الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Département du Génie mécanique

Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Mécanique

Option : science des matériaux

THEME

Optimisation Des Cycles Thermiques Appliques à l'acier X20Cr13 Pour une Amélioration De Ces Propriété

Proposé et dirigé par : -Mr. Habireche Mohamed

- Mr. Mohri.A

Préparé et présenté par : - M^{elle}. DEHIMI djihad

- M^{elle}. BELHENNICHE salima

AnnéeUniversitaire2014-2015

Remerciements

Avant de procéder à tout développement sur cette expérience, il semble opportun de commencer cette intervention par et Merci à ceux qui m'a beaucoup aidé au cours de ce mémoire.

Tout d'abord que je tiens à remercier nos parents, qui ont le droit de recevoir mes sincères remerciements le courage et les sacrifices consentis au cours de mes études dans une longue vie de joie et de la santé.

En particuliers plusieurs grâce à mon encadreur ? Pour l'orientation, de compréhension et de gentillesse au cours de la durée de ma mémoire.

À la même occasion, je tiens à remercier le travail d'admin ? J'ai chargé mon hébergement au sein de la Banque et les diverses tâches et intéressant pour moi.

Sans oublier de mentionner l'aide précieuse de changer mon très cher qui a toujours existé pour m'aider et m'encourager.

Je remercie également l'Université ? Donnez-nous l'opportunité de vivre l'expérience comme une récompense pour le plan humain et professionnel, tout en conservant la possibilité de poursuivre des études

Je tiens à remercier tout le personnel et la Fondation Robert sur l'aide précieuse pour nous dans la note de processus.

Je tiens à remercier tous les professeurs pour leur soutien à wechgiahalna, en particulier le génie mécanique professeurs hoalom articles.

Enfin, je tiens à remercier ma famille et tous les amis

Dédicace

Par le biais de cet humble et modeste travail synonyme de
Concrétisation de cinq ans de formation, de labeur et d'efforts,
je dédie le fruit de ma patience, de mapersévérance :

A ma raison de vivre et ma fleur de vie ma mère, symbole d'amour,
D'affectionet de bienveillance, pour sa patience, ses sacrifices,
sa conscience, ses conseils quiont éclairé mon chemin,
et surtout pour l'amour qu'elle m'a apporté depuis manaissance.

A mon cher père ; en reconnaissance de tout ce qu'il a fait
Pour moi tout au long de son existence, pour son soutien moral,
son encouragement continuel, et pour sa compréhension.

A mes frères et mes sœurs bien aimées.

A toute ma famille.

A mes amis de prés et de loin.

A mon binôme salima et sa famille.

A tous mes Amis de la promotion 2O15.

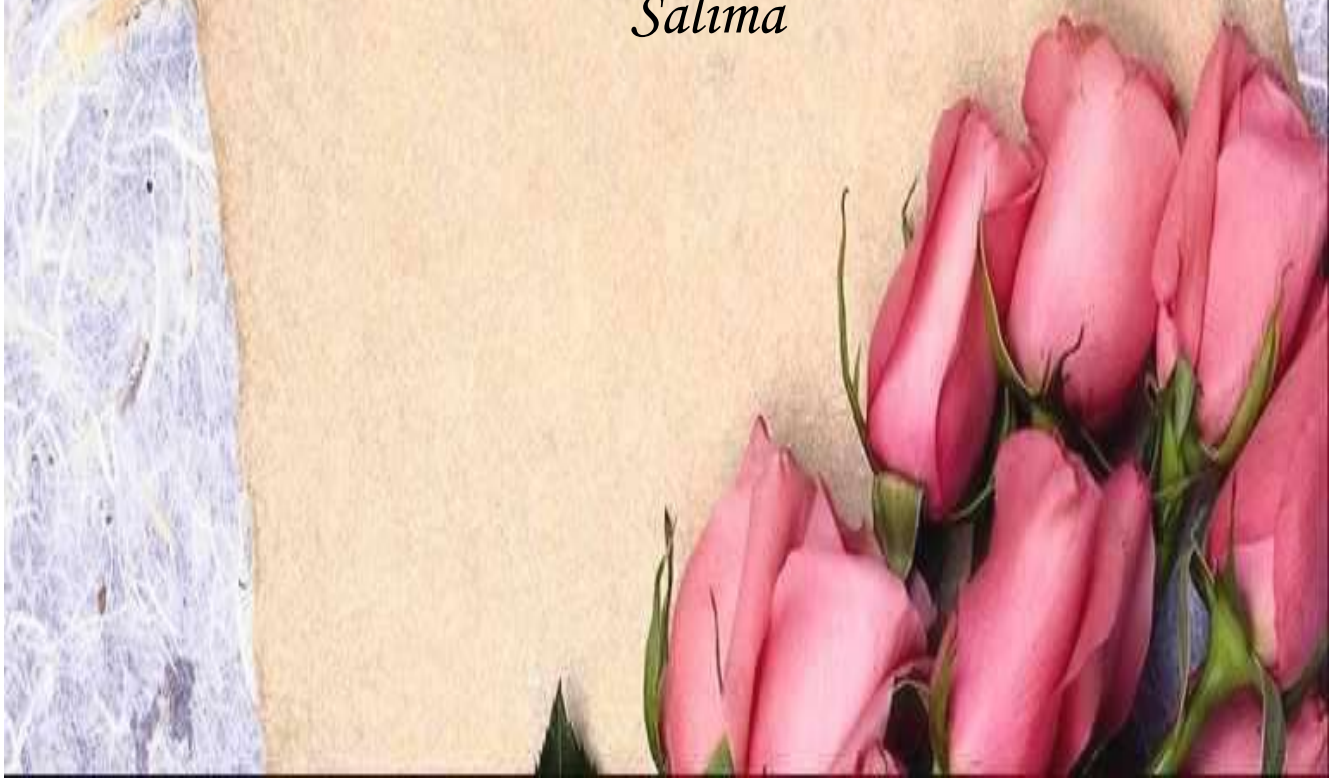
Atous mes amis de l'université surtout le groupe de science des matériaux

Djihad

Dédicace

à mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.
J'espère qu'ils trouveront dans cetravail toute ma reconnaissance et Tout mon amour.
Je dédie ce modeste travail à toute ma famille : mes sœurs Et mes frères
à tous famille
à mon mari et son famille
mon binôme de mémoire djihad
Bon mon amis tous mes amis de l'université surtout le groupe de science des matériaux
sans oublier mes meilleurs touent sincèrement je leur dis merci parce qu'il je vous aime tous

Salima



Résume

Remerciements

Table des matières

Liste des figures et tableaux

Introduction général

Chapitre1…….4

Génialité sur les aciers inoxydables……..4

1.1. Introduction.....5

1.2. Historique des aciers inoxydables……..6

1.3. Définition d'un inox ……..….7

1.4. Produits en aciers inox…….....…...7

1.5. Fabrication des aciers inoxydables…….……..7

1.5.1. Élaboration du métal liquide…….….8

1.5.2. Aciers électrique……..……..…….…….....8

1.6.Composition et structure des aciers inoxydables……...….11

1.6.1. Diagramme d'équilibre……..…..……..….11

1.6.1.1. fer- chrome……....11

1.6.1.2. Diagramme d'équilibre fer-C-Cr…… …….. .12

1.7. Classe de structure des aciers inox dans le système fer-C-Cr…….…...14

1.7.1. Aciers inoxydables ferrittique…….…….15

1.7.2. Aciers inoxydables martensitique……15

1.7.3.Aciers inoxydables austénitique…… 16

1.7.4.Aciers inoxydables austéno-ferritiques……....16

1-8.Critères de mise en œuvre…… ……..……...…16

1-8 .1.Structure à l'état recuit……..…….17

1-8.2.Usinabilité…….…..18

1 -8. 3. Résistance à la corrosion……..…19

1 .9 .Classification des aciers inoxydables…….19

1-9.2.1.Aciers de nuance C1……19

1-9.2.2-Aciers de nuance C3……19

1-9.2.3-Aciers de nuance C4……19

1-9.3.Aciers inoxydables austénitiques (nuances A1 à A5)……19

1-9.3.1-Aciers de nuance A1……..…..…..19

1-9.3.2-Aciers de nuance A2……..…...20

1-9.3.3Aciers de nuance A3……..…20

1-9.3.4.Aciers de nuance A4…….....20

1-9.3.5.Aciers de nuance A5……..……20

1-10.Propriétés principales désirée…….……..…..20

1-11.Rôle des éléments d'alliages……..21

1-12. Carbure…….....……23

Chapitre 2……..……25

Traitements thermiques des aciers inoxydables…….……..25

2-1.Introduction…….....…..26

2-2.Chauffage Des Aciers Inoxydables……26

2-2 .1. Par Conductibilité……..…27

2-2.2.Par production de la chaleur dans la pièce……...…27

2-2.3.Conditions de chauffage des pièces en traitements thermiques……..……27

2-3.Refroidissement des Aciers Inoxydables……...…….28

2-4.Courbes TTT et TRC d'un Acier inoxydables…….…..28

2-5.Transformation martensitique…….30

2-6.Gammes des Traitements Thermiques de l'acier Inox……31

2-6.1.Recuit des aciers inoxydables…….…..…...…31

2-6.1.1.Recuitd'homogénéisation……..... 32

2.6.1.2. Recuit de normalisation…….……..…34

2.6.1.3..Recuitd'adoucissementou de globalisation…….…35

2 .6.1.4. Recuits de restauration et de recristallisation……...35

2.7. Trempe des aciers inoxydables……..37

2.7.1. Principe delà trempe…….....37

2.7.2. Trempabilité des aciers inoxydables……..…...37

2.8. Influence de l'élément d'alliage sur la trempabilité…….38

2-8-1.Description de la transformation martensitique…….……..…39

2.8.1.1. Caractéristiques générales…….……..…..…39

2.8.1.2..austenite résiduelle âpres trempe…….…….39

2.9. La composition chimique…….……..…39

2.10. Structure du revenu……..…39

2.10.1. Introduction……..39

2.10.2. Traitements de revenu……..…40

3.11. Défauts de Surface dus aux Traitements Thermiques……..……41

2.11.1. Recarburation……..…..……42

2.11.2. Déchromisation……..……...…….……42

Chapitre 3…….……..….45

Techniques d'analyse…….45

3-1. Introduction…….…45

3-2. Composition chimique……...45

3-3.Dureté…….……...…46

3-4.Microstructure……..……..…..47

a) Polissage……...…..…..47
b) Attaque chimique…….....…49

3-5. Traitements thermiques…….……50

Partie II : Chapitre 4 Procédure expérimentale

Chapitre 4……..…55

Procédure expérimentale……..…55

4.1- Analyse de l'acier X20Cr13……..….55

4 .1.1.Introduction……...55

4.1.2. Donnés technique de l'acier inox……..……56

a).Normes…….57

4- 1.3. Composition chimique…….……57

4 .2. Caractéristiques de l'acier X20C13…….…57

4.3. Dureté de l'acier inox……..…..58

4.4. Microstructure de l'acier inox……..…….58

4.5. Choix des paramètres des traitements thermiques……59

4.5.1. Les conditions de trempe……59

4.5.2. Le revenu…….59

4.6. Caractérisation après traitements……...61

4.6.1. Dureté……..…61

4.7. Analyse des Microstructures sur Microscope Optique……..61

4.7.1. Structure de l'état trempé…….……..…..62

4.7.2. Structure de revenu……62

4.8. Conclusion partielle……63

CONCLUSION……64

APPENDICE A

Composes et phases

Référence

Résume

L’objectif de cette étude est l’optimisation du traitement thermique trempe et revenu par application d’une série de cycles thermiques pour donner les meilleures caractéristiques mécaniques et microstructurales de l’acier inoxydable martensitique X20Cr13.

Notre étude concerne la nuance X20Cr13 acier inoxydable martensitique, cette nuance a subi différents traitements thermiques pour l’amélioration de ces propriétés, afin de garantir une bonne tenue de ce dernier lors de son utilisation et une durée de vie acceptable.

Les aciers inoxydables martensitiques, comme d’autres aciers trempés et revenus, **peuvent être trempés**. C'est pourquoi les produits peuvent être fournis à l'état de recuit (traitement qui améliore l'usinabilité et la déformabilité, en plus l’état est apte à être trempé).

Mots clés

Carbures de Chrome ; Acier inoxydable martensitique ; Traitement thermique ; Conductibilité ; Trempabilité des aciers inoxydables ; Usinabilité ; Résistance à la corrosion ;

Abstract

Objective of this study is optimising heat treatment quenching and income for bettercharacteri zation mechanical and microstructural of précipitation of secondé phasesthe Martensitic stainl ess steel.
Our study concerns Martensitic X20Cr13 stainless steels grade, this shade moremechanical ch aracterization (hardness, resilience, tenacity) c the rough they are decreased.
Martens tic stainless steels, such as quenched and tempered steels, Can be soaked. This
Is why the products can be supplied to the State of annealing (treatment that improves the machinability and deformability) and theState of hardened andtempered (that in however exalt s the characteristics of mechanical resistance andcorrosion).

Finally, to achieve large values of surface hardness, it is possible to submit this steelsfor induc tion quenching after chip removal machining.

Key Word:

Chromium carbide; Martens tic stainless steel; Heat treatment; Conductivity;
Hardenability of steels; Machine Abélite;

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تحسين المعالجة الحرارية تبريد والدخل لتحديد أفضل الخصائص الميكانيكية و البنيوية في الفولاذ المقاوم للصدأ الفيريتي.

X20Cr13. الصنف الفولاذ المقاوم للصدأ (أنكس)

الفولاذ المقاوم للصدأ الفيريتي قابل للمعالجة الحرارية ان تحسن من الصلابة ، الفولاذ مروني وخفيف. وهذا السبب يمكن توريد المنتجات للدولة من الصلب (العلاج الذي يحسن من المميزات الميكانيكية) وحالة تصلب في أي تمجد خصائص (المقاومة الميكانيكية والتآكل)

أخيرا، تحقيق القيم الكبيرة من صلابة السطح، فمن الممكن أن يقدم هذه الفولاذ لتبريد التعريفي بعد رقاقة إزالة القطع

الكلمات الرئيسية:

كربيد الكروم؛ الفولاذ المقاوم للصدأ الفيريتي؛ المعالجة بالحرارة؛ التوصيل؛ الصلابة فولاذ المقاومة للتآكل

Introduction générale

Introduction générale

Le choix d'un matériau pour une application donnée nécessite s'assurer sa durabilité dans ses conditions d'emploi, en particulier environnementales, ceci est particulièrement vrai pour le système destiné à travailler dans des milieux sévères, plus dans des atmosphères corrosives, pour cela la connaissance du matériau utilisé et la compréhension des traitements thermiques est indispensable afin de prévoir la durée de vie des structures ainsi que de pouvoir proposer des solutions adaptées. L'intérêt des aciers inoxydables réside dans leurs nombreuses caractéristiques de résistance mécanique (dureté, résilience, résistance à la déformation). Un avantage majeur de ces aciers est leur résistance à la corrosion et à l'oxydation à chaud, due à la présence en surface d'une couche protectrice, constituée majoritairement d'oxyde et d'hydroxydes de fer et de chrome.

Enfin, ces aciers sont pratiquement entièrement recyclables. touts ces caractéristiques font de l'acier inoxydable un matériau de prédilection pour de multiples applications aussi bien pour l'usage courant que pour les technologies de points particulièrement dans les équipements ménager, la coutellerie, l'horlogerie, les industries automobiles, papetières, chimiques, pharmas tiqués, pétrolières, agro-alimentaires, équipements maritimes, nucléaires, aéronautiques…etc.

Parmi les nombreuses nuances d'aciers inoxydables, l'acier martensitiques X20Cr13 (AISI 420) est plus fréquemment utilisé.

Notre travaille s'inscrit dans la recherche de l'amélioration des caractéristiques mécaniques de l'acier X20Cr13 par l'optimisation des traitements thermiques appliquées pour une meilleure tenue à son emploi.

La recherche d'une résistance à la déformation superficielle appropriée est notre travail, qui consiste à optimiser les traitements thermique trempe et revenu pour meilleur caractéristique mécanique.

Ce travaille comporte trois partie principales, le premier présente une synthèse bibliographique partagé en deux chapitres.

Le chapitre 1 englobe des généralités sur les aciers inoxydables, le chapitre 2 sur le traitement thermique des aciers inoxydables.

Une partie suivante est consacrée aux différentes techniques expérimentales, utilisée dons la caractérisation, et enfin la dernier partie regroupe les résultas expérimentaux et leurs interprétation. Ce travail est terminé par une conclusion générale.

Partie I :

Étude Bibliographique

Chapitre 1

Généralité sur les aciers inoxydables

1-1. Introduction

Les aciers inoxydable présente une grande aptitude à la mise en forme, en raison de ces excellentes caractéristiques mécaniques. Grâce à un rapport élevé résistance mécanique-poids du matériau et ses caractéristiques uniques à l'allongement et à l'écrouissage, il peut répondre à beaucoup de formes complexes, en trois dimensions et sans soudure.

Comme son utilisation dans ces conceptions ne modifie aucune de ces qualités bien connues de résistance à la corrosion et à l'oxydation, de même qu'esthétiques, L'acier inoxydable constitue souvent un matériau de choix pour des produits destinés à la fois aux industries et aux consommateurs [1]

L'élément d'alliage au quelles aciers inoxydables doivent leur principale caractéristique est le chrome Contrairement à ce quel on croit généralement, ce méta les très réactif du point de vue chimique est en particulier très oxydable, mais son oxyde forme une véritable peau à la fois transparente et protectrice .Allié au fer et au nickel, il provoque la formation d'un composé de surface oxydé capable de ralentir ou même d'arrêter totalement la corrosion. [1]

Le chrome et le nickel s'oxydent

Ainsi : $4Cr + 3O_2 \rightarrow Cr_2O_3$

$2Ni + O_2 \rightarrow 2NiO$

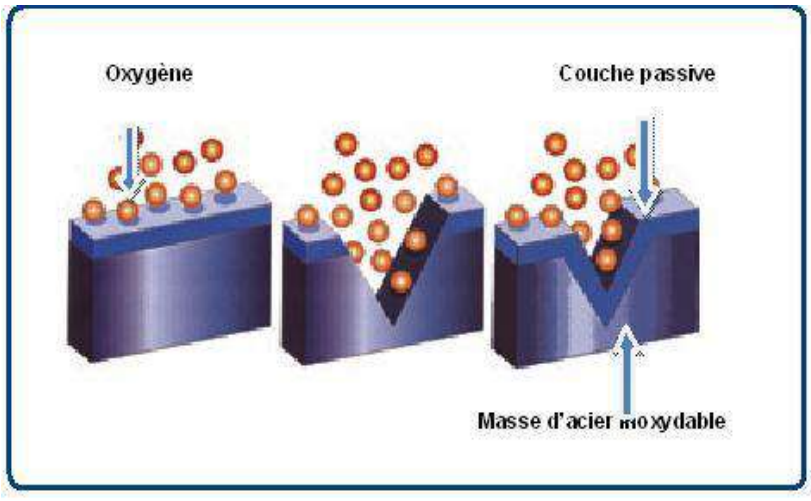


Figure1.1 Schéma représentatif d'un acier inoxydable.

