

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique  
Département de métallurgie  
Laboratoire de Science et Génie des Matériaux



## THÈSE

Présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences

**Spécialité : Métallurgie**

Par : **Houria KADDOUR**

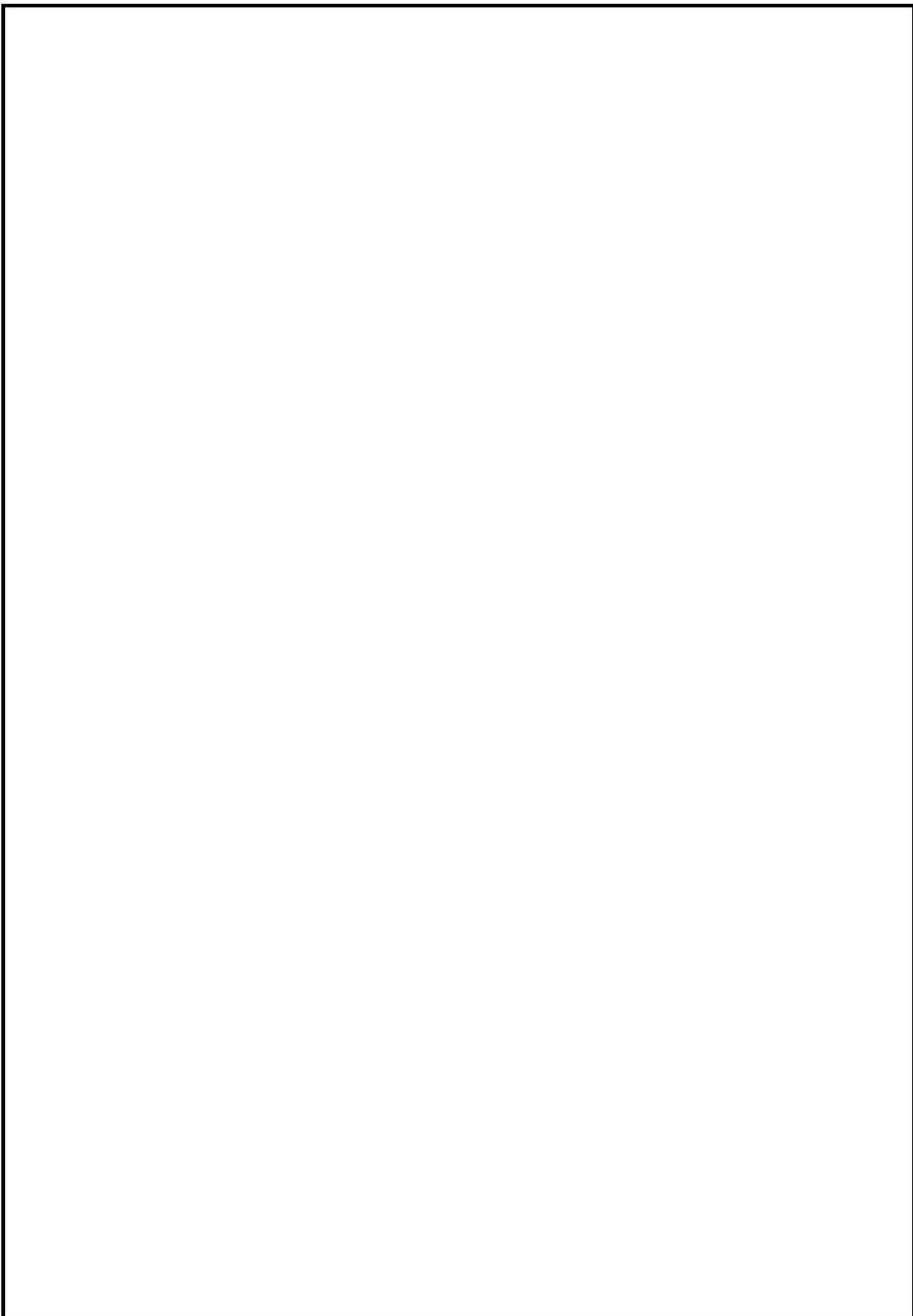
Thème :

*Etude locale du comportement électrochimique et mécanique d'un acier austénitique inoxydable de type AISI 316Ti, traité thermiquement puis laminé à froid*

Soutenue le 13 décembre 2022 à 9h:30

Devant le jury composé de :

