REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de Fin d'études de Master

Filière: Génie Mécanique

Spécialité: Ingénierie des matériaux et des surfaces

Etude du phénomène de décarburation lors d'un traitement thermique d'un acier à outil X210Cr12 dans un four conventionnel

Présenté par

Mr. DAIDI MEBAREK

Proposé et Dirigé par

MR/DJEGHDJOUGH-MOHAMMED

Promotion 2023

Remerciements

Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir
donné le courage, la volonté, la santé et la patience
de mener à terme ce présent travail.

Je tiens spécialement à remercier
mes deux professeurs Djeghdjough Mohamed
et Habireche -Mohamed d'avoir acceptés de m'encadrer,
de son intérêt constant qui m'avais guidé dans notre travail,
et de leurs conseils au cours de notre travail.

Je m'adresse mes vives reconnaissances
à tous les enseignants et le personnel du département
de Génie-Mécanique et spécialement les enseignants
de la spécialité Enfin,

mes remerciements pour monsieur le président de jury
et les membres
de jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter
de juger ce modeste travail

MEBAREK

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à:

A la mémoire de mes parents

Que Dieu garde leurs âmes dans son vaste paradis

A mes chers frères, et sœurs,

A.ma petite famille qui m'a toujours soutenue ma femme

et mes enfants Aymen, Meriem

Et la petite Asmaa

Tous mes amis.

Tous mes collègues.

Tous ceux qui m'ont aidé pour accomplir

cette mémoire.

Tous les professeurs et surtout MR. Habireche Mohamed

qui sont m'enseigné car si je suis là

Aujourd'hui c'est bien grâce à vous tous,

donc un grand merci pour vous

Mebarek

Le mémoire présentée vise à approfondir la compréhension de la décarburation de l'acier X200Cr12 lors du traitement de trempe et à explorer l'utilisation du coke lors de l'austénitisation comme solution potentielle pour atténuer cet effet indésirable.

La décarburation de l'acier peut entraîner une diminution des propriétés mécaniques et des altérations de surface, compromettant la qualité et les performances de l'acier dans des applications industrielles critiques. Cette étude est motivée par la nécessité de minimiser la décarburation de l'acier X200Cr12, couramment utilisé dans la fabrication d'outils de coupe et de formage. Une revue de littérature sera réalisée pour examiner les mécanismes de décarburation et les méthodes proposées pour remédier à ce problème. Des expérimentations seront menées en variant les paramètres de traitement et en utilisant du coke lors de l'austénitisation. Les échantillons d'acier seront analysés pour évaluer visuellement la décarburation et mesurer les propriétés mécaniques et de surface. Les résultats obtenus permettront d'évaluer l'efficacité de l'utilisation du coke pour atténuer la décarburation et d'optimiser les procédés de traitement thermique de l'acier X210 Cr12 dans des applications industrielles exigeantes. La thèse sera divisée en chapitres comprenant une introduction, une étude bibliographique, la présentation des méthodes de recherche, les résultats expérimentaux et une conclusion finale.

Mot clé : acier à outil, traitement thermique, décarburation

ملخص باللغة العربية

إن الهدف من هذه الأطروحة المقدمة أمام حضرتكم هي دراسة ظاهرة "الكربنة " التي تمس الأسطح الخارجية لفولاذ X210Cr12، أثناء عملية المعالجة الحرارية والتبريد وخصوصاً عند درجات الحرارة العالية "عند درجة الأستينيت " واستكشافنا لا استخدام "الغرافيت أو فحم الكوك"أ هذه العملية، لحل محتمل للتخفيف .

من هذه الظاهرة الغير مرغوب فيها ولأن ظاهرة الكربنة تكمن في هجرة الكربون من داخل المعدن إلى خارجة مما يؤدي إلى تضرر سطح الفولاذ وكذلك التخفيض في خواصه الميكانيكية والمحساس بجودته

ولأن هذه الدراسة هدفها التقليل من إزالة الكربون من سطح فولاذ المخصص للأدوات X210Cr12 " هذا الفولاذ الشائع استعماله في أدوات التصنيع والقطع وكذلك في ادوات التشكيل.

وبهذا الحل سيتم اجراء مراجعة شاملة لفحص آليات ظاهرة الكربنة وكذلك الطريقة المقترحة، وإليكم ملخصا عن الخطوات التى ابتعناها في هذا الشأن.

الخطوة الأولى: قمنا بتقطيع عينات من خولاف الادوات" K100 " لها نفس القطر ولها نفس السمك Ø 22.5x5mm ەمنشار ميكانيكي مزود نظام تبريد

الخطوة الثانية: قمنا بمعالجة اسطح العينات، التسوية، التلميع بأوراق الجلخ معيار 240، 400، 1200، 2000.

الخطوة الثالثة: قمنا بتسخين العينات تم تبريدها في حمام زيتي، على فئتين:

الفئة الأولى: بأستعمال فحم الكوك على درجات مختلفة 940، 960، 980 وبأوقات للانتضار مختلفة 30'، 60'، 90'، 120'، 150'، مع التبريد سريح.

الفئة الثانية: من العينات، لم نستعمل فيها فحم الكوك على نفس درحات وأوقات الانتظار الفئة الاولى الهدف من هذا الاجراء " هو المقارنة ومعرفة مدى تأثير وجود فحم الكوك في التقليل من ظاهرة الكربنة

الفئة الثالثة: قطعه أصليه لم تمر بالمعالجة الحرارية،

الخطوة الثالثة: تمرير كل العينات على محلول كميائى " Velila " وعرض كمل العينات على حدي لمعرفة مدى عمق ظاهرة تغلغل أسطح العينات.

الخطوة الرابعة: عرض كل العنات على جهاز قياس الصلادة HRC العرض منها معرفة تأثير ظاهرة الكربة على الخواص الميكانيكية للمعدن المحل الدراسة حسب وقت الانتظار .

كلمات مفتاحية: صلب الأدوات، المعالجة الحرارية، نزع الكربنة.

Abstract

The thesis presented aims to deepen the understanding of the decarburization of X200Cr12 steel during hardening treatment and to explore the use of coke during austenitization as a potential solution to mitigate this adverse effect .

Decarburization of steel can lead to a decrease in mechanical properties and surface alterations, compromising the quality and performance of steel in critical industrial applications. This study is motivated by the need to minimize the decarburization of X200Cr12 steel, commonly used in the manufacture of cutting and forming tools. A literature review will be conducted to examine decarburization mechanisms and proposed methods to address this issue. Experiments will be conducted by varying the treatment parameters and using coke during austenitization. Steel samples will be analyzed to visually assess decarburization and measure mechanical and surface properties. The results obtained will be used to evaluate the efficiency of the use of coke to mitigate decarburization and to optimize the thermal treatment processes of X210 Cr12 steel in demanding industrial applications. The thesis will be divided into chapters including an introduction, a bibliographic study, the presentation of research methods, experimental results and a final conclusion.

Key word: tool steel, heat treatment, decarburization

TABLE DES MATIERS

REMERCIEMENTS

DEDICACE

RESUME

TABLE DE MATIERE

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

INTRODUCTION 1-2

CHAPITRE I:

PRESENTATION DE L'ACIER X210CR12

I.1. Présentation de l'acier X210Cr12 et de son utilisation dans l'industrie 4

I.2. Composition chimique de l'acier a outil x210cr12..... 4

I.3. Explication du processus de trempe et de son importance pour les propriétés mécaniques de l'acier 6

I.4. Analyser les mécanismes de décarburation et les facteurs qui influencent ce phénomène 8

I.5. Facteurs influençant la décarburation 9

I.6. Identification du problème de décarburation et de son impact sur les propriétés de l'acier 10

I.7. les techniques et les méthodes proposées pour atténuer ou prévenir la 11

I.8. L'efficacité de l'utilisation du coke lors de l'austénitisation 14

I.9. L'objectif principal de l'étude..... 15

CHAPITRE II:

ACIERS A OUTILS

II.1. Introduction..... 18

II.2. Fabrication des aciers à outils..... 18

II.3. Structure de solidification 19

II.4. Classes structurales des aciers dans le système Fe - C- Cr..... 21

II.5. Usinabilité 23
I.6. Aptitude à la rectification 23
I.7. Traitement de surface 23
I.8. Classification des aciers à outils 24
I.9. Rôle des éléments d'alliages 2 4

CHAPITRE III :

TRAITEMENT THERMIQUE DES ACIERS A12% DE CHROME

III.1. Traitement thermique des Aciers à 12% de chrome 28
III.2. Trempe des aciers à outils 30
III.3. Trempabilité 31
III.4. Description de la transformation martensitique 31
III.5. Quantité présente de l'austénite résiduelle après trempe 32

CHAPITRE IV :

GENERALITE SUR LE PHENOMENE DE DECARBURATION

IV.1. Introduction 36
IV.2. Qu'est-ce que la décarburation ? 37
IV.3. Qu'est-ce que la décarburation ? 37
IV.4. Comment prévenir la décarburation ? 38
IV.5. Comment supprimer la décarburation ? 39
IV.6. Comment mesurer la décarburation ? 39
IV.7. Décarburation intentionnelle 40

CHAPITRE V :

PROCEDURE EXPEROMENTALE

V.1. Introduction 44
V.2. Microstructure 44
V.3. Analyse des microstructures sur microscope optique 49
V.4. Structure de l'état brute de trempe 50
V.5. Dureté 53

V.6. Interprétations des résultats de dureté 55
V.7. Caractérisation après traitements 56
CONCLUSION 59-60
RECOMMANDATIONS 61
APPENDICE 62
REFERENCES 64
ANNEXE A

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure II.1 : Diagramme d'équilibre Fe-Cr-Cà12% de chrome 18

Figure II.2 : Classes structurales des aciers dans le système Fe-C-Cr I- Acier ferritique ; II- Acier demi-ferritique ; III- Acier lédeburitique; IV-Acier hypereutectoide ; V- Acier hypoeutectoide..... 20

Figure II. 3: Micrographie d'un acier lédeburitique X210Cr12 forgé à partir d'unLingot..... 20

Figure II.4: Influence de diverses teneurs en chrome sur les teneurs limites en carbone. 23

Figure III. 1 : Courbe de transformation en refroidissement continu pour X 210Cr 12 27

Figure III.2: Courbe TRC pour X 210Cr 12 [9] 28

Figure III. 3: Courbes martensitiques pour les aciers à haut carbone (a) et à carbonemoyen (b) (Arès : austénite résiduelle ; la martensite de la courbe en pointille est celle d'après la stabilisation de l'austénite) 30

Figure III. 4 : Influence de la température d'austénitisation sur le taux d'austénite résiduellede quelques aciers d'outillage à froid alliés 31

Figure IV.1 : Échappement en surface des atomes de carbone……..39

Figure V. 1 : préparation des échantillons cylindriques 41

Figure V. 2 : appareil de Polissage 42

Figure V. 3 : Four de traitements thermique. 43

Figure V .4 :Cycle thermique effectué à T= 940°C avec et sans coke. 44

Figure V .5 :Cycle thermique effectué à T = 960°C avec et sans coke. 44

Figure V .6 : Cycle thermique effectué à T = 980°C avec et sans coke. 45

Figure V. 7: Microscope optique 46

Fig V. 8 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a l'état brute de trempe. 47

Fig V.9 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a représente l'austénite résiduelle et le martensite..... 47
Fig V.10 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 940 avec graphite sans revenu..... 47
Fig V.11 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 940 sans graphite sans revenu 49
Fig V.12 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 960 sans graphite sans revenu 48
Fig V.13 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 960 avec graphite sans revenu..... 48
Fig V.14 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 980 sans graphite sans revenu 48
Fig V.15 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 980 avec graphite sans revenu..... 48
Fig V.16 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a l'etat brut 49
Fig V.17 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 940 sans graphite avec revenu de 450 C° 49
Figure V.18: Micrographie optique de l'acier X210C12 trempéà 960°C avec revenu à 400°C (X50) 49
Figure V. 19 : Appareil d'essai Rockwell..... 50
Figure V.20 : Evolution de la dureté selon les différents traitementsthermique avec L'utilisation de graphite en fonction le temps de maintien. 51
Figure V.21 : Evolution de la dureté selon les différents traitementsthermique sans L'utilisation de graphite en fonction le temps de maintien..... 54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Composition chimique du X210Cr12 04

Tableau V. 1: Résultats des essais de dureté HRC selon les différents traitements Sans l'utilisation de coke. 51

Tableau V.2 : Résultats des essais de dureté HRC selon les différents traitements Avec l'utilisation de coke et sans revenu 53

INTRODUCTION

L'étude présente vise à approfondir notre compréhension du phénomène de décarburation de l'acier X210Cr12 lors du traitement de trempe et à explorer l'utilisation du coke lors de l'austénitisation comme solution potentielle pour atténuer cet effet indésirable. La décarburation de l'acier peut entraîner une diminution des propriétés mécaniques, telles que la dureté et la résistance, ainsi qu'une altération des propriétés de surface, compromettant ainsi la qualité et les performances de l'acier dans des applications industrielles critiques.

Cette étude est motivée par la nécessité de trouver des méthodes efficaces pour minimiser la décarburation de l'acier X210Cr12, qui est couramment utilisé dans diverses industries, notamment dans la fabrication d'outils de coupe, de matrices et d'outils de formage. En utilisant un coke lors de l'austénitisation, nous cherchons à évaluer si cette technique peut atténuer l'effet de décarburation, préservant ainsi les propriétés mécaniques et la qualité de l'acier traité [1].

L'étude commencera par une revue approfondie de la littérature existante sur la décarburation de l'acier X210Cr12 et les méthodes proposées pour y remédier. Les mécanismes de décarburation et les facteurs influençant ce phénomène seront analysés, fournissant une base solide pour concevoir notre approche expérimentale.

Le plan de travail comprendra des expérimentations soigneusement conçues, où des échantillons d'acier X210Cr12 seront soumis à des traitements de trempe en variant Les paramètres de traitement tels que la température, le temps de maintien et le refroidissement seront contrôlés et les échantillons seront ensuite analysés pour évaluer visuellement la décarburation et mesurer les propriétés mécaniques, notamment la dureté, ainsi que les propriétés de surface.

Les résultats obtenus seront interprétés et discutés pour évaluer l'efficacité de l'utilisation du coke lors de l'austénitisation pour atténuer la décarburation. Cette étude contribuera à l'optimisation des procédés de traitement thermique de l'acier X210Cr12, en fournissant des informations précieuses sur les mesures à prendre pour prévenir ou minimiser la décarburation, garantissant ainsi la qualité et les performances de l'acier dans des applications industrielles exigeantes.

Après cette légère introduction, nous aborderons notre travail par une étude bibliographique dans laquelle nous définissons par deux chapitres les exigences que requiert un acier à outil, les traitements thermiques qu'il doit subir pour répondre adéquatement à celles-ci, la trempabilité et leur influence sur les aciers à outils.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons les méthodes et moyens de recherche utilisés.

Le quatrième chapitre, nous présenterons le phénomène de décarburation

Et le cinquième chapitre de cette étude est réservé aux résultats expérimentaux,

Leurs analyses et la conclusion finale.

CHAPITRE I:

PRESENTATION DE L'ACIER X210CR12

I.1. Présentation de l'acier X210Cr12 et de son utilisation dans l'industrie :

L'acier X210Cr12, également connu sous le nom d'acier indéformable, est un acier à outils hautement allié appartenant à la famille des aciers au carbone. Il se compose principalement de fer, de carbone (environ 2,00 % en poids) et de chrome (environ 12,00 % en poids), d'où sa désignation X210Cr12.