1 -2.Historique des aciers inoxydables

L'histoire des aciers inoxydables à celle du chrome et aux travaux du chimiste français Nicolas-louis Vauquelin (1763-1889) qui a découvert ce métal en 1797. Puis. Berthier un autre français fait en 1821 les premières observations des propriétés **"**inoxydables**"** du fer allié au chrome. **[2]**

en 1904 Léon Guillet puis Albert poitevine publièrent une série d'études relatives à la structure et aux propriétés de l'alliage fer-chrome couvrant les nuances martensitiques à 13% de chrome et les nuances ferritique à 17% de chrome. En 1909, Léon Guillet publia une étude sur les aciers inoxydables au chrome-Nikel complétant ainsi ses études précédentes sur les alliages fer-chrome, à la même époque le métallurgiste allemand Giessen fit des recherches comparables. Les études de, l. Guillet A .poitevin et w. Giens permirent ainsi, des 1909, de classer les aciers inoxydables en fonction de leur structure et de définir les trois familles principales : martensitique, ferritique et austénitique.

Le passage au stade industriel est attribué à henry Bradley pour les aciers inoxydables martensitiques. Il serait à l'origine de la premier élaboration réalisée à Sheffield en 1913 un mérite analogue reviendrait au allemands Benno Strauss et Eduard Maure pour la production des aciers inoxydables austénitiques et aux américains Frederick Becket et Christian Dansiez pour celle des aciers inoxydables ferritique. **[2]**

La première description de la passivité des aciers inoxydables est attribuée à l'allemand Philip Monnat. Les recherches ultérieures ont porté sur le rôle des éléments d'alliage, elle conduit à la mise au point des nuances à durcissement structurale dont les propriétés aux températures élevées 1930 J.Hochman a découvert les nuances biphasées au sténo ferritique appelées de nos jours duplex

1-3.Définition d'un inox :

L'inox est un alliage résultant de la fusion, à très haute température (plus de1500 °C), de différents constituants, principalement le fer, le carbone et le chrome.

Pour que l'acier soit appelé « inoxydable », ces éléments doivent obéir à la composition suivante :

- Chrome : plus de 10,5 % en poids ;
- Carbone : moins de 1,2 % en poids ;
- Fer : le complément.

D'autres éléments comme le nickel, le molybdène, le titane, le silicium, etc. peuvent être ajoutés ; ils se substituent alors à une partie du fer en vue d'améliorer certaines des propriétés

physiques, chimiques ou mécaniques de l'inox. Ainsi, il n'existera pas un inox, mais une multitude d'inox avec des analyses chimiques différentes. Les teneurs en chrome ou en nickel peuvent être très élevées, l'élément restant (balance) sera toujours le fer [3]

1-4.Produits en aciers inoxydables

Les principales formes de produits sont :

- Les tôles à chaud et à froid ;
- Les tubes ronds, carrés (décoration), rectangulaires (décoration) ;
- Les barres ;
- Les fils ;
- Les demi-produits destinés soit à être forgés, soit ré laminés ;
- Les fibres ; [4]

1-5.Fabrication des aciers inoxydables

La fabrication des aciers inoxydables comporte quatre étapes principales qui sont par ordre chronologique :

- L'élaboration qui comprend elle-même une phase de fusion dans un four à arc suivie d'une opération d'affinage ;
- La coulée soit sous forme de lingots, soit de plus en plus par coulée continue ;
- La transformation à chaud le plus souvent par laminage et plus rarement par forgeage ;
- La transformation à froid par laminage pour les produits plats et par tréfilage pour les produits longs [5]

1-5.1.elaboration du métal liquide

Aujourd'hui, la majeure partie des aciers à inox est élaborée au four à arc. Le four à induction conserve, l'avantage de la souplesse, permettant d'élaborer de petites quantités.

- Par oxydation du carbone de la fonte au moyen d'un oxyde de fer pour le premier.
- Par mélange et fusion de ferraille et de fonte pour le deuxième.

L'arc électrique s'amorce entre les électrodes et le métal ; il fournit ainsi la chaleur nécessaire à la fusion.

L'arc permet, en effet, d'atteindre des températures élevées, et le bain métallique peu profond, peut être brassé énergiquement.

Pour parfaire l'affinage, on ajoute de la chaux; ainsi; toutes les impuretés seront éliminées dans le laitier qui se formera à la surface du métal en fusion.

Les progrès réalisés ont permis d'accroître la taille des lingots : des lingots supérieurs à 1 tonne sont réalisables.

Les mécanismes de solidification induisent inévitablement d'une part des ségrégations à l'échelle dendritique et à l'échelle du lingot et d'autres part des défauts (retassures...); leur hérédité se perpétue jusque dons le produit final.

On agit alors sur la cristallisation en cherchant à obtenir, dès la solidification, une réduction des ségrégations des éléments d'alliages et de carbone (brassage, vibration de lingots…) [6]

1-5.2.Aciers électrique

Ils surtout obtenu à partir de ferrailles refondues dans un four électrique. La fusion est obtenu par des arcs électriques, l'opération comporte trois phases : fusion, oxydation, décrassage du bain ; puis coulée dès l'acier.

1-5.2.Marche d'une opération

Les fours d'une capacité de 5 à 250 tonnes sont alimentés sous des tensions de 100 à 200 V, l'intensité pouvant atteindre 50000 A par électrode. La sole et les parois latérales sont garnies de revêtements de dolomie (basique) qu'on réfectionne périodiquement. L'utilisation des parois refroidies à l'eau se généralise et permet, entre autres, d'augmenter la durée du revêtement et de réduire la consommation des électrodes. La marche comprend trois étapes :

a) ***Fusion***

Après chargement la fusion commence et dure quelques heures. Au cours de cette étape on ajoute la chaux qui sera nécessaire à la formation du laitier dé phosphatation. En fin de fusion on introduit du minerai de fer.

b) ***Oxydations et décrassage***

L'oxyde de fer sert de vecteur oxygène pour l'élimination de si, Mn, C .La déphosphoration peut être très poussée, des laitiers très calcaires pouvant être fondus .En fin d'opération le fer commence à s'oxyder. L'alimentation du four est arrêtée et on procède à un décrassage.

c) ***Réductions et additions***

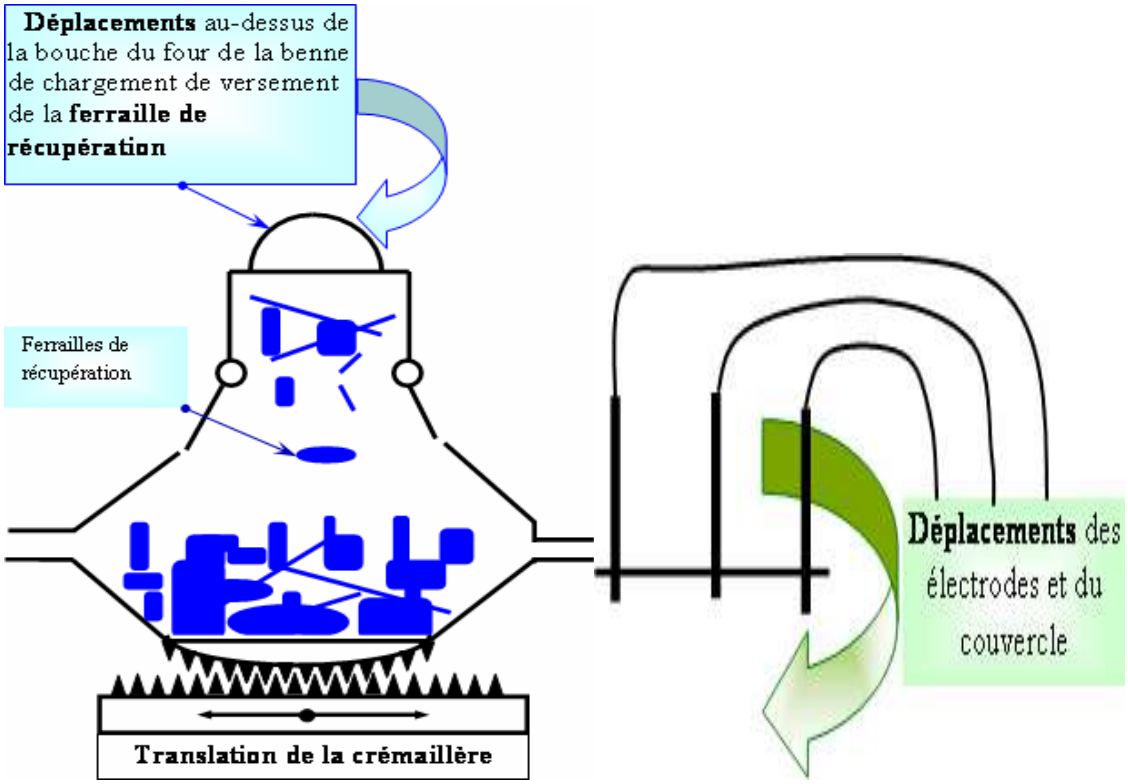
L'alimentation étant rétablie, on crée un laitier dés, oxydant et désulfurant par ajout de Ferro-silicium, dé chaux et. On peut réaliser des laitiers Carbures (carbure de calcium) très

réducteurs. Au four électrique désulfuration et désoxydation sont très poussées (S > 0,008%, O> 0,003%). Les additions finales sont ajoutées avant coulée. . [3]

Remarque

Le four électrique permet l'élaboration sous vide (four à induction sous vide, fours à électrodes consommables en acier). On obtient ainsi des aciers à teneurs minimales en N_2, O2, H_2 et de propreté très poussée (faible densité inclusion aire). Ces aciers de très haut et qualité sont caractérisés par une meilleure limite d'endurance, une valeur élevée de la résidence et un et eau fluage améliorée .Leur coût est évidemment plus élevé que pour les aciers élaborés classiquement.

- Dans le cas d'élaboration des aciers inoxydables, on peut injecter de l'oxygène conduisant à une décarburation poussée nécessaire pour ces nuances.



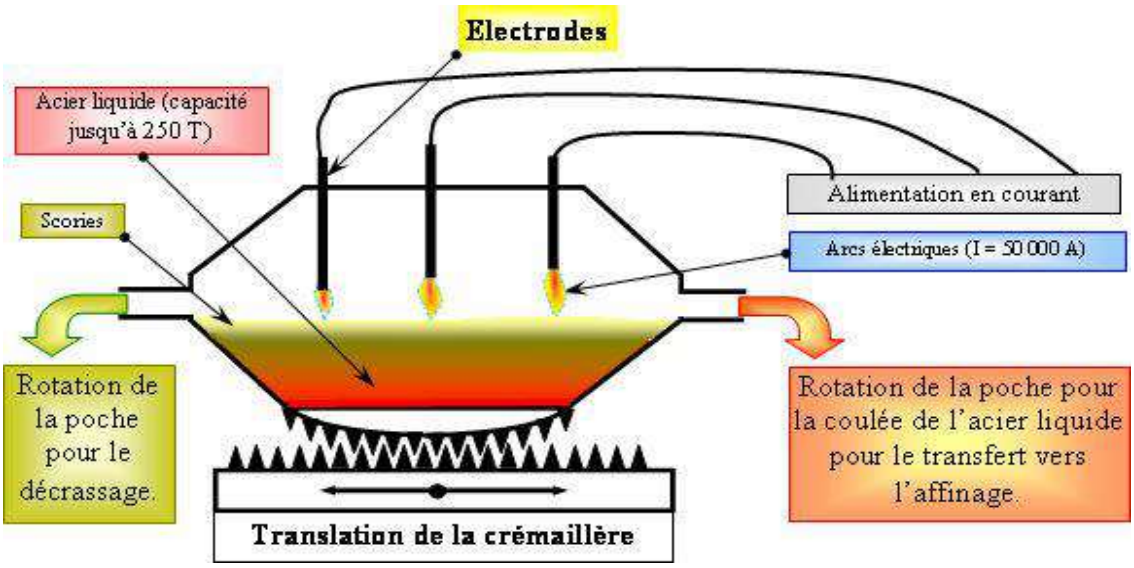


Figure 1.2 schéma technique élaborations des aciers inoxydables. [4]

1-6.Compositions et Structure Des Aciers Inoxydables

Les aciers inoxydables ont été mis au point résoudre les problèmes de corrosion humide posés par les alliages ferreux. Comme les autres aciers .ce sont des alliages métallique à base de fer (alliage fer-carbone) à teneur en carbone variant de 0.02 à 1% (pour éviter la précipitation de carbures aux joints de grains) et qui doivent contenir au moins 10.5% de chrome et contenant éventuellement d'autre éléments d'alliage soit de type interstitiel comme le carbone ou l'azote, soit de type métallique tels que le nickel, le molybdène, le titane…etc. [6]

1 -6.1.Diagrammes D'équilibre

Les aciers sont composés de plusieurs éléments dont chacun joue un rôle sur leurs structures et leurs propriétés. Etant donné le nombre important d'éléments qui interviennent dans la composition des aciers, il n'est pas possible d'établir des diagrammes des phases. Toutefois, il est utile de connaitre diagrammes de phases binaires entre le fer et les autres éléments. [7]

1 -6.1.1.Fer - Chrome

Le diagramme de phase présenté dans la figure.3.constitue un outil essentiel dans l'étude et Description de l'équilibre des phases des aciers inoxydables .La solubilité du

chrome dans le fer à haute température est complète et la totalité des alliages Fer Cr se solidifient en mode ferritique .a faibles teneure sen chrome on distingue la présence de la phase γ qui est limitée à l'intérieur d'un domaine appelé« boucle γ» ,cette situation étant dû au chrome qui ,compte te nu de sa structure Cristallographique, favorisée développement du Domaine α.

La boucle γ (domaine de température 912-1394°C) sépare le diagramme en deux zones principales :

- En dessous de 11% de Cr. Les alliages subissent une transformation α et γ
  Au chauffage et l'inverse au refroidissement.
- Au-dessus de12.7%de Cr, il n'y a plus de transformation de phases et les alliages surent totalement ferritiques.

  Entre11 et 13% de chrome les deux phases α et γ existent en équilibre. . [7]

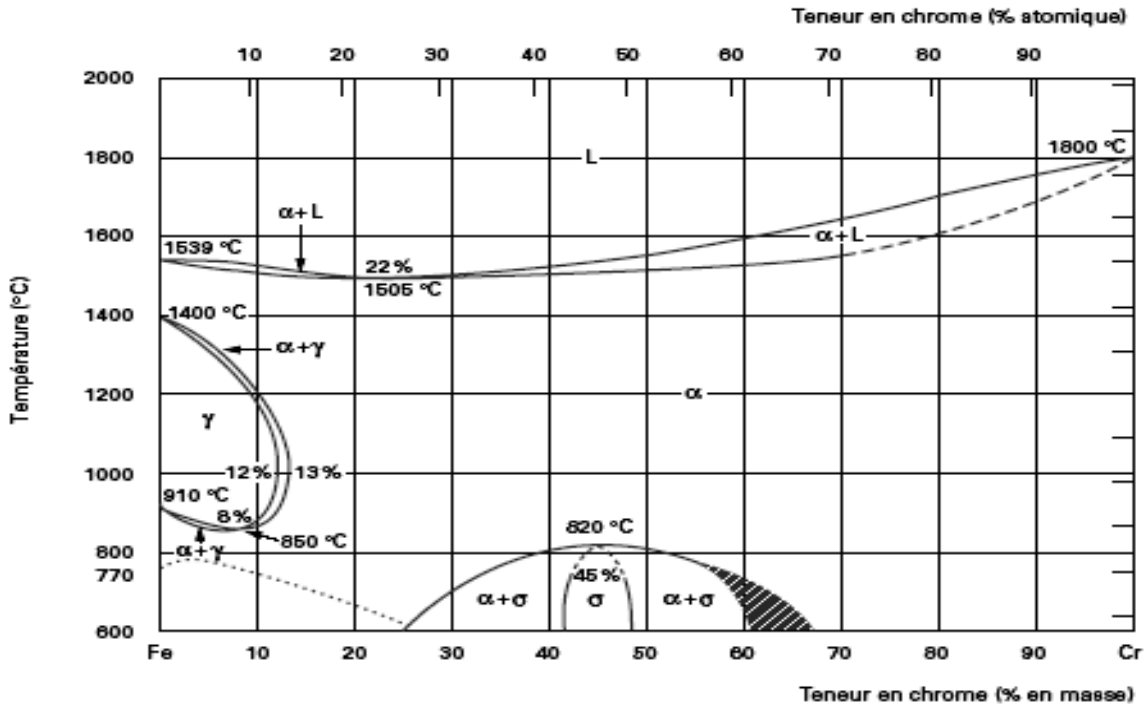


Figure 1 .3 Diagramme d'équilibre binaire Fe-Cr. [7]

1-6.1.2.Diagramme d'équilibre Fe-C-Cr

En présence de chrome, la structure de solidification n'est que très peu modifiée lorsque la teneur en cet élément est inférieure ou égale à 6%, le constituant lédeburitique qui peut se

former avec une teneur en carbone élevée (≥2%) est un carbure KC qui n'est autre qu'une cémentite substituée du type (Fe, Cr) $_{3C}$. Par contre, lorsque la teneur en chrome est supérieure à 8%, il apparaît dans la lédeburite le carbure K2 qui est du type (Fe, Cr) $_{7C3}$.

L'addition de molybdène ou de vanadium à ce type d'acier se traduit par une substitution partielle de ces deux éléments dans le constituant lédeburitique.

