



נוהג טוב בביצוע תהליכי עבודה

## הלחמה (ריתוך) פלסטיק - Plastic Welding 456

עדכון אחרון: ספטמבר 2018

### תוכן עניינים

1.....	הגדרה
1.....	פולימרים
3.....	שלבים עיקריים בתהליך הלחמה/ריתוך פלסטיק
6.....	ריתוך פלסטיק באמצעות ממיסים
7.....	סיכונים בטיחותיים
7.....	פגיעה מכנית במהלך הכנת השטח המחובר וגימור
7.....	סיכוני פגיעה מחשמל
7.....	סיכונים גהותיים
7.....	חשיפה לחומרים כימיים
8.....	גורמי סיכון ביולוגיים
9.....	מניעת מפגעים (נוהג טוב)
10.....	ביבליוגרפיה

### הגדרה

חיבור פולימרים ע"י חימום באופן ישיר או באמצעות חומר מילוי או ע"י היתוך שטח הפנים המתחבר באמצעות ממיסים.

באופן עיקרוני קיימות מספר שיטות לחיבור חלקים מפלסטיק, כגון הידוק מכאני, הדבקה והלחמה או ריתוך.

נושא המאמר הינו הלחמה וריתוך של פולימרים שניתן לבצע באמצעות חימום של החלקים המתחברים או באמצעות ממיסים שמרככים את פני השטח המתחברים.

### פולימרים

פולימרים הם קבוצת חומרים (בד"כ חומרים אורגניים) אשר מכילים מולקולות גדולות, לעיתים קרובות בצורת שרשרת. מולקולות אלה נוצרות על ידי חיבור של מולקולות קטנות הנקראות מולקולות מונומר (monomer), תוך כדי תהליך של פולימריזציה.

בנוסף למולקולות של החומר העיקרי, פולימרים בד"כ מכילים חומרים נוספים – תוספים (additives) ומכפילים (modifiers) שאותם מוסיפים לפולימרים בתהליכי ייצורם כדי להעניק להם תכונות מסוימות. ביניהם נמצאים גם החומרים אשר ידועים כמזיקים לבריאות, כמו מתכות

(קדמיום, עופרת), תרכובות אורגניות של בדיל, פתלטים (Phthalates), ביספנול A (BPA) ועוד [1].

חומרים פולימריים ניתן לחלק לשלוש קבוצות שונות בהתאם להתנהגותם בעת חימום. הקבוצות הן חומרים תרמוספלטטים (Thermoplastics), חומרים תרמוסטים (Thermosets) ואלסטומרים (Elastomers).

פלסטיק (Plastic) הינו שם משותף לתרמוספלטטים ולתרמוסטים. שניהם מיוצרים מפולימרים וההבדל ביניהם הוא בתכונות הפיזיקליות שלהם.

תרמופלטטים מתרככים בעת חימום ומתקשים בעת קירור, כאשר המעבר שלהם ממוצק לממס הוא הפוך. תרמופלטטים יכולים להיות אמורפיים (Amorphous thermoplastics) וחצי-גבישיים (Semi-crystalline thermoplastics).

תרמוסטים בעת חימום לא מתרככים. בד"כ, עם עליה בטמפרטורה הם מתפרקים בלי לעבור למצב נוזלי.

אלסטומרים מיוצרים מפולימרים וניתן לחלק אותם לשתי קבוצות בהתאם להתנהגותם ביחס לחימום – גומי (Rubber) אשר עובר תהליך צמצום בעת חימום, ואלסטומרים תרמופלטטיים (Thermoplastic elastomers (TPE)) אשר תהליך העברתם ממוצק לנוזל הינו תהליך הפוך.

לסיכום - רק חומרים תרמופלטטים מתוך הפלסטיק ואלסטומרים ניתן לחבר באמצעות תהליכי חימום, כמו הלחמה/ריתוך פלסטיק.

להלן דוגמאות של פולימרים שהמעבר שלהם ממוצק למומס הינו הפוך.

