à :

*Dr Mekhilef Slimene pour ses conseils précieux et son suivis
qu'il nous prodigué durant tout notre travail*

*Un grand merci aux membres du jury pour avoir accepté de
juger notre projet de fin d'étude.*

*Nous remercions toutes les équipes des AMMS et surtout Mr.
Abla et Ms. Belkhire et Mr. Mohamed du LABO et toutes
les équipes de DRA.*

*Et grand merci à notre collègue Hichem Tazir pour sa
patience et son aide*

*En fin nous remercions nos familles et tout le personnel de
l'université d'Annaba, et surtout les employés de département
de génie mécanique.*

Imene bechachhia

Fali besma

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

*A mes chers parents à ma mère la meilleure femme
au monde entier*

Et mon père pour l'encouragement

*A mon frère Salah et ma sœur Israa qui me soutient
et reste toujours à mes côtés*

*A ma deuxième sœur qui la vie ma donnée ma
binôme Besma*

A mon bras droit ma meilleure amie Hadil

Merci d'être dans ma vie

A tous mes amies de classe

A tous ceux qui m'aiment

Imene

DEDICACE

Je dédie ce travail :

A celui qui a travaillé dur pour moi, m'a appris le sens de la lutte et m'a amené à ce que je suis, Mon cher

Père, que Dieu le perpétue pour moi

A celui qui m'a élevé et illuminé mon chemin et m'a aidé avec des prières et des supplications, à la personne la

plus précieuse de cette existence, Ma chère Mère

A mes frères et mes sœurs et leurs enfants

Puisse dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite

Et sans oublier ma binôme Imene, qui a été mon soutien et mon énergie positive

A tous mes amies

Et tous ceux qui m'aiment...

Et finalement, à tous mes amies de classe.

Besma

Sommaire :

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction Général

Chapitre I : étude bibliographique

| | |
|---|----|
| I.1. Généralité sur les Propriétés des métaux: | 1 |
| I.1.1. Fragilité:..... | 1 |
| I.1.2. Ductilité: | 1 |
| I.1.3. Ténacité:..... | 1 |
| I.1.4. Malléabilité:..... | 1 |
| I.1.5. Élasticité : | 1 |
| I.1.6. Dureté :..... | 1 |
| I.1.7. Résistance à l'abrasion : | 1 |
| I.1.8. Résistance à la corrosion : | 1 |
| I.1.9. Magnétisme : | 2 |
| I.2. L'usure : | 2 |
| I.2.3. Types d'usure :..... | 3 |
| I.2.3.1. Usure par frottement métal-métal :..... | 4 |
| I.2.3.2. Usure adhésive :..... | 4 |
| I.2.3.3. Usure par impact :..... | 5 |
| I.2.3.4. Usure par abrasion :..... | 6 |
| I.2.3.5. Usure par cavitation :..... | 7 |
| I.2.3.6. Usure par érosion :..... | 7 |
| I.2.3.7. Usure corrosive :..... | 8 |
| I.2.3.8. La fatigue thermique :..... | 9 |
| I.3. Le frottement :..... | 10 |
| I.3.1. Résistances passives | 11 |
| I.3.2. Échauffement :..... | 11 |
| I.3.3. Contacts non lubrifiés | 12 |
| I.3.4. Formation et rupture des jonctions d'adhésion : | 13 |
| I.4. La lubrification :..... | 15 |
| I.4.1. Le rôle principal du lubrifiant dans le laminage à froid : | 15 |
| I.4.1.1. Réduction du frottement : | 15 |

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|---|----|
| I.4.1.2. Refroidissement: | 16 |
| I.4.1.3. Emulsion : | 16 |
| I.4.1.4. Dispersion : | 16 |
| I.4.2. Formulation technologique des lubifiants du LAF : | 16 |
| I.5. décolletage : | 17 |
| I.6. Le rechargement : | 18 |
| I.6.1. Principales techniques de rechargement : | 19 |
| I.6.2. Le rechargement pour exploiter les pièces usées : | 19 |
| Chapitre II: étude bibliographique sur la technique de rechargement pqr soudage | |
| II.1. Introduction : | 21 |
| II.2. Généralité..... | 21 |
| II.2.1. Rechargement par soudage : | 21 |
| II.2.1.1. Le Rechargement Par Soudage Automatique : | 22 |
| II.2.1.2. Rechargement à l'arc (manuel) : | 22 |
| II.2. Le but de rechargement : | 23 |
| II.3. Procédés de soudage : | 23 |
| II.4. Termes relatifs au rechargement dur : | 24 |
| II.4.1. Reconstitution : | 24 |
| II.4.2. Sous couche ou reconstitution : | 25 |
| II.5. Les avantage du rechargement : | 25 |
| II.6. la méthode de rechargement de la pièce usée par soudage : | 26 |
| II.6.1. L'état de surface : | 26 |
| II.6.2. Contraintes thermiques : | 26 |
| II.6.3. Choix du métal d'apport : | 27 |
| II.6.4. Taux de dilution : | 30 |
| II.3. Réparation d'une pièce usée : | 30 |
| II.3.1. La préparation des surfaces : | 30 |
| III.3.2. Les modes de préparation : | 31 |
| III.3.3. Brossage de rechargement : | 31 |
| III.4. L'usinage : | 31 |
| III.5. Contrôle et finition | 32 |
| Chapitre III: Cas d'application de rechargement par soudage aux AMM | |
| III.1. Introduction | 33 |

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|---|----|
| III.2. Description et information sur la pièce: | 33 |
| III.3. Equipement de rechargement par soudage au niveau des AMM | 34 |
| III.3.1. Présentation de la machine (weldclad)..... | 34 |
| III.4. Les phases de réparation du Rouleau: II.3. Réparation d'une pièce usée : | 36 |
| Phase 1 : Découltage | 37 |
| Phase 2 : Rechargement | 39 |
| • les étapes de rechargement | 42 |
| Etape 1 : Rechargement avec le fil tendre :..... | 42 |
| Etape 2 : rechargement avec le fil dur : | 44 |
| • Traitement de détentionnement:..... | 45 |
| Phase 3 : Remise à la cote | 47 |
| Conclusion..... | 49 |
| Gamme d'usinage | 50 |
| Chapitre IV: Les essais mécanique | |
| IV. Introduction :..... | 59 |
| IV.1. Essai de dureté : | 59 |
| IV.1.1.Définition : | 59 |
| IV.1.2. Le but : | 59 |
| IV.1.3. Le principe :..... | 60 |
| IV.1.4. Déroulement de l'essai : | 61 |
| IV.1.4.1. Résultat de l'essai : | 62 |
| IV.1.4. 2. comparaison :..... | 62 |
| IV.2. Essai de traction : | 63 |
| IV.2.1. Définition : | 63 |
| IV.2.2. Le but : | 63 |
| IV.2.3. Principe:..... | 63 |
| IV.2.4. Diagramme contrainte-déformation en traction d'une éprouvette en métal | 64 |
| IV.2.5.Déroulement de l'essai : | 65 |
| IV.2.5.1.L'usinage des éprouvettes :..... | 65 |
| IV.2.5.2. Résultats et diagrammes après la rupture :..... | 72 |
| IV.2.5.3. L'influence de rechargement à l'aide d'essai de traction : | 74 |
| IV.3. Essai de résilience : | 74 |

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|---|----|
| IV.3.1. Définition d'essai de résilience : | 74 |
| IV.3.2. Le but de résilience : | 75 |
| IV.3.3. Principe: | 75 |
| a. Conditions de réalisation: | 75 |
| IV.3.4. Forme et dimensions de l'éprouvette de l'essai de résilience :..... | 75 |
| IV.3.5. L'application pratique de l'essai de résilience :..... | 77 |
| IV.3.6. Résultats d'essai : | 78 |
| a- À l'état brut :..... | 78 |
| b- Zone de métal d'apport :..... | 78 |
| IV.3.7. Comparaison : | 78 |
| IV.4. Conclusion : | 78 |
| IV.4. Conclusion générale | 79 |

Listes des figures :

| | |
|---|----|
| Figure I-1: illustration des trois principaux modes d'action de l'usure..... | 02 |
| Figure I-2 : Adhésion friction | 05 |
| Figure I-3 : les différents impacts..... | 06 |
| Figure I-4 : usure par cavitation..... | 07 |
| Figure I-5 : usure par érosion..... | 08 |
| Figure I-6 : usure par corrosion..... | 09 |
| Figure I-7 : les types d'usure..... | 10 |
| Figure I-8 : la force de frottement..... | 12 |
| Figure I-9 : les étapes de déformation élasto-plastique..... | 13 |
| Figure I-10 : la formation d'adhésion..... | 13 |
| Figure I-11 : la variation du recouvrement de la surface..... | 15 |
| Figure I-12 : Schématisation de la structure des microparticules d'émulsifiant..... | 16 |
| Figure I-13 : opération de décolletage..... | 18 |
| Figure II.1 : Rechargement d'une pièce usée..... | 22 |
| Figure II- 2 : reconstitution..... | 24 |
| Figure II- 3 : rechargement a la machine..... | 26 |
| Figure II-4 : le fil (WELD CLAD)..... | 27 |
| Figure III-1 : pièce usée..... | 33 |
| Figure III-2 : la machine (WELD CLAD)..... | 34 |
| Figure III-3 : machine de rechargement par soudage (WELD CLAD)..... | 34 |
| Figure III-4 : projection latérale de la machine..... | 35 |
| Figure III-5 : la pièce usée | 36 |
| Figure III-6 : montage mixte sur le tour à commande numérique 1M65..... | 37 |
| Figure III-7 : four électrique | 39 |
| Figure III-8 : montage de rouleaux sur la machine | 39 |
| Figure III-9 : le flux | 40 |
| Figure III-10 : le fil | 41 |
| Figure III-11 : préparation de la pièce au rechargement | 42 |
| Figure III-12 : rechargement | 42 |
| Figure III-13 : rechargement pièce $\varnothing 362$ mm avec fil weld clad 75..... | 43 |
| Figure III-14 : le rechargement avec fil tendre..... | 43 |
| Figure III-15 : fin de la première couche avec le fil tendre | 44 |
| Figure III-16 : rechargement pièce $\varnothing 386$ mm avec fil weldclad 3 | 44 |
| Figure III-17 : le rouleau après rechargement avec fil dur | 45 |
| Figure III-18 : mettre le rouleau au four | 45 |
| Figure III-19 : détentionnement de soudure | 46 |
| Figure III-20 : pièce après traitement | 46 |
| Figure III-21 : montage de rouleau sur tour | 47 |
| Figure III-22 : opération de chariotage | 47 |
| Figure III-23 : chanfreiner les bouts de surface de rechargement | 49 |
| Figure III-24 : pièce finie selon la demande de cliente..... | 49 |
| Figure IV-1 : démarrage de l'essai de dureté..... | 61 |
| Figure IV-2 : la pénétration de l'échantillon..... | 62 |

| | |
|--|----|
| Figure IV-3 : Courbe contrainte – déformation .Domaine élastique et domaine plastique..... | 65 |
| Figure IV-4 : courbe détailler contrainte – déplacement | 65 |
| FigureIV-5 : tôle d’acier..... | 66 |
| Figure IV-6 : pièce fini après rechargement..... | 66 |
| Figure IV-7 : la tôle après traitement | 67 |
| Figure IV-8 : l’opération de découpage..... | 67 |
| Figure IV-9 : les échantillonnes après découpage..... | 68 |
| Figure IV-10 : Dimensions de l’éprouvette..... | 68 |
| Figure IV-11 : usinage des éprouvettes..... | 69 |
| Figure IV-12 : les pièces finies..... | 69 |
| Figure IV-13 : réglage les paramètres de l’essai..... | 70 |
| Figure IV-14 : la fixation de l’éprouvette..... | 70 |
| Figure IV-15 : le graphe..... | 71 |
| Figure IV-16: L’éprouvette après la rupture..... | 71 |
| Figure IV-17 : le graphe de l’éprouvette rechargé | 72 |
| Figure IV-18 : le graphe de l’éprouvette brute | 73 |
| Figure IV-19 : démentions d’éprouvette avec entaille V..... | 76 |
| Figure IV-20: la forme des éprouvettes après usinage..... | 77 |
| Figure IV-21 : Les éprouvettes après l’essai..... | 77 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tab II-1 : rôle et caractéristique de flux | 29 |
| Tab III-1 : nomenclature des éléments constitutifs de la machine..... | 36 |
| Tab IV-1 : résultat d'essai de dureté..... | 62 |
| Tab IV-2 : les valeurs liées à la traction..... | 64 |
| Tab IV-3 : Caractéristiques des éprouvettes en traction..... | 73 |
| Tab IV-4 : résultat final de calcul | 74 |
| Tab IV-5 : résultat de l'essai sur l'éprouvette brute | 78 |
| Tab IV-6 : résultat de l'essai sur l'éprouvette rechargé..... | 78 |

Résumé :

De nombreuses usines ont été témoins de nombreux problèmes, et ils le sont encore à ce jour. Parmi ces problèmes figurent l'usure, le frottement, la détérioration de l'état des surfaces et le changement des propriétés des matériaux.

Dans cette mémoire, nous avons essayé de proposer une solution pour éviter ou réduire ces phénomènes, et pour augmenter la durée de vie des pièces et cette solution Il consiste en le processus de rechargement par soudage.

Pour arriver à cet objectif on a étudié l'usure,

Les efforts qui provoquent l'usure,

L'application de la technique de rechargement par soudage avec une gamme.

Au niveau des AMM nous prenons un rouleau Ø380 usée de LAF et le réparée par cette technique de rechargement et dans une autre partie on fait une étude sur l'influence de rechargement à l'aide des essais mécanique (dureté, traction et résilience).

ملخص :

شهدت العديد من المصانع العديد من المشاكل، وما زالوا يعانون منها حتى يومنا هذا. وتشمل هذه المشاكل التآكل والاحتكاك وتدهور حالة السطح وتغير خواص المواد.

في هذه المذاكرة ، حاولنا اقتراح حل لتجنب أو للتقليل هذه الظواهر ، ولزيادة عمر الأجزاء وهذا الحل يتكون من عملية التصلب باللحام.

لتحقيق هذا الهدف ، درسنا التآكل ،

القوى التي تسبب التآكل ،

تطبيق تقنية تسطيح اللحام .

على مستوى الورشات المغاربية الميكانيكية ناخذ بكرة بالية و متآكلة بقطر (380Ø) من ورشات الدرفلة ونصلحها باستخدام تقنية إعادة التسطيح هذه ، وفي جزء آخر نقوم بدراسة تأثير التسطيح باستخدام الاختبارات الميكانيكية (الصلابة والجر والمرونة).

Introduction général :

Les rouleaux et les cylindre ce sont des outils qui ont un rôle Indispensable dans le processus de laminage. Les usures que subissent ces outils (cylindre, rouleaux) dans les Lignes de décapage et tandem, influe directement sur la qualité du produit Laminés lorsque celles-ci dépassent la tolérance mini. La dégradation au niveau du contact dynamique cylindre tôle (métal-métal) est un phénomène très complexe l'entraînement de la tôle et Sa déformation plastique sous l'effet du frottement par deux cylindre en Mouvement et qui se déforment eux même élastiquement. L'usure, la lubrification, le refroidissement, les vibrations et la Résistance du matériau des cylindres font partie de la complexité de ce Phénomène. Ces usures nous donnent les possibilités de réfléchir pour faire les Calculs des efforts afin arrivé à une solution qui nous permettra de Diminuer le délai de contact et en parallèle augmenter la qualité et aussi Augmenter la productivité car l'usure prématuré ainsi que les pertes en Cylindres génèrent des couts importants.

Il est à noter qu'un cylindre en a acier forgé coûte plus de deux (02) million de dinars, La détection anticipée et l'élimination des causes possibles, contribuent à concrétiser des gains pour l'entreprise

Dans ce contexte durant notre stage il nous a été proposé de contribuer à élaborer une gamme opératoire pour la rénovation du rouleau 380 ϕ de la machine de traction de coulée continue par la technique de rechargement par soudage, ce qui nous a conduit à proposer les étapes suivantes :

- étude bibliographique sur l'usure.
- étude bibliographique sur les techniques de rechargement par soudage.
- Etude de cas aux AMM.

Dans une autre partie nous avons étudié les essais mécaniques afin de conclure l'influence de rechargement sur les essais de dureté, traction et résilience.

Cependant, la déformation d'une pièce dépend de la géométrie de la pièce et de la manière dont sont exercés les efforts extérieurs sur cette pièce. Il faut donc normaliser les essais. Des normes définissent donc :

- la forme de la pièce d'essai dont on teste le matériau, on parle alors d'éprouvette normalisée.
- Comment sont exercés les efforts sur l'éprouvette, on parle alors d'essai normalisé.
- La préparation de cette éprouvette.
- Les machines d'essai et leur étalonnage.
- Les techniques expérimentales mises en œuvre.
- Le dépouillement et la présentation des données.



CHAPITRE I :
Etude bibliographique

I.1. Généralité sur les Propriétés des métaux:

Les métaux se distinguent en fonction de différentes caractéristiques qui leur confèrent des propriétés spécifiques. Celles-ci déterminent non seulement leur soudabilité, mais aussi la fonction du métal dans un assemblage.

I.1.1. Fragilité:

La fragilité désigne la caractéristique d'un métal qui se brise facilement sous l'effet d'un choc ou d'une déformation. Il se déforme peu ou pas du tout, et se casse facilement.

I.1.2. Ductilité:

À l'opposé, la ductilité représente la capacité d'un métal à se déformer sans se rompre. Il peut être étiré, allongé ou soumis à des forces de torsion. Les matériaux ductiles sont difficiles à se casser parce que les fissures ou les défauts créés par une déformation se propagent difficilement.

I.1.3. Ténacité:

La ténacité correspond à la capacité des matériaux à résister aux chocs sans se briser ni s'écailler. Les marteaux et les équipements utilisés pour déformer ou couper des plaques d'acier (matrices, poinçons, etc.) sont constitués de matériaux de haute ténacité.

I.1.4. Malléabilité:

La malléabilité est une caractéristique qui permet au métal de se laisser façonner. Elle réfère à la résistance relative du métal soumis à des forces de compression, comme le forgeage ou le laminage. Un exemple de matériel extrêmement malléable, quoique non soudable, est la pâte à modeler. Notons que la malléabilité d'un matériau croît avec l'augmentation de la température.

I.1.5. Élasticité :

L'élasticité désigne la capacité d'un matériel à reprendre sa forme originale après avoir subi une déformation. C'est le cas typique d'un ressort qu'on étire puis qu'on relâche.

I.1.6. Dureté :

La dureté est la capacité d'un corps à résister à la pénétration d'un corps plus dur que lui. Elle se caractérise aussi par sa résistance aux rayures. Le diamant constitue le matériau le plus dur. Les aciers à haute teneur en carbone sont durs, les aciers doux, un peu moins, et l'aluminium est de faible dureté.

I.1.7. Résistance à l'abrasion :

Les matériaux durs présentent aussi une bonne résistance à l'abrasion, c'est-à-dire qu'ils ne s'usent pas facilement par frottement. En termes pratiques, ils sont plus difficiles à meuler.

I.1.8. Résistance à la corrosion :

La résistance à la corrosion désigne la capacité d'un matériau à ne pas se dégrader sous l'effet de la combinaison chimique de l'oxygène et du métal. Un métal ferreux résistant à la corrosion ne rouille pas ; c'est le cas des aciers inoxydables et de certains autres aciers d'alliage.

I.1.9. Magnétisme :

Le magnétisme est une propriété caractéristique des métaux ferreux, qui les rend sensibles aux aimants [1].

I.2. L'usure :

En technologie, on différencie entre l'usure morale et l'usure physique. On caractérise les machines, appareils, équipements, etc., comme usure morale, si elles sont posées extérieurement des ateliers de fabrication, elles peuvent être encore fonctionnelles à cause :

- Du développement technique, et par suite, elles seront remplacées.
- De manque de productivité.
- Par manque de maintenance technique.

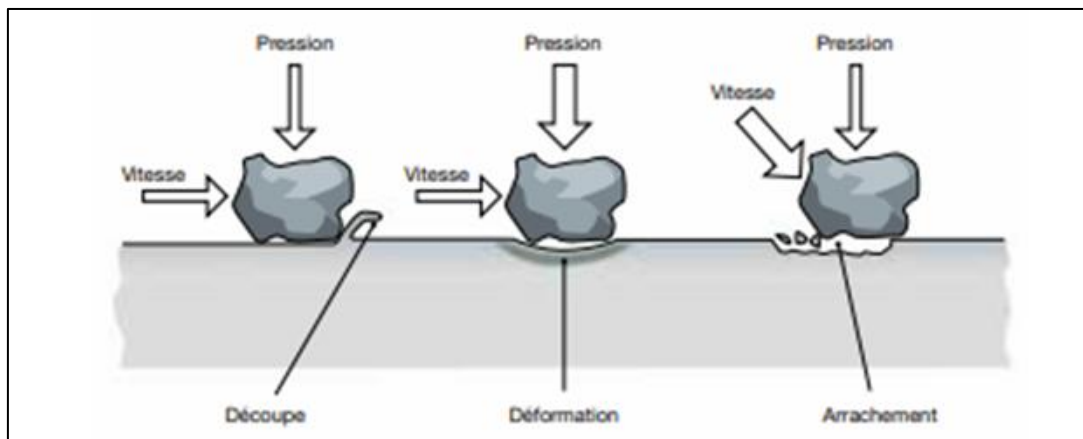


Figure I-1: Illustration des trois principaux modes d'action de l'usure

L'usure physique dans le sens technique, est définie comme un processus caractérisé par une attaque mécanique, en première ligne par un frottement conduisant à une perte progressive de matière en surface d'un corps solide par séparation de petites particules, donc c'est un changement de forme non voulue de la surface.

