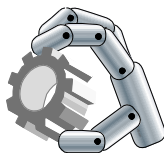


# **תדריך ניסוי מתיחה וקושי**

**הפקולטה למדעי ההנדסה**

**המחלקה להנדסת מכונות**



**מעבדה למכונות 1**

**362-1-1153**

## הוראות בטיחות – מעבדת תכונות מכאניות

- המעבדות הן שטח תפעולי המשופע בעצמים חמים וזרמי חשמל גבוהים.
- מותר לסטודנטים לעבוד במעבדה רק כאשר נמצא במקום עובד מסגל המעבדה ו/או מדריך מוסמך אשר מודע לניסוי אותו הם מבצעים.
- אין להכניס למעבדה מזון ושתייה. אין לאכול, לשתות או לעשן במעבדה. אסור להשתמש בטלפונים סלולריים בתוך המעבדה (המעבדה היא שיעור לכול דבר).
- לבעלי שיער ארוך- חובה לאסוף את השער בכניסה לכל חדר מעבדה או ניסוי ולהכניסו מתחת לחולצה.
- אין לעבוד עם שרוולים ארוכים ולא רכוסים ו/או בגדים רפויים.
- סטודנט שלא יגיע עם נעליים סגורות -היינו נעלים סגורות באופן מלא גם מלפנים (אצבעות רגליים) וגם מאחור (קרוסול חשוף) לא יוכל לבצע המעבדה ולא יקבע לו שיבוץ מחדש. הערה- אין להגיע עם נעלי "CROCS" למעבדות.
- בכל מקרה של ספק או חשש בהפעלה של מערכת הניסוי יש להתייעץ עם המדריך או איש הסגל האחראי. חל איסור חמור על הפעלת מערכות ניסוי ללא אישור טכנאי או מדריך ו/או במידה ויש ספק או חשש.
- לא יקבע מועד שיבוץ חדש לסטודנט אשר לא ימלא חובות אלו

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• ניסוי זה מאופיין במערכת הידראולית רבת עוצמה ועל כן יש להקפיד על עבודה בטוחה.</li><li>• אין להפעיל מכשור במעבדה ללא הסבר של מדריך או טכנאי.</li><li>• הפעלת מכונת המתחיה תעשה בליווי טכנאי או מדריך בלבד.</li><li>• לפני הפעלת המכונה יש לוודא סביבה נקייה ללא חפצים מיותרים עליה.</li><li>• אין לקרב ידיים למכונה בעת פעולתה אלא בהוראת טכנאי או מדריך.</li><li>• במקרה של בעיה או ספק יש לפנות למדריך או טכנאי.</li></ul> |
|--|

## מתיחה וקושי

### 1. מטרות הניסוי:

- 1.1. הכרת עקרונות, הבנת המשמעות וביצוע מעשי של ניסוי מתיחה ע"י כוח צירי.
- 1.2. ניתוח והבנה של תופעת המתיחה ועיבוד הנתונים לדיאגרמת מאמץ-מעוות.
- 1.3. הערכת חוזק מכני של דגם ועיצוב הדגם.
- 1.4. השוואה בין קושי החומר לפני ואחרי המתיחה.

### 2. רקע תאורטי

- 2.1. ראה נספח א' עבור ניסוי מתיחה.
- 2.2. ראה נספח ב' עבור בדיקת קושי.

### 3. מכשירי מדידה

- 3.1. מד זחיח (קליבר).
- 3.2. מכשיר מתיחה - Mohr & Federhaff ועליו Load Cell מתוצרת Kyowa – איור 1.
- 3.3. מד התארכות - (Extensometer) – איור 2.
- 3.4. מכשיר מדידת קושי - Affri – איור 4.



איור 2 - Extensometer

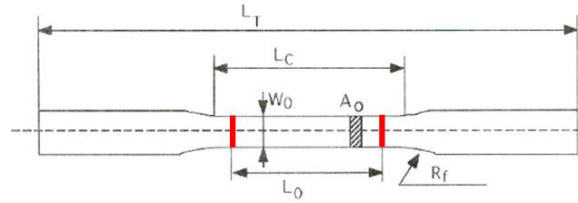


איור 1 - Load Cell

### 4. תיאור הניסוי

#### 4.1. מדידת הדגמים - פלדה ואלומיניום

- 4.1.1. מדידת קוטר כל דגם בשלושה מקומות על מנת לקבל שטח חתך ממוצע  $A_0$ .
- 4.1.2. מדידת אורך  $L_0$  באמצעות קליבר (יש להעזר בטוש לא מחיק ולסמן את גבולות המדידה בסיום רדיוסי הכתפיים, ראה איור 3).



