การศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีผ่านความร้อนในลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน

นางสาว กรพินท์ เกษมสันต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-567-601-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012714 วิดาว ๒๕๓๐

A COMPARATIVE STUDY OF HEAT TREATMENTS OF ORTHODONTIC ARCHWIRES

Miss Korapin Kasemsant

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Orthodontics

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-567-601-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีผ่านความร้อนในลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน
โดย	นางสาว กรพินท์ เกษมสันต์
ภาควิชา	ทันตกรรมจัดฟัน
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ สมรตรี วิถีพร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ มนัส สถิรจินดา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณี สุ่มสวัสดิ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ มนัส สถิรจินดา)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วัฒนะ มธุราลัย)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วัชรินทร์ มรรคดวงแก้ว)

..... กรรมการ

(อาจารย์ สมรตรี วิถีพร)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีผ่านความร้อนในลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน
ชื่อนิสิต	นางสาว กรพินท์ เกษมสันต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ สมรตรี วิถีพร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ มนัส สถิรจินดา
ภาควิชา	ทันตกรรมจัดฟัน
ปีการศึกษา	2529

พลสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของกรรมวิธีผ่านความร้อน (Heat Treatment) ต่อการคงรูป (Dimensional Stability) ของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน (Orthodontic Archwire) โดยการเปรียบเทียบระหว่างกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ได้แก่ การอบ การผ่านกระแสไฟฟ้า และการผ่านเปลวไฟ รวมทั้งการเปรียบเทียบระหว่างลวดโลหะผสมสองชนิด ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค (Austenitic Stainless Steel Wire) และลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม (Cobalt-nickle-chromium Alloy Wire) เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงกลวิธีในการบำบัดรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน

วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวอย่างลวดแต่ละชนิดได้มาจากผลิตภัณฑ์ของสองบริษัท ซึ่งผลิตในคราวเดียวกัน กลุ่มตัวอย่างลวดของแต่ละบริษัทแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ละ 30 ตัวอย่าง โดยวิธีสุ่ม เพื่อทำกรรมวิธีผ่านความร้อนตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต และการศึกษาที่ผ่านมา การคงรูป

ของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันวิเคราะห์จากค่าแรงน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันขยายตัวอย่างถาวร 0.5 มิลลิเมตร การทดสอบความแตกต่างระหว่างผลของกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ กระทำโดยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (Oneway ANOVA) ร่วมกับ Posthoc Comparison ตามวิธีของ Scheffé การทดสอบความแตกต่างระหว่างการคงรูปของลวดสองชนิด กระทำโดยสถิติ t-test

สรุปผลการวิจัย

1. ภายหลังการทำกรรมวิธีผ่านความร้อนทุกวิธี ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันสามารถทนต่อแรงได้สูงกว่ากลุ่มควบคุม ที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบให้ค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุด

2. ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันซึ่งดัดจากลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม สามารถทนต่อแรงได้สูงกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค ภายหลังการทำกรรมวิธีผ่านความร้อนทุกวิธี ที่ระดับนัยสำคัญ .05

Thesis Title	A Comparative Study of Heat Treatments of Orthodontic Archwires
Name	Miss Korapin Kasemsant
Thesis Advisor	Smorntree Viteporn
Thesis Co-Advisor	Associate Professor Manas Sterachinda
Department	Orthodontics
Academic Year	1986

Abstract

Purpose of the Study

The purpose of this research is to analyze the effect of heat treatment on dimensional stability of orthodontic archwires by (i) comparing various types of heat treatment -- namely, using oven, electricity, and flame -- and (ii) comparing two kinds of wire material: austenitic stainless steel and cobalt-nickle-chromium alloy. The finding of the study is expected to lead to improvements in the biomechanics of orthodontic treatment.

Method of Study

Samples of each of the two kinds of wire material were drawn from intra-lot products of two separate commercial manufacturing firms. Sample sets based on the products of each such firms were then randomly arranged into four groups of thirty observations each. The heat treatment procedures were as recommended by the relevant manufacturers and previous studies. Dimensional stability of orthodontic archwires was analyzed on the basis of the least force

which could permanently expand an archwire by 0.5 millimetre. The differences among the various types of heat treatment were established using oneway ANOVA and Posthoc Comparison of Scheffé's test. The differences in dimensional stability between the two kinds of wire material were established using the t-test.