טבלה מס' 1: דוגמאות של פלסטיקים ואלסטומרים תרמופלטטיים.

Thermoplastic Elastomers		Amorphous thermoplastics	Semi-crystalline thermoplastics
Ester Elastomers	Thermoplastic	Poly(vinyl-chloride)	Low-Density Polyethylene
Styrene Elastomers	Thermoplastic	Polystyrene	High-Density Polyethylene
Polyamide Elastomers	Thermoplastic	Cellulose acetate	Polypropylene
Urethane Elastomers	Thermoplastic	Styrene/Butadiene copolymer	Poly(tetrafluoroethylene)
Olefinic Elastomers	Thermoplastic	Poly(methyl-methacrylate)	Polyamide 11
Ethylene/Propylene/Diene Thermoplastic Elastomers		Amorphous polyamide	Polyamide 12
		Polycarbonate	Poly(butylene-terephthalate)

אחד השימושים הנפוצים של פולימרים הינו ייצור פולימרים מרוכבים (Polymer composite), אשר מורכבים ממספר חומרים שביניהם חומרי חיזוק (reinforcement materials), חומרי מילוי (fillers) וחומרים מקשרים (binders). פולימרים מרוכבים, בנוסף לפולימרים עצמם, מכילים מספר חומרים שונים, כמו מתכות, חומרי קרמיקה, זכוכית ועוד.

את הפולימרים המרוכבים אפשר לרתך. השיטות הנפוצות לריתוך הן ריתוך אולטרסאונד, ריתוך באמצעות רטט, ריתוך באמצעות סיבוב או ריתוך התנגדות.

## שליבים עיקריים בתהליך הלחמה/ריתוך פלסטיק

בהלחמה/ריתוך של פולימרים קיימים מספר שליבים הבאים:

### הכנת שטח הפנים של החלקים המחוברים

הכנת השטח כוללת טיפול שטח/עיבוד מכני ו/או ניקוי באמצעות הסרת שמנים של החלקים המחוברים.

בטיפול שטח ועיבוד מכני משתמשים בכלי עבודה מכניים לניקוי של שטח המתחבר או להורדת שיכבה עליונה של פלסטיק במקום החיבור (ראה תהליך 245 – טיפול שטח – מכני, תהליך 450 – חיתוך, תהליך 356 - עיבוד אברזיבי יבש – בד/נייר).

הניקוי באמצעות הסרת שומנים מהשטח המתחבר מבצעים בעזרת ממיסים אורגניים, כמו אצטון, איזופרופיל אלכוהול (IPA), מתיל אתיל קטון (MEK) ועוד. [2]

להלן דוגמאות להכנת שטח הפנים של פלסטיק לפני הלחמה/ריתוך.



ניקוי אברזיבי יבש – בד/נייר.

המקור: Techspanonline.

Techspan-Surface-

Preparation-Plastic-Welding.

[https://www.youtube.com/w](https://www.youtube.com/watch?v=m0FEuu-FbwQ)

[atch?v=m0FEuu-FbwQ](https://www.youtube.com/watch?v=m0FEuu-FbwQ)

ניקוי השטח המחובר באמצעות סמרטוט וסכין. המקור:

Drader Injectiweld. Plastic Welding. Plastic Trash Can

Repair.

<https://www.youtube.com/watch?v=Fp5hJq2wD58>

### חימום

קיימות מספר דרכים לחמם פלסטיק להלחמה/ריתוך. בכל השיטות מחממים את החלק שאמור להיות מחובר כדי להמיס או לרכך חומר פולימרי.

מבדילים בין השיטות: חימום חיצוני (External heating) וחימום פנימי (Internal heating).

השיטות לחימום חיצוני מבוססות על העברת חום לשטח הפנים המתחבר באמצעות הסעה (convection) ו/או הולכה (conduction). השיטות הן: ריתוך באמצעות כלי חם (hot tool (hot

(plate) welding), הלחמה/ריתוך גז חם (hot gas welding), הלחמה/ריתוך באמצעות אקסטרוזיה (extrusion welding), ריתוך אינדוקציה (induction welding), ריתוך התנגדות (welding resistance).