Cet acier présente plusieurs caractéristiques qui en font un matériau largement utilisé dans l'industrie : [ANNEX]

I.2. Composition chimique de l'acier a outil x210cr12

L'outil faisant l'objet de notre étude est en acier qui peut être classé, selon sa composition chimique(Tableau4.1) dans la catégorie des aciers alliés de travail à froid à très haute résistance à l'usure, dits indéformables tels que le Z200C12.

Tableau I.1: Composition chimique du Z200C12.

%En masse	%C	%Si	%M n	%S	%P	%Cr
Valeur ISO	1.9à2.2	0.10à0.40	0.15à0.45	≤0.03	≤0.03	11à13
Valeur mesurée	2.01	0.23	0.42	<0.0003	0.022	11.31

D'après la bibliographie et les résultats de ces analyses , nos aciers possèdent les caractéristiques indiquées par le fournisseur (BOHLER) et confirment donc que cet acier appartient à la famille des aciers à outils au chrome pour travail à froid. (Voir l'attestation de composition chimique [ANNEX]

.

a. Dureté élevée :

L'acier X210Cr12 est reconnu pour sa dureté élevée, ce qui le rend approprié pour les applications où une résistance à l'usure et une capacité de coupe sont nécessaires. Il peut être utilisé dans la fabrication d'outils de coupe tels que des couteaux industriels, des poinçons, des matrices et des forets. [4]

b. Résistance à l'abrasion :

En raison de sa composition chimique et de son traitement thermique, l'acier X210Cr12 présente une excellente résistance à l'abrasion. Il est capable de maintenir sa dureté et sa résistance même dans des conditions de travail difficiles, ce qui en fait un choix privilégié pour les applications où l'usure est un facteur critique.

c. Bonne résistance à la corrosion :

Le chrome contenu dans l'acier X210Cr12 confère une résistance accrue à la corrosion, en particulier par rapport aux aciers au carbone non alliés. Cela en fait un matériau adapté aux environnements où la présence d'humidité, de produits chimiques ou d'autres agents corrosifs est élevée. [4]

d. Bonne résistance à la déformation à chaud :

L'acier X210Cr12 possède une résistance élevée à la déformation à chaud, ce qui signifie qu'il peut maintenir sa forme et ses propriétés mécaniques à des températures élevées. Cela le rend approprié pour les applications nécessitant une résistance à la chaleur, telles que les moules de matriçage à chaud. [4]

e. Usinabilité :

L'acier X210Cr12 présente une bonne usinabilité, ce qui facilite son traitement et sa mise en forme lors de la fabrication d'outils. Il peut être usiné, percé, tourné et rectifié avec des outils de coupe appropriés.

En résumé, l'acier X210Cr12 est largement utilisé dans l'industrie pour la fabrication d'outils de coupe, de matrices, de poinçons et d'autres composants nécessitant une haute résistance à l'usure, une dureté élevée et une résistance à la corrosion. Son utilisation se retrouve notamment dans l'industrie métallurgique, l'industrie automobile, l'industrie du plastique, l'industrie de l'emballage et l'industrie de l'extrusion. [2]

I.3. Explication du processus de trempe et de son importance pour les propriétés mécaniques de l'acier :

Le processus de trempe est une étape de traitement thermique cruciale pour améliorer les propriétés mécaniques de l'acier. Il consiste à chauffer l'acier à une température élevée, suivie d'un refroidissement rapide dans un milieu de trempe approprié, généralement de l'eau, de l'huile ou de l'air. Ce processus vise à modifier la structure cristalline de l'acier et à obtenir des propriétés désirables telles qu'une dureté élevée, une résistance accrue et une bonne ténacité. [2]

a. L'importance de la trempe dans l'amélioration des propriétés mécaniques de l'acier repose sur plusieurs mécanismes clés :

Transformation de la structure : Lors du chauffage à haute température, la structure cristalline de l'acier subit une transformation. À des températures élevées, l'acier se trouve généralement dans une structure cristalline appelée austénite. Lors du refroidissement rapide de l'austénite, une transformation martensitique se produit, formant une structure cristalline dure et fine appelée martensite. La martensite confère une dureté élevée à l'acier, augmentant ainsi sa résistance à l'usure. [2]

b. Durcissement par diffusion :

Pendant la trempe, le refroidissement rapide empêche les atomes de carbone de se diffuser suffisamment pour former des carbures plus stables. Cela entraîne une concentration accrue d'atomes de carbone dans la structure cristalline de l'acier, augmentant ainsi sa dureté et sa résistance. Ce durcissement par diffusion renforce la structure de l'acier, améliorant ainsi sa capacité à résister à la déformation plastique. [2]

c. Réduction de la taille des grains :

La trempe entraîne également une réduction de la taille des grains de la structure cristalline de l'acier. Les grains plus fins améliorent la résistance et la ténacité de l'acier en limitant la propagation des fissures et en augmentant la résistance aux chocs. [1]

d. Contrôle des contraintes résiduelles :

La trempe peut également contribuer à réduire les contraintes résiduelles dans l'acier, résultant d'opérations antérieures telles que le forgeage, le soudage ou l'usinage. Le refroidissement rapide pendant la trempe peut aider à égaliser les contraintes et à minimiser les distorsions, ce qui peut améliorer la stabilité dimensionnelle de l'acier.

En résumé, la trempe est un processus essentiel pour améliorer les propriétés mécaniques de l'acier. Il permet d'obtenir une dureté élevée, une résistance accrue, une meilleure ténacité et une plus grande résistance à l'usure. La maîtrise du processus de trempe est cruciale pour optimiser les propriétés de l'acier en fonction des besoins spécifiques de chaque application industrielle. [4]

I. 4. Analyser les mécanismes de décarburation et les facteurs qui influencent ce phénomène :

Analyser les mécanismes de décarburation et les facteurs qui influencent ce phénomène est essentiel pour comprendre en détail comment et pourquoi la décarburation se produit dans l'acier X210Cr12 lors du traitement de trempe.

Voici une analyse des mécanismes de décarburation et des facteurs influençant ce phénomène : [4]

a. Réaction avec l'oxygène :

L'un des mécanismes principaux de décarburation est la réaction du carbone présent à la surface de l'acier avec l'oxygène de l'air ou d'autres gaz oxydants.

À des températures élevées, le carbone réagit avec l'oxygène pour former du monoxyde de carbone (CO) ou du dioxyde de carbone (CO2). Cette réaction chimique conduit à la diminution de la concentration en carbone à la surface de l'acier. [3]

b. Diffusion du carbone :

La décarburation peut également être causée par la diffusion du carbone hors de l'acier, ce qui se produit lorsque le gradient de concentration en carbone entre l'intérieur et la surface de l'acier favorise la migration du carbone hors de la surface. Ce processus de diffusion est accéléré à des températures élevées et peut être influencé par la composition chimique de l'acier, la température de traitement, la durée du traitement et la vitesse de refroidissement. [1]

I. 5. Facteurs influençant la décarburation :

Plusieurs facteurs peuvent influencer le phénomène de décarburation de l'acier X210Cr12 :

a. Température de traitement :

Des températures élevées favorisent la décarburation, car elles augmentent la réactivité entre le carbone et l'oxygène et accélèrent la diffusion du carbone.

b. Temps de maintien :

Une exposition prolongée à des températures élevées augmente les chances de décarburation en permettant plus de temps pour les réactions chimiques et la diffusion du carbone.

c. Atmosphère de traitement :

L'oxygène présent dans l'atmosphère de traitement, qu'il s'agisse de l'air ou d'un gaz oxydant, joue un rôle important dans la décarburation en fournissant l'élément oxydant nécessaire à la réaction avec le carbone.

d. Composition chimique de l'acier :

La teneur en carbone de l'acier X210Cr12, ainsi que la présence d'autres éléments d'alliage, peut influencer la décarburation.

Des aciers à haute teneur en carbone sont généralement plus sensibles à la décarburation.

e. Vitesse de refroidissement :

Une vitesse de refroidissement rapide peut réduire les risques de décarburation en minimisant le temps de séjour à des températures élevées.

En comprenant ces mécanismes et en tenant compte de ces facteurs, il devient possible de prendre des mesures pour minimiser ou prévenir la décarburation de l'acier X210Cr12 lors du traitement de trempe, par exemple en utilisant des

atmosphères contrôlées, en ajustant les paramètres de traitement thermique et en optimisant la vitesse de refroidissement.

I. 6. Identification du problème de décarburation et de son impact sur les propriétés de l'acier :

L'identification du problème de décarburation et de son impact sur les propriétés de l'acier est essentielle pour comprendre les conséquences de ce phénomène sur la qualité et les performances de l'acier traité. Voici une explication de la décarburation et de son impact :

La décarburation est le processus par lequel le carbone présent à la surface de l'acier est éliminé, généralement lors de traitements thermiques tels que la trempe. Elle se produit principalement en raison de l'oxydation du carbone à haute température en présence d'oxygène atmosphérique ou d'autres gaz oxydants.

L'impact de la décarburation sur les propriétés de l'acier est significatif et peut avoir plusieurs conséquences négatives :

a. Réduction de la dureté :

Le carbone est un élément essentiel pour le durcissement de l'acier. Lorsque la décarburation se produit, la concentration en carbone diminue à la surface de l'acier, entraînant une diminution de la dureté de la zone décarburée. Cela peut affecter la capacité de l'acier à résister à l'usure, réduisant ainsi sa durabilité et sa performance. [2]

b. Baisse de la résistance mécanique:

La présence de carbone dans l'acier contribue également à sa résistance mécanique. Lorsque la décarburation se produit, la teneur en carbone diminue, ce qui peut entraîner une diminution de la résistance à la traction, de la limite élastique et de la résistance à la fatigue de l'acier.

Cela peut compromettre la résistance structurelle de l'acier et augmenter le risque de défaillance prématurée. [2]

c. Altération des propriétés de surface :

La décarburation peut entraîner des variations de composition chimique à la surface de l'acier, ce qui peut affecter ses propriétés de surface. Par exemple, une zone décarburée peut être plus sujette à la corrosion, à l'oxydation ou à la formation de dépôts indésirables, ce qui peut réduire la qualité de la surface et affecter les performances dans des applications spécifiques.

d. Inhomogénéité de la structure :

La décarburation peut entraîner une inhomogénéité de la structure de l'acier, avec une variation de composition chimique et de microstructure entre la zone décarburée et la zone non décarburée. Cela peut conduire à des propriétés mécaniques inégales à travers l'acier, ce qui peut affecter l'uniformité des performances et la fiabilité des composants.

En conclusion, la décarburation de l'acier a un impact négatif sur ses propriétés mécaniques, y compris la dureté, la résistance mécanique, les propriétés de surface et l'homogénéité de la structure. Il est donc essentiel de comprendre et de contrôler ce phénomène lors du traitement thermique de l'acier afin de garantir la qualité et les performances requises pour les applications industrielles.

I. 7. les techniques et les méthodes proposées pour atténuer ou prévenir la décarburation, notamment l'utilisation du coke lors de l'austénitisation :

Étudier les techniques et les méthodes proposées pour atténuer ou prévenir la décarburation de l'acier X210Cr12 lors du traitement de trempe, notamment l'utilisation du coke lors de l'austénitisation, est crucial pour développer des

solutions efficaces. Voici quelques techniques et méthodes couramment utilisées dans ce contexte : [1]

Le coke : est un résidu de carbone quasi pur obtenu par chauffage du charbon par pyrolyse. Il se présente sous forme de pierres de taille variable à l'apparence granuleuse, poreuse et fissurée. Très résistant mécaniquement et perméable, le coke possède une masse volumique d'environ 650 kg/m3. Ce combustible à fort pouvoir calorifique (environ 8,8 kWh/kg) est principalement utilisé dans les hauts fourneaux où il permet d'atteindre des températures très élevées. [2]

Une tonne de houille donne en moyenne 750 kg de coke, 30 à 40 kg de goudrons, 7 à 12 kg de benzol (80 % benzène, 15 % toluène, 5 % xylène),5 à 10 kg de sulfate d'ammonium et 300 à 350 m^3 de gaz (60 % H_2 – 25 % CH_4).

Composition du coke : carbone : 88 %, cendres : 9 %, eau : 1,7 %, azote : 1,3 %.

Formule chimique de coke : $C_{17}H_{21}NO_4$

Productions

Production mondiale, en 2021 : 778,2 millions de t, Union européenne : 31,6 millions de t. [5]

a. Utilisation du coke lors de l'austénitisation :

L'utilisation du coke, également appelé « couche protectrice », consiste à créer une barrière physique entre l'acier et l'atmosphère oxydante pendant l'austénitisation. Cette technique vise à réduire l'exposition de l'acier à l'oxygène, limitant ainsi la réaction de décarburation. Le coke peut être constitué de matériaux tels que des poudres réfractaires, des gaz inertes ou des mélanges gazeux spécifiques.

b. Utilisation d'atmosphères contrôlées :

Une autre approche consiste à créer une atmosphère contrôlée lors du traitement de trempe.

Cela peut être réalisé en utilisant des fours à atmosphère contrôlée où l'oxygène est limité ou remplacé par des gaz inertes tels que l'azote ou l'argon. L'atmosphère protectrice empêche l'oxydation de l'acier, réduisant ainsi la décarburation.

c. Traitement sous vide :

Le traitement sous vide est une technique couramment utilisée pour prévenir la décarburation. En éliminant l'oxygène et les autres gaz réactifs de l'environnement de traitement, le risque de décarburation est considérablement réduit. Le traitement sous vide permet un contrôle précis de la température et de la pression, offrant des conditions optimales pour la conservation des propriétés de surface de l'acier. [1]

d. Utilisation de revêtements protecteurs :

L'application de revêtements protecteurs sur la surface de l'acier avant le traitement de trempe peut également aider à prévenir la décarburation. Ces revêtements agissent comme une barrière physique, empêchant le contact direct entre l'acier et l'atmosphère oxydante. Les revêtements peuvent être à base de céramique, de poudres réfractaires ou d'autres matériaux résistants à l'oxydation.

e. Contrôle des paramètres de traitement :

Le contrôle précis des paramètres de traitement, tels que la température, le temps de maintien et la vitesse de refroidissement, peut également contribuer à atténuer la décarburation. Des conditions de traitement optimisées peuvent réduire

le temps d'exposition de l'acier à des températures élevées, limitant ainsi les réactions de décarburation.