Research Results

1. With all the procedures of heat treatment followed in this study, orthodontic archwires could withstand more force as compared to the control group, significantly at the .05 level, while heat treatment by oven yielded the highest means.

2. Cobalt-nickle-chromium orthodontic archwires could withstand more force as compared to austenitic stainless steel archwires in every procedure of heat treatment at the .05 level of significance.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ทางด้านวิชาการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร รองศาสตราจารย์ มนัส สถิรจินดา รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัฒนะ มธุราสัย รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ และคณาจารย์ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการวิจัย

ทางด้านการรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วิรุฬห์ มังคละวิรัช ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ มนัส สถิรจินดา รองผู้อำนวยการศูนย์ฯ และ คุณบรรจงศักดิ์ สนริ้ว รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัชรินทร์ มรรคดวงแก้ว ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ บริษัทเดนเตารุม เยอรมนี บริษัทยูนิเทก และบริษัทออร์มโก สหรัฐอเมริกา สำหรับความอนุเคราะห์เรื่องการทดสอบตัวอย่างลวด การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็น คำแนะนำสำหรับกรรมวิธีผ่านความร้อนซึ่งเหมาะสม และการบริจาคตัวอย่างลวดบางส่วนสำหรับการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยสำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยนี้ รวมทั้งสถาบันบริการคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์ด้านการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ทันตแพทย์ กนก สรเทศน์ สำหรับความกรุณาด้านรูปและสไลด์ประกอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.พสุ พานิชศุภผล สำหรับความกรุณาด้านการแก้ไขบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณกอบกุล ขำแจ้ง ที่กรุณาพิมพ์วิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณผู้มีพระคุณท่านอื่น ๆ ซึ่งมิสามารถกล่าวนามได้หมด

คุณความดีอันเกิดจากการวิจัยนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กรพินท์ เกษมสันต์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

