



טיפול שטח אלקטרוכימי - ליטוש אלקטרוכימי -

Electrochemical Polishing

עדכון אחרון: אפריל 2019

תוכן עניינים

1.....	מבוא
2.....	הגדרה
2.....	שיטות
3.....	טמפרטורת התהליך
3.....	אלקטרוליט
3.....	משימות עיקריות בביצוע תהליך
4.....	הכנת אלקטרוליט ובקרה עליו
4.....	ליטוש אלקטרוכימי
4.....	נטרול ושטיפה לאחר הליטוש
4.....	סיכונים בטיחותיים
4.....	מגע עם עצמים חמים
5.....	סיכוני פגיעה מחשמל
5.....	סיכונים גהותיים
5.....	חשיפה לחומרים כימיים
6.....	חשיפה לרעש מזיק
6.....	מניעת מפגעים (נוהג טוב)
7.....	ביבליוגרפיה

מבוא

ליטוש אלקטרוכימי הינו תהליך היוצר פני שטח חלקים יותר, בעלי יתרונות משמעותיים על פני התוצר, לעומת ליטוש מתכות מסורתית.

התהליך נכנס לשימוש בשנות ה-50 של המאה הקודמת ורק בסוף המאה, לאחר מחקרים רבים, נכנס התהליך ליישומים נרחבים של תעשיות מזון, אלקטרוניקה, אופטיקה, רפואה, תעשיית רכב וענפים אחרים. התכונות של שטח חלק ביותר ללא חריצים וחללים אשר עלולים "להסתיר" בתוכם מזהמים שונים, מצופה בשכבה של חומר פסיבי עמיד נגד קורוזיה נדרש למוצרים של תעשיות האלה וליטוש אלקטרוכימי מספק את התכונות הללו [1,2].

ליטוש אלקטרוכימי או אלקטרופוליש (Electrochemical Polishing או Electropolishing) הינו תהליך אלקטרוכימי אשר מסיר חומר מהחלק המעובד על מנת ללטש אותו, להוריד שבבים ולצפות את שטח הפנים של החלק בשכבה פסיבית עמידה נגד קורוזיה [3].

שיטות

התהליך מתבצע באמבט עם תמיסה חומצית כאשר החלק המעובד משמש כאנודה ובתור קתודה משמשות לוחות מתכת הטבולות באמבט. בעת הפעלת מקור הזרם החשמלי מתרחשת פעולה של מעבר יונים חיוביים של מימן ומולקולות של מתכת מהשטח העליון של החלק המעובד לקתודות [4].

האמבטיות יכולות להיות גדולות או קטנות, כמו, לדוגמה, קופסת אלקטרופוליש של חברת Nitty Gritty. קיימת גם שיטה לליטוש אלקטרוכימי מקומי שפותחה על ידי חברה Edlstahl Maurer AG. בשיטה זאת מבצעים ליטוש באמצעות טמפון עם אלקטרוליט שדרכו עובר גם זרם חשמלי. להלן דוגמאות להמחשת שיטות שונות של ליטוש אלקטרוכימי.



ליטוש אלקטרוכימי באמבטיה. המקור: Electro Polish Co. Electropolish. <https://electro-polish.com/processes/electropolish>



אמבטיות לליטוש אלקטרוכימי. המקור: ReGro Metallveredlung GmbH & Co. KG. <https://www.regro-metallveredlung.de/verfahren/edelstahl-elektropolieren>



אמבטיות מודולריות שולחניות לליטוש חלקים קטנים של חברת Walter Lemmen gmbh. המקור: WOTECH. Edelstahl: Elektropolieren – Vorreinigen – Beizen – Passivieren. https://www.wotech-technical-media.de/womag/ausgabe/2013/02/5_w_lemmen_02j2013/5_w_lemmen_02j201



הוצאת חלק מעובד מאמבטיית ליטוש ושטיפתו בריסוס. המקור: Poligrat Deutschland GmbH. <https://www.poligrat.de/home/index.php?secti>



ליטוש מקומי באמצעות טמפון. המקור: Edelstahl Maurer AD. Electropolishing by means of the tampon process.

<https://en.edelstahl-maurer.ch/services/local-electropolishing.html>



קופסת ליטוש של חברת Nitty Gritty. המקור: Nitty Gritty. E-Polishing Box. <https://www.nitty-gritty.it/product/e-polishing-box/?lang=en>

טמפרטורת התהליך

טווח הטמפרטורה בתהליך הינו $40-75^{\circ}\text{C}$. אלקטרוליט שבאמבטיה מחממים לטמפרטורה הנדרשת.