איור 3 - סימון גבולות המדידה באמצעות טוש לא מחיק

#### 4.2. בדיקת קושי לפני ביצוע ניסוי המתיחה

יש למדוד קושי של כל דגם ב - 3 נקודות שונות.

סדר פעולות לבדיקת קושי :

4.2.1. הדלקת מכשיר Affri ע"י לחיצה על On (איור 4).

4.2.2. מדידות יבוצעו בשיטת Rockwell-B (יש לוודא כי על הצג מופיע הכיתוב hrb,

במידה ולא יש לשנות את שיטת המדידה באמצעות לחצן scale), יש לוודא כי

העומס (הנראה בחלונית העליונה) הינו 100kgf (במידה ולא יש לשנות עומס

באמצעות הברגה) וכי החודרן הינו חודרן כדורי "1/16".

4.2.3. יש לבחור את המשטח המחורץ על מנת שנוכל להניח דגמים עגולים.

4.2.4. יש לוודא כי ידית המנוף קרובה למפעיל.

4.2.5. יש למקם את הדגם כך שהחודרן ממוקם מעל הנקודה הרצויה לבדיקת קושי.

4.2.6. יש לסובב את התברג בעדינות ובאיטיות עד לתחילת מגע בין הדגם והחודרן (על

הצג תופיע הספרה 9).

4.2.7. יש להמשיך ולסובב את התברג עד אשר על הצג תופיע הספרה 0 עם חיזוי של

נורית ירוקה (על הדגם הופעל עומס של 10kgf על מנת להתגבר על טיב פני השטח).

4.2.8. יש להעביר את ידית המנוף אחורה ולהמתין 3 צפופים ולוודא כי הנורה הירוקה

מהבהבת (כעת יופעל יתר העומס על הדגם), לאחר מכן נחזיר את ידית המנוף

למקומה ההתחלתי.

4.2.9. על הצג יופיע הקושי של הדגם בסקלה שנבחרה RB.

4.2.10. בסיום המדידות נכבה את המכשיר באמצעות לחיצה על Off.



איור 4- מכשיר מדידת קושי מסוג רוקוול

### 4.3. ביצוע ניסוי מתיחה (יתבצע בליווי טכנאי) עבור כל דגם

סדר פעולות לביצוע המתיחה :

4.3.1. מיקום הדגם בעוגנים (על מנת להוריד את העוגן העליון יש לדחוף את ידית המנוף של משאבת השמן, אם דרוש להעלות את העוגן נפעיל את המשאבה ונמשוך את הידית, יש לוודא על הצג הימני כי המחוגים מורים על השעה שלוש - זהו הלחץ הרצוי.

4.3.2. נאפס את האקסטנציומטר באמצעות לחיצה משני הצדדים, יש לוודא כי הפין נכנס לחריץ. במצב המאופס מורה המכשיר על 100 מ"מ.

4.3.3. נמקם את האקסטנציומטר על הדגם תוך המשך לחיצה כך שהסכין העליונה והסכין התחתונה ממקומות היטב על הדגם במרחק 100 מ"מ.

4.3.4. הפעלת תוכנת Lab-view (Tear) ולחיצה על החץ השמאלי העליון לתחילת הדגימה, יש לוודא כי נקודת הדגימה הראשונה ממוקמת בראשית (הציר האנכי הינו כוח ב-10[kN] והציר האופקי מיצג את ההתארכות  $\Delta l$  ב-[mm]).

4.3.5. יש להפעיל את משאבת השמן ולאחר מכן למשוך את ידית המנוף לכיוון המפעיל.

4.3.6. כאשר מזהים צוואר יש להניח את היד ממול האקסטנציומטר ולמנוע נפילתו בעת השבירה.