L'usure peut avoir lieu dans un mouvement relatif entre un objet et son milieu gazeux liquide ou solide. Le plus souvent l'usure est accompagnée par des phénomènes de corrosion où ces derniers ne sont pas clairs à séparer de l'usure. Même les connaissances et résultats obtenus pour les phénomènes d'usure n'ont pas une validité générale pour simplifier le danger de ce phénomène.

Les pertes occasionnées par l'usure dans l'industrie mondiale s'élèvent annuellement à plusieurs millions de tonnes de métaux. A cause de l'usure, beaucoup de machines et équipements sont remplacés, le plus souvent, avec d'énormes dépenses. Par exemple, aux Etats Unis, on estime ces pertes à 2,3 kg d'acier pour chaque tonne de minerais traitée.

Il n'est pas possible d'indiquer par l'intermédiaire d'une certaine valeur caractéristique la tenue à l'usure d'un métal vis-à-vis des différentes contraintes ou sollicitations d'usure.

L'utilisation économique d'un métal est définie seulement par les différents essais d'usure et pour des sollicitations bien déterminées. Une analyse du processus indique que la tenue à l'usure ou le phénomène d'usure sont influencés par :

- Les métaux accouplés.
- La rugosité des couches limites (surface, lubrification).
- Le type de mouvement (glissement, roulement, écoulement, chocs, etc.).
- La vitesse du mouvement.
- L'enlèvement des particules solides.

Les principaux types d'usure sont classés d'après les phases de contact, les interactions mécaniques et l'importance relative des effets mécaniques et chimiques.

On distingue deux catégories principales d'usure :

- L'usure due aux frottements entre corps solides.
- L'usure due aux impacts et aux fluides (érosion)

I.2.3. Types d'usure :

Il y a plusieurs types d'usures qui agissent seuls ou en combinaison. Le métal d'apport doit donc être sélectionné minutieusement pour obtenir des caractéristiques appropriées afin de garantir l'efficacité et la sécurité.

Un alliage de rechargement doit être considéré comme un compromis pour chaque type d'usure. Par exemple : pendant la vérification d'une pièce métallique usée, on constate que le facteur d'usure prédominant est l'abrasion, le deuxième facteur étant les chocs légers. En conséquence, le métal d'apport dur sélectionné doit avoir une très bonne résistance à l'abrasion et un peu de résistance aux chocs.

Pour simplifier l'analyse des facteurs d'usure. On peut les classer en plusieurs catégories différentes.

- Usure métal sur métal, usure par friction ou adhérence
- Chocs
- L'abrasion par particules minérales fines
- Abrasion+ pression usure par moulage
- Usure aux températures élevées, chaleur, oxydation, corrosion

Par l'usure, on entend en général la dégradation et la perte de fonctionnalité des surfaces ou des pièces. Ceci fait suite à l'enlèvement et la perte du métal à partir de la surface des pièces exposées aux différents types de charges et/ou milieux. Le phénomène affecte généralement l'ensemble des composants des équipements industriels avant de les mettre hors usage après la perte, avec le temps, de leurs côtes fonctionnelles et de leurs propriétés de surface.

Dépendant de la nature du contact et des contraintes en service, et compte tenu aussi du milieu environnant, les pièces mécaniques s'usent selon différentes formes et à des degrés divers. En général, on compte plus de dix formes ou types d'usure dont principalement : le

frottement ou le glissement métal-métal, l'usure par adhésion, l'impact, l'abrasion, l'érosion, la cavitation, la corrosion, le fretting, la fatigue, la fatigue-corrosion, etc.

Étant donné la complexité des conditions et de l'environnement d'exploitation des pièces et des machines, il n'est pas rare que plusieurs types d'usure surviennent conjointement tels que l'usure par abrasion-impact, corrosion-abrasion, érosion-cavitation, fatigue-fretting, etc.

Une brève description sur les principales formes d'usure est présentée ci-dessous :

I.2.3.1. Usure par frottement métal-métal :

L'usure dans le cas de glissement ou de frottement métal-métal des couples métalliques dépend de plusieurs facteurs dont le rapport des duretés de surfaces des deux parties antagonistes, l'amplitude de leur mouvement réciproque, la pression de contact, la compatibilité chimique, la température, les conditions de lubrification, etc. Cette forme d'usure touche la plupart des systèmes de contact mécaniques en mouvement. L'évacuation des débris d'usure prévient également l'abrasion à trois corps de se manifester dans le contact, ce qui peut limiter amplement la sévérité de l'usure du système tribologique.

Afin de prévenir ou de limiter l'intensité de l'usure, il est recommandé que les surfaces de contact ne doivent pas être du même type de métal ni du même ordre de grandeur de dureté. De plus, l'amplitude du mouvement être tel que les débris d'usure peuvent s'évacuer facilement de l'interface de contact. Les lubrifiants utilisés doivent aussi avoir une grande viscosité particulièrement lorsque les pressions de contacts sont très élevées.

I.2.3.2. Usure adhésive :

L'usure par adhésion décrit le phénomène d'endommagement de deux surfaces glissant l'une sur l'autre. Même lorsque le fini des deux surfaces nous apparaît lisse, il est en fait constitué de plusieurs aspérités microscopiques, et lorsque ces dernières sont mises en contact, la pression peut localement augmenter suffisamment pour dépasser la limite élastique de l'alliage. Dans ce cas, il y a déformation plastique des aspérités jusqu'à ce que la surface de contact devienne assez grande pour supporter la charge. Lorsque les aspérités entrent en contact et se déforment, il peut se produire un phénomène de soudage à froid des jonctions d'aspérités (voir figure rechargement 3). La rupture de ces ponts entre les aspérités entraîne un endommagement qui sera plus prononcé si les alliages en contact sont très ductiles, car, pour ces matériaux, les aspérités tendent à se déformer plus facilement, ce qui augmente les contacts intimes entre elles et favorise ainsi les risques de soudage à froid puis la rupture.

Comme mesure de prévention, il est recommandé de mettre en œuvre des matériaux ou surfaces de contact incompatibles chimiquement, de réduire la charge de contact et aussi d'utiliser des lubrifiants de grande viscosité. En effet, la modification des surfaces par des traitements thermo-chimique comme la nitruration ou la déposition des couches de rechargements durs à base d'alliages de cobalt ou en alliages inoxydables de type (2xx) offrent une bonne protection contre l'adhésion.

Lorsque deux surfaces frottent l'une sur l'autre sans lubrification, la chaleur générée aux jonctions d'aspérités entraîne souvent l'oxydation de la surface de contact. Le film d'oxyde ainsi formé peut jouer un rôle très différent selon la nature de l'oxyde. En effet, la rupture de

ce film génère des débris qui peuvent agir comme lubrifiant ou comme abrasif selon les caractéristiques de l'oxyde formé. Lorsque l'oxyde est dur et qu'il reste emprisonné entre les deux surfaces en contact, le phénomène d'usure par adhésion se transforme plutôt en usure par abrasion à trois corps où les débris d'oxyde agissent comme un abrasif.

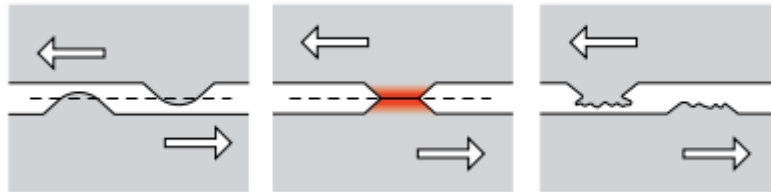


Figure I-2 : Adhésion friction

La sévérité du phénomène d'usure par adhésion dépend principalement de la force de contact entre les surfaces en mouvement. Il n'y a pas de lien direct entre le coefficient de frottement d'un alliage et le taux d'usure des surfaces. En effet, deux matériaux ayant une bonne résistance à l'usure lorsqu'en contact avec eux-mêmes peuvent avoir une résistance à l'usure inférieure lorsqu'ils sont en contact l'un avec l'autre et à l'inverse est possible, deux matériaux avec une faible résistance par rapport à eux-mêmes peuvent avoir une résistance supérieure lorsqu'en contact l'un avec l'autre.

Il est possible de subdiviser la famille des phénomènes d'usure par adhésion en diverses sous-classes. Il y a par exemple, l'éraillure « galling » qui est un mode d'usure par adhésion où des rainures macroscopiques peuvent être observées sur les surfaces en frottement. Ces rainures se forment quand la charge qui s'exerce sur les aspérités de surface est très élevée. Cela entraîne une déformation plastique importante des surfaces qui prend la forme de rainures orientées parallèlement à la direction du mouvement de glissement des surfaces. Lorsque le phénomène d'éraillure s'aggrave, la surface de contact et la charge appliquée localement deviennent inadéquates pour permettre le glissement. Il y a alors un collage des deux surfaces ou le grippage.

Pour résister à l'usure par adhésion il faut généralement que les matériaux soient durs en surface ou aptes au durcissement par écrouissage. De même, il faut opter pour des matériaux qui ne présentent pas de grande compatibilité chimique les uns avec les autres.

II.2.3.3. Usure par impact :

L'usure par impact ou par chocs est causée par des percussions dynamiques et répétitives par le corps d'une surface dure sur une surface moins dure. Cette forme d'usure affecte plusieurs types d'équipements et d'organes mécaniques : équipements miniers et de forage (mâchoires concasseurs, pelles mécaniques), pièces de moteurs tels que les soupapes, les cames, etc.

La résistance à l'impact du matériau dépend intrinsèquement de ses propriétés d'absorption du choc et de sa tenue à la fatigue. Les matériaux utilisés doivent avoir de bonnes propriétés de résistance mécanique associées à une grande ténacité pour l'absorption de l'énergie de chocs.

I.2.3.4. Usure par abrasion :

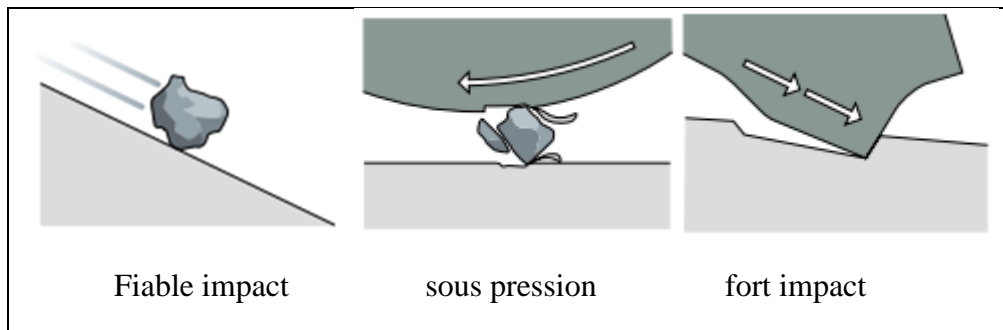


Figure I-3 : les différents impacts

L'usure par abrasion se définit comme l'endommagement d'une surface causé par le mouvement de particules ou de protubérances dures en contact avec celle-ci. C'est le niveau de pression exercée par les particules ou les protubérances sur la surface qui permet de classifier l'abrasion à faible ou à forte charge. L'usure causée par l'action d'un agent abrasif qui glisse sur une surface sera généralement plus importante si ce dernier est plus dur que la surface sur laquelle il glisse. Par ailleurs, la forme et la taille de l'abrasif ont aussi un effet sur la sévérité de l'usure par abrasion.

On distingue l'abrasion à deux corps et l'abrasion à trois corps. Le premier type se produit lorsque le matériau abrasif glisse le long de la surface tandis que le second se manifeste lorsque l'abrasif reste piégé entre les deux surfaces d'usure. Le volume d'usure est proportionnel à la nature et à la géométrie de l'abrasif, la pression de contact et la dureté de surface. Une grande variété de pièces et d'équipements sont constamment exposés à l'abrasion telle que les broyeurs de ciment, les équipements d'excavation, les pompes de dragage, les dameurs de pistes, les machines agricoles, etc.

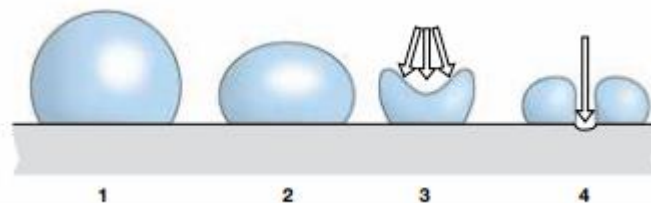
Dans le domaine de l'usure, le terme abrasion est souvent galvaudé en l'utilisant pour identifier tous les phénomènes d'usure mécanique. Bien que cela soit faux, il est cependant vrai que l'abrasion peut intervenir dans les autres mécanismes d'usure. Par exemple, l'usure par adhésion ou par frottement peut se transformer en usure par abrasion à trois corps lorsque les débris de frottement restent emprisonnés entre les surfaces en glissement. L'usure par abrasion à trois corps est classifiée comme une abrasion sous forte charge. L'usure par impact peut aussi faire intervenir des mécanismes d'abrasion. Ce phénomène s'appelle le gougeage. Ce type d'abrasion sous forte charge est souvent illustré par l'endommagement que cause une grosse roche sur le godet d'une pelle mécanique. Lorsque la pelle soulève la roche et que cette dernière glisse au fond du godet, le poids élevé de la roche fait subir des impacts importants à la surface du godet. De plus, ces impacts roche-godet génèrent de l'abrasion car les arêtes de la roche viennent labourer la surface, ce qui laisse de larges rainures sur celle-ci. La figure rechargement 1 illustre les principaux types d'abrasion rencontrés dans les applications industrielles.

La prévention de l'abrasion requiert, entre autres, le choix de matériaux durs ou des bases (ex. aciers ordinaires, etc.) avec des rechargements durs en surface tels que les fontes blanches à haut chrome, aciers à outils, etc.

I.2.3.5. Usure par cavitation :

La cavitation se manifeste par l'effet de l'implosion localisées de bulles d'air à ou près de la surface exposée à l'écoulement d'un fluide. Le phénomène survient soit en présence d'un jet de fluide sur la surface, soit lorsqu'il y a variation de pression dans l'écoulement du liquide (ex. changements brusques dans la direction d'écoulement ou du diamètre des conduites). Ce phénomène est très répandu dans les valves, pompes centrifuge, aubes de turbines ou de propulseurs etc.

Comme moyen de prévention de la cavitation, on cite les techniques suivantes : utilisation de matériaux durs, dépôts de rechargements durs et tenace à la surface d'usure, réduction de la pression d'écoulement du fluide, évitement de changements brusque dans les directions d'écoulement ou dans les sections de conduites.



FigureI-4 : usure par cavitation

Lorsqu'un liquide turbulent circule dans une conduite, les différences de pression dans le liquide amènent la formation de bulles instables qui ont tendance à imploser (« exploser vers l'intérieur ») sur la paroi de la conduite. L'implosion de la bulle se traduit par un mouvement du liquide pour venir combler le volume de la goutte, ce qui génère une contrainte locale de compression très élevée. Cette contrainte est suffisante pour déformer plastiquement le métal et déloger une couche de matériau en surface.

I.2.3.6. Usure par érosion :

L'usure par érosion est causée par l'impact d'un fluide en écoulement sur une surface. Le fluide peut être gazeux ou liquide et l'importance de l'usure augmente avec la présence de particules solides en suspension dans le fluide. Selon la nature du fluide, les phénomènes d'érosion peuvent être subdivisés en deux familles : l'érosion sèche et l'érosion humide. L'érosion est dite sèche lorsque les particules érosives sont mises en mouvement par un gaz et l'érosion est dite humide lorsqu'elle est causée par l'impact d'un liquide ou d'une pulpe (mélange de liquide et de particules) sur une surface. Pour ces deux types d'érosion, la nature chimique du gaz ou du liquide peut amplifier fortement l'usure par l'action synergique de la corrosion ou de l'oxydation si la température est suffisamment élevée.

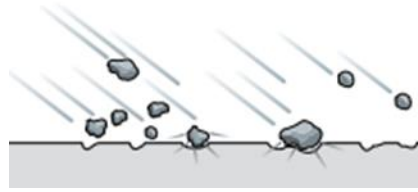


Figure I-5 : usure par érosion

Les roues de turbine hydraulique et les pompes comptent parmi tant d'autres exemples sujets à ce type d'usure. La possibilité du changement de certains paramètres opératoires comme l'angle ou la vitesse d'impact, ou sinon, l'utilisation de dépôts de surface dure et tenaces contribuent à la prévention de cette forme d'usure.

Il est utile de savoir que les mécanismes d'usure par érosion diffèrent beaucoup selon l'angle d'impact des particules (voir figure rechargement 2). Lorsque l'impact se fait à angle rasant, l'usure progresse par micro-coupage et arrachement alors que lorsque l'impact se fait à angle d'incidence plus élevé, l'usure progresse davantage par fatigue, c'est-à-dire par la propagation de fissures sous la surface d'impact. Pour résister à l'érosion à fort angle d'impact, il est préférable de choisir un matériau tenace alors que pour résister à l'érosion à faible angle d'incidence, nous utilisons des matériaux très durs.

L'érosion sèche et l'abrasion sont deux phénomènes qui sont souvent confondus. Pour différencier les deux phénomènes, il faut savoir que la sévérité de l'usure par érosion sèche dépend de l'énergie cinétique des particules érosives. La masse et la vitesse des particules sont donc les facteurs principaux à considérer pour ce type d'usure. En abrasion, la vitesse des particules étant normalement faible, le niveau d'endommagement dépend plutôt de la charge appliquée sur les particules. En abrasion comme en érosion, la taille, la forme et la dureté des particules sont des facteurs qui ont un effet important sur le taux d'usure.

I.2.3.7. Usure corrosive :

La corrosion altère les surfaces et augmente l'usure en présence de milieux aqueux ou atmosphères agressifs (gaz, acides, solutions alcalines, etc.). La corrosion n'a presque pas d'effet lorsqu'il s'agit de contacts sous-vide ou en atmosphère inerte.

Les secteurs des mines, de l'industrie navale et de l'industrie chimique sont parmi les plus affectés par l'usure corrosive.



Figure I-6 : usure par corrosion

L'utilisation de matériaux ou de couches de surfaces offrant une bonne combinaison de résistance à l'usure et à la corrosion constitue la meilleure approche pour prévenir l'usure corrosive pour chaque environnement de contact. Parmi les matériaux, on peut citer les aciers inoxydables martensitiques, les alliages de cobalt, les alliages de nickel, etc.).

I.2.3.8. La fatigue thermique :

La fatigue thermique est une sollicitation thermomécanique dans laquelle une pièce est soumise à d'importantes variations, cycliques et relativement rapides, de température. De nombreuses pièces (disques et tambours de frein, pièces de moteur d'automobile ou d'avion, ...) et outillages de travail à chaud (forge, fonderie, verrerie, lingotières, ...) sont ainsi soumis à de la fatigue thermique. En général, la surface de la pièce est la plus sollicitée avec les gradients thermiques les plus importants. La fatigue thermique conduit à des sollicitations de traction-compression alternées qui génèrent de la dégradation par faïençage (réseau de fissurations qui se propagent en surface, mais aussi en profondeur).

$$\sigma = a \cdot \frac{\alpha \cdot E}{1 - \nu} \Delta T$$

E : module d'élasticité du matériau

ν : coefficient de poisson

α : Coefficient de dilatation

A : facteur de forme et bridage

La sollicitation en fatigue thermique sera d'autant plus importante que les gradients thermiques seront sévères (et donc que la conduction de la chaleur sera lente vers les zones plus froides) et que les déformations seront importantes pour une élévation de température donnée. La tenue en fatigue thermique d'un matériau sera donc d'autant meilleure que sa conductivité thermique λ sera élevée et que le coefficient de dilatation thermique α sera faible. Les performances d'un matériau en tenue à la fatigue thermique peuvent donc en première approche être considérées comme proportionnelles au rapport $\lambda/(E \times \alpha)$, E étant le module d'Young du matériau. Le design de la pièce aura également une influence déterminante sur la durée de vie, en limitant les gradients thermiques et les concentrations de contraintes locales par des épaisseurs homogènes. [2]

Exemple : Outils de forge, rouleau de laminage à chaud.