השיטות לחימום פנימי מחולקות לשתי קבוצות נוספות: הראשונה - חימום פנימי מכני (internal mechanical heating) - ריתוך אולטרסאונד (ultrasonic welding), ריתוך באמצעות רטט (vibration welding) וריתוך ספין (spin welding); והשנייה - ריתוך פנימי אלקטרומגנטי (Internal electromagnetic heating) - ריתוך אינפראאדום/לייזר (infrared/laser welding), ריתוך דיאלקטרי בתדרי רדיו (dielectric (radio frequency) welding) וריתוך מיקרוגל (microwave welding) [3].

להלן דוגמאות להמחשת תהליכי הלחמה/ריתוך פלסטיק:



מכונה לריתוך לייזר. המקור: Alibaba.com. <https://hebrew.alibaba.com/product-detail/laser-soldering-machine-dental-laser-welder-laser-welder-used-60491431268.html>



ריתוך אולטרסאונד. המקור: Ultrasonic Welding Plastic <https://warringah-plastics.com.au/services/fabrication-assembly/>

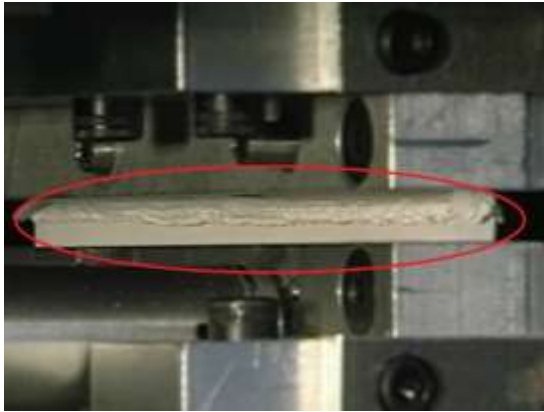


הלחמת גז חם. המקור: Mywaymotive. Il piu innovativo sistema per la riparazione di tutte le parti in plastica. <https://www.youtube.com/watch?v=2eqnbwLryE>.



תהליך ריתוך ספין (סיבובי). המקור: KOOok Production. Spin Welding Tutorial

<https://www.youtube.com/watch?v=fMdLWAYr7Ck>



ריתוך רטט. המקור: TWI Ltd . Vibration welding

<https://www.youtube.com/watch?v=fRTWcOGrPkU>



הלחמת אקסטרוזיה. המקור: TWI Ltd.

<https://www.youtube.com/watch?v=MkikQcAddKk>

## הפעלת לחץ

כאשר האזורים המחוברים מחוממים, יש להפעיל לחץ עליהם כדי לצור קשר הדוק בין החלקים המחוברים. בשלב זה מתרחשת דיפוזיה בינמולקולרית ונוצר תפר שמחבר בין שני החלקים.

## קירור

השלב הסופי בתהליך הלחמה/ריתוך הוא קירור והתמצקות מחדש של הפולימר במקום החיבור.

## גימור

כאשר תהליך חיבור בין החלקים מסתיים, לפעמים נשארים שאריות של החומר בתפר החיבור. תהליכי גימור מיועדים להוריד את השאריות הללו ולהביא לתפר צורה חלקה. בין התהליכים –

חיתוך באמצעות סכינים או השחזה באמצעות חומרים אברזיביים (תהליך 450 – חיתוך, תהליך 356 - עיבוד אברזיבי יבש – בד/נייר, תהליך 355 - עיבוד אברזיבי יבש – דיסקה וכ"ד).  
בתמונה הבאה הוצג תהליך השחזה (עיבוד אברזיבי יבש – דיסקה) כתהליך גימור לאחר הלחמת אקסטרודיה של פלסטיק.