Il convient de noter que l'efficacité de ces techniques peut varier en fonction des spécificités de l'acier X210Cr12 et des conditions de traitement. Il est donc nécessaire de mener des expérimentations et des études approfondies pour évaluer leur pertinence et leur applicabilité dans le contexte spécifique de votre étude. [2]

I. 8. L'efficacité de l'utilisation du coke lors de l'austénitisation :

L'efficacité de l'utilisation du coke lors de l'austénitisation pour atténuer le phénomène de décarburation dépend de plusieurs facteurs, tels que la composition de l'acier, la température de traitement, la nature du coke utilisé et les conditions expérimentales spécifiques. Voici certains effets potentiels de l'utilisation du coke :

a. Barrière physique :

En créant une barrière physique entre l'acier et l'atmosphère oxydante, le coke peut empêcher l'oxygène de réagir avec le carbone présent à la surface de l'acier. Cela limite la formation de monoxyde de carbone (CO) ou de dioxyde de carbone (CO2), réduisant ainsi la décarburation. [1]

b. Réduction de l'exposition à l'oxygène :

En utilisant le coke, on réduit l'exposition de l'acier à l'oxygène pendant l'austénitisation. Cela limite les réactions d'oxydation et de décarburation, préservant ainsi la teneur en carbone à la surface de l'acier. [4]

c. Contrôle de l'atmosphère :

L'utilisation du coke peut permettre de contrôler l'atmosphère environnante pendant l'austénitisation. En utilisant des gaz inertes ou des mélanges gazeux spécifiques, on peut réduire la présence d'oxygène et d'autres gaz oxydants, minimisant ainsi le risque de décarburation.

d. Influence sur la vitesse de refroidissement :

Le coke peut également influencer la vitesse de refroidissement de l'acier après l'austénitisation. En formant une couche isolante, il peut ralentir le processus de refroidissement, ce qui peut avoir un impact sur la formation de phases et la distribution des éléments d'alliage, potentiellement réduisant les effets indésirables de la décarburation. [1]

Cependant, il convient de noter que l'efficacité de l'utilisation du coke pour atténuer la décarburation peut varier en fonction de différents paramètres et conditions. Les essais, les analyses métallographiques et les mesures des propriétés mécaniques peuvent être nécessaires pour évaluer l'ampleur de la décarburation et son atténuation grâce à l'utilisation du coke.

I. 9. L'objectif principal de l'étude :

L'objectif principal de l'étude est de proposer des solutions pour minimiser ou prévenir la décarburation de l'acier X210Cr12 lors du traitement de trempe, en particulier en utilisant un coke lors de l'austénitisation.

L'étude vise à :

1. Comprendre les mécanismes de décarburation spécifiques qui se produisent dans l'acier X210Cr12 lors du traitement de trempe.

2. Évaluer l'impact de la décarburation sur les propriétés mécaniques et les performances de l'acier, telles que la dureté, la résistance à l'usure et la résistance à la corrosion.

3. Analyser l'efficacité de l'utilisation du coke lors de l'austénitisation pour atténuer l'effet de décarburation et préserver les propriétés de l'acier.

4. Proposer des recommandations pratiques et des mesures préventives pour minimiser ou éliminer la décarburation de l'acier X210Cr12 lors du traitement de trempe, en se concentrant sur l'utilisation du coke lors de l'austénitisation.

5. Fournir des informations précieuses aux industries utilisant l'acier X210Cr12 pour améliorer la qualité et les performances des produits finis et optimiser les procédés de traitement thermique.

En atteignant ces objectifs, l'étude contribuera à une meilleure compréhension du phénomène de décarburation dans l'acier X210Cr12 et fournira des orientations pour la mise en œuvre de pratiques de traitement thermique plus efficaces, permettant ainsi d'optimiser les propriétés et la qualité de l'acier utilisé dans diverses applications.

CHAPITRE II:

ACIERS A OUTILS

I. 1. Introduction

Les aciers à outils sont utilisés, comme leur nom l'indique, dans tous les problèmes de mise en forme des matériaux au sens le plus large. Il peut s'agit d'opérations d'usinage (tournage, perçage, fraisage,…), de mise en forme à froid et à chaud (poinçons, lames, matrices, cylindres de laminoirs), de moulage (alliages légers, alliages de zinc, plastiques…). Les aciers à outils font partie intégrante du domaine des aciers spéciaux. [1]

L'outil peut travailler à température ambiante ou à température supérieure. L'échauffement résulte du contact avec une matière chaude ou du travail de frottement.

Il doit alors résister aux déformations plastiques et à l'usure (conservation de forme, dimensions et propriétés) afin de pouvoir répondre aux conditions de travail. Dans ce contexte, la notion de dureté est introduite.

L'emploi d'un acier dur ou durci par traitement thermique pose, toutefois, le problème de fragilité quant à son utilisation. Aussi, il faut trouver un compromis pour aboutir à une qualité qui est essentiellement liée aux exigences d'emploi.

I. 2. Fabrication des aciers à outils

Aujourd'hui, la majeure partie des aciers à outils 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 chaleurnécessaire 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, dés la solidification, une réduction des ségrégations des éléments d'alliages et de carbone (brassage, vibration de lingots…)[1]

I. 3. Structure de solidification

- **Diagrammes d'équilibre**

- **Diagramme fer - carbone**

Les structures de solidification des aciers à outils sont en général relativement complexes, notamment dans le cas des nuances hautement chargées en carbone et éléments carburigènes.

Il est bon de prendre comme base d'étude le diagramme fer - cémentite dit métastable. [1]

Au cours de la solidification de l'acier liquide, il peut se produire deux phénomènes différents selon la teneur en carbone :

Pour une teneur en carbone inférieure à celle du point E, il commence à se former des cristaux de ferrite si C < 0.5%, et des cristaux d'austénite si C > 0.5% (austénite proeutectique). Mais, dans tous les cas, la structure devient entièrement austénitique lorsque tout l'acier estsolidifié : [2]

Pour une teneur en carbone supérieure à celle du point E, qui correspond en fait à la solubilité maximale du carbone dans l'austénite, il précipite en même temps que l'austénite un mélange eutectique de cristaux de carbures à base de fer appelé lédeburite, voir figure II.1 (diagramme Fer-Carbone).

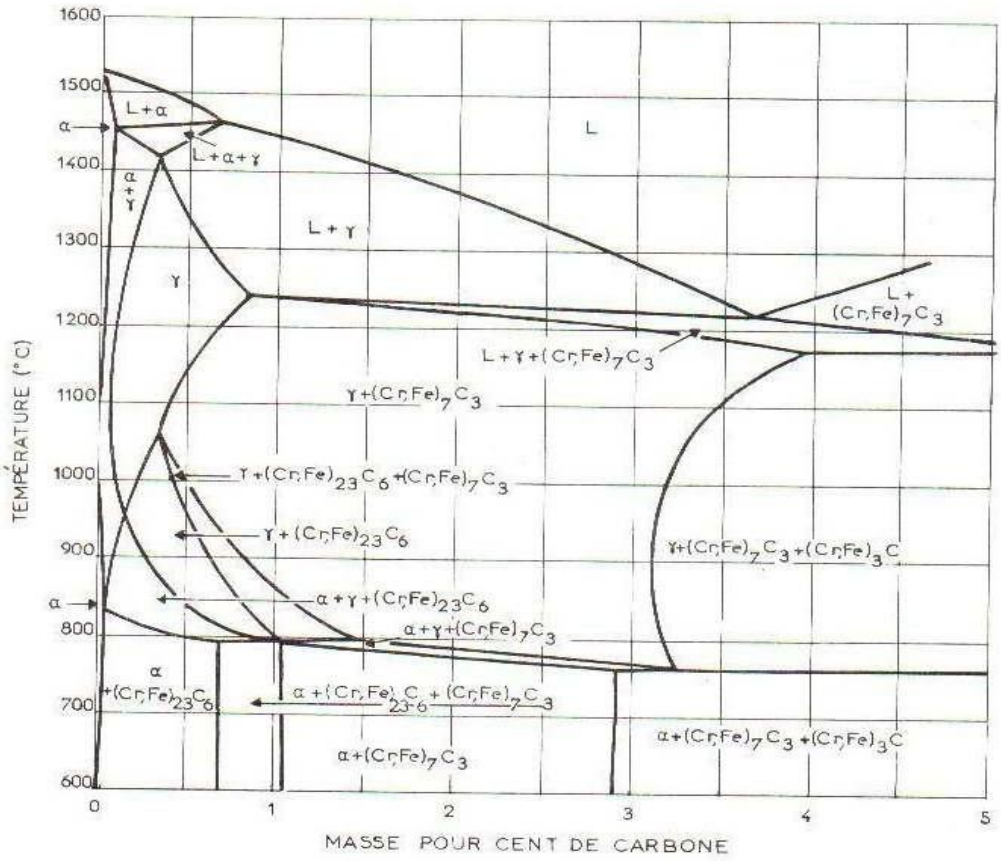


Figure II.1 : Diagramme d'équilibre Fe-Cr-Cà12% de chrome [2]

La structure de ce métal est caractérisée par la présence de carbures de formation et des propriétés différentes, on trouve :[2]

d'une part : les carbures dits eutectiques $(Cr, Fe)_7C3$, qui sont formés au moment de la solidification. Ils sont insolubles dans la matrice de l'acier à toutes températures.Seuleslestransformationsmécaniquesàchaudpeuventenmodifierlarépartitionetlesdimensions.

d'autre part les carbures $(Cr, Fe)_7C3$ précipitent dans le métal solidifié au cours du refroidissement dans le domaine austénitique. Ces ont ces carbures qui peuvent être mis en œuvre.

II. 4. Classes structurales des aciers dans le système Fe - C- Cr

Suivant la structure à l'état d'équilibre les aciers alliés peuvent former les catégories suivantes : [2]

1) hypoeutectoides avec une structure de ferrite alliés excédentaire ;

2) eutectoides ;

3) hypereutectoides contenant des carbures en excès (secondaires) précipités par l'austénite en refroidissement.

Les aciers alliés hypoeutectoides, eutectoides et hypereutectoides sont généralement réunis dans la classe commune des aciers perlitiques.

La structure des aciers lédéburitiques (carburés) se caractérise à l'état coulé par un eutectique du type lédéburite dans lequel se trouvent de gros carbures. Le forgeage donne à ces carbures la forme de globules isolés. La teneur en carbures de ces aciers s'élève jusqu'à 30 à 35%. D'après leur structure, les aciers lédéburitiques devraient être considérés comme des fontes blanches, mais leur taux

de carbone relativement faible (< 2%) les rend capables de subir une déformation plastique (forgeage) et de ce fait on les rapporte aux aciers. [2]

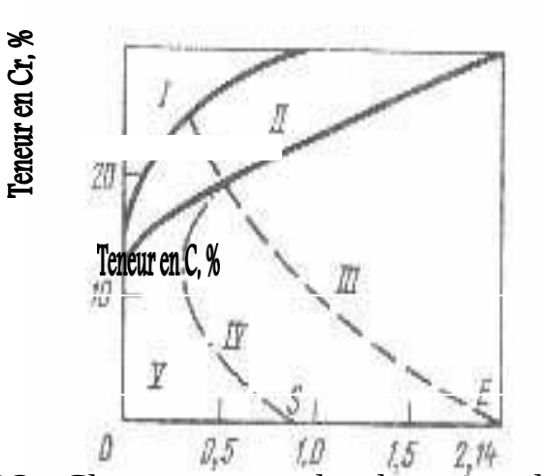


Figure II.2 : Classes structurales des aciers dans le système Fe-C-Cr :

I- Acier ferritique ; II- Acier demi-ferritique ; III- Acier lédeburitique;

IV-Acier hypereutectoide ; V- Acier hypoeutectoide [2]

Les éléments d'alliage déplacent à gauche ou à droite les points S et E du digramme d'équilibre de Fe-C. C'est pourquoi la limite entre les aciers hypoeutectoides, hypereutectoides et lédeburitiques est déplacée dans le domaine d'autres teneurs en carbone que dans le système Fe- Fe_3C.

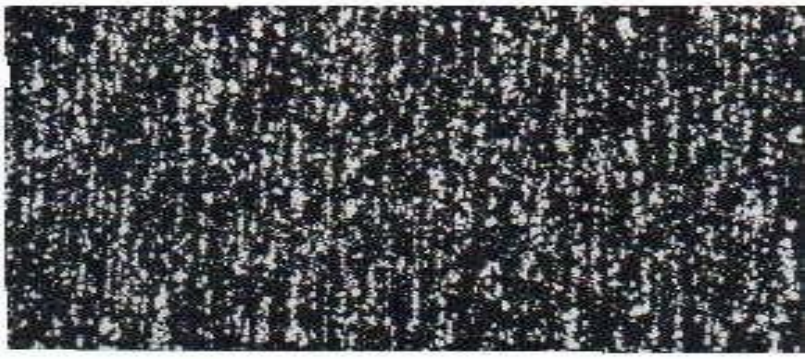


Figure II. 3: Micrographie d'un acier lédeburitique X210Cr12 forgé à partir d'un Lingot [3]

II.5. 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 sphéroïdisés et bien répartis dans la matrice. [2]

II.6. Aptitude à la rectification

L'aptitude à la rectification des aciers indéformables varie dans de grandes proportions selon leur composition chimique, le type et le profil de meule utilisée. Cette caractéristique peut être chiffrée d'une manière globale par un indice de meulabilité qui représente, le rapport du volume de métal enlevé au volume d'abrasif utilisé.

II.7. Traitement de surface

Ces traitements ont pour but essentiel d'améliorer les propriétés mécaniques des couches superficielles des outillages, en particulier la résistance à l'usure et à la déformation.

Exemple de traitement : Nitruration. Chromisation ….

II.8. Classification des aciers à outils

Dans le domaine de la mise en forme ou le découpage des métaux, le critère déterminant l'outil de qualité est le maintien de la dureté et la ténacité à la température atteinte dans sa partie active.:

1. Aciers non alliés pour travail à froid.
2. Aciers alliés pour travail à froid.
3. Aciers alliés pour travail à chaud
4. Aciers à coupe rapide.

II.9. 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. [2]

a) Silicium

Le silicium ne forme pas de carbures et reste dissous dans la ferrite pour augmenter la dureté, et surtout augmente la résistance à l'adoucissement dans le domaine de température de revenu 150 – 300 °C des aciers trempés.

diminution de la teneur en C de 0,1 à 0,2%.

b) Chrome

A une action nette sur la trempabilité, en autre a une tendance croissante à la formation de carbures. Les carbures peuvent être de type M_3C (substitution du chrome à une partie de fer dans la cémentite) ou Cr_7C_3 et $Cr_{23}C_6$, plus durs que la

cémentite et ont tendance à améliorer la résistance à l'usure, et s'opposent au grossissement du grain lors de l'austénitisation.

Il provoque, par ailleurs, un certain retard à l'adoucissement lors du revenu, ce qui améliore la résistance à chaud.

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 II. 4), 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, quelque soit la température de chauffage, des carbures eutectiques non dissous dans une structure dite lédeburite. C'est le cas d'un acier très courant contenant 2% de carbone et 12% de chrome. [5]

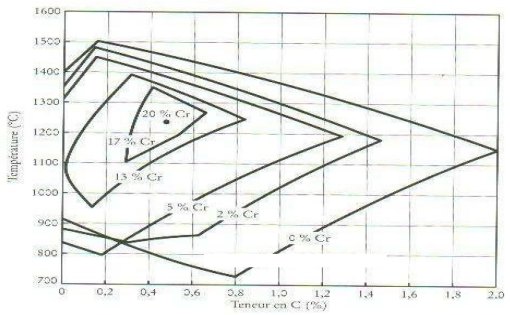


Figure II.4: Influence de diverses teneurs en chrome sur les teneurs limites en carbone. Conduisant à la formation d'austénite pure [5]

c) Manganèse

Il se trouve, en général, présent comme éléments résiduel à des teneurs comprises entre 0,3 et 0,5% ; il faut signaler toute fois que certains aciers à outils contiennent jusqu'à 2% de manganèse pour problèmes de trempabilité.

d) Carbures

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

Les carbures métalliques permettent aux outils de travailler avec une arête tranchante dont la température peut atteindre (800-1000 °C): grandes vitesses de coupe.