Voir figure I. 4 (diagramme d'équilibre Fe-Cr-C à 13% de chrome). . [6]

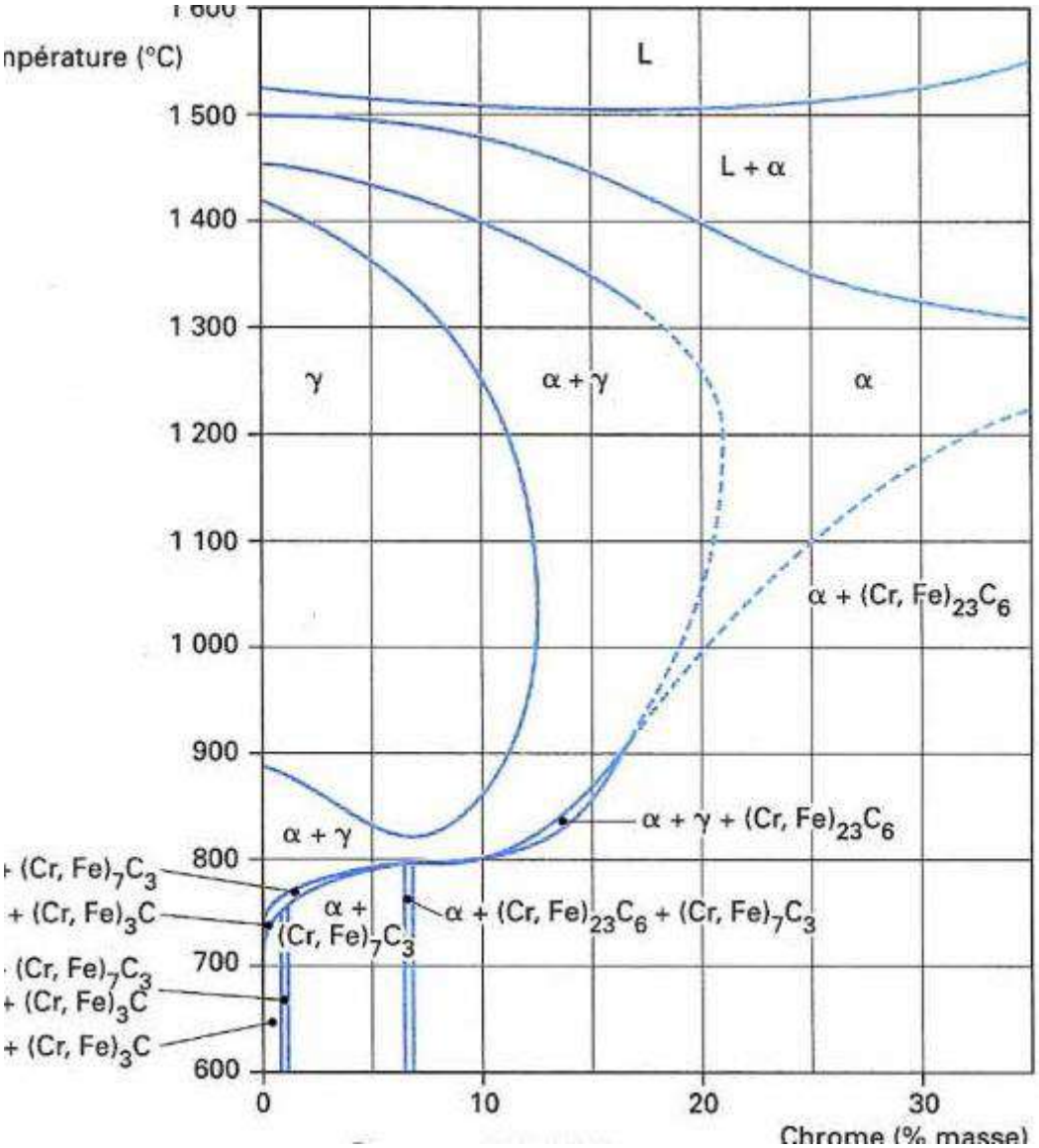


Figure 1-5 Diagramme pseudo binaire fer-carbone à13% de chrome [8]

1-7.Classes de structure des aciers inox dans le système Fe- C –Cr

L'idée de partage en éléments alpha gènes et gamma gène sa conduit Schaeffle à proposer le diagramme représenté par la figure 1.4 qui montre les quatre familles d'aciers inoxydables classées selon leurs caractéristiques et leurs structures. [9]

Les aciers inoxydables peuvent être classés en quatre grandes familles possédant chacune leurs propres caractéristiques. [10]

- Les Acier inoxydables ferritique ;
- Les Aciers inoxydables martensitiques ;
- les Aciers inoxydables austénitiques ;
- les aciers inoxydables au sténo-ferritique également appelés (Duplex) ;

1 .7.1.Acier inoxydables ferritique

Ce sont des alliages Fe-Chrome ou Fe-Chrome molybdène dont la teneur en chrome varie de 10,5à2 ,8%et dont la teneur en, carbone n'excède pas 0,08%.Ces acier contiennent en général pas de nickel .Ils sont par amagnétique sn subissant pas de transformation austénitique. Les inox ferritique sont les moins chers, ils sont utilisés pour des pièces de faible épaisseur, par exemple les couverts et les tôles d'appareils ménagers. [10]

- L'équilibre des éléments alpha gènes principalement le Cr, et gamma gènes C, N et Ni doit être tel que l'alliage soit à toutes températures à l'extérieur de la boucle du diagramme fer – chrome.
- Les aciers ferritique à teneur élevée en chrome (>20 %) sont essentiellement utilisés pour leur résistance à la corrosion remarquable (super-ferritique) et à l'oxydation à chaud. Certaines nuance s'alliées molybdène(Mo) et/ou au titane(Ti) possèdent une résistance à la corrosion comparable à celle des aciers standards austénitiques.
- Leur fragilité à basse température les des peaux utilisations cryogéniques.

[11]

1-7.2.Aciers inoxydables martensitiques

Ces aciers contiennent en général 12 à19 %de chrome et leur teneur en carbone variant de 0, 08 à 1,2% ils peuvent contenir du nickel et du molybdène ainsi que certains éléments d'addition tels que le cuivre(Cu), le titane (Ti) ou le vanadium (V).

Ils sont le plus souvent livré sa l'état recuit, il est évidemment recommandé de les utiliser à l'état trempé-revenu représentant le meilleur compromis entre les propriétés mécaniques et la résistance à la corrosion.

Ils présent en tu intérêt certain dans les applications à chaud lors que la température des services n'excède pas 650 °C (turbines de production d'énergie).

- Les inox martensitiques sont plus chers, mais ce sont aussi les plus courants .Ils sont utilisés lors que l'on veut une dureté importante.

  Dans la pratique on les utilise :

- Soit après Tremp et revenu de détente vers 200°C, ce que permet de conserver la résistance mécanique maximale.
- Soit après Tremp et revenu entre 550°C et 700°C, assurant ainsi un meilleur

  Compromis résistance-résilience-tenue à la corrosion.

1-7.3.Aciers inoxydables austénitiques

Ce sont, de loin, le plus employés parmi les aciers inoxydables : ils contiennent, outre une teneur en chrome minimale de l'ordre de 17% du Nikel (généralement 7% et plus) et des additions éventuelles de molybdène, titane, niobium…

- Afin de réduire la susceptibilité à l'écrouissage, du cuivre peut être ajoutée aux aciers de nuances A1à A5
- Leur tenue à la corrosion augmente avec les teneurs en chrome et en molybdène

  Leur résistance à l'oxydation croit avec leur teneur en chrome : les standards à 18% de chrome résistent-en atmosphère oxydante non sulfureuse- jusque vers 800°C au-delà, il faut s'orienter vers des nuances dites "réfractaires" nettement plus alliées.

  L'introduction d'éléments stabilisants tels que le titane ou le niobium permet d'éviter la corrosion inter granulaire, en particulier sur les soudures, et accroit la résistance mécanique à haut température.

  Lorsque le risque de corrosion est élevé des spécialistes devront être consultés. [12]

1.7.4. Aciers inoxydables austéno- ferritiques

Les aciers duplex produits à l'heure actuelle ont des proportions approximativement équivalentes d'austénite et de ferrite, ceci étant obtenu par la maîtrise des conditions de transformations à chaud, du traitement d'hyper trempe et bien sûr de la Composition chimique de l'acier.

Ces aciers, se solidifient dans le domaine ferritique est au cours du refroidissement qu'une partie de la ferrite se transforme en austénite .Les principaux avantages de cette famille

d'aciers sont :

- Une limite d'élasticité élevée (460 MPA) de l'ordre de deux fois celle des nuances austénitiques standards.
- Une résistance à la corrosion excellente (corrosion localisée et corrosion sous contrainte).
- Un coût raisonnable dû à leur basse teneur en nickel (~5 %). [11]

1-8.Critères de mise en œuvre

La mise en œuvre par déformation de cet acier ne pose pas de problèmes particuliers, si ce n'est lors du recuit. Il est en effet nécessaire de

Refroidir les pièces très lentement après recuit pour éviter la trempe lors des recuits de recristallisation.

Le durcissement final s'obtient simplement en trempant les pièces à l'eau à la sortie du dernier recuit.

Il faut au minimum effectuer un recuit de détente après trempe pour diminuer les tensions internes. Un revenu d'amélioration constitue cependant le meilleur traitement thermique après trempe pour la stabilité à long terme [6]

1-8 .1.Structure à l'état recuit

Le but de recuit est de donner à l'acier une structure et un niveau d'adoucissement tel que sa mise en œuvre soit plus aisée, les conséquences attendues de ce traitement sont donc:

- Un usinage plus facile.
- une mise en forme plus aisée par transformation mécanique.
- Une structure appropriée aux traitements thermiques ultérieurs.

Microstructure d'usinage : Ferrite - Carbures [13]

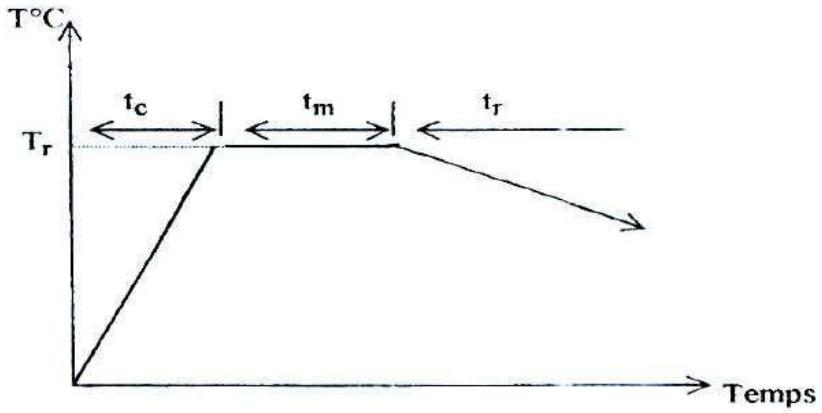


Figure I .6 Diagramme de recuit (14)

T_r: température de recuit.

Tc: temps de chauffage.

Tm: temps de maintien

Tr : temps de refroidissement

1-8.2.Usinabilité

Il Faut tout d'abord une bonne usinabilité, surtout lorsqu'il s'agit de faire des outils en série .La plus part des éléments d'alliage utilisés, en particulier le chrome, le tungstène, le molybdène et le vanadium, qui sont avides de carbone, ont un effet néfaste sur l'usinabilité. Cet effet est influencé par la taille, la forme et la répartition des carbures dans la microstructure. Ces aciers sont en général plus faciles à usiner lorsqu'ils ont une structure recuite avec des carbures sphéroïdes et bien répartis dans la matrice. [6]

1-8.3. Réponse au traitement thermique

Cette propriété peut se définir par la possibilité d'obtenir après trempe et revenu un niveau de dureté donné à un endroit donné de l'outil en se fixant les paramètres suivants:

- Conditions d'austénitisation (température de chauffage et temps de maintien)
- Dimensions des pièces à traiter.
- Milieu de refroidissement. [6]

1 -8.4.Résistance à la corrosion

Les aciers inoxydables contiennent en général plus de 10% de chrome. Ils possèdent une résistance la corrosion supérieure que les autres aciers standards .Deux autres éléments chimiques participent à cette résistance : le nickel et le molybdène .L'action conjuguée des

éléments d'alliage ânon seulement pour but d'accroître la résistance à l'oxydation, mais aussi celui d'améliorer d'autres caractéristiques telle que la soudabilité ou la résistance mécanique.

Optimale: Surface propre, état trempé-revenu +polissage fin passivation

Etats métallurgiques d'utilisation non recommandés : recuit et recuit+ écroui à froid.

. Dans ces états, cette nuance peut devenir sensible à la corrosion inter granulaire.

Oxydation superficielle:

. La formation éventuelle d'oxydes colorés ou de calamine lors des traitements

Thermiques peut fortement réduire la résistance à la corrosion. Ces oxydations doivent être éliminées mécaniquement et ou chimiquement. Précautions élémentaires:

. La protection la plus simple est de constamment garder les surfaces propres et polies.

.Veiller à éviter le séchage de résidus d'emploi à la surface avant le nettoyage des pièces ou instruments

.Veiller à n'employer que des solutions de désinfection, de nettoyage et de lavage ne contenant pas de chlore [13]

1 .9 .Classification des aciers inoxydables

1 -9.1.Acier inoxydables ferritique (nuance F1)

1-9.1.1.Aciers nuance F1

Les aciers de nuance F1 ne pouvant pas être écrouis normalement et devraient même dans certains cas, ne pas l'être.

Les aciers nuance F1 sont magnétiques, le groupe des aciers dans nuance F1 est normalement utilisé pour d'équipement simple à l'exception des ‹‹ super ferritiques ›› dont le taux de C et N est très bas.

Les aciers de nuance F1 peuvent avantageusement remplacer les aciers de nuance A2 et A3 et être utilisés dans des environnements très chlorés.

Exemples :

X6Cr13 (ASTM 403), X8CrMo17-01 (ASTM430 F).

1-9.2.Aciers inoxydables martensitiques (C1 à C4)

1-9.2.1.Aciers de nuance C1

Les aciers de nuance C1ont une résistance à la corrosion limitée. Ils sont utilisés dans les turbines, les pompes et la coutellerie.

1-9.2.2-Aciers de nuance C3

Les aciers de nuance C3ont une résistance à la corrosion limité même si elle est

meilleure que celle des aciers de nuance C1, ils sont utilisés dans les pompes et les valves.

1-9.2.3-Aciers de nuance C4

Les aciers de nuance C4ont une résistance limitée à la corrosion. Ils sont destinés à l'usinage et sont, pour le reste, similaires aux aciers de nuance C1.

Exemples : X 20 Cr13 (ASTM 420), X100CrMo17 (ASTM 440).

1-9.3.Aciers inoxydables austénitiques (nuances A_1 à A_5)

1-9.3.1-Aciers de nuance A1

Les aciers de nuance A_1 sont tout spécialement destinés à l'usinage, du au haut taux de soufre qui ils contiennent, ce groupe.

D'aciers à une résistance moindre à la corrosion que les aciers au taux de soufre normale.

1-9.3.2-Aciers de nuance A2

Les aciers de nuance A_2 sont les aciers inoxydables les plus utilisés, ils sont utilisés pour des équipements de cuisine, des appareils pour l'industrie chimique, des éléments de fixation… les aciers de ce groupe ne conviennent pas pour les utilisations en acide non oxydant et comprenant des agents au chlore, comme les piscines et eau de mer.

1-9.3.3Aciers de nuance A3

Les aciers de nuance A3 sont des aciers inoxydables stabilisé avec les propriétés des aciers de nuance A2

1-9.3.4.Aciers de nuance A4

Les aciers nuance A4, alliés en molybdène sont «résistants à l'acide» et donnant une meilleure résistance à la corrosion, l'A4 est beaucoup utilisé dans l'industrie de la cellulose puisque cette nuance d'acier est développée pour l'acide sulfurique porté à ébullition (d'où le nom «résistant à l'acide ») il convient également dans une certaine mesure aux environnements chlorés, l'A4 est aussi fréquemment utilisé par l'industrie alimentaire et l'industrie de construction navale.

1-9.3.5.Aciers de nuance A5

Les aciers de nuance A5sont des aciers stabilités «résistants à l'acides » dont les propriétés sont celles des aciers A4. [12]

1-10.Propriétés principales désirée

La nature des sollicitations auxquelles, ils sont soumis les aciers inox, conduisent à mettre l'accent sur certaines propriétés et à leur apporter une attention plus particulière, c'est-à-dire leur attribuer plus grande valeur.

Les principales propriétés visées sont la dureté et la ténacité.

- Une propriété à laquelle en doit, dont le cas des aciers inox, Attacher une importance certaine, est la capacité de trempe ou Trempabilité.

La stabilité de forme et de dimension, dureté, résistance à la déformation et à l'usure, absence de fragilité sont des propriétés parfois contradictoires entre lesquelles il faut trouver un compromis satisfaisant. L'acier doit conserver ses propriétés favorables malgré les altérations provoquées par les conditions d'emplois.

- bonne une résistance à la corrosion
- Comportement à l'usure est Similaire
- Offre une résistance à la corrosion satisfaisante à l'eau et à la vapeur d'eau
- Une meilleure résistance à la corrosion [6]

1-11.Rôle des éléments d'alliages

Les connaissances accrues sur l'influence des divers éléments d'alliages permettent d'imaginer des compositions parfaitement adaptées à tel ou tel emploi. Il semble qu'on s'éloigne de plus en plus des nuances à tout faire, donnant un rendement moyen dans beaucoup de cas, au profit des nuances plus spécialisées donnant de très hauts rendements dans un petit nombre de cas bien déterminés.

Carbone(C)

Le Carbone est ajouté au Fer pour former l'acier, cette addition permet D'augmenter sa dureté et sa ténacité .La teneur en Carbone recommandée pour les aciers inoxydables austéno-ferritiques limitée à0.02ou0.03% à cause du risque de précipitation des carbures riches en Chrome ($M_{23}C_6$ et M_7C_3) qui peuvent servir comme sites d'initiation à la corrosion inter granulaire et par piqûres[15].

Chrome (Cr)

Les aciers inoxydables sont des alliages fer-chrome ou plus exactement acier-chrome c'est-à-dire fer-carbone-chrome. Conformément à la norme européenne EN 10088-1[2] , un acier est classé acier inoxydable s'il contient au minimum 10,5 % en masse de chrome et moins de 1,2 % de carbone.

C'est le chrome qui donne aux aciers inoxydables leur résistance à la corrosion [15]

Le chrome diminue beaucoup la solubilité du carbone dans l'austénite c'est-à-dire déplace vers la gauche le point E du diagramme Fer-carbone (voir figure 1. 7), on voit qu'avec 5% de chrome l'austénite dissout moins de 1.4% de carbone, avec 12% la solubilité et inférieur à 1%. Pour des teneurs supérieurs, il restera donc, quel que soit la température de chauffage, des carbures eutectiques non dissous dans une structure dite lé débrutie. C'est le cas d'un acier très courant contenant 2% de carbone et 12% de chrome.

A partir de 13%, c'est le constituant de base des aciers inoxydables. Nous le rencontrerons dans certains outils de coupe, tels que les instruments de chirurgie sous réserve que cet élément ne soit pas trop fixé sous forme de composé défini du type carbure ou nitrure.

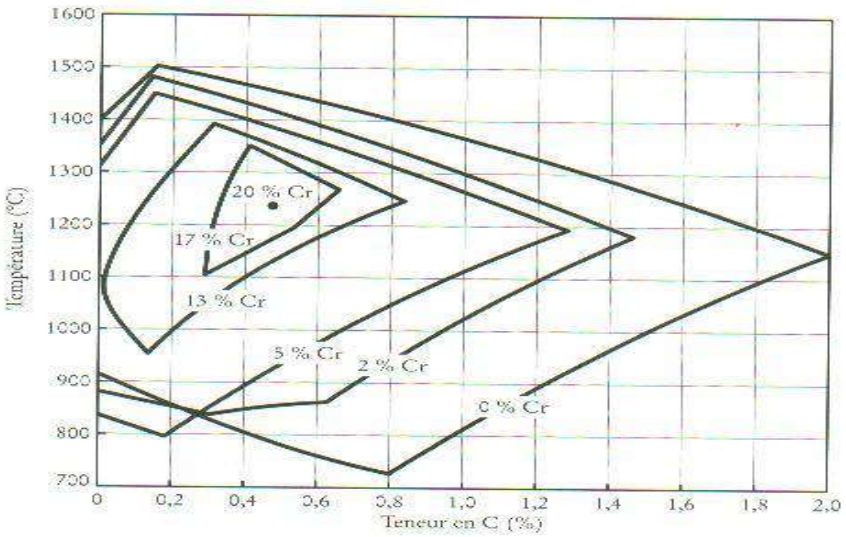


Figure 1.7 Influence de diverses teneurs en chrome sur les teneurs limites en carbone. Conduisant à la formation d'austénite pure [16]

Molybdène (Mo)

Se comporte a beaucoup de point de vue comme le chrome, il forme des carbures spéciaux de type MO_2C ou MO_6C. La formation de MO_2C est accompagnée d'un fort durcissement structural qui contribue à augmenter la résistance au revenu. Il augmente la

trempabilité mais sous réserve d'un relèvement de la température de trempe assurant la dissolution des carbures.