אלקטרוליט

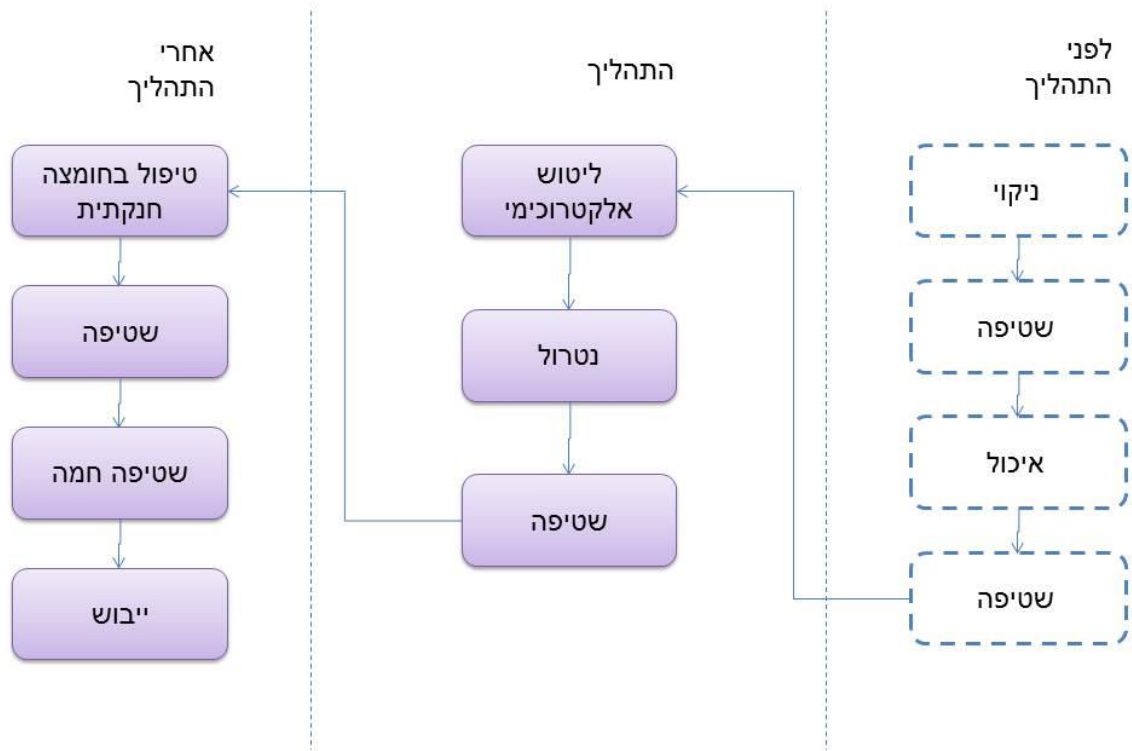
התמיסה הטיפוסית לליטוש אלקטרוכימי מורכבת מנפחים שווים של חומצה גופרתית וחומצה חנקתית בריכוזים גבוהים. כמו כן, לפעמים מוסיפים לתמיסה הידרופלורית בריכוזים נמוכים, אתילן גליקול, חומצת לימון וחומרים אחרים.

בתור קתודה משמשות המתכות: נירוסטה, נחושת או עופרת.

משימות עיקריות בביצוע תהליך

תהליך של ליטוש אלקטרוכימי מבצעים כשרשרת משימות שבהן תהליכי הכנה לליטוש, ליטוש, נטרול ושטיפת החלק. להלן דוגמה סכמתית של תהליך כזה [5].

ליטוש אלקטרוכימי – שרשרת משימות



הכנת אלקטרוליט ובקרה עליו

כאמור אלקטרוליט לליטוש אלקטרוכימי מכיל חומצות בריכוזים גבוהים ודורש זהירות רבה בהכנתו ובביצוע בקרה על הרכבו.

ליטוש אלקטרוכימי

הליטוש מתבצע באמבטיה עם חימום. מבצעים העברת חלקים לתוך האמבטיה והוצאת חלקים ממנה. משימה זאת מבצעים ידנית או תוך שימוש באמצעי הרמה חשמליים.

במהלך התהליך העובדים נמצאים במגע עם אדים של חומצות וחומרים אחרים שמשחררים בעת ליטוש.

נטרול ושטיפה לאחר הליטוש

לאחר ליטוש אלקטרוכימי מבצעים נטרול של שטח הפנים של החלק המעובד בסודיום הידרוקסיד.

בהתאם להנחיות של Euro Inox, לאחר התהליך מבצעים טיפול של שטח הפנים בחומצה חנקתית.