Tableau de synthèse :

| Type | Schéma | Aspect d'endommagement | Taux de fréquence |
|----------------------------------|--------|---|-------------------|
| Abrasion modérée / faible impact | | Découpage Micro usinage Rayures | 60% |
| Abrasion forte / sous pression | | Déformation Arrachement copeaux | |
| Abrasion sévère / fort impact | | Rayures Arrachement de gros copeaux Déformation | |
| Adhésion / Friction | | Transfert de matière | 15% |
| Érosion | | Micro usinage Éclat | 7% |
| Cavitation | | Perte de matière | 3% |
| Fatigue thermique | | Fissure par faïençage | 10% |
| Fatigue de contact / Fretting | | Piqûres - Écaillage Déformation - Empreintes | |
| Corrosion | | - | 5% |

Figure I-7 : les types d'usure

I.3. Le frottement :

Le roulement repose fortement sur la friction et Lubrification pour le contrôle des processus et la qualité des produits. Produit fini. Etudes réalisées (Pechiney et Usinor) Deux domaines principaux de lubrification : Mécanique de la formation la formation de films lubrifiants entre les surfaces déformables rugueuses et la formation de films restreints, Beaucoup de choses, en défilement, donc ça se résume à la vitesse Lubrification et frottement correspondant. Le frottement doit être maintenu faible, sinon la force et le couple augmenter, mais pas trop faible si l'on veut éviter le glissement (insuffisant Papier à cylindre) : N'oubliez pas, Le frottement qui entraîne cette opération est essentiel pour le roulement. Le frottement doit également être aussi constant que possible. Toute la théorie du roulement que vous devez savoir Friction de mise au point de contact.

I.3.1. Résistances passives :

Le frottement et l'adhérence engendrent des efforts mécaniques (des forces et des couples) dont la principale caractéristique est de contrarier systématiquement ou d'empêcher les mouvements relatifs et les déformations des objets. Ces efforts prennent naissance non

seulement au niveau des surfaces en contact, mais aussi au sein même des matériaux solides ou fluides qui se déplacent ou se déforment. Le frottement n'est pas un problème à deux dimensions mais bel et bien à trois dimensions, il concerne des volumes et pas seulement des surfaces comme on a trop tendance à le croire !

Sans que nous y prêtions attention, nos gestes quotidiens intègrent les données du frottement. Quand nous saisissons un verre de bière, le volant d'une automobile ou le manche d'un outil, nous « réglons » instinctivement la contraction de nos muscles. Lorsque les forces de contact prennent, à notre insu, des valeurs inhabituelles, les accidents surviennent. Tel objet fragile devenu glissant nous échappe des mains et se brise sur le sol. Nos pieds glissent soudain sur une plaque de verglas, sur un sol de bois mouillé ou sur quelque amas nauséabond de matière molle traîtreusement déposé sur le trottoir (non, ce n'est pas une faute de frappe) que nous parcourons. Les glissades intempestives dans les salles de bain, lieux de tous les dangers, sont la cause de 90 % des bras cassés : chacun en déduira ce qu'il voudra ... [3]

I.3.2. Échauffement :

L'énergie mécanique perdue par frottement, transformée en chaleur, est généralement irrécupérable et parfois très difficile à évacuer. Les calories produites par le frottement d'un crayon sur une feuille de papier n'empêchent personne de dormir, mais il n'en est pas de même lors de la conception des freins d'un train à grande vitesse ou a fortiori d'un avion de ligne. Les aspects thermiques du frottement peuvent avoir des conséquences inattendues.

Cependant, cette connaissance pose de nombreux problèmes car, Non seulement il semble que ce coefficient de frottement ne Constante le long de l'arc de contact, mais sinon elle varie avec :

- Lubrifiant utilisé.
- Vitesse de roulement.
- Pression.
- Températures des cylindres, des plaques et des lubrifiants.
- Etat de surface des cylindres et plaques.
- Propriétés du matériau laminé.

La plupart des théories reposent sur les hypothèses suivantes : Le coefficient de frottement μ reste constant le long de l'arc de contact, (Généralement choisir de faire la force de roulement L'effort calculé correspond à l'effort mesuré.

I.3.3. Contacts non lubrifiés

Pour faire glisser un solide sur une surface plane, il faut appliquer une force égale ou supérieure à la force de frottement F qui agit parallèlement à la surface dans le sens opposé au mouvement, (fig I-8).

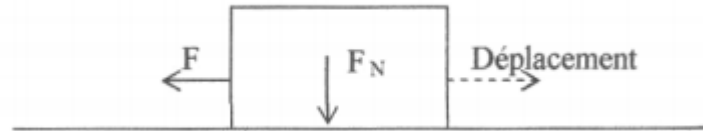


Figure I-8 : la force de frottement

Son intensité est proportionnelle à la force normale F_N , appelée aussi charge, qui agit perpendiculairement à la surface de contact. Le facteur de proportionnalité f porte le nom de coefficient de frottement.

$$F = f \cdot F_N$$

Le coefficient de frottement est une propriété du système, formant le contact, sa valeur dépend entre autres de :

- Facteurs mécaniques : force normale, vitesse de déplacement, viscosité du lubrifiant.
- Facteurs chimiques : humidité, oxydants, additifs.
- Propriétés des matériaux : dureté, plasticité, énergie de surface.

Dans les systèmes à mouvement, on cherche le plus souvent à minimiser les frottements, pour cela, on utilise normalement des lubrifiants. Ces derniers permettent de réduire le coefficient de frottement jusqu'à des valeurs inférieures à 0,1.

De nombreuses situations requièrent, cependant, un coefficient de frottement élevé, par

| Contact | Milieu | F (dynamique) |
|---------------|-------------------|---------------|
| Métal - métal | Vide | 0,1 |
| | Air | 0,2 à 1 |
| | Huile lubrifiante | 0,02 à 0,1 |

Exemple le contact entre un pneu de voiture et le sol. Dans ce cas, l'usure doit rester faible, malgré un coefficient de frottement élevé. Le tableau ci-dessous indique quelques valeurs typiques du coefficient de frottement suivant les matériaux en contact et la nature du milieu.

Trois phénomènes physiques bien distincts, provoquent des pertes d'énergie lors du frottement entre deux solides rugueux et influencent aussi sur la valeur du coefficient de frottement.

- Formation et rupture des jonctions d'adhésion aux lieux de contact (fig. I-9.a).
- Déformation élasto-plastique des aspérités (fig. I-9.b).
- Déplacement de matière par labourage (fig. I-9. c).

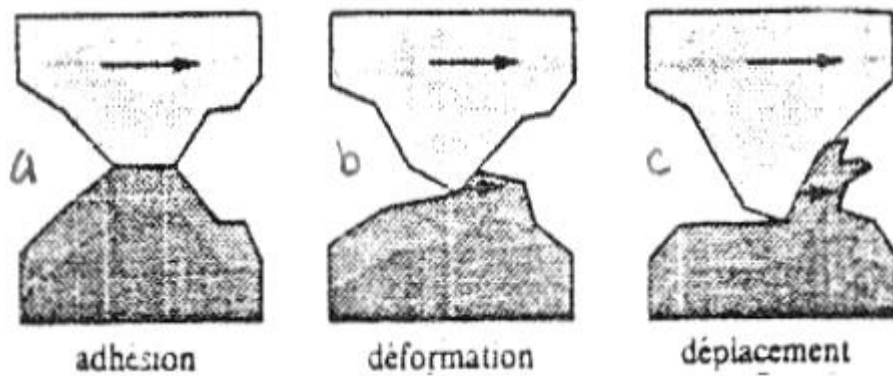


Figure I-9 : les étapes de déformation élasto-plastique

I.3.4. Formation et rupture des jonctions d'adhésion :

La figure (I-10) représente le contact entre deux surfaces rugueuses de métaux ductiles.

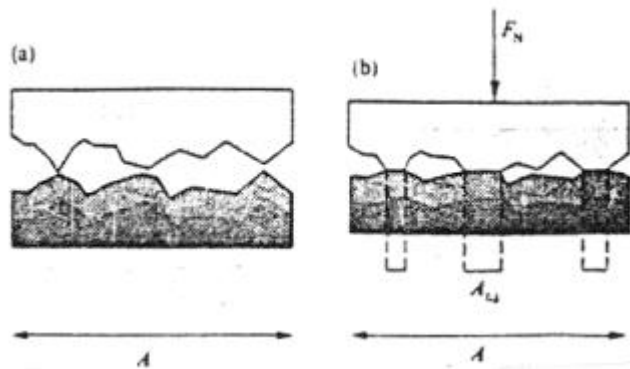


Figure I-10 : la formation d'adhésion

En raison de la rugosité, seules les aspérités se touchent. La vraie surface de contact A est égale à la somme de toutes les surfaces de contact entre les aspérités.

$$A_r = \sum A_{rj}$$

Généralement A_i est inférieure à la surface de contact géométrique A . Sa valeur dépend de la force normale F_N et de la dureté du matériau. La pression agissant sur les aspérités en contact vaut :

$$P_{asp} = F_N / A_r$$

Si P_{asp} , dépasse la limite élastique du matériau, les aspérités subissent une déformation plastique et la surface réelle de contact augmente. Par conséquent, la pression agissant sur les aspérités diminue jusqu'à ce qu'elle atteigne finalement, à l'équilibre, une valeur égale à la limite élastique du matériau. Un essai de densité correspond à un mécanisme similaire.

L'application d'une force normale connue induit une empreinte dont la taille (surface réelle de contact) caractérise la dureté H du matériau.

$$H = F_N / A_r$$

Lors du glissement relatif des deux surfaces, des jonctions se soudent et se défont constamment aux aspérités. Ces jonctions ont une résistance τ au cisaillement.

$$\tau = F/A_r$$

A partir des équations :

$$F = f \cdot F_N \quad ; \quad H = F_N/A_r \quad ; \quad A_r = F/\tau$$

On obtient une nouvelle expression pour le coefficient de frottement :

$$A_r = \frac{FN}{H} = \frac{F}{\tau} = \frac{\tau}{H} \Rightarrow \frac{F}{FN} = \frac{FN \cdot f}{FN} \Rightarrow f = \frac{\tau}{H} = \frac{F}{FN}$$

τ : Résistance au cisaillement du moins dur des deux matériaux formant la jonction.

H : sa dureté.

Ce modèle de frottement entre deux surfaces métalliques non lubrifiées suppose que le matériau le plus dur ne se déforme pas. Il admet également que la rupture de la jonction ne se produit pas au lieu de contact mais dans le matériau le moins dur. Cette théorie classique explique que le coefficient de frottement varie peu d'un métal à l'autre et ne dépend que du rapport τ / H et non pas des quantités prises séparément, or ce rapport ne varie que peu entre différents métaux.

Cependant d'autres observations ne concordent pas avec la théorie décrite ci-dessus. Tout d'abord l'expression τ / H donne une valeur de f trop faible. En effet la dureté H des métaux vaut approximativement le triple de la limite en traction uni-axiale ($H = 3 \sigma_c$) et la résistance au cisaillement en vaut environ la moitié ($\tau \approx 0,5 \sigma_c$) et avec l'équation $f = \tau / H$, on obtient un coefficient de frottement avoisinant ($f \approx 0,17$), ce qui est nettement inférieur aux valeurs expérimentales mesurées sur des contacts lubrifiés, formés entre deux métaux non oxydés.

Dans cette théorie classique le milieu n'a pas été pris en considération. En effet, les surfaces métalliques pures ne peuvent pas exister au contact avec l'atmosphère, en raison des phénomènes d'adsorption et d'oxydation, or les atomes adsorbés ou les couches d'oxyde superficielles empêchent la formation des liaisons métal-métal entre les surfaces de contact.

La résistance au cisaillement des jonctions se rapporte donc au contact entre deux surfaces oxydées contenant en plus, différentes espèces adsorbées, plutôt qu'aux jonctions métal-métal. La valeur de la résistance au cisaillement τ et par conséquent, celle du coefficient de frottement, dépendent de l'état chimique de la surface. La figure 10 a montre la variation du recouvrement de la surface en fonction de la dose d'O₂, et la figure 10 b montre l'influence de l'O₂ adsorbé sur le coefficient de frottement entre deux surfaces de Tungstène.

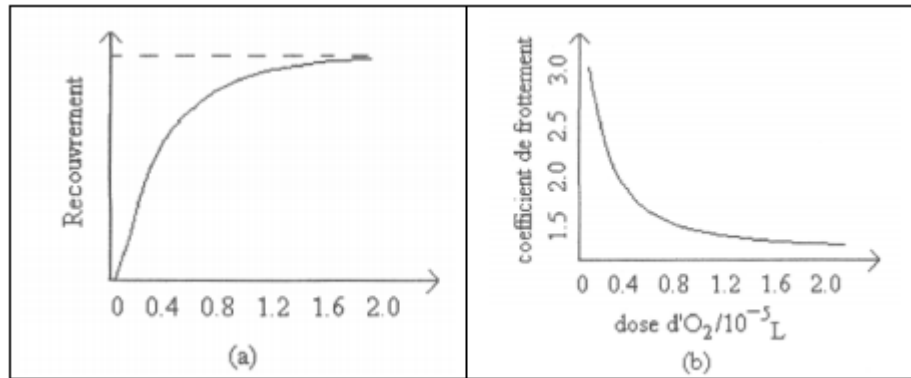


Figure I-11 : la variation du recouvrement de la surface

Les graphes (fig. I-10), montrent que la présence d'oxygène absorbé modifie le coefficient de frottement entre deux surfaces de Tungstène. En l'absence d'oxygène sous 109 110 conditions d'ultravide, le coefficient de frottement vaut approximativement $f = 3$ et dès qu'on introduit de l'oxygène dans le système, le coefficient de frottement diminue fortement. Il atteint une valeur constante avant même que toute la surface soit recouverte d'oxygène.

I.4. La lubrification :

En principe, l'utilisation de lubrifiants lors du laminage à froid peut avoir un effet bénéfique sur le mécanisme d'usure. L'insertion d'un film mince entre les surfaces flottantes réduit en effet l'usure, et d'autre part, le film mince constitue un écran thermique qui réduit le flux de chaleur échangé entre la bande et le cylindre et donc réduit l'importance des contraintes thermiques.

- **Les fonctions de lubrification elles sont multiples :**
- diminuer les frottements et les résistances passives dans les machines, améliorer leur rendement et économiser l'énergie ;
- protéger les organes lubrifiés contre les diverses formes de corrosion et d'usure, donc contribuer à leur longévité ;
- évacuer la chaleur produite dans les moteurs ou lors de l'usinage, favoriser l'équilibre thermique des machines ;
- améliorer l'étanchéité vis-à-vis des gaz, des liquides ou des poussières ;
- éliminer les impuretés et les débris d'usure ;
- transmettre de l'énergie ou de la chaleur ;
- assurer l'isolation électrique ;
- améliorer l'état de surface des pièces usinées ; [4]

I.4.1. Le rôle principal du lubrifiant dans le laminage à froid :

I.4.1.1. Réduction du frottement :

Le lubrifiant est indispensable pour la réduction des forces de laminage, produire une haute qualité de l'état de surface de la bande en acier laminé, avec un meilleur contrôle du profil de la tôle, et réduire aussi le dépôt des ordures sur tôle.

I.4.1.2. Refroidissement :

La lubrification permet de minimiser la température du cylindre de travail, la chaleur est causée à partir de la friction ainsi que la déformation, l'eau est un bon moyen de refroidissement, mais un pauvre lubrifiant. On peut citer les paramètres utilisés et qui ont influences :

I.4.1.3.Emulsion :

Contient 1,5-5% de surfactant ce qui empêche la cassure de l'huile libre dans des layer séparés, donc pas besoin d'agiter.

I.4.1.4. Dispersion :

Dans lequel les surfactants forment une couche protectrice sur la surface de la particule de l'huile en éliminant la coalescence, la distribution de la granulométrie des particules est plus étroite que dans le cas de l'émulsion. En position verticale la couche d'huile se sépare et peut facilement être dispersée par agitation mécanique.

Pour des Dispensions stables, le système entre émulsions et dispersions aucune, agitation n'est recommandée.

La propreté des surfaces : les lubrifiants causent le dépôt du Charbon.

I.4.2. Formulation technologique des lubrifiants du LAF :

Les lubrifiants sont complexes et contiennent 7 à 15 chimies d'additifs. Les esters et les fractions d'huile minérale sont majoritaires. Les esters et les huiles minérales sont à la base des lubrifiants et jouent un rôle important dans la lubrification dans des conditions élasto-hydrodynamiques. Les acides gras sont importants dans un régime borderline. Les antioxydants protègent les lubrifiants de l'oxydation et de la polymérisation Les émulsifiants qui sont des mélanges en solution Contient des additifs à base de phosphore : agents puissants pour la formation de la couche limite. [5]

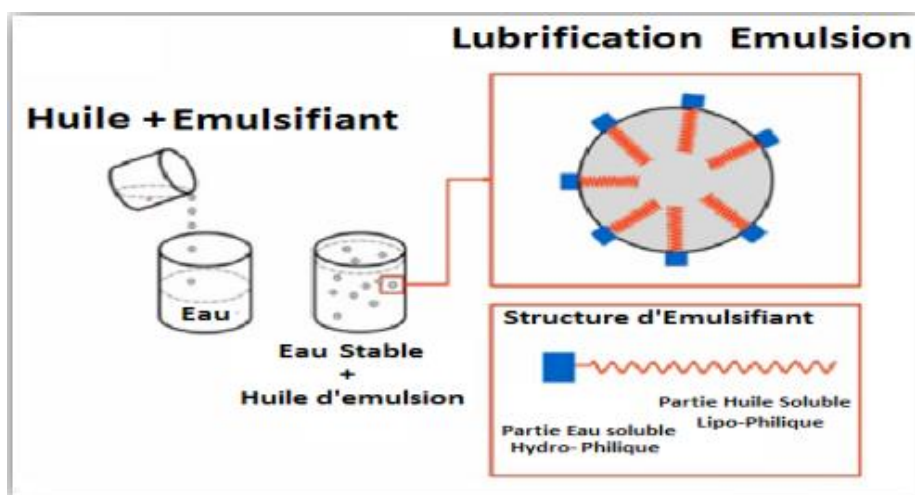


Figure I-12 : Schématisation de la structure des microparticules d'émulsifiant

La plupart des théories sont basées sur l'hypothèse selon laquelle le coefficient de frottement μ reste constant le long de l'arc de contact, (μ étant généralement choisi de manière à ce que l'effort de laminage calculé s'identifie à l'effort mesuré. Contrairement à la théorie classique, dans les théories modernes, on suppose plus volontiers que la loi du frottement est du type "couche limite" qui se rapproche du frottement semi-fluide.

Tout se passe comme s'il existait une couche entre outil et métal, parfaitement adhérente et plus tendre que le métal, la contrainte d'écoulement dans cette couche est notablement plus faible que celle du métal.

I.5. décolletage :

Le décolletage est un procédé d'usinage par enlèvement de matière, permettant de réaliser des pièces tournées en partant de barres ou de fil métallique en torche. L'usinage de base est obtenu sur des machines automatiques ou semi-automatiques ou à commande numérique. La matière brute introduite dans la zone d'usinage est façonnée par une série d'outils coupants qui, selon leur nombre, leur forme et leur disposition, permettront d'obtenir des pièces plus ou moins complexes, de tailles diverses et de précisions variables.

Les pièces sont usinées les unes à la suite des autres dans la barre et en nombre plus ou moins importants (en petites ou grandes séries). Le but étant d'atteindre une précision et une productivité élevées. On cherche donc à produire le moins de copeaux possible, donc de déchets.

Généralement, les pièces ainsi usinées subissent des opérations ultérieures (mécaniques, thermiques ou chimiques) avant d'être utilisées, par les clients, dans la réalisation de sous-ensembles.

Le décolletage s'effectue sur des machines appelées « décolleteuses » ou « tours automatiques », dont les mouvements sont générés par des systèmes à cames ou, plus récemment, à commande numérique (CNC).

Les pièces produites par cette technique sont généralement de petites dimensions (diamètre 0,1 mm à 60 mm) et de précision élevée (du millième au centième de millimètre). Outre les opérations courantes de tournage, de taraudage et de filetage, certaines décolleteuses effectuent des opérations supplémentaires telles que perçage et fraisage, ou même encore usinage complet de la pièce grâce à une deuxième broche, évitant les coûteuses opérations de « reprise », c'est-à-dire de retouche pour rectifier la pièce.

Les tours automatiques à cames sont dotés d'un arbre à cames qui effectue un tour entier par cycle complet d'usinage d'une pièce. Des systèmes de cames et leviers servent à déplacer les organes de machine (chariots porte-outils, combiné à contre-opérations, poupée mobile ou chariot longitudinal, etc.) pendant le cycle d'usinage. La vitesse de rotation de l'arbre à cames est synchronisée avec celle de la broche, ce qui permet notamment d'effectuer du filetage.

Les « décolleteuses » ou « tours automatiques » sont des machines-outils assimilables à des tours, mais elles se distinguent de ces derniers par deux particularités : leur mode de fonctionnement entièrement automatique (y compris l'approvisionnement en matière hors de la barre ou de la torche) et le fait qu'ils produisent essentiellement des pièces mécaniques précises de faibles dimensions, réalisées en grandes et très grandes séries.

