

การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในและ
ปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านใน

นางสาวเยาวเรศ ธงสิบก้า



สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน


คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-031-660-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARATIVE MECHANICAL PROPERTIES BETWEEN
SURFACE - TREATED AND UNTREATED ORTHODONTIC BANDS



Miss Yaowares Thongsibgao

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Orthodontics

Department of Orthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

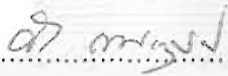
ISBN 974-031-660-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในและปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านใน
โดย นางสาวเยาวเรศ ธงสืบแก้ว
สาขาวิชา ทันตกรรมจัดฟัน
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ

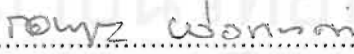
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

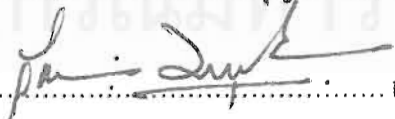

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วิชระ เพชรคุปต์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัฒนระ มธุรสชัย)

เยาวเรศ ธงสิบก้า : การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในและปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านใน.(COMPARATIVE MECHANICAL PROPERTIES BETWEEN SURFACE-TREATED AND UNTREATED ORTHODONTIC BANDS.) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ทพญ. สมรตรี วิถีพร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ, 90 หน้า. ISBN 974-031-660-3.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังดึงวัสดุสูงสุด กำลังดึงประลัย ความเค้นคราก เเปอร์เซ็นต์การยืดและพลังงานแตกหักของปลอกโลหะรัดฟันที่มีการกัดผิวด้านในกับปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่มีการกัดผิวด้านในว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นปลอกโลหะรัดฟันกรามล่าง ข้างขวาขนาดใหญ่ที่สุดซึ่งคัดเลือกมาจาก 2 บริษัท ปลอกโลหะรัดฟันของบริษัทแรกเป็นชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงและชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสง ปลอกโลหะรัดฟันของบริษัทที่สองเป็นชนิดที่ได้รับการเป่าทรายและชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทราย นำปลอกโลหะรัดฟันมาตัดออกแล้วทำการรีดแบนด้วยเครื่องไฮดรอลิค เพรส (Hydrolic press) ด้วยแรง 10 นิวตัน จากนั้นจึงนำไปตัดเป็นรูปแบบมาตรฐานของการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องตัดไวร์คัท (Wire cut) ตรวจปลอกโลหะรัดฟันที่ตัดเป็นรูปแบบมาตรฐานแล้วภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อดูชิ้นงานไม่ให้เกิดการฉีกขาดก่อนที่จะนำมาทดสอบแรงดึง เลือกปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่มีการฉีกขาดจำนวนกลุ่มละ 30 ชิ้น นำไปทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงทั่วไป (Lloyd universal testing machine) เปรียบเทียบความแตกต่างคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในกับชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านในเฉพาะในบริษัทเดียวกันด้วยการใช้สถิติ t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัยพบว่า ปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีค่าเฉลี่ยกำลังดึงวัสดุสูงสุด (635.87 Mpa) ความเค้นคราก (290.40 Mpa) พลังงานแตกหัก (335.25 J/m³) และเปอร์เซ็นต์การยืด (61.85%) สูงกว่าปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการเป่าทรายมีพลังงานแตกหัก (231.60 J/m³) และเปอร์เซ็นต์การยืด (59.10%) น้อยกว่าปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทรายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟันเพื่อทำให้เกิดการยึดติดกับซีเมนต์ได้มากขึ้นมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลบางประการ

ภาควิชา.....ทันตกรรมจัดฟัน..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....ทันตกรรมจัดฟัน..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2544..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4276116032 : MAJOR ORTHODONTICS

KEY WORD: ORTHODONTIC BAND / SURFACE-TREATED AND UNTREATED /

PHOTOETCHED / SANDBLASTED / MECHANICAL PROPERTY

YAOWARES THONGSIBGAO : COMPARATIVE MECHANICAL PROPERTIES

BETWEEN SURFACE - TREATED AND UNTREATED ORTHODONTIC

BANDS. THESIS ADVISOR: PROF. SMORNTREE VITEPORN, THESIS CO-

ADVISOR: ASST. PROF. GOBBOON LOTHONGKUM, Dr.- Ing. 90 pp. ISBN

974-031-660-3.

The purpose of this research was to compare the mechanical properties comprising ultimate tensile strength, fracture strength, yield strength, percentage elongation and toughness of surface-treated bands and those of untreated orthodontic bands. Samples were the biggest size of lower right molar bands drawn from two manufacturing companies. Bands from the first company were photoetched and non-photoetched orthodontic bands. Bands from the second company were sandblasted and non-sandblasted orthodontic bands. Each sample was cut and rolled by Hydraulic press at 10 Newton prior to cutting into the standard form for tensile test by wire cut technique. Each of standard form of band was examined under Stereomicroscope for finding the defect due to wire cut technique. Thirty pieces of the bands in each group were selected by purposive random sampling for tensile test. The aforementioned properties of each band were the recorded by Lloyd universal testing machine. The differences in mechanical properties between the two kinds of band were evaluated by Students t-test at 0.05 significant level.

The results indicate that the photoetched band has significant higher ultimate tensile strength (635.87 Mpa), yield strength (290.40 Mpa), toughness (335.25 J/m³) and percentage elongation (61.85%) than those of the non-photoetched band. Whereas the sandblasted band has significant lower toughness (231.60 J/m³) and percentage elongation (59.10%) than those of non-sandblasted band. In conclusion surface treatment procedure for increasing retention of the band has effects some mechanical properties under tensile test.

Department.....Orthodontics..... Student' s signature..... *Yaowares Thongsibgao*

Field of study.....Orthodontics..... Advisor' s signature *Smorn Tree Viteporn*

Academic year.....2001..... Co-advisor' s signature *Gobboon Lothongkum*



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือทางด้านวิชาการ และการ
คำแนะนำอย่างดียิ่งจากศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงสมรตรี วิถีพร และผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ และขอขอบคุณคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไข
วิทยานิพนธ์

นอกจากนี้ ยังได้ช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากคุณสมฤกษ์ จันทระอัมพร คุณนรา
สุประพัฒน์โกคา คุณนริศรา ส่างอังกาย คุณสุดเขต อิมเหลา และคุณสมชาย เป้าทองผู้ที่มีส่วน
ช่วยเหลือในการเตรียมชิ้นงาน รวมถึงเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ช่วยอำนวยความสะดวก
ความสะดวกในการทำงานเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตปริญญาโทบัณฑิตสาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน และ
เจ้าหน้าที่คลินิกบัณฑิตศึกษากาชาตทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ที่ให้ความร่วมมือที่ดีในการทำงานตลอดมา

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสำหรับการทำวิจัย
ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของบัณฑิตวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกต่างๆ ขอขอบคุณบริษัท Ormco
Corporation และ American Orthodontics Corporation ที่กรุณาอนุเคราะห์ปลดล็อกโลหะรัดฟัน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่สนับสนุนด้านการ
เรียนเป็นอย่างดีตลอดมา และขอขอบคุณทันตแพทย์ธำมณ จารุประกร ทันตแพทย์หญิงวสิษฐีย์
บุญโสธรสถิตย์ และคุณธีรพันธุ์ เจริญศักดิ์ ที่ช่วยเหลือในการทำงานและเป็นกำลังใจในการ
ทำงานตลอดมา

ประโยชน์ที่รับจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน
รวมถึงผู้มีพระคุณที่ไม่สามารถกล่าวถึงได้ทั้งหมด

เยาวเรศ รัชสิบแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
บทที่ 1 บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	3
สมมติฐานของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	5
คำจำกัดความ.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
คุณสมบัติเชิงกลของโลหะ.....	10
ความเค้น.....	10
ความเครียด.....	11
ขีดยืดหยุ่น.....	11
ขีดยืดปฏิกิริยา.....	12
จุดคราก.....	14
ความเค้นคราก.....	14
กำลังดึงวัสดุสูงสุด.....	14
กำลังดึงประลัย.....	14
ความเหนียว.....	15
การแตกหัก.....	15
พลังงานแตกหัก.....	15
พฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงทางกล.....	16

	หน้า
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กกล้าไร้สนิม.....	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
ประชากร.....	21
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	22
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	22
การเตรียมชิ้นงาน.....	22
การทดสอบแรงดึง.....	29
ตัวแปรของการวิจัย.....	30
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	30
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	37
สรุปผลการวิจัย.....	37
อภิปรายผล.....	37
ข้อเสนอแนะ.....	42
รายการอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก.....	47
ภาคผนวก ก.....	48
ภาคผนวก ข.....	54
ภาคผนวก ค.....	58
ภาคผนวก ง.....	68
ภาคผนวก จ.....	79
ภาคผนวก ฉ.....	84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	90

สารบัญตาราง

ณ

ตารางที่

หน้า

1	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ของคุณสมบัติเชิงกลที่วัดได้ในปลอกโลหะรัดฟันชนิดต่างๆ.....	33
2	ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลระหว่างปลอกโลหะรัดฟันชนิด ที่กัดผิวด้วยแสงและปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสง.....	35
3	ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลระหว่างปลอกโลหะรัดฟันชนิด ที่ได้รับการเป่าทรายและปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทราย.....	36
4	ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟันที่อบคลายเครียด ที่อุณหภูมิ 450 กับ 1090 องศาเซลเซียส ณ เวลาต่าง ๆ กัน เปรียบเทียบกับที่ไม่ทำการอบคลายเครียด.....	51
5	ขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันแต่ละชนิด.....	63
6	ขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทราย ซึ่งทำอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 และ 1090 องศาเซลเซียส.....	64
7	ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟัน ชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงจำนวน 30 ชิ้น.....	84
8	ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟัน ชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงจำนวน 30 ชิ้น.....	85
9	ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟัน ชนิดที่ได้รับการเป่าทรายจำนวน 30 ชิ้น.....	86
10	ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟัน ชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทรายจำนวน 30 ชิ้น.....	87

ภาพประกอบ

หน้า

รูปที่ 1	ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด.....	12
รูปที่ 2	แผนภาพความเค้นและความเครียดในวัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงกลต่างกัน.....	13
รูปที่ 3	ลักษณะของวัสดุที่ถูกดึงจนขาด.....	15
รูปที่ 4	บทบาทของนิกเกิลที่มีต่อโครงสร้างเหล็ก ซึ่งมีโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์.....	18
รูปที่ 5	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การขึ้นรูปเย็น ต่อค่าคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 305	20
รูปที่ 6	ลักษณะของปลอกโลหะรััดฟันที่ตัดออก.....	23
รูปที่ 7	เครื่องมือไฮดรอลิก เพรส (Hydraulic press)	23
รูปที่ 8	ขั้นตอนการรีดแบนปลอกโลหะรััดฟัน	24
รูปที่ 9	ขนาดของชิ้นงานที่ย่อส่วนลงมาตามมาตรฐาน.....	25
รูปที่ 10	เครื่องตัดชิ้นงานไวร์คัต.....	26
รูปที่ 11	การตัดปลอกโลหะรััดฟันด้วยเครื่องไวร์คัต.....	27
รูปที่ 12	ลักษณะผิวด้านในของปลอกโลหะรััดฟันกลุ่มต่าง ๆ	28
รูปที่ 13	เครื่องทดสอบแรงทั่วไป	29
รูปที่ 14	กราฟแสดงคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรััดฟัน.....	34
รูปที่ 15 และ 16	ลักษณะการขาดของปลอกโลหะรััดฟันในการใช้งานทางคลินิก	41
รูปที่ 17	เตาอบแบบฟอ.....	48
รูปที่ 18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของกำลังดึงวัสดุสูงสุด แรงเค้นคราก และเปอร์เซ็นต์การยืดของการอบคลายเครียดที่เวลาต่างๆ.....	53
รูปที่ 19	การเปลี่ยนแปลงขนาดเกรนของโลหะที่ถูกเผาในระดับอุณหภูมิต่าง ๆ กัน...	56
รูปที่ 20	เครื่องยืดแผ่นโลหะ	60
รูปที่ 21	เครื่องขัดกระดาษทรายที่มีน้ำไหล.....	60
รูปที่ 22	เครื่องขัดขัดเรียบแบบจานหมุน	61
รูปที่ 23	ลักษณะปลอกโลหะรััดฟันที่ยืดในฟีนอลิกเรซินสีดำ.....	61
รูปที่ 24	กล้องจุลทรรศน์	62
รูปที่ 25	วิธีการลากเส้นแบบสุ่ม 10 เส้นบนรูปภาพเพื่อวัดขนาดเกรน.....	62
รูปที่ 26	โครงสร้างจุลภาคของปลอกโลหะรััดฟันแต่ละชนิด.....	65
รูปที่ 27	โครงสร้างจุลภาคของปลอกโลหะรััดฟันที่ไม่ได้รับการเป่าทราย ที่ทำการอบชุบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	66

ภาพประกอบ

หน้า

รูปที่ 28	โครงสร้างจุลภาคของปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้รับการเป่าทราย ที่ทำการอบชุบที่อุณหภูมิ 1090 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	67
รูปที่ 29	ผลึกรูปลูกบาศก์	69
รูปที่ 30	ผลึกรูปหกเหลี่ยม	69
รูปที่ 31	ลักษณะช่องว่างเทอร์ฮีดรอนและออกทาศีทรอน.....	70
รูปที่ 32	การเคลื่อนที่ของอะตอมในสถานะของแข็ง	71
รูปที่ 33	จุดบกพร่องแบบต่าง ๆ	72
รูปที่ 34	ลักษณะดิสโลเคชัน.....	73
รูปที่ 35	สิ่งบกพร่องที่พื้นผิว.....	74
รูปที่ 36	เส้นสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของโลหะบริสุทธิ์.....	75
รูปที่ 37	ระยะต่าง ๆ ของกระบวนการการแข็งตัวของโลหะ.....	76
รูปที่ 38	การเสียรูปอย่างถาวร.....	78
รูปที่ 39	แผนภาพเซฟเฟอร์ไดอะแกรม.....	80
รูปที่ 40 - 43	ตัวอย่างจากการทดลองเป็นกราฟข้อมูลความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป กับแรงที่ใช้ในการดึงของปลอกโลหะรัดฟันแต่ละชนิด.....	88



ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การรักษาทางทันตกรรมจัดฟันสามารถใช้เครื่องมือได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับความชำนาญของทันตแพทย์จัดฟันและการสบฟันที่ผิดปกติของผู้ป่วย เครื่องมือที่ใช้ในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เครื่องมือทันตกรรมจัดฟันชนิดติดแน่น (Fixed orthodontic appliance)
2. เครื่องมือทันตกรรมจัดฟันชนิดถอดได้ (Removable orthodontic appliance)

ปัจจุบันการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันชนิดติดแน่นนิยมใช้วิธีการติดเครื่องมือทันตกรรมจัดฟันลงบนตัวฟันโดยตรง ซึ่งเรียกว่าไดเรกต์บอนด์ (Direct-bond technique) โดยใช้แอดฮีซีฟเรซิน (Adhesive resin) ยึดแบรACKET (Bracket) ติดกับผิวเคลือบฟัน แต่สำหรับฟันกรามทันตแพทย์จัดฟันยังคงนิยมใช้ปลอกโลหะรัดฟันติดบนตัวฟันด้วยซีเมนต์ (Cement) ข้อบ่งชี้ของการใช้ปลอกโลหะรัดฟันติดบนตัวฟันมีดังนี้ (Proffit และคณะ, 1993)

1. กรณีที่ฟันซี่นั้นต้องรับแรงชนิด Heavy intermittent force เช่น ในฟันกรามบนซี่ที่หนึ่ง ที่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือชนิดเฮดเกียร์ (Headgear) ร่วมด้วย การใช้ปลอกโลหะรัดฟันติดบนตัวฟันจะสามารถต้านแรงจากการใส่และถอดเครื่องมือได้
2. ในกรณีที่ฟันซี่นั้นมีความจำเป็นที่ต้องติดเครื่องมือทั้งทางด้านแก้ม (Buccal) และด้านลิ้น (Lingual) ซึ่งสามารถใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อม (Resistance welding) เครื่องมือติดเข้ากับปลอกโลหะรัดฟันได้โดยตรง ทำให้ง่ายต่อการทำงานในช่องปาก
3. ฟันที่มีลักษณะตัวฟันทางคลินิกสั้น การใช้ปลอกโลหะรัดฟันจะสามารถใส่ลงไปใต้เหงือกได้อีก 2 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถทำให้ตำแหน่งของแบรACKET หรือบัคคัลทิว (Buccal tube) ที่ใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อมเข้ากับปลอกโลหะรัดฟัน อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องได้
4. กรณีที่ฟันได้รับการบูรณะด้วยอมัลกัมขนาดใหญ่หรือครอบฟันโลหะ รวมถึงฟันที่มีลักษณะฟลูออโรซิส (Fluorosis) ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีการไดเรกต์บอนด์ได้ การใช้ปลอกโลหะรัดฟันเป็นอีกทางหนึ่งในการแก้ปัญหา

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล้มเหลวของการยึดปลอกโลหะรัดฟันกับตัวฟัน ได้แก่ การเลือกขนาดของปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่เหมาะสม ลักษณะของพื้นผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟัน ความแข็งแรงของปลอกโลหะรัดฟัน ขั้นตอนในการติดซีเมนต์กับผิวเคลือบฟัน ชนิดของซีเมนต์ ความชื้นในช่องปาก การละลายของซีเมนต์ในน้ำลาย

ความล้มเหลวของการใช้ซีเมนต์ในการยึดปลอกโลหะรัดฟันกับตัวฟัน ซึ่งแบ่งตาม cohesive / adhesive failure ออกเป็น 3 แบบคือ (Noffsinger, Jedrychowski และ Caputy, 1983; Maijer และ Smith, 1988)

1. ความล้มเหลวของแรงยึดระหว่างบริเวณผิวเคลือบฟันกับซีเมนต์ (Tooth-cement interface)
2. ความล้มเหลวของแรงยึดระหว่างบริเวณซีเมนต์กับปลอกรัดฟัน (Cement-band interface)
3. ความล้มเหลวภายในเนื้อซีเมนต์เอง (Within the cement itself)

ความล้มเหลวของการใช้ซีเมนต์ยึดปลอกโลหะรัดฟันกับตัวฟัน ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่แรงยึดระหว่างซีเมนต์กับปลอกโลหะรัดฟันมากกว่าความล้มเหลวของแรงยึดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวเคลือบฟันกับตัวซีเมนต์ (Berkson, 1950; Rich, Leinfelder และ Hershey, 1975; Maijer และ Smith, 1988) ทำให้เกิดการพัฒนาค้นคว้าหาวิธีการที่จะทำให้ปลอกโลหะรัดฟันยึดติดกับซีเมนต์ได้ดีขึ้น วิธีการหนึ่งก็คือการเป่าทราย (Sandblasting) ที่ผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟัน เพื่อให้ผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟันมีความขรุขระมากขึ้น ซึ่งพบว่าสามารถทำให้แรงในการยึดติดมากขึ้น (Millett และคณะ, 1995; Wood, Paleczny, และ Johnson, 1996; Miller และ Zernik, 1996) นอกจากนั้นทางบริษัทต่าง ๆ ก็ได้ผลิตปลอกโลหะรัดฟันที่ทำให้เกิดความขรุขระด้านในด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ กัน เช่น ใช้สารเคมีหรือการใช้แสงกระตุ้นเพื่อทำให้เกิดการกัดผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟัน จากการศึกษาพบว่า ปลอกโลหะรัดฟันที่ผ่านการกัดผิวด้านในมีแรงยึดกับซีเมนต์มากกว่าปลอกโลหะรัดฟันชนิดไม่มีการกัดผิวด้านใน (Tuneberg, 1995)

แต่อย่างไรก็ตาม การพิจารณาเลือกใช้ปลอกโลหะรัดฟัน ควรคำนึงถึงคุณสมบัติเชิงกลอื่น นอกเหนือจากความสามารถในการยึดติดกับตัวฟัน เช่น ความแข็งแรงความทนทานต่อการฉีกขาด การทำให้ผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟันขรุขระด้วยการใช้เคมีหรือแสงกัดผิวโลหะ อาจทำให้คุณสมบัติเชิงกลที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของโลหะลดลง รายงานการวิจัยที่ผ่านมาศึกษาเฉพาะความสามารถในการยึดเกาะของปลอกโลหะรัดฟัน ยังไม่ปรากฏผลงานวิจัยที่กล่าว

ถึงคุณสมบัติอื่น ๆ ของปลอกโลหะรัดฟันที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้านในเพื่อเพิ่มแรงยึด จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะศึกษาถึงคุณสมบัติเหล่านี้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจในการเลือกใช้ปลอกโลหะรัดฟันได้อย่างถูกต้อง และยังเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาต่อ ๆ ไปด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลคือ ความเค้นคราก (Yield strength) กำลังดึงวัสดุสูงสุด (Ultimate tensile strength) กำลังดึงประลัย (Fracture strength) พลังงานแตกหัก (Toughness) และความเหนียว (Ductility) ของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในกับปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านใน

สมมติฐานของการวิจัย

ปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านในมีคุณสมบัติเชิงกลคือ ความเค้นคราก กำลังดึงวัสดุสูงสุด กำลังดึงประลัย พลังงานแตกหัก และความเหนียว แตกต่างจากปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านใน

ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟัน 2 ชนิด คือ ปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในกับปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านของ 2 บริษัท ดังนี้ American Orthodontics Corporation และ Ormco Corporation โดยเลือกใช้ขนาดของปลอกโลหะรัดฟันพินกรามล่างที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่กำหนดมาในแต่ละบริษัท เพื่อจะมีความกว้างและความยาวของปลอกโลหะรัดฟันพอเพียงที่จะสามารถนำมาทดสอบแรงดึงได้ ดังนั้นปลอกโลหะรัดฟันที่เลือกใช้ตามบริษัท รุ่น และขนาด มีดังนี้

ก. บริษัท American Orthodontics Corporation รุ่น MR1 - Lower first molar maximum retention contoured band ขนาด 13 เป็นกลุ่มที่กัดผิวด้านในด้วยแสง (Photo etching)

ข. บริษัท American Orthodontics Corporation รุ่น Master series - Lower first molar master series contoured band ขนาด 13 เป็นกลุ่มที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้านใน (Non-photoetching)

ค. บริษัทOrmco Corporation รุ่น Maximum retention Lower first molar band ขนาด 32 เป็นกลุ่มที่ได้รับการเป่าทรายที่ผิวด้านใน (Sandblasting)

ง. บริษัทOrmco Corporation รุ่น Standard Lower first molars band ขนาด 32 เป็นกลุ่มที่ไม่ได้รับการเป่าทรายที่ผิวด้านใน (Non-sandblasting)

ปลดลอกโลหะรัดฟันทุกชิ้นผ่านการเตรียมชิ้นงานให้มีขนาดของตัวอย่างย่อส่วนลงตามมาตรฐานของ American standard test methods: ASTM (ASTM, 2001:56-76) ก่อนนำมาทดสอบแรงดึง

2. ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาเฉพาะคุณสมบัติเชิงกลพื้นฐานของปลดลอกโลหะรัดฟัน ได้แก่ ความเค้นคราก กำลังดึงวัสดุสูงสุด กำลังดึงประลัย พลังงานแตกหักและความเหนียวของปลดลอกโลหะรัดฟัน ด้วยเครื่องทดสอบแรงทั่วไป (Lloyd universal testing machine รุ่น LR 10K) และเป็นการศึกษาในสภาวะแห้ง

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ปลดลอกโลหะรัดฟันของแต่ละบริษัทนั้น ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งแบ่งตามสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าของสหรัฐอเมริกา (American iron and steel institute: AISI) ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม 305 ซึ่งไม่เปิดเผยรายละเอียดทางเคมีที่แน่นอนของส่วนประกอบโลหะต่าง ๆ ดังนั้นในการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของปลดลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในกับปลดลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านในจึงเปรียบเทียบเฉพาะในบริษัทเดียวกัน เนื่องจากปลดลอกโลหะรัดฟันของบริษัทเดียวกันน่าจะมีส่วนประกอบโลหะที่เหมือนกัน เพียงแต่ต่างกันที่การเปลี่ยนแปลงผิวด้านในของปลดลอกโลหะรัดฟัน ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลที่เกี่ยวกับความเค้นคราก กำลังดึงวัสดุสูงสุด กำลังดึงประลัย และความเหนียวของปลดลอกโลหะรัดฟันที่แตกต่างกัน อนุมานว่ามาจากการกระทำต่อพื้นผิวด้านในของปลดลอกโลหะรัดฟันที่แตกต่างกัน

2. ปลดลอกรัดฟันที่นำมาศึกษานี้ได้ผ่านการขึ้นรูปมาแล้ว จะมีลักษณะโค้งและมีความป่องตามรูปร่างของฟัน ทำให้ต้องนำมารีดแบนและตัดให้ได้รูปร่างตามแบบมาตรฐานที่กำหนดไว้และเพื่อให้มีขนาดของปลดลอกโลหะรัดฟันที่นำมาทดสอบมีขนาดเท่ากัน

3. ค่าความเค้นคราก กำลังดึงวัสดุสูงสุด กำลังดึงประลัยและพลังงานแตกหักของปลอกโลหะรััดฟันจะทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบแรงทั่วไป (Lloyd universal testing machine รุ่น LR 10K) ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ละเอียด 0.001 กิโลนิวตัน เมื่อทดสอบแรงดึงที่ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตร/นาที

4. สำหรับความเหนียวของปลอกโลหะรััดฟันนั้น จะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ของการยืด (Percentage elongation) โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวของปลอกโลหะรััดฟันที่ถูกดึงจนขาด หาดด้วยความยาวเดิม คูณด้วย 100

5. ในการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ที่ไม่ครอบคลุมถึงปัจจัยทางชีวภาพเช่น น้ำลาย แผ่นคราบจุลินทรีย์และแผ่นฟิล์มน้ำลาย เป็นต้น

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะความเค้นคราก กำลังดึงวัสดุสูงสุด กำลังดึงประลัยและพลังงานแตกหักของปลอกโลหะรััดฟันจากการทดสอบด้วยแรงดึงเท่านั้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติเชิงกลหนึ่งของโลหะเนื่องจากเป็นแรงเดียวที่ง่ายต่อการเปรียบเทียบ แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้วแรงที่เกิดในช่องปากเป็นแรงบดเคี้ยวที่เกิดจากแรงดึง แรงอัด และแรงเฉือน ซึ่งอาจรวมถึงความล้าที่สะสมอยู่ในวัสดุ

2. การวิจัยนี้เป็นการวิจัยในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีลักษณะต่างไปจากสภาพในช่องปาก ไม่ครอบคลุมปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความชื้นในช่องปาก น้ำลาย ความเป็นกรดต่างของน้ำลาย ลักษณะแรงบดเคี้ยวของผู้ป่วยแต่ละคน

3. ผลการวิจัยนี้ไม่อาจอ้างอิงไปถึงปลอกโลหะรััดฟันรุ่นอื่นหรือของบริษัทอื่นได้

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. ความเค้น (Stress) หมายถึงแรงต้านทานภายในที่เกิดขึ้นภายในของวัสดุใดวัสดุหนึ่ง เมื่อมีน้ำหนัก แรงดึง แรงอัด หรือแรงอื่น ๆ มากกระทำกับวัสดุนั้น ค่าความเค้นวัดได้จากแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อพื้นที่ที่วัสดุนั้นถูกกระทำ มีหน่วยที่ใช้เป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่คือ นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือเรียกว่าปาสคาล (Pascal)

2. ความเครียด (Stain) หมายถึง ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปหารความยาวเดิมของวัสดุเมื่อมีแรงมากกระทำ

3. กำลังดึงวัสดุสูงสุด (Ultimate tensile strength) หมายถึง หน่วยแรงดึงที่สูงสุดของวัสดุที่สามารถต้านทานได้ เมื่อมีแรงดึงมากกระทำต่อวัสดุนั้น หน่วยของค่ากำลังของแรงดึงใช้หน่วยเดียวกับความเค้น

4. ความเค้นคราก (Yield strength) หมายถึงค่าของแรงดึงที่สูงสุดซึ่งอยู่ในช่วงขีดยืดหยุ่น เป็นค่าของแรงทำให้เกิดการยืดตัวของวัสดุเพิ่มขึ้นทั้ง ๆ ที่ไม่ได้เพิ่มหน่วยแรง จุดครากแสดงให้เห็นถึงจุดสิ้นสุดของการแปรรูปอีลาสติก (Elastic deformation) และจุดเริ่มต้นของการแปรรูปพลาสติก (Plastic deformation) ที่เด่นชัด