במהלך הוצאת חלקים מאמבטיה, ביצוע נטרול, טיפול בחומצה חנקתית וגם בשטיפה קיים מגע של עובדים עם החומרים הכימיים שבשימוש.

סיכונים בטיחותיים

מגע עם עצמים חמים

זיהוי:

מגע עם אדים חמים או נוזל חם של אלקטרוליט.

בקרה:

- א. שילוט בדבר סיכוני כווייה;
- ב. איסור על הכנסת ידיים לאמבט מחומם. יש לבצע פעולות טבילה והוצאת חלקים תוך שימוש בסלסלות או במגשים;
- ג. הימנעות ממגע עם מכשיר חם ולפי הצורך שימוש בכפפות נגד חום לצורך מגע עם המכשיר החם.

סיכוני פגיעה מחשמל

זיהוי:

העובד עלול להיפגע כתוצאה מהתחשמלות / מכת חשמל הנובעת משימוש בציוד חשמלי לא תקין בשעת ביצוע עבודות ליטוש אלקטרוכימי באמבטיה.

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. לצורך מניעת פגיעה עקב התחשמלות: בכל השלבים של ליטוש האלקטרוכימי יש להשתמש בציוד חשמלי תקני, תקין ובדוק בהתאם לחוק החשמל, תשי"ד – 1954 ובשיטות עבודה בטוחות בהתאם לתקנות הבטיחות בעבודה (חשמל), התש"ן – 1990;
- ב. מכשור חשמלי ייבדק תקופתית על ידי חשמלאי מוסמך. הבדיקות תתועדנה ותשמרנה.

סיכונים גהותיים

חשיפה לחומרים כימיים

זיהוי:

חשיפת דרכי הנשימה ועור לאדים וטיפות של חומצות ובסיסים בהם משתמשים בתהליך.

הערכה:

הריכוזים המירביים המותרים של החומרים שנפלטים לאוויר בסביבת העבודה תוך ביצוע ליטוש אלקטרוכימי הוגדרו בתקנות הבטיחות בעבודה ובחברת ערכים עליונים מותרים של ACGIH.

בקרה:

- א. ביצוע תהליכי ליטוש אלקטרוכימי באופן סגור ובאופן אוטומטי.
- ב. הפעלת אוורור מאולץ מסוג יניקה מקומית בעמדות עבודה של ליטוש אלקטרוכימי. 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 ליטוש אלקטרוכימי בהתאם לתדירות הקבועה בחוק לפי תקנות הבטיחות בעבודה (ניטור סביבתי וניטור ביולוגי של עובדים בגורמים מזיקים), תשע"א-2011.

1. 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.
2. הכרת הסיכונים בגיליונות בטיחות לתמיסות ליטוש, מתכות וחומרים אחרים המשמשים בתהליך ליטוש אלקטרוכימי.
- ח. הסרת בגדי עבודה במקום עבודה, כיבוסם באופן מרוכז על ידי מקום העבודה.

חשיפה לרעש מזיק

זיהוי:

רעש הינו צלילים בלתי רצויים. תהליך ליטוש אלקטרוכימי אינו מייצר רעש מזיק, אך הרעש יכול להיווצר מהתהליכים הנלווים, כמו הסרת שומנים, ניקוי בריסוס ושימוש באוויר דחוס.

הרעש המזיק הינו רעש בעל יכולת לגרום לפגיעה בשמיעה.

לפי תקנות הבטיחות בעבודה הרעש שמפלסו המשוקלל על פני הזמן עולה על 85 dB(A) לחשיפה במשך 8 שעות היינו רעש מזיק [6].

בקרה:

- א. בהתאם לתוצאות הניטור, ביצוע פעולות להקטנת הרעש במקור;
- ב. כאשר פעולות אלו לא צלחו, יש להקפיד על שימוש בצידוד מגן אישי בהתאם לתקנות הבטיחות בעבודה (צידוד מגן אישי), התשנ"ז-1997 להפחתת החשיפה לרעש (לרבות אוזניות, אטמים) בהתאם לתוצאות ניטור הרעש;
- ג. הקפדה על ביצוע תהליכים רועשים בסביבה בה נמצא מספר מינימלי של עובדים, אשר אינם נחוצים לצורך ביצוע התהליך (תזמון תהליכים);
- ד. ביצוע ניטור סביבתי לרעש כנדרש בתקנות הבטיחות בעבודה;
- ה. שילוט אזור העבודה כאזור רעש מזיק וכן חובת השימוש בצידוד מגן אישי (בהתאם לתוצאות ניטור הרעש);
1. ביצוע הדרכות לגבי היבטי הסיכונים בחשיפה לרעש;
2. ביצוע בדיקות רפואיות לעובדים אשר חשופים לרעש מזיק בהתאם לתוצאות ניטור הרעש.