ประโยชน์ของการวิจัย 3

สมมุติฐานของการวิจัย 4

ขอบเขตของการวิจัย 4

ข้อตกลงเบื้องต้น 5

ความไม่สมบูรณ์ของการวิจัย 8

คำจำกัดความ 9

2 วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง 11

ลวดทางทันตกรรมจัดฟัน 11

คุณสมบัติเชิงกลของลวดทางทันตกรรมจัดฟัน 11

ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค 15

ลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม 22

ข้อกำหนดหมายเลข 32 ของสมาคมทันตแพทย์อเมริกัน 27

ข้อกำหนดของมาตรฐานอังกฤษว่าด้วยลวดทางทันตกรรมจัดฟัน 33

หน้า

กรรมวิธีผ่านความร้อน 41

การอบอ่อน 41

การชุบ 45

การชุบแข็งโดยการตกผลึก 45

กรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ 47

กรรมวิธีผ่านความร้อนในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค 48

กรรมวิธีผ่านความร้อนในลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม 58

3 ระเบียบวิธีวิจัย 68

ประชากร 68

กลุ่มตัวอย่าง 68

การรวบรวมข้อมูล 69

ตัวแปรของการวิจัย 72

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 78

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 88

เอกสารอ้างอิง 101

ภาคผนวก ก 108

ภาคผนวก ข 118

ภาคผนวก ค 138

ภาคผนวก ง 141

ภาคผนวก จ 144

ประวัติผู้เขียน 157

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงความแกร่งของพื้นที่หน้าตัดในลวดกลม	13
2	แสดงความแกร่งของพื้นที่หน้าตัดในลวดเหลี่ยม	14
3	แสดงถึงความแกร่งของวัสดุของลวดทางทันตกรรมจัดฟัน	14
4	แสดงส่วนประกอบของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติคชนิด 302 และ 304	16
5	แสดงคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่ถูกยืดเป็นเส้นลวด	20
6	ค่าที่กำหนดสำหรับความเค้นที่จุดครากในลักษณะดัดโค้ง	30
7	ค่าที่กำหนดสำหรับการทดสอบการดัดลวด	30
8	แสดงช่วงของขนาดลวดและความเค้นแรงดึงในลวดซึ่งผ่านการขึ้นรูปเย็นในปริมาณที่สูง	35
9	แสดงถึงความต้านทานต่อการดัดลวดกลับไปกลับมาในลวดซึ่งผ่านการขึ้นรูปเย็นในปริมาณสูง	36
10	แสดงช่วงของขนาดลวดในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งผ่านการขึ้นรูปเย็นในปริมาณสูงมาก	40
11	แสดงความต้านทานต่อการดัดลวดกลับไปกลับมา ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งผ่านการขึ้นรูปเย็นในปริมาณสูงมาก	40
12	แสดงถึงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ของขนาดน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ในลวดเพอร์มาโครม	81
13	แสดงถึงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ของขนาดแรงน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ในลวดนูไบรท์	81

ตารางที่ หน้า

14 แสดงถึงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ของขนาดแรงน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ในลวดอัลจิลอยสีฟ้า 82

15 แสดงถึงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ความแปรปนวน และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ของขนาดแรงน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ในลวดเรมอลอยสีฟ้า 82

16 แสดงถึงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ความแปรปนวน และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ของขนาดแรงน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค และลวดโลหะผสม ระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม 83

17 แสดงถึงการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแรง ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ในลวดซึ่งผลิตโดยแต่ละบริษัท 86

18 แสดงถึงการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแรง ระหว่างลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค และลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม ภายหลังทำกรรมวิธีผ่านความร้อนแต่ละวิธี 87

19 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของโมดูลัสของการยืดหยุ่น ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค และลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม 113

20 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของความเค้นพิสูจน์ที่ 0.1 % ออฟเซต ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมในลวดโลหะไร้สนิมออสเตนนิติค และลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม 114

ตารางที่ หน้า

21 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของความเค้นแรงดึงสูงสุด ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเตาอบ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค และลวดโลหะผสมระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม . 115

22 แสดงกลสมบัติของวัสดุ 128

23-26 แสดงถึงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (C.V.) ของขนาดแรงน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนแบบต่าง ๆ ในลวดเพอร์มาโครม นูไบรท์ อัลจิลอยสีฟ้า และเรมอลอยสีฟ้า เมื่อตัดค่าสังเกตที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดออกไปด้านละ 10 เปอร์เซ็นต์ ... 149-151

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	แสดงถึงลักษณะลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน	7
2	แสดงบทบาทของนิเกิลที่มีต่อโครงสร้างเหล็ก ซึ่งมีโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์	18
3	แสดงถึงการเปรียบเทียบลวดอัลจิลอยสีต่าง ๆ กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเตนนิติค	26
4	แสดงการทดสอบลวดยาว 25.4 โดยใช้ทอร์คมิเตอร์	33
5	แผนภาพแสดงถึงเครื่องมือซึ่งเหมาะสมสำหรับการหาค่าความต้านทานต่อการหักลวดกลับไปกลับมา	39
6	แสดงถึงความเค้นแรงดึงและความอ่อนตัว ซึ่งเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการขึ้นรูปเย็น และการอบอ่อน	43
7	แสดงการเปลี่ยนแปลงของเกรนโลหะที่ถูกเผาในระดับอุณหภูมิต่าง ๆ กัน	43
8	แสดงขนาดเกรนของทองเหลือง ซึ่งผ่านการขึ้นรูปเย็น ให้มีความหนาน้อยลงตามลำดับ และขนาดของเกรนภายหลังการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน	44
9	แสดงกรรมวิธีการชุบแข็งโดยการตกผลึก	46
10	ภาพแสดงความเค้นในลักษณะแรงดึงและแรงกดภายในโลหะ หลังจากถูกขึ้นรูปเย็น	49
11	แสดงถึงความเค้นที่เกิดในลูป กรณีที่ไม่ได้ทำ และทำกรรมวิธีผ่านความร้อน	50
12	ขีดยืดหยุ่นของลวดโค้งซึ่งทดสอบโดยการขยาย อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ต่างกัน	55
13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและช่วงเวลาในการทำกรรมวิธีผ่านความร้อน เพื่อให้ได้ขีดยืดหยุ่นสูงสุด	55
14	แสดงถึงความเค้นและความแข็งที่เพิ่มขึ้นหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในอัลจิลอยที่ทำเป็นแผ่นบาง	60