Dans les tours automatiques à commande numérique, ou plutôt à commande CNC

(Computer Numéricâble Control), les cames ont disparu. Les différentes fonctions de la machine sont réalisées par des axes mus par des moteurs à asservissement numérique, obéissant à un programme, élaboré sur un micro-ordinateur de bureau puis introduit dans l'ordinateur de la machine. Cette solution raccourcit le temps de mise en train de façon considérable, car toute la programmation peut se faire en temps masqué, de même que la préparation des outils (préréglage). Le tour automatique à commande CNC rend donc possible la fabrication rentable de moyennes et petites séries, avec des temps d'arrêt réduits à leur plus simple expression.

En définitive, aujourd'hui une usine moderne de décolletage ressemble à une grande salle où des ordinateurs commandent des robots. Il y a même maintenant des machines qui vérifient les pièces fabriquées et, s'il y a lieu, font les rectifications nécessaires. Ainsi, il n'y pratiquement aucun rebut. Pour faire tout ceci, on fait appel à une nouvelle technique qu'on appelle la mécatronique.

La mécatronique est une nouvelle conception du travail mécanique. Selon la norme NF E 01-010 de 2008, la mécatronique est définie comme une démarche visant l'intégration en synergie de la mécanique, l'électronique, l'automatique et l'informatique dans la conception et la fabrication d'un produit en vue d'augmenter et/ou d'optimiser sa fonctionnalité. Cette technique est maintenant enseignée dans les écoles d'ingénieurs. Au plan pratique, elle est particulièrement développée par un organisme qui s'appelle Thésisme.



Figure I-13 : opération de décolletage

I.6. Le rechargement :

Le rechargement permet de souder la matière par dépôt sur la pièce dommages, avec ou sans traitement ultérieur. C'est la méthode habituelle évitant ainsi l'usure et le remplacement prématuré des pièces. Deux techniques principales sont utilisées :

- Recharge filaire
- Rechargement par métallisation à froid (par projection thermique alliages et matériaux pulvérulents de la pièce à réparer).

En soudage, le surfaçage est un terme général qui signifie Métal ajouté à la surface, conçu pour résister aux dommages de surface. Cette Les apports peuvent avoir des propriétés identiques ou différentes de celles du matériau parties constitutives. il peut être réalisé sur des

surfaces déjà dégradées Réparation (rechargement de guérison) ou nouvelle pièce (rechargement la prévention). Un revêtement est dit dur lorsque la nature fondamentale du dépôt et sa dureté.

I.6.1. Principales techniques de rechargement :

Les trois principales techniques de rechargement sont le rechargement par projection, par soudage et par explosion (placage par explosion). En règle générale le rechargement est envisagé soit lors de la conception d'une pièce et/ou soit lors de sa maintenance.

Nous occuperons principalement du rechargement par soudage.

Les procédés utilisés sont :

- Le chalumeau (classique, à poudre, RW, Rota tec, ...)
- L'arc électrique (électrodes, semi-automatiques, TIG,)
- Procédé MIG – MAG avec électrodes consommables
- Procédé Laser

Les rechargements sont effectués pour améliorer la résistance à diverses sollicitations telles que le choc, l'abrasion métallique ou minérale, le frottement, la pression, la cavitation, la corrosion et/ou une combinaison de ces sollicitations y compris aussi pour des raisons esthétiques. Lors de rechargement par soudage, pratiquement tous les procédés sont utilisables. Selon la nature et les propriétés recherchées après rechargement, celui-ci peut être effectuée en couches successives de nuances appropriées jouant un rôle de transition depuis les propriétés métallurgiques, chimiques, mécaniques du substrat vers celles requises en final.

I.6.2. Le rechargement pour exploiter les pièces usées :

Le rechargement peut être vu comme le moyen de protéger localement un élément ou une partie d'élément contre les agressions rencontrées pendant la durée de vie normale de la pièce. Le rechargement est donc une réponse précise apportée à un mode de sollicitation identifiée.

Exemples d'agressions pouvant être combattues par un rechargement dur :

Rechargement résistant à la corrosion déposé par feuillard au moyen du procédé Electrostal(ESW).

- Abrasion métallique à haute température (outils de travail à chaud, pièce de pompe, équipement de sidérurgie), dont la dureté du rechargement peut aller jusqu'à 500HB (dureté Brinell);
- Abrasion métallique (lame de cisaille, poinçon et matrice de presse découpée, outil de presse à former, piston), dont la dureté du rechargement peut aller jusqu'à 55HRC (dureté Rockwell);
- Abrasion minérale (équipements agricoles, manutention de sables / bétons, broyeur, mélangeur), dont la dureté du rechargement peut aller jusqu'à 70FIRc (dureté Rockwell);
- Choc, abrasion, pression (équipements de terrassement, d'excavation, chemins de roulement, burins mécaniques), dont la dureté du rechargement peut aller jusqu'à 651-Mc (dureté Rockwell);

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- Choc (cœur d'aiguillage, outil de percussion, marteau, batteur de pieux), dont la parade peut consister en un rechargement en acier à 13 % de manganèse (acier auto durcissant);
- Corrosion (surfaces exposées aux agressions chimiques : équipements sous pression, éléments de chaudières), dont la parade consiste, en général, en un revêtement d'acier inoxydable de nuance appropriée.

CHAPITRE II :

*Etude bibliographique sur les
techniques de rechargement par
soudage*

II.1. Introduction :

Le rechargement dur signifie la protection des pièces qui sont exposées à différents types d'usure pour qu'ils obtiennent une certaine résistance ou des caractéristiques spécifiques contre l'usure. Quoique le rechargement dur soit d'abord utilisé pour recharger des pièces usées afin de les réutiliser et d'en prolonger leur durée de vie, cette technique est maintenant appliquée sur des produits neufs. La pièce peut être fabriquée avec un matériau moins cher, sa surface étant optimisée par rechargement avec un métal approprié [GRM03].

Ces alliages de rechargement peuvent être appliqués par tous les procédés de soudage. La dureté élevée ne signifie pas toujours une meilleure résistance à l'usure ou une durée de vie plus longue. Beaucoup d'alliages peuvent avoir le même niveau de dureté, mais peuvent s'user différemment au cours du temps. L'expérience a montré l'importance à connaître les conditions de travail des pièces pour sélectionner l'alliage de rechargement le mieux adapté.

Pour choisir le métal d'apport approprié pour une application spéciale, les informations suivantes sont nécessaires :

- Types d'usure.
- Nuance du métal de base.
- Procédé de soudage préféré.
- Qualité de surface demandée.



La synthèse bibliographique sera axée donc, sur ces quatre critères définissant le meilleur compromis substrat-métal d'apport dans des conditions spécifiques d'utilisation du multi-matériau élaboré.

II.2. Généralité

II.2.1. Rechargement par soudage :

Le rechargement est une opération consistant à rapporter par fusion, sur des parties usées ou susceptibles de s'user ou encore dégradées, un métal soit de même nature (rechargement homogène) ou de nature différente (rechargement hétérogène) de celui du métal de base.

➤ Exemples de réalisations en rechargement par soudage :

- Rechargement manuel de rainures avec électrodes enrobées.
- Rechargement semi-automatique d'équipement industriel de Trémie à gomme base Cobalt.
- Rechargement de vis sans fin pour forage en cimenterie et briqueterie.

II.2.1.1. Le Rechargement Par Soudage Automatique :

Le rechargement par soudure, ou placage, est un mode opératoire efficace et rentable qui consiste à appliquer un matériau d'apport sur des pièces en métal afin de les réparer ou de les protéger de l'usure et de la corrosion. Des pièces constituées de types d'aciers peu coûteux sont recouvertes d'alliages spéciaux comme les alliages Alloy 50, CrMo 910 ou Inconel 625. La combinaison de l'acier, qui est un matériau de base peu cher, et des couches de protection de qualité présente des avantages non négligeables d'un point de vue financier. Les domaines d'application typiques sont l'industrie pétrochimique, la construction aéronautique et spatiale ainsi que la production d'énergie.



Figure II.1 : Rechargement d'une pièce usée

- 1- Pièce avec portée de roulement détérioré
- 2- Pièce après rechargement
- 3- Pièce finie après rectification

Si ce rechargement est une réparation, il sera qualifié de curatif, par contre s'il est effectué sur une pièce neuve, il sera qualifié de préventif, par exemple pour réaliser une couche protectrice sur les pièces contre la corrosion et l'usure. La technique du rechargement s'apparente au soudage, elle peut être mise en œuvre en une seule étape ou en deux étapes (dépôt -refusions).

Le rechargement permet de réaliser des dépôts épais (> 5 mm) pour la réparation, comme pour le renfort localisé des pièces fortement sollicitées.

Le rechargement est utilisé sans trop de difficultés sur des pièces ayant une teneur en carbone $\leq 0,4\%$ ou sur les alliages cuivreux. Pour les aciers alliés, il faudra prendre, les précautions d'usage de pré et post chauffage, afin d'éviter les risques de fissurations de la ZAT.

II.2.1.2. Rechargement à l'arc (manuel) :

Recharger à l'arc avec l'électrode rechargement, est une opération parfaitement adaptée lorsque l'on recherche une grande résistance à l'usure. Cette baguette est conseillée pour recharger les pièces fortement sollicités par l'abrasion. Elle s'utilise sans problème avec des postes de soudure à l'arc classiques.

Cette électrode de rechargement est formulée avec des carbures techniques. Elle a l'avantage de permettre une remarquable tenue aux chocs et au poinçonnement. Il est conseillé de l'utiliser en deux passes afin d'obtenir une résistance suffisante face aux contraintes intensives du quotidien.

Ce rechargement permet d'augmenter de façon très importante la durée de vie de la pièce. La tenue devient ainsi supérieure à un acier trempé d'origine. Il s'adapte parfaitement bien sur les pièces d'aciers soumises à des pressions fortes ou à des usures par chocs violents. Il autorise un taux de dépôt particulièrement élevé.

Cette baguette de rechargement s'utilise dans le domaine agricole, bâtiment public, industrie, cimenterie, briqueterie ou carrière. Elle convient parfaitement bien sur tous les types d'aciers courants classiques du marché tels les bennes, dents, broyeurs, godets, pelles, brises mottes, convoyeurs, trémies, presses, grattoirs, lames, forets, burins ou outils de forge. [6]

II.2. Le but de rechargement :

Il faut également considérer le cas des pièces déformées mais non rompues, dont la réparation consiste en un redressement et fréquemment un renforcement.

Enfin, le besoin de réparation s'applique aussi aux pièces neuves présentant un défaut de fabrication qu'il s'agit de corriger pour sauver du rebut des pièces déjà usinées ou des pièces de fonderie sortant du moule. Le rechargement est une variante du soudage qui consiste, non pas à assembler des pièces métalliques entre elles, mais à recouvrir leur surface d'une ou plusieurs couches d'un métal identique ou différent.

On peut ainsi :

- Reconstituer une pièce usée;
- Conférer localement à des pièces neuves une résistance meilleure que celle du corps de la pièce (à l'usure, à l'oxydation à chaud...) ou encore améliorer leur coefficient de frottement.

Dans le rechargement à l'arc, le métal est déposé à partir d'une électrode « de rechargement » dont les caractéristiques sont fonction de ce qui est demandé au métal ainsi déposé.

II.3. Procédés de soudage :

Les procédés de soudage les plus utilisés pour le rechargement dur sont :

➤ Soudage à l'électrode enrobée, SMAW :

- Couvre le plus grand nombre des métaux d'apport.
- N'est pas onéreux.
- C'est un procédé universel pour le travail sur chantier et pour toutes les positions. [7]

➤ Soudage avec fil fourré, FCAW :

- La diversité d'alliage est à peu près la même que les électrodes enrobées.
- Taux de dépôt élevé.

- Peut être utilisé sur chantier (sans gaz).
- Pas de protection gazeuse nécessaire ou gaz spéciaux.
 - **Soudage à l'arc sous flux, SAW :**
- Gamme des produits limitée.
- Taux de dépôt élevé-approprié pour de grandes pièces à recharger.
- Pas d'arc visible, ni projections.

II.4. Termes relatifs au rechargement dur :

Le vocabulaire propre aux opérations de réparation et de rechargement en maintenance est très riche. Ainsi, il est primordial de différencier les termes suivants : “reconstitution”, “couche tampon” et “rechargement dur”. Chacun de ces termes décrit une application bien précise qui requiert des précautions de soudage particulières.

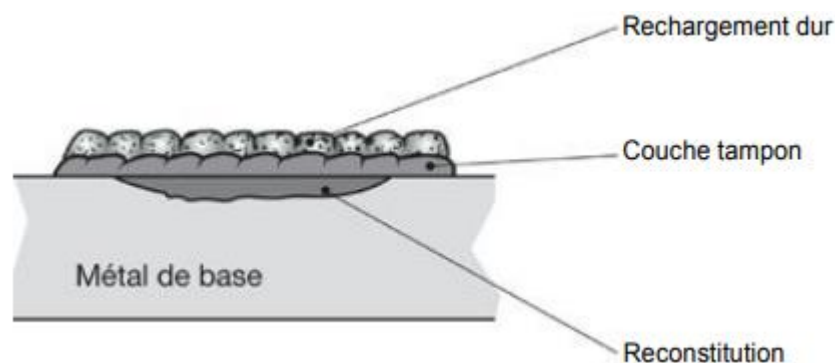


Figure II- 2 : reconstitution

II.4.1. Reconstitution :

La “reconstitution” est l’action de remettre à la cote initiale une pièce dont la géométrie aurait été modifiée par l’effet de l’usure. On utilisera dans ce cas prioritairement un métal d’apport homogène : analyse chimique et caractéristiques mécaniques identiques à celles du métal de base.

Dans certains cas, il est toutefois possible d’utiliser un alliage hétérogène, à condition que ses caractéristiques soient compatibles avec celles du substrat.

Les trois facteurs importants pour définir le métal d’apport de reconstitution approprié sont :

- Le risque de fissuration à froid : il faut définir la température de préchauffage ainsi que la température entre-passe.
- La température de service et donc, la dilatation différentielle entre métal d’apport et métal de base.
- La réalisation d’un rechargement après reconstitution et donc, la compatibilité entre les métaux d’apport utilisés.

II.4.2. Sous couche ou reconstitution :

Les sous-couches sont utilisées comme métal déposé intermédiaire entre le métal de base et le dépôt de rechargement dur final pour:

- atteindre une bonne liaison avec le métal de base.
- éviter la fragilisation sous cordon par l'hydrogène (également avec des pièces préchauffées).
- diminuer les effets de tensions.
- Limiter l'effet de la dilution.
- éviter la fragilisation des cordons durs suivants.
- empêcher des criques possibles dans le rechargement dur et éviter la dilution dans le métal de base.

Pour les sous-couches, les métaux d'apport austénitiques sont largement utilisés.

Le type du métal d'apport pour la sous-couche dépend du métal de base et du type d'usure.

Si une trop grande quantité de métal de rechargement dur est déposée sur une base de métal mou, comme l'acier de construction, la passe en métal dur tend à s'enfoncer dans la surface lorsque la charge est forte. Il en résulte une fissure dans la passe dure. Pour éviter ce phénomène, déposez avant ce rechargement dur un métal résistant et tenace.

Pour le rechargement avec des matériaux fragiles, comme les carbures de chrome ou les alliages au Co, on recommande une sous-couche avec 1 ou 2 passes d'un métal d'apport austénitique. On obtient des tensions de compression dans les cordons ultérieurs pendant le refroidissement ce qui réduit le risque de fissure dans le rechargement dur.

Lors de nombreuses passes dures on constate des fissures apparentes, qui n'affectent pas le rechargement. On peut seulement craindre que les fissures se propagent dans le métal de base lors de la fatigue au choc ou pendant la flexion de la pièce. Cette tendance se rencontre surtout si le métal de base est un acier à résistance élevée. Dans ce cas, l'usage d'une sous-couche résistante évite la propagation des fissures.

II.5. Les avantages du rechargement :

Maîtriser l'usure, c'est gérer la dégradation de ses équipements. Le rechargement permet d'améliorer ses performances en planifiant les arrêts de maintenance pour mieux gérer ses flux de production.

C'est la solution idéale qui garantit un dépôt de qualité et une baisse des coûts de maintenance :

- Extension de la durée de vie de l'équipement.
- Permettre une maintenance plus courte et solution adaptable.
- Coût de réparation moins élevé.
- Large gamme de rechargement possible.
- Une solution sur mesure, automatisable.

II.6. la méthode de rechargement de la pièce usée par soudage :

Pour une bonne qualité de soudure il faut pris en compte quelque point essentielle :



Figure II- 3 : rechargement a la machine

II.6.1. L'état de surface :

L'état attendu de la surface doit être connu avant la sélection du métal d'apport, parce que les alliages pour le rechargement dur vont de l'usinabilité facile jusqu'au non usinable. Par ailleurs beaucoup de matériaux fortement alliés pour rechargement dur génèrent quelques fissures apparentes. Cela s'explique par la formation de petites fissures dans la soudure diminuant le niveau des contraintes résiduelles de soudage, ces dernières n'altérant en rien la résistance à l'usure. Les questions suivantes doivent être posées avant la sélection de l'alliage:

- un usinage après le soudage est-il nécessaire ou un meulage est-il suffisant?
- Les fissures apparentes sont-elles acceptables? En règle générale on dit qu'un métal d'apport avec une dureté

II.6.2. Contraintes thermiques :

Le métal support et le métal d'apport sont généralement différents; ils n'ont ni le même coefficient de dilatation, ni le même module d'élasticité, ni le même coefficient de Poisson. Par suite, le retrait au refroidissement ne sera pas le même pour chacun de ces métaux, ce qui provoque une déformation et des contraintes thermiques.

Les procédés classiques pour prévenir les déformations peuvent permettre d'obtenir des pièces rondes non déformées et sans contrainte thermique, mais il sera toujours bon :

- De préchauffer,
- De réduire l'apport de chaleur pour limiter la pénétration,
- Éventuellement de traiter thermiquement après rechargement, surtout si le métal est sujet à fissuration.

II.6.3. Choix du métal d'apport :

Ce choix suit les mêmes règles que s'il s'agissait de souder des structures neuves. Toutefois, la composition précise du métal de base étant souvent indéterminée et pouvant comporter des risques de trempe.

Les fils à souder sont disponibles en bobines soigneusement emballées. Tout comme les électrodes et le fil d'apport TIG, les caractéristiques chimiques et mécaniques doivent apparaître clairement sur l'emballage. A vous ensuite de conserver précieusement ces emballages au sec à la fois pour protéger les bobines de la corrosion et pour identifier rapidement la nuance d'acier, surtout si vous travaillez des métaux différents. Vérifiez bien la capacité maximum de votre machine sous peine de problème!



Figure II-4 : le fil (WELD CLAD)

- Les fils Welding Alloys sont produits dans le cadre d'un programme d'assurance qualité certifié ISO 9001 version 2000.

a. Caractéristiques principales :

- Idéal pour rechargement des pièces avec forts risques d'abrasion et de chocs
- Important indice de dureté
- Alliage de chrome et de molybdène
- Adéquat à l'utilisation avec le courant de soudage DC+

Ci-dessous la liste des produits recommandés pour le rechargement des rouleaux et cylindres de coulée continue, exigeant de bonnes résistances à l'abrasion, fatigue, corrosion et érosion.

Consommables pour procédé sous flux: fils massifs, fils fourrés et feuillards:

CHAPITRE II : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA TECHNIQUE DE RECHARGEMENT PAR SOUDAGE

OK Tubrodur 15.72S 13% Cr N2 donnant un dépôt martensitique

OK Tubrodur 15.73S 13% Cr donnant un dépôt martensitique

OK Tubrodur 15.79S 17% Cr

OK Band 11.82 17% Cr

- Flux pour fils

OK Flux 10.33

OK Flux 601B

- Flux pour feuillards

OK Flux 10.07

- Consommables pour procédé fils fourrés

OK Tubrodur 15.73. [8]

b. rôle et caractéristique de flux :

Le flux et le laitier jouent quatre rôles distincts dans la réalisation d'une soudure.

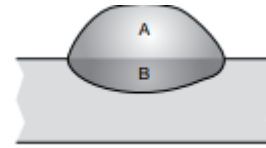
CHAPITRE II : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA TECHNIQUE DE RECHARGEMENT PAR SOUDAGE

Tab II-1 : rôle et caractéristique de flux

| Rôle | Description |
|--------------------|--|
| Rôle électrique | <ul style="list-style-type: none">- Conduire le courant électrique lorsqu'il est chaud et isoler lorsqu'il est froid.- Stabiliser et influencer la force de l'arc. |
| Rôle physique | <ul style="list-style-type: none">- Protéger le bain de fusion de l'oxygène et de l'azote contenus dans l'air ambiant afin d'éviter que les propriétés mécaniques du métal déposé soient dégradées (désoxydation et dénaturation).- Protéger le soudeur du rayonnement UV en masquant l'arc électrode.- Produire un gaz de protection sous l'effet de la chaleur de l'arc. |
| Rôle métallurgique | <ul style="list-style-type: none">- Désoxyder et purifier le bain de fusion afin d'empêcher la formation de soufflures dans celui-ci.- Ajouter des éléments d'alliage au bain de fusion.- Refroidir plus lentement le bain de fusion (cordon). |
| Rôle mécanique | <ul style="list-style-type: none">- Soutenir et donner une forme au bain de fusion (influe sur la fluidité du bain de fusion). |

II.6.4. Taux de dilution :

En rechargement, la maîtrise du taux de dilution est essentielle. Elle permet de garantir l'analyse chimique du dépôt, les duretés et la constance de qualité. Lors de l'opération de soudage, il y a interaction du métal de base et du métal d'apport, tous deux en fusion. Le mélange qui est issu de ces deux éléments correspond au taux de dilution.



$$\text{Calcul du taux de dilution : } \% \text{Dilution} = \frac{B}{A + B} \times 100$$

Lors des opérations de rechargement, nous rechercherons toujours à limiter la dilution. Ceci afin d'optimiser les caractéristiques du dépôt, tout en prenant garde d'éviter un phénomène de collage.