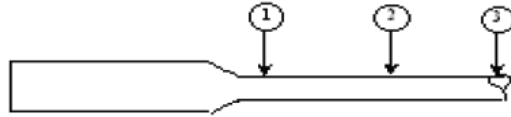
4.3.7. יש ללחוץ על הכפתור הימני העגול stop על מנת לעצור את הניסוי, פעולה זו תפתח חלון לשמירה אוטומטית.

4.3.8. על כל קבוצה לשמור על דיסק-און-קי את קובץ הניסוי (שם קבוצה וסוג החומר).

- שימו לב – יש לשנות את סיומת הקובץ ל-xls על מנת שיפתח ב-Excel. ערכים שלילים המופיעים בתחילת טבלת הנתונים ובסיומה אינם פיסיקליים ויש למחקם בעת עיבוד התוצאות.

#### 4.4. מדידת קושי הדגמים לאחר ניסוי מתיחה

- 4.4.1. יש למדוד את קושי הדגמים בשלושה מרחקים שונים מהצוואר ב-10 מ"מ, 20 מ"מ ו-30 מ"מ (ראה איור 5), בכל מרחק יש לקחת 3-5 קריאות (סה"כ 9-15 נקודות).
- 4.4.2. מומלץ לסמן מראש את הנקודות הרצויות באמצעות טוש לא מחיק.
- 4.4.3. נחזור על פעולות 4.2.2 - 4.2.9 עבור כל אחד מהדגמים.



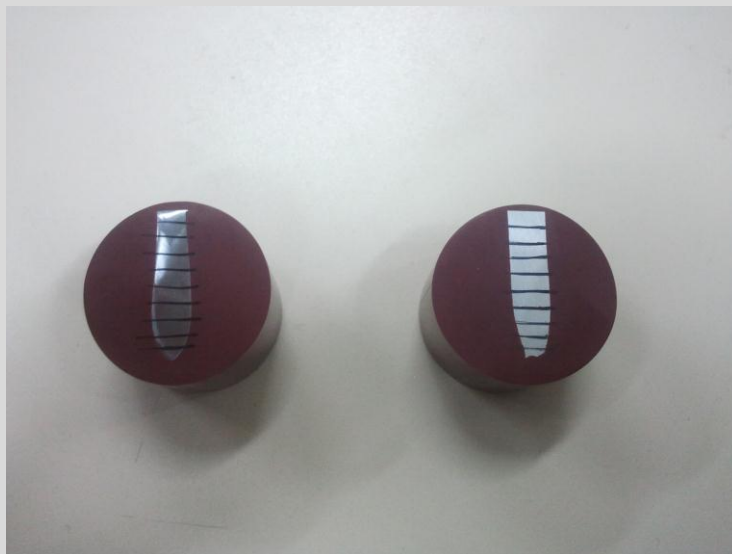
איור 5- מיקום מדידות הקושי לאחר ביצוע ניסוי מתיחה