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. [1] [5] [2] [6] [7] [4]

CHAPITRE III :

TRAITEMENT THERMIQUE DES ACIERS A12% DE CHROME

III.1. Traitement thermique des Aciers à 12% de chrome

On sait que, pour tous les aciers spéciaux, les traitements thermiques jouent un rôle déterminant et ceci est encore plus vrai pour les aciers à outils.

Les principes de ces traitements sont naturellement les mêmes que pour les autres aciers, mais leur réalisation demande parfois des techniques un peu différentes et toujours des précautions particulières. [8]

La raison essentielle des particularités rencontrées dans le traitement thermique des aciers à outils est leur teneur élevée en carbone et en chrome. Ceci entraîne deux ordres de difficultés.

D'une part, les températures de chauffage, pour la trempe en particulier, sont souvent élevées, beaucoup plus que la plus part des autres types d'aciers alliés, ces températures élevées sont nécessaires pour dissoudre le plus possible de carbures alliés et obtenir la dureté la plus élevée, soit après le trempe, soit après le revenu.

D'autre part, la conductibilité calorifique est faible ce qui implique l'existence de gradients de températures importants lors des chauffages et des refroidissements, l'apparition de fortes contraintes s'ajoutent éventuellement à celles provoquées par la dureté élevée, et des risques sévères de déformation et même de rupture des pièces.

a) Chauffage des aciers à outils de travail à froid

Le chauffage doit permettre de porter à la température choisie l'ensemble de l'outil.

Ainsi, pendant tout le chauffage, il existe un gradient de température entre la surface et le cœur de l'outil, gradient d'autant plus important que le chauffage est plus rapide et l'outil de plus forte section. Ces écarts de

b) Refroidissement des aciers à outils de travail à froid

La gamme des vitesses de refroidissement est extrêmement large : elles peuvent varier depuis les plus faibles, correspondant par exemple à celle d'un four dont le chauffage est arrêté, jusqu'aux plus rapides dans la trempe à l'eau salée, car la structure de l'acier est étroitement liée à cette vitesse.

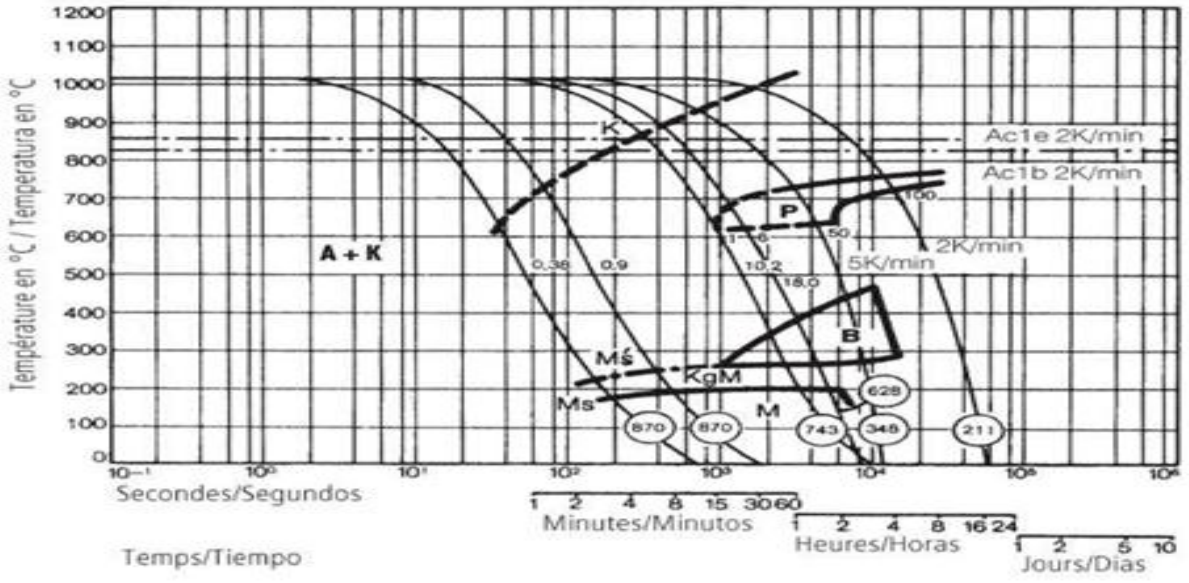


Figure III. 1 : Courbe de transformation en refroidissement continu pour X 210Cr 12 [9]

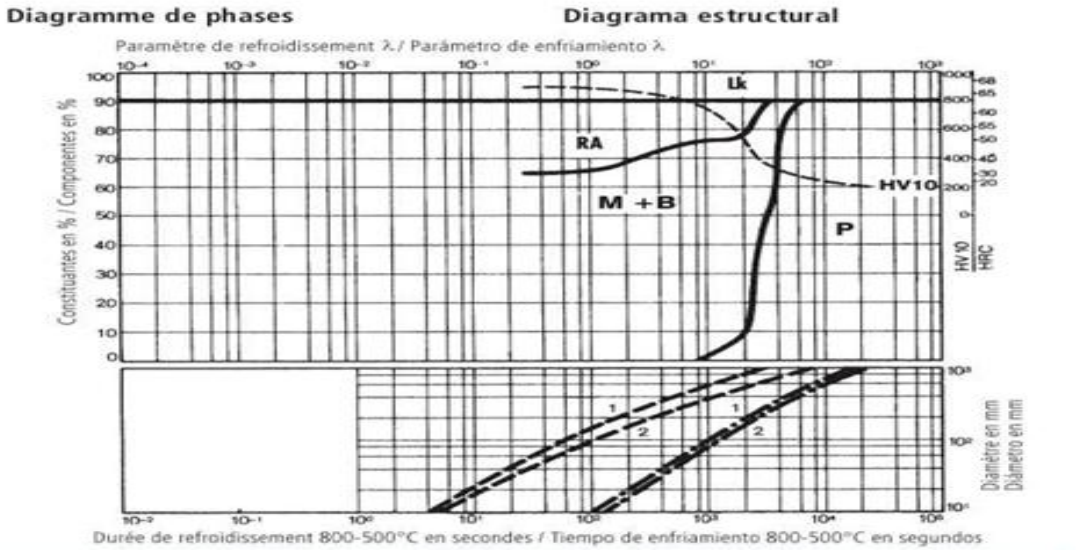


Figure III.2: Courbe TRC pour X 210Cr 12 [9]

III.2. Trempe des aciers à outils

Autre fois, le mot "trempe" évoquait l'idée d'un refroidissement brusque, on sait maintenant que la valeur - vitesse critique de trempe - diffère suivant les aciers et dépend de la stabilité de l'austénite, déterminée par la composition de l'acier. Plus la stabilité de l'austénite est grande, plus la vitesse critique de trempe est faible, et que certains aciers deviennent martensitiques, après un refroidissement à l'air pourvu que les dimensions de la pièce ne soient pas exagérée. [9]

La trempe des aciers consiste en un chauffage dans le domaine austénitique permettant d'obtenir une répartition homogène des carbures dans l'austénite, suivi d'un refroidissement suffisamment rapide pour que la structure finale obtenue soit martensitique. Ce traitement amène l'acier à un haut niveau de dureté

III.3. Trempabilité

Ces divers éléments employés en combinaison de deux, trois si non plus, renforcent l'actionde chacun d'eux afin d'améliorer la trempabilité.

La trempabilité de l'acier est son aptitude à subir la transformation martensitique lors de latrempe.

Dans le cas des aciers à outils, la trempabilité peut se défini par la possibilité d'obtenir unniveau de dureté donné à un endroit précis de l'outil en se fixant les paramètres suivants : [10]

- condition d'austénitisation (température de chauffage et temps de maintien)

- Dimensions des pièces à traiter

- Milieu de refroidissement

III.4. Description de la transformation martensitique

Cette transformation a lieu seulement lorsqu'un refroidissement rapide produit la surfusion de l'austénite jusqu'à des basses températures qui rendent impossible la diffusion. Le processus marche donc sans diffusion. Dans la quelle le carbone, initialement en solution solide dans l'austénite, reste

confiné. Les atomes du carbone occupent les interstices octaédriques et produisent une forte distorsion du réseau.

III.5. Quantité présente de l'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 (Voir figure III.3), qui joue un rôle important au niveau des propriétés d'emploi : [2]

- Difficulté d'obtention de la dureté.

- Transformation en martensite secondaire par écrouissage.

- Déformation au traitement, etc…

La quantité d'austénite résiduelle, dépend de trois facteurs dans la plus part des aciers à outils

.

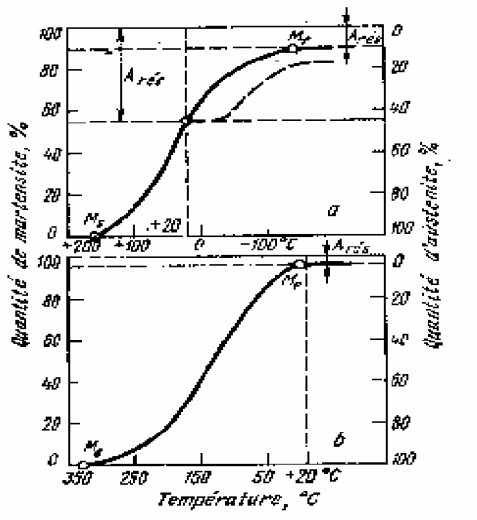


Figure III. 3: Courbes martensitiques pour les aciers à haut carbone (a) et à carbonemoyen (b) ($A_{rés}$: austénite résiduelle ; la martensite de la courbe en pointille est celle d'après la stabilisation de l'austénite)

a) La température d'austénitisation

Nous indiquons sur la (figure III. 4) l'influence de la température d'austénitisation sur le taux d'austénite résiduelle de quelques aciers d'outillage à froid alliés.

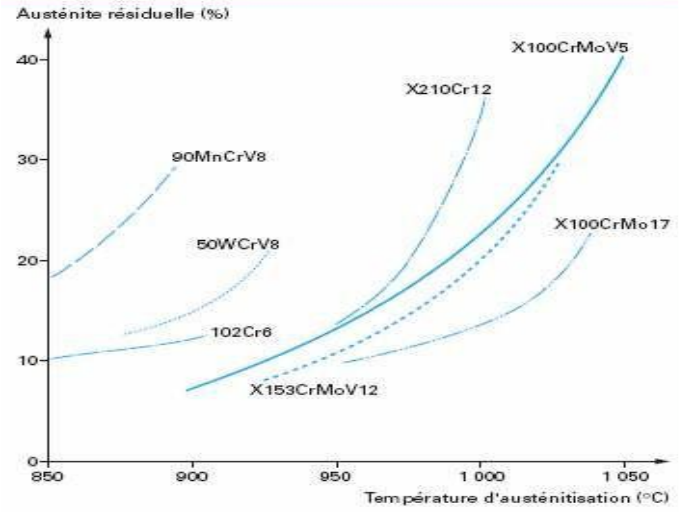


Figure III. 4 : Influence de la température d'austénitisation sur le taux d'austénite résiduellede quelques aciers d'outillage à froid alliés

Les courbes de la figure III. 4, représentent l'évolution du taux d'austénite résiduelle en fonction de la température de trempe pour les nuances d'aciers les plus caractéristiques. L'augmentation du taux d'austénite résiduelle après trempe est sensible pour les aciers à forte teneur en chrome au delà de 950°C.

b) 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. (Voir figure III. 1).

c) La vitesse de refroidissement

Pour un acier donné et des conditions d'austénitisation données, le pourcentage d'austénite résiduelle varie suivant la vitesse de refroidissement et passe par un maximum pour la vitesse critique de trempe martensitique. Si la température M_f est inférieure à la température ambiante, un maintien à 20°C ou au-dessus entraîne une stabilisation de l'austénite résiduelle et c'est la raison pour la quelle il est nécessaire de faire le traitement de revenu immédiatement après la trempe. [2]

CHAPITRE IV :

GENERALITE SUR LE PHENOMENE DE DECARBURATION

IV.1. Introduction :

L'étude présente vise à approfondir notre compréhension du phénomène de décarburation de l'acier X210Cr12 lors du traitement de trempe et à explorer l'utilisation du coke lors de l'austénitisation comme solution potentielle pour atténuer cet effet indésirable.

La décarburation de l'acier peut entraîner une diminution des propriétés mécaniques, telles que la dureté et la résistance, ainsi qu'une altération des propriétés de surface, compromettant ainsi la qualité et les performances de l'acier dans des applications industrielles critiques.

Cette étude est motivée par la nécessité de trouver des méthodes efficaces pour minimiser la décarburation de l'acier X210Cr12, qui est couramment utilisé dans diverses industries, notamment dans la fabrication d'outils de coupe, de matrices et d'outils de formage. En utilisant un coke lors de l'austénitisation, nous cherchons à évaluer si cette technique peut atténuer l'effet de décarburation, préservant ainsi les propriétés mécaniques et la qualité de l'acier traité.

L'étude commencera par une revue approfondie de la littérature existante sur la décarburation de l'acier X210Cr12 et les méthodes proposées pour y remédier. Les mécanismes de décarburation et les facteurs influençant ce phénomène seront analysés, fournissant une base solide pour concevoir notre approche expérimentale.

Le plan de travail comprendra des expérimentations soigneusement conçues, où des échantillons d'acier X210Cr12 seront soumis à des traitements de trempe en variant Les paramètres de traitement tels que la température, le temps de maintien et le refroidissement seront contrôlés et les échantillons seront ensuite analysés

pour évaluer visuellement la décarburation et mesurer les propriétés mécaniques, notamment la dureté, ainsi que les propriétés de surface.

IV.2. Qu'est-ce que la décarburation ?

Les variations de la teneur en carbone ont un effet prononcé sur l'acier ; Outre les changements chimiques évidents qui se produisent lorsque la teneur en carbone change, il existe également des changements importants dans les propriétés mécaniques d'un acier.

La teneur en carbone affecte la dureté, la résistance, la résistance aux fissures et la formabilité d'un acier, pour n'en nommer que quelques caractéristiques.

Les diminutions de la teneur en carbone sont généralement causées par un phénomène connu sous le nom de décarburation.

Il est essentiel de comprendre la quantité de décarburation subie par un acier lorsqu'il est exposé à différents types de traitement etde fabrication.

IV.3. Qu'est-ce que la décarburation ?

La décarburation est la réduction de la teneur en carbone de l'acier.

Cela se produit généralement lorsqu'un acier est chauffé au-dessus de la limite inférieure de sa température de recristallisation, généralement autour de 700 degrés Celsius.

Lorsque l'acier est élevé à cette température et exposé à des gaz tels que l'hydrogène et l'oxygène, le carbone de l'acier se lie à ces gaz et laisse l'acier avec une quantité réduite de carbone.

Étant donné que les gaz ne sont en contact qu'avec la surface d'un acier, la décarburation se produit généralement plus fortement sur les couches les plus externes d'un acier.

La réduction du carbone entraîne une perte de résistance à la traction, de résistance à la fatigue et de dureté.

IV.4. Comment prévenir la décarburation ?

La décarburation peut être préjudiciable, mais elle peut être facilement contrôlée ou éliminée.

Une façon d'empêcher la décarburation de se produire est de l'empêcher d'atteindre sa température de recristallisation.

Cela empêche la capacité du carbone à migrer de la surface de l'acier vers les gaz ambiants.