กรณีวัสดุไม่มีจุดครากที่แน่นอนบนเส้นกราฟของความเค้นและความเครียด จะเลือกใช้ค่าจุดครากที่ 0.2 เปอร์เซ็นต์ของความเครียดแบบพลาสติกที่เกิดขึ้น

5. ขีดยืดหยุ่น (Elastic limit) หมายถึง ขีดจำกัดของหน่วยแรงสูงสุดที่วัสดุสามารถรับไว้ได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปถาวร และเมื่อนำหน่วยแรงนั้นออก หน่วยการยืดหดตัวก็จะหายหมด วัสดุจะสามารถกลับสู่รูปเดิมได้

6. กำลังดึงประลัย (Fracture strength) หน่วยแรงดึงที่ทำให้วัสดุขาด

7. ความเหนียว (Ductility) หมายถึง คุณสมบัติของวัสดุที่สามารถยืดออกไปได้โดยไม่ขาดเมื่อให้แรงดึงถึงจุดสูงสุด ค่าของความเหนียววัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการยืด (Percentage elongation) คำนี้นหาได้จาก การเปลี่ยนแปลงไปความยาวของปลอกโลหะที่ถูกดึงจนขาดหารด้วยความยาวเดิม คูณด้วย 100

8. พลังงานแตกหัก (Toughness) เป็นพลังงานทั้งหมดที่กระทำให้วัสดุแตกหักหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของความเค้นและความเครียด มีหน่วยเป็นจูลต่อลูกบาศก์เมตร (J/m^3)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟันที่ใช้ในงานทันตกรรมจัดฟัน เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อและใช้ปลอกโลหะรัดฟันในคลินิก และเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในงานวิจัยต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

ปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านในมีคุณสมบัติเชิงกลคือ ความเค้นคราก (Yield strength) กำลังดึงวัสดุสูงสุด (Ultimate tensile strength) กำลังดึงประลัย (Fracture strength) พลังงานแตกหัก (Toughness) และความเหนียว (Ductility) แตกต่างจากปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านใน

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้ปลอกโลหะรัดฟันในงานทันตกรรมจัดฟันได้เกิดขึ้นมานานหลายร้อยปีแล้ว ถึงแม้ว่าในปัจจุบันการใช้ปลอกโลหะรัดฟันสำหรับฟันหน้า ฟันเขี้ยว หรือฟันกรามน้อยจะลดลงไป แต่สำหรับฟันกรามแล้วปลอกโลหะรัดฟันยังคงเป็นที่นิยมอยู่

ปลอกโลหะรัดฟันยึดติดกับตัวฟันด้วยซีเมนต์ เป็นระยะเวลาประมาณ 12-24 เดือน ซึ่งควรจะยึดติดแน่นกับตัวฟันตลอดเวลาของการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน เพราะหากเกิดความล้มเหลวของการยึดของซีเมนต์แล้ว ผิวฟันที่อยู่ใต้ปลอกโลหะรัดฟันก็อาจเกิดการสูญเสียแร่ธาตุ และเกิดฟันผุตามมาได้

ความล้มเหลวของการใช้ซีเมนต์ในการยึดปลอกโลหะรัดฟันกับตัวฟัน ซึ่งแบ่งตาม cohesive / adhesive failure ออกเป็น 3 แบบคือ (Noffsinger, Jedrychowski และ Caputy, 1983; Maijer และ Smith, 1988)

1. ความล้มเหลวของแรงยึดระหว่างบริเวณผิวเคลือบฟันกับซีเมนต์ (Tooth-cement interface)
2. ความล้มเหลวของแรงยึดระหว่างบริเวณซีเมนต์กับปลอกรัดฟัน (Cement-band interface)
3. ความล้มเหลวภายในเนื้อซีเมนต์เอง (Within the cement itself)

ความล้มเหลวของการใช้ซีเมนต์ยึดปลอกโลหะรัดฟันกับตัวฟัน ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่แรงยึดระหว่างซีเมนต์กับปลอกโลหะรัดฟันมากกว่าความล้มเหลวของแรงยึดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวเคลือบฟันกับตัวซีเมนต์ (Berkson, 1950; Rich, Leinfelder และ Hershey, 1975; Maijer และ Smith, 1988) ทำให้เกิดการพัฒนาค้นคว้าหาวิธีการที่จะทำให้ปลอกโลหะรัดฟันยึดติดกับซีเมนต์ได้ดียิ่งขึ้น จากที่เคยใช้ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Zincphosphate cement) ยึดปลอกโลหะรัดฟันกับตัวฟันจึงเปลี่ยนมาใช้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass Ionomer cement) เนื่องจากให้แรงยึดติดมากกว่า (Maijer และ Smith, 1988; Mizrahi, 1988; Stirrups, 1991) และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยังสามารถปล่อยฟลูออไรด์ได้ เป็นการช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุของผิวเคลือบฟัน (Copenhaver, 1986; Maijer และ Smith, 1988)

นอกจากการเพิ่มการยึดปลอกโลหะรัดฟันกับตัวฟัน ด้วยการใช้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แทนซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์แล้ว ยังมีการพัฒนาพื้นผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟันให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นเพื่อเพิ่มแรงยึดให้มากขึ้น

วิธีการเพิ่มพื้นที่ผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟัน (Tuneberg, 1995)

1. การเป่าทรายที่ผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟันเพื่อเพิ่มพื้นที่สำหรับยึดปลอกโลหะรัดฟันกับซีเมนต์
2. การใช้กรดกัด (Acid etching) ที่ผิวด้านในของเหล็กกล้าไร้สนิมก่อนที่จะทำการขึ้นรูปเป็นปลอกโลหะรัดฟัน การใช้กรดกัดนี้จะทำให้เกิดรอยเล็ก ๆ ที่ผิว แต่อาจหายไปขณะที่ทำการขึ้นรูปเป็นปลอกโลหะรัดฟัน เพราะว่าขั้นตอนของการขึ้นรูปทำปลอกโลหะรัดฟันนั้นผิวของปลอกโลหะรัดฟันนั้นต้องมีความแนบชิดกับเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูป ดังนั้นรอยเล็ก ๆ จากการใช้กรดกัดอาจหายไป
3. การใช้เครื่องมือทำหรือกรอเป็นร่อง (Physical groove) ที่ผิวด้านในของเหล็กกล้าไร้สนิมก่อนที่จะทำการขึ้นรูปเป็นปลอกโลหะรัดฟัน แต่เนื่องจากความหนาของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่นำมาทำนั้นมี ความหนาระหว่าง 0.005 นิ้วถึง 0.007 นิ้ว โดยเฉลี่ยประมาณ 0.006 นิ้ว ดังนั้นปัญหาที่ตามมาอาจทำให้เกิดการฉีกขาด หรือเป็นจุดอ่อนหลังจากการขึ้นรูปแล้ว
4. การใช้แสงกัด (Photoetching) ที่ผิวด้านในของเหล็กกล้าไร้สนิมก่อนที่จะทำการขึ้นรูปเป็นปลอกโลหะรัดฟัน ดังเช่นที่เห็นเป็นร่องรูปแบบต่าง ๆ ตามฐานของแบร็กเกต

ปลอกโลหะรัดฟันที่จำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน มีการเพิ่มพื้นที่ผิวอยู่ 2 แบบคือ

1. การเป่าทรายที่ผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟัน โดยการใช้ผงอลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum oxide) เป่าด้วยขนาดและความเร็วต่าง ๆ กันออกไป ตัวอย่างปลอกโลหะรัดฟัน เปลี่ยนแปลงผิวด้านในด้วยการเป่าทรายที่จำหน่ายตามบริษัทต่าง ๆ เช่น ปลอกโลหะรัดฟันของบริษัท Ormco Corporation บริษัท 3M Unitek และบริษัท Dentaurum

2. การใช้แสงกัดผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟัน (Photoetching process) ซึ่งปลอกโลหะรัดฟันชนิดนี้จัดจำหน่ายโดยบริษัท American Orthodontics Corporation

ในปี 1995 Tuneberg ได้อธิบายถึงกระบวนการใช้แสงกัดผิว (Photoetching) ดังนี้คือ เริ่มจากการทำความสะอาดผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมก่อนที่จะนำมาขึ้นรูปเป็นปลอกโลหะรัดฟัน โดยการใช้อัลตราโซนิกทำความสะอาดผิวเหล็กกล้าไร้สนิม ตามด้วยการล้างน้ำไหล และแช่แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมในส่วนของน้ำเพื่อกระตุ้นผิวเหล็กกล้าไร้สนิม นำไปเคลือบผิวด้วยน้ำยาโฟโตริซิสให้เป็นแผ่นบาง ๆ (Aqueous film photoresist) เพื่อเตรียมผิว จากนั้นนำเหล็กกล้าไร้สนิมที่เตรียมผิวไว้วางบนแผ่นแก้วในเครื่องฉายแสง นำไปฉายด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ตตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาโฟโตริซิสที่เลือกใช้ หลังจากผ่านแสงอุลตราไวโอเล็ตเพื่อทำรูปแบบหรือลักษณะรอยบนน้ำยาโฟโตริซิสแล้ว ทิ้งไว้ 15 นาทีก่อนที่จะนำไปผ่านการทำเดฟเวลอปเมนต์ (Development) ขั้นตอนของการทำเดฟเวลอปเมนต์นั้นทำขึ้นเพื่อกำจัดส่วนของน้ำยาโฟโตริซิสที่ไม่ได้รับแสงออกไป โดยการใช้สารละลายคือโซเดียมคาร์บอเนตพ่นลงไปบนน้ำยาโฟโตริซิส ใช้การเป่าลมร้อนและการอบเพื่อให้เกิดมีปฏิกิริยา (Cross-link) กับน้ำยาโฟโตริซิสบนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการกัด (Etching) โดยใช้สารกัดมาตรฐานทั่วไป เช่น เพอร์ริคคลอไรด์กัดลงบนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมตามความลึกที่ต้องการ อัตราเร็วของความลึกที่กัดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ หลังจากผ่านการกัดแล้วนำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมล้างน้ำไหลแล้วทำการเป่าแห้ง จากนั้นจึงพ่นด้วยด่างเอทานอลามีน (Ethanolamine-based) ซึ่งทำให้น้ำยาโฟโตริซิสส่วนเกินจะถูกขจัดออกจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม จากนั้นจึงทำให้แห้งด้วยการเป่าลมร้อน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการกัดผิวด้วยแสงแล้ว จึงนำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นไปทำการขึ้นรูปให้เป็นปลอกโลหะรัดฟันต่อไป ดังนั้นผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟันจะเห็นเป็นร่องรอยถูกแสงกัดดังเช่นที่เห็นตามฐานของเบรกเก็ต ความหนาของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่นำมาทำนั้นมีความหนา ระหว่าง 0.005 นิ้วถึง 0.007 นิ้ว โดยเฉลี่ยประมาณ 0.006 นิ้ว การใช้แสงกัดจะทำให้ผิวโลหะถูกกัดออกไปลึก 0.001 นิ้ว

จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่า ปลอกโลหะรัดฟันที่ผ่านการกัดผิวด้านในด้วยแสงเมื่อนำมาทดสอบแรงยึดระหว่างปลอกโลหะรัดฟันกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ พบว่ามีแรงยึดที่มากกว่าปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ผ่านการกัดผิวด้านในด้วยแสง (Tuneberg, 1995) แต่จากการศึกษาของ Mennemeyer และคณะต่อมาในปี 1999 พบว่าแรงยึดระหว่างปลอกโลหะรัดฟันกับกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างปลอกโลหะรัดฟันที่ผ่านการกัดผิวด้านในด้วยแสงกับปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ผ่านการกัดผิวด้านในด้วยแสงไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อนำปลอกโลหะรัดฟันทั้งสองกลุ่มมาทำการเป่าทรายเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น พบว่าแรงยึดของทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

การทำให้พื้นผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟันขรุขระเพิ่มขึ้นด้วยการเป่าทรายสามารถเพิ่มแรงยึดของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ยึดปลอกโลหะรัดฟันกับตัวฟันได้มากขึ้น (Millett และคณะ, 1995; Wood, Paleczny, และ Johnson, 1996; Miller และ Zernik, 1996) นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มแรงยึดของซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ที่ยึดปลอกโลหะรัดฟันกับตัวฟันได้มากขึ้นด้วย (Wood และคณะ, 1996)

เมื่อนำปลอกโลหะรัดฟันที่ได้รับการเป่าทรายมาใช้กับผู้ป่วยทางคลินิก พบว่าในระยะเวลา 14.5 เดือน การหลุดของปลอกโลหะรัดฟันที่ได้รับการเป่าทรายจะน้อยกว่าปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้รับการเป่าทราย โดยปลอกโลหะรัดฟันที่ได้รับการเป่าทรายเกิดการหลุด 4 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้รับการเป่าทรายมีการหลุดอยู่ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ (Millett และคณะ, 1995) สอดคล้องกับการศึกษาในปี 2001 ของ Hodges และคณะ ที่พบว่าภายในระยะเวลา 944 วัน ปลอกโลหะรัดฟันที่ได้รับการเป่าทรายมีการหลุด 2 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้รับการเป่าทรายที่มีการหลุด 17 เปอร์เซ็นต์ (Hodges, Gilthorpe, และ Hunt, 2001)

คุณสมบัติเชิงกลของโลหะ (เจน รัตนไพศาล, 2533; ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และสาโรช ลูติเกียรติพงศ์, 2538; สมิต, เอฟ. วิลเลียม, 2539; Higgerson, 1973; Davis, Troxell และ Hauck, 1982; Dieter, 1988)

ความเค้น (Stress)

ความเค้น หมายถึงแรงต้านทานภายในที่เกิดขึ้นภายในของวัสดุใดวัสดุหนึ่ง เมื่อนำน้ำหนัก แรงดึง แรงอัด หรือแรงอื่น ๆ มากระทำกับวัสดุนั้น ค่าความเค้นวัดได้จากแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อพื้นที่ที่วัสดุนั้นถูกกระทำ มีหน่วยที่นิยมใช้เป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่

ในระบบ SI ใช้หน่วยนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือปาสคาล (Pascal)

ความเครียด (Strain)

ความเครียด หมายถึง อัตราส่วนของความยาวที่เปลี่ยนแปลงตามทิศทางของแรงที่กระทำต่อความยาวเดิมของวัสดุ

$$\begin{aligned} \text{ความเครียด} &= \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนแปลง}}{\text{ความยาวเดิม}} \\ &= \frac{L - L_0}{L_0} \end{aligned}$$

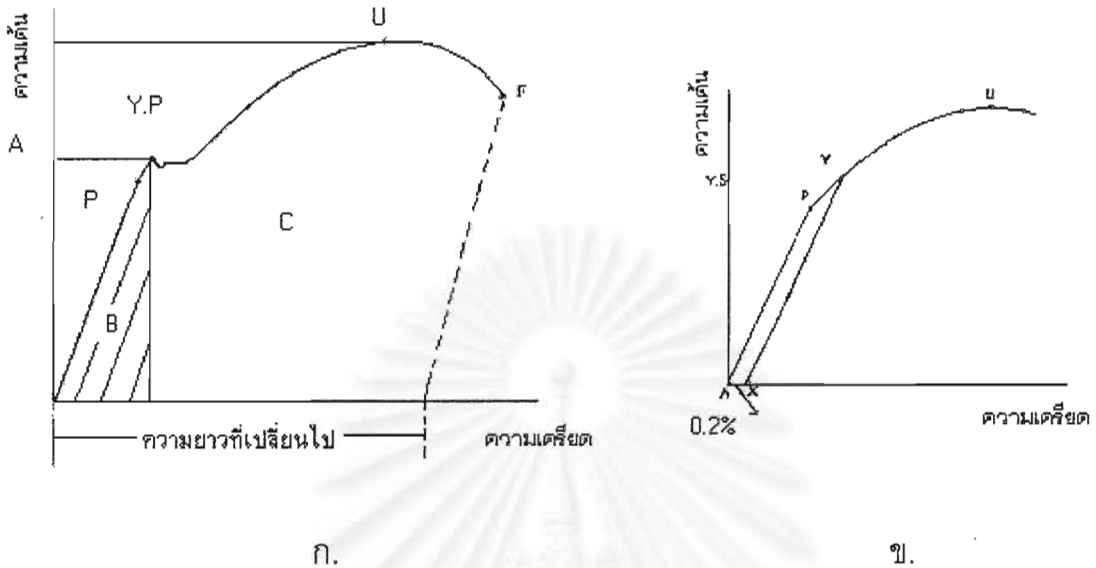
โดยสมมติให้ ความยาวเดิมเท่ากับ L_0 ถูกแรงดึงจนทำให้ความยาวเปลี่ยนแปลงไปเป็น L

ความเค้นค่าหนึ่ง ๆ ทำให้เกิดความเครียดในเนื้อวัสดุต่างชนิดกันได้ไม่เท่ากัน ความแตกต่างนี้เป็นผลจากความแตกต่างในด้านคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุและรูปแบบของแรงที่กระทำต่อวัสดุ ดังนั้นถ้าบันทึกค่าความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นทุก ๆ ขณะ ตั้งแต่เริ่มต้นของการถูกแรงกระทำไปจนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหักโดยการเขียนเป็นกราฟ จะได้แผนภาพของความเค้นและความเครียดซึ่งบอกพฤติกรรมทางกลของวัสดุภายใต้แรงกระทำรูปแบบหนึ่งที่ค่อนข้างชัดเจน (ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยาและสาโรช สฐิติเสถียรพงศ์, 2538:) ดังรูปที่ 1 และ 2

ขีดยืดหยุ่น (Elastic limit)

หมายถึงขีดจำกัดของแรงสูงสุดที่วัสดุสามารถรับไว้ได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปถาวร และเมื่อเอาแรงนั้นออกการยืดหดตัวก็จะหายหมดวัสดุกลับคืนสู่รูปเดิม ในช่วงนี้ความเค้นจะเป็นปฏิภาคกับความเครียด โดยจะเป็นความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงดังสมการที่ 1 เรียกว่ากฎของฮุก (Hook's law)

$$\text{สมการที่ 1} \quad E = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \text{Elastic Modulus}$$



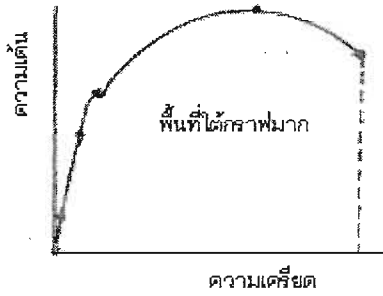
รูปที่ 1 ก. ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดในวัสดุที่มีจุดครากชัดเจน

- P = ชีดยืดปฏิกภาค Y.P. = จุดคราก
- U = กำลังดึงวัสดุสูงสุด F = จุดขาด
- A = ความเค้นคราก B = ช่วงที่วัสดุเกิดการแปรรูปแบบยืดหยุ่น
- C = ช่วงที่วัสดุเกิดการแปรรูปแบบพลาสติก
- B+C = พลังงานแตกหัก

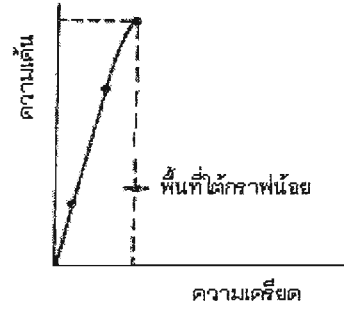
ข. การหาจุดครากที่ 0.2 % ในวัสดุที่ไม่มีจุดครากชัดเจน

ชีดยืดปฏิกภาค (Proportional limit)

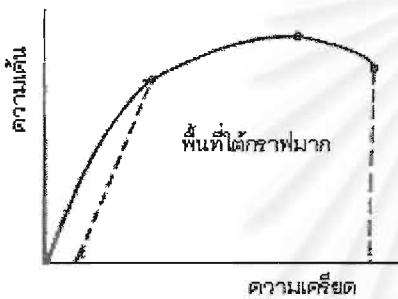
เมื่อเริ่มให้แรงแก่วัสดุตั้งแต่น้อย ๆ แล้วค่อย ๆ เพิ่มให้มากขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าความยาวของวัสดุจะยืดขึ้นคงที่กับแรงที่เพิ่มขึ้นหรือความเครียดเป็นปฏิกภาคโดยตรงกับความเค้น จนกระทั่งถึงจุด ๆ หนึ่ง ความเครียดจะเพิ่มเร็วกว่าความเค้น จุดสุดท้ายที่ความเครียดและความเค้นยังคงเป็นปฏิกภาคโดยตรงนี้ เรียกว่า ชีดยืดปฏิกภาค ดังนั้นชีดยืดปฏิกภาคจึงนิยามได้ว่า คือ หน่วยแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นกับวัสดุ โดยที่ความเค้นและความเครียด ยังคงเป็นปฏิกภาคกันอยู่ตามกฎของฮุก (Hook's law) ชีดยืดปฏิกภาคคือจุด P ดังรูปที่ 1



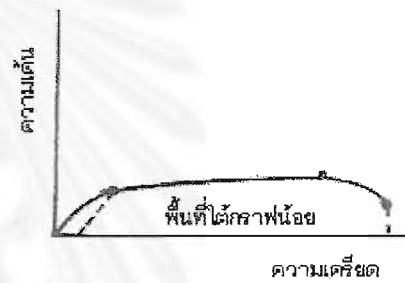
ก.



ข.



ค.



ง.

รูปที่ 2 แผนภาพความเค้นและความเครียดในวัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงกลต่างกัน(Higgerson,1973)

ก. แสดงลักษณะวัสดุที่มีความเหนียวและมีจุดครากที่ชัดเจน

ข. แสดงลักษณะวัสดุที่เปราะ

ค. แสดงลักษณะวัสดุที่มีความเหนียวและมีจุดครากที่ไม่ชัดเจนซึ่งมีทั้งความแข็งแรงและความเหนียว

ง. แสดงลักษณะวัสดุที่มีความเหนียว แต่มีความแข็งแรงต่ำ และมีจุดครากที่ไม่ชัดเจน

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดคราก (Yield point)

เมื่อเพิ่มแรงเล็กน้อยเหนือขีดยืดหยุ่น พบว่าวัสดุนั้นสามารถยืดออกได้มากกว่าปกติ ความเครียดที่เกิดขึ้นไม่เป็นปฏิกิริยากับความเค้น จุดที่ความเค้นทำให้เกิดความเครียดเพิ่มขึ้น ทั้ง ๆ ที่ไม่ได้เพิ่มหน่วยแรง เรียกว่า จุดคราก

จุดครากพบในวัสดุเหนียว เช่น เหล็กเหนียว ดังรูปที่ 1 ก. ในกรณีที่วัสดุมีการยืดตัวได้น้อย แต่ไม่มีจุดคราก เช่น อะลูมิเนียม รูปที่ 1 ข. ก็สามารถหาค่านี้ได้โดยใช้จุดครากที่ 0.2 เปอร์เซ็นต์ของความเครียดแบบพลาสติกที่เกิดขึ้น บนแกนความเค้นจุดนั้นจะเป็นค่าของหน่วยแรงที่จุดคราก ซึ่งเรียกว่า ความเค้นคราก (Yield strength)

ความเค้นคราก (Yield strength)

ความเค้นคราก หมายถึงค่าของแรงดึงที่สูงที่สุดซึ่งอยู่ในช่วงขีดยืดหยุ่น เป็นค่าของแรงทำให้เกิดการยืดตัวของวัสดุเพิ่มขึ้น ทั้ง ๆ ที่ไม่ได้เพิ่มหน่วยแรง ค่าของแรงที่วัสดุเริ่มเกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวร การตอบสนองต่อแรงที่มีค่าน้อยกว่าความเค้นครากจึงเป็นแบบยืดหยุ่น ส่วนการตอบสนองที่มีค่ามากกว่าความเค้นครากจึงเป็นแบบพลาสติก

ความเค้นครากเป็นดัชนีตัวหนึ่งบ่งบอกความแข็งแรงของวัสดุที่มีความเหนียวพอสมควร (ชาญวุฒิ ดั่งจิตวิทยา และ สาโรช สุนิติเกียรติพงศ์, 2538)

กำลังดึงวัสดุสูงสุด (Ultimate tensile strength)

เมื่อเพิ่มแรงแก่วัสดุนั้นเหนือจุดครากไปเรื่อย ๆ ความต้านทานแรงจะเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งซึ่งเป็นจุดสูงสุดที่วัสดุนั้นสามารถทนได้ หน่วยแรงที่จุดนั้นเรียกว่า กำลังดึงวัสดุสูงสุด (จุด U ของรูปที่ 1 ก และ 1 ข) ณ จุดนี้วัสดุจะมีขนาดของพื้นที่หน้าตัดลดลง

เมื่อยังคงให้น้ำหนักต่อไปอีก แรงที่ต้านทานนั้นจะเริ่มลดลงเรื่อย ๆ เพราะพื้นที่หน้าตัดลดลง จนถึงจุดหนึ่ง (F) วัสดุจะขาด (Rupture)

ค่าของแรงกับการยืดตัวหลังจากจุดครากจะไม่เป็นปฏิกิริยากันตามกฎของฮุก

กำลังดึงประลัย (Fracture strength)

คือ ค่าแรงดึงที่ทำให้วัสดุขาดหรือแตกหัก

ความเหนียว (Ductility)

หมายถึง คุณสมบัติของวัสดุที่สามารถยืดออกไปได้โดยไม่ขาด เมื่อให้แรงดึงถึงจุดสูงสุด ค่าของความเหนียววัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการยืด คำนี้นี้หาได้จากการวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวของปลอกโลหะที่ถูกดึงจนขาด ทารด้วยความยาวเดิม คูณด้วย 100

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ของการยืด} &= \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป}}{\text{ความยาวเดิม}} \times 100 \\ &= \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \end{aligned}$$

โดย L_0 คือความยาวเดิมและ L คือความยาวที่ถูกดึงจนขาด

การแตกหัก (Fracture)

เมื่อวัสดุถูกดึงจนขาด รอยขาดแต่ละข้างมีลักษณะเป็นรูปถ้วยปลายหนึ่ง และอีกปลายหนึ่งเป็นรูปกรวย

วัสดุใดมีความเหนียวมาก ปลายรูปกรวยจะมีลักษณะที่ยอดเป็นมุมแหลมมากขึ้น



รูปที่ 3 ลักษณะของวัสดุที่ถูกดึงจนขาด รูป ก. วัสดุที่เปราะ รูป ข. วัสดุที่มีความเหนียวมากจะเห็นรอยคอดบริเวณที่ขาดแสดงว่ามีการยืดตัวของวัสดุ (Higgerson.1973)

พลังงานแตกหัก (Toughness)

พลังงานแตกหักเป็นพลังงานทั้งหมดที่ทำให้วัสดุนั้นแตกหัก จุดแตกหักของวัสดุที่มีความเหนียวเกิดหลังจุดกำลังดึงวัสดุสูงสุด เพราะมีการยืดหดตัวในช่วงพลาสติกตีมาก หน่วยของพลังงานแตกหักต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุนั้นคือ จูลต่อลูกบาศก์เมตร (J/m^3)

พฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงทางกล

วัสดุมีการตอบสนองต่อแรงทางกลทั่ว ๆ ไปอยู่ 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ แบบยืดหยุ่น (Elastic response) และแบบพลาสติก (Plastic response)

เมื่อมีแรงขนาดมากพอมากระทำต่อวัสดุ แล้วทำให้วัสดุหด ยืด หรือ บิดเล็กน้อย ตามทิศทางของแรง แต่พอปล่อยแรงออก วัสดุสามารถหด ยืด หรือ บิดกลับสู่ขนาดดั้งเดิมก่อนถูกแรงกระทำได้ พฤติกรรมลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ความยืดหยุ่นของวัสดุ (Elastic behavior of materials)

ถ้าแรงที่มากระทำต่อวัสดุมีขนาดมาก จนทำให้วัสดุหด ยืด หรือ บิดตัวมากเกินไป ในกรณีนี้เมื่อปล่อยแรงกระทำออก วัสดุจะไม่หด ยืด หรือ บิดตัวกลับสู่รูปร่างเดิมอีก คือเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Permanent deformation) การตอบสนองต่อแรงกระทำที่เกิดในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรนี้ เรียกว่า (Plastic behavior of materials)

หากเพิ่มขนาดของแรงที่มากระทำต่อวัสดุในช่วงพลาสติกให้มากขึ้นเรื่อย ๆ วัสดุจะถูกแปรเปลี่ยนรูปร่างมากขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดเกิดการแตกร้าวและหักพัง ดังนั้นการแตกหักจึงเป็นขีดจำกัดของช่วงพลาสติก

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กกล้าไร้สนิม

โครงสร้างของปลอกโลหะรััดพื้นนั้นถูกทำขึ้นจากเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic stainless steel) ซึ่งถ้าแบ่งตามสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าของสหรัฐอเมริกา (American Iron and Steel Institutes) จัดอยู่ในกลุ่มที่ 305 (AISI 305) ซึ่งประกอบด้วยธาตุดังนี้