#### 4.5. מדידת אורך קוטר סופיים של הדגמים

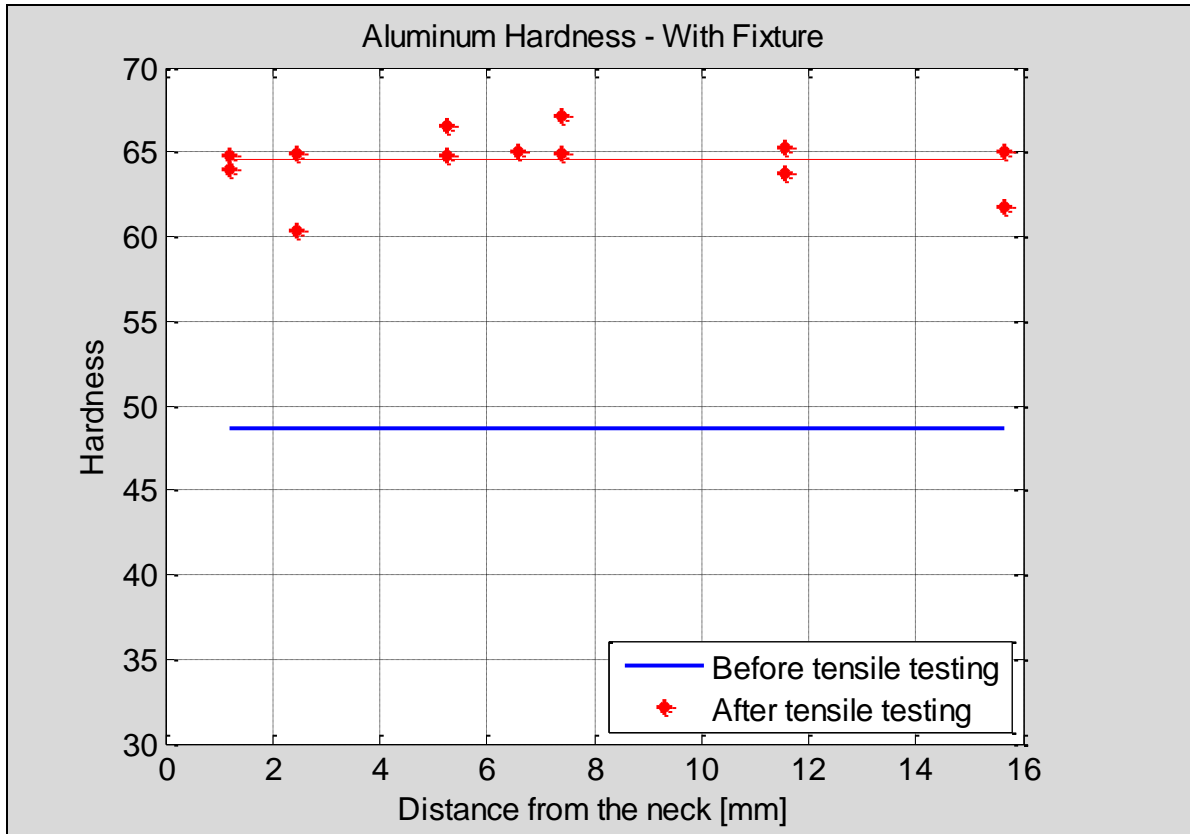
- 4.5.1. נמדוד קוטר סופי של כל אחד מהדגמים בצוואר.
- 4.5.2. נמדוד אורך סופי של הדגמים ע"י מיקום שני חלקי הדגם על השולחן ומדידה בין שני הקווים שסומנו מראש (ראה איור 3).

#### דגמי מתיחה מדופנים:

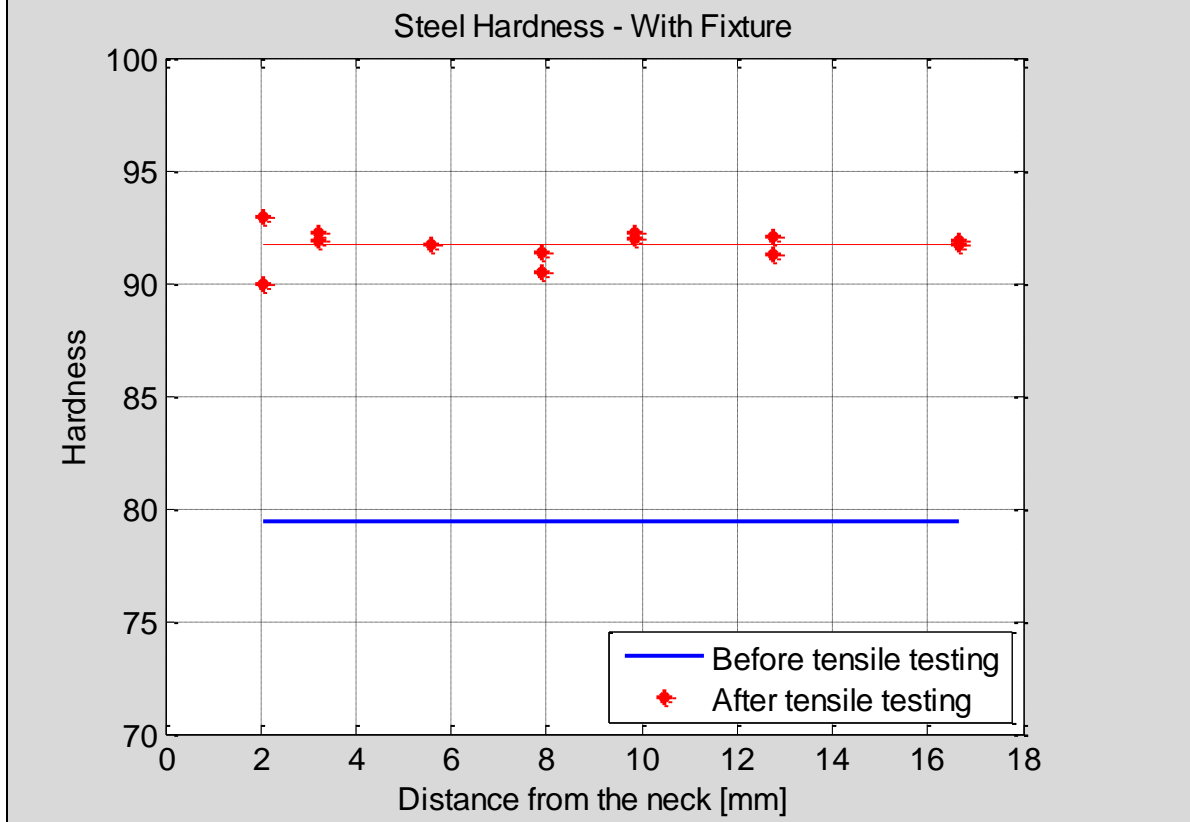
על מנת לקבל תוצאות מדויקות בבדיקת קושי לדגמי מתיחה (לאחר מתיחה), יוצקים את איזור השבר בדגם בתוך פולימר קשה, ומלטשים עד לחשיפה של הדגם. התוצאה המתקבלת (איור 6) מאפשרת מדידה מדויקת של הקושי כתלות במרחק מהשבר. תוצאות בדיקת קושי בדגמים המדופנים עבור אלומיניום ופלדה מוצגים באיורים 7 ו- 8 בהתאמה.