Par la présence de carbure primaire, formé lors de la solidification, cet élément s'oppose au grossissement du grain lors de la trempe.

Inconvénient : plus grande sensibilité à la décarburation et au phénomène d'oxydation catastrophique pour des maintiens entre 1000 et 1100 °C.

Améliorent la tenue dans la plupart des milieux corrosifs, en particulier ceux qui sont Acides, mais aussi dans les solutions phosphoriques, soufrées, etc. Le molybdène accroît la stabilité des films de passivation.

Silicium (si)

Le silicium joue également un rôle dans la résistance à l'oxydation, notamment vis-à-vis des acides fortement oxydants (acide nitrique concentré ou acide sulfurique concentré chaud)

Nickel (Ni)

Le nickel favorise la formation de structures homogènes de type austénitique. Il apporte les propriétés de ductilité, de malléabilité et de résilience. A éviter soigneusement dans le domaine du frottement.

Tungstène (W)

Le Tungstène Améliore la tenue aux températures élevées des aciers inoxydables austénitiques.

Manganèse (Mn)

Est un substitut du nickel. Certaines séries d'alliages austénitiques ont été développées permettant de faire face aux incertitudes d'approvisionnement du nickel. [15]

1-12. Carbure

Un carbure est une liaison chimique entre principalement le carbone et un des éléments carburigènes.

Lorsque la teneur en éléments carburigènes (Mn, Cr, W, Mo) est faible, ils se dissolvent dans la cémentite en remplaçant dans cette dernière les atomes de fer.

La composition de la cémentite dans ce cas s'exprime par la formule $(Fe, M)_{3C}$ ou M est l'élément d'alliage. .

Le manganèse peut remplacer tous les atomes de fer du réseau de la cémentite (Fe_3C Mn_3C), le chrome jusqu'à 25%, le molybdène jusqu'à 3% et le tungstène rien que 0,8 à 1%.

Les éléments carburigènes plus forts (Ti, V, Nb, Zr) ne se dissolvent pratiquement pas dans la cémentite et forment des carbures correspondants.

Un acier à teneur accrue en chrome, peut donner lieu en fonction de la proportion de carbone à la formation des carbures spéciaux.

Les carbures spéciaux formés par les éléments d'alliage sont capables de dissoudre le fer et d'autres éléments métalliques. Ainsi, le carbure Cr_7C_3 à 20°C dissout jusqu'à 55% du fer en formant un carbure complexe (Cr, Fe) $_{7C3}$; le carbure $Cr_{23}C_6$ jusqu'à 35% du fer en formant un carbure (Cr, Fe) 23C6.

Les carbures formés dans les aciers alliés peuvent être classés en deux groupes.

Le premier est celui des carbures du type M_3C, M_7C_3, $M_{23}C_6$ et M_6C (M_4C) au réseau cristallin complexe. Les carbures de ce groupe sont caractérisés au chauffage par leur solubilité relativement facile dans l'austénite.

Le deuxième groupe est constitué de carbures MC (VC, NbC, TiC, TaC) à réseau cubique, WC à réseau cubique centré, W_2C et Mo_2C à réseau hexagonal. Ces carbures se rapportent aux composés interstitiels.

A la différence des carbures du premier groupe, les composés interstitiels ne se dissolvent pas dans l'austénite dans les conditions réelles de chauffage de l'acier.

La remise en solution des carbure »es est difficile lorsque les proportions de l'élément métallique et du carbure augmentent.

Selon la composition chimique de notre acier, les éléments d'alliages existants sont susceptibles de former éventuellement des carbures de chrome. La précipitation de carbures spéciaux par revenu entre 500°C et 700°C, entraînant le durcissement secondaire. [17]

Le carbure Mo_2C provoque, un durcissement structural et ralenti ainsi l'adoucissement pendant le revenu.

Le carbure de Vanadium a une solubilité nette dans l'austénite et peut rester dissout lors de la trempe. Il précipite alors au cours du revenu en provoquant un important durcissement structural tel que la dureté peut dépasser celle de l'état brut de trempe, ces phénomènes permettent le maintien de la dureté aux températures élevées.

Plus les carbures sont dispersés dans l'acier plus sa dureté et sa résistance sont importantes, car ces carbures augmentent la résistance à la déformation plastique.

Chapitre 2

Traitements thermiques des aciers inoxydables

2-1.Introduction

Par traitement thermique, on désigne toute opération faite à chaud et destinée à modifier la microstructure d'un métal pour lui donner de nouvelles caractéristiques. Pour les aciers au carbone et les aciers faiblement alliés, certains traitements sont quasi obligatoires pour obtenir une performance optimale. Ces traitements sont la trempe et le revenu. Ils permettent de modifier et d'ajuster les propriétés mécaniques de l'acier: limite élasticité, résistance à la traction, ténacité, dureté et résilience aux besoins de l'utilisation. D'autres traitements, normalement désignés comme recuits, visent à amener le métal vers un équilibre structural et mécanique. Ils ont donc pour but de faire disparaître les états hors équilibre résultant des traitements antérieurs, thermiques ou mécaniques. [18]

Tous les types de traitement sur les aciers inoxydables assurant une bonne résistance à la corrosion ont pour but de rendre la répartition en chrome de métal la plus homogène possibles en évitant toute diminution de la teneur de chrome dans les zones avoisinantes .[19]

2-2.Chauffage Des Aciers Inoxydables

La première étape de chaque traitement thermique est le chauffage de la pièce à la température exigée. Le chauffage doit s'effectuer très rapidement pour avoir une faible consommation d'énergie et une grande productivité. Il existe deux possibilités pour le chauffage des pièces.

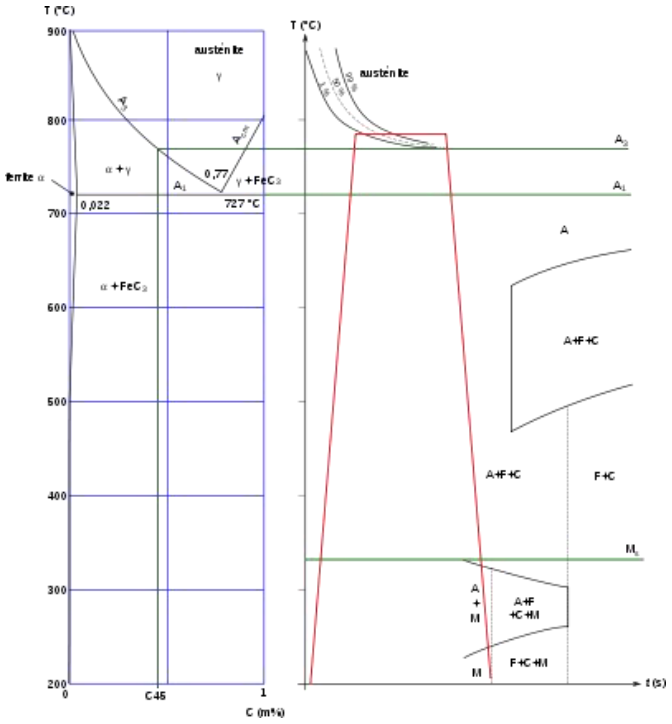


Figure II.1 diagramme de chauffage des aciers inox

2-2.2.Par production de la chaleur dans la pièce

C'est une possibilité de chauffer la pièce en créant dans cette dernière un flux de courant, soit par l'utilisation de la pièce comme conducteur dans un circuit électrique (Chauffage par résistance) ou l'emplacement de la pièce dans un champ variable (chauffage par induction). Pour les différents chauffages on peut choisir la vitesse suivant :

- Chauffage lent : 3à10°C /min.
- Chauffage technique conventionnel (normal).
- Chauffage rapide :>50°C/s
- ***2-2.3.Conditions de chauffage des pièces en traitements thermiques***

L'appareil de chauffage doit permettre :

- D'atteindre et de maintenir toutes les parties de la pièce à une température déterminée et avec une précision de l'ordre de plus ou moins 5°C.
- D'éviter une détérioration du métal et principalement une décarburation dans le cas des aciers.

En général seul le chauffage dans une enceinte fermée possédant une régulation automatique de température est susceptible d'offrir la solution cherchée. [20]

2-3.Refroidissement des Aciers Inoxydables

Le point important pour la détermination du régime de refroidissement de la pièce est celui de l'état de structure souhaitée à obtenir. Bien sûre, on cherche toujours à refroidir rapidement pourvoir une productivité élevée, mais on doit prendre en considération les dangers de fissuration des pièces .La vitesse de refroidissement nécessaire à l'obtention d'un état de structure est déterminée selon le diagramme TTT et TRC (Température, Transformation, Temps).Le refroidissement s'effectue dans des bacs utilisant l'eau ou l'huile, dans les deux cas, le bain est maintenu à température constante. [19]

2-4.Courbes TTT et TRC d'un Acier inoxydables

Dans le cas d'un refroidissement continu, seuls les aciers du groupe 1 présentent une vitesse critique de trempe telle qu'un refroidissement à l'air soit insuffisant pour assurer une transformation martensitique à cœur pour toutes les épaisseurs **La plupart des aciers martensitiques sont** donc **autotrempants.** Un autre impératif peut cependant conduire à choisir une trempe à l'huile plutôt qu'une trempe à l'air : il s'agit d'éviter la formation de carbure de précipitation aux joints de grain γ dans le domaine900-600^{o}C. La figure 2.2 illustre le domaine de précipitation de ces carbures pour

un acier martensitique X20Cr13 [19].

1

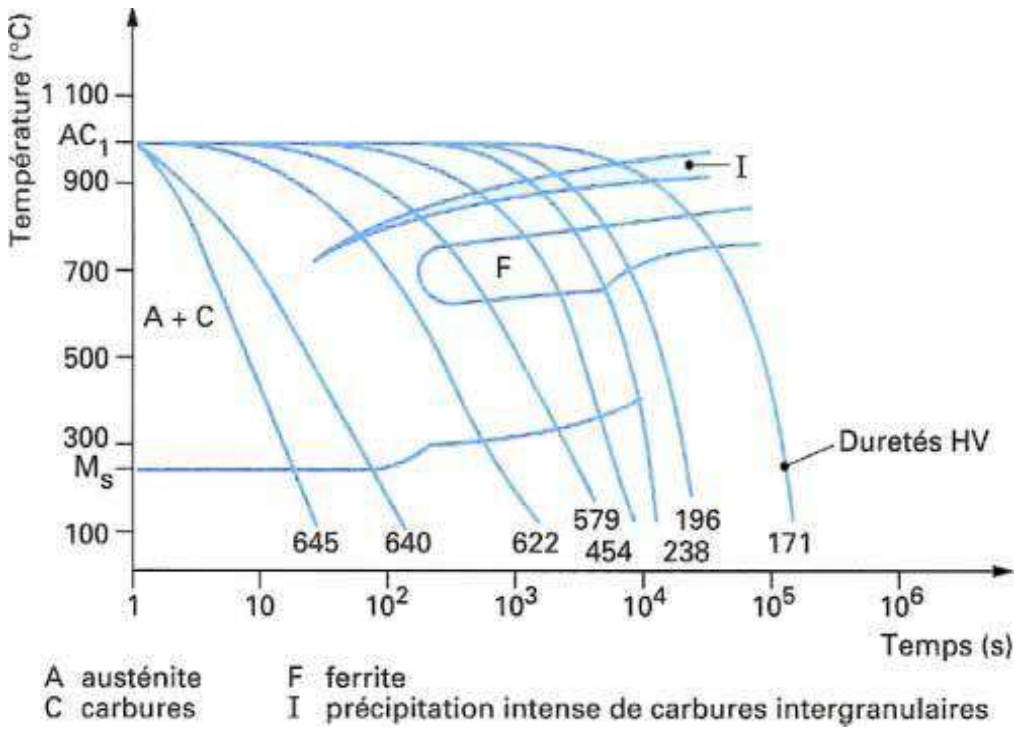


Figure2.2 Courbede transformation en refroidissement continu(TRC) d'un acier titrant0, 25% Cet13, 4% Cr [19]

La figure 2.3 donne le diagramme TTT (Temps-Température-Transformation) de deux aciers des groupes 1et2 (C=0.15%, Cr=13.2, C= 0.39%, Cr=14%).ces diagrammes permettent de définir une trempe étagée limitant les contraintes d'origine thermique dans la pièce.

Après austénitisation à une température à choisie On trempe la pièce dans un milieu (bain de sels par exemple) porté à une température (de 200 à 400°C selon la nuance), supérieure à Ms mais inférieur au nez da la transformation de l'austénite en ferrite plus carbures. Le temps de maintien doit être suffisant pour assurer l'homogénéisation de la température [19].

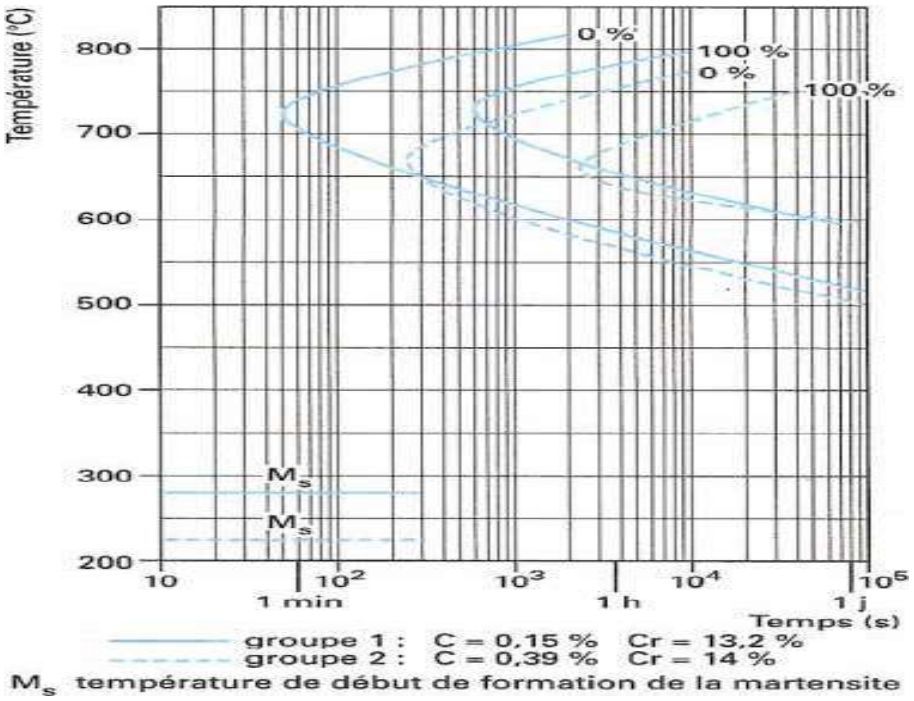


Figure 2.3courbe de Transformation isotherme(TTT) de deux aciers martensitiques [19]

2.5. Transformation martensitique

C'est au-dessous d'une température d'environ 180°C que se forme la martensite à partir de l'austénite surfusionnée. Lorsque la température de l'austénite surfusionnée diminue jusqu'à environ 180°C, ou même plus bas, le processus de diffusion est complément arrêté et une transformation sans diffusion se produit, elle est appelée transformation martensitique.

La martensite est une solution solide de carbone dans le fer α mais très saturée, son réseau cristallin est très distorse (déformé). La transformation martensitique se produit sans déplacement des atomes de carbone, seulement les atomes de fer qui se déplacent à une distance plus petite que la distance interatomique, cette transformation se produit très vite.

Les points de début et fin de transformation dépendent du pourcentage de carbone, avec l'augmentation du % C, les points M_f et M_s diminuent.

La martensite a une structure très dure, le phénomène de durcissement à un caractère physico-chimique avec le réseau cristallin du fer α très déformé par la présence des atomes de carbone ce qui explique son durcissement.

Pour des refroidissements continus, les diagrammes TTT ne correspondent plus à cette réalité, mais il existe d'autres types de diagramme appelés diagramme de surfusion. [20]

2-6.Gammes des Traitements Thermiques de l'acier inox

Les modes principaux de traitement thermique qui modifient de diverses manières la structure et les propriétés d'un alliage par des opérations de chauffage jusqu'à une certaine température, de maintien à cette température, et suivies d'un refroidissement à une vitesse plus ou moins accélérée sont :

- Le recuit.
- La normalisation.
- La trempe.
- Le revenu et le vieillissement.

Les principaux facteurs qui permettent de distinguer entre les différents types

De traitement thermique sont la température, le temps de maintien et la vitesse de refroidissement. [20]

2-6.1.Recuit Des Aciers Inoxydables

Opération thermique qui annule les effets du traitement thermique ou mécanique antérieurs.

Les traitements du paragraphe précédent étaient responsables à conférer au métal ses caractéristiques finales d'emploi. Les traitements thermiques d'adoucissement ou de recuit sont des traitements intermédiaires permettent à donner au métal une aptitude à une mise en forme (usinage, frappe à froid). La pièce après mise en forme définitives traitée pour obtenir sa caractéristique finale (trempe + dimensionnement ou trempe + revenu) [21]

***But*:**

- Homogénéisation d'un alliage, réorganisation de la structure cristalline

-restauration de la structure d'alliage après écrouissage, soudage ou traitement thermique antérieur

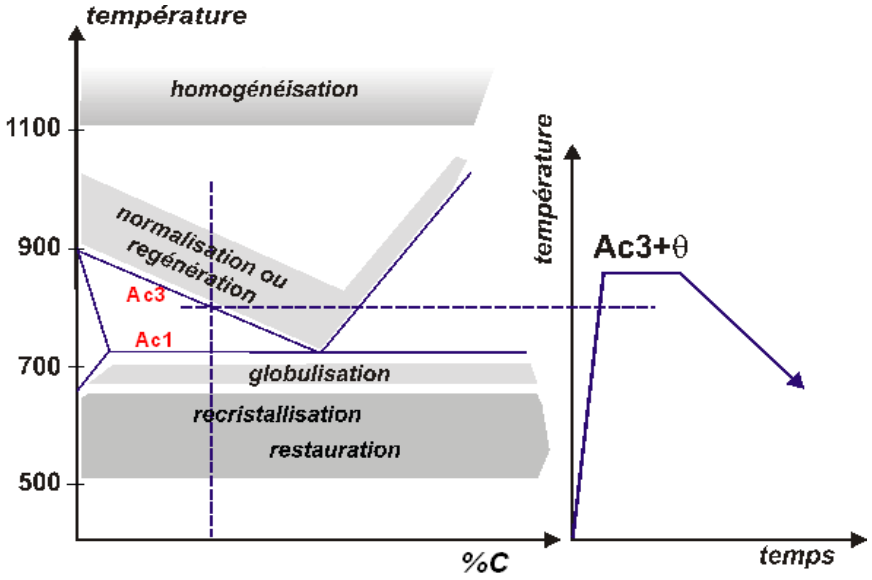


Figure 3.4 Diagramme de recuit

- chauffage au-dessus d'Ac_3, maintien puis refroidissement lent
- chauffage au-dessous d'Ac_1, maintien puis refroidissement lent

2-6.1.1.Recuitd'homogénéisation

Ce type de recuit s'applique aux aciers bruts de coulée et aux aciers moulés dans le but d'affaiblir ou éliminer la ségrégation de ndritique ou inter-cristalline(lors de la solidification de l'acier ,les éléments d'alliage ou le carbone sont repartis d'une façon hétérogène à l'échelle du grain austénitique),c'est-à-dire, Il ya une différence de concentration de ces éléments qui se présentent dans la structure .La ségrégation renforce la susceptibilité à l'anisotropie de la propriété eaux défauts tels que cassures, stratifié set flocons. La ségrégation diminue la plasticité et la ductilité d'un acier allié .C'est pourquoi non seulement les lingots, mais aussi les gosses pièces moulées sont aussi souvent soumis à l'homogénéisation.