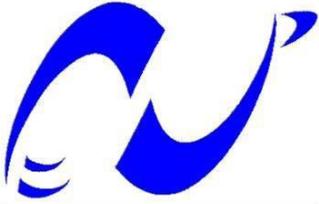
|                        |                                       |                    |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Mohamed CHITROUB       | Professeur, ENP, Alger                | Président          |
| Fatah HELLAL           | Professeur, ENP, Alger                | Directeur de thèse |
| Nacer ZAZI             | Professeur, UMMTO, Tizi Ouzou         | Examineur          |
| Djillali MEZAOUI       | Professeur, USTHB, Alger              | Examineur          |
| Yacine BELKACEMI       | Maître de conférences A, ENP, Alger   | Examineur          |
| Abdelhakim BENCHETTARA | Maître de conférences A, USTHB, Alger | Examineur          |
| Ahmed HADDAD           | Maitre de recherche A, CRTI, Alger    | Invité             |



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique  
Département de métallurgie  
Laboratoire de Science et Génie des Matériaux



## THÈSE

Présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences

**Spécialité : Métallurgie**

Par : **Houria KADDOUR**

Thème :

***Etude locale du comportement électrochimique et mécanique d'un acier austénitique inoxydable de type AISI 316Ti, traité thermiquement puis laminé à froid***

Soutenue le 13 décembre 2022 à 9h:30

Devant le jury composé de :

|                        |                                       |                    |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Mohamed CHITROUB       | Professeur, ENP, Alger                | Président          |
| Fatah HELLAL           | Professeur, ENP, Alger                | Directeur de thèse |
| Nacer ZAZI             | Professeur, UMMTO, Tizi Ouzou         | Examineur          |
| Djillali MEZAOUI       | Professeur, USTHB, Alger              | Examineur          |
| Yacine BELKACEMI       | Maître de conférences A, ENP, Alger   | Examineur          |
| Abdelhakim BENCHETTARA | Maître de conférences A, USTHB, Alger | Examineur          |
| Ahmed HADDAD           | Maitre de recherche A, CRTI, Alger    | Invité             |

ENP 2022

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

*Mon père,*

*Ma très chère mère pour l'amour, la tendresse et le soutien qu'elle m'a apportés ;  
grâce à elle je suis arrivée à devenir ce que je suis.*

*Mes chers enfants et mon*

*époux, Ma sœur,*

*Mes frères,*

*Tous ceux qui me sont chers.*

## **Remerciements**

*Le moment est venu pour moi de finaliser ce manuscrit en ayant une pensée pour toutes les personnes qui ont fait de cette thèse une expérience exceptionnelle.*

*Mes premiers remerciements vont à Monsieur F. HELLAL, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger qui a dirigé mon travail en m'accordant toute sa confiance. Sa rigueur scientifique, sa disponibilité, ses conseils pertinents et son aide m'ont été précieux pour l'accomplissement de ce travail.*

*Je voudrais aussi exprimer mes remerciements particuliers à Monsieur A. HADDAD, Directeur de Division de Corrosion et Protection Durable du CRTI pour son soutien, ses conseils et sa disponibilité.*

*J'exprime mes sincères remerciements à Monsieur M. CHITROUB, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, pour avoir accepté de présider mon jury de thèse.*

*Je remercie vivement Monsieur D. MEZAOUI, Professeur à l'université des Sciences et de la Technologie Houari-Boumediène, de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*Je remercie Monsieur A. BENCHETTARA, Maître de Conférences A à l'Université des Sciences et de la Technologie Houari-Boumediène, pour avoir accepté de juger ce travail.*

*J'adresse mes plus vifs et sincères remerciements à Messieurs N. ZAZI, Professeur à l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, et Y. BELKACEMI, Maître de Conférence A à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger pour avoir bien voulu accepter de participer à la commission d'examen.*

*Je remercie aussi Monsieur Z. BOUTAGHOU et Mademoiselle L. BELGECM, pour leur aide et leur soutien.*

*Pour terminer, je souhaiterais remercier l'ensemble des personnes qui ont participé de près ou de loin à ce travail de thèse et sans qui tout cela n'aurait pas été possible.*

## ملخص

تهدف هذه الأطروحة إلى دراسة تأثير تشوه البلاستيكي والمعالجة الحرارية على السلوك الميكانيكي والكهروكيميائي للبنية الدقيقة للفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ المثبت بالتيتانيوم AISI 316Ti حول تكوين مارتينسيت  $\alpha'$  الناتج عن تشوه البلاستيكي في محلول حامض ( $H_2SO_4$ ) ، وإبراز تأثير حجم حبيبات الأوستنيتي و عنصر التيتانيوم ، وذلك باستخدام تقنيات توصيف مجهرية مختلفة ( الأشعة السينية ، المجهر الضوئي (OM) وإلكترونيات المسح المجهرية (SEM) ) المجهزة بمقياس طيف الأشعة السينية (EDS) ، الكهروكيميائية (قياسات الفولتية والتحليل الطيفي للمقاومة) ، الكهروكيميائية المحلية (SVET و SKP) والميكانيكية (ميكروصلابة والمسافة البادئة النانوية).