מניעת מפגעים (נוהג טוב)

ניהול היבטי הבטיחות והגהות בתהליך ליטוש אלקטרוכימי 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 ליטוש אלקטרוכימי, אמצעי הפחתת סיכונים לרבות אמצעי מיגון אישי, התנהגות בעת אירוע חריג לרבות תאונה וכמעט תאונה [7].
- ב. שילוט הסיכונים באזור העבודה, לרבות סיכונים גהותיים ובטיחותיים. שילוט בדבר הצורך בשימוש בצידוד מגן אישי. שילוט בדבר איסור אכילה, שתיה והעישון כולל אחסון מצרי מזון.
- 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 תאונות עבודה.

2. פגיעה מכנית

- א. הימנעות מלבישת בגדים רופפים והימנעות מענידת תכשיטים.

- ב. שימוש בביגוד בעל שרולים ארוכים, מכנסיים ארוכים.
- ג. הרכבת משקפי מגן.

3. סיכוני פגיעה מחשמל

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

4. חשיפה לרעש מזיק

- א. ביצוע פעולות להקטנת הרעש במקור;
- ב. ביצוע הדרכות לגבי היבטי הסיכונים בחשיפה לרעש;
- ג. ביצוע ניטור רעש סביבתי מתמשך;
- ד. ביצוע השגחה רפואית (כולל בדיקות שמיעה) לעובדים אשר חשופים לרעש מזיק בהתאם לתקנות הבטיחות בעבודה;
- ה. שילוט אזור העבודה כאזור רעש מזיק וכן חובת השימוש בציוד מגן אישי (בהתאם לתוצאות ניטור הרעש);
- ו. הקפדה על שימוש בציוד מגן אישי בהתאם לתוצאות ניטור הרעש.

5. חשיפה לחומרים כימיים

- א. ביצוע תהליכי ליטוש אלקטרוכימי באופן סגור ואוטומטי.
- ב. ציוד עמדות העבודה של ליטוש אלקטרוכימי באווור מאלץ 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. הכרת הסיכונים בגיליונות בטיחות למתכות, חומרים מינרליים ואחרים הנמצאים בשימוש בתהליכי ליטוש אלקטרוכימי.
- ח. הסרת בגדי עבודה במקום עבודה, כיבוסם באופן מרוכז על ידי מקום העבודה.

ביבליוגרפיה

1. לימת. אלקטרופולישי: מדריך מקיף למשתמש.
<http://www.limat.co.il/%D7%90%D7%9C%D7%A7%D7%98%D7%A8%D7%95%D7%A4%D7%95%D7%9C%D7%99%D7%A9-%D7%9E%D7%93%D7%A8%D7%99%D7%A3-%D7%9E%D7%A7%D7%99%D7%A3-%D7%9C%D7%9E%D7%A9%D7%AA%D7%9E%D7%A9.html>
2. BioChem. תהליכי אלקטרופולישי ופסיביציה לנירוסטה. <https://bio-chem.co.il/blog/what-is-stainless-steel-elecpolish-and-passivation>
3. G. Yang, B. Wang, K. Tawfiq, H. Wei, S. Zhou & G. Chen (2016): Electropolishing of surfaces: theory and applications, Surface Engineering, DOI: 10.1080/02670844.2016.1198452. <http://dx.doi.org/10.1080/02670844.2016.1198452>.
4. דורון יצרן כלים בע"מ. ליטוש אלקטרוכימי – אלקטרופולישי. <http://doron-tool.co.il/%D7%9C%D7%99%D7%98%D7%95%D7%A9-%D7%90%D7%9C%D7%A7%D7%98%D7%A8%D7%95%D7%9B%D7%99%D7%9E%>

[D7%99-
%D7%90%D7%9C%D7%A7%D7%98%D7%A8%D7%95%D7%A4%D7%95%D7%9C%
./D7%99%D7%A9](https://www.edelstahl-rostoff.de/downloads/iser/Electropolishing_EN.pdf)

5. Euro Inox. The European Stainless Steel Development Association. Electropolishing Stainless Steels. Materials and Applications Series, Vol 11. https://www.edelstahl-rostoff.de/downloads/iser/Electropolishing_EN.pdf.

6. תקנות בטיחות בעבודה (גהות תעסוקתית ובריאות העובדים ברעש), התשמ"ד-1984

7. תקנות ארגון הפיקוח על העבודה (מסירת מידע והדרכת עובדים), תשנ"ט-1999.