Étant donné que l'acier doit parfois être chauffé à cette température, une autre méthode de prévention de la décarburation consiste

à inonder l'environnement de l'acier avec des gaz qui ne réagissent pas avec le carbone.

Les gaz populaires pour cette méthode de prévention comprennent l'argon et l'azote, bien que des recherches supplémentaires

doivent être effectuées pour déterminer quel gaz est le meilleur à utiliser pour une application donnée.

IV.5. Comment supprimer la décarburation ?

Si la décarburation ne peut pas être empêchée, elle peut toujours être éliminée par plusieurs méthodes.

Une façon d'éliminer la décarburation consiste à éliminer entièrement le matériau décarburé.

Cela peut être fait par fraisage, meulage ou une variété d'autres processus d'usinage.

Un autre processus populaire pour se débarrasser de la décarburation consiste à restaurer le carbone qui a été perdu dans le substrat en acier.

Cela peut être fait après qu'un acier a été décarburé en le chauffant jusqu'à sa température de recristallisation et en inondant la zone qui l'entoure d'hydrocarbures.

Des précautions doivent être prises lors de cette opération pour s'assurer que la bonne quantité de carbone est renvoyée à la surface de l'acier.

IV.6. Comment mesurer la décarburation ?

La décarburation ne peut pas être inspectée de manière adéquate uniquement par des moyens visuels.

Pour déterminer avec précision la quantité de décarburation subie par un acier, des outils appropriés doivent être utilisés.

Une méthode rapide de mesure de la décarburation consiste à mesurer la dureté de l'acier.

Si possible, le faire avant et après le traitement thermique montrera combien de décarburation s'est produite en comparant les différences de dureté.

Couper un spécimen, le polir, puis le regarder au microscope est un autre moyen d'obtenir une représentation précise de la quantité de décarburation qui s'est produite.

Cette méthode montre également à l'observateur la profondeur de la décarburation.

IV.7. Décarburation intentionnelle :

Alors que la décarburation involontaire peut être préjudiciable à un acier, il y a des moments où la décarburation intentionnelle présente des avantages.

Étant donné que la teneur en carbone est abaissée pendant la décarburation et que la surface de l'acier a une dureté réduite, la décarburation peut améliorer l'usinabilité.

Cela peut également entraîner une meilleure formabilité à la surface de l'acier.

En raison des risques associés à la décarburation, des recherches et des tests appropriés doivent être effectués pour s'assurer que la décarburation intentionnelle est appropriée.

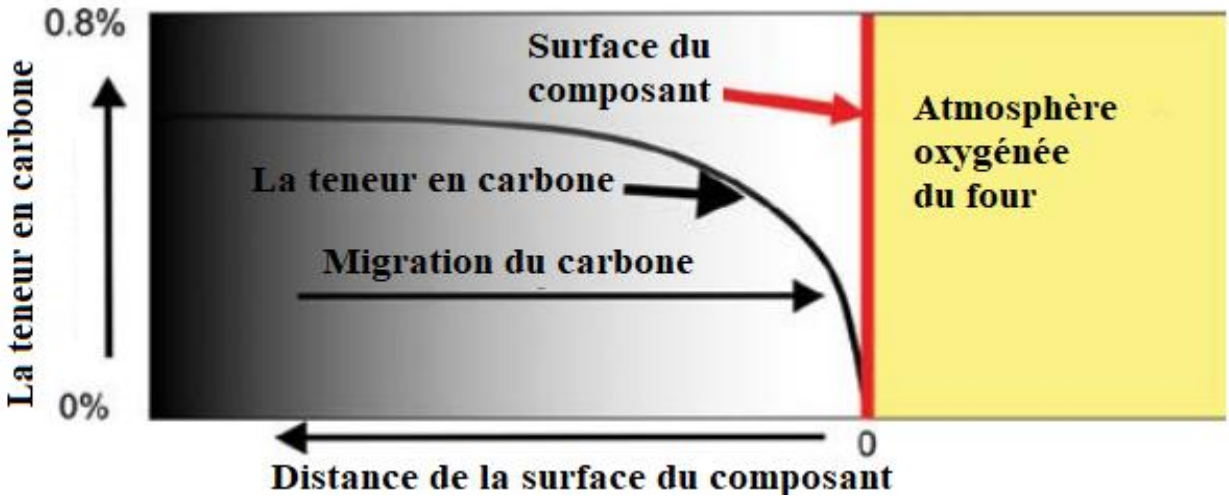


Figure IV.1 : Échappement en surface des atomes de carbone

(a) Travail à chaud

Lors d'une opération de travail à chaud, comme le laminage à chaud, l'exposition à l'oxygène de l'air est inévitable. La calamine se forme sur la surface de l'acier qui est essentiellement de l'oxyde de fer solide.

À des températures élevées, les atomes d'oxygène de la calamine sont impatients de saisir les atomes de carbone de la surface du composant.

Une réaction chimique typique serait : $\mathbf{Fe_2O_3 + 3C = 3CO + 2Fe}$

(b) Traitement thermique du four

L'atmosphère d'un four de traitement thermique contient inévitablement des molécules d'oxygène (O_2).

Ce sont des paires d'atomes d'oxygène liés ensemble.

Les molécules d'oxygène volent à grande vitesse et entrent souvent en collision avec la surface du composant. Aux températures concernées, environ

1000˚C, les molécules en collision réagissent avec les atomes de carbone de surface.

Les réactions chimiques les plus courantes sont :

$$\mathbf{C + O_2 = CO_2 \quad et \quad 2\,C + O_2 = 2\,CO.}$$

CHAPITRE V:

PROCEDURE EXPEROMENTALE

V.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.

Les mesures sont faites sur une surface polie de l'échantillon cylindrique de dimension 22.5X05mm.

V.2 Microstructure

a) Préparation des Echantillons cylindrique Ǿ 22.50*5mm

La découpe est réalisée d'une scie mécanique fonctionnant grâce à un système de refroidissement (lubrifiant).



Figure V. 1 : préparation des échantillons cylindriques

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

b) Polissage :



Figure V. 2 : appareil de Polissage

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.

c). Traitements thermiques

Les éprouvettes ont subit des traitements thermiques dans un four à moufle de type Nabertherm GmbH type L 9/13/C450. Cet équipement permet le chauffage jusqu'à des températures de 1300°C (figure V. 3).



Figure V. 3 : Four de traitements thermique.

d). Conditions de trempe et Revenu :

Quant aux conditions d'austénitisations adéquates, elles ont été choisies selon les gammes suivantes 940, 960,980°C, précédés d'un préchauffage à 650°C/30min (voir les cycles thermique ci-dessous). Selon le choix des températures ci-dessus et maintenus selon différents temps de maintien pour être refroidis rapidement dans l'huile.

Pour toutes les températures de trempe retenues, le revenu est choisi selon les gammes suivantes 300, 350, 400,450°C maintenu pendant 1 heure suivi d'un refroidissement à l'air.

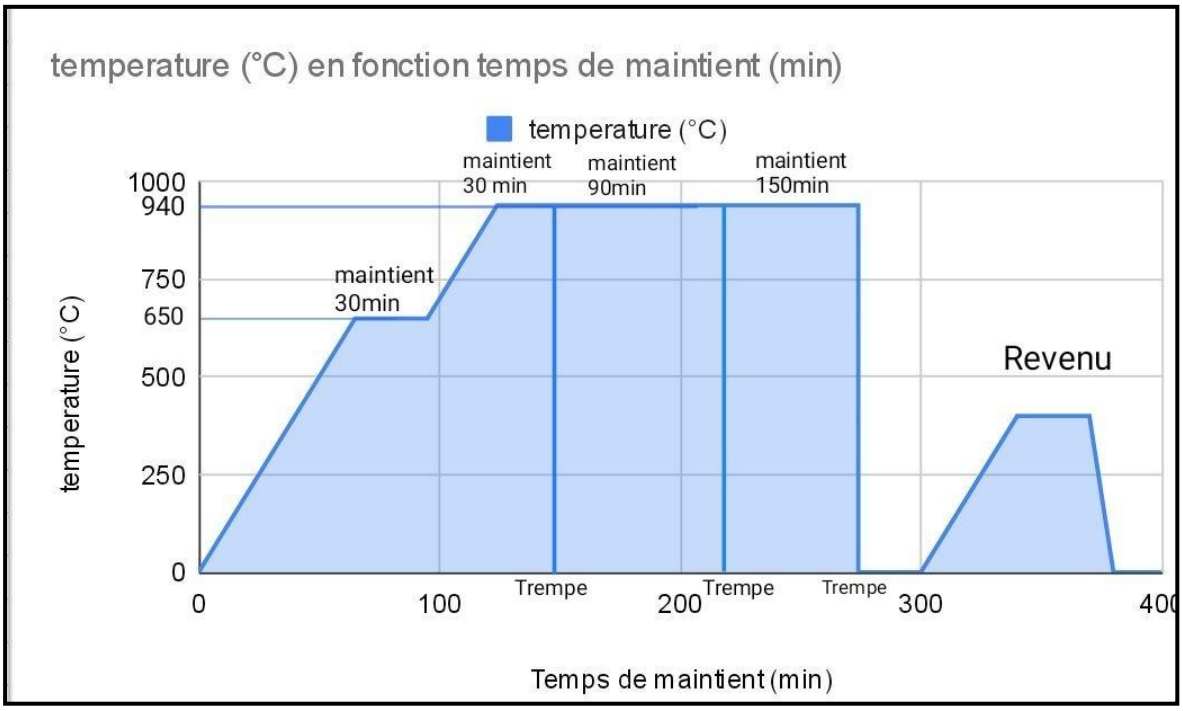


Figure V .4 : Cycle thermique effectué à T= 940°C avec et sans coke.

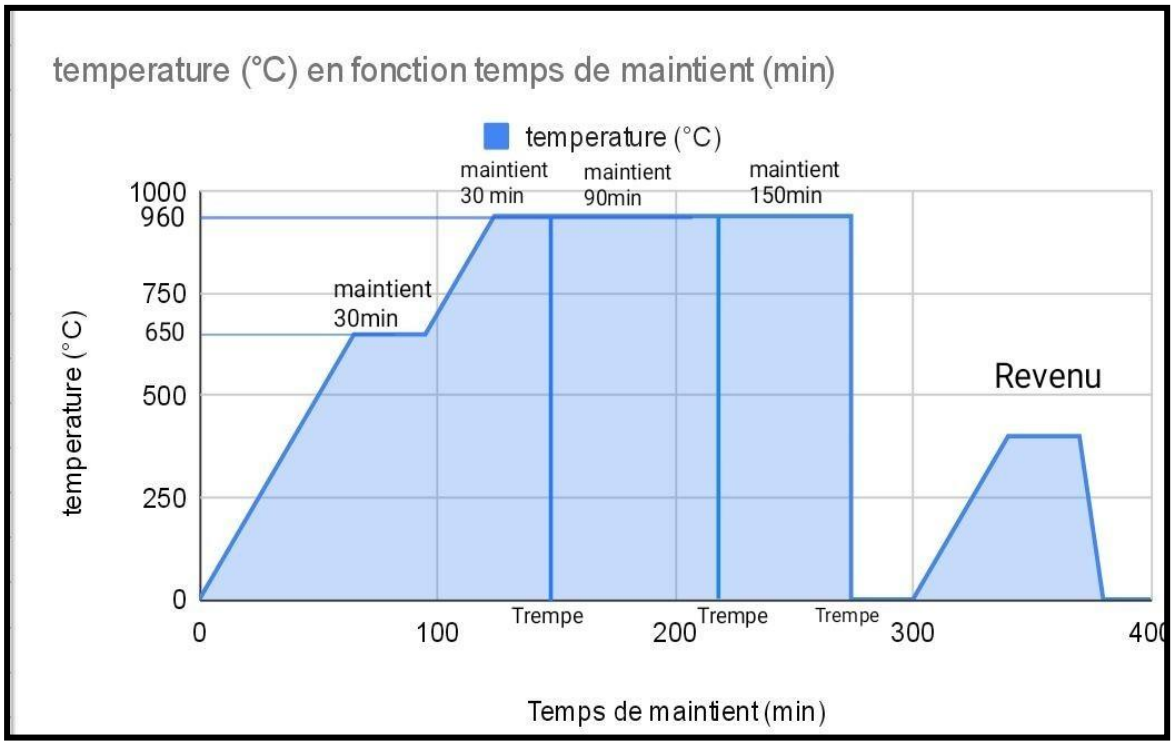


Figure V .5 : Cycle thermique effectué à T = 960°C avec et sans coke.

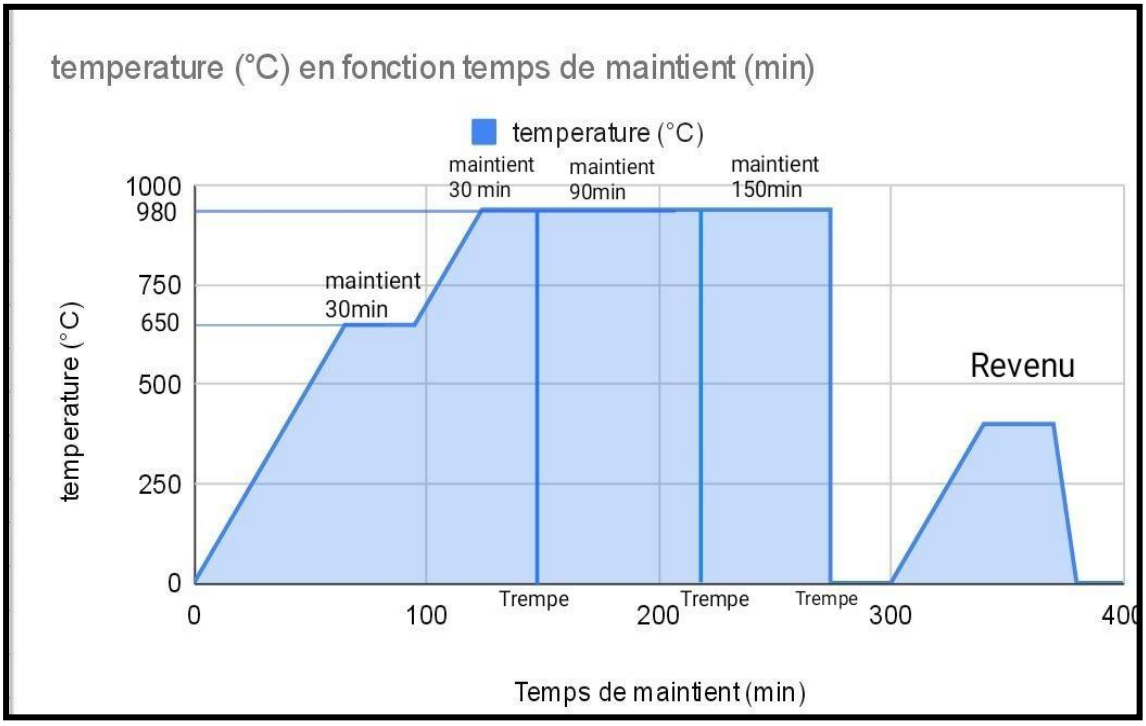


Figure V .6 : Cycle thermique effectué à T = 980°C avec et sans coke.

e) Réactif d'attaque :

Les différentes structures sont révélées par une attaque chimique vilella : [11]

- 2.5g de chlorure ferrique
- 5g d'acide picrique
- 2ml d'acide chlorhydrique
- 90ml d'alcool éthylique

Les observations effectuées sur un microscope optique de type OPTIKA C-P20CC équipé d'une caméra photo numérique.