تظهر نتائج XRD أن المعالجة الحرارية عند 1100 درجة مئوية لمدة 3 ساعات للفولاذ المقاوم للصدأ AISI 316Ti المتصفح على البارد تؤدي إلى منع تكوين  $\alpha'$ -مغتنسيت ، بسبب ضخامة الحبوب. أظهرت التحليلات الكهروكيميائية المحلية أن تشوه البلاستيكي يزيد من نشاط السطح وأن المعالجة الحرارية تحسن السلوك الكهروكيميائي لمعدلات تشوه عالية.

أخيراً، استخدمنا نهجاً ديناميكياً حرارياً لدراسة تأثير التشوه البلاستيكي على تفاعل سطح فولاذ المستعمل. سمح لنا هذا النهج بتوضيح تأثير الاضطرابات (الكثافة والتوزيع) على تعديل التوازن الحراري الصلب - السائل وكثافة تيار التآكل.

الكلمات المفتاحية: AISI 316Ti ، تشوه البلاستيكي ، المعالجة الحرارية ، الخلع ، نهج الديناميك الحرارية

## Abstract

This thesis aims to study the effect of plastic deformation and heat treatment on the microstructural, electrochemical and mechanical behavior of an austenitic stainless steel stabilized with titanium AISI 316Ti in acidic solution ( $H_2SO_4$ ), and to highlight the effect of austenitic grain size and titanium on the formation of  $\alpha'$ -martensite induced by plastic deformation, and this by the use of different microstructural characterization techniques (X-ray diffraction, optical microscope (OM) and microscopy scanning electronics (SEM) equipped with an X-ray spectrometer (EDS), electrochemical (voltametry and impedance spectroscopy), local electrochemical (SVET and SKP) and mechanical (microhardness and nano-indentation).

XRD results show that heat pretreatment at 1100°C for 3 hours of AISI 316Ti austenitic stainless steel cold-rolled leads to inhibition of  $\alpha'$ -martensite formation, due to grain coarsening.

Local electrochemical analyzes demonstrated that plastic deformation increases surface activity and heat pretreatment improves electrochemical behavior for high deformation ratio.

Finally, we used a thermodynamic approach to study the influence of plastic deformation on the reactivity of the surface of our steel. This approach enables the clarification the effect of dislocations (density and distribution) on the modification of the solid-liquid equilibrium and the corrosion current density.

**Keywords: AISI 316Ti, Plastic deformation, Heat treatment, Dislocation, Thermodynamic approach.**

## **Résumé**

Cette thèse a pour objectif d'étudier l'effet de déformation plastique et de traitement thermique sur le comportement microstructurale, électrochimique et mécanique d'un acier inoxydable austénitique stabilisé au titane AISI 316Ti dans une solution acide ( $H_2SO_4$ ), et de mettre en évidence l'effet de la taille des grains austénitiques et du titane sur la formation de la martensite  $\alpha'$  induite par la déformation plastique, et ce par l'utilisation de différentes techniques de caractérisation microstructurale (Diffraction des RX, Microscope optique (MO) et Microscope électronique à balayage (MEB) équipée d'un spectromètre à rayons X (EDS), électrochimique (voltamétrie et spectroscopie d'impédance), électrochimique locales (SVET et SKP) et mécanique (microdureté et nano-indentation).

Les résultats de DRX montrent que le prétraitement thermique à  $1100^\circ C$  pendant 3 heures de l'acier inoxydable AISI 316Ti laminé à froid conduit à l'inhibition de la formation de martensite  $\alpha'$ , due au grossissement de grains.

Les analyses électrochimiques locales ont démontré que la déformation plastique augmente l'activité de surface et le prétraitement thermique améliore le comportement électrochimique pour des taux déformation élevés.

Finalement, nous avons utilisé une approche thermodynamique pour étudier l'influence de la déformation plastique sur la réactivité de la surface de notre acier. Cette approche nous a permis de clarifier l'effet des dislocations (la densité et la distribution) sur la modification de l'équilibre thermique solide- liquide et de la densité de courant de corrosion.

**Mots clés : AISI 316Ti, Déformation plastique, Traitement thermique, Dislocation, Approchethermodynamique.**

**Confidentielle**