II.3. Réparation d'une pièce usée :

La Réparation et Maintenance est l'un des champs d'application les plus larges dans le domaine du soudage. En principe, toutes les activités autres que l'assemblage de nouvelles structures doivent être considérées comme des opérations de réparation et maintenance. De façon générale, la réparation et maintenance est une routine quotidienne dans tous les domaines de l'industrie du soudage.

II.3.1. La préparation des surfaces :

➤ Généralité :

La métallisation pour être efficace, exige une préparation rigoureuse des surfaces à revêtir. Si quelques fois on peut obtenir, avec des particules liquides et très chaudes, des liaisons ponctuelles par fusion entre le projectile et le subjectile, cet accrochage reste toujours très insuffisant. En effet, que ce soit pendant les opérations d'usinage sur des pièces rechargées, ou au cours des sollicitations sur des pièces protégées contre la corrosion, les efforts mécaniques induits aux revêtements engendreront son décollement.

Il est donc utile et nécessaire de préparer la surface pour obtenir :

- Une propreté qui est un état chimique.
 - Une rugosité qui est un état physique.
 - Un préchauffage éventuel.
-
- **La propreté** : La propreté est le constat visuel de la disparition plus ou moins importante des impuretés de toutes natures, pouvant souiller la surface d'un produit. Elle permet aussi de mettre à jour les modifications physiques éventuelles de la structure (défauts ou autres).
 - **La rugosité** : Pour obtenir une bonne adhérence, la propreté est nécessaire, mais pas suffisante. Il faut créer un accrochage mécanique entre le produit et le support. Celui-ci s'obtient par la réalisation d'une rugosité sur toute la surface.

- **Le préchauffage** : Un léger préchauffage de la pièce à traiter, est toujours conseillé afin d'augmenter le pouvoir d'adhérence. Il devient indispensable pour les revêtements à partir de poudre et surtout pour les matières plastiques qui ne sont pas conductrices de chaleur. [9]

III.3.2. Les modes de préparation :

Il existe deux grandes applications dans le domaine de la métallisation :

- celui dit du revêtement anti corrosion.
- celui dit du rechargement mécanique.

Suivant le traitement recherché, la préparation de surface va différer pour être, soit :

- un sablage dans l'anticorrosion.
- un usinage dans le rechargement.

III.3.3. Brossage de rechargement :

Il est nécessaire de gratter soigneusement l'apport en métal entre les différentes passes. Il faut éliminer l'enrobage de fil et flux déposé sur le rechargement chaque fois que la passe est terminée. L'usure du métal est ainsi remplie qu'avec le métal fondu sans aucun résidu de fusion.

III.4. L'usinage :

La finition du travail de rechargement consiste à mettre à la cote le dépôt de métallisation. Cette opération s'effectue soit par un usinage à l'outil, soit par une rectification à la meule. En raison de la formation d'oxyde sur le dépôt, le revêtement projeté est souvent plus dur que le matériau homogène.

La préparation de surface par enlèvement de métal répond à 3 volontés :

- créer sur la surface un réseau de résistance aux sollicitations mécaniques qui seront exercées sur le dépôt de rechargement.
- augmenter la rugosité et simultanément la surface d'accrochage.
- diminuer les dimensions de la pièce (dans le cas de réparation de pièces usées) afin de laisser une épaisseur suffisante pour le futur dépôt, tout en respectant les cotes limites de rupture. Que la forme de la pièce soit cylindrique ou plane, l'adhérence de la couche de métal projeté est mécanique et devra résister aux efforts de glissement et d'arrachement par rapport à son support. Pour les pièces de révolution, cet usinage sera exécuté sur un tour sans aucune lubrification. Le revêtement ne formant pas une surface continue, puisque interrompu aux extrémités, il faudra obtenir un profil de surface légèrement bombé (convexe) pour accroître l'adhérence. Dans certains cas, on pourra effectuer un sablage fin sur les parties usinées afin d'augmenter la rugosité de la surface. [10]

III.5. Contrôle et finition :

Le contrôle d'une pièce rechargée comprend :

- Le contrôle d'aspect; l'examen visuel des cordons permet d'observer leur forme;
- La recherche des défauts, les plus importants étant le manque de liaison entre cordons, les inclusions de laitier et les fissures;
- La vérification des cotes;
- La mesure de la dureté si le but du rechargement est d'obtenir une surface dure.

La finition se limite parfois à un simple nettoyage qui peut se faire par sablage ou grenailage; il est souvent nécessaire d'usiner les arbres rechargés.

Dans le cas du meulage, il faut le pratiquer sous arrosage continu pour éviter toute surchauffe qui compromettrait la dureté et pourrait même provoquer des fissures. [11]

CHAPITRE III :

*Cas d'application de rechargement
par soudage aux AMM*

III.1. Introduction :

Dans cette partie consacrée à l'étude de la réparation du rouleau 380 \varnothing de la machine d'extraction de la coulée continu a brame par la technique de rechargement par soudage au niveau des ateliers maghrébins de mécanique (A.M.M).

L'étude du dessin de définition de la pièce considérée nous aide à identifier les opérations de fabrication et la modification ultérieure sur la surface de la pièce endommagée.

III.2. Description et informations sur la pièce :

- Matériau 13Cr Mo 44 ;
- Forgé soigneusement ;
- Trempe conformément au bulletin des matériaux fer et acier ;
- La résistance à la traction 45-58kg/mm²min ;
- La limite d'élasticité 30Kp/mm² allongement de rupture 22% (L=5d) ;

a- Les dimensions réelles de rouleau $\varnothing 380$:



Figure III-1 : pièce usée

b- Condition de travail de la pièce :

- Bonne rugosité de surface ;
- Résistance la pression ;
- Résistance la température ;
- Résister le frottement.

Le rechargement peut être vu comme le moyen de protéger localement un élément ou une partie d'élément contre les agressions rencontrées pendant la durée de vie normale de la pièce. Le rechargement est donc une réponse précise apportée à un mode de sollicitation identifié.

Alors, on va étudiés le cas de rechargement par arc électrique sur une machine semi-automatique (WELD CLAD) avec deux types de métal d'apport.

III.3. Equipement de rechargement par soudage au niveau des AMM :

III.3.1. Présentation de la machine (weldclad):

Les installations de rechargement WELD CLAD sont prévues pour la restauration ou le durcissement de la surface des pièces par rechargement à l'arc électrique avec l'électrode à fusion sous flux.

Les pièces ayant la forme des corps de révolution (cylindres de laminage a cannelure avec pente des parois jusqu'à 30° par rapport à l'axe de cylindre) sont rechargées entre pointes du manipulateur suivant l'hélice. Les pièces plates sont rechargées sur table mobile.



Figure III-2 : la machine (WELD CLAD)

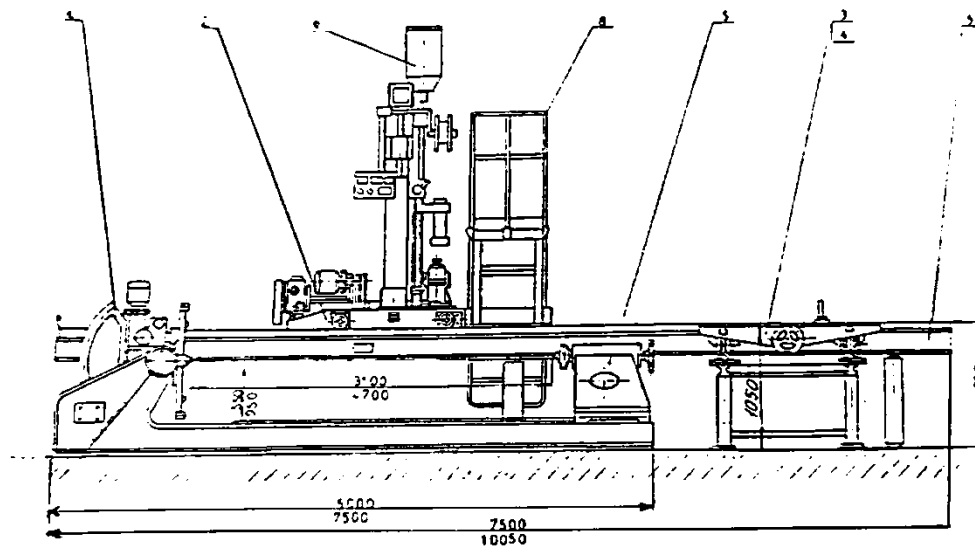


Figure III-3 : machine de rechargement par soudage (WELD CLAD)

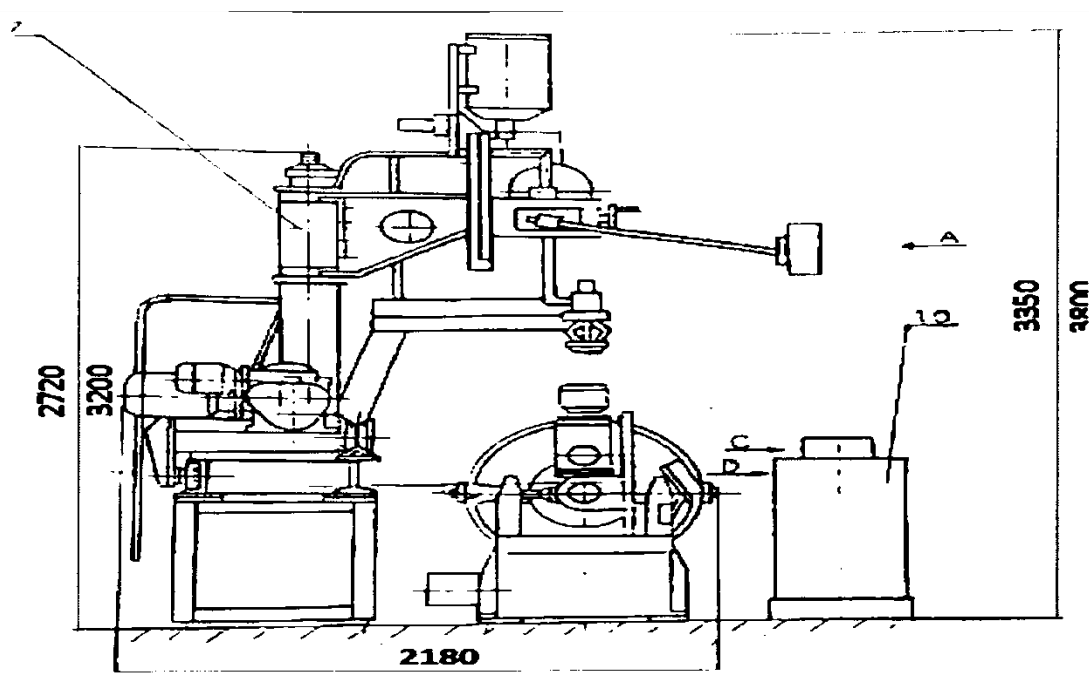


Figure III-4 : projection latérale de la machine

Tab III-1 : nomenclature des éléments constitutifs de la machine

| N° | Désignations | Figures | Référence | |
|----|---|---------|-------------------|-------------|
| | | | TMH-4M | YMH-10M |
| 1 | Manipulateur | 3.2 | 0-13622 | 0-13621 |
| 2 | Chariot | 3.2 | 0-20525 | 0-20525-01 |
| 3 | Table pour rechargement des pièces plates | 3.2 | 1-64517 | |
| 4 | Plaqua mobile | 3.2 | 1-64515 | |
| 5 | Contre-poupée | 3.2 | 1-71928 | 0-12888 |
| 6 | Châssis du chariot | 3.2 | 1-126368 | 1-128372 |
| 7 | Consola de l'appareil de soudage automatique | 3.3 | 1-129526 | 1-129526-01 |
| 8 | Passerelle | 3.2 | 1-134372 | 1-134375 |
| 9 | Appareil de soudage automatique avec redresseur | 3.2 | BDY-1202 ;BDY-506 | |
| 10 | Equipement électrique | 3.3 | 4-469949 | 4-487773 |

III.4. Les phases de réparation du Rouleau:

- **Contrôle de la pièce usée :**

D'abord en mesure le diamètre extérieur de la pièce avec un pied à coulisse spéciale à grande dimensions pour évaluer le taux d'usure qui s'est produite en raison des différentes opérations d'usinage.



Figure III-5 : la pièce usée

• **Dimensions et caractéristiques de la pièce :**

- Longueur total 2150 mm.
- Longueur (surface rechargement 1450 mm).
- Diamètre de la pièce 380 \varnothing mm.

Phase 1 : Déculottage :

- La pièce du diamètre \varnothing 380 a été monté sur le tour (1M65) et fait un décolletage au niveau de la zone qui sera rechargé pour minimisé les défauts de la pièce et améliorer la qualité de la soudure.
- Et puis mesurer la pièce une autre fois.
 - Opération de chariotage : $380\text{mm} - 30\text{mm} = 350\text{mm}$ (30mm le taux d'usure).

Montage mixte :

Il est utilisé pour des pièces relativement longues ($4D < L < 8D$). Des deux extrémités est fixée sur le mandrin alors que l'autre extrémité est soutenue par poupée mobiles.



Figure III-6 : montage mixte sur le tour à commande numérique 1M65

• **Régime de coupe :**

Facteurs influençant le choix de la vitesse de coupe :

- La matière a usiné.
- Matière des outils.
- Lubrification.
- Puissance moteur du tour.
- Nature de l'opération (ébauche, demi-finition, finition, chanfrein).
- Rigidité de la pièce.

Choix des régimes de coupe d'après la méthode statistique:

- V_c ébauche = 70 (mm / min).
- V_c demi-finition = 80 (mm / min).
- V_c finition = 100 (mm / min).
- $D = 380$ mm.

CHAPITRE II : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA TECHNIQUE DE RECHARGEMENT PAR SOUDAGE

- $A = 0.3$ (mm / tr).
- $L = 1450$ mm.

$$T_m = \frac{L_e + L_u + L_d}{N \times A}$$

- T_m : temps de machine [mn].
- L_e : distance d'engagement (sécurité en entrée) [mm].
- L_u : longueur usinée [mm].
- L_d : Course de dégagement (dépassement) [mm].
- N : fréquence de rotation [tr/mn].
- $V_f =$ vitesse d'avance [mm/mn].
- $A =$ l'avance [mm/tr].
- $L =$ Longueur (surface rechargement 1450 mm).

• **Ebauche :**

$$N = \frac{V_c \times 1000}{D \times \pi} = \frac{70 \times 1000}{380 \times 3.14} = \frac{70000}{1193.2} = 58(\text{tr}/\text{min})$$

$$V_f = 0,3 \times 58 = 17.4 \text{ (mm/mn)}$$

$$T_m = \frac{2+1450+2}{17.4} = 83.56 \text{ mn}$$

$$P = 5 \text{ mm.}$$

• **Préchauffage :**

Préchauffage du rouleau de traitement de surface :

Dans un four à température de 300°C.



Figure III-7 : four électrique

Caractéristique de four :

- Température max 1250 °C ;
- Puissance 300 kW ;
- Masse maximale de charge en four 10000 kg.

Les fours utilisés sont en général chauffés électriquement

- **Contrôle :**
Contrôle les dimensions la pièce avant opération rechargement.

Phase 2 : rechargement :

En déplacer la pièce a la machine de rechargement (WELD CLAD).



Figure III-8 : montage de rouleaux sur la machine

Pour choisir le métal il faut définir :

- Le type d'usure
- La qualité de surface demandée
- La cohésion des multi-matériaux
- Le procédé de soudage

➤ **Le flux :**

Le flux sa forme est comme le sable (laitier), il joue un rôle de protection de soudage pour éviter la formation des contraintes comme l'enrobage dans le cas de soudage manuel.

Le contact entre le métal d'apport et le flux lors de l'opération de rechargement forme le cordon de soudage.



Figure III-9 : le flux

➤ **Le fil :**

- (WELD CLAD 3) fil dur et (WELD CLAD 75) fil tender.

-Fil chromé (12% de chrome).

Caractéristique mécanique de chrome :

- Dureté élevé.
- Résistance à l'usure très bonne même aux hautes températures.
- Très bonne résistance à la corrosion.



Figure III-10 : le fil

Caractéristique de fil :

Taille: 3.2 mm.

Masse: 300kg.

- 12 % C (carbone).
- 44% Cr (Chrome).
- Traces Mo (Molybdène).

Pourquoi 2 couche ? :

- Couche d'ébauchage : 2 couches (6mm) avec le fil tendre.
- Couche de finition : 4 couches (6mm) avec le fil dur.

III.1. Les étapes de rechargements :

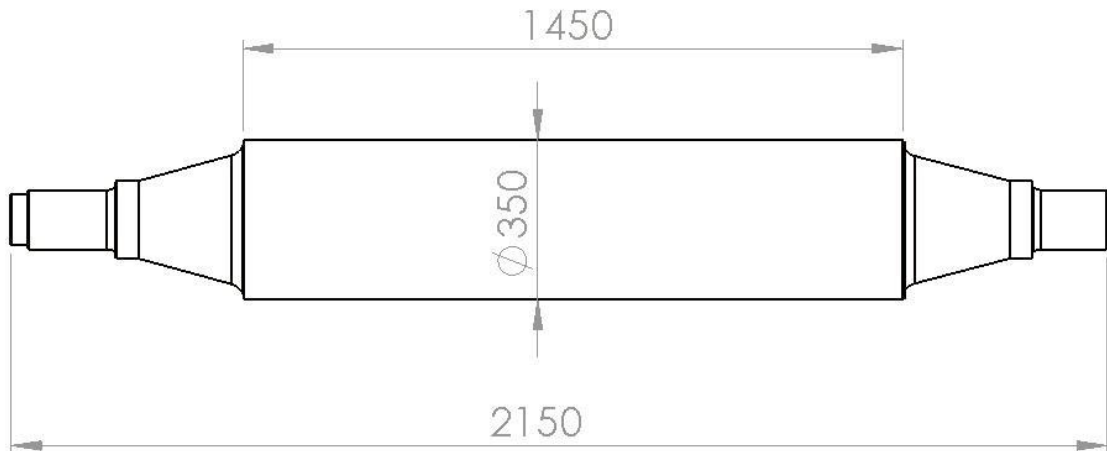


Figure III-11 : préparation de la pièce au rechargement



Figure III-12 : rechargement

Étape 1 : Rechargement avec le fil tendre :

Diamètre de la pièce $\varnothing 350$ mm, vitesse de rotation $V_c = 150$ mm/min, Vitesse du N = 135 tr/min, Pas = 45 mm. Tension d'arc = 29.4 volt. Recharger la pièce jusqu'à $\varnothing 362$ mm, 02 couches de 6 mm.

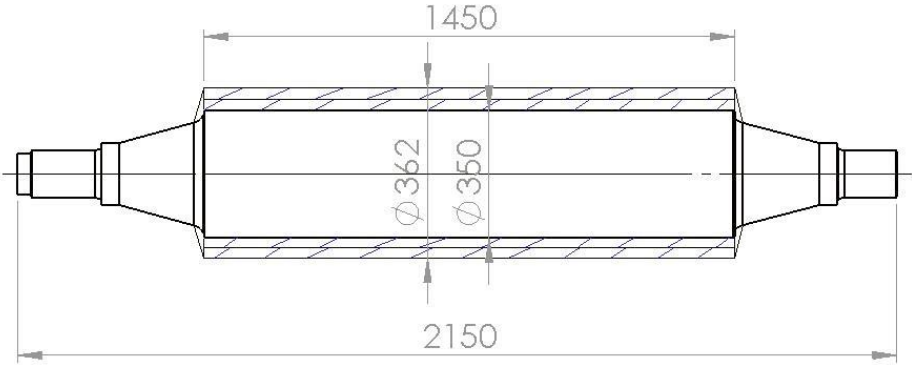


Figure III-13 : rechargement pièce $\varnothing 362$ mm avec fil weld clad 75



Rechargement matière Weld clad 75



Figure III-14 : le rechargement avec fil tendre

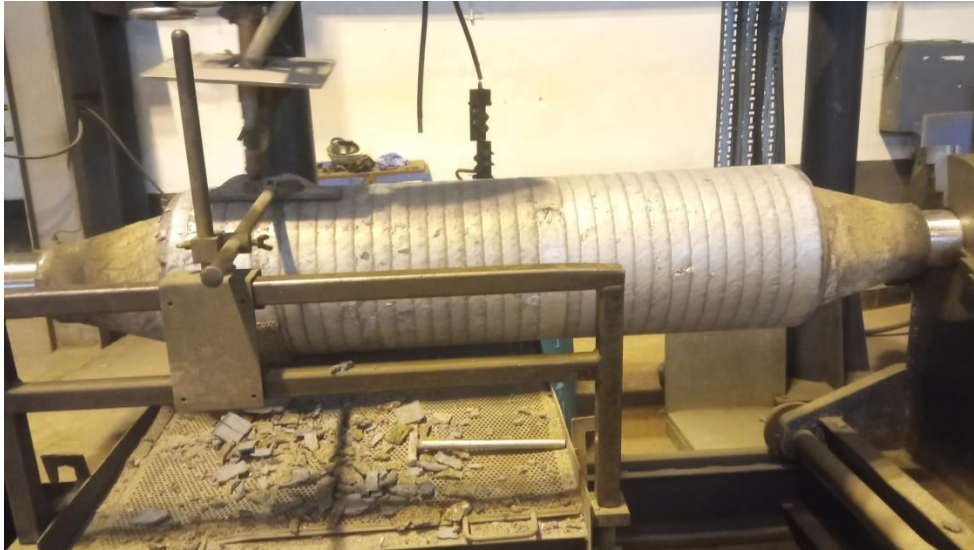


Figure III-15 : fin de la première couche avec le fil tendre

Etape 2 : rechargement avec le fil dur :

Recharger la pièce jusqu'à $\text{Ø}386$ mm, 04 couches de 6 mm.