Figure V. 7 : Microscope optique

V.3. Analyse des microstructures sur microscope optique :

Les échantillons traités, provenant d'éprouvettes de résilience furent 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 960°C sont présentés respectivement dans la figure V**.** 5 (Grossissement 50).

- d'autre part les échantillons austénitisés à 960°C et revenues aux températures 400°C pendant1h présentent les meilleures propriétés mécaniques.

V.4. Structure de l'état brute de trempe

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.



Fig V. 8 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a l'état brute de trempe.

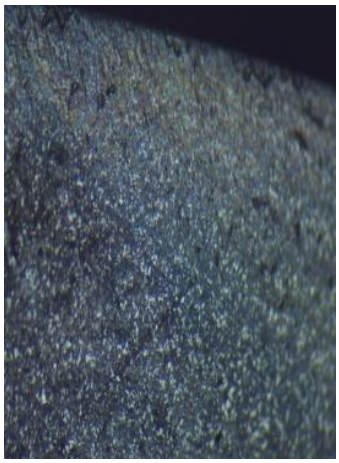


Fig V.9 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a représente l'austénite résiduelle et le martensite



Fig V.10 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 940 avec graphite sans revenu



Fig V.11 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 940 sans graphite sans revenu0



Fig V.12 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 960 sans graphite sans revenu



Fig V.13: Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 960 avec graphite sans revenu

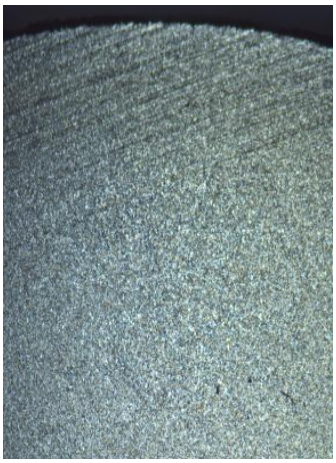


Fig V.14 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier T° 980 sans graphite X210Cr12 a sans revenu



Fig V.15 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier T° 980 avec graphite X210Cr12 a sans revenu

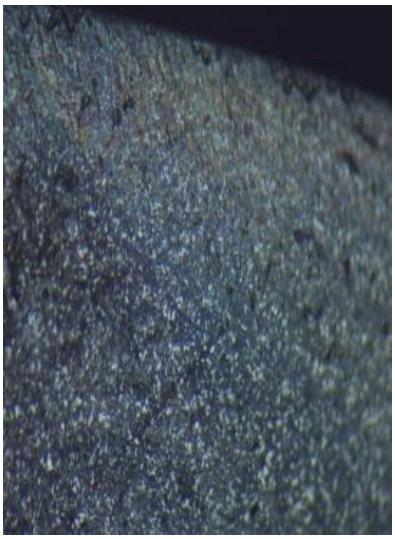


Fig V.16 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a l'etat brut

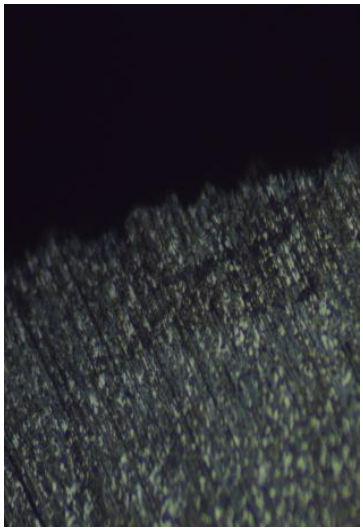


Fig V.17 : Microstructure de la partie superficielle de l'acier X210Cr12 a T° 940 sans graphite avec revenu de 450 C°

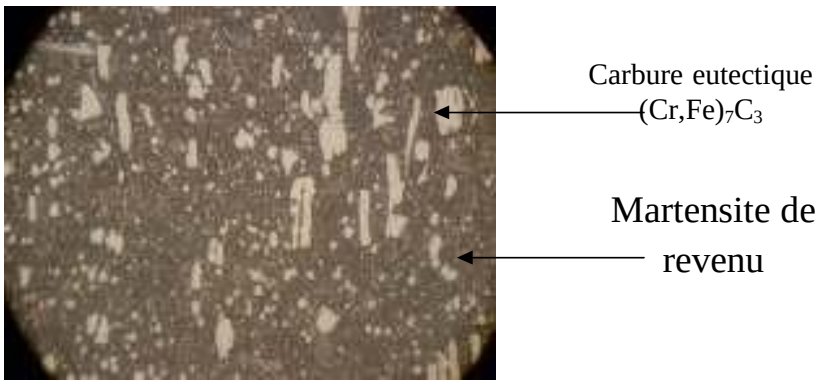


Figure V.18: Micrographie optique de l'acier X210C12 trempéà 960°C avec revenu à 400°C (X50)

V.5. 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 Duro-mètre universel de type HP250.



Figure V. 19 : Appareil des essais HRC
(Unité PMH Berrouaghia).

Tableau V. 1 : Résultats des essais de dureté HRC selon les différents traitements Avec l'utilisation de coke.

	Dureté de l'acier X210Cr12, HRC		
Trempe revenu	940°C	960°C	**980°C**
Sans revenu	62	65	**65**
300°C	56	57	**52**
350°C	56	58	**58**
400°C	53	57	**53**
450°C	**51**	**54**	**53**

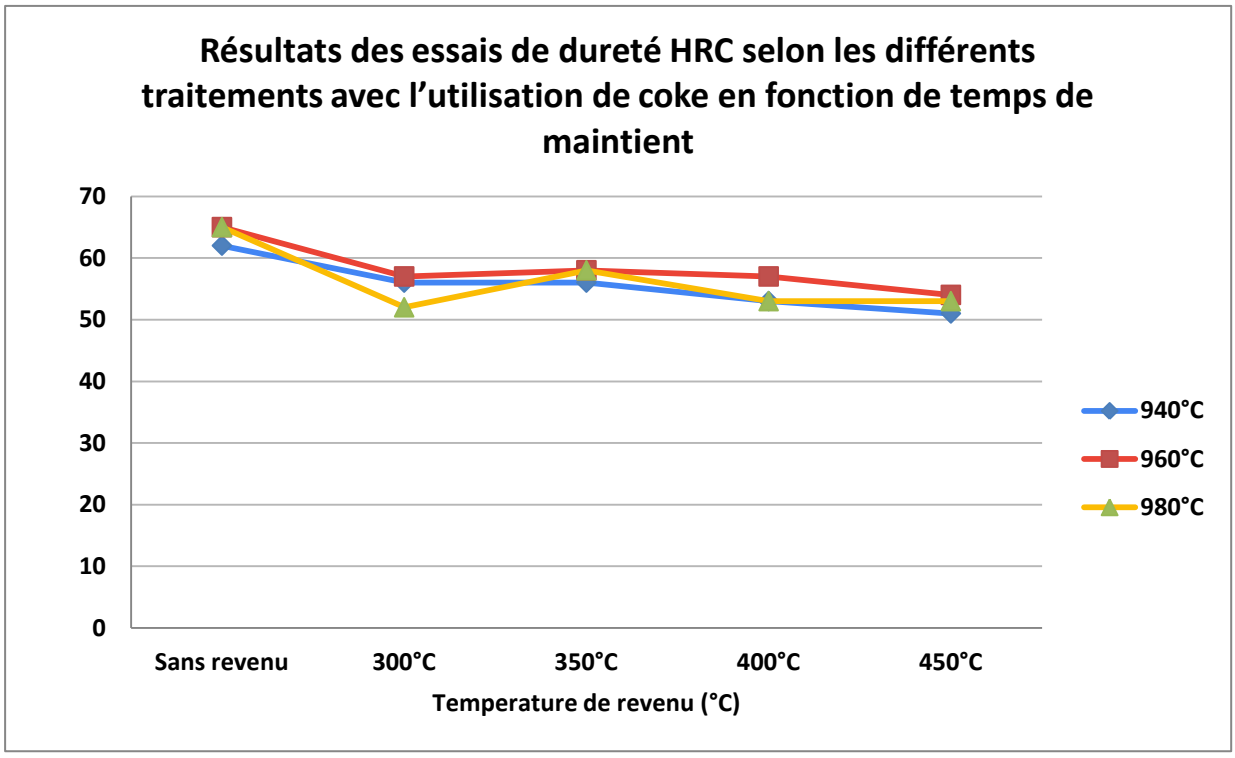


Figure V.20: Evolution de la dureté selon les différents traitementsthermique avec L'utilisation de graphite en fonction le temps de maintien.

V.6. Interprétations des résultats de dureté :

D'après le tableau ci-dessous on peut conclure que :

• Après le durcissement causé par la trempe à 940, 960,980°C, la dureté chute avec le temps de maintient. Elle est caractéristique pour les aciers à outils fortement alliés subissant un revenu dans cette gamme de température.

• Ceci est principalement lié à la précipitation du carbure ε. c'est la réaction classique de décomposition de la martensite :

$$\alpha \rightarrow \acute{\alpha} + \varepsilon .$$

• La dureté stagne entre 300 et 450°C, pour l'acier austénitisé à 940°C, cela est du à l'abondance des carbures subsistant après trempe. C'est-à-dire que cette température d'austénitisation n'est pas suffisante pour dissoudre beaucoup de carbures. Dans ces conditions la martensite obtenue est moins dure.

• Pour l'acier austénitisé à 960°C, on remarque un adoucissement de faible amplitude, qui est situé entre 300 et 350°C par rapport à l'état trempé. Ceci est principalement du au phénomène de diffusion de la carbone. A la température 400°C la dureté obtenue (53HRC) représente la plus faible valeur, résulte de la croissance et coalescence des carbures.

• Puis un accroissement de la dureté à 450°C lié probablement au phénomène de durcissement secondaire, il correspond à la transformation des carbures de fer en carbures alliés tels que : le Cr_7C_3.

• Pour l'acier austénitique à 980°C, l'augmentation du taux d'austénite résiduelle après trempe est sensible, suite a la dissolution abondante des carbures secondaires contenus à l'état recuit, qui en résulte un abaissement du point M_S, causant une dureté médiocre pour tout l'intervalle de revenu.

La chute de la dureté que l'on note pour les températures de revenus voisines de 450°C est liée probablement à la transformation de l'austénite résiduelle en bainite lors de son refroidissement.

V.7. Caractérisation après traitements :

a) Dureté :

Les résultats des essais de dureté HRC sont rassemblés dans le tableau V.2, qui sont aussi représentés sur la figure V.21

Tableau V.2 : Résultats des essais de dureté HRC selon les différents traitements Sans l'utilisation de coke et sans revenu

	Dureté de l'acier X210Cr12, HRC		
Trempesans revenu	940°C	960°C	**980°C**
Maintient 1/2h	62	62	**50**
Maintient 1 h	45	52	**46**
Maintient 1 h Et demi	53	50	**53**
Maintient 2 h	35	40	**50**
Maintient 2 h Et demi	**36**	**38**	**58**

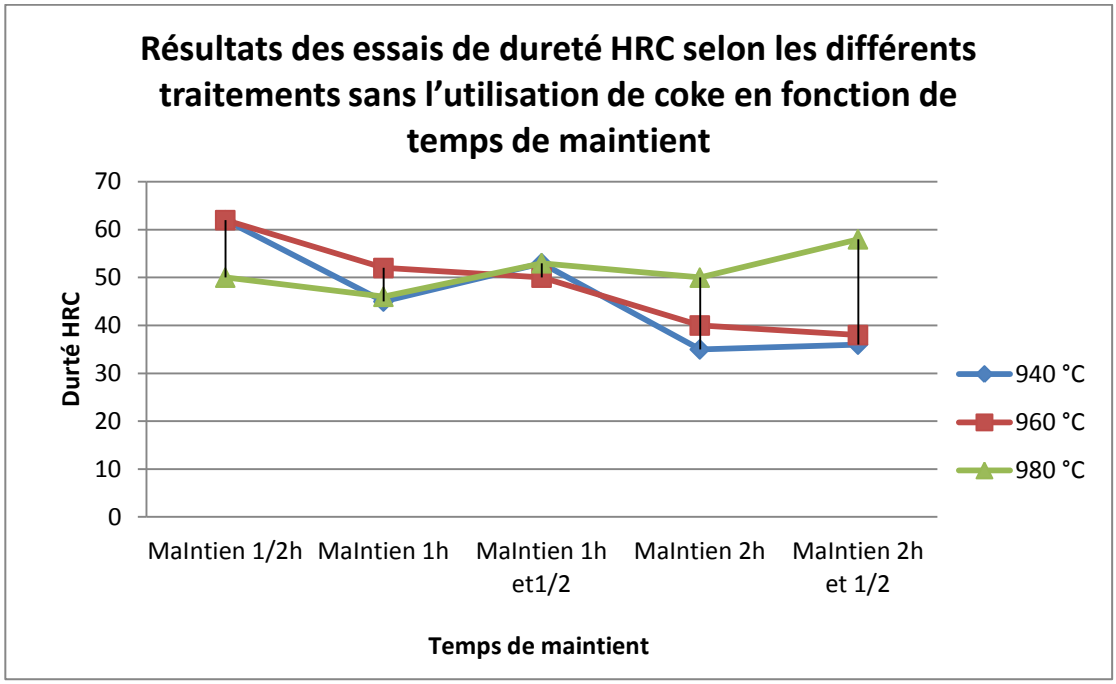


Figure V.21: Evolution de la dureté selon les différents traitementsthermique Sans L'utilisation de graphite en fonction le temps de maintien.

b) interprétation :

il a été observé qu'un temps de maintien d'austénitisation prolongé, c'est-à-dire une durée supérieure à une demi heure, a entrainé une chute de dureté des pièces. Cette chute de dureté indique que les pièces ont perdu leur durcissement et ont atteint une dureté inferieure à celle souhaitée.

un temps de maintien prolongé dans la phase austénitique peut permettre la croissance des grains austénitique, ce qui peut réduire la dureté finale des pièces, puisque des grains plus grands offrent moins de barrières aux mouvements des dislocations.

c) 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 X210Cr12.

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 $M_{s.}$ Considérant que l'acier X210Cr12 est un acier autotrempant, l'austénite résiduelle de trempe se déstabilise pendant le revenu et se transforme en martensite au refroidissement qui le suit.

CONCLUSION

En conclusion, cette étude visait à approfondir notre compréhension de la décarburation de l'acier X210 Cr12 lors du traitement de trempe et à évaluer l'utilisation du coke lors de l'austénitisation comme solution potentielle pour atténuer cet effet indésirable. La décarburation de l'acier peut avoir un impact négatif sur les propriétés mécaniques et de surface, compromettant la qualité et les performances de l'acier dans des applications industrielles critiques.

À travers une revue approfondie de la littérature existante, nous avons examiné les mécanismes de décarburation et les méthodes proposées pour remédier à ce phénomène. Sur la base de ces connaissances, nous avons conçu une approche expérimentale comprenant des traitements de trempe sur des échantillons d'acier X210 Cr12 en variant les paramètres tels que la température, le temps de maintien et le refroidissement. De plus, nous avons évalué l'efficacité de l'utilisation du coke lors de l'austénitisation pour atténuer la décarburation.