הלחמה/ריתוך פלסטיק, תהליך גימור (השחזה). המקור: TWI Ltd.  
<https://www.youtube.com/watch?v=MKikQcAddKk>

### ריתוך פלסטיק באמצעות ממיסים

מכיוון שבחיבור מסוג זה ממיסים צריכים לרכך את שטח הפנים של הפולימרים במקום החיבור, בטכניקה זאת משתמשים בעיקר לחיבור טרמפיסטים אמורפיים, כגון שרפים פוליקרבונטים, אקריליים ופוליסטירניים [Sercer].

הטיפול בשטח המחובר בממיסים הוא בד"כ בשני שלבים ועל ידי שני סוגים שונים של ממיסים – פריימר (Primer) ומלט ממס (Solvent Cement).

פריימר הוא תערובת ממיסים אורגניים שונים, למשל: אצטון (Acetone), ציקלוהקסנון (Cyclohexanone), טטרהידרופורן (Furan, Tetrahydro-) ומתיל אתיל קטון (Methyl ethyl ketone, MEK) [4]. מטרת הפריימר הינה להתחיל ריאקציה כימית של הממס עם הפולימר ולהכין את השטח לשימוש במלט ממס.

מלט ממס הינו תערובת של שרפים, מייצבים וחומרי מילוי מומסים בקוקטייל של ממיסים [5]. מלט ממס מרכך את השטחים המחוברים עד לחיבור בינמוקולרי ביניהם.

להלן דוגמאות להמחשת השימוש במלט ממס:



ריתוך באמצעות ממיסים – שימוש במלט ממס. המקור: Solorio J.: Why Solvent Cement Is

## סיכונים בטיחותיים

### פגיעה מכנית במהלך הכנת השטח המחובר וגימור

זיהוי:

פגיעה בגוף העובד ובאנשים שמסביבו עקב חומרים מעובדים העפים או המשתחררים בעת ביצוע תהליכים של הכנת שטח הפנים של החלקים המחוברים ובמהלך עבודות גימור.

בקרה:

- א. העובד ישתמש בצידוד מגן אישי הכולל הרכבת משקפי מגן, נעילת נעלים סגורות בהתאם [לתקנות הבטיחות בעבודה \(צידוד מגן אישי\), התשנ"ז – 1997](#).
- ב. הימנעות מלבישת בגדים רופפים וענידת תכשיטים העלולים להיתפס בחלקי המכשור המופעל.
- ג. הקפדה על שימוש בצידוד ומכשור תקין וכן על ניקיון עמדת העבודה.
- ד. ריתום החלק המיועד למגע עם החומר המעובד (להב, דיסק ועוד) באופן כזה שימנע כל תזוזה או תנועה היכולה לגרום לתאונה.

### סיכוני פגיעה מחשמל

זיהוי:

העובד עלול להיפגע כתוצאה מהתחשמלות הנובעת משימוש בצידוד חשמלי לא תיקני או לא תקין בשעת ביצוע עבודות הלחמה/ריתוך. כמו כן, העובד עלול להתחשמל כתוצאה מחוסר הארקה או מפגיעת ברק. מכת חשמל (שוק) הנה תוצאה של מעבר זרם דרך הגוף בעוצמה הגורמת לתופעות פיסיולוגיות שליליות. חומרת המכה תלויה בכמות הזרם, משך ההופעה ומסלולו.

בקרה:

- א. שימוש בצידוד חשמלי תיקני, תקין ובדוק בהתאם לחוק החשמל, תשי"ד – 1954; ובשיטות עבודה בטוחות בהתאם [לתקנות הבטיחות בעבודה \(חשמל\), התש"ן – 1990](#).
- ב. בדיקת הצידוד החשמלי באופן תקופתי על ידי חשמלאי מוסמך. הבדיקות תתועדנה ותשמרנה.

## סיכונים גהותיים

### חשיפה לחומרים כימיים

זיהוי:

חשיפת דרכי הנשימה לאדים וגזים תוצרי פירוק של הפולימרים (חומרי הפרוק הם שונים בהתאם לסוג הפולימר), החומרים הנמצאים בתוספים, במכפילים ובפולימרים מרוכבים (מתכות כמו עופרת, קדמיום וחומרים אחרים).