รูปที่ หน้า

15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าของความเค้นที่จุดคราก และความเค้นสูงสุด จากการทำกรรมวิธีผ่านความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ 63

16 เตาอบเจเลนโกรุ่น 2700 พร้อมกับอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ 70

17 เครื่องเชื่อมด้วยไฟฟ้า พร้อมกับอุปกรณ์ผ่านความร้อน 71

18 แสดงการยึดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ากับขาของอุปกรณ์ผ่านความร้อน และตำแหน่งของอินดิเคตั้งเพสบนลวด 71

19 แสดงถึงตะเกียงซึ่งใช้ในการทำกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเปลวไฟ 73

20 แสดงถึงกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเปลวไฟ 73

21 แสดงสีของลวด ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนโดยเปลวไฟ 74

22 เครื่องมือในการทดสอบการคงรูปของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน 74

23 ขนาดของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันก่อนการทดสอบ 75

24 ขณะทำการทดสอบ 75

25 ขนาดของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน ภายหลังการทดสอบ 76

26 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อน ทั้งสามวิธี ได้แก่ การอบ การผ่านกระแสไฟฟ้า การผ่านเปลวไฟ และกลุ่มควบคุม ในลวดซึ่งผลิตจากบริษัททั้งสี่บริษัท ได้แก่ เพอร์มาโครม นูไบรท์ อัลจิลอยสีฟ้า และเรมอลอยสีฟ้า 84

27 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค และลวดโลหะผสม ระหว่างโคบอลต์ นิเกิล และโครเมียม ภายหลังกรรมวิธีผ่านความร้อนทั้งสามวิธี ได้แก่ การอบ การผ่านกระแสไฟฟ้า และการผ่านเปลวไฟ 85

28 ก ลักษณะและส่วนประกอบของเครื่องมือ UNIVERSAL TESTING DSS-10T

ข ลักษณะของตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้ว

ค ลวดตัวอย่างขณะทำการทดสอบ

ง ลวดตัวอย่างซึ่งขาดเมื่อการทดสอบสิ้นสุดลง 109

รูปที่ หน้า

29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความยาวของลวดที่เปลี่ยนไป ซึ่งบันทึกโดยเครื่องมือ UNIVERSAL TESTING DSS-10T 111

30 แสดงถึงจุดทั้ง 3 จุด ในช่วงยืดหยุ่น ซึ่งใช้คำนวณค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น 116

31 แสดงถึง Fp และ F max ซึ่งใช้ในการคำนวณค่าความเค้นพิสูจน์ และความเค้นแรงดึงสูงสุด 117

32 แสดงลักษณะต่าง ๆ ของแรง 118

33 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความเค้นและความเครียด 120

34 แสดงความสัมพันธ์ของแรงระหว่างอะตอมกับระยะห่างระหว่างอะตอม . 121

35 แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานระหว่างอะตอมกับระยะห่างระหว่างอะตอม 122

36 แสดงเส้นสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด ของเส้นลวดที่เป็นเหล็กเหนียว เมื่อถูกแรงดึง 123

37 เส้นความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของลวดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน ซึ่งเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม 124

38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด 126

39 แสดงถึงเส้นสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่เกิดจากแรงดึง 131

40 การเลื่อนของระนาบอะตอมที่ชิดกัน 132

41 กราฟแสดงการทดสอบความล้าในโลหะ เมื่อได้รับแรงซ้ำ ๆ กัน ในลักษณะดัดโค้ง 134

42 แสดงโครงสร้างผลึก 138

43 แสดงภาพเกรนของทองแดงขยาย 100 เท่า 140