איור 6- דגמי פלדה (שמאל) ואלומיניום (ימין) שנחתכו ועברו דיפון.



איור 7- דגם אלומיניום מדופן.



איור 8- דגם פלדה מדופן.

## 5. דרישות לעיבוד תוצאות

5.1. מטרת הניסוי.

5.2. תיאור מהלך הניסוי ומכשירי המדידה.

5.3. הצגת תוצאות הניסוי:

5.3.1. טבלת מידות התחלתיות וסופיות.

5.3.2. טבלת ערכי קושי לפני ואחרי המתיחה.

$$5.4. \text{ עריכת טבלאות נתונים עבור } \sigma_{real}, \varepsilon_{eng}, \sigma_{real} \left[ \frac{kgf}{mm^2} \right], \sigma_{eng} \left[ \frac{kgf}{mm^2} \right], \Delta l [mm], P [kN]$$

5.4.1. שימו לב ערכי הכוח המתקבלים בתכנה הם ב-10[kN] וערכי ההתארכות הם ב-

[mm].

5.4.2. שימו לב שהקשר בין מאמץ אמיתי למאמץ הנדסי  $\sigma_{real} = \sigma_{eng} (1 + \varepsilon_{eng})$  נכון אך ורק

עד לנקודה  $\sigma_{UTS}$ . כיצד נחשב את ערך המאמץ האמיתי בשבר?

5.5. חישוב הפחתת שטח החתך  $R_A$  (ב-%) והתארכות עד השבירה  $I_f$  (ב-%). יש להציג את כל החישוב (עבור שני הדגמים).

5.6. עבור כל דגם יש לבנות גרף מאמץ-מעוות הנדסי ואמיתי.

5.6.1. בכל גרף יש לסמן את  $\sigma_{UTS}, \sigma_F, \sigma_{Y0.2}$  על העקומה ההנדסית ולציין את ערכם. יש

להסביר כיצד חישבתם/מצאתם אותם.

5.7. מציאת מודול יאנג והשוואה לספרות. יש להציג שגיאה יחסית.

5.8. מציאת מעוות אלסטי טהור ומעוות פלסטי טהור בנק' השבר. יש להציג על הגרפים ולהסביר.

5.9. השוואה בין מעוות פלסטי טהור מהגרף למעוות פלסטי טהור שהתקבל ממדידת הדגמים. יש להציג שגיאה יחסית.