- คาร์บอน (Carbon,C) สูงสุด 0.12 %
- แมงกานีส (Manganese,Mg) สูงสุด 2.0 %
- ฟอสฟอรัส (Phosphorus,P) สูงสุด 0.045 %
- ซัลเฟอร์ (Sulphur,S) สูงสุด 0.03 %
- ซิลิกอน (Silicon,Si) สูงสุด 1.0%
- โครเมียม (Chromium, Cr) 17.0-19.0%
- นิกเกิล (Nickel,Ni)10.5-13.0%

ธาตุซึ่งเป็นส่วนประกอบของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก และมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ เหล็ก โครเมียม นิกเกิล และคาร์บอน

เหล็กบริสุทธิ์จะมีความแข็ง (Hardness) และความเหนียว (Ductility) ใกล้เคียงกับทองแดง คือสามารถขึ้นรูปได้ง่าย แต่มีอำนาจทนต่อการกัดกร่อนต่ำมาก และเป็นสนิมง่าย

โครเมียม เมื่อผสมในเหล็กคาร์บอน ในปริมาณไม่น้อยกว่า 11.5 เปอร์เซ็นต์จะทำให้เกิดชั้นบาง ๆ ของโครเมียมออกไซด์ (Chromiumoxide) ที่ผิวเหล็กกล้า ทำหน้าที่กั้นไม่ให้ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับเนื้อเหล็กต่อต้านการติดสี (Tarnish) และการกัดกร่อน (Corrosion)

นิกเกิล เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติอ่อนตัว (Ductile) เพิ่มความแข็งแรง (Strength) ต่อต้านการกัดกร่อน และลดอุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะผสม

คาร์บอน เป็นธาตุที่ผสมลงไปในเหล็กบริสุทธิ์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรง แต่ลดความสามารถในการตีแผ่

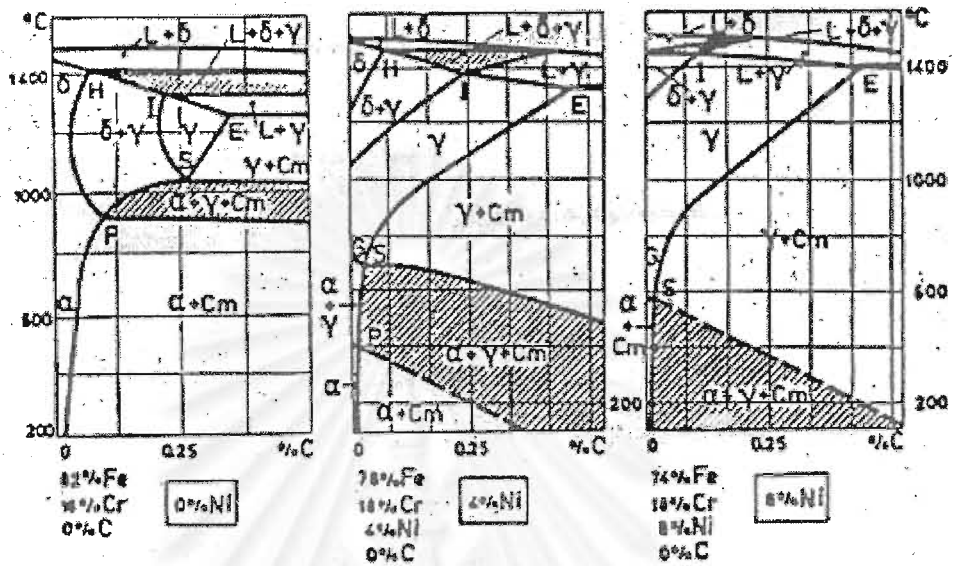
แมงกานีสและซิลิกอนทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันไม่ให้โลหะผสมซึ่งกำลังหลอมเหลวรวมตัวกับออกซิเจน โดยกำจัดก๊าซออกซิเจนออกจากเหล็กในขณะที่หลอมเหลว และจะเติมธาตุทั้งสองก่อนเทเหล็กหลอมเหลวลงในแบบหล่อ

เนื่องจากโครงสร้างจุลภาคมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิม การผสมธาตุต่างๆในเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมออกสเตนนิติกต้องอาศัย แผนภูมิสมดุลย์กึ่งธาตุสองตัว (Pseudo Binary Equilibrium Diagram) คือธาตุโครเมียมและนิกเกิล โดยศึกษาโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงเมื่อส่วนผสมของโครเมียมและนิกเกิลในเหล็กเปลี่ยนแปลง (มนัส สติริจินดา อ้างถึงใน กรพินท์ เกษมสันต์, 2530: 18)

บริเวณต่าง ๆ ที่น่าสนใจในแผนภูมิดังกล่าว ได้แก่

1. α มีวัฏภาค (Phase) ที่เรียกว่าเฟอร์ไรท์ เหล็กจะมีโครงสร้างเป็นแบบลูกบาศก์ ซึ่งมีอะตอมอยู่ตรงกลาง
2. γ มีวัฏภาคที่เรียกว่าออสเตนไนท์ เหล็กจะมีโครงสร้างเป็นแบบลูกบาศก์ ซึ่งมีอะตอมอยู่ที่ผนัง
3. δ มีวัฏภาคที่เรียกว่าเดลตา เหล็กจะมีโครงสร้างเป็นแบบลูกบาศก์ ซึ่งมีอะตอมอยู่ตรงกลาง เหมือนกับโครงสร้างวัฏภาค α

4. Cm มีวิวัฒนาการที่เรียกว่าซีเมนไตต์ เป็นสารประกอบระหว่างเหล็กกับคาร์บอน มีสูตรเป็น Fe₃C



รูปที่ 4 บทบาทของนิเกิลที่มีต่อโครงสร้างเหล็ก ซึ่งมีโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจากธาตุนิเกิลเป็นธาตุที่มีอิทธิพลทำให้ออสเทนไนต์มีเสถียรภาพ และโครเมียมเป็นธาตุที่มีผลตรงข้าม กล่าวคือ มีอิทธิพลทำให้เฟอร์ไรต์มีเสถียรภาพ ดังนั้นผลของธาตุทั้งสองจึงหักล้างกัน ถ้าผลของนิเกิลรุนแรงกว่า จะสามารถทำให้ได้โครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อมีปริมาณนิเกิลสูงถึง 8 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4 ธาตุที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคคล้ายนิเกิลได้แก่ คาร์บอน แมงกานีส และไนโตรเจน ส่วนธาตุที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคคล้ายโครเมียมได้แก่ โมลิบดีนัม อะลูมิเนียม ซิลิกอน

เนื่องจากในเหล็กทั่ว ๆ ไปจะมีคาร์บอนผสมอยู่ เมื่อผสมโครเมียมลงไป โครเมียมเป็นธาตุที่รวมกับคาร์บอนได้ดี ทำให้เกิดโครเมียมคาร์ไบด์ ด้วยเหตุนี้ปริมาณของโครเมียม ในเหล็กจะลดลงต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ (ถ้าผสมโครเมียมเพียง 12 เปอร์เซ็นต์) ทำให้เหล็กไม่มีคุณสมบัติด้านทานการเป็นสนิมได้ โดยทั่วไปจะผสมโครเมียมในปริมาณ 15-18 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้สูงกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ แม้จะมีโครเมียมบางส่วนรวมกับคาร์บอน แต่ปริมาณโครเมียมในเนื้อเหล็กก็ยังไม่ต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์

โครเมียมคาร์ไบด์ส่วนใหญ่ จะเกิดอยู่ตามขอบเกรนในช่วงอุณหภูมิ 500 - 1000 องศาเซลเซียส ดังนั้นอาจทำให้เนื้อของเหล็กบริเวณขอบเกรนมีโครเมียมต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์

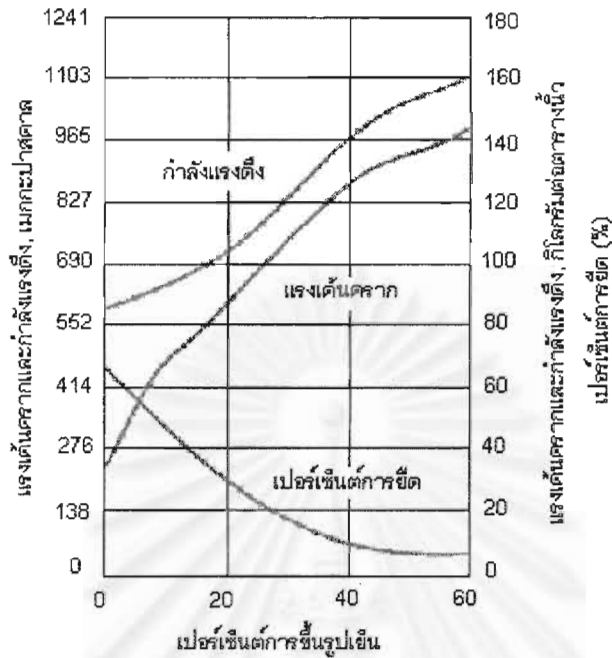
เนื่องจากโครเมียมบางส่วนถูกดึงไปรวมกับคาร์บอน เหล็กก็จะเกิดการกัดกร่อนได้บริเวณของเกรน (Intergranular Corrosion) การกัดกร่อนจะกินลึกลงไป เกรนจะหลุดออกไปที่ละเกรน

คุณสมบัติเชิงกลบางประการของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 305 ที่ได้ทำออกมาเป็นแผ่นบาง ๆ โดยผ่านการอบอ่อน (Anneal) แล้ว จะมีแรงดึงสูงสุด 480 MPa (70 ksi) มีแรงค้ำครากที่ 0.2 เปอร์เซนต์เป็น 170 MPa (25 ksi) และมีเปอร์เซนต์ของการยืดเป็น 40 เปอร์เซนต์ (Davis และคณะ, 1996:26)

โดยทั่วไปเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 305 (Principal metals [online]) นิยมนำมาใช้ในงานที่ทำการขึ้นรูปแบบดีพดรออิง (Deep drawing) ซึ่งเป็นการแปรรูปให้โลหะมีรูปทรงต่าง ๆ ถ้าองค์ประกอบที่เป็นธาตุникเกิดมีปริมาณมากขึ้นจะทำให้เกิดความแข็งจากการขึ้นรูปเย็น (Work hardening) ได้ต่ำ ดังนั้นจึงสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปได้ดี เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ไม่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก ทำให้สามารถใช้กับเครื่องมือไฟฟ้าได้

สำหรับการต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion resistance) เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 305 สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนที่บรรยากาศ อาหาร สารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ สารอินทรีย์ (Organic chemical) และสารอนินทรีย์ (Inorganic chemical) หากให้ความร้อนแก่เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 305 ที่อุณหภูมิระหว่าง 800°F (425°C) ถึง 1600°F (900°C) และทำให้เย็นลงช้า ๆ ภายใต้อุณหภูมิช่วงนี้ อาจเกิดการตกผลึกของสารประกอบโครเมียมคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนได้ ซึ่งจะทำให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนลดลง เพื่อทำให้มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนที่พอเหมาะ พื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมควรทำให้สะอาดปราศจากสารปนเปื้อนและควรจะทำให้มีลักษณะผิวที่ต้านทานต่อการกัดกร่อน

การขึ้นรูปเย็น (Cold working) ทำให้ความแข็งและความแข็งแรงของโลหะหรือโลหะผสมมากขึ้น (เจน รัตน์ไพศาล, 2533; สมิต เฉฟ วิลเลียม, 2539; มนัส สติรจินดา, 2540; Peckner และ Bernstein, 1977; Davis และคณะ, 1996; Principal metals [online]) ดังรูปที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าเปอร์เซนต์การขึ้นรูปเย็นของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 305 เพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังแรงดึง และความค้ำครากเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซนต์การยืดจะลดลง แต่เนื่องจากส่วนประกอบนิกเกิลในเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 305 นี้มีปริมาณมากจะทำให้เกิดความแข็งจากการขึ้นรูปเย็นได้ต่ำ ดังนั้นจึงสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปได้ดี ส่วนการอบคลายเครียดไม่สามารถเพิ่มความแข็งผิวและกำลังความแข็งแรงได้



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การขึ้นรูปเป็นต่อค่าคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 305 (Davis และคณะ, 1996:6)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร

ประชากรเป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในกับปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านในมี 2 บริษัทได้แก่ American Orthodontics Corporation และ Ormco Corporation ซึ่งจำหน่ายในเดือนมิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ. 2544

กลุ่มตัวอย่างเป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในกับปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านในจำนวนทั้งหมด 120 ชิ้น ปลอกโลหะรัดฟันทั้งสองชนิดนี้ได้มาจาก 2 บริษัท คือ Ormco Corporation และ American Orthodontics Corporation ซึ่งกลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยเจาะจงบริษัทผู้ผลิต และเจาะจงใช้ปลอกโลหะรัดฟันขนาดใหญ่ที่สุดในแต่ละบริษัท เพื่อให้ปลอกโลหะรัดฟันนั้นมีความกว้างและความยาวพอเพียงที่จะสามารถนำมาเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบได้ ดังนั้นมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มใช้ปลอกโลหะรัดฟันจำนวน 30 ชิ้น ปลอกโลหะรัดฟันที่เลือกใช้ตามบริษัท รุ่น และขนาด มีดังนี้

1. บริษัท American Orthodontics Corporation รุ่น MR1 - Lower first molar maximum retention contoured band ขนาด 13 เป็นกลุ่มที่กัดผิวด้านในด้วยแสง (Photo etching)
2. บริษัท American Orthodontics Corporation รุ่น Master series - Lower first molar master series contoured band ขนาด 13 เป็นกลุ่มที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้านใน (Non-photoetching)
3. บริษัท Ormco Corporation รุ่น Maximum retention Lower first molar band ขนาด 32 เป็นกลุ่มที่ได้รับการเป่าทรายที่ผิวด้านใน (Sandblasting)
4. บริษัท Ormco Corporation รุ่น Standard Lower first molars band ขนาด 32 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ได้รับการเป่าทรายที่ผิวด้านใน (Non-sandblasting)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือทดสอบแรงทั่วไป (Lloyd universal testing machine รุ่น LR 10K) ดังรูปที่ 13 เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุโดยวัดค่าเป็นแรง ซึ่งมีหน่วยของค่ากำลังแรงตั้งเป็นนิวตัน ส่วนประกอบของเครื่องมือมีดังนี้

- ก. Fixed head เป็นส่วนที่ใช้ในการจับชิ้นงานในการทดลอง
- ข. Cross head เป็นส่วนของเครื่องมือซึ่งเคลื่อนที่ และทำให้เกิดแรงดึงต่อวัสดุ มีน้ำหนักในหน่วยออกแรง (Load cell) ขนาด 1 กิโลนิวตัน ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที
- ค. Pneumatic grip คือส่วนของเครื่องมือที่ทำหน้าที่ในการจับชิ้นงานของ Fixed head และ Cross head

2. เครื่องมือที่ใช้สำหรับปริดบล็อกโลหะรััดฟันชนิดไฮดรอลิก เพรส (Hydraulic press) (T.M.C. model RP.60, T.M.C. Industrial Co.LTD.) ดังรูปที่ 7

3. เครื่องมือตัดชิ้นงานชนิดไวร์คัท (wire cut) (Robofil 300, Charmilles Technologies) ดังรูปที่ 10 เป็นเครื่องมือที่สามารถตัดชิ้นงานขนาดใหญ่สุดถึง 850 x 500 mm. เครื่องตัดชนิดนี้สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทาง โดยใช้คำสั่งคอมพิวเตอร์ G-code M-code ในการเคลื่อนที่ของเครื่องตัด และใช้กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ในการตัด

4. กล้องจุลทรรศน์ รุ่น SZH10-141 เพื่อตรวจดูชิ้นงานหลังจากผ่านการตัดแล้ว ว่าไม่มีการฉีกขาดก่อนที่จะนำไปทดสอบแรงดึง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การเตรียมชิ้นงาน

นำบล็อกโลหะรััดฟันของบริษัท Ormco Corporation และ American Orthodontics Corporation ชนิดที่มีการกัดผิวด้านในและชนิดไม่มีการกัดผิวด้านใน จำนวนทั้งหมด 120 ชิ้น มาตัดดอก หลังจากที่ได้ตัดดอกแล้วจะมีลักษณะโค้งนูน ดังรูปที่ 6 จึงนำไปปริดแบนด้วยเครื่องมือไฮดรอลิก เพรส (Hydraulic press) (T.M.C. model RP.60, T.M.C. Industrial Co.LTD.) ด้วยแรงอัด 10 นิวตัน ดังรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 6 ลักษณะของปลอกโลหะวัดพื้นที่ตัดออกซึ่งมีความโค้งนูนก่อนนำมาวัดแบน



รูปที่ 7 เครื่องมือไฮดรอลิก เพรส (Hydraulic press) ที่ใช้ในการวัดแบนปลอกโลหะวัดพื้นที่



ก.



ข.



ค.



ง.

รูปที่ 8 ขั้นตอนการวัดแบนบล็อกโลหะวัดพื้น

ก. นำบล็อกโลหะวัดพื้นที่ตั้งแล้วซึ่งมีความโค้งนูนวางลงบนแผ่นโลหะของเครื่องมือไฮดรอลิก เพรส

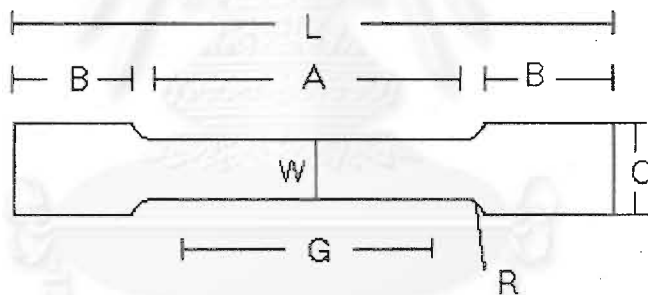
ข. นำแผ่นโลหะอีกชิ้นมาวางทับ

ค. หมุนหัววัดลงมากับบนแผ่นโลหะ เพื่อให้บล็อกโลหะวัดพื้นแบน

ง. แรงที่ใช้ในการอัดเพื่อทำให้เกิดการวัดแบน 10 นิวตัน.

จากนั้นกำหนดขนาดของปลอกโลหะรัดพื้นบนคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 9 ดังนี้

- G - คือความยาวในระยะที่วัด (Gage length) กำหนดให้มีความยาว 8 มิลลิเมตร
- W - คือความกว้างของชิ้นงาน (Width) กำหนดให้มีความกว้าง 2 มิลลิเมตร
- L - คือความยาวทั้งหมดของชิ้นงาน (Over all length) กำหนดให้มีความยาว 32 มิลลิเมตร
- A - คือความยาวในช่วงกว้าง 2 มิลลิเมตร (Length of reduced section) กำหนดให้มีความยาว 10 มิลลิเมตร
- B - คือความยาวของส่วนที่เครื่องมือจับชิ้นงาน (Length of grip section) กำหนดให้มีความยาว 10 มิลลิเมตร
- C - คือความกว้างของส่วนที่เครื่องมือจับชิ้นงาน (Width of grip section) กำหนดให้มีความกว้าง 3 มิลลิเมตร
- R - คือรัศมีของส่วนโค้งจากความกว้างของส่วนที่เครื่องมือจับชิ้นงานไปยังความกว้างของชิ้นงาน ในระยะที่ลดความกว้างลง (Radius of fillet) กำหนดให้มีรัศมีอย่างน้อย 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 9 ขนาดของชิ้นงานที่ย่อส่วนลงมาจากมาตรฐานของ ASTM (ASTM, 2001:56-76)

จากนั้นนำชิ้นงานที่รีดแบนแล้วไปยึดติดกับส่วนจับของเครื่องตัดชิ้นงานไวร์คัต (Robofil 300, Charmilles Technologies) ดังรูปที่ 11 เดินเครื่องตัดตามระบบคำสั่งคอมพิวเตอร์ G-code M-code โดยใช้กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ในการตัดให้ได้ขนาดชิ้นงานตามที่กำหนดและมีน้ำเป็นตัวระบายความร้อน



สถาบันวิจัยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 10 เครื่องตัดชิ้นงานไวร์คัต (Wirecut) (Robofil 300,Charmilles Technologies)



ก.



ข.



ค.



ง.

รูปที่ 11 การตัดบล็อกโลหะวัดพื้นด้วยเครื่องไวร์คัต

ก. นำบล็อกโลหะวัดพื้นที่ยึดแบบแล้วยึดติดกับส่วนจับของเครื่องไวร์คัต (Wirecut)

ข. นำส่วนจับชิ้นงานที่ยึดบล็อกโลหะวัดพื้นแล้วเข้าไปติดกับตัวเครื่องไวร์คัต

ค. และ ง. ขณะที่ทำการตัดจะมีน้ำเป็นตัวระบายความร้อน

ตรวจสอบปลอกโลหะรัดฟันทุกชิ้นที่ผ่านการตัดแล้วภายใต้กล้องจุลทรรศน์รุ่น SZH10-141 ที่กำลังขยาย 70 เท่า โดยดูลักษณะพื้นผิวของปลอกโลหะรัดฟันแต่ละชนิด ดังรูปที่ 12 และตรวจดูชิ้นงานหลังจากผ่านการตัดแล้วว่าจะไม่มีการฉีกขาดของปลอกโลหะรัดฟันก่อนที่จะนำไปทดสอบแรงดึง



ก.



ข.



ค.



ง.

รูปที่ 12 ลักษณะพื้นผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟันกลุ่มต่าง ๆ ขยาย 70 เท่า

- ก. ลักษณะพื้นผิวของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสง
- ข. ลักษณะปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสง
- ค. ลักษณะปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่เป่าทราย
- ง. ลักษณะปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่เป่าทราย

2. การทดสอบแรงดึง

จากนั้นนำปลอกโลหะวัดฟันมาทดสอบแรงดึง โดยนำปลอกโลหะวัดฟันเตรียมไว้ไปยึดติดกับ Fixed head และ Cross head ของเครื่องมือทดสอบแรงทั่วไป (Lloyd universal testing machine รุ่น LR 10K) ดังรูปที่ 13 ปรับให้เครื่องมือ Fixed head และ Cross head ตรงกันแนวตั้ง เพื่อให้แรงดึงที่กระทำกับปลอกโลหะวัดฟันอยู่ในทิศเดียวกัน เดินเครื่องให้ Cross head เคลื่อนที่ขึ้น โดยใช้ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่ากำลังดึงสูงสุด(Ultimate tensile strength) กำลังแรงดึงซึ่งทำให้ชิ้นงานขาด (Fracture strength) ความเค้นคราก (Yield strength) พลังงานแตกหัก (Toughness) และความยาวที่เปลี่ยนแปลงของปลอกโลหะวัดฟันที่ถูกดึงจนขาดในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง นำค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การยืดซึ่งจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเหนียวได้



ก.



ข.

รูปที่ 13 ก. เครื่องทดสอบแรงทั่วไป (Lloyd universal testing machine รุ่น LR 10K)

ข. ลักษณะการจับชิ้นงานที่ยึดติดกับ Fixed head และ Cross head

เนื่องจากค่าแรงที่วัดโดยเครื่องทดสอบแรงทั่วไปมีหน่วยเป็น นิวตัน แต่ความเค้นคือ แรงต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นในการหาความเค้นคราก กำลังดึงสูงสุด และกำลังดึงประลัย จึงต้องคำนวณให้ได้แรงต่อหน่วยพื้นที่ โดยนำพื้นที่ของปลอกโลหะรัดฟันที่ตั้งฉากกับแรงดึงมาหาร ปลอกโลหะรัดฟัน 3 ชนิด คือ ปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านในด้วยแสง ชนิดที่มีการเป่าทรายและชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในจะถูกหารด้วย 3×10^{-7} ตารางเมตร (เนื่องจากมีความกว้าง 2 มิลลิเมตร และหนา 0.15 มิลลิเมตร) ส่วนปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในด้วยแสงจะถูกหารด้วย 2.5×10^{-7} ตารางเมตร (เนื่องจากมีความกว้าง 2 มิลลิเมตร และหนา 0.125 มิลลิเมตร เพราะมีส่วนที่ถูกกัดด้วยแสงออกไปอีก 0.025 มิลลิเมตร) ฉะนั้น หน่วยที่คำนวณได้คือ นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งก็คือ ปาสคาล ส่วนพลังงานแตกหักที่วัดได้จากเครื่องทดสอบแรงทั่วไปมีหน่วยเป็น นิวตันคูณ 10^{-3} เมตร นำความยาวเริ่มต้นคือ 8×10^{-3} เมตรและพื้นที่หน้าตัดของปลอกโลหะรัดฟันแต่ละชนิดไปหารก็จะได้หน่วย จูลต่อลูกบาศก์เมตร

ความเหนียว คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งหมดหลังจากวัสดุขาดหารด้วยความยาวเดิม ความยาวที่กำหนดในช่วงเริ่มต้นคือ 8×10^{-3} เมตร เมื่อนำมาคูณด้วย 100 จึงเป็นเปอร์เซ็นต์การยืด

ตัวแปรของการวิจัย

1. ตัวแปรอิสระ (Independent variables) คือ ชนิดของปลอกโลหะรัดฟัน ได้แก่ ปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในกับปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านในของ 2 บริษัท ได้แก่ Ormco Corporation และ American Orthodontics Corporation
2. ตัวแปรตาม (Dependent variables) คือ ขนาดของความเค้นคราก กำลังดึงสูงสุด กำลังดึงประลัย พลังงานแตกหัก และความเหนียวซึ่งพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การยืด

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. หาค่าเฉลี่ย (\bar{X}), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.), และสัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.) ของความเค้นคราก กำลังดึงสูงสุด กำลังดึงประลัย พลังงานแตกหักและความเหนียวของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในกับปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านใน
2. เปรียบเทียบความแตกต่างของความเค้นคราก กำลังดึงสูงสุด กำลังดึงประลัย พลังงานแตกหักและความเหนียวของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในกับปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านในบริษัทเดียวกัน โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Student t- test (Two tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์

ผลการทดสอบแรงดึงของปลอกโลหะรััดพื้นชนิดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1 และรูปกราฟที่ 14 พบว่า ปลอกโลหะรััดพื้นชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีค่าการทดสอบต่าง ๆ ดังนี้

ค่าเฉลี่ยกำลังดึงวัสดุสูงสุดคือ 635.87 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 26.74 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 4.20

ค่าเฉลี่ยของกำลังดึงประลัยคือ 336.34 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 172.11 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 51.17

ค่าเฉลี่ยของความเค้นครากคือ 290.40 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 36.89 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 12.70

ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การยืดซึ่งแสดงถึงความเหนียวของปลอกโลหะรััดพื้นชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงคือ 61.85 % ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.19 % และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 8.39

ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักคือ 335.25 จูลต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 38.78 จูลต่อลูกบาศก์เมตร และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 11.57

ส่วนผลการทดสอบแรงดึงของปลอกโลหะรััดพื้นชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีค่าการทดสอบต่าง ๆ เป็นดังนี้

ค่าเฉลี่ยกำลังดึงวัสดุสูงสุดคือ 487.62 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 15.41 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 3.16

ค่าเฉลี่ยของกำลังดึงประลัยคือ 265.23 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 160.31 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 60.44

ค่าเฉลี่ยของความเค้นครากคือ 194.22 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 27.30 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 14.06

ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การยืดซึ่งแสดงถึงความเหนียวของวัสดุคือ 58.08 % ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6.22 % และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 10.73

ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักคือ 229.96 จูลต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 29.22 จูลต่อลูกบาศก์เมตร และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 12.71

ผลการทดสอบแรงดึงของปลอกโลหะรัดฟันชนิดซึ่งได้รับการเป่าทรายที่ผิวด้านใน มีค่าการทดสอบต่าง ๆ เป็นดังนี้

ค่าเฉลี่ยกำลังดึงวัสดุสูงสุดคือ 451.36 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 16.63 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 3.68

ค่าเฉลี่ยของกำลังดึงประลัยคือ 345.64 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 90.35 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 26.14

ค่าเฉลี่ยของความเค้นครากคือ 222.38 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 38.05 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 77.11

ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การยืดซึ่งแสดงถึงความเหนียวของวัสดุคือ 59.13 % ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.55 % และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 6.00

ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักคือ 231.60 จูลต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 16.13 จูลต่อลูกบาศก์เมตร และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 6.96

ผลการทดสอบแรงดึงของปลอกโลหะรัดฟันชนิดซึ่งไม่ได้รับการเป่าทรายที่ผิวด้านใน มีค่าการทดสอบต่าง ๆ เป็นดังนี้