חשיפת דרכי הנשימה והעור לממיסים אורגניים ולאדיהם בעת הכנת השטח המתחבר ובריתוך האמצעות ממיסים.

### הערכה:

הריכוזים המרביים המותרים חומרים שהם תוצרי הפירוק של פולימרים, ממיסים אורגניים, מתכות וחומרים אחרים בסביבת העבודה הוגדרו בתקנות הבטיחות בעבודה ובחברת ערכים עליונים מותרים של ACGIH.

### בקרה:

- א. ביצוע תהליכי הלחמה/ריתוך פלסטיק באופן סגור ובאופן אוטומטי.
- ב. הפעלת אוורור מאולץ מסוג יניקה מקומית בעמדות עבודה הלחמה/ריתוך פלסטיק. פתחי היניקה חייבים להיות ממוקמים במקומות שאינם עולים על גובה פניו של העובד, על מנת שלא לגרום לתנועת חומרים נפלטים דרך אזור נשימתו של העובד.
- ג. הגנה מפני חשיפה עורית ועינית: על העובד ללבוש בגדי עבודה בעלי שרוולים ארוכים ולהרכיב משקפי מגן, כפי שהוגדר בתקנות הבטיחות בעבודה (ציוד מגן אישי), התשנ"ז-1997.
- ד. הגנה מפני חשיפה נשימתית: במידת הצורך, על העובד להשתמש במסכת נשימה עם מסנן מתאים כפי שהוגדר בתקנות הבטיחות בעבודה (ציוד מגן אישי), התשנ"ז-1997 ובהתאם לתקן ישראלי 4013-16-00-0.
- ה. ביצוע ניטור סביבתי על ידי בודקים מוסמכים בעמדות עבודה של הלחמה/ריתוך פלסטיק בהתאם לתדירות הקבועה בחוק לפי תקנות הבטיחות בעבודה (ניטור סביבתי וניטור ביולוגי של עובדים בגורמים מזיקים), תשע"א-2011.
- ו. במידה ותוצאות הניטור הסביבתי ומשך החשיפה לגורמים מזיקים הם כאלה שהעובדים מוגדרים כעובדים בגורם מזיק, יש לבצע השגחה רפואית אחריהם (בדיקות רפואיות וניטור ביולוגי) בהתאם לאמור בתקנות הבטיחות בעבודה המתאימות.
- ז. הימנעות משימוש באוויר דחוס כדי לנקות ביגוד וחלקי מכשור מאבק בעבודות הלחמה/ריתוך פלסטיק.
- ח. הכרת הסיכונים בגליונות בטיחות לפולימרים, מתכות וחומרים אחרים המשמשים בתהליך הלחמה/ריתוך פלסטיק.
- ט. הסרת בגדי עבודה במקום עבודה, כיבוסם באופן מרוכז על ידי מקום העבודה.

### גורמי סיכון ביולוגיים

#### זיהוי:

כאשר בתור החלקים המחוברים מטפלים בצנרת שהייתה בשימוש, לעובדים קיים סיכוי לחשיפה לשאריות של חומר ביולוגי (למשל, בצנרת ביוב) ולעובש ולפטריית המצטברים בתוך הצנרת הרטובה.

#### בקרה:

יש לנקות היטב את החלקים לפני תחילת העבודה אתם. בעת הניקוי יש להשתמש באמצעי הגנה אישיים – כפפות ומסכות מגן.