Les figures5 présentent respectivement l'état de structure d'un acier avant l'homogénéisation (répartition non uniforme du carbide) étape homogénéisation répartition uniforme du carbide). [21]

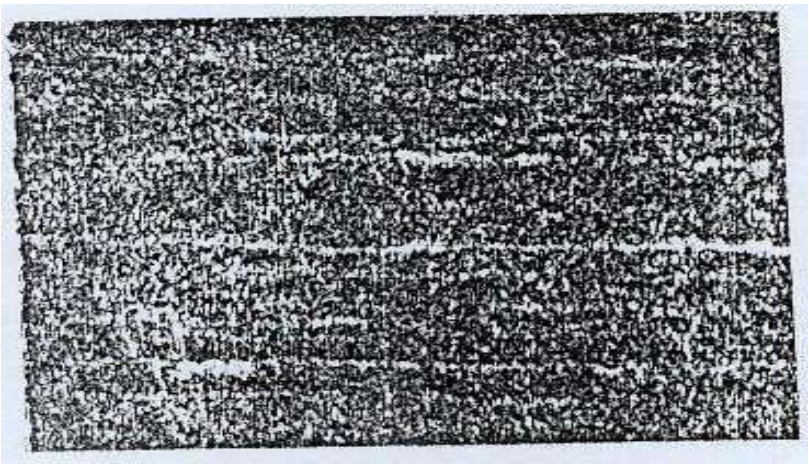


Figure 2.5présententrespectivementl'étatdestructured'unacieravant L'homogénéisation

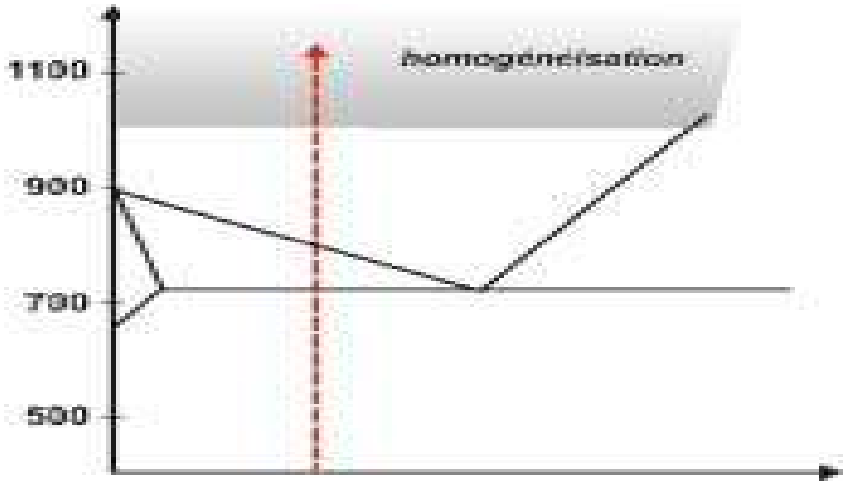


Figure 2.6 Diagramme recuit d'homogénéisation

Recuit d'homogénéisation :

- passage en phase (*austénitisation À haute température*)
- diffusion en phase solide
- refroidissement lent

2-6 .1.2.Recuitde normalisation

Recuit normalisation: affinage du grain pour obtenir un état structural de référence (avant la trempe par exemple).

La finesse du grain est proportionnelle à la vitesse de chauffage. La température de traitement est d'environ AC_3+50°C.

Le refroidissement $AC_3 \rightarrow AC_1$ est rapide (pas trop si non c'est trop dur), puis le refroidissement s'effectue à l'aira. [21]

La normalisation a pour but d'obtenir un acier uniforme et une structure à grains fins. Le processus permet d'obtenir une microstructure prévisible et la stabilité des propriétés mécaniques de l'acier.

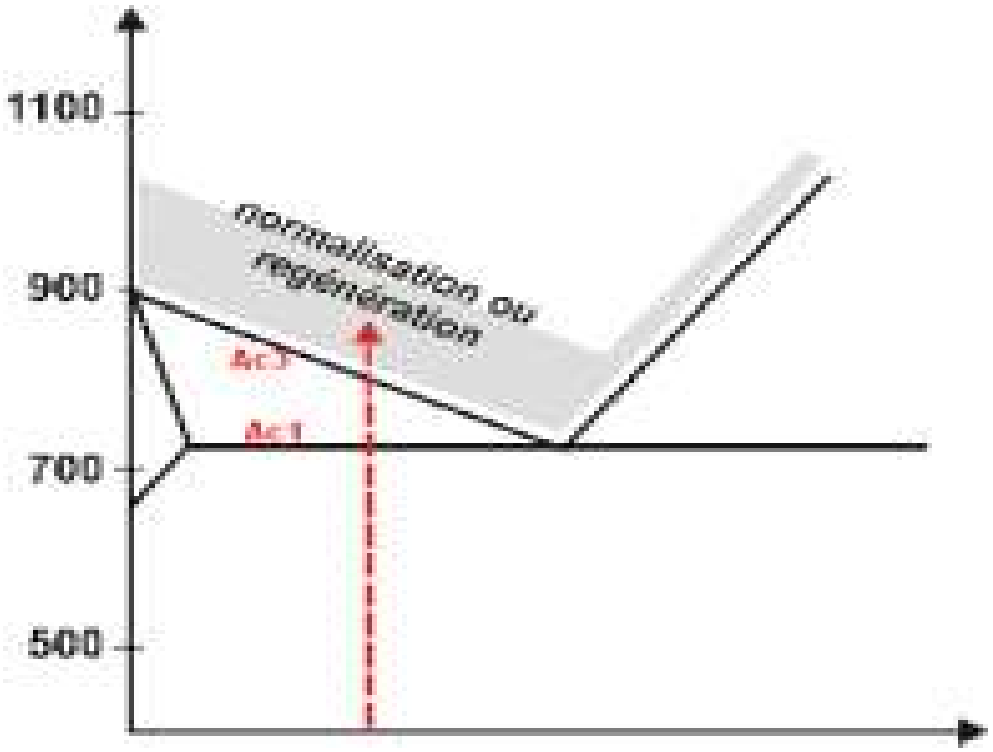


Figure2 .7 Diagramme recuit de normalisation

2-6.1.3.Recuitd'adoucissementou de globalisation :

Permet d'obtenir une structure correspondant à la dureté minimale de l'acier pour faciliter la mise en forme à froid ou l'usinage par outils coupants.

Après traitement, on obtient une structure de perlite globulaire dans une matrice ferritiques. Pour affiner le grain, on peut faire un recuit de normalisation avant l'adoucissement.

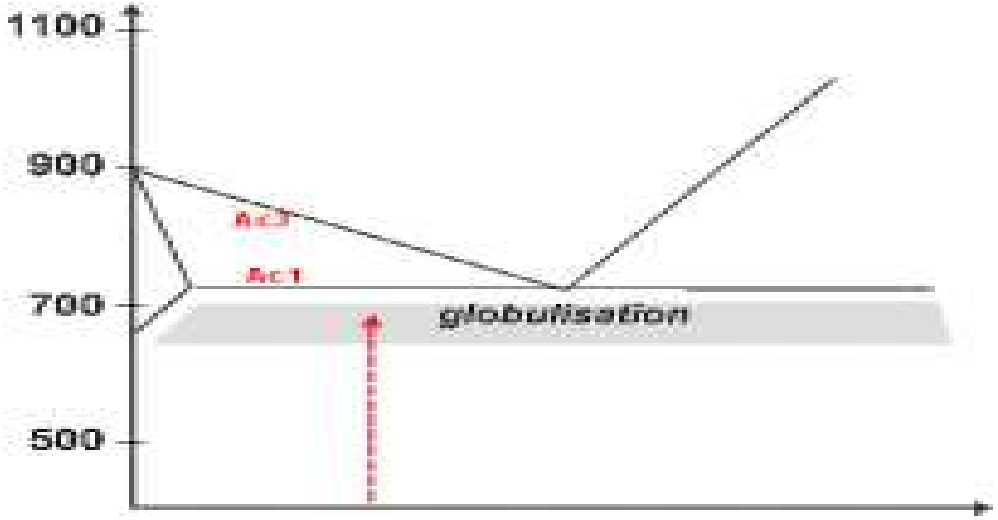


Figure2.8 diagramme recuit de globalisation

Chauffage juste en dessous d'Ac1 puis maintien prolongé et refroidissement lent*2-6.1.4.Recuits de restauration et de recristallisation*

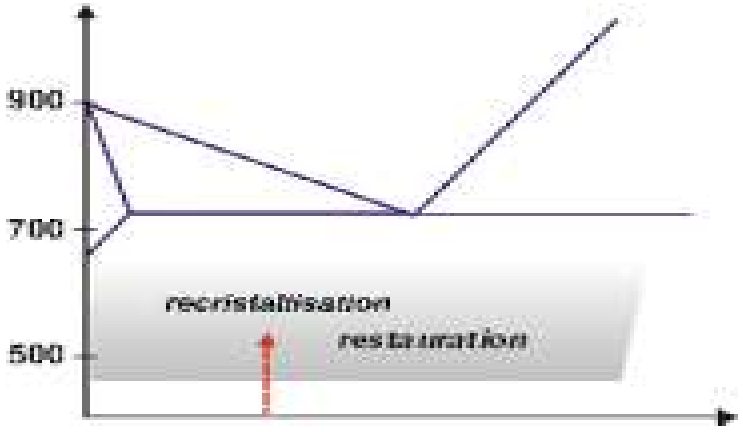


Figure2.9 diagramme recuite de restauration et recristallisation

Le recuit de recristallisation sert à diminuer la fragilité d'un métal écroui et de lui redonner sa capacité de déformation. Pour un acier ordinaire, ce traitement s'effectue au-dessus de 600°C. Il est clair qu'un de ces traitements mentionnés peut remédier à plusieurs défauts à la fois. Ceci est évident puisque les domaines de température des différents traitements se recouvrent partiellement [21]

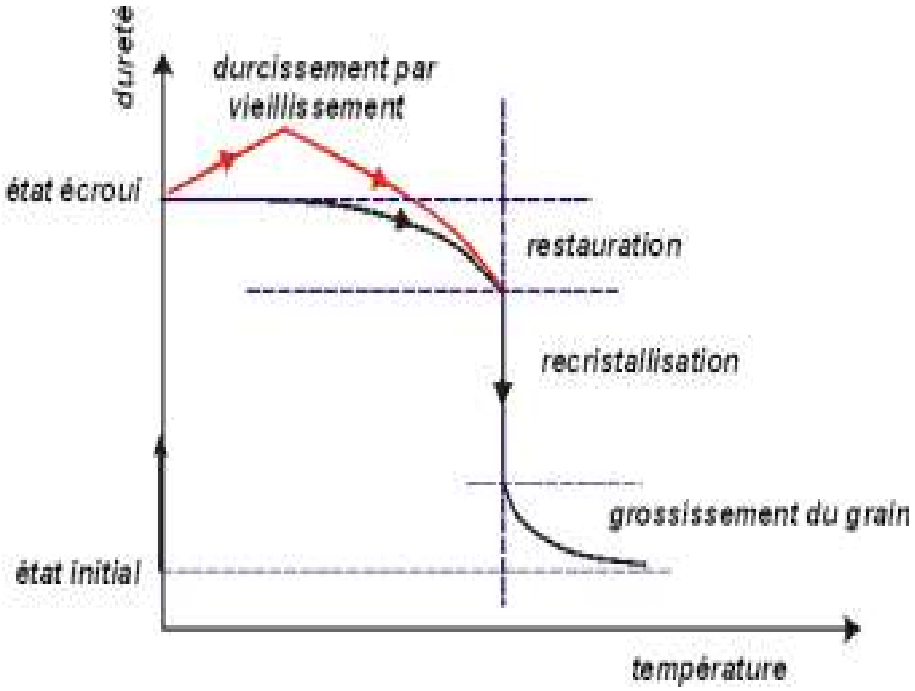


Figure2.10 Diagramme la température de recristallisation

- pas de modification apparente de la structure
- peut favoriser une précipitation de carbures, d'où une augmentation de la dureté

Le tableau 1 présente quelques exemples de résistance après recuits d'adoucissement sur métal laminé à chaud pour diverses nuances martensitiques.

Tableau 1–Résistances mécaniques R_m De nuances martensitiques la minées à chaud		
Nuance Désignation Solon la norme EN-10088:	**Adoucissement simple**	**Adoucissement maximal**
X20Cr13 (1.4021)	<720MPA	<650MPA
X30Cr13 (1.4028)	<750MPA	<700MPA
X39Cr13 (1.4031)	<800MPA	<750MPA

2-7.trempe des aciers inoxydables

2-7.1.Principedela trempe

Refroidissement rapide.

Les atomes de c n'ont pas le temps de diffuser → solution de fer saturée c : martensite (résidu)

Le cycle thermique de la trempe comporte trois phases successives :

- Chauffage à une température T dite température de trempe, correspondant à un état austénitique.
- Maintien à cette température T de façon à réaliser plus ou moins complètement la mise en solution des carbures et l'homogénéisation de l'austénite.
- Refroidissement par immersion dans un milieu (eau, huile, air), suffisamment rapide pour obtenir les constituants de trempe recherchés.

Les effets de trempe : diminution de résilience K et la ductilité A%.

2-7-2.trempabilité des aciers inoxydables

C'est une grandeur physique caractérisant chaque acier. Elle dépend de la composition chimique de l'acier et de la loi de refroidissement, fonction du milieu de refroidissement et de la section de la pièce.

La trempabilité d'un acier inox peut être définie comme la propriété déterminant la profondeur et la distribution de la dureté induite par une trempe.

Cette notion de trempabilité est généralement représentée par un taux de refroidissement

critique ou un diamètre critique nécessaire afin d'obtenir une microstructure martensitique à 50 ou 90%. Sur un diagramme de refroidissement, la courbe de formation de la perlite et de la bainite pour un acier plus trempable est située plus loin vers la droite permettant ainsi la formation de la martensite à des -taux de refroidissement plus lent.

La trempabilité en général est affectée par trois facteurs. Premièrement, lorsqu'il y a la Présence d'éléments d'alliage, la trempabilité est améliorée lorsque les éléments d'alliage, à l'exception du cobalt, sont dissous dans l'austénite. Lorsque ceux-ci se trouvent sous forme d'inclusions comme des carbures, des nitrures ou des inclusions non métalliques, ils diminuent la trempabilité de l'acier. Deuxièmement, la trempabilité est fonction de la taille des grains austénitiques, un acier sera plus trempable si ses grains austénitiques sont plus grossiers. Troisièmement, l'homogénéité chimique de l'austénite affecte la trempabilité [22].

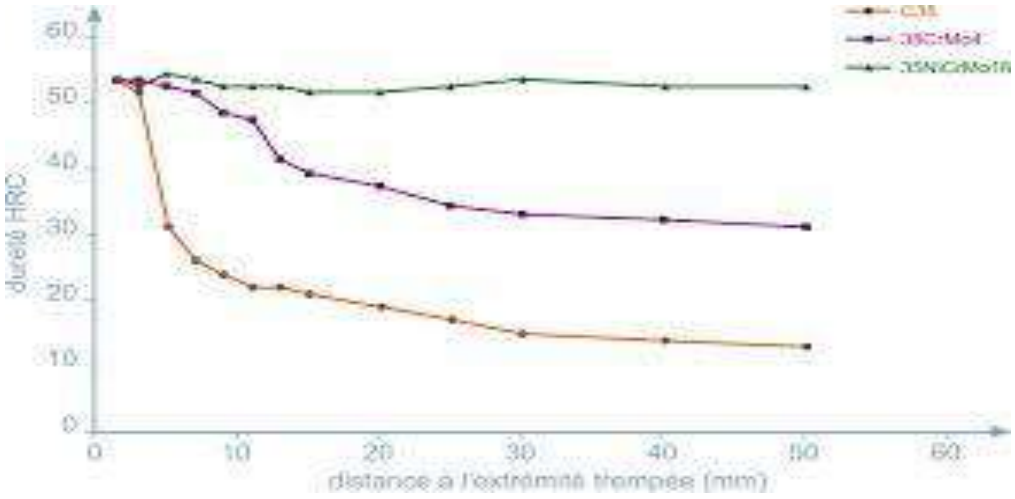


Figure 2.10 Diagramme la trempabilité

2-8.influencede l'élément d'alliage sur la trempabilité

La trempabilité est directement liée à la vitesse critique de trempe : plus cette vitesse est faible, plus la trempabilité est élevée.

En règle générale, tous les éléments d'addition, à l'exception du cobalt, retardent le début des transformations perlitque et bainitique, améliorant la stabilité de l'austénite surfusionnée, c'est à dire sur la courbe TTT déplacent à droite, dans le sens d'une plus grande

durée de séjour, les courbes du début et de la fin de la décomposition (solution austénitique plus stable, l'acier sera plus trempant)

Il en est de même pour la courbe TRC qui se verra repoussée vers des refroidissements lents ou des températures plus basses. [23]

2-8-1.Description de la transformation martensitique

2-8-1-1.Caractéristiques générales

La transformation s'amorce dès la température Ms et se déroule non pas dans des conditions isothermes, mais dans un intervalle de température, et ne s'arrête qu'a des valeurs M_f inférieurs à 20°C.

En pratique et à la fin de la réaction, il subsiste toujours une faible proportion d'austénite non transformée, c'est à dire de l'austénite résiduelle.

La position des points M_s et M_f ne dépend pas de la vitesse du refroidissement, elle est conditionnée par la composition chimique de l'austénite. La température des points M_s et M_f est d'autant plus basse que la teneur de l'austénite en carbone est plus élevée

2-8.3. Austénite résiduelle après trempe

Dans le cas des aciers à outils, la transformation martensitique ne se produit pas jusqu'à la fin, il subsiste après trempe une quantité non négligeable d'austénite résiduelle, qui joue un rôle important au niveau des propriétés d'emploi : [23]

- Difficulté d'obtention de la dureté.
- Transformation en martensite secondaire par écrouissage.
- Déformation au traitement, etc…

2-9.La composition chimique

La quantité d'austénite est d'autant plus grande que les points M_s et M_f se trouvent plus bas, c'est à dire que la teneur de l'austénite en carbone et en éléments d'alliage est plus grande.