ค่าเฉลี่ยกำลังดึงวัสดุสูงสุดคือ 453.07 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 25.34 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 5.59

ค่าเฉลี่ยของกำลังดึงประลัยคือ 338.20 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 68.83 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 20.35

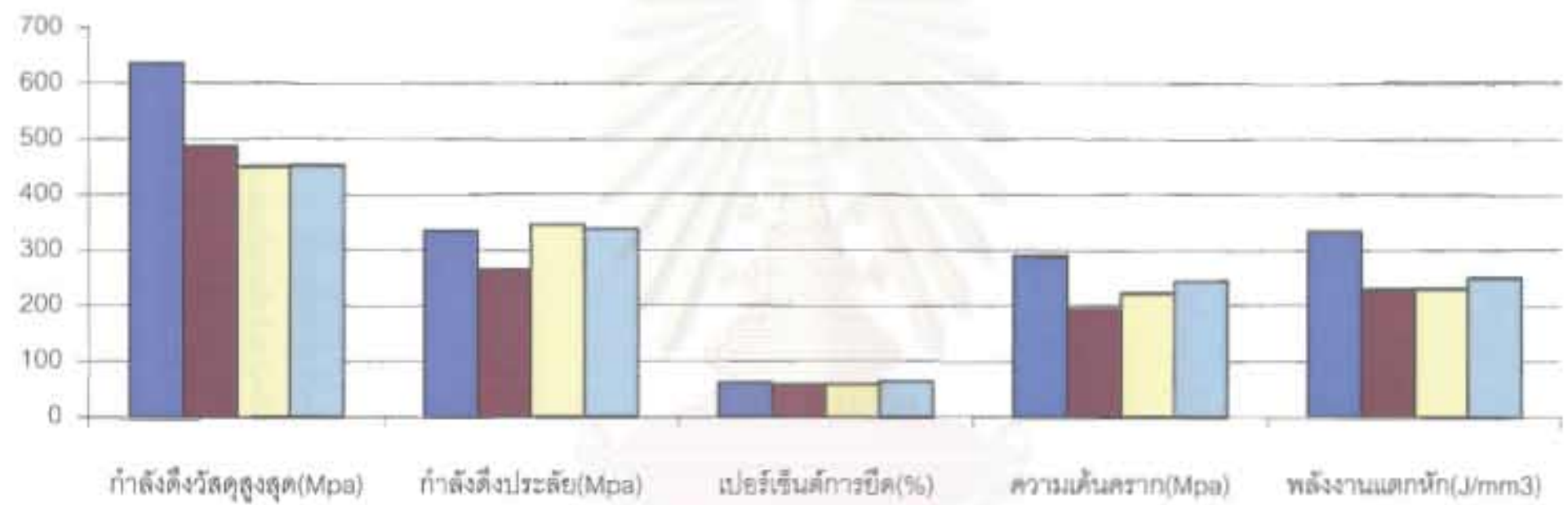
ค่าเฉลี่ยของความเค้นครากคือ 244.56 เมกกะปาสคาล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 54.26 เมกกะปาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 22.19

ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การยืดซึ่งแสดงถึงความเหนียวของวัสดุคือ 63.64 % ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.75 % และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 7.46

ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักคือ 250.63 จูลต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 23.02 จูลต่อลูกบาศก์เมตร และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 9.18

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย (\bar{X}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.) ของคุณสมบัติเชิงกลที่วัดได้ในงปลอกโลหะรัดฟันชนิดต่างๆ

ชนิดของปลอกโลหะรัดฟัน	คุณสมบัติเชิงกล	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.)
ชนิดที่กัดผิวด้วยแสง	กำลังดึงวัสดุสูงสุด (Mpa)	635.87	26.74	4.20
	กำลังดึงประลัย (Mpa)	336.34	172.11	51.17
	ความเค้นคราก (Mpa)	290.40	36.89	12.70
	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	61.85	5.19	8.39
	พลังงานแตกหัก (J/m^3)	335.25	38.87	11.57
ชนิดที่ไม่ได้กัดผิวด้วยแสง	กำลังดึงวัสดุสูงสุด (Mpa)	487.62	15.41	3.16
	กำลังดึงประลัย (Mpa)	265.23	160.31	60.44
	ความเค้นคราก (Mpa)	194.22	27.30	14.06
	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	58.08	6.22	10.73
	พลังงานแตกหัก (J/m^3)	229.96	29.22	12.71
ชนิดที่เป่าทราย	กำลังดึงวัสดุสูงสุด (Mpa)	451.36	16.63	3.68
	กำลังดึงประลัย (Mpa)	345.64	90.35	26.14
	ความเค้นคราก (Mpa)	222.38	38.05	17.11
	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	59.13	3.55	6.00
	พลังงานแตกหัก (J/m^3)	231.60	16.13	6.96
ชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทราย	กำลังดึงวัสดุสูงสุด (Mpa)	453.07	25.34	5.59
	กำลังดึงประลัย (Mpa)	338.20	68.83	20.35
	ความเค้นคราก (Mpa)	244.56	54.26	22.19
	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	63.64	4.75	7.46
	พลังงานแตกหัก (J/m^3)	250.63	23.02	9.18



รูปที่ 14 ค่าเฉลี่ยของกำลังดึงวัสดุสูงสุด กำลังดึงประลัย เปอร์เซ็นต์การยืด ความเค้นคราก และพลังงานแตกหัก ของปลอกโลหะรัดฟัน 4 กลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการเปรียบเทียบ

จากการศึกษาเปรียบเทียบโดยใช้การวิเคราะห์แบบ Student t- test (Two tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่าปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีกำลังดึงวัสดุสูงสุด ความเค้นคราก และพลังงานแตกหักแตกต่างจากปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสง ส่วนเปอร์เซ็นต์การยึดจะแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีเพียงกำลังดึงประลัยเท่านั้นที่ไม่มีความแตกต่างกันในทั้งสองกลุ่ม ดังผลที่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบกำลังดึงวัสดุสูงสุด กำลังดึงประลัย เปอร์เซ็นต์การยึด ความเค้นคราก และพลังงานแตกหักของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงกับปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงของบริษัท American Orthodontics Corporation

	กำลังดึงวัสดุสูงสุด (Mpa)	กำลังดึงประลัย (Mpa)	เปอร์เซ็นต์การยึด (%)	ความเค้นคราก (Mpa)	พลังงานแตกหัก (J/m ³)
ปลอกโลหะรัดฟัน ชนิดที่กัดผิวด้วยแสง	635.87	336.34	61.85	290.40	335.25
ปลอกโลหะรัดฟัน ชนิดไม่กัดผิวด้วยแสง	487.62	265.23	58.08	194.22	229.96
ค่า P - value	0.000**	0.103	0.013*	0.000**	0.000**

* แสดงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** แสดงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ส่วนผลการศึกษาเปรียบเทียบของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับเป่าทรายและปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับเป่าทรายโดยใช้การวิเคราะห์แบบ Student t- test (Two tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับเป่าทรายมีเปอร์เซ็นต์การยึดและพลังงานแตกหักแตกต่างจากปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทรายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกำลังดึงวัสดุสูงสุด ความเค้นครากและกำลังดึงประลัยนั้นไม่มีความแตกต่างกันเมื่อทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังผลที่แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบกำลังดึงวัสดุสูงสุด กำลังดึงประลัย เปอร์เซ็นต์การยืด ความเค้นคราก และพลังงานแตกหักของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่เป่าทรายและปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่เป่าทรายของบริษัท Ormco Corporation

	กำลังดึงวัสดุสูงสุด (Mpa)	กำลังดึงประลัย (Mpa)	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	ความเค้นคราก (Mpa)	พลังงานแตกหัก (J/m ³)
ปลอกโลหะรัดฟัน ชนิดที่เป่าทราย	451.36	345.64	59.13	222.38	231.60
ปลอกโลหะรัดฟัน ชนิดที่ไม่เป่าทราย	453.07	338.20	63.64	244.56	250.63
ค่า P – value	0.758	0.721	0.00*	0.072	0.00*

* แสดงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะครั้งนี้ ทำให้ได้ข้อสรุปว่า ปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงค่าเฉลี่ยของกำลังดึงวัสดุสูงสุด ความเค้นคราก เบอร์เซินต์ การยืด และพลังงานแตกหักสูงกว่าปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวอย่างมีนัยสำคัญ มีเพียงกำลังดึงประลัยเท่านั้นที่ไม่มีความแตกต่างกันในทั้งสองกลุ่ม

ปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับเป่าทรายมีเบอร์เซินต์การยืด และพลังงานแตกหักน้อยกว่าปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทรายอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกำลังดึงวัสดุสูงสุด ความเค้นครากและกำลังดึงประลัยนั้นไม่มีความแตกต่างกัน

อภิปรายผลการวิจัย

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟันที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นปลอกโลหะรัดฟันมาแล้ว ทำให้การตัดชิ้นงานเพื่อให้ได้รูปแบบตามมาตรฐานสำหรับทดสอบแรงดึงยุ่งยากมากขึ้น จำเป็นต้องมีขั้นตอนของการรีดแบนปลอกโลหะรัดฟันเพื่อให้สามารถใช้เครื่องตัดไวร์คัต ตัดปลอกโลหะรัดฟันให้ได้รูปแบบตามที่ต้องการได้ การรีดแบนเป็นการขึ้นรูปเย็นชนิดหนึ่ง ผลจากการขึ้นรูปเย็นอาจทำให้คุณสมบัติเชิงกลเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ทำให้เกิดความแข็งแรงของวัสดุมากขึ้น ความแข็งผิวมากขึ้น และเบอร์เซินต์การยืดที่ลดลง (เจนรัตน์ไพศาล, 2533; สมิธ เอฟ วิลเลียม, 2539; มนัส สติรจินดา, 2540; Peckner และ Bernstein, 1977; Davis และคณะ, 1996; Principal metals [online]) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการศึกษานำร่อง (Pilot study) เพื่อศึกษาผลของการรีดแบนที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟัน โดยสุ่มปลอกโลหะรัดฟันที่ผ่านขั้นตอนการตัดแล้วมาทำการอบคลายเครียดเพื่อคลายความเค้น (Stress relief) เปรียบเทียบกับปลอกโลหะรัดฟันที่ผ่านขั้นตอนการตัดแล้วแต่ไม่ทำการอบคลายเครียด ดังภาคผนวก ก. เพื่อตรวจสอบว่าคุณสมบัติเชิงกลทางด้านความเค้นครากที่ได้แตกต่างกันหรือไม่ เหตุผลที่สนใจความเค้นครากนั้นก็เพราะว่า ความเค้นครากเป็นคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ ที่มีความสำคัญในการออกแบบต่าง ๆ ทางด้านวิศวกรรม เนื่องจากเป็นค่ากำลังของวัสดุโลหะหรือโลหะผสมก่อนที่จะเกิดการแปรรูปอย่างถาวร (สมิธ เอฟ วิลเลียม, 2539)

ผลการศึกษานำร่องพบว่า ค่าเฉลี่ยของความเค้นครากของปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ทำการอบคลายเครียดคือ 250.42 เมกกะปาสคาล ส่วนค่าเฉลี่ยความเค้นครากที่มีค่ามากที่สุดของปลอกโลหะรัดฟันที่ทำการอบคลายเครียดคือ 241.14 เมกกะปาสคาล ซึ่งเป็นตำแหน่งของปลอกโลหะรัดฟันที่ทำการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที ดังที่รายงานผลไว้ในภาคผนวก ก. ตารางที่ 4 ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่า ความเค้นครากของปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ผ่านการอบคลายเครียดมีค่าไม่น้อยไปกว่าปลอกโลหะรัดฟันที่ผ่านการอบคลายเครียด นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์การยืดของปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ทำการอบคลายเครียดยังมากกว่าปลอกโลหะรัดฟันที่ทำการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาทีด้วย นั่นก็อาจมาจากในการรีดแบนปลอกโลหะรัดฟันก่อนที่จะทำการตัดอาจเกิดการขึ้นรูปเย็นเพียงเล็กน้อยทำให้ค่าความเค้นและเปอร์เซ็นต์การยืดยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และการอบคลายเครียดก็ยังไม่สามารถทำให้คุณสมบัติเชิงกลดีขึ้นอย่างชัดเจน ในทางตรงกันข้ามการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิสูงคือ 1090 องศาเซลเซียสเพียงเวลา 1 นาทีแม้จะทำให้ความเหนียวเพิ่มมากขึ้น แต่ความเค้นคราก และกำลังแรงดึงต่ำมากเกินไป ดังนั้นการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลในการวิจัยครั้งนี้จึงไม่นำปลอกโลหะรัดฟันผ่านการอบคลายเครียดก่อนที่จะนำมาทดสอบแรงดึง และกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มต้องผ่านการรีดแบนเหมือนกัน ฉะนั้นจึงเป็นการจำกัดตัวแปรให้มีสภาพก่อนการทดลองที่เหมือนกัน ผลการทดลองที่ได้จึงควรเป็นผลมาจากลักษณะของปลอกโลหะรัดฟันที่มีผิวต่างกัน

ในการศึกษานำร่องนี้เลือกใช้อุณหภูมิอบคลายเครียดที่ 450 องศาเซลเซียสและ 1090 องศาเซลเซียสตามคำแนะนำในการอบคลายเครียดของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มที่ 304 และ 316 (Peckner และ Bernstein, 1977: 4-27 และ Davis และคณะ, 1996: 293) เนื่องจากการอบคลายเครียดของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 305 ไม่มีรายงานไว้ชัดเจน อีกทั้งการอบคลายเครียดให้เหมาะสมนั้นทำได้ยากเพราะว่าความร้อนที่ใช้ในการอบคลายเครียดที่สามารถคลายเครียดได้หมดจะทำให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนด้อยลงได้ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส และการให้ความร้อนที่ทำให้ความสามารถในต้านทานต่อการกัดกร่อนไม่ด้อยลงไปถึงอาจไม่พอเพียงในการกำจัดความเค้นเหลือค้างอยู่ได้ (Davis และคณะ, 1996: 293)

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีค่าเฉลี่ยของความเค้นคราก กำลังดึงวัสดุสูงสุดมากกว่าปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวดังตารางที่ 2 นอกจากนี้ยังมีความเหนียวซึ่งเห็นได้จากเปอร์เซ็นต์การยืดที่มากกว่าด้วย ทำให้พลังงาน

แตกหักที่คำนวณจากพื้นที่ได้กราฟของความเค้นและความเครียดมากกว่า อาจเป็นไปได้ว่าการเพิ่มพื้นที่ผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟันด้วยกระบวนการกัดผิวด้วยแสงนั้นไม่ทำให้คุณสมบัติเชิงกลด้อยลงไป ส่วนคุณสมบัติทางด้านกำลังดึงประลัยของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงก็มีค่าเฉลี่ยที่มากกว่าปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้กัดผิวด้วยแสง แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องมาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่ามากนั่นเอง

ส่วนปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการเป่าทรายมีค่าเฉลี่ยของความเค้นครากน้อยกว่าปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทรายเล็กน้อยแต่ก็ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 3 คุณสมบัติเชิงกลที่มีความแตกต่างทางสถิติคือความเหนียวและพลังงานแตกหัก โดยปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการเป่าทรายก็มีความเหนียวน้อยกว่า รวมถึงพลังงานแตกหักที่น้อยกว่า อาจเป็นไปได้ว่าการเป่าทรายนั้นเป็นการขึ้นรูปเย็นชนิดหนึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงได้ โดยเห็นได้จากค่าความเหนียวหรือเปอร์เซ็นต์การยืดที่ลดลง ส่งผลทำให้พลังงานแตกหักซึ่งเป็นพื้นที่ได้กราฟของความเค้นและความเครียดลดลงด้วย แต่การขึ้นรูปเย็นยังน้อยและยังไม่ส่งผลต่อความเค้นคราก ดังนั้นค่าของความเค้นครากจึงไม่มีความแตกต่างกัน

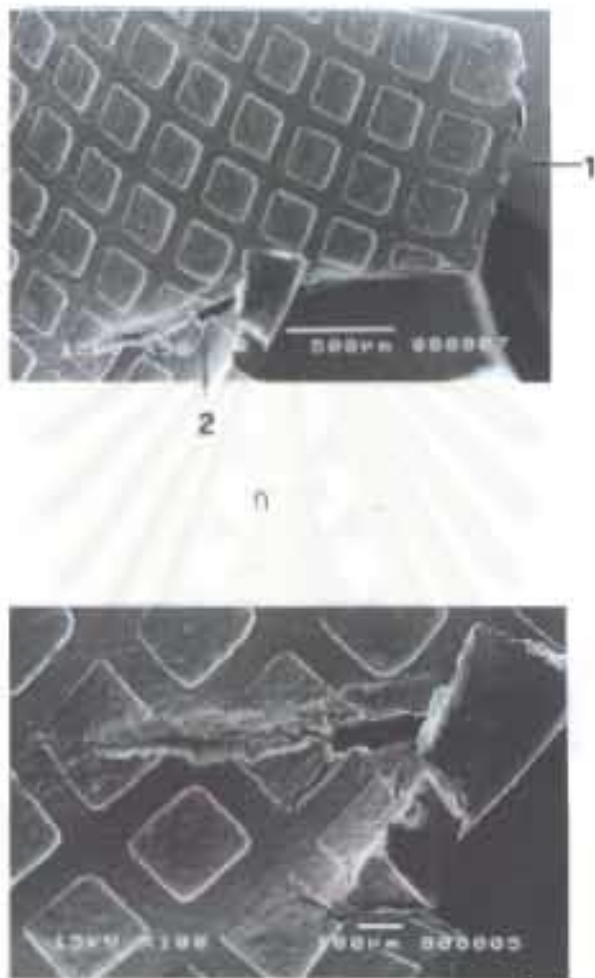
เนื่องจากปลอกโลหะรัดฟันทั้งสองกลุ่มต่างก็ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 305 เหมือนกันแต่คุณสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากขนาดของเกรนซึ่งเป็นโครงสร้างจุลภาคของโลหะ โดยทั่วไปขนาดเกรนมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุกล่าวคือ เกรนที่มีขนาดเล็ก มักมีความเค้นครากสูงและมีความเหนียวที่มากด้วย เกรนที่มีขนาดใหญ่มักมีความเค้นครากต่ำและมีความเหนียวน้อย ซึ่งการเกิดลักษณะเช่นนี้อธิบายจากหลักการของการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชัน (Dislocation) เนื่องจากขอบเกรนจะทำหน้าที่เป็นตัวกีดกันการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชัน ดังนั้นเกรนที่มีขนาดใหญ่จึงมีพื้นที่ที่กีดกันน้อย ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชันได้ดีกว่าเกรนที่มีขนาดเล็กซึ่งมีจำนวนเกรนต่อหน่วยพื้นที่ที่มากกว่าทำให้มีขอบเกรนที่กีดกันการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชันมาก เมื่อการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชันเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าแรงที่ใช้ในการทำให้เกิดการแปรรูปจึงน้อยกว่าด้วย (เจน รัตนไพศาล, 2533; Reed-Hill และ Abbaschian, 1994.) จากการศึกษาทางภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ ภาควงก ข. พบว่าขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีขนาดเกรนใหญ่ที่สุด รองลงมาคือเกรนของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่เป่าทรายกับชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทรายซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกัน ส่วนปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีขนาดของเกรนเล็กที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า ขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีขนาดเล็กกว่าเกรนของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสง ซึ่งอาจเป็นเหตุผลอธิบายผลการวิจัยที่พบว่า กำลังดึงวัสดุสูงสุดและความเค้นครากของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่กัดผิวด้วยแสงมากกว่าปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสง ส่วนขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่เป่าทรายกับชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทรายมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังนั้นกำลังดึงวัสดุสูงสุดและความเค้นครากที่พบจึงไม่แตกต่างกันทรายมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังนั้นกำลังดึงวัสดุสูงสุดและแรงเค้นครากที่พบจึงไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังเช่นที่พบในปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงกับปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสง

สิ่งที่มีอิทธิพลที่ทำให้ขนาดของเกรนแตกต่างกันนั้น อาจมาจาก (1) ส่วนประกอบของธาตุในโลหะ ซึ่งถ้าอะตอมของธาตุอื่นมีจำนวนมาก นิวเคลียสแต่ละนิวเคลียสโตไม่เต็มที่ เกิดการแข็งตัวเสียก่อน จะทำให้เนื้อโลหะนั้นประกอบไปด้วยเกรนที่ละเอียด (2) ขบวนการหลอมตัวและแข็งตัวของโลหะ เมื่อเทโลหะผสมในแบบ (Mould) เพื่อให้ได้รูปร่างและขนาดตามต้องการ เกรนจะเกิดตามพื้นผิวของตัวแบบก่อน และขยายลึกเข้าไปส่วนกลางของแบบ ขอบเขตของแต่ละเกรนมีขนาดที่ไม่แน่นอน ไม่เท่ากัน เพราะนิวเคลียสเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน นิวเคลียสโตที่เกิดก่อนจะขยายตัวได้มากกว่านิวเคลียสที่เกิดทีหลัง ทำให้นิวเคลียสนั้นมีขนาดโตกว่านิวเคลียสที่เกิดทีหลัง (3) การแปรรูป หรือการขึ้นรูปเย็น จะทำให้เกรนของโลหะนั้นถูกรีดและมีขนาดที่เล็กแบนลงได้ และ (4) กระบวนการทำให้โลหะเย็นลง เมื่อปล่อยให้โลหะหลอมเหลวแข็งตัวอย่างรวดเร็ว เกรนของโลหะนั้นขยายตัวไม่เต็มที่ จึงมีขนาดเล็ก แต่ถ้าปล่อยให้โลหะหลอมเหลวแข็งตัวอย่างช้า ๆ คือ ค่อย ๆ ปล่อยให้เย็นลง โลหะนั้นมีเวลาขยายตัวมาก จึงมีขนาดโต (เจน รัตนไพศาล, 2533)

ถึงแม้ว่าปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงจะมีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสง แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าการทำงานในทางคลินิกจะได้เปรียบกว่าปลอกโลหะรัดฟันกลุ่มอื่น เนื่องมาจากพื้นผิวด้านในของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงนั้นจะมีร่องเล็ก ๆ ที่เห็นได้ชัดด้วยตาเปล่าและจากกล้องจุลทรรศน์ การที่มีร่องเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไปบนพื้นผิวของปลอกโลหะรัดฟันอาจเป็นจุดอ่อนของการเริ่มต้นเกิดรอยร้าว (Crack initiation) ทำให้ง่ายต่อการเกิดการแตกหักต่อไป และจากการตรวจปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงซึ่งเกิดการฉีกขาดทางด้านประชิด (Proximal surface) หลังจากการใช้งานในคลินิกภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (JEOL JSM-

5410LV) พบว่าลักษณะของรอยแตกร้าวจะมุ่งไปยังหลุมที่ทำจากการกัดด้วยแสง ดังรูปที่ 15 และ 16 ซึ่งอาจหมายความว่า การที่มีหลุมนั้นเป็นจุดอ่อนซึ่งทำให้ง่ายต่อการฉีกขาด



รูปที่ 15 ก. ลักษณะการขาดของปลอกโลหะวัดฟันในการใช้งานทางคลินิก บริเวณที่ (1) เกิดการขาดผ่านบริเวณที่เป็นส่วนของร่องหรือหลุมที่ทำการกัดด้วยแสง รอยขาดเกิดต่อเนื่องเข้าไปยังเนื้อปลอกโลหะวัดฟัน รูป 16. เป็นภาพขยายของบริเวณที่ (2) รอยแตกเกิดเข้าไปยังเนื้อโลหะสิ้นสุดที่หลุมซึ่งเกิดจากการกัดด้วยแสง

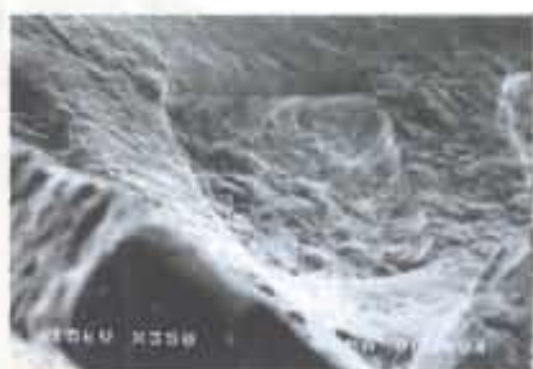
รูปที่ 15 ก. ลักษณะการขาดของปลอกโลหะวัดฟันในการใช้งานทางคลินิก บริเวณที่ (1) เกิดการขาดผ่านบริเวณที่เป็นส่วนของร่องหรือหลุมที่ทำการกัดด้วยแสง รอยขาดเกิดต่อเนื่องเข้าไปยังเนื้อปลอกโลหะวัดฟัน รูป 16. เป็นภาพขยายของบริเวณที่ (2) รอยแตกเกิดเข้าไปยังเนื้อโลหะสิ้นสุดที่หลุมซึ่งเกิดจากการกัดด้วยแสง



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 16 ลักษณะรอยแตกที่เคลื่อนเข้าไปยังหลุมที่เกิดด้วยแสง

ก. แสดงให้เห็นภาพโดยรอบที่กำลังขยาย 150 เท่า

ข. ส่วนของรอยแตกที่กระจายไปยังรอบของหลุมที่เกิดด้วยแสงที่กำลังขยาย 350 เท่า

ค. รอยร้าวเล็ก ๆ ที่สิ้นสุดบริเวณหลุมที่เกิดด้วยแสงที่ขยาย 350 เท่า

ข้อเสนอแนะ

ความเสียหายหรือการแตกหัก (Failure) ของโหล่นั้น อาจเกิดได้จากหลายปัจจัย การที่จะตรวจสอบว่าโหละเกิดการแตกหักเนื่องจากสาเหตุใดจะต้องมีการเก็บข้อมูลจากวัสดุที่เกิดการฉีกขาด ดังนั้นควรสะสมข้อมูลของปลอกโหละวัดพื้นที่เกิดการฉีกขาดเนื่องมาจากการใช้งานในคลินิกจริง เช่น เกิดการร้าวบริเวณโหละ คนไข้ใช้งานอย่างไร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่พอเพียงกับการ

ทดสอบหาว่าการฉีกขาดหรือแตกหักนั้นมาจากปัจจัยใด การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical testing) ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการหาสาเหตุของแตกหักของวัสดุ นอกเหนือจากนั้นยังมีการตรวจสอบทางด้านอื่น เช่น การวิเคราะห์ทางด้านเคมี (Chemical analysis) เพื่อหาว่าตำแหน่งที่เกิดการขาดหรือแตกหักของวัสดุนั้นมีสารใดสะสมอยู่ ซึ่งสารนั้นอาจเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดความเสียหายหรือการแตกหักของวัสดุได้ (ASM, 1986; 15-46) การศึกษานี้ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลทางด้านแรงดึงเท่านั้น คุณสมบัติเชิงกลอื่น ๆ เช่น ความล้า (Fatigue) หรือ ความแข็งผิว (Hardness) ก็ควรจะได้รับการทดสอบต่อไป ปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายหรือแตกหัก เช่น การแตกหักจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้น (Stress corrosion cracking) ก็เป็นสิ่งที่น่าศึกษาต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เจน รัตนไพศาล. ทันตวัสดุศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, 2533.

ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และ สาโรช จิตติเกียรติพงศ์. วัสดุในงานวิศวกรรม. ฉบับปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม. กรุงเทพมหานคร: บริษัท พี.เอ.ลีฟวิ่ง จำกัด, 2538

ทรงชัย นครน้อย. การศึกษาเปรียบเทียบแรงเฉือนปอกของปลอกโลหะรัดฟันด้วยกลาสไอโอโนเมอร์และซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

มนัส สกิวจินดา. วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 6. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

มนัส สกิวจินดา. เอกสารประกอบการสอนเรื่องเหล็กกล้าไร้สนิม, ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร. อ้างถึงใน กรพินท์ เกษมสันต์. การศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีการผ่านความร้อนในลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

สมิธ, เอฟ. วิลเลียม. วัสดุวิศวกรรมเบื้องต้น เล่ม 1. แปลโดย ชาตรี หลักทอง และคณะ. กรุงเทพมหานคร: แมคกรอฮิลล์ อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรซ์ อิงค์, 2539.

ภาษาอังกฤษ

ASM. Failure analysis and prevention. In Metals handbook. vol. 11, pp. 15-46. Ohio: ASM, 1986.

ASTM. Metal test methods and analytical procedures. In Annual book of ASTM standards, vol. 03.01, pp. 56-72. Pennsylvania: ASTM, 2001.

Berkson, R. Dental cement: A study of its property of adhesion. Am. J. Orthod. 36 (1950): 701-710.