Les résultats obtenus ont montré que l'utilisation du coke lors de l'austénitisation peut contribuer à réduire significativement la décarburation de l'acier X210 Cr12. Cette approche a permis de préserver les propriétés mécaniques, telles que la dureté et la résistance, ainsi que les propriétés de surface de l'acier traité. Ces résultats sont prometteurs pour l'optimisation des procédés de traitement thermique de l'acier X210 Cr12 dans des applications industrielles exigeantes.

En conclusion, cette étude fournit des informations précieuses sur les mesures à prendre pour prévenir ou minimiser la décarburation de l'acier X210 Cr12. Les résultats obtenus contribueront à améliorer la qualité et les performances de l'acier dans des industries telles que la fabrication d'outils de coupe, de matrices

et d'outils de formage. Des recherches supplémentaires pourraient être menées pour explorer d'autres méthodes et approches visant à atténuer la décarburation dans d'autres aciers ou dans des conditions de traitement différentes.

RECOMMANDATIONS

Afin d’atténuer ou d’éliminer la couche de carbonate sur les surfaces en acier d’outillage, il est recommandé d’utiliser du coke ou du graphite pendant le traitement thermique pour augmenter la résistance du métal et améliorer toutes ses propriétés mécaniques et chimiques.

APPENDICE A

❖ Eléments chimiques

Fe: **Fe**r.

C: **C**arbone.

Si: **Si**licium.

Mn: Manganèse.

Cr: Chrome.

Mo: molybdène.

Cu: Cuivre.

P: Phosphore.

S: Soufre.

Ti: Titane.

❖ Composes et phases

M_3C: Cémentite.

M_7C_3: Carbure Spéciaux.

α: Ferrite.

γ: Austénite.

❖ Abréviation

TRC: Transformation En **R**efroidissement **C**ontinu.

TTT: Transformation **T**empérature **T**emps.

Vc: Vitesse **C**ritique De Trempe.

Ms: Début De Transformation Martensitique.

M_f: Fin De Transformation Martensitique.

HRC: Dureté Rokwell C.

Z: acier fortement allié (tel que **X210Cr12** et **X153CrMoV12**).

NF: Norme **F**rançaise

SFMO: Société De **F**abrication Des **M**achines A **O**utils Du Groupe **Moussaoui, Boufarik.**

POVAL: Entreprise De Fabrication De Vannes Et Pompes De Berrouaghia

- **Unité de Mesure**

°C: Degré Celsius

mm: Millimètre

REFERENCES

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

[2]. I. LAKHTIN - Métallographie et traitement thermique des métaux - Edition Mir 1986.

[3]. ROBERT LEVEQUE et CREUSOT-LOIRE - les aciers à outils indéformables- revue Aciersspéciaux N°37 Mars 1987 p 18-29.

[4]. JEAN-PAUL BAILON, JEAN-MARIE DORLOT –Des Matériaux- Ecole Polytechniquede Montréal, 2000-Troisieme Edition.

[5]. F. MARATRAY, A.POULALION et P.RABBE – Contribution à l'étude des alliages Fe – Cr – Mo – C Colloque international sur les alliages à hautes teneurs en chrome et en carbone. Saint-Etienne, 8-9 novembre 1983 p 11-54.

[3]. I. COLOMBIER - Les aciers à outils et leur traitement thermique - PYC Edition Paris 1971.

[7]. G.SCHREIBER, B.CHIBRIAEV, A.POLFEROV, S.PERLINE - Matériaux de construction pour les industries du pétrole, du gaz et de la pétrochimie - Edition école supérieure de MOSCOU.

[8]. A. CONSTANT et G.HENRY - Les principes de base du traitement thermique des Aciers - transformation au chauffage - Revue de traitement thermique N°154 1981 p 85-90.

[9]. G.MURRY, R.LEVEQUE, M.GRAFF, R.MORTIER - Conseils pour le traitement thermique des Aciers à outils – Editeur OTUA 1982.

[10]. ROBERT LEVEQUE - Traitements Thermiques dans la masse des aciers à outils - M1134 Techniques de l'ingénieur 1993.

[11]. Madeline Durand-Charre- La microstructure des aciers et des fontes- Institut National Polytechnique de Grenoble 2003.

BÖHLER K100

Propriétés

Nuance standard des aciers ledeburitiques à 12% de chrome à faible variation dimensionnelle.

Propiedades

Marca standard de los aceros ledeburíticos al 12% de cromo con mínima variabilidad de medidas.

Application

Outils de coupe et de découpage:

Poinçons pour outils progressifs et outils composés de découpage à haut rendement et de forme compliquée, en particulier pour les industries électrique et horlogère, la fabrication de ferrures, de boîtes à conserves et d'emballages, outils à couper les dents de scie, grattoirs et outils à repasser pour la fabrication en grande série, poinçons fortement sollicités pour toutes sortes d'outils de découpage, lames de cisaille à haut rendement de coupe pour tôles jusqu'à environ 4 mm d'épaisseur, outils d'ébavurage, outils pour la fabrication de pointes de Paris, etc.

Aplicación

Herramientas de corte y estampado:

Principalmente matrices cortantes de gran rendimiento, en especial para cortes complicados, consecutivos e integrales, sobre todo para las industrias eléctrica y de herrajes, de hojalatería y cartonería, también para la industria relojera, cortes de dientes para sierras, rasquetas y herra- mientas de repasar para grandes series, herramientas de estampar sometidas a altas exigencias, cizallas de gran eficacia de corte para cortar chapas de hasta 4 mm de espesor, herramientas de desbarbar, cuchillas para la fabricación de puntas de París, etc.

Outils d'usinage:

Outils de brochage, outils pour la fabrication de paille de fer, outils à bois fortement sollicités.

Herramientas de virutaje:

Brochas, cuchillas para la fabricación de viruta de acero, herramientas altamente exigidas para la industria maderera, etc.

Dispositifs de mesure

Herramientas de medición

BÖHLER K100

Outils de formage:

Matrices et cylindres à rouler les filets, molettes à border, poinçons et matrices pour le façonnage à froid d'écrous, outils de fluotournage et de presse, outils d'emboutissage et de filage pour alliages légers et aciers, poinçons de fonçage pour la fabrication de moules de matières synthétiques, molettes, filières de tréfilage, matrices et mandrins pour l'étirage de tubes et de barres, mandrins pour le laminage à froid à pas de pèlerin de tubes d'acier, matrices réductrices pour la fabrication d'aiguilles.

Herramientas sin virutaje:

Rodillos y peines para roscar, rodillos para pestañar y acanalar, estampas y matrices para fabricar tuercas en frío, herramientas de embutición y para prensar, útiles de extrusión y embutición profunda para trabajar aleaciones ligeras y acero, punzones troqueladores de moldes para resinas sintéticas, herramientas para moletear, hileras para alambre, hileras y machos de estirar tubos y perfiles, mandriles para laminar tubos de aceros en frío y a paso de peregrino, martillos reductores para la fabricación de agujas.

Outils et composants résistant à l'usure:

Outils de presse pour la transformation de matiéres céramiques fortement abrasives, plaques de pressage pour la fabrication de briques et de briques réfractaires, outils de presse pour l'industrie pharmaceutique, boîtes-guides pour décolleteuses, guidages pour rectifieuses sans centre, poulies à gradins et anneaux pour machines à tréfiler, buses de sablage, outils de frittage.

Herramientas y componentes resistentes al desgaste:

Herramientas de prensar para elaborar materiales cerámicos muy abrasivos, placas de moldes para la fabricación de ladrillos (también refractarios), herramientas de prensar para la industria farmacéutica, bujes guía para máquinas automáticas, suplementos de guías para rectificadoras sin puntas, poleas múltiples y anillos para máquinas trefiladoras de alambre, boquillas para arenadoras, herramientas para la industria sinteriza-dora.

Outils pour travail à chaud:

Noyaux pour marteaux fortement sollicités pour la fabrication de faux et de faucilles ainsi que pour marteaux à battage rapide pour le forgeage d'aciers durs et hautement alliés, galets finisseurs pour laminoirs à bandages de roues, filières à chaud, etc.

Herramientas para trabajar en caliente:

Núcleos para mazos de martinete sometidos a solicitación elevada para la fabricación de guadañas y hoces, también para martinetes de alta velocidad para fraguar aceros duros o de alta aleación, además para pequeños cilindros laminadores de alta exigencia térmica, extremos de cilindros calibrados para laminar anillos, anillos para estirar en caliente, etc.

Composition chimique (valeurs indicatives en %) / Composición química (valores aproximados en %)			
C	Si	Mn	Cr
2,00	0,25	0,35	11,50

Normes **Normas**

EN / DIN	AISI	JIS	GOST
< 1.2080> X210Cr12	~ D3	~ SKD1	~ Ch12

BÖHLER K100

Façonnage à chaud

Forgeage:

1050 - 850°C
Refroidissement lent dans le four ou dans un matériel calorifuge.

Traitement thermique

Recuit:

800 - 850°C
Refroidissement lent et contrôlé au four avec une vitesse de 10 à 20°C par heure jusqu'à environ 600°C, puis refroidissement à l'air.
Dureté après le recuit:
248 HB maxi.

Recuit de détente:

Env. 650°C
Refroidissement lent dans le four.
Pour la détente après usinage important ou pour les outils de forme compliquée.
Temps de maintien à la température après chauffage à coeur: 1-2 heures en ambiance neutre.

Trempe:

940 - 970°C
Huile, en bain de sel de 220 à 250°C ou 500 à 550°C, trempe possible à l'air ou l'air comprimé pour épaisseurs de 25 mm au max. et avec températures de trempe à la limite supérieure.
Temps de maintien à la température après réchauffage à cœur: 15 - 30 minutes.
Dureté à atteindre: 57 - 62 HRC.

Revenu:

Chauffage lent à la température de revenu immédiatement après la trempe / temps de séjour au four 1 heure par 20 mm d'épaisseur, mais au moins 2 heures / refroidissement à l'air.
Vous trouvez les valeurs indicatives de la dureté à atteindre aprés le revenu dans le diagramme de revenu.
Dans certains cas il est utile de procéder de manière à réduire la température de revenu et à prolonger le temps de maintien.

Conformación en caliente

Forjado:

1050 a 850°C
Enfriamiento lento en el horno o en material termoaislante.

Tratamiento térmico

Recocido blando:

800 - 850°C
Enfriamiento lento y controlado en el horno 10-20°C/h, hasta 600°C, enfriamiento posterior al aire.
Dureza después del recocido blando:
máx. 248 Brinell.

Recocido de eliminación de tensiones:

Aprox. 650°C
Enfriamiento lento en el horno.
Para disminuir la tensión después de un mecanizado extenso, o en herramientas complicadas.
Tiempo de permanencia después del calentamiento a fondo: 1 - 2 horas en atmósfera neutra.

Temple:

940 - 970°C
Aceite, baño de sal de 220 a 250°C o 500 a 550°C, es posible un temple al aire o al aire comprimido hasta un espesor máximo de 25 mm en el límite superior de temperatures de temple.
Tiempo de permanencia después del calentamiento a fondo: 15 - 30 minutos.
Dureza obtenible: 57 - 62 HRC.

Revenido:

Calentamiento lento hasta la temperatura de revenido inmediatamente después del temple / tiempo de permanencia en el horno: 1 hora por cada 20 mm de espesor de la pieza, pero como mínimo 2 horas / enfriamiento al aire.
Los valores aproximados de la dureza alcanzable después del revenido figuran en el diagrama de revenido.
En determinados casos puede resultar conveniente reducir la temperatura de revenido, prolongando el tiempo de permanencia.

BÖHLER K100

Courbe de revenu

Température de trempe:
—— 950°C
- - - - - 1000°C
Éprouvette: carré 20 mm

Diagrama de revenido

Temperatura de temple:
—— 950°C
- - - - - 1000°C
Sección de la probeta: cuadrada 20 mm

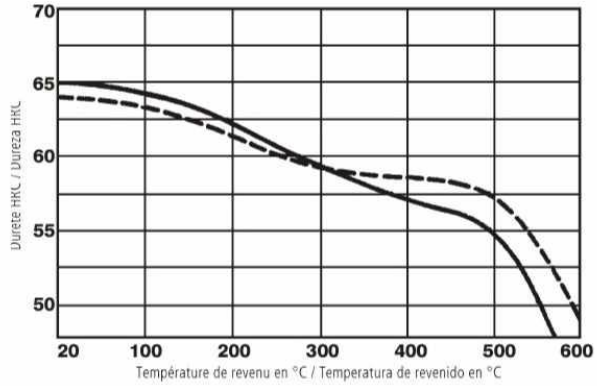
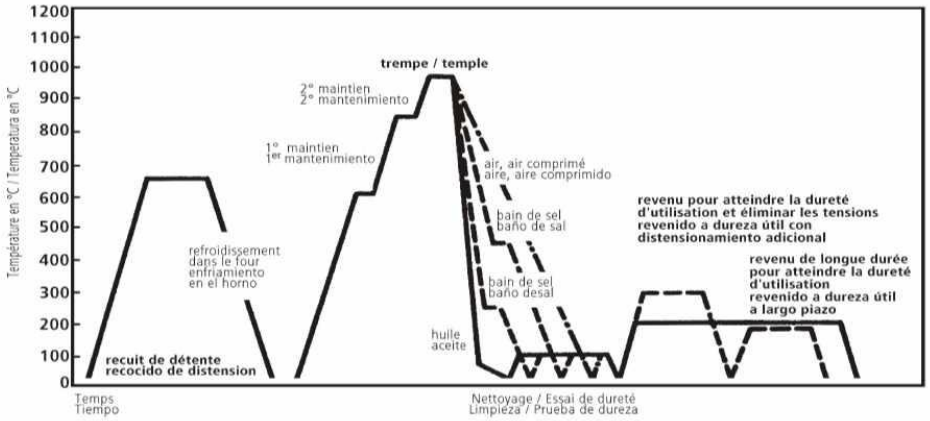


Schéma du traitement thermique

Esquema de tratamiento térmico



Soudure de réparation

Après soudure, les aciers pour outils ont une tendance générale à développer des fissures. Si la soudure ne peut pas être évitée, respecter les instructions du fabricant et utiliser des électrodes de soudure appropriées.

Soldaduras de reparación

En los aceros para herramientas, existe una tendencia general a desarrollar fisuras después de la soldadura. Si no es posible evitar la soldadura, deben consultar y aplicarse las instrucciones del fabricante de los electrodos de soldadura utilizados.