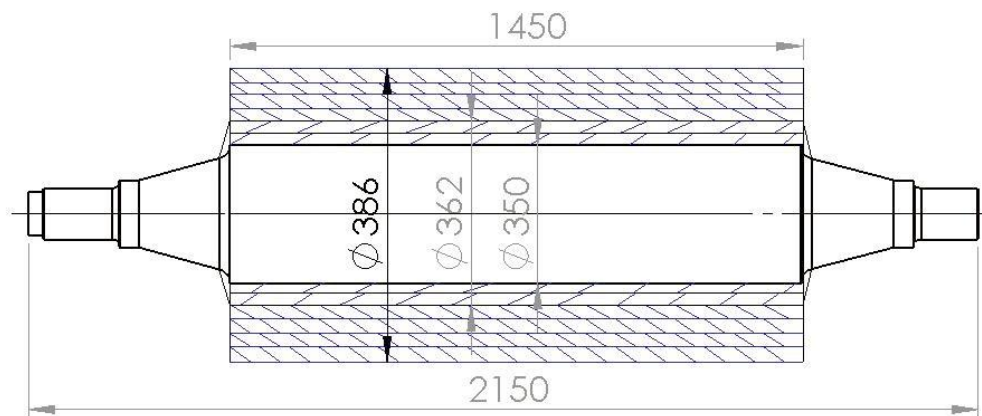


Figure III-16 : rechargement pièce $\text{Ø}386$ mm avec fil weld clad 03



Rechargement matière Weld clad 75



Rechargement matière Weld clad 03

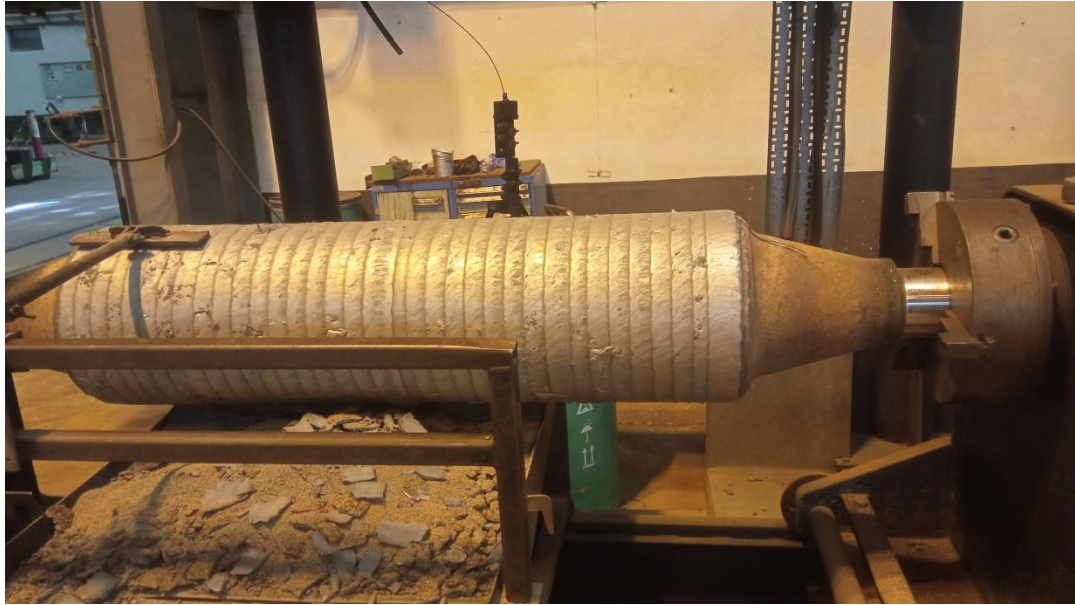


Figure III-17 : le rouleau après rechargement avec fil dur

- Contrôle des dimensions avec pied à coulisse.

Traitement de détentionnement:

Le rouleau est placé au four pendant 24 heures à une température de 650 C°, puis refroidie à porte ouverte pendant une durée de 2 à 4 heures jusqu'à $T \leq 250^{\circ}\text{C}$, ensuite la pièce est refroidie à l'extérieur pendant 14 heures.



Figure III-18 : mettre le rouleau au four

- Recuit de détente :

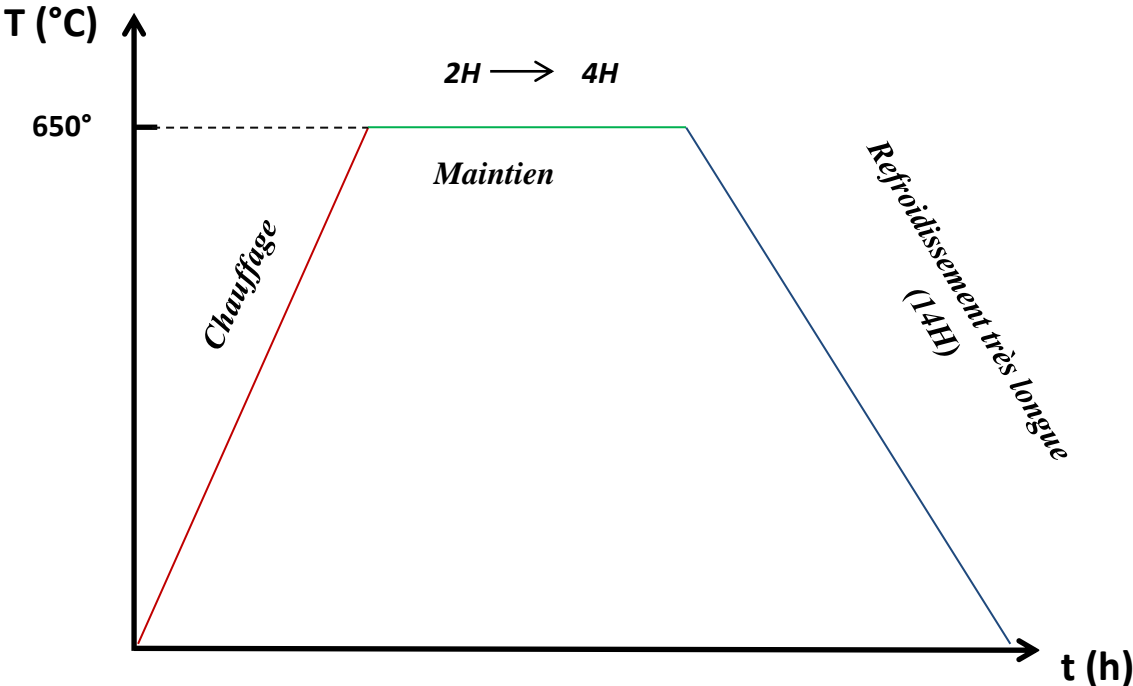


Figure III-19 : détentionnement de soudure



Figure III-20 : pièce après traitement

Phase 3 : remise à la cote :

Monter la pièce sur le tour à commande numérique 1M65 et charioter jusqu'au diamètre $\varnothing 380$ sur toute la longueur $L= 1450$ mm. ($P = 3$ mm).



Figure III-21 : montage de rouleau sur tour



Figure III-22 : opération de chariotage

- **Régime de coupe :**

A) Ebauche :

Charioter Ø384 sur toute la longueur L= 1450 mm.

$$N = \frac{Vc \times 1000}{D \times \pi} = \frac{70 \times 1000}{384 \times 3.14} = \frac{70000}{1205.76} = 58 \text{ (tr/min)}$$

$$Vf = 0,3 \times 58 = 17.4 \text{ (mm/min)}$$

Outil : Carbure Métallique

$$P = 1 \text{ mm}$$

$$Tm = 83.56 \text{ mn}$$

B) Demi-finition :

Charioter Ø382 sur toute la longueur L= 1450 mm.

$$N = \frac{Vc \times 1000}{D \times \pi} = \frac{80 \times 1000}{382 \times 3.14} = \frac{80000}{1199.48} = 66 \text{ (tr/min)}$$

$$Vf = 0,3 \times 66 = 19.8 \text{ (mm/min)}$$

Outil : Carbure Métallique

$$P = 0.5 \text{ mm}$$

$$Tm = \frac{Le + Lu + Ld}{N \times A} = \frac{2 + 1450 + 2}{66 \times 0,3} = 73 \text{ mn}$$

$$Tm = 73 \text{ mn}$$

C) Finition :

Charioté Ø380 sur toute la longueur L = 1450 mm

$$N = \frac{Vc \times 1000}{D \times \pi} = \frac{100 \times 1000}{380 \times 3.14} = \frac{100000}{1193.2} = 83 \text{ (tr/min)}$$

$$Vf = 0,3 \times 83 = 24.9 \text{ (mm/min)}$$

Outil : Carbure Métallique

$$P = 0.25 \text{ mm}$$

$$Tm = \frac{Le + Lu + Ld}{N \times A} = \frac{1454}{24.9} = 58 \text{ mn}$$

$$Tm = 58 \text{ mn}$$

- **Chanfreiner les bouts :**

Même montage de pièce dans machine tour, avec changement de l'angle de l'outil.

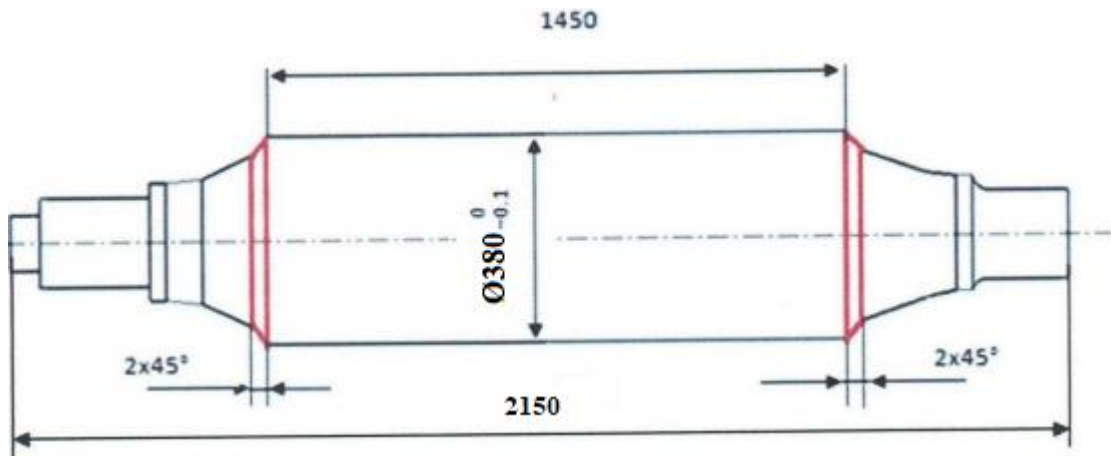


Figure III-23 : chanfreiner les bouts de surface de rechargement

- **Contrôle final :**

Contrôlée les dimensions avec pied à coulisse après le tournage.



Figure III-24 : pièce finie selon la demande de client

III.5. Conclusion :

Après notre période de formation en usine les AMM (les ateliers de mécanique magrébine), nous avons beaucoup appris sur le procédé de Rechargements des pièces usées par soudage, et que c'est une solution pratique. Au lieu de jeter les pièces usées, nous pouvons les utiliser et les ré-réparer et augmenter leur durée de vie, donc ne pas gaspiller de l'argent en achetant de nouvelles pièces..



Gamme d'usinage

| N° PHASE | DETAIL DES OPERATIONS | Groupe machine | Code outil | Instrument de contrôle | Accessoire de montage | Condition de coupe | | | | | | Tm (mn) | Te (h) |
|-------------|---|-------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------|------------|-----------|------------|----------|----------|--------------|--------------|
| | | | | | | Vf mm/mn | Vc m/mn | N tr/m | A mm/tr | P mm | Nb | | |
| 10 | Contrôle | | | | | | | | | | | | |
| | Contrôle dimensions | | | | | | | | | | | | |
| 20 | Tournage | 1M65 | | | | | | | | | | | |
| | Charioter Ø380 à Ø350 mm sur la longueur 1450mm Ebauche | | | Pc500 | mixte | 17.4 | 70 | 58 | 0.3 | 5 | 3 | 83.56 | 14 |
| 30 | Contrôle | | | | | | | | | | | | |
| | Contrôle dimensions | | | | | | | | | | | | |
| 40 | Traitement thermique | | | | | | | | | | | | 02-04 |
| | Préchauffage du RLX dans un four à T = 300° C | | | | | | | | | | | | |
| 50 | Rechargement | | Machine Outil weldclad | | | | | | | | | | 28 |
| | Monter et fixer rouleau | | | | | | | | | | | | |
| | Régler les paramètres de rechargement | | | | | | | | | | | | |
| | Rechargement en 02 couches avec fil WELDCLAD75 Ø362 | | | | | | | | | | | | |

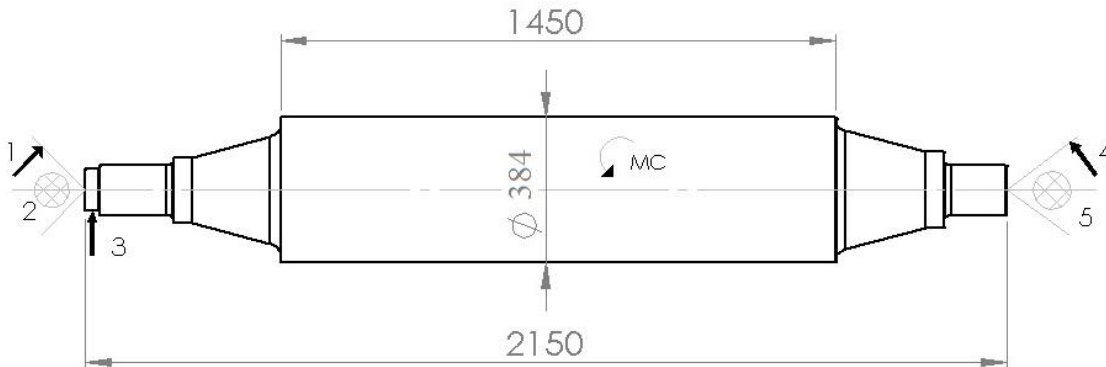
CHAPITRE III: CAS D'APPLICATION DE RECHARGEMENT PAR SOUDAGE AUX AMM

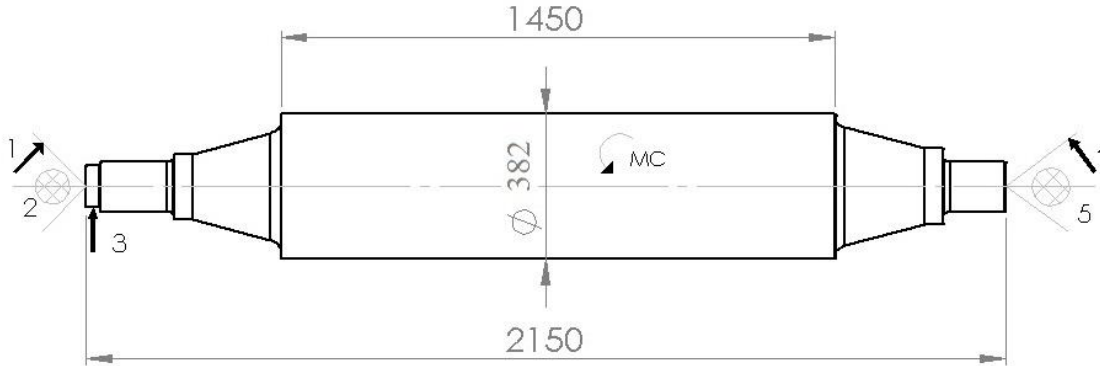
| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|-------------|-----------------|--------------|--------------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|----------|--------------|-----------|
| | Rechargement en 04 couches avec fil WELDCLAD3 Ø386 | | | | | | | | | | | | |
| 60 | Contrôle | | | | | | | | | | | | |
| 70 | Traitement thermique | | | | | | | | | | | | 24 |
| | Chauffage au four a T°600°C | | | | | | | | | | | | |
| | Maintien de la température pendant 08 heures | | | | | | | | | | | | |
| | Refroidissement au four à port ouverte jusqu'à T°≤250°C ensuite à l'air libre durant 14 h. | | | | | | | | | | | | |
| 80 | Tournage | 1M65 | Outil CM | Pc500 | Mixte | | | | | | | | 14 |
| | Ebauche Charioter Ø 384 sur la longueur 1450mm | | | | | 17.4 | 70 | 58 | 0.3 | 1 | 3 | 83.56 | 4 |
| | ½ finition Charioter Ø382 sur la longueur 1450mm | | | | | 19.8 | 80 | 66 | 0.3 | 0.5 | 3 | 73 | 4 |
| | Finition 1-Charioter Ø380 sur la longueur 1450mm 2- Chanfreiner les bouts suivant plan | | | | | 24.9 | 100 | 83 | 0.3 | 0.25 | 2 | 58 | 6 |
| 90 | Contrôle final | | | | | | | | | | | | |
| | Contrôle dimensions + durée + marquage du RLX | | | | | | | | | | | | |

| GAMME DETAILLEE REPARATION | | | | | | | PIECE | | | ROULEAU | | |
|----------------------------|---|-----------------------------------|---|-------------------------|--------|--------|----------------------|------------|-----------|------------|---------|--------|
| | | | | | | | Dureté HRC | | | | | |
| | | | | | | | Phase | | | 20 | | |
| | | | | | | | Sous phase | | | / | | |
| | | | | | | | Machine-outil TOUR | | | 1M65 | | |
| | | | | | | | Temps pièce | | | / | | |
| | | | | | | | Temps calcule | | | / | | |
| | | | | | | | Nombre Annuel | | | Unitaire | | |
| | | | | | | | Poids brut (Kg) | | | / | | |
| | | | | | | | Nombre de pièce/Lots | | | Unitaire | | |
| N° | Description des opérations | Montage | Outils | Instruments de contrôle | P (mm) | D (mm) | L (mm) | Vc (mm/mn) | N (tr/mn) | Vf (mm/mn) | Tm (mn) | Te (h) |
| 20 | Tournage : charioter p1 Ebauche : D= 350 mm L= 1450 mm | Montage mixte Lunette à suivre | Outil à charioter en carbure métallique | Pc 500 | 5 | 350 | 1450 | 70 | 58 | 17.4 | 83.56 | 4 |

| GAMME DE REPARATION | | | | | | | | PIECE | | ROULEAU |
|---------------------|---|---------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------|-----------|-----------|----------------------|--------------|-----------|
| <p>3</p> | | | | | | | | Dureté HRC | | |
| | | | | | | | | Phase | | 50 |
| | | | | | | | | Sous phase | | 51 |
| | | | | | | | | Machine-outil | | Weldclad |
| | | | | | | | | Temps pièce | | / |
| | | | | | | | | Temps calcule | | / |
| | | | | | | | | Nombre Annuel | | Unitaire |
| | | | | | | | | Poids brut (Kg) | | / |
| | | | | | | | | Nombre de pièce/Lots | | Unitaire |
| N° | Description des opérations | Montage | Outils | Instru- ments de contrôle | PAS (mm) | D (mm) | L (mm) | Vc (mm/mn) | N (tr/mn) | Te (h) |
| 51 | Rechargement P1 Jusqu'à 362 mm 02 couches avec fil weldclad75 | Deux mandrins | Tête soudure et fil weldclad03 | PC 500 | 45 | 362 | 1450 | 150 | 135 | 14 |

| GAMME DE REPARATION | | | | | | | | PIECE | | ROULEAU |
|---------------------|---|---------------|--------------------------------------|--------|----|-----|------|----------------------|----------------------------|----------|
| | | | | | | | | Dureté HRC | | |
| | | | | | | | | Phase | | 50 |
| | | | | | | | | Sous phase | | 52 |
| | | | | | | | | Machine-outil | | Weldclad |
| | | | | | | | | Temps calcule | | / |
| | | | | | | | | Nombre Annuel | | Unitaire |
| | | | | | | | | Poids brut (Kg) | | / |
| | | | | | | | | Nombre de pièce/Lots | | Unitaire |
| | | | | | | | | N° | Description des opérations | Montage |
| 52 | Rechargement P2 Jusqu'à 386 mm 04 couches avec fil weldclad03 | Deux mandrins | Tête soudure et fil weldclad03 | PC 500 | 45 | 386 | 1450 | 150 | 135 | 14 |