5.10. להשוות ערכי ערכי קושי מדוד לפני (ממוצע) ואחרי הניסוי ולהציגם בצורה גרפית כתלות במיקום המדידה לאורך הדגם (גרף נפרד עבור כל חומר).

5.10.1. ערכי הקושי לפני המתיחה יוצגו כקו בממוצע שלושת הנקודות.

5.10.2. עבור ערכי הקושי שנמדדו לאחר המתיחה, יש להציג את פיזור הנקודות בצירוף קו מגמה.

5.11. מסקנות:

5.11.1. יש להסביר את ההבדלים בין עקומת מעוות-מאמץ אמיתית לבין עקומה הנדסית.

5.11.2. יש להסביר את ההבדלים בין עקומות מאמץ-מעוות של שני הדגמים.

5.11.3. יש להסביר את ההבדלים בין מודולי יאנג שהתקבלו לערכים בספרות.

5.11.4. יש להסביר את ההבדלים בקושי הדגמים ולפני ואחרי המתיחה.

5.11.5. יש להסביר את ההבדלים בין עקומות הקושי כתלות במרחק שהתקבלו לאלו אשר התקבלו עבור הדגמים המדופנים (ראה מסגרת).



5.11.6. מה ניתן להסיק מתוצאות חישוב הפחתת שטח חתך והתארכות עד לשבר עבור שני הדגמים.

5.11.7. יש להסביר את השגיאה המתקבלת בהשוואה בין מעוות פלסטי טהור מהגרף מול המעוות הנמדד מהדגמים.

5.11.8. מסקנות נוספות באם יש.

5.12. סיכום.

• דגשים :

1. על כל טבלה, איור וגרף להיות ממסופרים ובעלי כותרת.
2. יש להציג דוגמאות חישוב עבור כל החישובים שנעשו.

## 6. שאלות הכנה

- 6.1. הסבר מה ההבדל בין עקומת מאמץ-מעוות הנדסית ואמיתית.
- 6.2. פתח את הקשר בין המאמץ האמיתי  $\sigma$  והמעוות האמיתי  $\epsilon$  כתלות במאמץ ההנדסי  $S$  והמעוות ההנדסי  $I$ .
- 6.3. תאר את דיאגרמת המאמץ מעוות ההנדסית עבור חומר בעל מבנה FCC (צרף ציור).
- 6.4. תאר את דיאגרמת המאמץ מעוות ההנדסית עבור חומר בעל מבנה BCC (פלדה בעלת אחוז פחמן נמוך).
- 6.5. הראה בדיאגרמות את  $\sigma_{uts}$ , גבול אלסטי עליון, גבול אלסטי תחתון, אזור אלסטי ומאמץ כניעה.
- 6.6. הסבר כיצד ניתן למצוא את המעוות הפלסטי הטהור בצורה גרפית.
- 6.7. הסבר מה ההבדל בין הגבול האלסטי לגבול הפרופורציונלי.
- 6.8. הסבר מהו חוזק הכניעה.
- 6.9. מהו חוזק הכניעה המקובל ביותר בשיטה הקטע המוזז (off-set), שיטה גרפית.
- 6.10. מה ההבדל בין חוזק הכניעה למאמץ הכניעה. הסבר בליווי ציורים מתאימים.
- 6.11. הסבר מהי הקשיית מעוותים.

- יש לענות גם על שאלות ההכנה עבור בדיקת קושי שבנספח ב'.
- יש לצרף את התשובות לכל השאלות, לדו"ח המכין ולדו"ח המסכם.

## דף ריכוז מדידות עבור ניסוי מתיחה וקושי

מס' קבוצה: \_\_\_\_\_

שמות הסטודנטים: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

תאריך ביצוע: \_\_\_\_\_

### מדידות לפני ביצוע ניסוי מתיחה:

	ALUMINUM ALLOY	STEEL
HRB		
HRB		
HRB		
$L_0$ , [mm], אורך התחלתי		
$D_0$ , [mm], קוטר התחלתי	10	10

### מדידות לאחר ביצוע ניסוי מתיחה:

		ALUMINUM ALLOY	STEEL
HRB	מרחק מהצוואר, [mm]		
	10		
	20		
	30		
$L_f$ , [mm], אורך סופי			
$D_f$ , [mm], קוטר סופי			

שם המדריך \_\_\_\_\_

חתימת המדריך \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_