2-10. Structure du revenu

2-10.1.Introduction

La structure à l'état brute de trempe d'un acier se compose de martensite et d'austénite résiduelle qui sont des phases hors d'équilibre, avec en plus ; dans les aciers les plus alliés des carbures non dissous. La martensite est une phase très dure, mais très fragile aussi. Pour ces raisons, le traitement d'austénitisation suivi d'une trempe est généralement prolongé par un revenu. Cela consiste à chauffer l'acier à une température variable, mais inférieure à la

température Ac_1, pendant un temps plus au moins important. Par ce traitement, la matrice martensitique, qui présente une structure de solution solide sursaturée, rejette le carbone sous forme de très fins carbures. La structure finale sera donc une phase carbure finement dispersée dans une matrice ferritique qui garde certains traits structuraux similaires à la matrice originale (martensite). A cela s'ajoute la décomposition de l'austénite résiduelle en phases plus proches d'équilibre à savoir = la bainite ou sa transformation en martensite. [25]

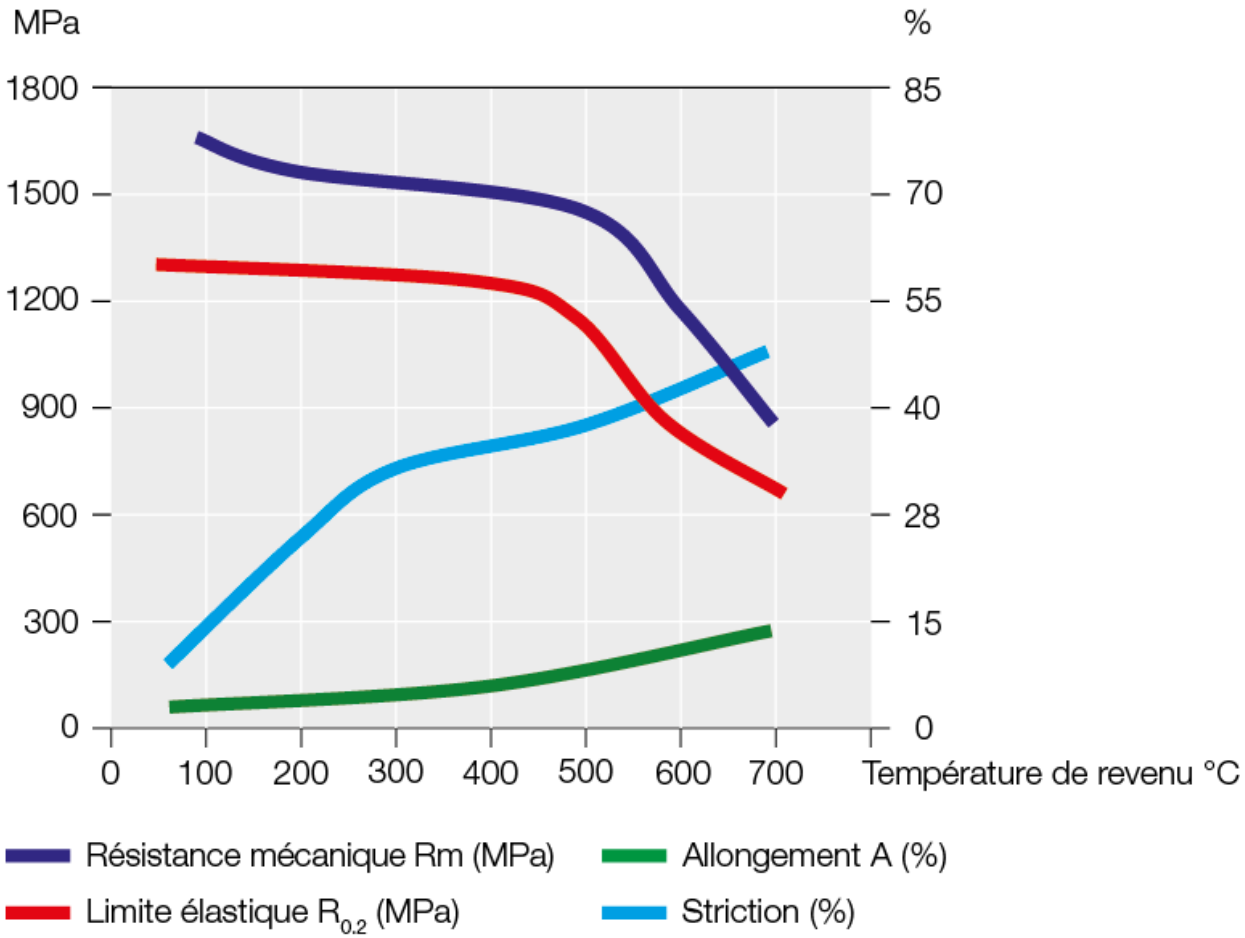


Figure 2.11 Diagramme de revenu [26]

2-10.2.Traitements de revenu

La martensite obtenue après trempe doit subir un traitement de revenu destiné à améliorer la ductilité et la résistance aux chocs (appréciée par l'essai de résilience, par exemple). Nous excluons de ce paragraphe les traitements de durcissement structural pouvant avoir lieu à des températures identiques. Nous présentons par plage de température les effets de ce traitement. [27]

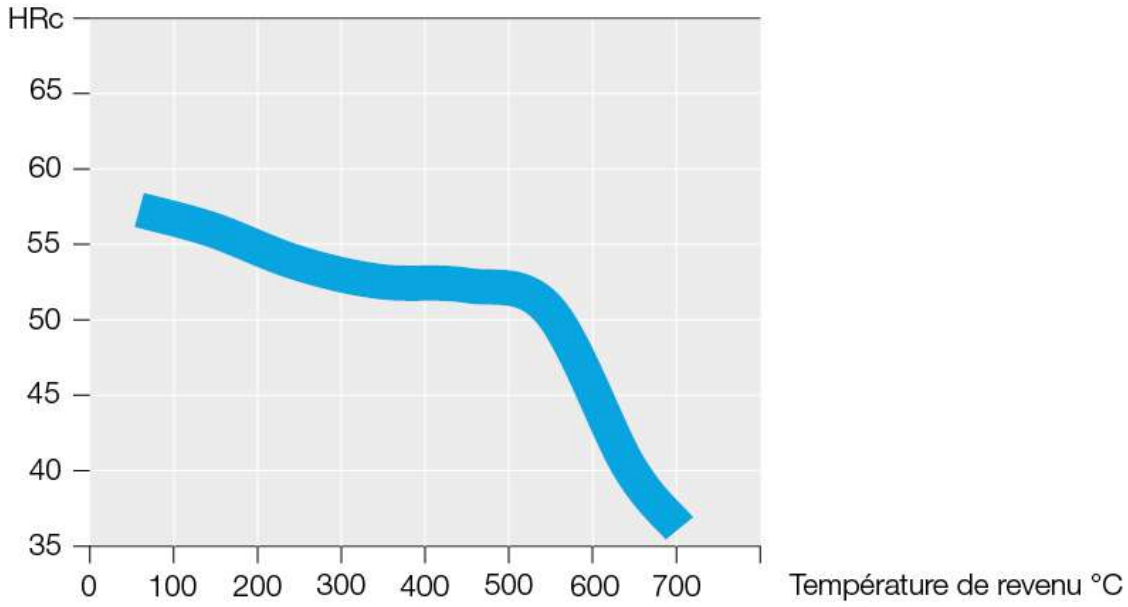


Figure 2.11 Diagramme de revenu [26]

Revenu : selon exigences, voir diagramme

- Généralement <200 °C pour atteindre la dureté la plus élevée.
- Domaine de température non recommandé:400– 580°C (fragilisation)

3-11.Défauts de Surface dus aux Traitements Thermiques

Nous avons déjà fait allusion au cours des paragraphes précédents aux défauts pouvant résulter des diverses atmosphères de traitement. Ceux-ci sont particulièrement à éviter si, comme c'est souvent le cas, la surface du matériau est conservée en l'état après traitement. Nous reprenons ci-dessous les divers défauts en rappelant leur origine, leurs conséquences, et les moyens de les détecter.

2-11.1. Décarburation

La décarburation est due à la présence d'oxygène (traitement à l'air, en four à gaz réglé oxydant, oxygène résiduel des traitements sous vide).

Cette décarburation est généralement acceptable pour les nuances ferritiques, austénitiques, ou austéno-ferritiques pour lesquelles on souhaite justement limiter la teneur en carbone.

Elle est par contre souvent inacceptable pour les nuances martensitiques ou ferrito-martensitiques, utilisées par leur dureté, en particulier de surface. On l'évitera en réalisant le traitement en four à bain de sels ou en four à gaz réglé réducteur.

On pourra la détecter :

- indirectement, par mesure de dureté ou par micrographie optique (plages ferritiques en peau) ;
- directement, par spectrographie à décharge luminescente.

2-11.2.Recarburation

Nous distinguerons trois types de recarburation superficielle :

- **la recarburation générale** dans les fours à gaz réglés réducteurs(le carbone est généré par craquage des hydrocarbures en surface de la pièce) ;
- **la recarburation localisée**, donc particulièrement insidieuse, due à la présence de produits carbonés (huiles ou graisses) lors de traitements en atmosphère neutre ou réductrice (par exemple, recuitbrillant sous azote, hydrogène, ou mélange de ces deux gaz) ; elle sera évitée en dégraissant soigneusement les produits avant traitement, en particulier les corps creux (tubes, etc.) ;
- **la recarburation par transfert gazeux** (CO et CO2) vers l'acier inoxydable traité de carbone provenant d'aciers au carbone, cela en présence d'une atmosphère oxydante en milieu confiné; on éviteradonc les montages, mandrins, etc., en acier au carbone dansl'enceinte des fours.

  La recarburation est nuisible essentiellement pour les nuances ferritiques, austénitiques et austéno-ferritiques, en provoquant l'apparition des carbures de chrome, donc les déchromisations locales correspondantes et la sensibilisation à la corrosion intergranulaire ou plus généralement une dégradation de la tenue à la corrosion. En ce qui concerne les nuances austéno-ferritiques ,l'augmentation locale de teneur en carbone, élément gamma gène ,peut également diminuer ou annuler la teneur en ferrite d'où une diminution, par exemple, de la tenue à la corrosion sous contrainte.

  La recarburation pourra être détectée par spectrographie àdécharge luminescente ou plus simplement par micrographieoptique (présence de carbures, augmentation de la teneur et austénite).

2-11.3.Déchromisation

La déchromisation peut être due aux atmosphères oxydantes (air, gaz de combustion réglé oxydant). En effet, le chrome est un élément plus oxydable que le fer ou le nickel, par exemple, et quelle que soit la nuance inoxydable, ferritique ou austénitique, un traitement à
Haute température en atmosphère oxydante provoquera une migration du chrome vers la surface du métal où il s'oxyde et un appauvrissement correspondant en sous-couche. Les profondeurs affectées peuvent atteindre quelques micromètres et la baisse de teneur en chrome quelques pourcent (1 à 3).
En extrême surface, au-dessous de la couche d'oxyde, la baisse de teneur en chrome peut être plus sévère et après élimination de la seule couche d'oxyde, la teneur superficielle en chrome peut être inférieure au seuil de 10,5 %, critique vis-à-vis de la résistance à la corrosion. Notons au passage que les traitements thermiques ne sont pas la seule source possible de déchromisation, des échauffements localisés du métal durant le laminage, même à froid, ou le soudage peuvent provoquer des déchromisations.
Cette baisse superficielle de teneur en chrome peut évidemment affecter la tenue à la corrosion des installations. Les inconvénients en découlant devront cependant être analysés au cas par cas. Pour des raisons esthétiques, on peut refuser toute corrosion même superficielle du métal. Par ailleurs, la déchromisation superficielle peut amorcer des phénomènes de corrosion localisée qui se poursuivront ensuite dans le métal sain. Mais, bien souvent, il y aura uniquement corrosion générale rapide de la zone affectée en surface, vite ramenée à une valeur normale dès que le métal sain est atteint.
Dans ce cas, la déchromisation peut fort bien être acceptable.
Pour finir, signalons que le moyen le plus efficace de quantifier la déchromisation est la spectrographie par décharge luminescente, la microsonde électronique pouvant aussi être employée, avec plus de difficultés. [27]

Chapitre 3

Techniques d’analyse

3-1. Introduction

Dans cette partie, nous faisant le point sur les différentes techniques expérimentales utilisées lors de la réalisation de ce travail. L'interprétation exacte des différents résultats obtenus lors de cette étude repose sur les mesures correctes et justes provenant des instruments techniques utilisés et des limites technologiques de chaque équipement.

3-2. Composition chimique

l'analyse est effectuée à l'aide d'un spectromètre d'analyse chimique de marque PHILIPS spectrométrie émission PV8050 du laboratoire POVAL BERROUAGHIA (voir figure 3. 1).



Figure 3. 1 Spectromètre d'analyse chimique.

3-3.Dureté

L'essai Rockwell, très rapide (quelques secondes), est le plus employé : il permet la mesure de la dureté en série.

Le test Rockwell peut déterminer la dureté d'une structure, allant des métaux les plus doux aux aciers les plus durs (aciers rapides,….). La valeur de dureté Rockwell obtenue est un nombre inversement proportionnel avec la profondeur secondaire du pénétrateur soumis à la deuxième charge (majeure).

Les pénétrateurs Rockwell sont de deux sortes : coniques diamantés (échelle HRC) pour les essais sur structures durs, et à bille en acier (échelle HRB) pour les matériaux relativement moins durs.

L'ensemble des mesures de la dureté sur l'acier a été réalisé à l'aide d'un duromètre universel de type HP250.

Les mesures sont faites sur une surface polie de l'échantillon carré.



Figure 3.2 D'uromètre

3-4.Microstructure

La métallographie par microscope optique de nos échantillons donne des informations sur la morphologie et le nombre de phase en présence.

a) Polissage

Pour un polissage mécanique réussi, il est recommandé

- D'éviter les abrasifs grossiers pour le prépolissage
- Les abrasifs diamantés pour le prépolissage fin et le polissage doivent être efficaces et garantir l'enlèvement de toute la déformation provenant du prépolissage
- Un polissage final aux oxydes avec de la silice colloïdale ou de l'alumine devra donner une surface exempte de déformation.

Une procédure en quatre étapes, accomplies sur un équipement de préparation automatique, donne de bons résultats reproductibles. Les aciers inoxydables sont difficiles à attaquer chimiquement et les réactifs d'attaque recommandés sont très corrosifs et nécessitent une manipulation très précautionneuse.

Alternativement, le polissage et l'attaque électrolytiques sont recommandés, donnant une surface sans déformation, mais ne préservant pas les carbures.

Les échantillons destinés à l'observation sont polis successivement sous eau par meulage mécanique sur papiers abrasifs de granulométrie décroissante, puis suivis d'un polissage de finition par une suspension l'alumine sur un drap fine.



Figure 3 .3 Polissage

b) *Attaque chimique*

Pour les aciers martensitiques

925mld'éthanol; 25 g d'acide bicrique

Les observations effectuées sur un microscope optique de type ZEISS AXIOVER T40 MAT équipé d'une caméra photo numérique.

Le microscope optique est un instrument d'optique muni d'un objectif et d'un oculaire qui permet de grossir l'image d'un objet de petites dimensions et de séparer les détails de cette image afin qu'il soit observable par l'œil humain.

Il est utilisé en métallographie pour examiner la structure d'un métal ou d'un alliage



Figure 3. 4 microscopes optiques

3-5. Traitements thermiques

Nabertherm est un fabricant de four à moufle actif au niveau mondial. Les domaines d'utilisation du four à moufle sont les laboratoires dentaires, les universités, les écoles et les centres de recherches.

Les caractéristiques d'un four à moufle :

- Tmax1100 °C, température de travail 1050 °C ;

- Chauffage des deux côtés par des résistances dans des tubes en verre quartz ;
- Remplacement facile des résistances et de l'isolation lors de la maintenance ;
- Isolation multicouches par panneaux fibreux dans la chambre du four
- Carcasse en inox à la surface structurée
- Carcasse à double paroi pour des températures extérieures basses et une grande stabilité
- Porte à battant pouvant aussi être utilisée comme support „
- Cheminée d'évacuation de l'air dans la paroi arrière „
- Chauffage silencieux fonctionnant avec des relais statiques
- Dimensions compactes et poids réduit

Options

- Cheminée d'évacuation, cheminée d'évacuation avec ventilateur ou catalyseur (indisponible sur la version L1)
- Régulateur de sécurité de surchauffe avec réinitialisation manuelle pour la classe de protection thermique 2 conformément à la norme EN 60519-2 servant de protection contre la surchauffe pour le four et le produit
- „ Raccord de gaz protecteurs pour le rinçage du four aux gaz protecteurs ou réactifs non combustibles „
- Système manuel d'alimentation en gaz



Figure 3. 5fours de traitements thermiques.

Partie II

Chapitre 4

Procédure expérimentale

4.1- Analyse de l'acier X20Cr13

4 .1.1.Introduction

Apparu dès la première guerre mondiale, l'acier X20Cr13 constitue de nos jours, avec ses dérivés, l'une des premières familles d'aciersinoxydables, à la fois par l'importance des tonnages mis en œuvre chaque année et par l'extraordinaire diversification de ses emplois.

Pourtant, malgré l'ancienneté et la grande diffusion de ces aciers, les utilisateurs rencontrent encore parfois de sérieuses difficultés dans leur mise en œuvre (notamment dans la conduite de leur traitement thermique).

C'est cette lacune que nous voudrions essayer de combler en partie, en donnant sur ce sujet les informations nécessaires aux utilisateurs.

4.1.2. Donnés technique de l'acier inox

L'acier, acheté à un groupe industriel spécialisé dans les aciers spéciaux, se présente sous la forme de tôles laminées à froid état : fini 2B dimension2*1*3.00 mm
Il est livré à l'état dit traiter. Cet état permet son utilisation directe à l'usinage. Le traitement thermique est effectué par le fabricant selon les conditions industrielles suivantes :

- austénitisation de 800 à 850°C ;
- maintien suivant l'épaisseur ;
- refroidissement lent au four.

a).Normes

Norme de Matière	1.4021
DIN EN	X20Cr13, EN 10088-3
AISI/SAE/ASTM	AISI 420, AISI 420A, ASTM F899, A276, A959
AFNOR	X20Cr13 (ancien Z 20 C 13)
ISO 7153-1 (B)	

4-1.3. Composition chimique

Tableau*4*. 1 : Composition chimique du matériau d'étude**X20Cr13**.

% En masse	% C	% Si	% M n	% S	% P	% C r
Valeur ISO	0.16 à 0.25	< 1.00	< 1.50	≤0.030	≤0.040	12 à 14
Valeur mesure	0.22	<1.00	<1.40	<0.033	0.030	13

D'après la bibliographie et les résultats de ces analyses, nos aciers rejoignent les données recueillies auprès du fournisseur et confirment donc que cet acier appartient à la famille des aciers inoxydables.

4 .2. Caractéristiques de l'acier X20C13

Ces aciers sont très couramment désignés comme aciers inoxydables.

L'acier X20Cr13est utilisé à l'état trempé et revenu, caractérisé par des niveaux de dureté élevée à température ambiante (44 à 53 HRC).