Davis, H. E.; Troxell, G. E.; and Hauck, G. F. W. The testing of engineering materials. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1982.

Davis, J.R. et al. ASM specialty handbook: stainless steel. 2nd ed. Ohio: ASM international, 1996.

- Dieter, G. E. Mechanical Metallurgy. Adapted by Bacon, D. SI Metric ed. Singapore: McGraw-Hill, 1988.
- Higgerson, C.A. Experiments in materials technology. New Delhi: Affiliated East-West Press PVT. LTD, 1973.
- Hodges, S. J.; Gilthorpe, M. S.; and Hunt, N. P. The effect of micro-etching on the retention of orthodontic molar bands: A clinical trial. Eur. J. Orthod. 23 (2001): 91-97.
- Lacombe, P.; Baroux, B.; and Beranger, G. Stainless steels. Translated by Davidson, J.H., and Lindquist, J.B. France: de Physique Les Ulis, 1993.
- Maijer, R., and Smith, D. C. A comparison between zinc phosphate and glassionomer cement in orthodontics. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 93 (1988): 273-279.
- Mennemeyer, V. A.; Neuman, P.; and Powers, J. M. Bonding of hybrid ionomers and resin cements to modified orthodontic band materials. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 115 (1999): 143-147.
- Miller, S., and Zernik, J. H. Sandblasting of bands to increase bond strength. J. Clin. Orthod. 30 (1996): 217-222.
- Millett, D. T. et al. The effect of sandblasting on the retention of first molar orthodontic bands cemented with glass ionomer cement. Brit. J. Orthod. 22 (1995): 161-169.
- Mizrahi, E. Glass ionomer cements in orthodontics-An update. Am. J. Orthod. 93 (1988): 505-507.
- Noffsinger, D. P.; Jedrychowski, J. R.; and Caputy, A. A. Effect of polycarboxylate and glassionomer cements on stainless steel crown retention. Am.Acad.Ped. 5 (1983): 68-71.
- Peckner, D., and Bernstein, I.M. Handbook of stainless steels. New York: McGraw-hill, 1977.
- Penna, R. A., et al. Comparison of surface-treated and untreated orthodontic bands: Evaluation of shear force and surface roughness. Am.J.Orthod. Dentofac. Orthop. 114 (1999): 162-165.

Principal metals [online]. Available form:

<http://www.principalmetals.com/properties/result.asp?Family=Stainless+Steel&MetalName=305> [2001, october 30]

Proffit, W.R., et al. Contemporary Orthodontics. 2th ed. St. Louis: Mosby , 1993.

Reed-Hill, R. E., and Abbaschian, R. Physical metallurgy principles. 3rd ed. Boston: PWS Publishing Company, 1994.

Rich, J. M.; Leinfelder, K. F.; and Hershey, H. G. An in vitro study of cement retention as related to orthodontics. Angle Orthod. 45(1975):219-225.

Stirrups, D. R. A comparative clinical trial of a glass ionomer and a zinc phosphate cement for securing orthodontic bands. Brit. J. Orthod. 18 (1991): 15-20.

Tuneberg, L.H. Orthodontic band [online]. US patent and trademark office, 15 August 1995. Available form: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=/netacgi/srchnum.htm&r=1&f=G&i=50&s1='5441409',WKU.&OS=PN/5441409&RS=PN/5441409> [2001, october 30]

Wood, D. P.; Paleczny, G. J.; and Johnson, L. N. The effect of sandblasting on the retention of orthodontic bands. Angle Orthod. 66 (1996): 207-214.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การศึกษาการอบคลายเครียดปลอกโลหะรัดฟันหลังจากการขึ้นรูปเย็น

การศึกษานี้เป็นการศึกษานำร่อง (Pilot study) เพื่อศึกษาผลของการรีดแบนต่อคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟันหรือไม่เพียงใด เนื่องมาจากการที่จะศึกษาคุณสมบัติเชิงกลนั้นจะต้องมีการตัดชิ้นงานเพื่อให้ได้รูปแบบตามมาตรฐานสำหรับการทดสอบแรงดึง และปลอกโลหะรัดฟันที่นำมาทำการศึกษานี้ผ่านการขึ้นรูปมาแล้ว จำเป็นต้องมีขั้นตอนของการรีดแบนปลอกโลหะรัดฟันเพื่อให้สามารถใช้เครื่องตัดไวร์คัต (Wire cut) ตัดปลอกโลหะรัดฟันให้ได้รูปแบบตามมาตรฐานที่ต้องการได้ การรีดแบนเป็นการขึ้นรูปเย็นชนิดหนึ่ง ผลจากการขึ้นรูปเย็นอาจทำให้คุณสมบัติเชิงกลเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ทำให้เกิดความแข็งแรงของวัสดุมากขึ้น ความแข็งผิวมากขึ้น และเปอร์เซ็นต์การยืดที่ลดลง (เจน รัตนไพศาล, 2533; สมิต เอพ วิลเลียม, 2539; มนัส สกิริจินดา, 2540; Peckner และ Bernstein, 1977; Davis และคณะ, 1996; Principai metals [online]) จึงได้นำปลอกโลหะรัดฟันที่ผ่านการรีดแบนนั้นมาทำการอบคลายเครียด แล้วเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลกับปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ทำการอบคลายเครียดว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด เนื่องจากการอบคลายเครียดหรือการให้ความร้อนแก่เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical condition) คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical property) และความเค้นเหลือค้าง (Residual stress) และยังทำให้เกิดความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีขึ้น โดยทั่ว ๆ ไปแล้วการอบคลายเครียดแก่โลหะทำขึ้นเพื่อให้ได้คุณสมบัติเชิงกลและความต้านทานต่อการสึกกร่อนดีขึ้นพร้อมกัน (Davis และคณะ, 1996)

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

เพื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นคราก กำลังดึงวัสดุสูงสุด และความเหนียวของปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ทำการอบคลายเครียดกับปลอกโลหะรัดฟันที่ได้ทำการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 และ 1090 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กัน

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. เตาเผาให้ความร้อนแบบท่อ (Tube) ในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน ดังรูปที่ 17
2. สุ่มตัวอย่างปลอกโลหะรัดฟันของบริษัท Ormco Corporation ชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในที่ผ่านการตัดแล้วเป็นรูปแบบมาตรฐานแล้ว

ส่วนรายละเอียดเครื่องมืออื่น ๆ อยู่ในบทที่ 3 ในหัวข้อเรื่องวิธีดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 17 เตาอบแบบท่อที่ใช้ในการศึกษา

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเตรียมชิ้นงาน

สุ่มปลอกโลหะวัดฟันของบริษัท Ormco Corporation ชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในที่ผ่านการตัดมาแล้ว รายละเอียดต่าง ๆ อยู่ในบทที่ 3 ในหัวข้อเรื่องวิธีดำเนินงานวิจัย ตรวจสอบปลอกโลหะวัดฟันที่ผ่านการตัดแล้วภายใต้กล้องจุลทรรศน์รุ่น SZH10-141 ที่กำลังขยาย 70 เท่าเพื่อตรวจสอบชิ้นงานหลังจากผ่านการตัดแล้ว ว่าไม่มีการฉีกขาดก่อนที่จะนำไปทดสอบแรงดึง แบ่งปลอกโลหะวัดฟันออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ กลุ่มที่หนึ่ง เป็นกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการทำการอบคลายเครียดจำนวน 3 ชิ้น กลุ่มที่สองเข้าทำการอบคลายเครียด (Heat treatment) ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่สามเข้าทำการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 1090 องศาเซลเซียส โดย เตาเผาให้ความร้อนแบบท่อ (Tube) ในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน

กลุ่มที่หนึ่ง เป็นกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการทำการอบคลายเครียด จำนวน 3 ชิ้น

กลุ่มที่สอง ทำการทดลองดังนี้ นำปลอกโลหะวัดฟันเข้าในเตาเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันคือ ระยะเวลา 1 , 3 , 5 และ 9 นาที ในแต่ละระยะเวลาก็จะใช้ปลอกโลหะวัดฟันจำนวน 3 ชิ้น รวมทั้งหมด 12 ชิ้น โดยอบคลายเครียดในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันที่ผิวของโลหะ จากนั้นทำให้เย็นตัวทันทีด้วยการแช่น้ำ

กลุ่มที่สาม ทำการทดลองเช่นเดียวกับกลุ่มที่สอง แต่ใช้อุณหภูมิที่ 1090 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันคือ ระยะเวลา 1 , 3 และ 5 นาที ในแต่ละระยะเวลาก็จะใช้ปลอกโลหะวัดฟันจำนวน 3 ชิ้น รวมทั้งหมด 9 ชิ้น

การทดสอบแรงดึง

นำปลอกโลหะรัดฟันที่ผ่านการอบคลายเครียดที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันไปทดสอบแรงดึงเปรียบเทียบกับปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ผ่านการอบคลายเครียด โดยนำปลอกโลหะรัดฟันเตรียมไว้ไปยึดติดกับ Fixed head และ Cross head ของเครื่องมือทดสอบทั่วไป ปรับให้เครื่องมือ Fixed head และ Cross head ตรงกันในแนวตั้ง เพื่อให้แรงดึงที่กระทำกับปลอกโลหะรัดฟันอยู่ในทิศเดียวกัน เดินเครื่องให้ Cross head เคลื่อนที่ขึ้น โดยใช้ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่ากำลังดึงวัสดุสูงสุด (Ultimate tensile strength) ความเค้นคราก (Yield strength) และเปอร์เซ็นต์ของการยืด (Percentage elongation) ในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

ตัวแปรของการวิจัย

1. ตัวแปรอิสระ (Independent variables) คือ เวลาและอุณหภูมิในการอบคลายเครียดปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในของบริษัท Ormco Corporation

2. ตัวแปรตาม (Dependent variables) คือ ขนาดของความเค้นคราก กำลังดึงวัสดุสูงสุด และความเหนียวซึ่งพิจารณาจากความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของปลอกโลหะรัดฟันที่ทำการอบคลายเครียด ณ เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ กัน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ดูแนวโน้มของค่าความเค้นคราก กำลังดึงวัสดุสูงสุด และความเหนียวของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในที่ทำกรอบคลายเครียดที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กันโดยเปรียบเทียบกับปลอกโลหะรัดฟันกลุ่มที่ไม่ได้ทำการอบคลายเครียด

ผลจากการศึกษา

ผลการศึกษาในตารางที่ 4 พบว่า ปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ทำการอบคลายเครียด มีค่าเฉลี่ยของกำลังดึงวัสดุสูงสุด ความเค้นคราก และเปอร์เซ็นต์การยืด เป็น 459.56 , 250.42 Mpa และ 62.52 % ตามลำดับ

ส่วนการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1, 3, 5 และ 9 นาที มีค่าเฉลี่ยกำลังดึงวัสดุสูงสุดเป็น 453.56, 454.78, 453.78 และ 441.44 เมกกะปาสคาลตาม

ลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การยึดที่เวลา 1 นาทีมีค่าเฉลี่ยเป็น 52.53 % และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การยึดเพิ่มขึ้นตามเวลาของการอบคลายเครียดที่เพิ่มขึ้นคือเวลา 9 นาทีมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การยึดเป็น 61.75 % ส่วนค่าเฉลี่ยความเค้นครากที่ได้ทำการอบคลายเครียด ณ เวลา 1 , 3 , 5 และ 9 นาทีมีค่าเฉลี่ยเป็น 241.14 , 238.32, 230.72 และ 210.19 เมกกะปาสคาลตามลำดับ

การอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 1090 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาทีมีค่าเฉลี่ยกำลังดึงวัสดุสูงสุดเป็น 370.00 เมกกะปาสคาล ที่เวลา 3 และ 5 นาทีมีค่าเฉลี่ยเป็น 363.83 และ 436.67 เมกกะปาสคาลตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การยึดที่เวลา 1 , 3 และ 5 นาทีมีค่าเฉลี่ยเป็น 94.77 , 91.79 และ 75.89 % ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยความเค้นครากในการอบคลายเครียดที่เวลา 1 นาทีนั้นมีค่าเป็น 88.70 เมกกะปาสคาล ที่เวลา 3 และ 5 นาที มีค่าเฉลี่ยเป็น 110.47 และ 128.19 เมกกะปาสคาลตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยกำลังดึงวัสดุสูงสุด ความเค้นคราก และเปอร์เซ็นต์การยึดของปลอกโลหะรัดพื้นที่ไม่อบคลายเครียดและปลอกโลหะรัดพื้นที่อบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 กับ 1090 องศาเซลเซียส ณ เวลาต่าง ๆ

การทดลอง	เวลา (นาที)	กำลังดึงวัสดุสูงสุด	ความเค้นคราก	เปอร์เซ็นต์การยึด
		ค่าเฉลี่ย (Mpa)	ค่าเฉลี่ย (Mpa)	ค่าเฉลี่ย (%)
ไม่ทำอบคลายเครียด	0	459.56	250.42	62.52
อบคลายเครียด 450 °C	1	453.56	241.14	52.53
	3	454.78	238.32	58.85
	5	453.78	230.72	58.35
	9	441.44	210.19	61.75
อบคลายเครียด 1090 °C	1	370.00	88.70	94.77
	3	363.83	110.47	91.79
	5	436.67	128.19	75.89

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษานำร่องครั้งนี้ พบว่าแนวโน้มค่าเฉลี่ยกำลังดึงวัสดุสูงสุดและความเค้นครากของปลอกโลหะรัดพื้นที่ไม่ได้ทำการอบคลายเครียดมีค่าสูงสุด ส่วนเปอร์เซ็นต์การยึดมีค่าใกล้เคียงกับปลอกโลหะรัดพื้นที่อบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสแต่น้อยกว่า

ปลอกโลหะรัดฟันที่อบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 1090 องศาเซลเซียส ไม่มีการอบคลายเครียดใดที่ทำให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลทุก ๆ ค่าดีกว่าปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ทำการอบคลายเครียด ถึงแม้ว่าการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 1090 องศาเซลเซียสจะมีเปอร์เซ็นต์การยืดมากกว่าปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้อบคลายเครียด แต่ค่ากำลังวัสดุสูงสุดและความเค้นครากกลับมีค่าน้อยกว่า

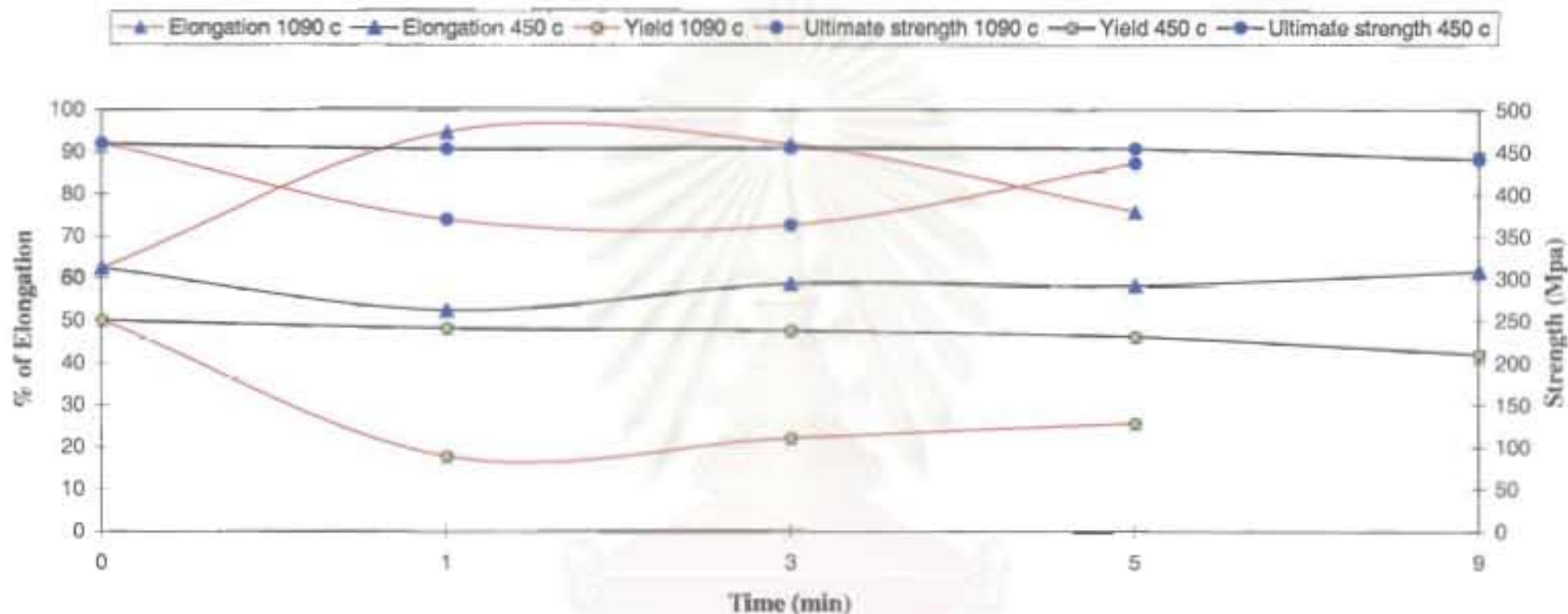
เมื่อลองวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของกำลังดึงวัสดุสูงสุด ความเค้นคราก และเปอร์เซ็นต์การยืดของปลอกโลหะรัดฟันกับการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 และ 1090 องศาเซลเซียสที่เวลาต่าง ๆ กัน พบว่า แนวโน้มของการอบคลายเครียดที่เวลาต่าง ๆ นั้นจะมีค่าของกำลังดึงวัสดุสูงสุดและความเค้นครากลดลง ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืดหลังจากการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสที่เวลาต่าง ๆ มีค่าน้อยกว่าปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้อบคลายเครียด แต่ถ้าอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 1090 องศาเซลเซียสจะมีเปอร์เซ็นต์การยืดที่มากกว่า ดังรูปที่ 18

สรุปจากการทดลอง

จากการศึกษาครั้งนี้ ทำให้เห็นแนวโน้มว่าปลอกโลหะรัดฟันที่ทำการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ยกำลังดึงวัสดุสูงสุดและความเค้นครากที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ทำการอบคลายเครียด โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การยืดเพิ่มขึ้นตามเวลาของการอบคลายเครียดที่เพิ่มขึ้น โดยเวลาที่อบคลายเครียด 9 นาทีจะมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การยืดใกล้เคียงกับปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ทำการอบคลายเครียด

ส่วนปลอกโลหะรัดฟันที่ทำการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 1090 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ยกำลังดึงวัสดุสูงสุดและความเค้นครากที่ค่อนข้างต่ำกว่าปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้ทำการอบคลายเครียดอย่างเห็นได้ชัด แต่มีเปอร์เซ็นต์การยืดที่มากกว่า

ดังนั้นการขึ้นรูปเย็นเพื่อเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบคุณสมบัติเชิงกลไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลมากนัก เพราะเมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลแล้วพบว่าปลอกโลหะรัดฟันที่อบคลายเครียดไม่ได้ดีขึ้นกว่าปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่อบคลายเครียดอย่างชัดเจน จึงพิจารณาไม่อบคลายเครียดชิ้นงานก่อนนำมาทดสอบแรงดึง



รูปที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของกำลังดึงวัสดุสูงสุด แรงเค้นคราก และเปอร์เซ็นต์การยืดของการอบคลายเครียดที่เวลาต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

การอบชุบ (Heat Treatment)

โลหะบริสุทธิ์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติโดยเฉพาะของโลหะนั้น ๆ แต่คุณสมบัติเหล่านั้นอาจทำให้เปลี่ยนแปลงจากเดิมได้ด้วยวิธีหนึ่งใน 3 วิธี คือ (เจน รัตนไพศาล, 2533)

1. ริดด้วยวิธีเชิงกล (Mechanical working) เป็นการทำให้โลหะมีรูปตามต้องการ โดยการ แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ

ก. เผาโลหะจนถึงอุณหภูมิเปลี่ยนวัฏภาคแล้วใช้ค้อนทุบหรือใส่เครื่องรีด โลหะนั้นจะเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรอาจเป็นแผ่นบาง ๆ หรือยึดเป็นเส้น การทำให้โลหะเปลี่ยนรูปถาวรโดยการเฝ้าแล้วใช้ค้อนทุบหรือรีด เรียกว่า การรีดร้อน (Hot working) เกรนของโลหะที่ถูกทุบมีรูปแบบแผ่ออกด้านกว้างกว่าขนาดเดิม ส่วนเกรนของโลหะที่ถูกรีดมีรูปร่างยาวรีกว่าเดิม

ข. ริดหรือตัดโลหะจนเกิดการยึดหดถาวรที่อุณหภูมิบรรยากาศ เกรนที่ถูกรีดยาวรีและเกยกับเกรนข้างเคียง โลหะนั้นมีพื้นที่หน้าตัดลดลง แต่กำลังความแข็งแรงเพิ่มขึ้น วิธีการเช่นนี้เรียกว่า การรีดเย็น (Cold working) ความแข็งที่ได้จากวิธีการนี้เรียกว่า ความแข็งรีดเย็น (Cold worked hardening หรือ Strain hardening)

2. ทำโลหะให้เป็นโลหะผสม (Alloying) เมื่อเป็นโลหะผสมแล้ว คุณสมบัติของโลหะผสมอาจมีค่าสูงหรือต่ำแล้วแต่โลหะที่ใช้ผสม

3. กรรมวิธีการอบชุบ (Heat treatment) โลหะที่ได้จากการเฝ้าหรือชุบจะมีคุณสมบัติผิดแผกไปจากเดิม เช่นแข็งขึ้นหรืออ่อนตัวแล้วแต่กรรมวิธีนั้น ๆ

กรรมวิธีผ่านความร้อน (Heat Treatment)

คือการที่โลหะถูกเฝ้าให้ร้อนและคงสภาพที่อุณหภูมินั้นชั่วขณะหนึ่ง ผลที่ได้จากกรรมวิธีผ่านความร้อนจะขึ้นกับอุณหภูมิ ชนิดของโลหะ และการกระทำใด ๆ ต่อโลหะก่อนที่จะนำมาทำกรรมวิธีผ่านความร้อน ผลที่เกิดขึ้นอาจทำให้โลหะอ่อนตัวลง หรือแข็งมากขึ้น ขึ้นกับอุณหภูมิ นอกจากนี้กรรมวิธีผ่านความร้อนยังมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดเกรน และความต้านทานต่อการสึกกร่อนด้วย

วัฏจักรของการอบชุบแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้คือ

1. การเผา (Heating) โลหะผสมจะได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมขึ้นกับชนิดของโลหะผสมและจุดประสงค์ในการให้ความร้อน ว่าทำเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือเพื่อกำจัดความเค้นเหลือค้าง (Residual Stress) ในโลหะผสม
2. การรักษาระดับอุณหภูมิ (Holding Temperature) โลหะผสมจะได้รับความร้อนที่เผาให้อุณหภูมิคงที่ระยะหนึ่ง เพื่อให้โลหะผสมนั้นมีเวลาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือกำจัดความเค้นเหลือค้าง (Residual Stress) ระยะเวลาของการรักษาระดับอุณหภูมิขึ้นอยู่กับความหนา และการนำความร้อนของโลหะผสม
3. อัตราการทำให้เย็นลง (Range of Cooling) เร็วหรือช้าขึ้นกับวัตถุประสงค์ว่าจะรักษาโครงสร้างที่ระดับอุณหภูมิเปลี่ยนวัฏภาคไว้ หรือปล่อยให้เกรนของโลหะผสมขยายตัวเต็มที่จนมีขนาดเท่าปกติ ซึ่งมีความสำคัญในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนโครงสร้างของโลหะผสม

การอบอ่อน (Annealing)

เป็นการกระทำให้โลหะอ่อนตัว โดยการเผาโลหะนั้นจนถึงอุณหภูมิเปลี่ยนวัฏภาคแล้วอบโดยค่อย ๆ ปล่อยให้โลหะเย็นลงช้า ๆ ในเตาเผา จนถึงอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้ขนาดเกรนตามต้องการ การอบอ่อนนี้ทำให้โลหะคลายความเค้นเหลือค้าง (Residual stress) หรือเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของโลหะ

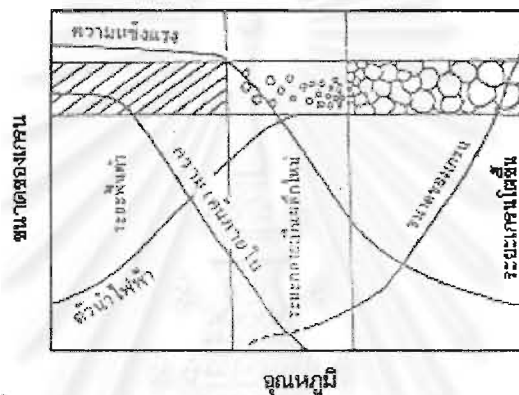
การอบอ่อนจะทำให้ความแข็งจากการขึ้นรูปเย็นหมดไป เกรนที่ปิดเบี้ยวจะกลับสู่ปกติ ความเหนียว (Ductility) จะเพิ่มขึ้น

การอบอ่อนมี 3 ระยะ คือ

1. ระยะฟื้นตัว (Recovery Period) เป็นระยะที่โลหะเริ่มถูกเผาในอุณหภูมิต่ำ ๆ ความเค้นเหลือค้าง (Residual Stress) ลดลง โดยโลหะมีความนำไฟฟ้ามากขึ้น ช่วงนี้ขนาดและรูปร่างของเกรนไม่เปลี่ยนแปลง และกำลังความแข็งแรงยังไม่ลดลงมากนัก ดังรูปที่ 19
2. ระยะกลายเป็นผลึกใหม่ (Recrystallization Period) เป็นช่วงที่โลหะถูกเผาให้สูงขึ้นถึงอุณหภูมิกลายเป็นผลึกใหม่ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เกรนของโลหะที่เกิดจากการรีดเย็นเปลี่ยนเป็นเกรนใหม่ที่ไม่มี ความแข็งแรงรีดเย็น โดยปกติอุณหภูมินี้อยู่ต่ำกว่าจุดหลอมตัวประมาณ $1/3$ หรือ

1/2 เท่า การเปลี่ยนแปลงในช่วงนี้ จะทำให้หน่วยแรงที่ตกค้างหายไปและเกิดนิวเคลียสใหม่ตรงบริเวณผลึกที่เสียรูป ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีก นิวเคลียสเหล่านั้นเกิดการขยายตัวขึ้นจนมีขนาดเท่า ๆ กันและละเอียด ช่วงนี้ความแข็งแรงเริ่มลดลง

3. ระยะเวลาเกรนโตขึ้น (Grain Growth) เป็นช่วงที่โลหะถูกเผาให้สูงขึ้นไปอีก เกรนจะโตขึ้นถึงระดับหนึ่งแล้วหยุดเป็นส่วนใหญ่ โลหะช่วงนี้อ่อนตัวมาก คุณสมบัติต่าง ๆ ของโลหะที่ ถูกเผาถึงระยะนี้ต่ำกว่าคุณสมบัติของโลหะเดิม



รูปที่ 19 การเปลี่ยนแปลงขนาดเกรนของโลหะที่ถูกเผาในระดับอุณหภูมิต่าง ๆ กัน

การเผาในเหล็กกล้าไร้สนิมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical condition) คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical property) และความเค้นเหลือค้าง (Residual stress) และยังทำให้เกิดความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีขึ้น โดยทั่วไปแล้วการให้ความร้อนแก่โลหะทำเพื่อให้ได้คุณสมบัติเชิงกลและความต้านทานต่อการสึกกร่อนดีขึ้นพร้อมกัน (Davis และคณะ, 1996)

การเผาเพื่อกำจัดความเค้นเหลือค้าง (Davis และคณะ, 1996)

เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติกต้องได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 900 °C (1650 °F) จึงจะสามารถกำจัดความเค้นเหลือค้างได้ โดยบางครั้งอาจต้องให้ความร้อนไปจนถึงอุณหภูมิของการอบอ่อน (Annealing) การให้ความร้อนที่ต่ำกว่า 870 °C (1600 °F) อาจทำให้สามารถกำจัดความเค้นเหลือค้างได้เพียงบางส่วนเท่านั้น การที่จะกำจัดความเค้นเหลือค้างให้ได้ผลที่ดีที่สุดหลังจากที่ให้ความร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วควรทิ้งให้เย็นตัวลงอย่างช้า ๆ การทำให้เกิดการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (Quenching) จะทำให้เกิดความเค้นขึ้นมาใหม่ได้ การเผาเพื่อกำจัดความเค้นเหลือค้างเป็นสิ่งที่จำเป็นในกรณีที่ต้องการการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นในสภาวะที่มีการกัดกร่อน ซึ่งภายใต้สภาวะนั้นอาจทำให้เกิดความเสียหายของโลหะได้ เรียกว่า

ความเสียหายจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้น (Stress corrosion failure หรือ Intergranular corrosion failure)

การอบคลายเครียดให้เหมาะสมนั้นทำได้ยากเพราะว่าความร้อนที่ใช้ในการอบคลายเครียดที่สามารถคลายเครียดได้หมดจะทำให้ความต้านทานต่อการสึกกร่อนด้อยลงได้ และการให้ความร้อนที่ทำให้ความสามารถในด้านทานต่อการสึกกร่อนไม่ด้อยลงไปก็อาจไม่พอเพียงในการกำจัดความเค้นเหลือค้างอยู่ได้

อุณหภูมิที่แนะนำสำหรับการอบคลายเครียดหลังจากที่ผ่านการขึ้นรูปเย็นมาแล้วของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มที่ไม่เสถียร เช่น กลุ่ม 304 และ 316 คือ ให้ทำการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 1065 – 1120 °C (1950 – 2050 °F) และทำให้เย็นตัวลงโดยเร็ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของปลอกโลหะรัดฟัน

ปลอกโลหะรัดฟันที่จะนำมาดูโครงสร้างแบ่งออกเป็นกลุ่ม ๆ ได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการกัดผิวด้านในด้วยแสงของบริษัท American Orthodontics Corporation ที่ไม่ผ่านการตัด และไม่ผ่านขบวนการอบคลายเครียด

กลุ่มที่ 2 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการกัดผิวด้านในของบริษัท American Orthodontics Corporation ที่ไม่ผ่านการตัด และไม่ผ่านขบวนการอบคลายเครียด

กลุ่มที่ 3 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่มีการเป่าทรายผิวด้านในของบริษัท Ormco Corporation ที่ไม่ผ่านการตัด และไม่ผ่านขบวนการอบคลายเครียด

กลุ่มที่ 4 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในของบริษัท Ormco Corporation ที่ไม่ผ่านการตัด และไม่ผ่านขบวนการอบคลายเครียด

กลุ่มที่ 5 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในของบริษัท Ormco Corporation ที่ผ่านการตัด และไม่ผ่านขบวนการอบคลายเครียด

กลุ่มที่ 6 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในของบริษัท Ormco Corporation ที่ผ่านการตัด และผ่านขบวนการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที

กลุ่มที่ 7 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในของบริษัท Ormco Corporation ที่ผ่านการตัด และผ่านขบวนการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที

กลุ่มที่ 8 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในของบริษัท Ormco Corporation ที่ผ่านการตัด และผ่านขบวนการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที

กลุ่มที่ 9 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในของบริษัท Ormco Corporation ที่ผ่านการตัด และผ่านขบวนการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 9 นาที

กลุ่มที่ 10 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในของบริษัท Ormco Corporation ที่ผ่านการตัด และผ่านขบวนการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 1090 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที

กลุ่มที่ 11 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในของบริษัท Ormco Corporation ที่ผ่านการตัด และผ่านขบวนการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 1090 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที

กลุ่มที่ 12 เป็นปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่มีการเป่าทรายที่ผิวด้านในของบริษัท Ormco Corporation ที่ผ่านการตัด และผ่านขบวนการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 1090 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที

ทำการสุ่มตัวอย่างชิ้นงานในแต่ละกลุ่มออกมา 1 ชิ้น เพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค โดยนำปลอกโลหะรัดฟันใส่ลงในเครื่องยึดแผ่นโลหะ (Mouting press) รุ่น Simplimet 2 (Buchler LTD.,USA) ดังรูปที่ 20 ใช้ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic hot mouting resin) ที่เป็นเรซินสีดำ ยึดปลอกโลหะรัดฟันให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ เทให้ฟีนอลิกเรซินลงในเครื่องยึดแผ่นโลหะ จากนั้นให้ความร้อนด้วย Mold Heater เพื่อให้เรซินเกิดการแข็งตัว จากนั้นทิ้งให้เย็น 10 นาที จึงนำปลอกโลหะรัดฟันที่ยึดกับเรซินออกมาขัดแบบหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 220, 320, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 บนเครื่องขัดที่มีน้ำไหลรุ่น Buchler เพื่อล้างส่วนที่ขัดออก ดังรูปที่ 21 โดยขัดให้ไปในทิศทางเดียวกันเพื่อไม่ให้มีรอยขีดข่วนมากบนชิ้นงาน จากนั้นนำไปขัดบนผ้าสักหลาดที่มีผงขัดอะลูมินา (Deagglomerated Alpha Alumina) ขนาด 1 ไมครอนผสมกับน้ำบนจานหมุนรุ่น DAP-7 (Strues,Denmark) ดังรูปที่ 22 เมื่อได้ชิ้นงานที่ผ่านการขัดละเอียดแล้วดังรูปที่ 23 ล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นและทำให้แห้งด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นจึงนำไปแช่ในสารละลายซึ่งประกอบด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) 3 มิลลิลิตร กรดไนตริก (HNO₃) 10 มิลลิลิตรและเอทานอล (CH₃OH) 87 มิลลิลิตร เพื่อให้เกิดการกัดขอบเกรนของผลึกออก เป็นเวลา 15 นาที ล้างออกด้วยน้ำ แล้วล้างอีกครั้งด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นเป่าให้แห้งเพื่อไม่ให้มีคราบขบวนการดูโครงสร้าง นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) Olympus รุ่น

BHM ที่มีกำลังขยายสูงสุด 1000 เท่าบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพ (Olympus รุ่น C-35DA-2) ดังรูปที่ 24 จากนั้นทำการวัดขนาดเกรน โดยลากเส้นแบบสุ่มไปบนภาพ 10 เส้น ดังรูปที่ 25 แล้วนับจำนวนเกรนต่อเส้น จากนั้นคำนวณขนาดเกรนเฉลี่ยที่วัดได้



ดังรูปที่ 20 เครื่องยัดแผ่นโลหะ (Mounting press) รุ่น Simplimet 2 (Buchler LTD.,USA)



รูปที่ 21 เครื่องขัดกระดาษทรายที่มีน้ำไหล



รูปที่ 22 เครื่องวัดขีดเรียบแบบจานหมุนรุ่น DAP-7 (Struers, Denmark)



รูปที่ 23 ลักษณะของปลอกโลหะวัดพื้นที่ยึดในฟีนอลิคเรซินสีดำ



รูปที่ 24 กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) Olympus รุ่น BHM ที่มีกำลังขยายสูงสุด 1000 เท่าบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพ Olympus รุ่น C-35DA-2



รูปที่ 25 วิธีการลากเส้นแบบสุ่ม 10 เส้นบนรูปภาพเพื่อวัดขนาดเกรน

ผลการศึกษา

จากการศึกษาขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันแต่ละชนิดก่อนที่จะผ่านการขึ้นรูปพบว่า ขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีขนาดเล็กกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงดังรูปภาพที่ 26 และค่าโดยประมาณของขนาดเกรนแสดงดังตารางที่ 5 โดยปลอกโลหะรัดฟันที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีขนาดเกรนประมาณ 1.3 ไมครอนและปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีขนาดเกรนประมาณ 3.7 ไมครอน ส่วนขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันที่ได้รับการเป่าทรายมีขนาดค่อนข้างใกล้เคียงกับขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้รับการเป่าทรายคือประมาณ 2.5 และ 2.8 ไมครอนตามลำดับ

หลังจากทดสอบแรงดึงแล้วจึงนำปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้เป่าทรายซึ่งไม่ได้ทำการอบคลายเครียดมาเปรียบเทียบกับขนาดเกรนกับปลอกโลหะรัดฟันที่ผ่านการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ณ เวลาต่าง ๆ กัน จากการศึกษาพบว่าขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันที่ทำการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสไม่ได้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นอย่างเห็นได้ชัด มีการเปลี่ยนแปลงขนาดใหญ่ขึ้นเพียงเล็กน้อยเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 27 และตารางที่ 6 โดยที่เวลา 0 นาที (ไม่ได้ผ่านการอบคลายเครียด) มีขนาดเล็กสุดประมาณ 1.2 ไมครอน ที่เวลา 1 นาทีมีขนาดเกรนประมาณ 1.4 ไมครอน ที่เวลา 3 นาทีมีขนาดเกรนประมาณ 1.5 ไมครอน และที่เวลา 5 นาทีมีขนาดประมาณ 1.4 ไมครอน แต่เมื่อทำการอบคลายเครียดที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปเป็น 1090 องศาเซลเซียสในเวลาเพียง 1 นาทีขนาดเกรนเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นอย่างเห็นได้ชัดโดยมีขนาดประมาณ 2.3 ไมครอน ที่เวลา 3 นาทีมีขนาดเกรนประมาณ 3.1 ไมครอนจนกระทั่งเวลา 5 นาทีขนาดเกรนนั้นจึงมีขนาดที่ใหญ่ที่สุดประมาณ 4.3 ไมครอน ดังรูปที่ 28 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันแต่ละชนิด

ชนิดของปลอกโลหะรัดฟัน	ขนาดเกรน (ไมครอน)
ชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสง	6.10
ชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสง	17.45
ชนิดที่ได้รับการเป่าทราย	10.59
ชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทราย	13.62

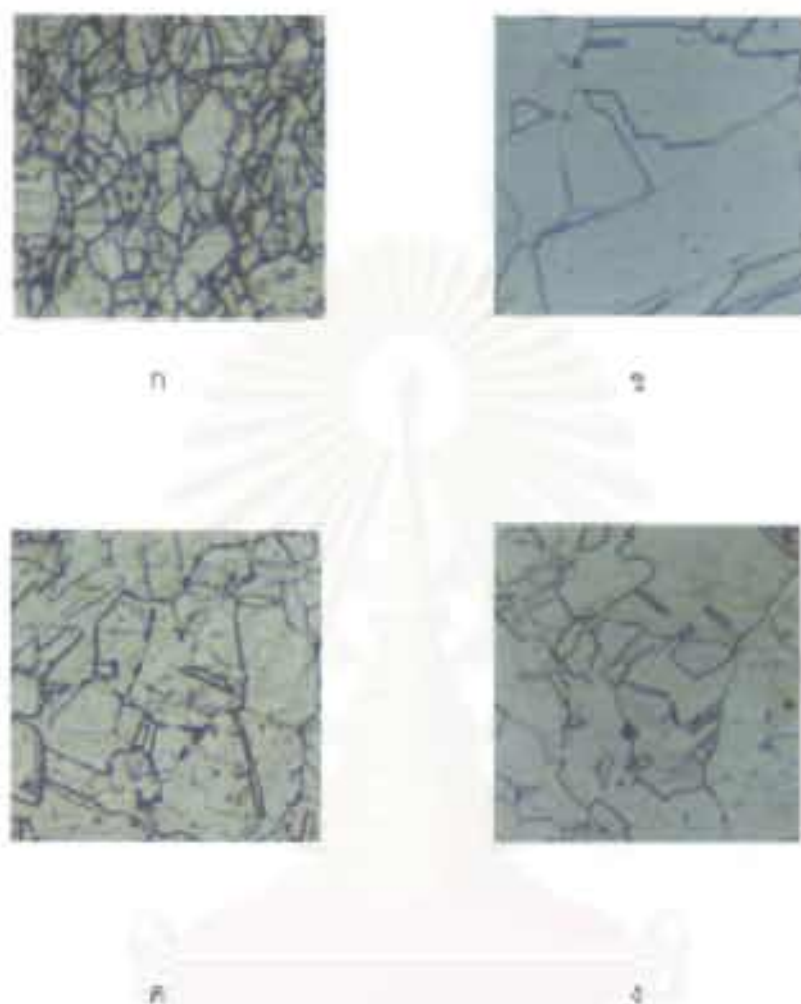
ตารางที่ 6 ขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทราย ซึ่งทำอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 และ 1090 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบคลายเครียด (องศาเซลเซียส)	เวลาการอบคลายเครียด (นาที)	ขนาดเกรน (ไมครอน)
0	0	5.27
450	1	6.47
450	3	6.84
450	5	6.68
450	9	6.87
1090	1	10.97
1090	3	14.52
1090	5	20.31

สรุปผลการศึกษา

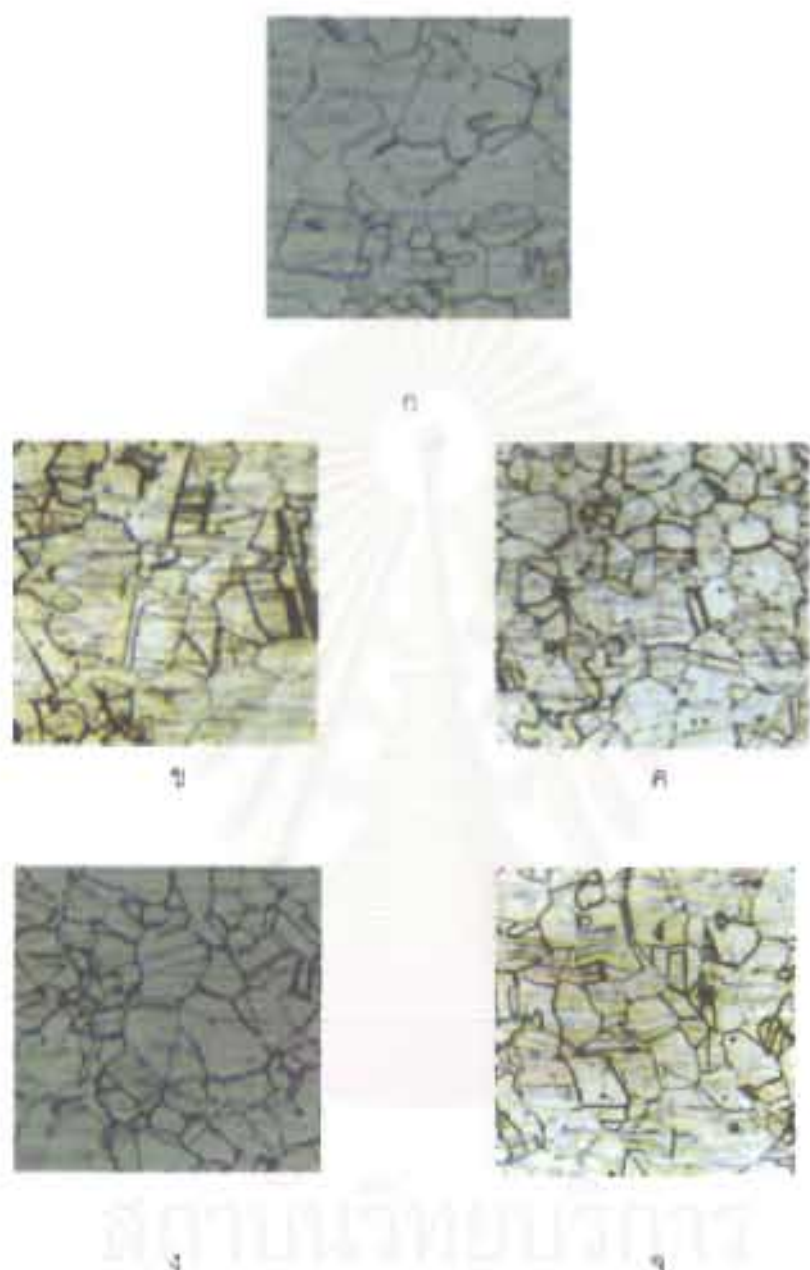
จากการสังเกตพบว่าขนาดเกรนของปลอกโลหะรัดฟันที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีขนาดเล็กที่สุด ขนาดเกรนปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้รับการเป่าทรายมีขนาดรองลงมาและมีขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดเกรนของของปลอกโลหะรัดฟันที่ได้รับการเป่าทราย ส่วนเกรนของปลอกโลหะรัดฟันที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงมีขนาดเกรนเล็กที่สุด

การอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสการเปลี่ยนแปลงขนาดของเกรนเห็นได้ไม่ชัดเจน แต่การอบคลายเครียดที่อุณหภูมิ 1090 องศาเซลเซียสทำให้ขนาดเกรนใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจน



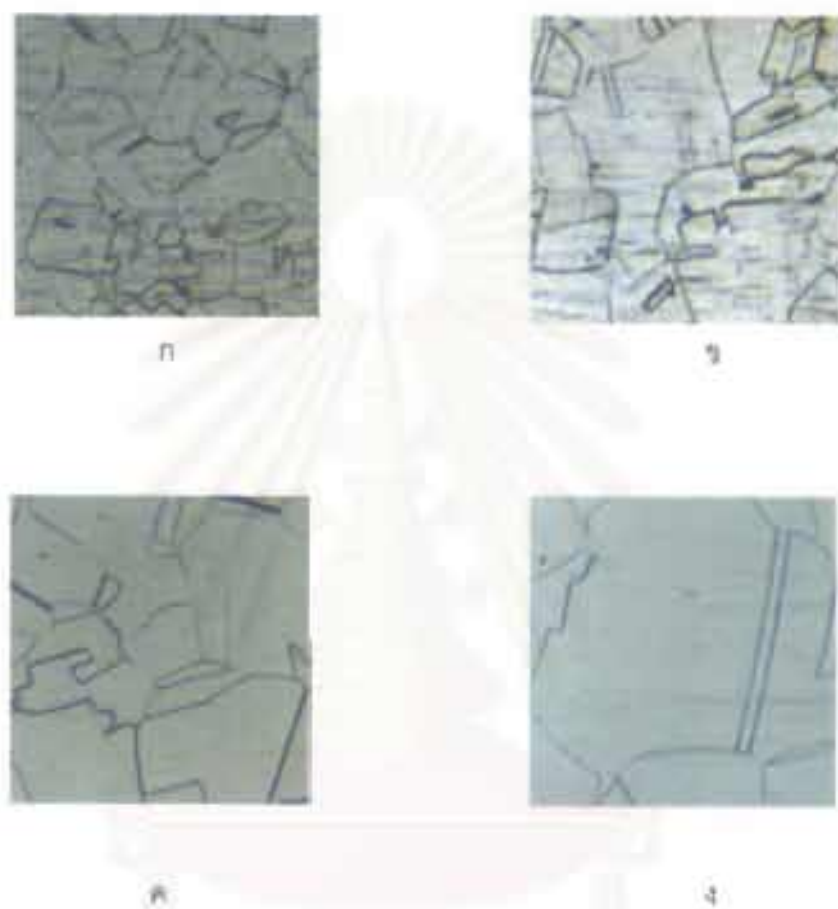
รูปที่ 26 โครงสร้างจุลภาคของบล็อกโลหะวัดพื้นแต่ละชนิดที่กำลังขยาย 200 เท่า

- ก. ขนาดเกรนของบล็อกโลหะวัดพื้นที่ได้รับการกลึงด้วยแสง
- ข. ขนาดเกรนของบล็อกโลหะวัดพื้นที่ไม่ได้รับการกลึงด้วยแสง
- ค. ขนาดเกรนของบล็อกโลหะวัดพื้นที่ได้รับการเป่าทราย
- ง. ขนาดเกรนของบล็อกโลหะวัดพื้นที่ไม่ได้รับการเป่าทราย



รูปที่ 27 โครงสร้างจุลภาคของพอลิเอทิลีนที่ได้รับความเป่าพลาสมาซึ่งผ่านการทดสอบแรงดึงแล้วที่กำลังขยาย 200 เท่า

- ก. ในสภาพที่ยังไม่ได้อบคลายเครียด
- ข. อบคลายเครียดที่ 450 °C เวลา 1 นาที
- ค. อบคลายเครียดที่ 450 °C เวลา 3 นาที
- ง. อบคลายเครียดที่ 450 °C เวลา 5 นาที
- จ. อบคลายเครียดที่ 450 °C เวลา 9 นาที



รูปที่ 28 โครงสร้างจุลภาคของบล็อกโลหะรีดพื้นที่ไม่ได้รับการเผ้าทราขเมื่อผ่านการทดสอบแรงดึงแล้วที่กำล้งขยย 200 เ่ำ

- ก. ในสภาพที่ยังไม่ได้อบคลายเครียด
- ข. อบคลายเครียดที่ 1090 °C เวลา 1 นาที
- ค. อบคลายเครียดที่ 1090 °C เวลา 3 นาที
- ง. อบคลายเครียดที่ 1090 °C เวลา 5 นาที

ภาคผนวก ง.

โครงสร้างโลหะ

ของแข็งมีโครงสร้าง 3 แบบคือ (เจน รัตน์ไพศาล, 2533)

1. โครงสร้างโมเลกุล (Molecular structure) เป็นโครงสร้างของอะตอมที่เกาะตัวเป็นโมเลกุล ตัวอย่าง ไอโอดีนมีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคน้อยมากส่วนมากเป็นแรงแวนเดอวาลส์ (Van de Waal's force)
2. โครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous structure) เป็นโครงสร้างที่อนุภาคอยู่ปะปนไม่เป็นระเบียบคล้ายของเหลว เช่น ซีเมนต์ พลาสติก แก้ว
3. โครงสร้างผลึก (Crystal structure) เป็นโครงสร้างของอะตอมเกาะตัวเนื่องกันอย่างมีระเบียบทั้งสามแกนและซ้ำ ๆ กันตลอดทั้งมวลจนเกิดเป็นผลึกขึ้น เช่น โลหะ

โครงสร้างผลึก (Crystal Structure)

ผลึกเป็นของแข็งเนื้อเดียว มีหน้าเรียบ ขอบตัด มุมระหว่างผิวเป็นมุมแน่นอน เมื่อผลึกแตกออก ชั้นของผลึกหลุดออกเป็นชั้น ๆ ตามผิวหน้าตัดของผลึก และชั้นส่วนที่เหลือยังคงเป็นผลึกเหมือนเดิม

อนุภาคภายในผลึกอาจจะเป็นโมเลกุล หรืออะตอม หรือไอออน ซึ่งเรียงกันอย่างมีระเบียบตลอดทั้งมวล เรียกอนุภาคแต่ละจุดว่า หน่วยอนุภาค (Unit particle)

การเรียงตัวของอนุภาคภายในผลึกมีระยะห่างด้วยแรงดึงดูดที่แน่นอนและสมดุลกัน เชื่อมโยงเป็นตาข่ายทั้งสามมิติตลอดทั้งมวล เรียกว่า โครงสร้างผลึก (Space lattice)

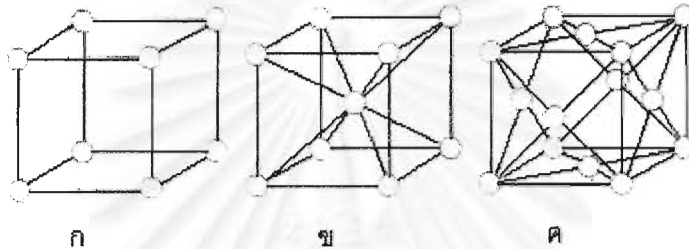
ถ้าย่อยโครงสร้างผลึกที่เหมือน ๆ กันออกเป็นหน่วยที่เล็กที่สุด หน่วยของโครงสร้างผลึกนั้น เรียกว่า หน่วยเซลล์ (Unit cell) หน่วยเซลล์มีหลายแบบ เช่น ผลึกรูปลูกบาศก์ หรือผลึกรูปหกเหลี่ยม เป็นต้น

ผลึกรูปลูกบาศก์ (Cubic crystal)

โครงสร้างผลึกรูปลูกบาศก์มีด้านเท่ากันทุกด้าน มุมระหว่างหน้าตัดทุกหน้าเป็นมุม 90 องศา และมีหน่วยอนุภาคอยู่ที่มุมทุกมุมของหน่วยเซลล์ มุมละหนึ่งหน่วยอนุภาค เรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า ผลึกรูปลูกบาศก์ชนิดธรรมดา (Simple cubic crystal) โลหะไม่มีผลึกแบบนี้

ถ้ามีหน่วยอนุภาคเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งหน่วย โดยเพิ่มขึ้นที่จุดศูนย์กลางของลูกบาศก์ เรียกว่า ผลึกรูปลูกบาศก์ชนิดมีหน่วยอนุภาคที่ศูนย์กลาง (Body centered cubic crystal) มีชื่อย่อว่า BCC เช่น เหล็กแอลฟา โครเมียม โมลิบดีนัม และทังสเตน

ถ้ามีหน่วยอนุภาคเพิ่มขึ้นที่ผนังทุกด้านของลูกบาศก์ แต่ไม่มีที่ศูนย์กลางของลูกบาศก์ เรียกว่าผลึกรูปลูกบาศก์ชนิดมีหน่วยอนุภาคที่ผนัง (Face centered cubic crystal) มีชื่อย่อว่า FCC เช่น ทอง เงิน ทองแดง แพลเลเดียม เหล็กแกมมา นิกเกิล โคบอลต์

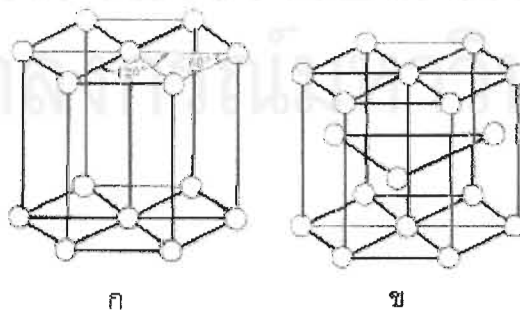


รูปที่ 29 ผลึกรูปลูกบาศก์ ก. ชนิดธรรมดา ข. หน่วยอนุภาคอยู่ศูนย์กลาง ค. หน่วยอนุภาคอยู่ที่ผนัง

ผลึกรูปหกเหลี่ยม (Hexagonal crystal)

โครงสร้างของผลึกรูปหกเหลี่ยมมีลักษณะดังนี้ ด้านเท่ากัน 2 ด้าน ทำมุม 120 องศา อีกด้านหนึ่งมีความยาวต่างออกไป และทำมุม 90 องศา กับสองด้านนั้น

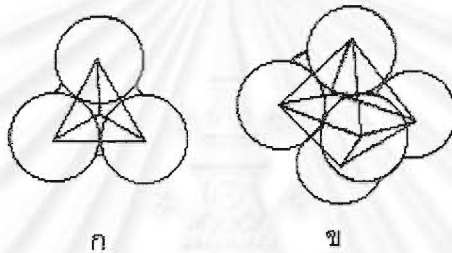
ถ้าหน่วยของอนุภาคอยู่ทุกจุดของโครงสร้างแบบนี้จุดละหนึ่งหน่วย เรียกว่า ผลึกรูปหกเหลี่ยม ชนิดธรรมดา (Simple hexagonal crystal) โครงสร้างชนิดนี้ไม่พบในโลหะเพราะอะตอมดึงดูดกันอย่างหลวม ๆ ส่วนผลึกรูปหกเหลี่ยมชนิดอัดแน่น (Hexagonal close packed crystal) มีชื่อย่อว่า HCP จะพบได้ในโลหะ เช่น สังกะสี แมกนีเซียม แคดเมียม และไทเทเนียม



รูปที่ 30 ลักษณะของผลึกรูปหกเหลี่ยม ก. ชนิดธรรมดา ข. ชนิดอัดแน่น

การอัดแน่นของหน่วยอนุภาค (Closet packing)

หน่วยอนุภาคที่เพิ่มขึ้นนอกเหนือจากที่มุมของหน่วยเซลล์ของผลึกรูปลูกบาศก์ เช่น ที่ศูนย์กลาง ที่ผนัง ทำให้หน่วยอนุภาคอัดกันแน่นมากขึ้น แรงดึงดูดก็สูงขึ้น ถ้าให้หน่วยอนุภาคที่รูปทรงกลมและมีขนาดเท่า ๆ กัน นำมาอัดในหน่วยเซลล์จนแน่นจะเหลือช่องว่างเล็ก ๆ ระหว่างทรงกลมที่ประชิดกัน ถ้าช่องว่างอยู่ตรงกลางของทรงกลม 4 หน่วยประชิดกัน เรียกว่า ช่องโพรงสี่เหลี่ยม (Tetrahedron holes) ถ้าช่องว่างที่เกิดจากทรงกลม 6 หน่วยประชิดกัน เรียกว่า ช่องออกทาศี่เหลี่ยม (Octahedron hole) อนุภาคอื่นที่มีขนาดเท่าหรือเล็กกว่าช่องว่างดังกล่าวสามารถเข้าไปแทรกได้ และทำให้การอัดแน่นเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 31 ลักษณะช่องว่าง ก. ช่องโพรงสี่เหลี่ยม ข. ช่องออกทาศี่เหลี่ยม

หน่วยอนุภาคแต่ละหน่วยในหน่วยเซลล์สัมผัสกับหน่วยอนุภาคข้างเคียงทุกทิศ จำนวนหน่วยอนุภาคใกล้เคียงที่สุดของแต่ละหน่วยอนุภาคในโครงสร้างผลึกเรียกว่า โคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ (Coordination number) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง หน่วยอนุภาคหนึ่งหน่วยในโครงสร้างผลึกสามารถสัมผัสกับหน่วยอนุภาคข้างเคียงกี่หน่วย ถ้าโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์มาก อนุภาคเบียดกันมาก ระยะสัมผัสระหว่างอนุภาคชิดกันมาก และแรงดึงดูดก็มากขึ้น