| GAMME DE REPARATION | | | | | | | | PIECE | | ROULEAU | |
|--|---|-----------------------------------|---|-------------------------|----------|--------|--------|----------------------|-----------|----------|--------|
|  | | | | | | | | Dureté HRC | | | |
| | | | | | | | | Phase | | 80 | |
| | | | | | | | | Sous phase | | 81 | |
| | | | | | | | | Machine-outil | | 1M65 | |
| | | | | | | | | Temps pièce | | / | |
| | | | | | | | | Temps calcule | | / | |
| | | | | | | | | Nombre Annuel | | Unitaire | |
| | | | | | | | | Poids brut (Kg) | | / | |
| | | | | | | | | Nombre de pièce/Lots | | Unitaire | |
| N° | Description des opérations | Montage | Outils | Instruments de contrôle | PAS (mm) | D (mm) | L (mm) | Vc (mm/mn) | N (tr/mn) | Tm (mn) | Te (h) |
| 81 | Tournage : P1 Ebauche : D= 384 mm L= 1450 mm | Montage mixte Lunette à suivre | Outil à charioter en carbure métallique | PC 500 | 1 | 384 | 1450 | 70 | 58 | 83.56 | 4 |

| GAMME DE REPARATION | | | | | | | | PIECE | | ROULEAU | |
|--|---|-----------------------------------|---|-------------------------|----------|--------|--------|----------------------|-----------|----------|--------|
|  | | | | | | | | Dureté HRC | | | |
| | | | | | | | | Phase | | 80 | |
| | | | | | | | | Sous phase | | 82 | |
| | | | | | | | | Machine-outil | | 1M65 | |
| | | | | | | | | Temps pièce | | / | |
| | | | | | | | | Temps calcule | | / | |
| | | | | | | | | Nombre Annuel | | Unitaire | |
| | | | | | | | | Poids brut (Kg) | | / | |
| | | | | | | | | Nombre de pièce/Lots | | Unitaire | |
| N° | Description des opérations | Montage | Outils | Instruments de contrôle | PAS (mm) | D (mm) | L (mm) | Vc (mm/mn) | N (tr/mn) | Tm (mn) | Te (h) |
| 82 | Tournage : P1 Demi-finition : D= 382 mm L= 1450 mm | Montage mixte Lunette à suivre | Outil à charioter en carbure métallique | PC 500 | 0.5 | 382 | 1450 | 80 | 66 | 73 | 4 |

| GAMME DE REPARATION | | | | | | | | PIECE | | ROULEAU | |
|---------------------|--|-----------------------------------|---|-------------------------|----------|--------|--------|-----------------------------|-----------|-----------------|--------|
| | | | | | | | | Dureté HRC | | | |
| | | | | | | | | Phase | | 80 | |
| | | | | | | | | Sous phase | | 83 | |
| | | | | | | | | Machine-outil | | 1M65 | |
| | | | | | | | | Temps pièce | | / | |
| | | | | | | | | Temps calcule | | / | |
| | | | | | | | | Nombre Annuel | | Unitaire | |
| | | | | | | | | Poids brut (Kg) | | / | |
| | | | | | | | | Nombre de pièce/Lots | | Unitaire | |
| N° | Description des opérations | Montage | Outils | Instruments de contrôle | PAS (mm) | D (mm) | L (mm) | Vc (mm/mn) | N (tr/mn) | Tm (mn) | Te (h) |
| 83 | Tournage : P1 Finition : D= 380 mm L= 1450 mm | Montage mixte Lunette à suivre | Outil à charioter en carbure métallique | PC 500 | 0.25 | 380 | 1450 | 100 | 83 | 58 | 6 |



CHAPITRE IV :
Etude expérimentale
(Essais mécanique)

IV. Introduction :

Pour mieux voir l'influence du rechargement sur les propriétés mécanique de la couche superficielle du rouleau du point de vue endurance, nous avons envisagé de réaliser des essais mécaniques. Mais malheureusement au niveau des ateliers Magrébine de Mécaniques (AMM) il s'est avéré qu'il est impossible de réaliser l'essai d'usure par frottement et vue la durée de stage on s'est contenté de réaliser les essais de dureté, traction et de résilience.

IV.1. Essai de dureté :

IV.1.1. Définition :

La dureté est une mesure de la résistance à la déformation d'un matériau. La valeur exprimée par un nombre sans dimension est reliée directement ou indirectement dans les essais les plus fréquents à la plus ou moins grande facilité d'enfoncer un pénétrateur à la surface du corps étudié.

L'intérêt réside dans la facilité et le caractère peu destructif de l'essai qui renseigne sur l'état d'un métal à l'état final ou lors des procédés de production (notamment à l'étape des traitements thermiques). Elle peut dans certains cas être mise en relation avec les

Caractéristiques de traction. Une autre utilisation pratique importante concerne les soudures.

La dureté n'est pas une propriété fondamentale d'un matériau. Il existe cependant des Étendues de dureté à l'intérieur desquelles évoluent certains matériaux. La dureté se modifie

Avec la chaleur ; autrement dit, une pièce soumise à un traitement thermique aura une valeur de dureté différente (supérieure).

Il n'existe pas de valeurs de dureté fixes .La valeur de dureté déterminée lors d'un essai de dureté peut dépendre:

- De la méthode d'essai choisie.
- De la force d'essai appliquée au pénétrateur.
- Du temps de maintien du pénétrateur dans le matériau.
- De la géométrie du pénétrateur.
- De la géométrie de la pièce.

IV.1.2. Le but :

L'essai de dureté est un outil essentiel de discrimination des matériaux et d'analyse, de développement et d'amélioration des matériaux et des technologies dans le cadre de la recherche fondamentale (science des matériaux, techniques des matériaux, diagnostic des matériaux).

Il permet de collecter des valeurs caractéristiques (valeurs de dureté) qui sont d'une importance décisive pour l'application des matériaux dans l'industrie (aptitude d'un matériau pour un composant technique), pour leur réception dans le cadre de contrôles d'assurance qualité (inspection en entrée et en sortie), pour la discrimination des matériaux (par exemple dans le cas de confusion entre matériaux) et pour la clarification en cas de sinistres (analyse des dommages).

IV.1.3. Le principe :

Pour mesurer la dureté d'un matériau un pénétrateur (dont la forme varie selon le type de l'essai) est enfoncé à la surface du matériau à tester avec une force F (variable) connue pendant un temps donné. Plus l'empreinte laissée est petite, plus le matériau est dur. La dureté se mesure sur différentes échelles selon le type de matériau considéré.

Il existe une grande variété d'essais de dureté possibles, les plus courants et les plus familiers sont les essais de pénétration ou de rebondissement pour caractériser la dureté des métaux, des matières plastiques et des élastomères, mais les essais par rayage peuvent dans certains cas offrir des possibilités intéressantes pour caractériser la dureté des minéraux. Ces essais ont l'avantage d'être plus simples à réaliser, rapides et généralement non destructifs.

Par ailleurs, ils permettent d'apprécier et d'estimer dans certaines mesures la résistance mécanique des matériaux, leur rigidité, la résistance des corps fragiles, etc

La dureté est proportionnelle au quotient de la force " F " par l'aire " S " de la surface déformée par le pénétrateur sur le matériau.

Quels sont les différents facteurs des essais par pénétration?

- Type de pénétrateur (forme et dimensions).
- Valeur de la force d'essai appliquée.

Quels sont les principaux types d'essais par pénétration?

- Brinell.
- Vickers.
- Rockwell.

Selon la disponibilité et la nuance de l'échantillon on fait le type de dureté Rockwell.

HRA: 60 kgf.

HRB: 100 kgf.

HRC: 150 kgf.

Remarque : Et comme la pièce brute est moins solide que la pièce rechargée, car la chaleur et la fusion du métal font que les atomes de carbone se dilatent et se compactent, alors nous utilisons HRA pour la pièce brute et HRC pour la pièce rechargée.

IV.1.4. Déroulement de l'essai :

Etape 1 :

Le pénétrateur est tout d'abord enfoncé dans l'échantillon avec la pré-force (aussi appelée pré-charge) jusqu'à la profondeur de pénétration h_0 . h_0 définit le niveau référence (base) pour la mesure de la profondeur de pénétration rémanente (h) qui suivra.



Figure IV-1 : démarrage de l'essai de dureté

Etape 2 :

Ensuite, la force d'essai additionnelle est appliquée pour un temps de maintien défini dans la norme concernée (plusieurs secondes), le pénétrateur pénétrant dans l'échantillon jusqu'à la profondeur de pénétration maximale h_1 . La somme de la pré-force et de la force d'essai additionnelle donne la force totale du test (aussi appelée force totale ou charge principale).

Etape 3 :

Après le temps de maintien, la force d'essai est retirée, le pénétrateur revient à sa position initiale de la part élastique de la profondeur de pénétration par rapport à la force totale du test et s'immobilise à hauteur de la profondeur de pénétration rémanente h (exprimée en unités de 0,002 ou 0,001 mm). Cette dernière est également appelée différence de profondeur (différence entre la profondeur de pénétration avant et après application de la force totale du test). La profondeur de pénétration rémanente h permet ensuite de calculer la dureté Rockwell (HR) selon une formule définie dans la norme en s'aidant de l'échelle Rockwell utilisée.

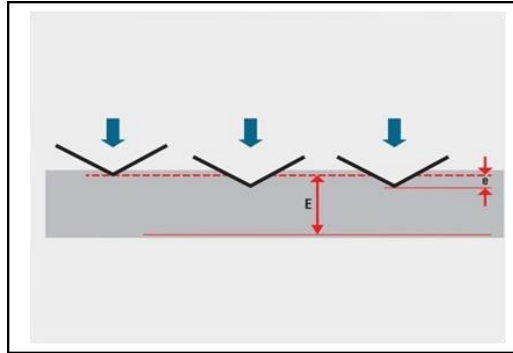


Figure IV-2 : la pénétration de l'échantillon

IV.1.4.1. Résultat de l'essai :

Tab IV-1 : résultat d'essai de dureté

| Pièce brute | | Pièce rechargée | |
|-------------|------------|-----------------|------------|
| La dureté | la moyenne | La dureté | la moyenne |
| (HRA) | (HRA) | (HRC) | (HRC) |
| D1= 18.0 | Dm= 19 | D1= 23.7 | Dm= 23.93 |
| D2= 19.3 | | D2= 23.5 | |
| D3= 19.7 | | D3= 24.6 | |

IV.1.4.2. La comparaison :

Selon les résultats obtenus, nous concluons que la pièce rechargée est plus solide que la pièce brute

IV.2. Essai de traction :

IV.2.1. Définition :

L'essai consiste à exercer sur une éprouvette de forme cylindrique ou parallélépipédique des forces croissantes, qui vont la déformer progressivement puis la rompre.

➤ Caractéristiques fondamentales définies par l'essai de traction

Re: limite élastique.

Rr : Résistance à la rupture.

Allongement pour cent A%: $A\% = 100 \cdot \frac{\Delta L}{L_0}$

On à : $\Delta L = L_u - L_0$

Donc :

$$A\% = 100 \cdot \frac{L_u - L_0}{L_0}$$

L_u : La longueur ultime, longueur de la barre juste avant la rupture.

L_0 : La longueur initiale, longueur de la barre avant le début de l'essai de traction.

IV.2.2. Le but :

L'essai de traction a pour but l'évaluation des caractéristiques d'un matériau. L'essai consiste à exécuter sur une éprouvette déforme cylindrique des forces croissantes qui vont la déformer progressivement puis la rompre.

IV.2.3. Principe:

Pour réaliser cet essai, une éprouvette est prélevée dans un assemblage soudé. Elle est ensuite préparée afin de créer une section réduite dans laquelle se situe la soudure. L'éprouvette casse toujours dans la section réduite qui est la zone de plus faible résistance. Pour cette raison, l'essai fournit des indications utiles sur la soudure.

- L'essai de traction donne plusieurs valeurs importantes :

Tab IV-2 : les valeurs liées à la traction

| Grandeur et unité usuelle | Nom | Qualité(s), Propriétés | Comportement |
|----------------------------|--|--|-------------------|
| E , GPa | Module de Young | Rigidité-Souplesse : rigide si E est élevé, souple si E est faible. | Élasticité |
| R_e (ou), MPa | Limite d'élasticité | Dureté : dur si R_e est élevé, mou si R_e est faible. | Élasto-plasticité |
| R_m (ou), MPa | Résistance (contrainte à la rupture) | Résistance : résistant si R_m est élevé. | Élasto-plasticité |
| $A\%$, sans dimension (%) | Allongement % (déformation, allongement relatif à rupture) | Ductilité, malléabilité, fragilité : fragile si $A\%$ est faible ; ductile, malléable si $A\%$ est élevé | Élasto-plasticité |

- En enregistrant la force appliquée à l'éprouvette par la machine de traction et son allongement progressif on obtient un **diagramme contrainte-déformation**.

IV.2.4. Diagramme contrainte-déformation en traction d'une éprouvette en métal :

L'application d'une force provoque initialement une **déformation élastique** de l'éprouvette. Cela se traduit sur le diagramme par une droite car la déformation est proportionnelle, pour un métal, à la contrainte.

Cette déformation élastique est réversible. Si la contrainte est annulée, l'éprouvette revient instantanément à sa forme initiale. Cette déformation élastique est suivie d'une déformation irréversible (permanente) appelée **déformation plastique**, qui se traduit sur le diagramme par une courbe qui se termine au moment de la rupture de l'éprouvette. [12]

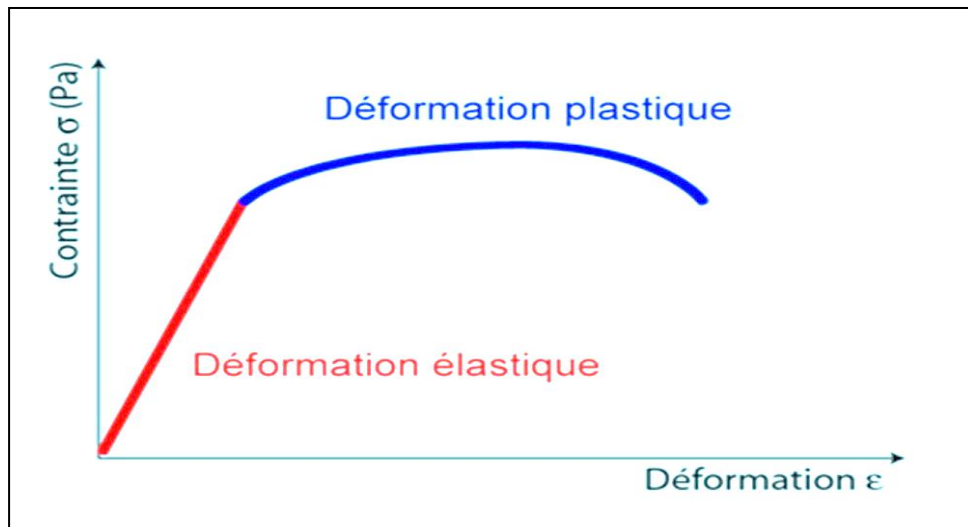


Figure IV-3 : Courbe contrainte – déformation .Domaine élastique et domaine plastique

- Pour bien détailler, on observe les phases successives suivantes comme la montre la figure ci-dessous:

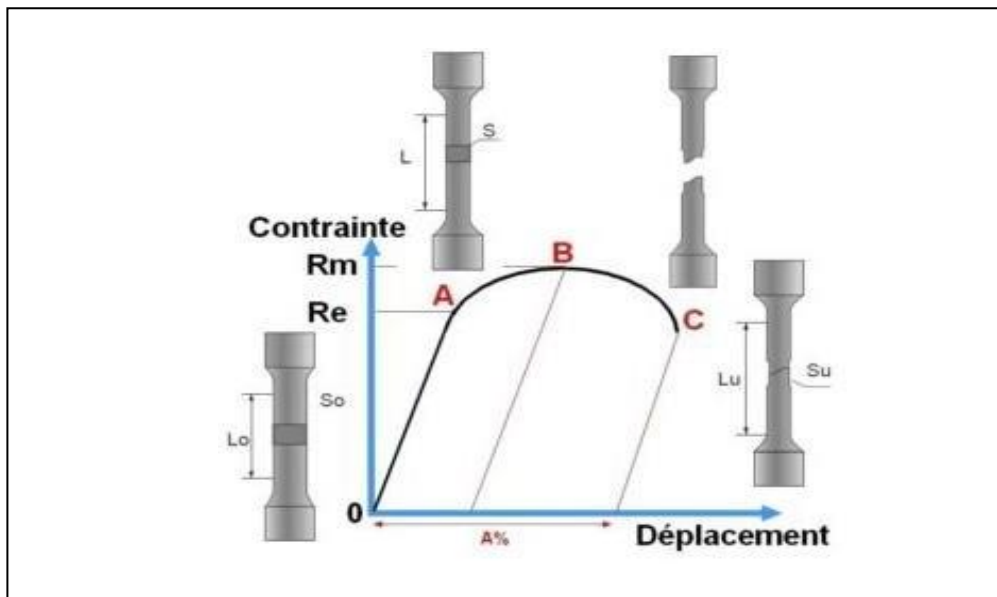


Figure IV-4 : courbe détailler contrainte – déplacement

IV.2.5.Déroulement de l'essai :

IV.2.5.1.L'usinage des éprouvettes :

a- Préparation de la tôle :

Nous prélevons une tôle (205×205×5mm) et suivons ces étapes pour la préparer :



Figure IV-5 : tôle d'acier

- Premièrement, nous coupons un échantillon pour usinée l'éprouvette avant de commencer l'opération de rechargement.
- Deuxièmes, début d'opération de rechargement, Nous prenons en compte les éléments suivants :
 - Le type de soudure : est un soudage manuel à l'arc
 - La baguette à souder : baguette ordinaire à enrobage basic $\varnothing 4$ mm
 - type de rechargement : rechargement balayage
 - 2 couches:
 - 1^{ère} couche de 8 mm avec la baguette de $\varnothing 4$ mm
 - 2^{ème} couchent de 13 mm avec la baguette $\varnothing 5$ mm
- Rechargement des bords.



Figure IV-6 : pièce fini après rechargement

- Troisièmement: Recuit de détensionnement



Figure IV-7 : la tôle après traitement

b- Découpe des éprouvettes :

- Marquer à la craie l'endroit où couper la pièce afin que toutes les plaques soient égales en largeur de 25 mm.
- Fixation de la tôle dans une fraiseuse conventionnelle et démarré l'opération de découpage avec une fraise de 25mm (parce que la pièce après rechargement devient plus dur alors ne peut pas découper avec le Scie électrique).



Figure IV-8 : l'opération de découpage



Figure IV-9 : les échantillons après découpage

- En élimine le métal de base et laisser 5mm de métal d'apport.

c- **Forme et dimensions de l'éprouvette de l'essai de traction :**

L'éprouvette est généralement obtenue par usinage d'un prélèvement d'un produit ou d'une ébauche moulée. Sa section est habituellement plate. [13]

Dans cette étude on a usinée les éprouvettes dans une fraiseuse à commande numérique.