Ils possèdent une très bonne trempabilité, leur courbe de trempabilité est pratiquement horizontale ; ils sont dits autotrempants.

Les fortes teneurs en carbone et en chrome ont permis une grande résistance à la corrosion par la présence des carbures plus durs et plus stables.

4.3. Dureté de l'acier inox

Les mesures sont faites sur une surface polie de l'échantillon prismatique de dimension 2*1*3.00 mm

4.4. Microstructure de l'acier inox

L'analyse proprement dite a été entamée par une caractérisation chimique, et mécanique du matériau employé X20Cr13 vu qu'il ne répondait pas adéquatement aux conditions de travail auxquels il est attribué : manque de dureté, déformation de la partie tranchante, usure prématurée des outils coupants.

(Voir figures ***4***. 1 ; ***4.***2).



Figure 4.1 :rupture de l'échantillon,
Traité à 47 HRC par Trempe à 960°C puis revenu à 350°C



Figure 4.2 rupture, traité à46
HRC par trempe à 950°C puis revenu à
350°C

De plus par une investigation sur site concernant le déroulement de l'opération de traitement thermique, on a relevé les points suivants :

- les températures d'austénitisation et les températures de revenus ont été choisies arbitrairement, il y a des changements fréquents pour ces deux températures.

Le cycle thermique effectué est comme suit :

Température de trempe oscille entre 970 à 1030°C.

Trempe à l'huile.

Température de revenu oscille entre 200 à 400°C.

- Un seul revenu et ne se fait pas immédiatement après trempe, il est pratiqué 24h après.
- La caractérisation après traitement se fait uniquement par la dureté HRC.

Dans une première approche, fondée sur le comportement mécanique, la recherche de nouveaux traitements thermiques complétés par des réalisations expérimentales à l'échelle du

laboratoire ont été le support de notre démarche. Celle-ci consistait à établir le traitement le plus judicieux pour sa meilleure tenue.

L'acier nous a été livré à l'état de recuit de coalescence. L'aspect caractéristique de cet état, observé par microscope optique, est représenté par la figure 4. 5.

La structure se présente sous forme de matrice ferritique alliée dans laquelle sont distribués de fins carbures de chrome de type $(Cr, Fe)_{23}C_6$ d'une façon uniforme.

D'après la composition chimique de l'acier X20Cr13, sa structure, après recuit de coalescence, se définit comme suit :

α (Cr) + $(Cr, Fe)_{23C6}$

En solution solide carbure de chrome

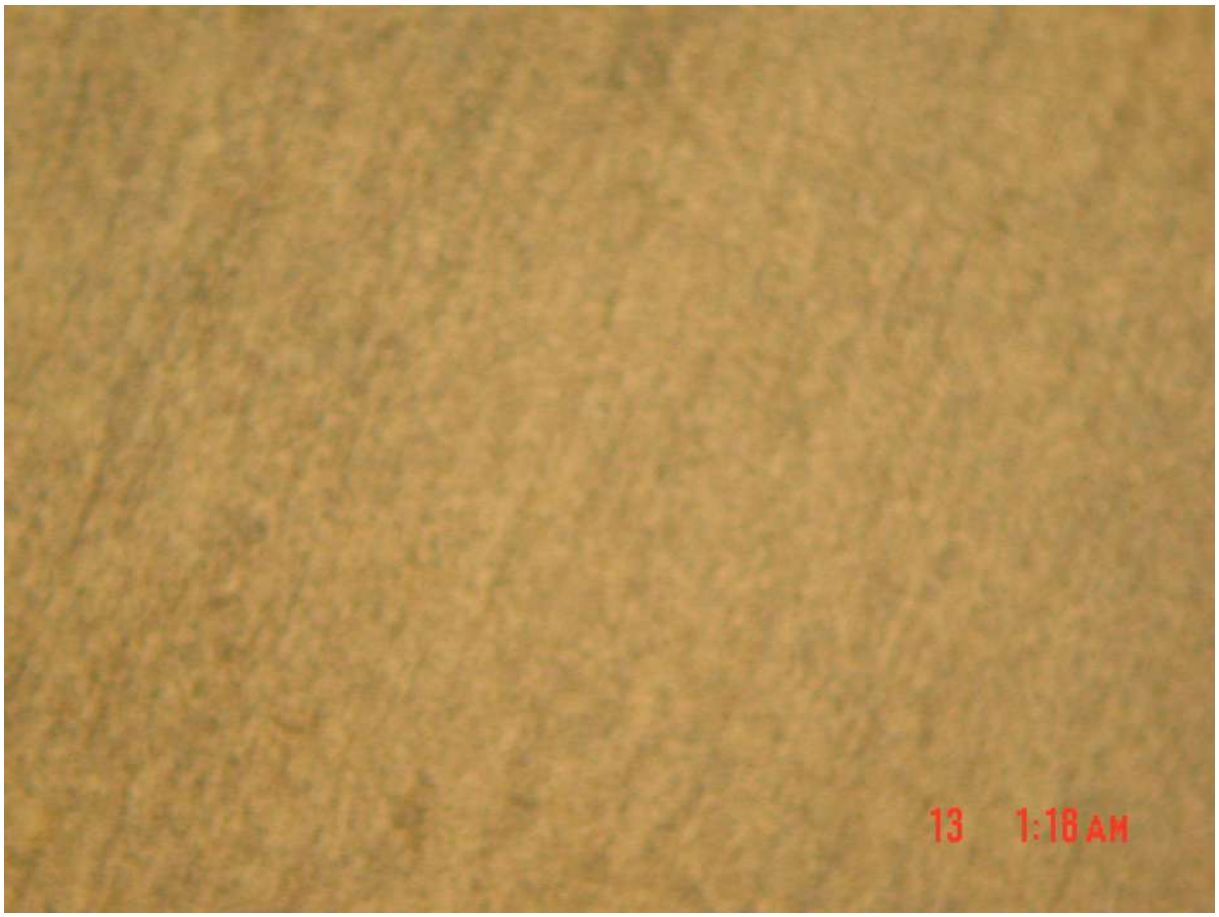


Figure 4 .3 Micrographie optique de l'acier X20Cr13 à l'état brut (x1000)

4.5. Choix des paramètres des traitements thermiques

4.5.1. Les conditions de trempe

L'ensemble des considérations théoriques de notre acier nous permet d'être plus sélectifs quant au milieu favorisant une vitesse de refroidissement optimale qui est le bain d'huile.

Quant aux températures d'austénitisations adéquates, elles ont été choisies selon les gammes suivantes : 950, 970, 1000, 1030,1050°C,

Le traitement concerne les éprouvettes dela dureté par groupe de deux, respectivement, selon le choix des températures ci-dessus et maintenus pendant10 minutes pour être refroidis rapidement dans l'huile.

4.5.2. Le revenu

Les différentes transformations survenant au cours du revenu sont suivies selon le choix de quatre températures : 300, 350, 400, 450°C, et ce pour toutes les températures de trempe retenues.

La figure 4. 4 schématise l'enchaînement des différentes étapes de la procédure expérimentale

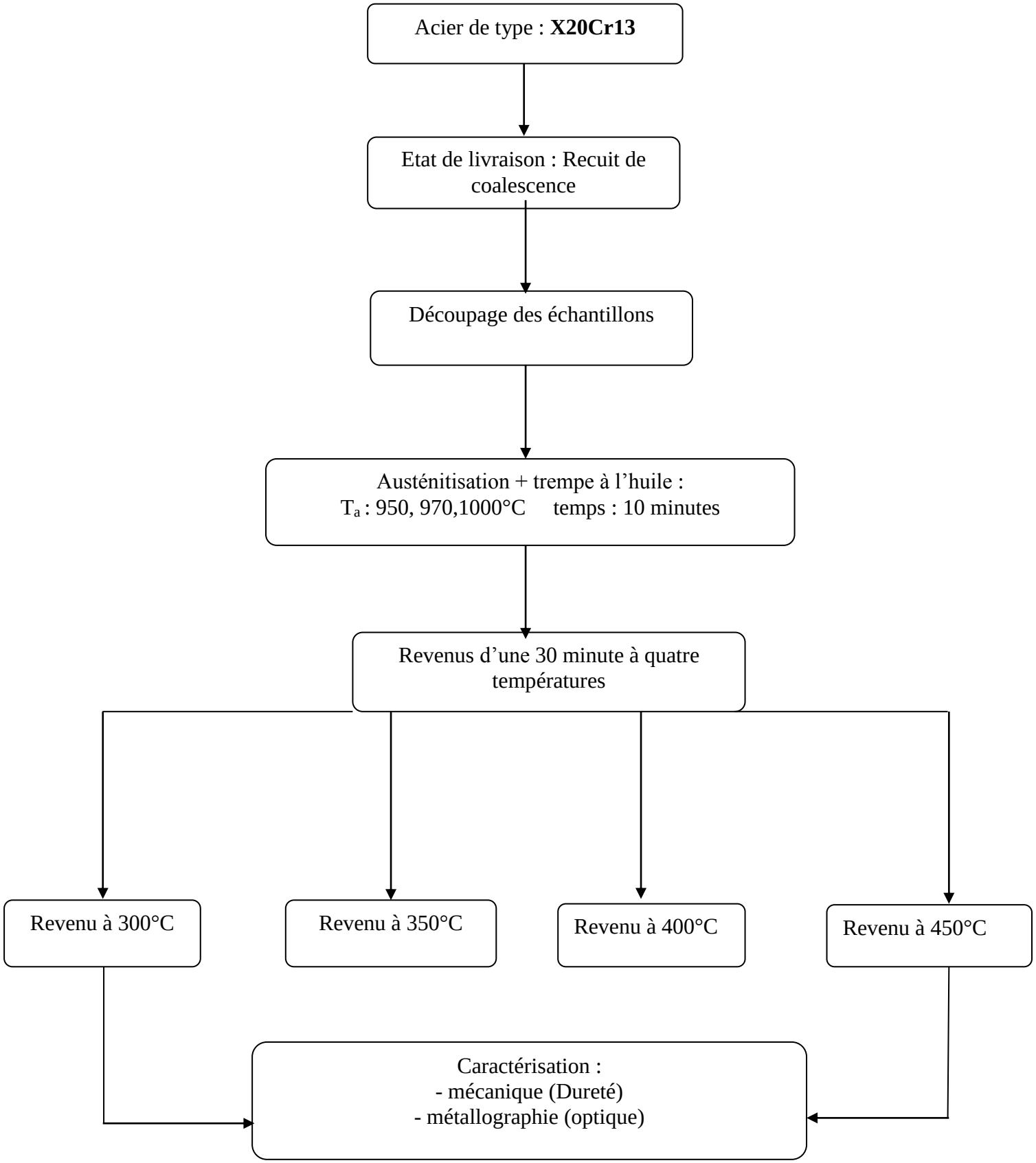


Figure 4. 4 Représentation schématique du processus expérimentale.

4.6. Caractérisation après traitements

4.6.1. Dureté

Les résultats des essais de dureté HRC, ils figurent dans, le tableau 4 .1, comme il fut procéder pour les aciers à l'état de réception.

Tableau 4. 2 : Résultats des essais de dureté HRC selon les différents traitements

	Dureté de l'acier X20Cr13, HRC				
Trempe / Revenu	950°C	970°C	1000°C	1030°C	1050°C
Sans revenu	53	52	53	54	54.5
300°C	45	43	47	46	48
350°C	43	44.5	46	45	46
400°C	44	45	44	43	45
450°C	45	46	46.5	46	46 .5

4.7. **Analyse des Microstructures sur Microscope Optique**

Les échantillons traités, provenant d'éprouvettes dela duretéfurent préparés (polissage et attaque) de manière analogue à celle décrite pour les échantillons à l'état de réception.

Les microstructures obtenues concernent :

- d'une part les échantillons ayant subi des traitements de trempe uniquement aux températures d'austénitisation 950°C sont présentés respectivement dans la figure 4. 6 (Grossissement 1000).
- d'autre part les échantillons austénites à 970°C et revenues aux températures 300°C pendant 30 minutes présentent les meilleures propriétés mécaniques. Cet état structural (figure 4. 7) sera donc choisi pour être testé sur site. HRC = 47

4.7.1. Structure de l'état trempé

Après trempe à l'huile, on a une structure martensitique issue de la transformation partielle de l'austénite, des inclusions de carbure de chrome et, enfin, de l'austénite résiduelle. On peut donc représenter la composition après trempe comme suit :

$$\gamma_{res} + M\ (Fe, C, Cr) + (Cr, Fe)_{23}C_6$$

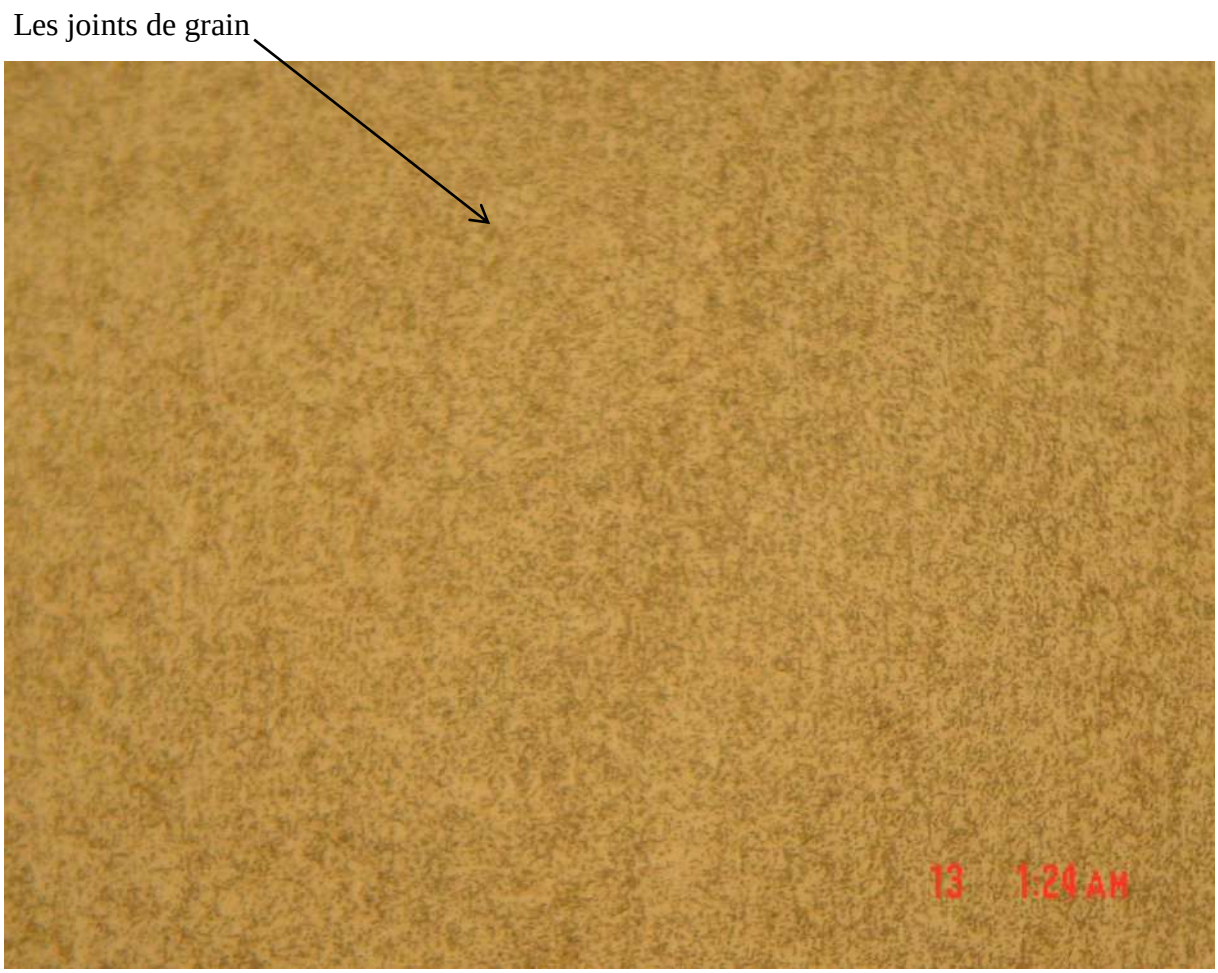


Figure 4. 5 Micrographie optique de l'acier X20Cr13trempé à 950°C
Sans revenu (x1000)

*4.7.2.*Structure de revenu

Par revenu à 300°C l'apport énergétique est plus consistant. On assiste alors à la transformation complète de la martensite en ferrite et carbure de cémentite. De ce fait, la structure, apparaissant moins foncée à cause de la présence de ferrite, comprend les constituants suivants :

- Une matrice composée de ferrite et de cémentite alliée au chrome en solution solide.
- De la martensite nouvellement formée issue de la transformation partielle de l'austénite résiduelle au cours de refroidissement, ce qui imposerait de faire un second revenu pour éliminer les contraintes provenant de cette trempe secondaire.
- D'austénite résiduelle non transformée qui, sous l'effet des chocs mécaniques répétitifs, se transforme partiellement en martensite, ce qui conduit à la formation de microfissures qui avec la fatigue du matériau peuvent se propager et conduisent à la détérioration du matériau.