BÖHLER K100

Diagramme de transformation en refroidissement continu / Diagrama CCT para enfriamiento continuo

Composition chimique (valeurs indicatives en %) / Composición química (valores aproximados en %)					
C	Si	Mn	Cr	Ni	W
1,98	0,19	0,32	11,84	0,18	0,05

Température d'austénitisation: 950°C
Durée de maintien: 30 minutes

◯ Dureté, en HV
2 . . . 100 Constituants, en %
0,33 . . . 180 Paramètre de refroidissement, c. -à -d. durée de refroidissement de 800 à 500°C en s x 10^{-2}
2K/min... Vitesse de refroidissement en K/min de 800 à 500°C

Temperatura de austenización: 950°C
Tiempo de permanencia: 30 minutos

◯ Dureza Vickers
2 . . . 100 Componentes de estructura en %
0,33 . . . 180 Parámetro de enfriamiento, es decir, duración del enfriamiento de 800-500°C en s x10^{-2}
2K/min... Velocidad de enfriamiento en K/min en el margen de 800 - 500°C

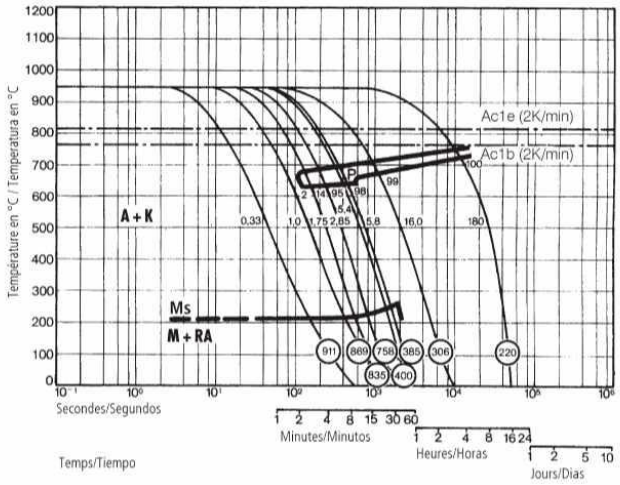


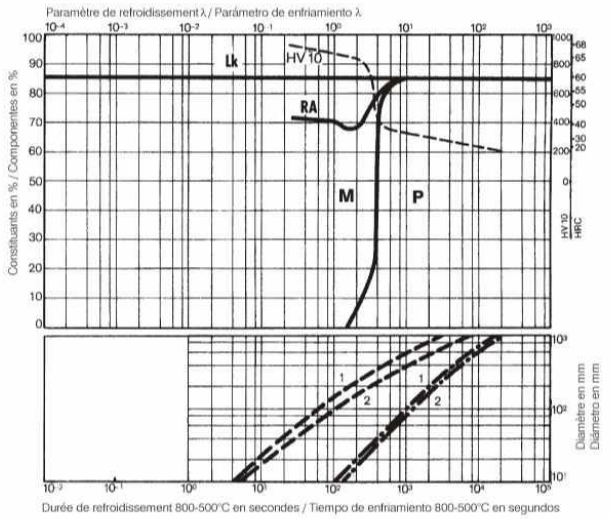
Diagramme de phases / Diagrama estructural

A.... Austénite / Austenita
B.... Bainite /Bainita
P.... Perlite / Perlita
K.... Carbure / Carburo
M.... Martensite / Martensita
RA... Austénite résiduel / Austenita retenida
Lk... Carbure de ledeburite / Carburo de ledeburita

- - - - Refroidissement à l'huile / Enfriamiento en aceite

- • - Refroidissement à l'air / Enfriamiento al aire

1.... Bord / Borde de la pieza
2.... Centre / Núcleo



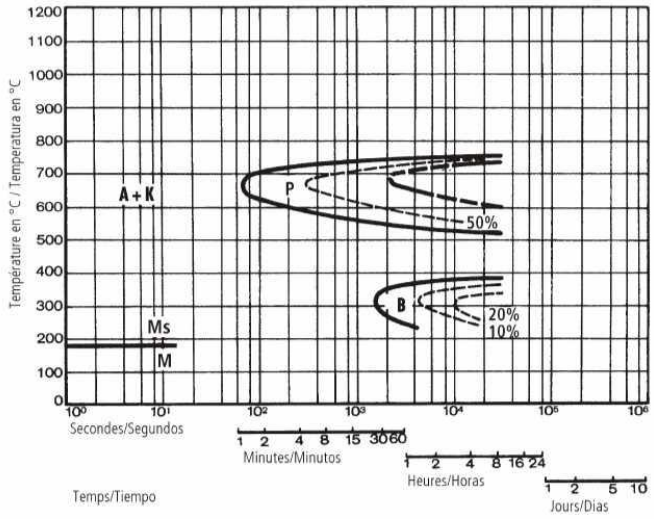
BÖHLER K100

Diagramme de transformation en conditions isothermes (Courbe TTT) / Diagrama TTT isotérmico

Composition chimique (valeurs indicatives en %) / Composición química (valores aproximados en %)					
C	Si	Mn	Cr	Ni	W
1,98	0,19	0,32	11,84	0,18	0,05

Température d'austénitisation: 950°C
Durée de maintien: 30 minutes

Temperatura de austenización: 950°C
Tiempo de permanencia: 30 minutos



A.... Austénite / Austenita
B.... Bainite /Bainita
P.... Perlite / Perlita
K.... Carbure / Carburo
M.... Martensite / Martensita

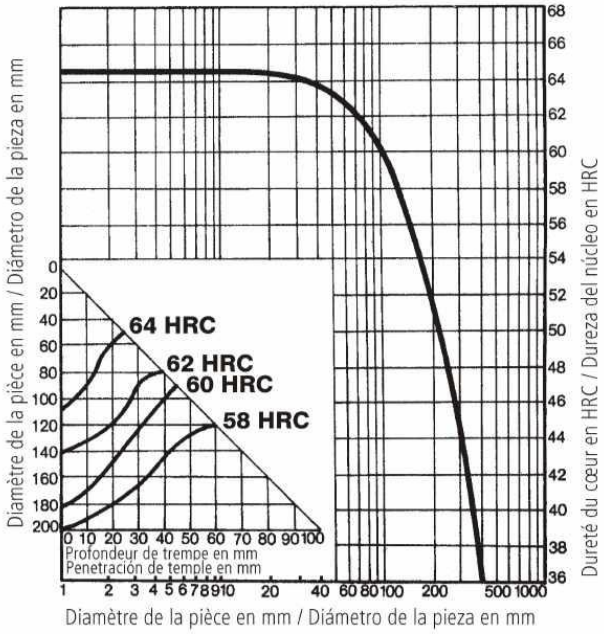
BÖHLER K100

Courbe de la dureté du cœur et de la profondeur de trempe en fonction du diamètre de la pièce

Dependencia de la dureza del núcleo y de la penetración del temple en función del diámetro de la pieza

Température de trempe: 950°C
Moyen de trempe: huile

Temperatura de temple: 950°C
Medio de temple: aceite



BÖHLER K100

Recommandations pour l'usinage (Etat recuit, valeurs approximatives)

Tournage avec outils à mise rapportée en carbure métallique				
Profondeur de coupe, mm	0,5 à 1	1 à 4	4 à 8	> 8
Avance, mm/rév	0,1 à 0,3	0,2 à 0,4	0,3 à 0,6	0,5 à 1,5
Nuance BÖHLERIT	SB10,SB20	SB10, SB20, EB10	SB30, EB20	SB30, SB40
Nuance ISO	P10,P20	P10, P20, M10	P30, M20	P30, P40
	Vitesse de coupe, m/min			
Plaquettes amovibles Durée de vie 15 min	210 à 150	160 à 110	110 à 80	70 à 45
Outils à mise rapportée en carbure métallique brasés Durée de vie 30 min	150 à 110	135 à 85	90 à 60	70 à 35
Plaquettes amovibles revêtues Durée de vie 15 min BÖHLERIT ROYAL 121 BÖHLERIT ROYAL 131	 à 210 à 140	 à 180 à 140	 à 130 à 100	 à 80 à 60
Angles de coupe pour outils à mise rapportée en carbure métallique brasés				
Angle de dépouille Angle de coupe orthogonal de l'outil Angle d'inclinaison	6 à 12° 6 à 8° 0°	6 à 12° 6 à 8° minus 4°	6 à 12° 6 à 8° minus 4°	6 à 12° 6 à 8° minus 4°

Tournage avec outils en acier rapide			
Profondeur de coupe, mm	0,5	3	6
Avance, mm/rév.	0,1	0,4	0,8
Nuance BÖHLER/DIN	S700 / DIN S10-4-3-10		
	Vitesse de coupe, m/min		
Durée de vie 60 min	30 à 20	20 à 15	18 à 10
Angle de dépouille Angle de coupe orthogonal de l'outil Angle d'inclinaison	14° 8° minus 4°	14° 8° minus 4°	14° 8° minus 4°

Fraisage avec fraises à lames rapportées		
Avance, mm/dent	à 0,2	0,2 à 0,4
	Vitesse de coupe, m/min	
BÖHLERIT SBF/ ISO P25	150 à 100	110 à 60
BÖHLERIT SB40/ ISO P40	100 à 60	70 à 40
BÖHLERIT ROYAL 131 / ISO P35	130 à 85	130 à 85

Alésage avec outils à mise rapportée en carbure métallique			
Diamètre de foret, mm	3 à 8	8 à 20	20 à 40
Avance, mm/rév	0,02 à 0,05	0,05 à 0,12	0,12 à 0,18
Nuance BÖHLERIT / ISO	HB10/K10	HB10/K10	HB10/K10
	Vitesse de coupe, m/min		
	50 à 35	50 à 35	50 à 35
Angle de pointe	115 à 120°	115 à 120°	115 à 120°
Angle de dépouille	5°	5°	5°

BÖHLER K100

Recomendaciónes para la mecanización (Estado de tratamiento térmico: recocido blando, valores aproximados)

Tornear con metal duro				
Profundidad de corte, mm	0,5 hasta 1	1 hasta 4	4 hasta 8	> 8
Avance, mm/r.	0,1 hasta 0,3	0,2 hasta 0,4	0,3 hasta 0,6	0,5 hasta 1,5
Calidad de metal duroBÖHLERIT	SB10, SB20	SB10, SB20, EB10	SB30, EB20	SB30, SB40
Calidad ISO	P10, P20	P10, P20, M10	P30, M20	P30, P40
	Velocidad de corte m/min			
Plaquitas de corte recambiables Duración 15 min	210 hasta 150	160 hasta 110	110 hasta 80	70 hasta 45
Herramientas de metal duro soldadas Duración 30 min	150 hasta 110	135 hasta 85	90 hasta 60	70 hasta 35
Plaquitas de corte recambiables con revestimiento Duración 15 min BÖHLERIT ROYAL 121 BÖHLERIT ROYAL 131	 hasta 210 hasta 140	 hasta 180 hasta 140	 hasta 130 hasta 100	 hasta 80 hasta 60
Ángulo de corte para herramientas de metal duro soldadas Ángulo de ataque Ángulo de libre Ángulo de inclinación	 6 hasta 12° 6 hasta 8° 0°	 6 hasta 12° 6 hasta 8° menos 4°	 6 hasta 12° 6 hasta 8° menos 4°	 6 hasta 12° 6 hasta 8° menos 4°

Tornear con acero rápido			
Profundidad de corte, mm	0,5	3	6
Avance, mm/r.	0,1	0,4	0,8
Calidad BOHLER/DIN	S700 / DIN S10-4-3-10		
	Velocidad de corte m/min		
Duración 60 min	30 hasta 20	20 hasta 15	18 hasta 10
Ángulo de ataque Ángulo de libre Ángulo de inclinación	14° 8° menos 4°	14° 8° menos 4°	14° 8° menos 4°

Fresar con cabezales de cuchillas		
Avance, mm/diente	hasta 0,2	0,2 hasta 0,4
	Velocidad de corte m/min	
BÖHLERIT SBF/ ISO P25	150 hasta 100	110 hasta 60
BÖHLERIT SB40/ ISO P40	100 hasta 60	70 hasta 40
BÖHLERIT ROYAL 131 / ISO P35	130 hasta 85	130 hasta 85

Mandrinar con metal duro			
Diámetro del taladro, mm	3 hasta 8	8 hasta 20	20 hasta 40
Avance, mm/r.	0,02 hasta 0,05	0,05 hasta 0,12	0,12 hasta 0,18
Calidad de metal duro BÖHLERIT / ISO	HB10/K10	HB10/K10	HB10/K10
	Velocidad de corte m/min		
	50 hasta 35	50 hasta 35	50 hasta 35
Ángulo de punta	115 hasta 120°	115 hasta 120°	115 hasta 120°
Ángulo de despullo	5°	5°	5°

WERKSZEUGNIS
TEST REPORT
RELEVE DE CONTROLE

ISO 9001:2008 certification
EN ISO 14001:2004 certification

BÖHLER
EDELSTAHL

EN 10204-2.2

Cert. No.: 727072 / M10 / C23 / 2016.07.20
Blatt/Sheet/Page: 1 / 1

Besteller/Purchaser/Acheteur:
SARL PRO' DISTRIBUTEUR
Lotissement Aidja Boufarik
09400 BLIDA ALGERIE
BOUFARIK ALGERIE
ALGERIEN

Empfänger/Consignee/Destinaire:
SARL PRO' DISTRIBUTEUR
Lotissement Aidja Boufarik
09400 BLIDA ALGERIE
BOUFARIK ALGERIE
ALGERIEN

Bestell-Nr./Purchaser order No./No. de commande:
Commande No.2016.0037 / 2016.04.27

Empfängerref.-Nr./Receiver reference-No./Référence destinaire:
-

Werksauftrags-Nr./Works order-No./No. de la commande de l'usine:
4310255427 / -

Lieferschein-Nr./Delivery note-No./Avisd'expedition du client:
51320640. / 2016.05.13

Prüfgegenstand/Object of test/Object d'examen:
BÖHLER K100 W.Nr. 1.2080
bar, annealed max. 248 HB, IBO ECOMAX ISO 286/2 ITk12
ISO 286/2 ITk12
Endcondition: 2x hot abrasive cut

Anforderungen/Requirements/Exigence:

Umfang der Lieferung/Volume of delivery/liste descriptive

Pos./Los	Abmessung Dimensions Dimensions	Länge Length Longueur	Stückzahl No. of Pieces No. de Pieces	Gewicht kg Weight kgs Poids kg	Mat.-ID	Prüf-Nr. Test No. Eprouvette	Schmelze-Nr. Heat No. No. de coulee
30/1	RD 22,5 mm	3000-4000 mm		495,0	KYBP	1504753-1	A14516

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Schmelzanalyse/Chemical Composition Erschmelzungsart/Steelmaking Process: Airmelt						Schmelze-Nr. Heat No. No. de coulee
C	Si	Mn	P	S	Cr	
2,01	0,23	0,42	0,022	<0,0003	11,31	A14516

Mechanische Eigenschaften/Mechanical Properties/Characteristiques mechaniques

Pos./Los	Härte / Zugfestigkeit Hardness / Tensile Strength Durete / Résistance à la traction		Prüf-Nr. Test No. Eprouvette
30/1	224	HBW	1504753-1

Radioaktivitätskontrolle/Radioactivity inspection: Co-60<0,1Bq/g;
hiermit kleiner als Grenzwert in der anzuwendenden Spezifikation IAEA RS-G-1.7 für unbedenkliche Stoffe.
therefore smaller than upper limit required according to specification IAEA RS-G-1.7 for inoffensive material.

Wir bestätigen hiermit, dass die obengenannten Erzeugnisse den Bestellvorschriften entsprechen.
We hereby certify that the above mentioned products are consistent with the order prescriptions.
Nous certifions que les produits enumeres ci-dessus sont conformes aux prescriptions de la commande.

BOHLER Edelstahl GmbH & Co KG
Mariazellerstrasse 25
8605 Kapfenberg, AUSTRIA
www.bohler-edelstahl.com
REGISTRIERGERICHT LANDESGERICHT
LEOBEN / FN 294435v

Abteilung / Department
B10CERMAT

AUSSTELLER /
ORIGINATOR / AUTEUR

GRAF

DER ABNAHMEBEAUFTRAGTE/
INSPECTOR REPRESENTATIVE/
DU CONTROLEUR