ניהול היבטי הבטיחות והגהות תהליך הלחמה/ריתוך פלסטיק מומלץ לבצע תוך הקפדה על התנאים הבאים:

**1. כללי**

- א. הדרכה לעובדים אחת לשנה לפחות, על ידי מדריך אשר אושר לכך ע"י מנהל המפעל (בעלים). ניהול פנקס הדרכה לרבות תיעוד מועד ההדרכה, המדריך והחומר הנלמד. עם כניסתו של עובד חדש או שינוי עמדת העבודה של עובד יש לדאוג לביצוע הדרכה ביחס לסיכונים בעבודות טיפול שטח מכני, אמצעי הפחתת סיכונים לרבות אמצעי מיגון אישי, התנהגות בעת אירוע חריג לרבות תאונה וכמעט תאונה [תקנות הדרכת עובדים].
- ב. שילוט הסיכונים באזור העבודה, לרבות סיכונים גהותיים ובטיחותיים. שילוט בדבר הצורך בשימוש בציוד מגן אישי. שילוט בדבר איסור אכילה, שתיה והעישון כולל אחסון מצרי אוכל.
- ג. הגדרת שיטה (נוהל בכתב) להעברת מידע לגבי מפגעי בטיחות וגהות בתהליך העבודה, באמצעות הנהלת המפעל. העברת מידע מהעובדים להנהלה, באמצעות דיווח על מפגעי בטיחות וגהות, כמעט תאונות או תאונת עבודה.

**2. פגיעה מכנית**

- א. הימנעות מלבישת בגדים רופפים והימנעות מענידת תכשיטים.
- ב. שימוש בביגוד בעל שרוולים ארוכים, מכנסיים ארוכים.
- ג. הרכבת משקפי מגן.
- ד. ביצוע מיגון לבטח למכונות המשמשות בתהליכי טיפול שטח מכני.
- ה. רתום החלק המיועד למגע עם החלק המעובד.

**3. סיכוני פגיעה מחשמל**

- א. שימוש בציוד חשמלי תקני, תקין ובדוק.
- ב. בדיקה תקופתית של הציוד החשמלי.

**4. חשיפה לחומרים כימיים**

- א. ביצוע תהליכי הלחמה/ריתוך פלסטיק באופן סגור ואוטומטי.
- ב. ציוד עמדות העבודה של הלחמה/ריתוך פלסטיק באזור מואץ מסוג יניקה מקומית.
- ג. ביצוע בדיקה תקופתית של יעילות המערכות ליניקה מקומית.
- ד. ביצוע ניטור סביבתי לחומרים כנדרש בתקנות הבטיחות בעבודה.
- ה. ביצוע מעקב רפואי ונטור ביולוגי באמצעות מרפאות תעסוקתיות בהתאם לנדרש בתקנות.
- ו. שימוש במסכה עם מסנן ייעודי להגנה נשימתית.
- ז. הימנעות משימוש באוויר דחוס כדי לנקות ביגוד וחלקי מכשור מאבק.
- ח. הכרת הסיכונים בגיליונות בטיחות למתכות, חומרים מינרליים ואחרים הנמצאים בשימוש בתהליכי טיפול שטח מכני.
- ט. הסרת בגדי עבודה במקום עבודה, כיבוסם באופן מרוכז על ידי מקום העבודה.

- 1 . Thompson R. C., Moor C. J., vom Saal F.S. Swann S.H.: Review. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. Phil. Trans. R. Soc. B (2009) 364, 2153–2166.
- 2 . Devcon Versachem. Plastic Welder. Technical Data Sheet. Rev 04/2011. <<http://www.itwconsumer.com/userfiles/files/techdata-sheet/DV%20Tech%20Data/22045%20TDS.pdf>>. Accessed 08/09/2018.
3. Sercer M. Raos P.: Joining of plastics and composites. Welding Engineering and Technology - Joining of Plastics and Composites. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). < <https://www.eolss.net/sample-chapters/C05/E6-171-07-00.pdf>>. Accessed 22/08/2018.
4. Oatey Purple Primer- NSF Listed for PVC and CPVC. Safety Data Sheet. <<https://www.oatey.com/ASSETS/DOCUMENTS/ITEMS/EN/sds-us--oatey-purple-primer-nsf-listed-for-pvc-and-cpvc.pdf>>. Accessed 09/09/2018.
5. Solorio J.: Why Solvent Cement Is Not Glue. Gorzan Industrial Systems. 16/02/2018. < <https://www.corzan.com/blog/why-solvent-cement-is-not-glue>>. Accessed 09/09/2018.