On peut donc schématiser la structure de revenu à 300°C par :

Martensite de revenu + cémentite + Martensite nouvellement formée + Austénite résiduelle + $(Cr, Fe)_{23}C_6$

Carbure de chrome

Martensite de revenu

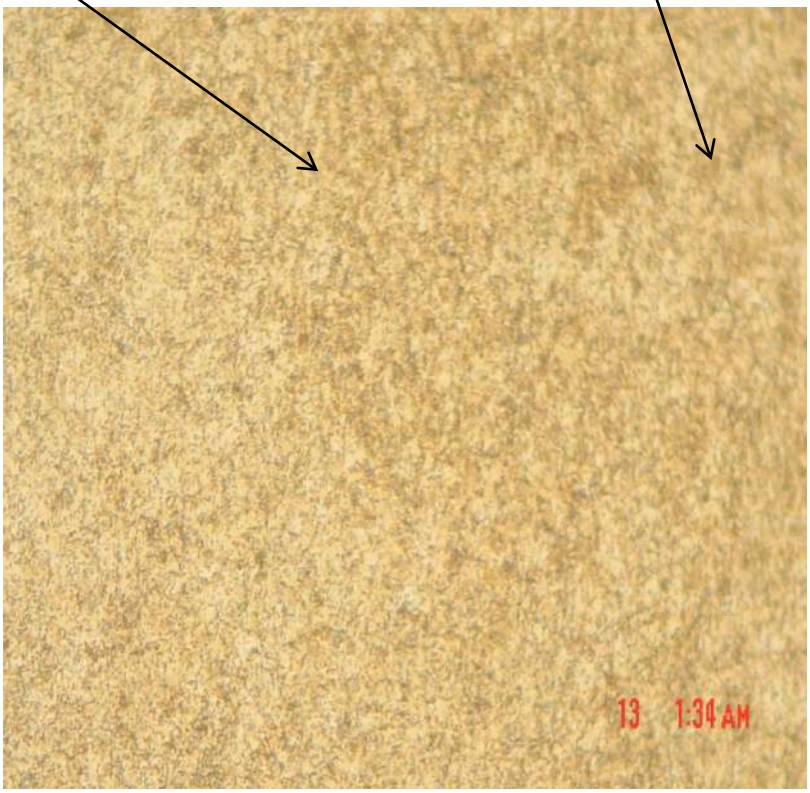


Figure 4 .6 Micrographie optique de l'acier X20Cr13
À l'état trempe traité à 950°C avec revenu 300 °C (x1000)

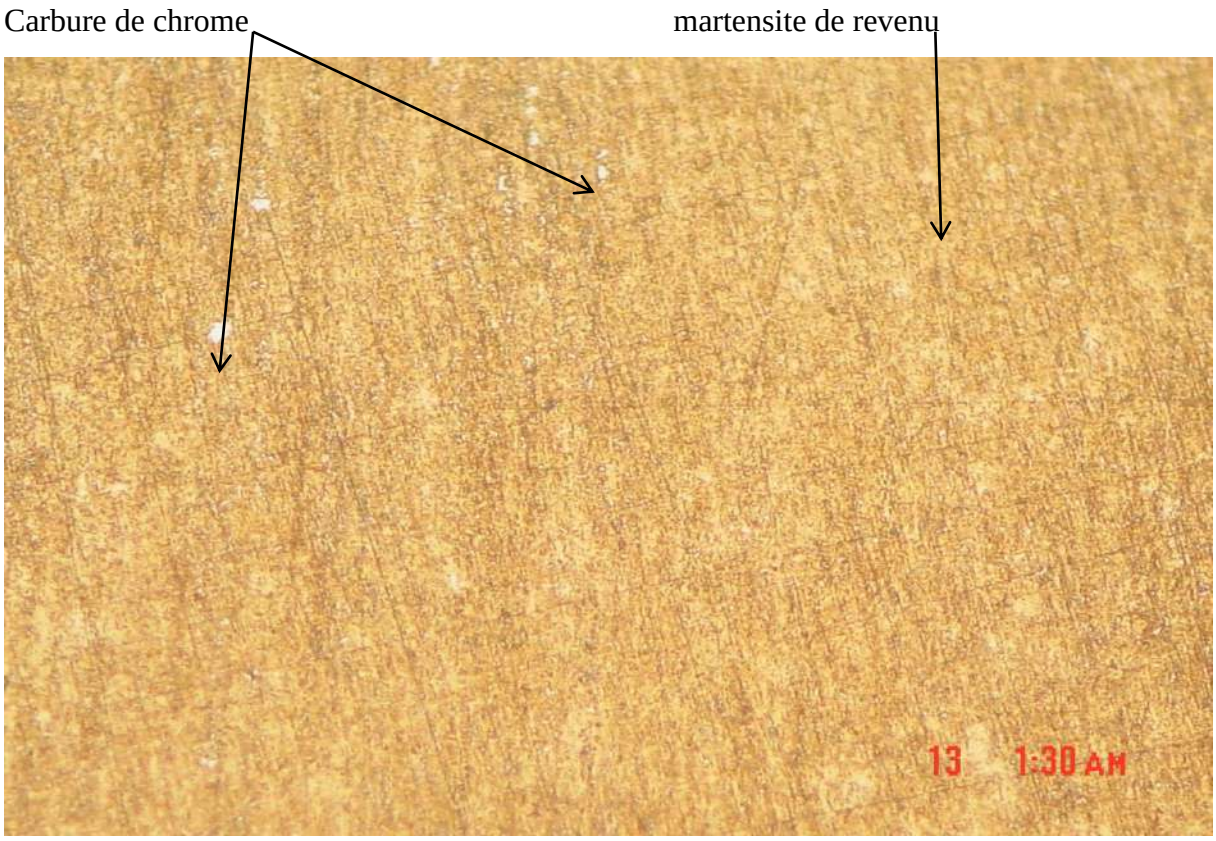


Figure 4 .7 Micrographie optique de l'acier X20Cr13
À l'état trempe traité à 970°C avec revenu 300 °C (x1000)

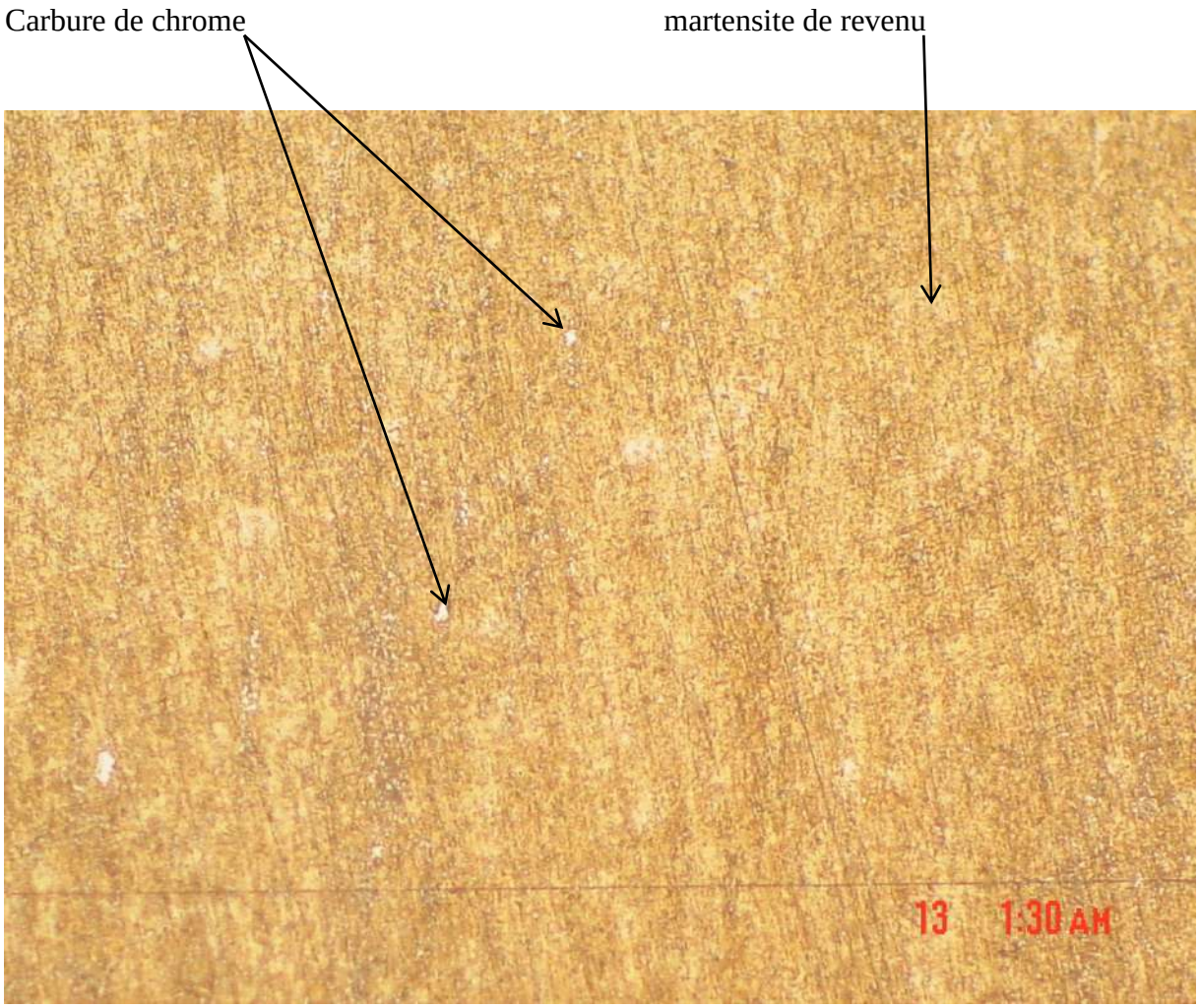


Figure 4 .8 Micrographie optique de l'acier X20Cr13
À l'état trempe traité à 1000°C avec revenu 300 °C (x1000

4.8. Conclusion partielle

Dans cette partie d'étude nous avons mis en évidence l'influence des paramètres de cycle thermique, tout particulièrement celui de la température d'austénitisation, et la température de revenu sur les propriétés structurales et mécaniques de l'acier X20Cr13. L'austénitisation de ce type d'acier est très délicate, elle doit être optimale pour assurer la dissolution des carbures et homogénéiser l'austénite. S'il y a trop peu de carbures dissous, on

risque, lors de la trempe, de ne pas atteindre la dureté désirée. S'il y on a trop, par élévation de température, on peut avoir trop d'austénite résiduelle (faible dureté), à la suite d'un fort abaissement du début de la transformation martensitique Ms.

Considérant que l'acier X20Cr13 est un acier autotrempant, l'austénite résiduelle de trempe se déstabilise pendant le revenu et se transforme en martensite au refroidissement qui le suit. Cette dernière diminue la résilience et augmente la fragilité. C'est pourquoi un second revenu est nécessaire pour détendre cette nouvelle martensite fragile.

La température de revenu correspondant aux transformations et aux précipitations attendues influe fortement sur la résilience de l'acier, un choix judicieux s'impose pour augmenter les propriétés de l'acier.

Il en ressort que les meilleurs caractéristiques mécaniques(dureté) se situe dans la gamme de traitement : austénitisation à 970°C et revenu à 350°C.

Conclusion Général

CONCLUSION

Cette étude a été réalisée dans le cadre de collaboration entre le laboratoire de traitement thermique et matériau de Blida et la société Bouchemaa.

On s'est proposé alors de mener une étude conséquente afin d'y remédier.

Pour atteindre cet objectif, la conjonction d'étude bibliographiques approfondies sur les Aciers inoxydables à 13% de chrome, la recherche de nouveaux traitements thermiques et de surface, complétés par des réalisations expérimentales à l'échelle du laboratoire ont été le support de notre démarche. Celle-ci consistait à établir une caractérisation du matériau après une période d'utilisation sur chantier, et de rechercher, en conséquence, le traitement le plus judicieux pour sa meilleure tenue.

L'objectif de cette étude a été donc la recherche est optimalisons le traitement thermique trempe et revenu pour meilleure caractérisation mécanique et microstructurale de la précipitation des phases secondaires dans l'acier inoxydable martensitique.

Les études effectuées nous ont permis de comprendre :

1- l'influence des paramètres du cycle thermique, tout particulièrement celui de la température d'austénitisation, la température de revenu, et l'importance primordiale du revenu, sur les propriétés structurales et mécaniques de l'acier inoxydables à 13% de chrome.

- L'austénitisation de ce type d'acier est très délicate, il faut obtenir un compromis entre une dureté élevée et une faible teneur en austénite résiduelle.

2- La température d'austénitisation doit être optimale, l'élévation de cette température favorise la mise en solution des carbures contenus à l'état recuit ce qui accroît la teneur en carbone de la martensite, donc le durcissement à la trempe. Cependant provoque un fort abaissement du point Ms, et dans ces conditions la quantité d'austénite résiduelle augmente aussi rapidement, et sa teneur est suffisamment importante pour que son effet adoucissant contre balance l'effet durcissant propre à la teneur en carbone de la martensite.

3- Cette situation a été vérifiée par la faible dureté de la matrice de l'état trempé par rapport à l'état trempé et revenu.

4- Par différentes caractérisations, on a relevé un comportement qualifiable de stable pour les échantillons testés suivant les conditions :

5- Température d'austénitisation 950°C avec température de revenu de 350°C pour le X20Cr13

6- L’acier inoxydables à 13 % de chrome qui contient une importante quantité de carbures de chrome insolubles, sont un obstacle au grossissement du grain, conservent, pour cette raison, un grain fin jusqu'à des températures élevées. Plus l’action bénéfique de ces carbures sur la résistance de l’acier à l’usure.

Référence

[1] : C pierre-jean : aciers inoxydables critère de choix et structure ,techniques de l'ingénieure , traité matériaux métallique ,vol MB4,dossier M4540, paris 2000

[2] : mémoire de magister université mouloud Mammeri de tizi ouzo faculté de génie mécanique –construction-caractérisation de l'acier inoxydables le X5CrNi18-10 et étude de son oxydation à température présent par Amy zahiya

[3] : matériau inox PDF foxit Reader -Saïd en Saada- traitement thermique PDF

M_s .CDET.elaboration de l'acier .foxit Reader

[4] : élaboration des matériaux fiché PDF

[5] : mémoire de magisters thème de mémoire (caractérisation de l'aciers inoxydables X5CrNi18-10 et étude d'oxydation à température) Amy zahia année 2013 page 05

[6] : [1]. ROBERT LEVEQUE - Aciers à outils - M330 Techniques de l'ingénieur 1979.

Froid Par **(HABIRECHE Mohamed)**

[7] : mémoire de magisters thème de mémoire (caractérisation de l'aciers inoxydables X5CrNi18-10 et étude d'oxydation à température) Amy zahia année 2013 page 06

[8] :c.pierre.jean aciers inoxydables .critère de choix et structure (technique de l'ingénieure. Traité matériaux métallique .vol.MB4 dossier M4540 paris (2000).

[9] : François BEAUDET mémoire présenté à la faculté des études supérieurs de l'université Laval. 2009-page 24

[10] : information technique sur aciers inoxydables. Aciers allie .PDF (SECURED). Foxit Reader

[11] : mémoire de magister. Spécialité : science des matériaux présent par ouali naima thème (comportement au vieillissement et a la restauration par traitement thermique de l'acier inoxydables austeno-ferritique SAF 2205 .Blida 2012

[12] : information technique sur acier inoxydables. Acier lié1 PDF(SECURED). Foxit Reader.

[13] : www.kleinmetals.ch • info@kleinmetals.ch CHRONIFER®M-4021 Acier inoxydable martensitique trempable.

[14] : Saïd ben Saada traitements thermiques, classification et désignation des aciers et fontes

[15] : aciers inox, cet article est lié aux composés du fer est carbone**.**

[16] : JEAN-PAUL BAILON, JEAN-MARIE DORLOT –Des Matériaux- Ecole Polytechnique de Montréal, 2000-Troisieme Edition.

[17] : ROBERT LEVEQUE - Aciers à outils - M330 Techniques de l'ingénieur 1979.

[18] : F. TRAITEMENTS THERMIQUES ET TREMPABILITÉ DES ACIERS J.Philibert, A. Vignes, Y. Bréchet et P. Commrade, Métallurgie du minerai au matériau Masson 1998 Paris, p. 717

[19] : Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques Traitements thermiques Des aciers inoxydables par (Hervé SASSOULAS) Ingénieur civil des Mines Ingénieur de recherche. Centre de recherches d'Ugine. Ugine – Savoie Doc. M 1 155 .

[20] : SAID BENSAADATRAITEMENTS THERMIQUES, CLASSIFICATION ET DESIGNATION DES ACIERS ET FONTES page (5). (6)

[21] : http : //ptetoile.free.fr/ Traitements thermiques des aciers page (4)

[22] : François BEAUDET Mémoire présenté à la faculté des études supérieurs de l'université Laval 2009, page 24.

[23] : mémoire de magister-Spécialité : science des matériaux, Thème Amélioration de la longévité et du comportement mécanique d'un acier a outil pour travail à froid Par **(HABIRECHE Mohamed)** page 51

[24] : LAKHTIN - Métallographie et traitement thermique des métaux - Edition Mir 1986.

[25] : JOEL SAVERNA – Relation entre le traitement thermique et la résistance à l'abrasion applicable à l'acier Z30C13- Thèse de Doctorat, Université de Nancy, 1984.

[26] : www.kleinmetals.ch • info@kleinmetals.ch CHRONIFER®M-4021

[27] : traitement thermique des aciers inoxydables *par* Hervé SASSOULAS Ingénieur civil des Mines Ingénieur de recherche. Centre de recherches d'Ugine. Ugine - Savoie

APPENDICE A

Fe : Fer.
C : carbone.
Si : silicium.
Mn : manganèse.
Cr : chrome.
Mo : molybdène.
Cu : cuivre.
P : phosphore.
S : soufre.
W : tungstène.
V : vanadium.
Ni : nickel.
Nb : niobium.
Ti : titan.
Zr : zirconium.

Composes et phases

M_3C : cémentite.
M_7C_3: carbure spéciaux.
$M_{23}C_6$: carbure de chrome
α : ferrite.
γ : austénite.

Abréviation

TRC : transformation en refroidissement continu.
TTT : transformation température temps
Vc : vitesse critique de trempe.
Ms : début de transformation martensitique.
M_f : fin de transformation martensitique.
HRC : dureté Rockwell C.

ISO : norme internationale.

ASTM : norme américaine.

NF : norme française

Liste de figure :

Figure 1.1 : Schéma représentatif d'un acier inoxydable.

Figure 1-2 : schéma technique élaborations des aciers inoxydables.

Figure 1-3 : Diagramme d'équilibre binaire.

Figure1-4: de diagramme d'équilibre ternaire Fe-Cr-C

Figure 1-5 : de diagramme d'équilibre ternaire Fe-Cr-C à 13 de chrome.

Figure 1-6 : Diagramme de recuit.

Figure 1- 7: Influence de diverses teneurs en chrome sur les teneurs limites en carbone.

Conduisant à la formation d'austénite pure.

Figure 2.1:courbe de transformation en refroidissement continu.

Figure 2.2-courbe de transformation isotherme(TTT) de deux aciers martensitiques.

Figure 2.3: Diagramme de recuit.

Figure 2.4 et Figure II.5 : présentent respectivement l'état de structure d'un acier avant L'homogénéisation.

Figure 2.6 Diagramme recuit d'homogénéisation.

Figure 2.7 : Diagramme recuit de normalisation.

Figure 2.8 : diagramme recuit de globalisation.

Figure 2.9 : diagramme recuite de restauration et recristallisation.

Figure 2.10 : Diagramme la température de recristallisation.

Figure 2-11. Diagramme de revenu.

Figure 3. 1 : Spectromètre d'analyse chimique.

Figure : 3 .2 :D'uromètre

Figure : 3 .3 . Polissage

Figure 3. 4 : microscope optique.

Figure 3. 5 : four de traitements thermiques.

Figure 4.1 : rupture de cisaille, Traité à 47 HRC par Trempe à 960°C puis revenu à 350°C

Figure 4.2 rupture de cisaille, traité à 46 HRC par trempe à 950°C puis revenu à 350°C

Figure 4 .4 Micrographie optique de l'acier X20Cr13 à l'état brut (x1000)

Figure 4. 4 Représentation schématique du processus expérimentale.

Figure 4. 5 Micrographie optique de l'acier X20Cr13 trempé à 950°C Sans revenu (x1000)

Figure 4 .6 Micrographie optique de l'acier X20Cr13 à l'état trempe traité à 950°C avec revenu 300 °C (x1000)

Figure 4 .7 Micrographie optique de l'acier X20Cr13 à l'état trempe traité à 970°C avec revenu 300 °C (x1000)

Figure 4 .8 Micrographie optique de l'acier X20Cr13 à l'état trempe traité à 970°C avec revenu 300 °C (x1000

Liste de tableau

Tableau-1.1 : présente quelques exemples de résistance après recuits d'adoucissement

Tableau *4*. 1 : Composition chimique du X20Cr13.

Tableau 4. 2 : Résultats des essais de dureté HRC selon les différents traitements