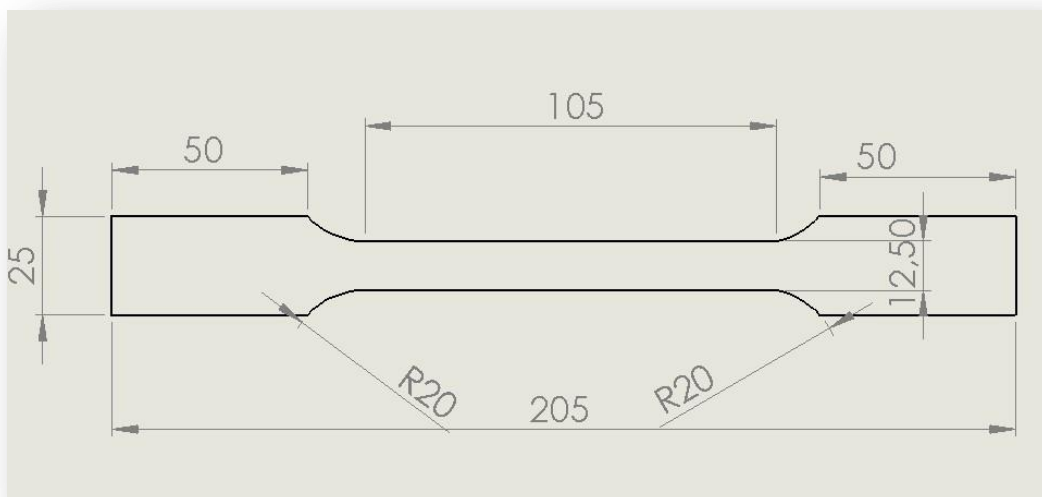


Figure IV-10 : Dimensions de l'éprouvette

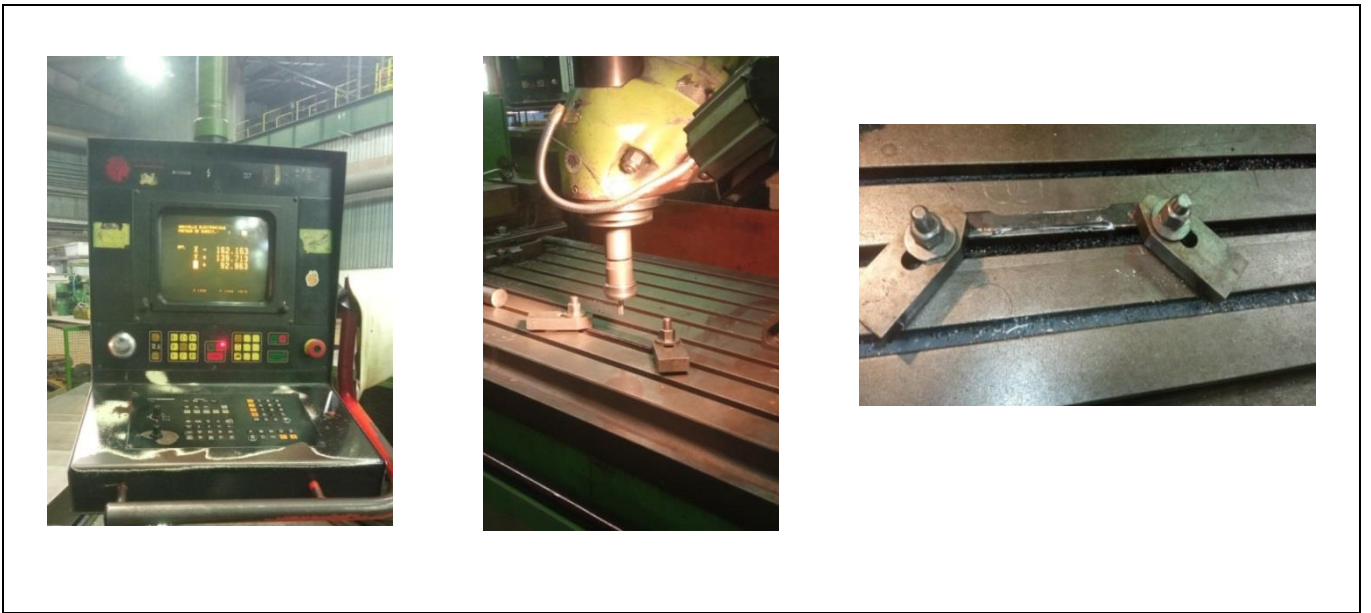


Figure IV-11 : usinage des éprouvettes



Figure IV-12 : les pièces finies

- **L'application pratique de l'essai de traction :**
 - Mettre en marche l'ordinateur et attendre l'affichage du menu suivant pour pouvoir continuer choisir le programme d'essai.

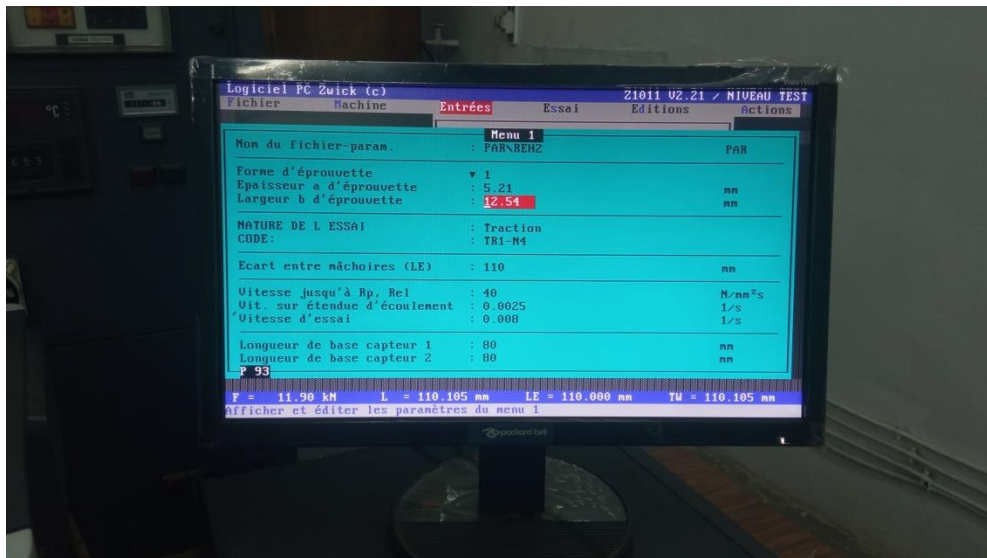


Figure IV-13 : réglage les paramètres de l'essai

- Entrer les dimensions de l'éprouvette et vérifier les vitesses de mise en charge et d'essai conformément à la norme d'usage.
- Mettre en marche la centrale hydraulique (bouton blanc "on" situé sur la face avant du DUPS).
- On place l'éprouvette dans la machine de traction et ajustons les paramètres nécessaires sur l'ordinateur.



**Machine de traction MFL
PRUFSYSTEME UHP 600KN**



**Montage de l'éprouvette entre
les deux mors de la machine de
traction**

Figure IV-14 : la fixation de l'éprouvette

CHAPITRE III: CAS D'APPLICATION DE RECHARGEMENT PAR SOUDAGE AUX AMM

- Fermer les mordaches du haut et celle du bas à l'aide de la commande manuelle et s'assurer que l'éprouvette fixée, afin d'éviter un glissement. Entrer la position actuelle de la traverse.
- Démarrer l'essai.
- L'essai s'arrête à la rupture de l'éprouvette, et avant d'imprimer le graphique de traction s'assurer que la sécante passe exactement sur la portion rectiligne de la courbe.

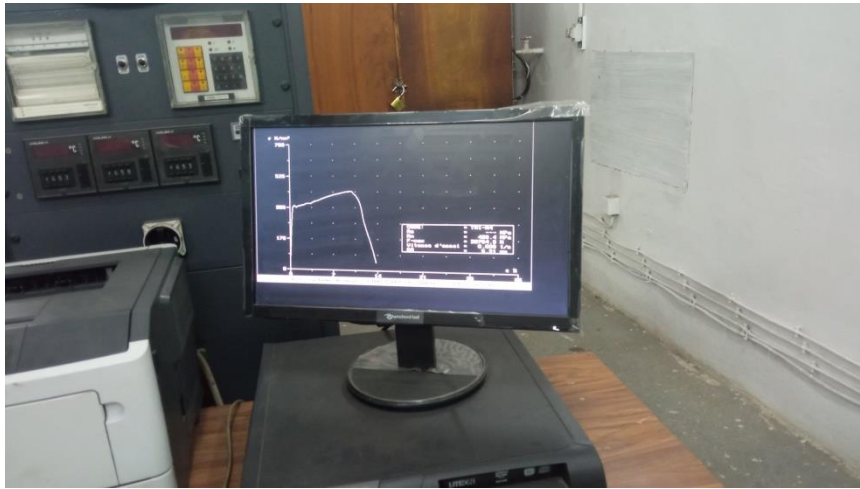


Figure IV-15 : le graphe

- retirer l'éprouvette rompue.



Figure IV-16: Les éprouvettes après la rupture

Résultat d'éprouvette à l'état brute

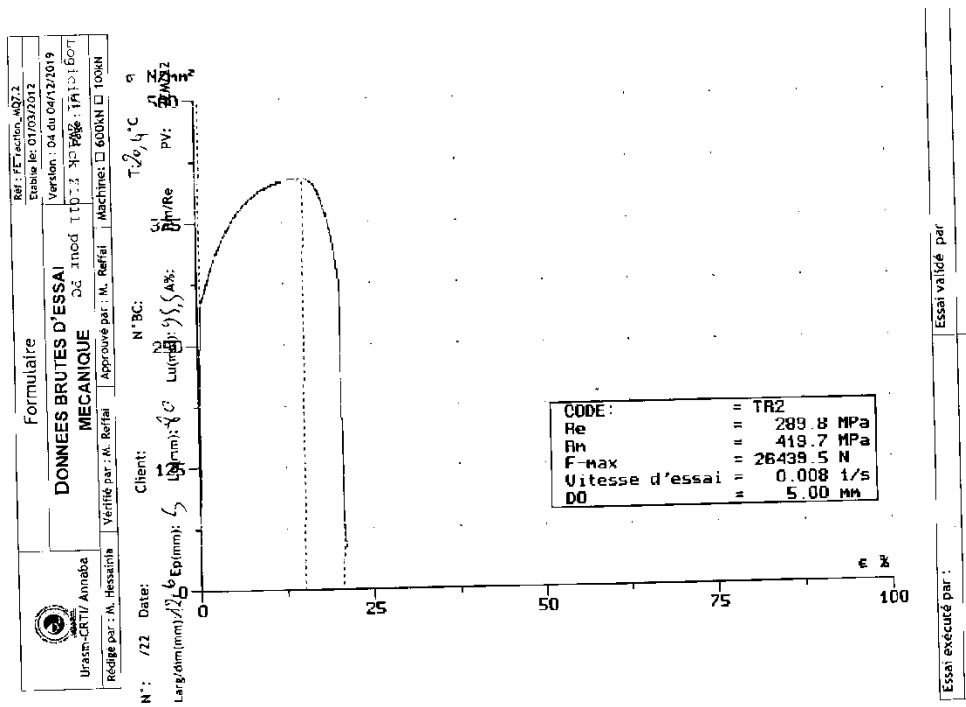


Figure IV-18 : le graphe de l'éprouvette brute

Résultat d'éprouvette (zone de métal d'apport) :

Les principaux résultats obtenus lors des essais de traction sont représentés dans le tableau (IV-3).

Tab IV-3 : Caractéristiques des éprouvettes en traction.

| Les paramètres | Eprouvette à l'état brut | Métal d'apport |
|-----------------------|--------------------------|----------------|
| Epaisseur (mm) | 5.00 | 5.00 |
| Re (Mpa) | 245.5 | 289.8 |
| Rm (Mpa) | 389.2 | 419.7 |
| F-max (N) | 24738.2 | 26439.5 |
| Vitesse d'essai (1/s) | 0.008 | 0.008 |

- Calcule L'allongement (l'éprouvette à l'état brut) :

$$A\% = 100 \cdot \frac{104.99 - 80}{80} = 31.23$$

Le métal d'apport :

$$A\% = 100 \cdot \frac{95.5 - 80}{80} = 19.37$$

Tab IV-4 : résultat final de calcul

| | A l'état brut | Le métal d'apport |
|------------------------------|---------------|-------------------|
| L_u (mm) | 104.99 | 95.5 |
| L₀ (mm) | 80 | |
| A (%) | 31.23 | 19.37 |

IV.2.5.3. L'influence de rechargement à l'aide d'essai de traction :

D'après les résultats obtenus dans le tableau, l'allongement de la pièce rechargée est faible par rapport à l'état brut, donc il est plus dur et plus résistant.

IV.3. Essai de résilience :

IV.3.1. Définition d'essai de résilience :

La résilience qui a pour symbole **K**, est l'aptitude que possède un matériau à résister plus ou moins bien aux chocs..

Lors de l'essai, une force de poids **P** va tomber d'une certaine hauteur **H**, à ce moment on va enregistrer au niveau de l'éprouvette (**e**) un certain travail que l'on va noter.

Lorsque l'éprouvette sera cassée, on aura enregistré un travail résiduel **W_r**, ce qui va nous permettre de déterminer le travail nécessaire pour briser l'éprouvette. (**W_n**)

IV.3.2. Le but de résilience :

Il s'agit pour le métallurgiste de déterminer la résistance aux chocs de certaines pièces ou de certains matériaux.

La résistance aux chocs est une des caractéristiques primordiales pour le choix d'un matériau notamment dans la construction.

IV.3.3. Principe:

- L'essai de résilience (encore appelé essai de flexion par chocs).
- Consiste à rompre d'un seul coup de mouton pendule, une éprouvette qui sera préalablement entaillée en son milieu, afin de faciliter la rupture de la pièce.
- Cette éprouvette, repose sur des appuis.
- Au moment où le couteau frappe l'éprouvette on va déterminer.
- l'énergie absorbée qui sera exprimée en joules.
- C'est cette énergie qui caractérise la résistance aux chocs.
- Des matériaux.

➤ **Le symbole de générale de la résilience (K) :**

$$\text{Résilience} = \frac{\text{Travail nécessaire}}{\text{Section après entaille}}$$

On aura ainsi la formule :

$$K = \frac{Wn}{S}$$

- w en joules

- S en cm²

a. Conditions de réalisation:

L'essai doit se faire à une température ambiante, sauf spécification contraire si la température n'est pas spécifiée dans le cahier des charges, on prendra une température égale à 23°+5.

L'éprouvette doit être disposée sur les appuis du mouton de Charpy de manière à ce que l'arrêt du couteau du mouton vienne la frapper dans le plan de symétrie de l'entaille et sur la face opposée à celle-ci.

Pour l'essai normal, l'énergie nominale du mouton doit être de 300 joules+10.

Si pendant l'essai, l'éprouvette ne se rompt pas complètement, la valeur obtenue pour la résilience est incertaine, dans ce cas il faudra mentionner:

«Epreuve non rompue par X joules» et on relèvera l'angle de rupture de la pièce.

IV.3.4. Forme et dimensions de l'éprouvette de l'essai de résilience :

Les éprouvettes que l'on va utiliser pour effectuer les essais sont des éprouvettes normalisées.

C'est à dire que leurs caractéristiques sont indiquées par une norme.

Pour réaliser l'essai, il est nécessaire de faire une entaille normalisée sur celle-ci.

Les entailles peuvent être soit en U ou en V.

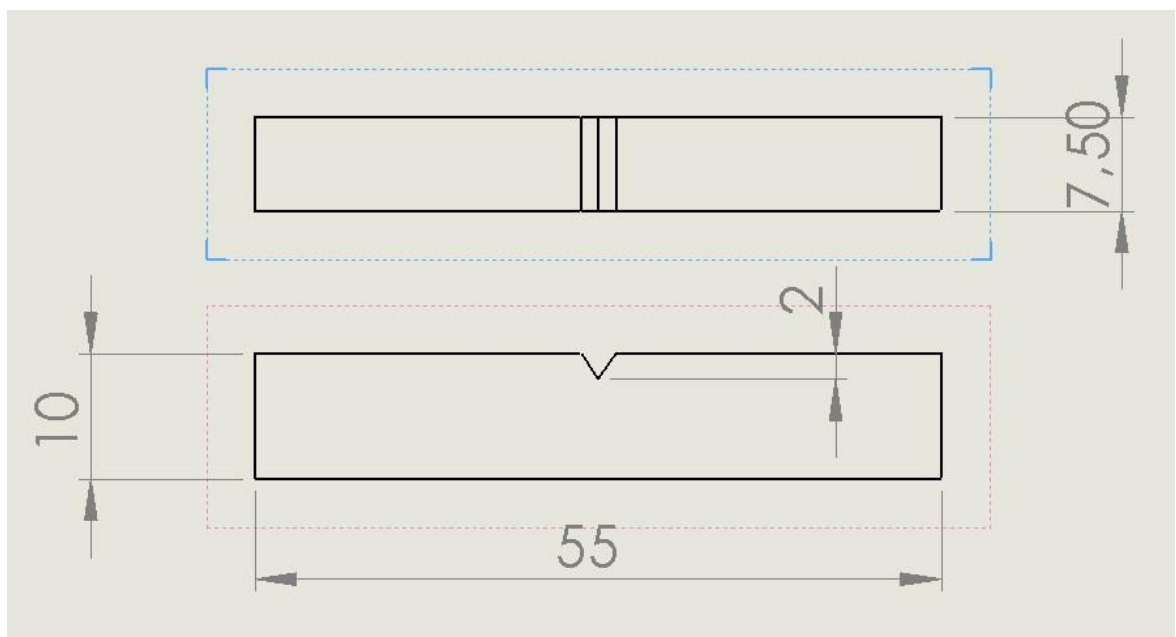


Figure IV-19 : démentions d'éprouvette avec entaille V

On doit usinée les éprouvettes selon la normalisation suivante :

- **Normalisation (NFA 03-161) :**

Longueur de l'éprouvette → 55 mm \pm 0.6

Hauteur de l'éprouvette → 7.5 mm \pm 0.11

Largeur de l'éprouvette → 10 mm \pm 0.9

Profondeur d'entaille → 2 mm

Angle de l'entaille (V) → 45° \pm 2°



Figure IV-20: la forme des éprouvettes après usinage

IV.3.5. L'application pratique de l'essai de résilience :

- Mesurer l'épaisseur h et la largeur b de chaque éprouvette à 0,02 mm près.
- Encliqueter le pendule en position de départ.
- Placer l'éprouvette contre les appuis en faisant correspondre l'entaille et le percuteur.
- Libérer le pendule avec précaution puis relever la valeur de l'énergie absorbée E si l'éprouvette est rompue.
- les éprouvettes doivent être soumises à l'essai.



Figure IV-21 : Les éprouvettes après l'essai

NB: La résilience de l'éprouvette est mesurée sur des machines (mouton-pendule) de type Charpy (éprouvette sur deux appuis)

IV.3.6. Résultats d'essai :

a- À l'état brut :

Tab IV-5 : résultat de l'essai sur l'éprouvette brute

| N° des éprouvettes | Section (Cm ²) | Travail de rupture | Résilience (Kg/cm ²) | Valeur moyenne | T° d'essais |
|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|-------------|
| 0 | 0.8×0.75=0.6 | 138 | 230 | 241.66 | 25°C |
| 1 | | 144 | 240 | | |
| 2 | | 153 | 255 | | |

b- Zone de métal d'apport :

Tab IV-6 : résultat de l'essai sur l'éprouvette rechargé

| N° des éprouvettes | Section (Cm ²) | Travail de rupture | Résilience (Kg/cm ²) | Valeur moyenne | T° d'essais |
|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|-------------|
| 4 | 0.8×0.75=0.6 | 150 | 250 | 238.33 | 25°C |
| 5 | | 121.5 | 202.5 | | |
| 6 | | 157.5 | 262.5 | | |

IV.3.7. Comparaison :

Après avoir comparé les résultats de résilience des éprouvettes à l'état brute et avec métal d'apport, on constate que la moyenne est proche dans les deux cas.

IV.4. Conclusion :

Finalement On peut dire que le rechargement augmente la dureté des matériaux et augmente sa résistance à la traction et à la résilience.

Conclusion :

Le problème qui nous a été proposé par l'unité AMM consiste à étudier une éventuelle solution pour réparer le cylindre Ø380 du laminoir.

Après constatation et étude de la pièce en question, il s'est avéré que le défaut est dû au phénomène de l'usure par frottement. Dans ce cas, nous avons essayé de mettre en place une solution à moindre coût. En utilisant la technique de rechargement par soudage réalisée sur la machine semi-automatique de weldclad, en suivant les étapes selon une gamme proposée afin de redimensionner le cylindre à son état d'origine. Et enfin, nous avons mené une étude expérimentale sur des essais mécaniques (dureté, traction et résilience) pour connaître l'influence du rechargement sur les propriétés mécaniques du matériau du cylindre.

Les références bibliographiques :

- [1]....(http://www.comiteperform.ca/IMG/pdf/guide_d_auto-apprentissage_soudage.pdf)
- [2]....Revue Métallurgique (cahier d'informations Technique) 83° N°10 Octobre 1986 Usure des Cannelures page 739.
- [http://fr.wikibooks.org/wiki/Tribologie/Nature et comportement des surfaces frotta...](http://fr.wikibooks.org/wiki/Tribologie/Nature_et_comportement_des_surfaces_frotta...)
du . 15/03/2015.
 - [http://fr.wikibooks.org/wiki/Tribologie/Usure des surfaces](http://fr.wikibooks.org/wiki/Tribologie/Usure_des_surfaces)
 - <http://univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/Tribologie.pdf>
 - [http://www.researchgate.net/publication/50297239 Tribologie du laminage froid de tle...](http://www.researchgate.net/publication/50297239_Tribologie_du_laminage_froid_de_tle...)
s Tribology in metal forming
- [3]....(<http://fr.wikibooks.org/wiki/Tribologie/Nature>)
- [4]....(<http://fr.wikibooks.org/wiki/Tribologie/Nature>)
- [5]....mémoir habib allah segoualla (Etude de dégradation des surfaces du cylindre et des rouleaux de laminoir a froid et amélioration des duré du vie par application de rechargement par soudage)
- [6]....<https://www.metaltop.fr/content/29-faq-recharger-arc-avec-electrode-rechargement>
- [7].... www.esab.com
- [8]....(<https://www.weldfil.com> fil fourré de soudage)
- [9].... SURFATEC – www.surfatec.org
- [10]....(<http://www.surfatec.org/rechargement/>)
- [11].... <https://www.metaltop.fr/content/29-faq-recharger-arc-avec-electrode-rechargement>
- [12]....(<http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap4/site/html/3.html>)
- [13]....(<https://conceptec.net/fr/techniques-de-base/materiaux/essais-et-contrôles/essai-de-traction>)
-