อิทธิพลที่มีต่อโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ ของอะตอมหนึ่ง ๆ ขึ้นอยู่กับ

ก. จำนวนโคเวเลนเดนซ์บอนด์ ถ้าจำนวนโคเวเลนเดนซ์บอนด์มาก จำนวนโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ก็มาก

ข. การอัดแน่นของอะตอม ถ้าการอัดแน่นของอะตอมเกิดขึ้นมาก จำนวนโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ก็มาก

โคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ของโครงสร้างผลึกรูปลูกบาศก์ชนิดธรรมดาเท่ากับ 6 ชนิดอะตอมอยู่ที่ศูนย์กลางเท่ากับ 8 ส่วนโครงสร้างผลึกแบบรูปหกเหลี่ยมเท่ากับ 12 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์

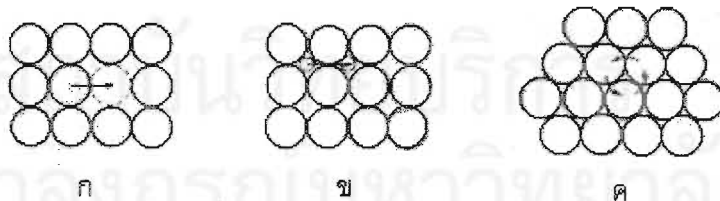
โลหะมีโครงสร้างผลึกชนิดที่มีโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ตั้งแต่ 8 ถึง 12 เพราะ
อนุภาคของโลหะอัดกันแน่นมาก

การเคลื่อนที่ของอะตอม (Atomic movements)

อะตอมของผลึกจะหยุดนิ่งไม่เคลื่อนไหวเมื่ออุณหภูมิศูนย์องศาเซลเซียส เมื่อ
อุณหภูมิสูงขึ้น อะตอมเริ่มเคลื่อนไหวและค่อย ๆ มากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูง
มากพอจะทำให้อะตอมเคลื่อนที่ไปบริเวณอื่นได้

ในสถานะของแข็ง กลไกของอะตอมสามารถเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีก
ตำแหน่งหนึ่งได้โดย

1. เคลื่อนไปยังช่องว่าง (Vacancy) เรียกว่า Vacancy mechanism การเคลื่อน
ของอะตอมแบบนี้ใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย และเป็นการเคลื่อนของอะตอมที่อยู่ข้างเคียงกับช่อง
ว่างที่มีขนาด เท่าหรือใกล้เคียงกัน
2. แทรกระหว่างอะตอม (Interstitial) เป็นการเคลื่อนที่ของอะตอมขนาดเล็กไป
ยังช่องว่างระหว่างอะตอมขนาดใหญ่ เรียกว่า Interstitial mechanism พลังงานที่ใช้เคลื่อนอะตอม
แบบนี้เพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกับ Vacancy mechanism
3. เคลื่อนแบบวงแหวน (Ring diffusion) คือ อะตอมแรกเคลื่อนไปแทนที่อะตอม
ที่สองที่อยู่ข้างเคียง อะตอมที่สองเคลื่อนไปแทนที่อะตอมที่สาม ทำให้อะตอมทั้งสามเคลื่อนที่เป็น
วงแหวน อะตอมที่เคลื่อนเป็นวงแหวน มีขนาดใกล้เคียงกันและใช้พลังงานมาก



รูปที่ 32 การเคลื่อนที่ของอะตอมในสถานะของแข็ง ก. เคลื่อนที่ไปยังช่องว่าง ข. แทรกระหว่าง
อะตอม ค. เคลื่อนที่แบบวงแหวน

ผลึกที่ไม่สมบูรณ์ (Crystal imperfection)

โดยทฤษฎี อนุภาคของหน่วยเซลล์แต่ละหน่วยควรเรียงต่อเนื่องกันเป็นระเบียบ
และสัมผัสกับหน่วยอนุภาคข้างเคียงครบตามโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ของหน่วยเซลล์นั้นตลอด

โครงสร้าง แต่ความเป็นจริงแล้ว หน่วยอนุภาคของหน่วยเซลล์ไม่สมบูรณ์ทุกหน่วย เช่น หายไปจากที่ควรอยู่ หรืออยู่ผิดที่ หรือมีหน่วยอนุภาคแปลกปลอมเข้ามาแทนที่หน่วยอนุภาคเดิม การที่เกิดข้อบกพร่อง และไม่สมบูรณ์ ขึ้นภายในโลหะ ทำให้คุณสมบัติของโลหะเปลี่ยนแปลงไป เช่น เปราะ แต่บางครั้งทำให้เกิดคุณสมบัติบางอย่างขึ้น เช่น เดิมไม่นำไฟฟ้าเลย กลายเป็นนำไฟฟ้าได้ ผลึกที่ไม่สมบูรณ์นี้แยกเป็น 3 ประเภท คือ

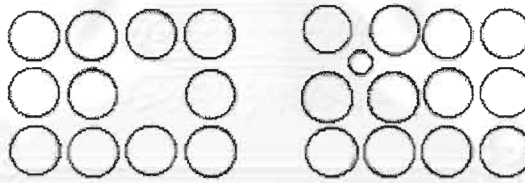
1. ประเภทที่เกิดบกพร่องเฉพาะตำแหน่งเรียกว่า จุดบกพร่อง (Point defect) เช่น

ก. เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างอนุภาคหรืออะตอมในโลหะ โดยอะตอมบริเวณนั้นหายไป เรียกว่า Vacancies

ข. Interstitialcy เป็นจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นโดยมีอนุภาคอื่นเข้าไปแทรก ทำให้บริเวณนั้นมีอนุภาคเพิ่มขึ้นกว่าเดิม

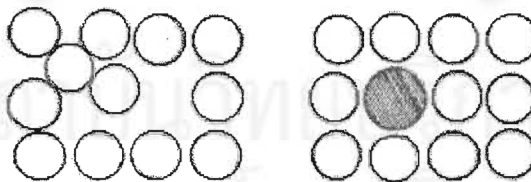
ค. Frenkel defect เกิดช่องว่างขึ้น โดยอนุภาคที่ช่องว่างนั้นเคลื่อนไปแทรกบริเวณอื่น

ง. Impurity atom เป็นจุดบกพร่องที่มีอะตอมต่างชนิดเข้าไปแทนที่ vacancies



ก

ข



ค

ง

รูปที่ 33 จุดบกพร่องแบบต่าง ๆ ก. Vacancies ข. Interstitialcy ค. Frenkel defect

ง. Impurity atom

2. ประเภทที่เกิดดิสโลเคชัน (Dislocation) โดยทฤษฎี หน่วยอนุภาคของผลึกในโลหะจะเรียงเป็นระนาบ ถ้าลากเส้นผ่านจุดศูนย์กลางของแต่ละหน่วยอนุภาคจะได้เส้นขนานตลอดทั้งมวล แต่บางครั้งเส้นที่ลากผ่านหน่วยอนุภาคที่เรียงตัว ผิดปกติ อาจเจอออกหรือเข้าหากัน การเกิดการบกพร่องตามระนาบภายในผลึกเช่นนี้เรียกว่า ดิสโลเคชัน

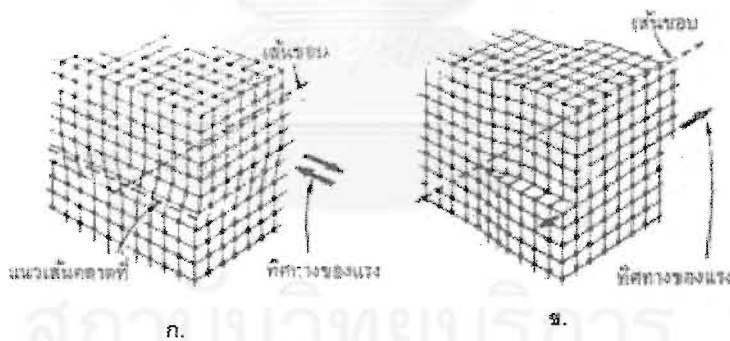
ฉะนั้นดิสโลเคชันเกิดจากหน่วยอนุภาคเรียงตัวผิดไปจากระนาบปกติ เช่น ถูกดึง ถูกอัด ทำให้ระนาบของหน่วยอนุภาคเจกจากเดิม ระนาบของหน่วยอนุภาคที่เจนี้เรียกว่า แนวเส้นดิสโลเคชัน (Dislocation line)

ดิสโลเคชันมี 2 รูปแบบ

ก. ดิสโลเคชันตามขอบ (Edge dislocation) เกิดจากมีระนาบของอนุภาคที่เกิน (Extrajane) อยู่เหนือหรือใต้แนวเส้นดิสโลเคชัน ข้อสังเกตดิสโลเคชันตามขอบเกิดขึ้นโดยเบอร์เกอร์เวคเตอร์ (Burgers vector) ตั้งฉากกับแนวเส้นดิสโลเคชัน (รูปที่ 34 ก)

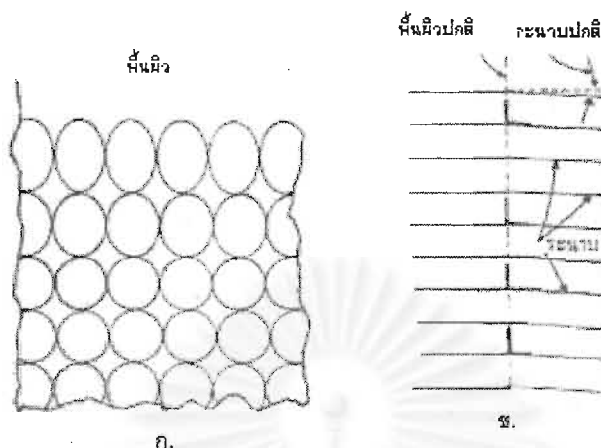
ข. ดิสโลเคชันแบบเกลียว (Screw dislocation) เกิดจากเบอร์เกอร์เวคเตอร์ขนานกับแนวเส้นดิสโลเคชัน (รูปที่ 34 ข)

เบอร์เกอร์เวคเตอร์ หมายถึง ระยะทางที่อนุภาคหลุดเลื่อนไปจากเส้นแนวดิสโลเคชัน



รูปที่ 34 ลักษณะดิสโลเคชัน ก.ดิสโลเคชันตาบขอบ ข.ดิสโลเคชันแบบเกลียว

3. ประเภทที่เกิดบกพร่องที่พื้นผิว (Surface defects) เป็นสิ่งที่บกพร่องที่เกิดกับขอบเขตของเกรนภายในของโลหะ พบว่าขนาดของเกรนที่พื้นผิวมีขนาดโตกว่าเกรนภายในเนื้อโลหะเพราะว่าเกรนที่พื้นผิวถูกอัดด้านเดียว ส่วนเกรนภายในถูกอัดรอบด้าน พลังงานของเกรนที่พื้นผิวจึงสูงกว่า ขนาดก็โตกว่า (รูปที่ 35 ก) มีพื้นผิวของเกรนที่ผิดปกติอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า Tilt boundary (รูปที่ 35 ข) โดยมีตุ่มเล็ก ๆ เกิดขึ้นบนพื้นผิวของโลหะ เช่น เจอร์เมเนียม ตุ่มนี้เกิดจากขอบของ 2 เกรนที่ติดกัน ทำมุมเล็ก ๆ กับระนาบนอน



รูปที่ 35 สิ่งบกพร่องที่พื้นผิว ก. เกรนที่ผิวโตกว่าเกรนภายใน ข. Tilt boundary

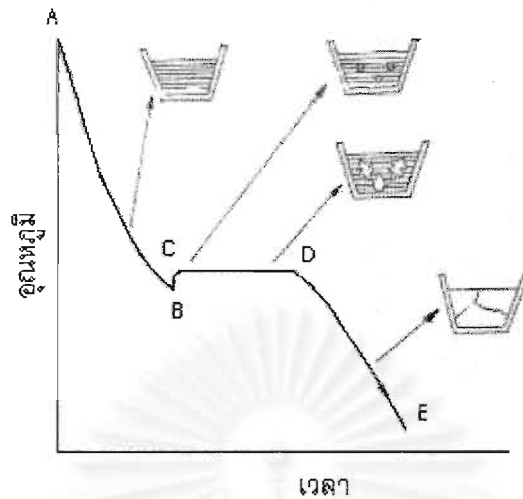
เส้นสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของโลหะบริสุทธิ์ขณะหลอมเหลวและเย็นลง (Cooling curve of pure metal)

ถ้านำโลหะบริสุทธิ์มาหลอมจนละลาย แล้วปล่อยให้เย็นลงจนแข็งตัวในอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ โดยวัดอุณหภูมิต่ำลงทุกระยะเวลาที่กำหนด แล้วเขียนเส้นสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา มีลักษณะดังนี้ รูปที่ 36

1. ช่วงแรก เป็นช่วงที่โลหะอยู่ในสภาพหลอมเหลว (A-B) เมื่อความร้อนระบายออกอุณหภูมิจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Freezing point) เล็กน้อย โลหะยังไม่ก่อนิวเคลียส ปฏิกิริยาการเกิดการเย็นกว่าจุดเยือกแข็งนี้เรียกว่า การเย็นตัวยิ่งยวด (Super cooling)

2. ช่วงที่สอง หลังการเย็นตัวยิ่งยวดแล้ว อุณหภูมิกลับสูงขึ้น (B-C) ถึงระดับจุดเยือกแข็งและจะคงที่ในระดับจุดเยือกแข็งระยะหนึ่ง (C-D) เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงคายความร้อนแฝง (Platau portion) นิวเคลียสเริ่มก่อตัวตั้งแต่อุณหภูมียิ่งยวด และจำนวนนิวเคลียสค่อยเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในช่วงคายความร้อนแฝง

3. ช่วงที่สาม เป็นช่วงที่โลหะนั้นแข็งตัวทั้งก้อน ซึ่งเกิดขึ้นภายหลังการคายความร้อนแฝงสิ้นสุดโดยค่อย ๆ แข็งขึ้นตามอุณหภูมิต่ำลงจนถึงอุณหภูมิจากปฏิบัติการ (D-E) ช่วงนี้เป็นช่วงที่นิวเคลียสขยายตัวจนกลายเป็นเกรน



รูปที่ 36 เส้นสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของโลหะบริสุทธิ์

การเกิดนิวเคลียส (Nucleation)

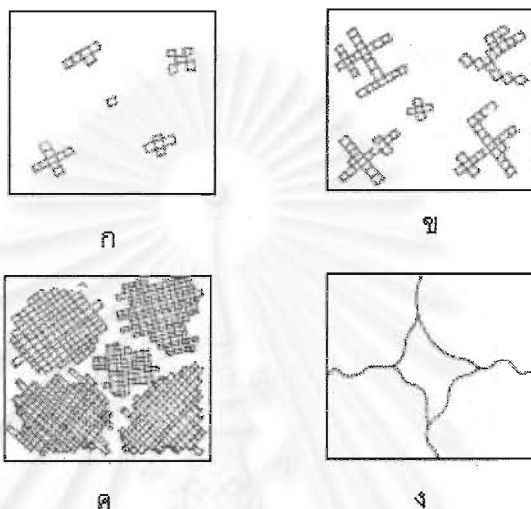
ในสถานะของเหลว จะไม่เกิดผลึก เพราะอะตอมเคลื่อนที่อิสระ บางครั้งเคลื่อนเข้าหากัน ชั่วครู่ก็แยกจากกัน แล้วก็เคลื่อนเข้าหากันอีก เมื่อเป็นเช่นนี้ทำให้อะตอมไม่มีโอกาสก่อตัวขึ้นได้เลย แต่จะเริ่มก่อตัวแน่นอนครั้งแรกเกิดขึ้น ณ อุณหภูมิของการเย็นตัวยิ่งยวด อะตอมบางอะตอมจะรวมตัวเป็นจุดเล็ก ๆ ขึ้นก่อน เรียกว่า เอมบริโอ (Embryo) เอมบริโอตัวใดที่สามารถรวมกันจนมีขนาดโตเท่าหรือเกินเท่าขนาดจำกัดของโลหะชนิดนั้น ๆ เอมบริโอตัวนั้นก็กลายเป็นนิวเคลียส (Solidification nucleus) เอมบริโอตัวใดที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดจำกัดจะสลายตัวไป

จากทฤษฎีของเทอร์โมไดนามิก เอมบริโอตัวใดจะมีขนาดเท่าขนาดจำกัดได้หรือไม่ ขึ้นอยู่กับพลังงานอะตอมแต่ละตัวที่คายออกเมื่อหยุดเคลื่อนไหวในขณะหลอมเหลว และจับกลุ่มรวมตัวกับพลังงานที่กลุ่มอะตอมจะต้องใช้เพื่อตั้งตัวให้เป็นกลุ่ม ถ้าปริมาณพลังงานที่อะตอมคายออกมากกว่าปริมาณพลังงานที่ใช้ตั้งเพื่อจับกลุ่ม อะตอมจะรวมตัวเป็นนิวเคลียสได้

ส่วนจำนวนเอมบริโอจะเกิดมากหรือน้อย ย่อมแล้วแต่ว่าอุณหภูมิของการเย็นตัวยิ่งยวดต่ำกว่าจะเยือกแข็งมากแค่ไหน ถ้ามีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งมากแค่ไหน ขนาดจำกัดก็ยิ่งเล็กลง ทำให้เกิดเอมบริโอได้มากขึ้น โอกาสที่จะเป็นนิวเคลียสก็มากขึ้น

เมื่อนิวเคลียสเกิดขึ้นถาวร จะต่อกับนิวเคลียสอื่นที่อยู่ข้างเคียงในระนาบตั้งฉาก ทั้งสามมิติเกิดเป็นโครงสร้างรูปคล้ายต้นสน เรียกว่า เดนไดรต์ (Dendrite) รูปที่ 37 เดนไดรต์แต่ละกลุ่มมีขนาดไม่เท่ากัน กลุ่มใดเกิดก่อนจะโตและขยายตัวกว้างกว่ากลุ่มที่เกิดทีหลัง แต่ละกลุ่มรวมตัวตกผลึกเป็นเนื้อเดียวกัน เรียกว่า เกรน (Grain)

บริเวณที่เกิดนิวเคลียสขึ้นก่อน ได้แก่ บริเวณที่สูญเสียความร้อนมากที่สุด หรือ พุดให้เข้าใจง่ายคือบริเวณที่เย็นตัวเร็ว ถ้าหลอมโลหะในเบ้าแล้วปล่อยให้เย็นลง นิวเคลียสจะเกิดที่ ผิวของเบ้าก่อน แล้วผลึกหรือเกรนที่เกิดขึ้นจะขยายตัวเข้าสู่ตรงกลางเบ้า เกรนจะหยุดเติบโตเมื่อ ไม่มีสภาพเป็นของเหลวเหลืออยู่ หรือเมื่อเกรนนั่นโตจนไปชนกับเกรนข้างเคียง



รูปที่ 37 ระยะต่าง ๆ ของกระบวนการการแข็งตัวของโลหะ ภาพ ก. ข.และค. แสดงการเกิด เคนไดรต์ในปริมาณที่มากขึ้นตามลำดับ ภาพ ง. เมื่อกลายเป็นเกรน

ขอบเขตและขนาดของเกรน (Grain boundary and grain size)

เมื่อเกรนแต่ละเกรนโตขึ้น ต่างก็ขยายออกไปจนกระทั่งชนกัน เกรนนั่นโตบริเวณที่ เกรนหนึ่งติดกับเกรนข้างเคียง เรียกว่า ขอบเขตของเกรน (Grain boundary)

ขอบเขตของแต่ละเกรนมีรูป (Grain size) ไม่แน่นอนและขนาดก็ไม่เท่ากัน ที่เป็น เช่นนี้เพราะนิวเคลียสเกิดไม่พร้อมกัน นิวเคลียสที่เกิดก่อนจะขยายได้มากกว่านิวเคลียสที่เกิด ที่หลัง และนิวเคลียสนั้นจะโตกว่านิวเคลียสที่เกิดหลัง

การศึกษาลักษณะของเกรน

เกรนของโลหะแต่ละชนิดมีขนาดไม่เท่ากัน บางชนิดสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า บางชนิดขนาดเล็กต้องขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์

วิธีเตรียมตัวอย่างทดสอบ (Specimen) สำหรับดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

1. ขัดพื้นผิวของตัวอย่างทดสอบให้เรียบ เริ่มด้วยแผ่นกระดาษทรายจากหยาบไป ละเอียดเสร็จแล้วใช้ผงขัด (Abrasive) เช่น ผงอลูมิเนียมออกไซด์ ขัดบนผ้าสักหลาด ที่หมุนด้วย

มอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขจัดรอยขีดข่วนที่อยู่บนพื้นผิวของตัวอย่างทดสอบ หรือใช้ขัดด้วยกรรมวิธีไฟฟ้าเคมี (Electrolytic polisher) แทนก็ได้

2. ล้างสิ่งเจือปนที่อาจตกค้างบนผิวด้วยสารทำละลาย (Solvent)

3. ใช้รีเอเจนต์ (Reagent) ที่เหมาะกับโลหะนั้นกัด (Etching) พื้นผิวของโลหะรีเอเจนต์ที่ใช้กัดผิวเรียกว่า สารกัดผิว (Etching agent) สารกัดผิวกัดบริเวณตามขอบ ๆ ของเกรน ลึกกว่าส่วนกลาง ๆ เพราะอะตอมตามขอบมีสารเจือปนมากกว่าส่วนกลางของเกรน ฉะนั้นเมื่อปล่อยให้สารกัดผิวเกิดปฏิกิริยาในระยะเวลาหนึ่งพื้นผิวที่ขอบของเกรนจะกร่อนเร็วกว่าส่วนในของเกรน ทำให้ขอบของเกรนเกิดร่องลึก

4. เมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์ ร่องลึกของขอบของเกรนจะสะท้อนแสงทำให้เห็นขอบเขตเด่นชัด

ตัวก่อให้เกิดนิวเคลียส (Nucleating agent)

ในโลหะบริสุทธิ์นิวเคลียสจะก่อตัวขึ้น โดยปริมาณพลังงานที่อะตอมคายออกมีมากกว่าพลังงานที่อะตอมใช้ดึงเข้าหากัน แต่ถ้ามีอะตอมของธาตุอื่นหรือสิ่งเจือปน (Nucleating agent) ที่เย็นตัวลงโดยเร็วจะทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสให้อะตอมของโลหะบริสุทธิ์เกาะได้รวดเร็วและแข็งตัวเร็วขึ้น ถ้าอะตอมของธาตุอื่นมีจำนวนมาก นิวเคลียสแต่ละนิวเคลียสโตไม่เต็มที่ เกิดแข็งตัวเสียก่อน ทำให้เนื้อโลหะประกอบด้วยเกรนที่ละเอียด

อิทธิพลที่ทำให้รูปร่างและขนาดของเกรนเปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดของเกรนเกิดได้ทั้งโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสม

1. กระบวนการหลอมตัวและแข็งตัวของชิ้นงานโลหะ

เมื่อเทโลหะผสมในแบบ (Mould) เพื่อให้ได้รูปร่างและขนาดตามต้องการ เกรนจะเกิดตามพื้นผิวของตัวแบบก่อน และขยายลึกเข้าไปส่วนกลางของแบบ เกรนที่เกิดขึ้นตั้งฉากกับผนังของแบบ เกรนที่เกิดขึ้นตั้งฉากกับเกรนแรก เกรนที่สามตั้งฉากกับเกรนที่สองเรื่อยไปเช่นนี้ เกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติของเดนไดรต์เหมือนกับการเกิดนิวเคลียสของโลหะ (รูปที่ 37 ก-ข)

โลหะที่แข็งตัวก่อนจะเป็นแกนเดนไดรต์ ส่วนโลหะที่แข็งตัวทีหลังจะต่อตามกิ่งของเดนไดรต์ เนื่องจากกระบวนการคายความร้อนแฝงของโลหะผสม ทำให้เกิดการแข็งตัวก่อนที่เกรนเหล่านั้นโตเต็มที่เกรนของแบบหล่อ โลหะจึงจะอยู่ในลักษณะของเดนไดรต์

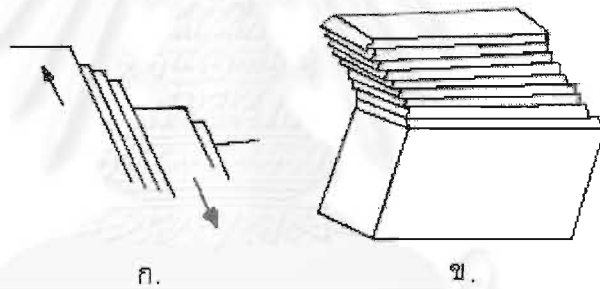
2. การเสียรูป (Deformation)

เมื่อรีดหรือตีโลหะให้เป็นแผ่น จุดหรือบริเวณนั้นจะตอมเรียงตัวผิดปกติ เรียกว่า การเสียรูป โครงสร้างของผลึกจะเปลี่ยนแปลง 2 ระดับ

1. ระดับแรก น้ำหนักหรือแรงใช้รีดหรือตีไม่มากนัก โครงสร้างของผลึกเสียรูปไปบ้างแต่ อะตอมจะคืนตัวเข้าตำแหน่งเดิมได้เมื่อเอาน้ำหนักหรือแรงนั้นออก เรียกว่า การเสียรูปชั่วคราว หรือการยืดตัวไม่ถาวร (Elastic deformation)

2. ระดับที่สอง เมื่อเพิ่มน้ำหนักหรือแรงถึงระดับหนึ่ง กลุ่มของอะตอมในผลึกจะขัดกันเอง (Slip) หรือถูกผลักให้เอียงทั้งแถบ (Twin) เมื่อปล่อยน้ำหนักหรือแรงออก กลุ่มอะตอมจะหดกลับบ้างแต่ถึงที่เดิม การเปลี่ยนแปลงระดับนี้ เรียกว่า การเสียรูปถาวร หรือการยืดหดตัวถาวร (Plastic deformation)

อะตอมที่ขัดกันนั้นมีหน่วยแรงตกค้าง (Residual stress) อยู่ ทำให้กำลังความแข็งแรงและความแข็งผิวเพิ่มขึ้น



รูปที่ 38 การเสียรูปอย่างถาวร ก. แบบขัดกันเอง (Slip) ข. แบบถูกผลักให้เอียง (Twin)

3. กระบวนการทำให้โลหะเย็นลง เมื่อปล่อยให้โลหะหลอมเหลวแข็งตัวอย่างรวดเร็ว เกรนของโลหะนั้นขยายตัวไม่เต็มที่ จึงมีขนาดเล็ก แต่ถ้าปล่อยให้โลหะหลอมเหลวแข็งตัวอย่างช้า ๆ คือ ค่อย ๆ ปล่อยให้เย็นลง โลหะนั้นมีเวลาขยายตัวมาก จึงมีขนาดใหญ่

ภาคผนวก จ.

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steels)

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steels) หมายถึงกลุ่มเหล็กที่ไม่ขึ้นสนิมสีดำหรือสีน้ำตาลเหมือนเหล็กกล้าทั่วไป เหล็กกล้าไร้สนิมในงานอุตสาหกรรมมีธาตุโครเมียมผสมอยู่ไม่น้อยกว่า 11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การที่เหล็กไม่ขึ้นสนิมเป็นเพราะผิวเหล็กพวกนี้ถูกปกคลุมด้วยโครเมียมออกไซด์อย่างทั่วถึงทำให้ตัวเหล็กไม่ถูกออกซิไดซ์กลายเป็นออกไซด์ (Fe_3O_4 หรือ Fe_2O_3) จึงไม่มีสนิม

กลุ่มของเหล็กกล้าไร้สนิม (Davis, 1996)

เหล็กกล้าไร้สนิมอาจจัดรวมเป็นกลุ่ม ๆ ได้ 5 กลุ่ม โดย 4 กลุ่มแรกแบ่งตามชนิดของโครงสร้างจุลภาคที่ประกอบเป็นเนื้อเหล็กได้ คือ เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกและเหล็กกล้าไร้สนิมแบบดูเพล็กซ์ กลุ่มสุดท้ายนี้คือเหล็กกล้าไร้สนิมแบบพรีซิพิตีชันฮาร์ดเทนนิ่ง ซึ่งแบ่งออกไปตามลักษณะของการทำกรรมวิธีทางความร้อนมากกว่าที่จะแบ่งตามโครงสร้างจุลภาค

1. เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic Stainless steels)

เหล็กพวกนี้มีโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์ ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบบอดีเซนเตอร์คิวบิก (Bodycentered cubic)

2. เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic stainless steels)

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กพวกนี้เป็นแบบออสเทนไนต์ ซึ่งมีระบบผลึกเป็นแบบเฟซเซนเตอร์คิวบิก (Face-centered cubic)

3. เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก (Martensitic stainless steels)

เหล็กพวกนี้มีโครงสร้างจุลภาคผลึกเป็นแบบมาร์เทนไซต์ ซึ่งมีระบบผลึกกึ่ง ๆ ระหว่างแบบเฟซเซนเตอร์คิวบิกและแบบบอดีเซนเตอร์คิวบิก

4. เหล็กกล้าไร้สนิมแบบดูเพล็กซ์ (Duplex stainless steels)

เป็นเหล็กที่ประกอบด้วยโครเมียม นิกเกิล และโมลิบดีนัม ซึ่งทำให้อยู่ในสภาพสมดุลของออสเทนไนต์และ เฟอร์ไรต์

5. เหล็กกล้าไร้สนิมแบบพรีซิพิตชันฮาร์ดเดนิง (Precipitation hardening stainless steels)

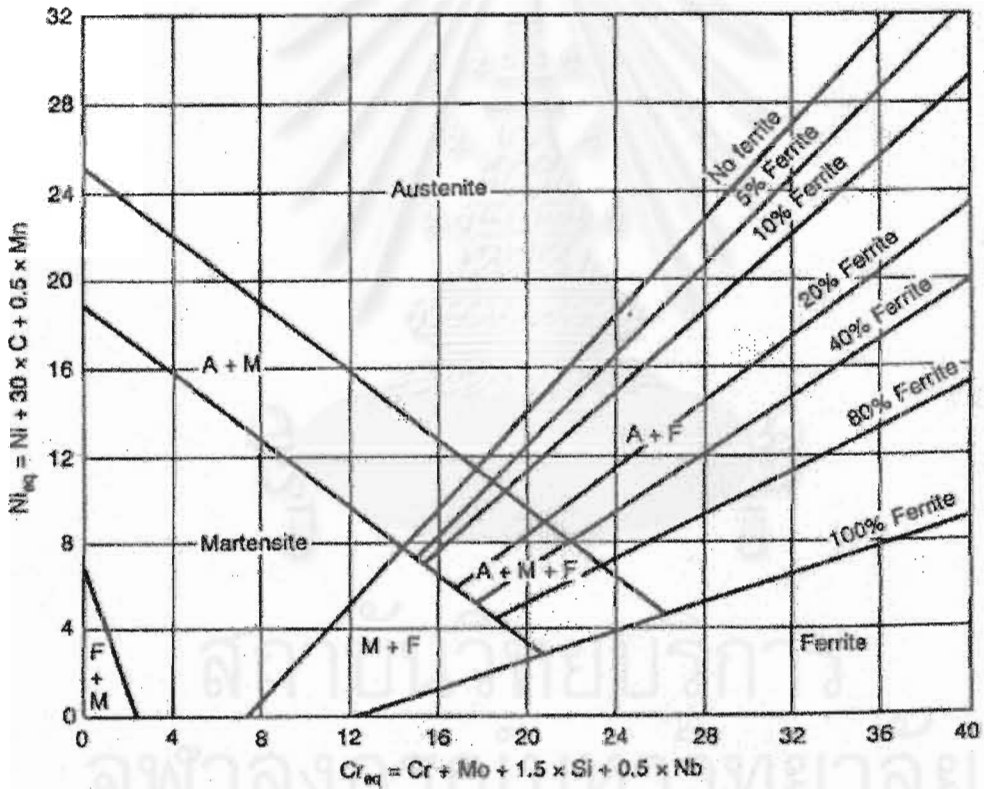
เป็นกลุ่มเหล็กกล้าที่สามารถทำให้เกิดเฟสใหม่ (Precipitation of new phase) แยกออกจากเฟสเดิมได้โดยการทำกรรมวิธีทางความร้อน ผลของการเกิดเฟสใหม่ ทำให้ความแข็งแรงของเหล็กเพิ่มมากขึ้น

เหล็กกล้าไร้สนิมจะมีโครงสร้างจุลภาคเป็นแบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีของเหล็กนั้น ๆ ธาตุเหล่านี้อาจแบ่งออกเป็น 2 พวก พวกแรกส่งผลให้เหล็กมีโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์ ได้แก่ โครเมียม (Chromium, Cr), โมลิบดีนัม (Molybdenum, Mo), ซิลิกอน (Silicon, Si) และ (Niobium, Ni) พวกที่สองส่งผลให้เหล็กมีโครงสร้างจุลภาคเป็นที่ออสเทนไนต์ ได้แก่ นิกเกิล (Nickel, Ni), คาร์บอน (Carbon, C), แมงกานีส (Manganese, Mn) เมื่อธาตุเหล่านี้ถูกผสมผสานปนอยู่ในเนื้อเหล็กไร้สนิมตัวเหล็กจะมีโครงสร้างจุลภาคแบบไหนก็ขึ้นอยู่กับว่าธาตุกลุ่มไหนมีอิทธิพลมากกว่า ทั้งนี้อาจประมาณชนิดของโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นได้จากกราฟซึ่งมีชื่อว่า เซฟเฟอร์ไดอะแกรม (Schaeffer diagram) ในรูปที่ 39 ในการอ่านกราฟเราต้องทราบส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมก่อน แล้วแยกพวกที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับนิกเกิลกับพวกที่อยู่ในกลุ่มโครเมียมออกจากกัน แทนค่าลงในสูตรที่กำกับอยู่ตามแนวแกนทั้งสองของกราฟ ถ้าส่วนผสมตกอยู่ในพื้นที่ที่เป็นเฟสใด เหล็กกล้าไร้สนิมก็มีโครงสร้างจุลภาคประมาณได้ตามนั้น

เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีโครงสร้างจุลภาคแบบออสเทนไนต์นั้นไม่เป็นสารแม่เหล็ก คือแม่เหล็กดูดไม่ติด ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีโครงสร้างจุลภาคแบบเฟอร์ไรต์และมาร์เทนไซต์นั้นเป็นสารแม่เหล็ก คือแม่เหล็กสามารถดูดติด

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก

เหล็กกลุ่มนี้มีลักษณะที่สำคัญ คือ มีธาตุโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักและผสมอยู่ในช่วง 11-30 เปอร์เซ็นต์ มีคาร์บอนผสมอยู่ไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีนิกเกิล ดังนั้นบางทีก็มีชื่อว่าพวก สเตรตโครม (Straight chrome) เนื้อเหล็กมีโครงสร้างจุลภาคแบบเฟอร์ไรต์ คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีเป็นหลัก ไม่สามารถปรับปรุงด้วยวิธีทางความร้อนและทางกลได้ มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก ผลิตภัณฑ์ขึ้นรูป (Wrought products) ของเหล็กกลุ่มนี้จัดอยู่ในกลุ่ม 400 (ตามระเบียบการเรียกชื่อของ AISI, American Iron and Steel Institute)



รูปที่ 39 แผนภาพเซฟเฟอร์ไดอะแกรม (Schaeffer diagram)

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติค

เหล็กกลุ่มนี้ส่วนมากก็เป็นพวกสเตรดโครมเหมือนกับพวกเฟอร์ริติก คือมีโครเมียมผสมอยู่ระหว่าง 11-18 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณคาร์บอนของเหล็กกลุ่มนี้จะมีมากกว่าเพื่อให้เกิดโครงสร้างจุลภาคแบบมาร์เทนไซด์ได้ง่ายขึ้น เหล็กกลุ่มนี้สามารถทำให้แข็งขึ้นด้วยการชุบแข็ง(Quenching) หลังจากชุบแข็งเหล็กจะมีโครงสร้างเป็นแบบมาร์เทนไซด์ เหล็กพวกนี้เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงมาก เช่น มีดผ่าตัด มีดโกน และเครื่องมือผ่าตัด และงานที่ต้องการความคงทนต่อการสึกหรอมาก ๆ ความทนทานต่อการผุกร่อนของเหล็กกลุ่มนี้สู้กลุ่มเฟอร์ริติกและกลุ่มออสเตนนิติกไม่ได้

ทำนองเดียวกับกลุ่มเฟอร์ริติก สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าสหรัฐอเมริกาจัดเหล็กกลุ่มนี้อยู่ในกลุ่ม 400

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก

เหล็กกล้ากลุ่มนี้นอกจากมีโครเมียมผสมอยู่ในระดับเดียวกับกลุ่มเฟอร์ริติกแล้วยังมีนิกเกิลผสมอยู่ด้วยและมากพอที่ทำให้โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกลายเป็นแบบออสเตนนิติกนิกเกิลช่วยเพิ่มความเหนียวให้กับเหล็ก ทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น ทำให้เหล็กถูกแปรรูปเย็นได้ง่ายขึ้นซึ่งช่วยให้เหล็กมีความแข็งแรงมากขึ้นด้วย ข้อดีเหล่านี้ทำให้เหล็กกลุ่มออสเตนนิติกเป็นที่นิยมใช้แพร่หลายมาก และชนิดที่นิยมมากที่สุดคือชนิดที่เรียกว่าเหล็ก 18-8 คือมีโครเมียมอยู่ประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ AISI จัดเหล็กกลุ่มนี้อยู่ในกลุ่ม 200-300

เหล็กกล้าไร้สนิมแบบดูเพล็กซ์

เป็นเหล็กที่ประกอบด้วยโครเมียม นิกเกิล และโมลิบดีนัม ซึ่งทำให้อยู่ในสภาพผสมดูเพล็กซ์ของออสเตนไนต์และ เฟอร์ไรต์ และมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก การทำให้มีโครงสร้างเป็นแบบผสมจะทำให้เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนภายใต้ความเค้นได้ดีกว่ากลุ่มออสเตนนิติก และเพิ่มพลังงานการแตกหักและความเหนียวได้ดีกว่ากลุ่มเฟอร์ริติก

ตัวอย่างของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ตัวแรกคือ S32900 ซึ่งจะมีโครงสร้างเฟอร์ริติกที่เด่น กลุ่ม S32950 และ S31803 เป็นกลุ่มที่เติมไนโตรเจนเข้าไปทำให้เพิ่มลักษณะของออสเตน

ในที่สุดถึง 50 เปอร์เซ็นต์ทำให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนภายใต้สภาวะที่มีดลอร์ดีและเพิ่มพลังงานแตกหัก

เหล็กกล้าไร้สนิมแบบพรีซีพิตชันฮาร์ดเดนนิ่ง

เหล็กกล้าไร้สนิมพวกนี้มีทั้งโครเมียมและนิกเกิลผสมอยู่คล้าย ๆ กับกลุ่มออสเตนนิติก นอกจากนี้ยังผสมด้วยธาตุอื่น เช่น อะลูมิเนียมและไทเทเนียม ฯลฯ เพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กโดยให้เกิดการจำแนกเฟสด้วยการทำกรรมวิธีทางความร้อนได้ สมบัติเด่นของเหล็กกลุ่มนี้คือ ถ้าเผาให้อุณหภูมิสูงขึ้น เหล็กจะไม่แข็งแต่เหนียวมาก ทำให้สามารถแปรรูปทางกลได้มากจนได้ขนาดตามที่ต้องการ จากนั้นก็ทำกรรมวิธีทางความร้อนต่อ เพื่อให้เหล็กมีทั้งความแข็งและความเหนียวที่ต้องการ นี่เป็นข้อแตกต่างที่เด่นชัดระหว่างเหล็กกลุ่มนี้กับกลุ่มออสเตนนิติก เหล็กกลุ่มออสเตนนิติกต้องใช้อุณหภูมิในการเพิ่มความแข็งให้กับเหล็ก การแปรรูปแบบเย็นมีขีดจำกัดในเรื่องปริมาณการแปรรูปคือทำได้น้อย ถ้าต้องการแปรรูปมากก็ต้องทำในขณะร้อน ซึ่งมีข้อเสียคือไม่ให้ความแข็งแรงที่ต้องการหลังจากการแปรรูป ฉะนั้น กลุ่มพรีซีพิตชันฮาร์ดเดนนิ่งจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขจุดอ่อนเหล่านี้ของเหล็กกลุ่มออสเตนนิติก

เหล็กกลุ่มนี้เป็นเหล็กที่มีลิขสิทธิ์ทางการค้า และยังไม่ได้ขึ้นทะเบียนเป็นชื่อตัวเลข เหมือนกับกลุ่มอื่น ๆ ที่กล่าวมาตอนต้น

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงของบริษัท American Orthodontics Corporation จำนวน 30 ชิ้น และแสดงค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (C.V.)

ครั้งที่	กำลังดึงสูงสุด (Mpa)	กำลังดึงประลัย (Mpa)	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	ความเค้นคราก (Mpa)	พลังงานแตกหัก (J/m ³)
1	676.40	493.60	68.39	378.52	401.70
2	658.40	182.48	65.76	311.60	364.05
3	652.00	565.60	71.19	301.52	397.95
4	643.20	156.56	51.93	337.72	280.30
5	655.20	239.56	58.73	332.64	327.20
6	650.80	464.00	48.46	334.88	267.00
7	660.40	603.20	69.04	315.40	390.75
8	542.80	205.08	54.93	216.44	247.35
9	564.40	152.60	58.55	217.60	270.15
10	653.20	224.92	60.59	312.48	338.65
11	636.40	552.80	62.18	300.88	343.10
12	649.20	538.80	67.51	305.32	376.55
13	652.00	231.92	62.13	311.12	348.45
14	638.80	556.40	66.06	295.12	365.80
15	625.20	156.24	65.04	262.40	343.50
16	654.00	445.20	66.09	302.72	374.50
17	650.80	564.80	67.96	299.76	385.05
18	618.40	266.40	63.74	255.40	332.75
19	629.20	446.00	60.15	277.68	323.75
20	631.60	418.40	64.26	260.24	344.90
21	640.80	98.28	54.33	296.88	293.15
22	644.40	226.76	62.13	298.76	343.70
23	637.60	510.40	60.66	292.32	331.15
24	634.80	69.28	63.65	280.92	344.20
25	624.00	45.16	63.43	266.96	333.30
26	621.60	421.60	62.89	268.80	331.25
27	632.40	226.76	58.95	223.40	313.35
28	638.40	349.72	61.16	300.12	333.70
29	607.60	230.12	58.81	238.52	295.25
30	652.00	447.60	56.91	315.76	315.00
Mean	635.87	336.34	61.85	290.40	335.25
SD.	26.74	172.11	5.19	36.89	38.78
C.V.	4.20	51.17	8.39	12.70	11.57

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรัดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการกัดผิวด้วยแสงของบริษัท American Orthodontics Corporation จำนวน 30 ชิ้น และแสดงค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (C.V.)

ครั้งที่	กำลังดึงสูงสุด (Mpa)	กำลังดึงประลัย (Mpa)	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	ความเค้นคราก (Mpa)	พลังงานแตกหัก (J/m ³)
1	487.00	363.33	56.15	205.67	225.83
2	466.33	408.33	55.66	184.13	213.17
3	496.00	36.37	64.84	186.80	265.67
4	475.67	399.00	56.59	191.73	222.42
5	509.00	138.60	63.34	202.90	266.83
6	484.33	335.00	48.13	207.03	190.17
7	504.33	453.33	65.90	191.00	274.29
8	495.33	72.73	51.66	200.53	207.58
9	491.33	204.73	57.63	179.73	227.08
10	489.67	72.73	45.45	185.27	177.88
11	484.67	159.97	68.14	209.00	267.08
12	466.33	400.33	60.91	188.43	228.50
13	479.33	387.33	61.44	229.90	235.58
14	465.00	404.67	56.74	178.53	215.33
15	497.33	394.33	49.23	188.73	201.13
16	499.67	33.32	62.89	172.93	255.71
17	469.00	50.37	55.99	142.07	207.71
18	507.00	459.67	60.74	184.67	251.17
19	495.00	433.00	66.43	177.90	270.75
20	459.67	393.00	64.75	177.00	238.75
21	483.33	45.77	52.14	187.33	200.46
22	475.33	34.07	59.96	183.93	226.92
23	514.00	348.00	64.11	217.43	264.88
24	484.67	61.30	60.76	160.63	235.17
25	482.33	90.27	48.85	176.20	188.58
26	508.67	441.00	66.21	276.13	277.58
27	494.00	265.00	55.34	168.93	221.08
28	506.33	430.00	55.54	184.70	226.38
29	460.67	362.33	49.11	261.37	175.96
30	497.33	278.97	57.89	226.07	239.25
Mean	487.62	265.23	58.08	194.22	229.96
SD.	15.41	160.31	6.22	27.30	29.22
C.V.	3.16	60.44	10.73	14.06	12.71

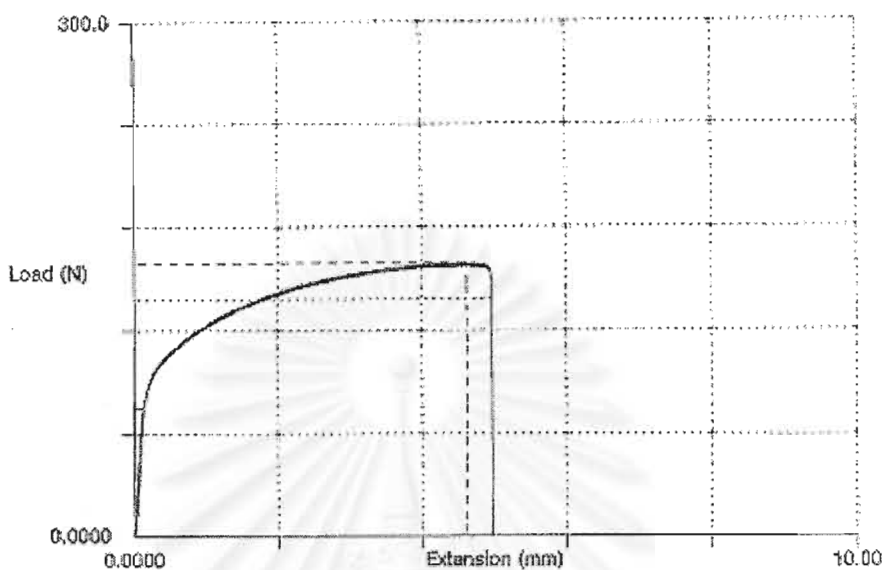
ตารางที่ 9 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรััดฟันชนิดที่ได้รับการเป่าทรายบริษัท Ormco Corporation จำนวน 30 ชิ้น และแสดงค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (C.V.)

ครั้งที่	กำลังดึงวัสดุสูงสุด (Mpa)	กำลังดึงเฉลี่ย (Mpa)	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	ความเค้นคราก (Mpa)	พลังงานแตกหัก (J/m ³)
1	453.00	381.33	64.85	194.57	257.46
2	466.00	405.00	59.26	235.07	243.25
3	458.00	381.67	65.97	188.43	265.29
4	433.33	373.33	58.26	187.13	218.46
5	440.00	384.67	63.28	234.90	247.54
6	448.00	381.33	61.69	207.63	241.42
7	461.33	397.67	57.19	234.87	230.88
8	433.00	405.67	59.81	195.17	226.92
9	437.33	395.33	57.93	228.27	222.58
10	454.00	383.67	56.43	232.50	223.71
11	455.67	384.67	63.00	243.57	255.25
12	449.00	223.80	51.96	246.00	204.29
13	467.33	67.63	55.63	253.43	227.79
14	424.00	268.30	59.00	183.40	214.21
15	465.67	393.00	58.99	245.53	234.71
16	454.33	392.67	61.64	254.37	241.75
17	439.33	135.53	50.72	201.00	188.08
18	447.67	375.00	58.18	147.60	222.54
19	425.00	351.33	64.94	184.80	241.38
20	469.33	400.00	60.75	291.27	243.21
21	441.33	302.37	62.54	198.37	242.04
22	405.67	351.33	60.71	246.30	207.96
23	482.67	407.00	56.03	305.57	229.21
24	467.33	411.67	59.25	158.47	236.92
25	458.33	407.00	60.36	228.97	243.79
26	467.33	410.33	56.46	237.20	225.75
27	466.33	296.03	57.26	233.87	226.75
28	445.33	313.57	59.76	162.17	227.75
29	461.00	156.40	55.49	284.07	224.42
30	464.00	432.00	56.60	226.90	232.75
Mean	451.36	345.64	59.13	222.38	231.60
SD.	16.63	90.35	3.55	38.05	16.13
C.V.	3.68	26.14	6.00	17.11	6.96

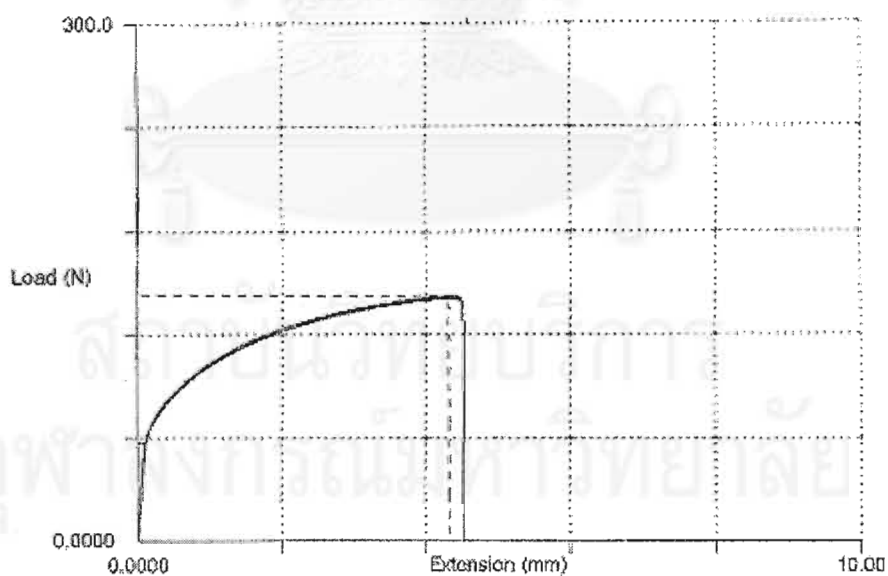
ตารางที่ 10 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของปลอกโลหะรััดฟันชนิดที่ไม่ได้รับการเป่าทรายบริษัท Ormco Corporation จำนวน 30 ชิ้น และแสดงค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (C.V.)

ครั้งที่	กำลังดึงสูงสุด (Mpa)	กำลังดึงประลัย (Mpa)	เปอร์เซ็นต์การยืด (%)	ความเค้นคราก (Mpa)	พลังงานแตกหัก (J/m ³)
1	424.33	349.67	64.94	234.30	245.38
2	449.00	82.90	57.29	243.57	227.83
3	428.67	323.50	63.05	187.60	237.71
4	450.00	357.67	55.80	261.40	223.29
5	460.33	382.33	63.28	258.97	259.21
6	495.67	420.33	68.81	293.13	291.29
7	478.33	384.33	62.29	328.00	256.75
8	441.00	358.00	68.60	214.00	255.00
9	435.33	355.67	58.20	202.47	220.54
10	486.67	375.00	62.09	261.57	263.08
11	492.00	425.67	68.36	238.93	289.04
12	431.67	359.67	66.68	276.07	251.92
13	479.00	386.33	63.30	347.67	251.17
14	473.00	416.00	59.59	262.97	245.21
15	400.67	278.73	70.85	229.97	244.38
16	436.33	325.53	69.77	267.00	261.50
17	480.00	389.00	75.63	347.67	315.25
18	469.33	299.57	62.71	264.23	257.04
19	464.67	291.20	54.47	230.83	223.46
20	474.67	386.67	64.49	262.33	268.00
21	482.67	408.33	61.56	192.47	262.17
22	426.00	355.67	58.38	153.83	212.17
23	441.67	241.33	67.83	247.47	262.96
24	427.67	336.33	65.41	248.77	244.88
25	423.00	349.33	60.04	179.40	224.58
26	469.67	249.23	63.81	335.00	256.54
27	445.00	339.33	64.63	119.17	243.04
28	445.67	326.30	58.90	260.00	233.13
29	466.33	337.67	66.38	177.73	270.92
30	413.67	254.57	61.98	210.37	221.42
Mean	453.07	338.20	63.64	244.56	250.63
SD.	25.34	68.83	4.75	54.26	23.02
C.V.	5.59	20.35	7.46	22.19	9.18

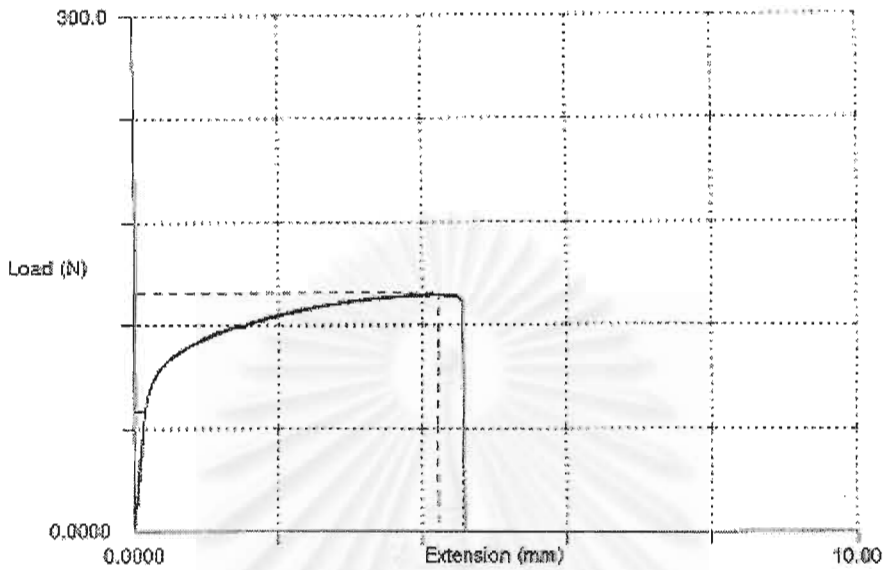
ตัวอย่างกราฟข้อมูลของการทดสอบแรงดึง



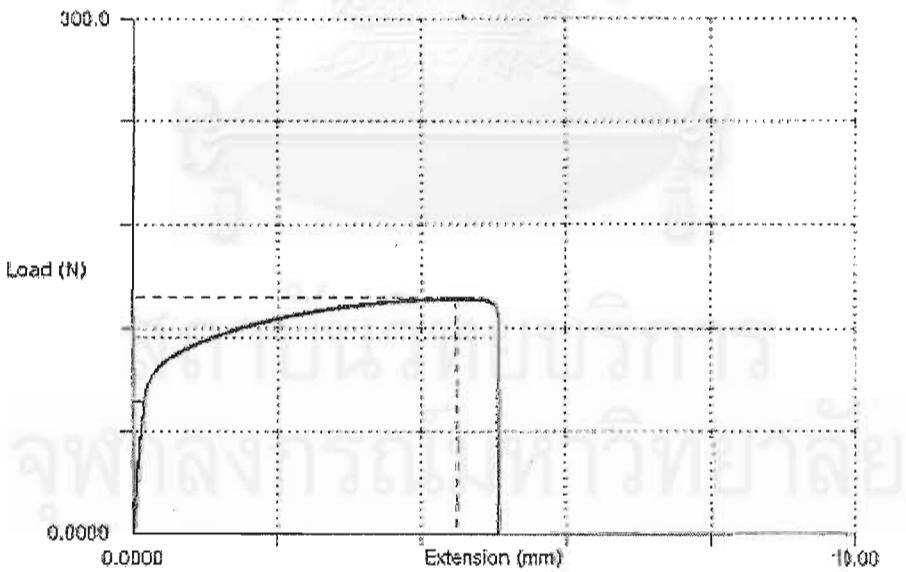
รูปที่ 40 กราฟข้อมูลความยาวที่เปลี่ยนแปลงกับแรงที่ใช้ในการดึงของปลอกโลหะรััดพื้นที่กัดผิวด้วยแสง



รูปที่ 41 กราฟข้อมูลความยาวที่เปลี่ยนแปลงกับแรงที่ใช้ในการดึงของปลอกโลหะรััดพื้นที่ไม่ได้กัดผิวด้วยแสง



รูปที่ 42 กราฟข้อมูลความยาวที่เปลี่ยนแปลงกับแรงที่ใช้ในการดึงของปลอกโลหะรััดพื้นชนิดที่เป่า
ทราย



รูปที่ 43 กราฟข้อมูลความยาวที่เปลี่ยนแปลงกับแรงที่ใช้ในการดึงของปลอกโลหะรััดพื้นชนิดที่ไม่
ได้เป่าทราย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเยาวเรศ ธงสิบบง เกิดวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2514 ที่จังหวัดแพร่ สำเร็จการศึกษาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับสอง จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 ปัจจุบันรับราชการที่โรงพยาบาลแพร่ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย