



טיפול שטח אלקטרוכימי - ניקוי אלקטרוכימי (250) –

Electrochemical cleaning

עדכון אחרון: אפריל 2019

תוכן עניינים

1..... מבוא

2..... הגדרה

3..... שיטות עיקריות לניקוי אלקטרוכימי

4..... טמפרטורת התהליך

4..... אלקטרוליט

4..... תוספים

5..... משימות עיקריות בביצוע תהליך

5..... הכנת אלקטרוליט

6..... ניקוי אלקטרוכימי

6..... נטרול חלקים ושטיפתם במים לאחר הניקוי

6..... סיכונים בטיחותיים

6..... מגע עם עצמים חמים

6..... סיכוני פגיעה מחשמל

7..... סיכונים גהותיים

7..... חשיפה לחומרים כימיים

7..... חשיפה לרעש מזיק

8..... מניעת מפגעים (נוהג טוב)

9..... ביבליוגרפיה

מבוא

כל חלק מתכתי שנמצא בסביבה רגילה מצופה בשטח הפנים שלו על ידי שכבת תחמוצות של המתכת או על ידי ציפוי מיוחד אחר והם מקנים לחלק ההתנגדות בפני קורוזיה ומונעים חלודה.

כמעט כל טיפול בחלקים מתכתיים, ידני או מכאני, משפיע על פני השטח של החלק המעובד. הנפוץ ביותר הוא ריתוך, אך גם טיפולים כמו חימום, עיבוד בלתי שבבי (גלגול, כיפוף, חיתוך), עיבוד שבבי (חריטה, כרסום, ניסור, קידוח), עיבוד אברזיבי (השחזה) וטיפולים אחרים גורמים לפגיעה בשכבה עליונה של פני השטח של החלק. להלן דוגמה של מתכת לאחר עיבוד כזה [1].



חלק מנירוסטה עם תפר וכתמי חלודה לאחר השחזה וריתוך. המקור: John Swain, Anopol. Pickling – The State Of The Art 2007.

https://www.bssa.org.uk/cms/File/Summary_of_Pickling_Practice.pdf

ניקוי אלקטרוכימי מבצעים על מנת לנקות מתכת לאחר עיבוד מכאני. שיטה זאת יעילה יותר מטיפול כימי והיא לא דורשת שימוש בכימיקליים חזקים, כמו חומצה הידרוכלורית או חומצה חנקתית. לעיתים קרובות מבצעים ניקוי אלקטרוכימי גם להכנת שטח הפנים של החלקים לציפויים מסוגים שונים, כמו ציפוי המרה כימית, ציפוי אלקטרוכימי או צביעה.

הגדרה

ניקוי אלקטרוכימי הינו טיפול שטח הפנים של מתכת לצורך הורדת לכלוך המתבצע בסביבת אלקטרוליט עם הפעלת זרם חשמלי.

קיימים סוגים שונים של ניקוי אלקטרוכימי:

- א. ניקוי אנודי (Anodic cleaning), כאשר החלק המעובד מבצע פונקציה של אנודה. במקרה זה משתמשים באלקטרוליט בסיסי. הפעלת זרם חשמלי קבוע גורמת להיווצרות חמצן על שטח הפנים של אנודה. החמצן מיצר בועות מתחת לכלוך אשר מסייעות מאוד להסיר את חלודה, משקעים ושמנים משטח הפנים של החלק.
- ב. ניקוי קתודי (Cathodic cleaning), כאשר החלק המעובד מבצע פונקציה של קתודה. במקרה זה גז מיימן נוצר על שטח הפנים של קתודה והוא מבצע את אותה הפעולה של הסרת לכלוך משטח הפנים של החלק. האלקטרוליט בניקוי קתודי הינו תמיסה חומצית.
- מכיוון שמיימן גורם לעליה ברמת השבירות של סגסוגות ברזליות, בניקוי קתודי משתמשים רק לניקוי מתכות שאינן ברזליות. למתכות ברזליות משתמשים בניקוי אנודי עם סביבה אלקלית.
- ג. ניתן להפעיל את שני הסוגים של ניקוי בו זמנית באמצעות הטכניקה שנקראת "ניקוי תקופתי מתהפך" (Periodic reverse cleaning). בשיטה המשולבת הזאת מחליפים תוך כדי התהליך בין ניקוי אנודי וניקוי קתודי והפוך. ניקוי כזה נחשב ליעיל ביותר להורדת חלודה [2].
- ד. סוג נוסף של ניקוי אלקטרוכימי הינו ניקוי עם הפסקות בזרם חשמלי (Interrupted-current Cleaning). בניקוי מסוג זה זרם חשמלי, תוך ביצוע התהליך, מופסק לפרקי זמן קצרים על מנת לשמור על ריכוז של החומר הפעיל באלקטרוליט.

שיטות עיקריות לניקוי אלקטרוכימי

לניקוי אלקטרוכימי קיימות שתי שיטות עיקריות:

- א. ניקוי בהברשה/מטלית (Brush/Pad Electocleaning) – מברשת סיבי פחמן (Carbon fiber brush) או מטלית מרכיבים על המוט שמחובר למכשיר ומהווה אחת האלקטרודה. מרטיבים את מיקום הניקוי באלקטרוליט ומעבירים דרך המוט זרם חשמלי כאשר החלק המעובד הינו האלקטרודה השנייה. בשיטה זאת משתמשים כאשר מבצעים ניקוי מקומי, ובפרט - ניקוי תפרי ריתוך (Electrolytic weld cleaning);
- ב. ניקוי בטבילה (Bath Electrocleaning or Tank Immersion Electrocleaning) – החלק מניחים לניקוי באמבטיה עם אלקטרוליט מפעילים בה זרם חשמלי. בשיטה זאת משתמשים כאשר מנקים את החלק כולו.

להלן דוגמאות להמחשת שיטות שונות של ניקוי אלקטרוכימי.



ניקוי אלקטרוכימי של תפר ריתוך בהמצאות מברשת. המקור: BM Teknik. Electrochemical Weld Cleaning. <https://bm-technik.com/stainless-steel-weld-cleaning>

ניקוי אלקטרוכימי מקומי של תפר ריתוך באמצעות מטלית. המקור: Walter Surface Technologies. Electrochemical Cleaning. https://www.walter.com/en_US/surfox/electrochemical-cleaning



ניקוי אלקטרוכימי באמבטיה. המקור: Walter Surface Technology. Electrochemical Cleaning. <https://www.walter.com/surfox/electrochemical-cleaning?setLocale=true>

ניקוי הברשה אלקטרוכימי. המקור: Lapoint P. Electro-Chemical Weld Cleaning: ItMake More sense. Fabricating Metalworking. <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2018/04/electro-chemical-weld-cleaning-it-makes-more-sense>



ניקוי אלקטרוכימי של חוטי חשמל. המקור: Ultrasound versus electrolytic cleaning. https://www.wireweb.de/wire-reports/ultrasound-versus-electrolytic-cleaning_24215_de

טמפרטורת התהליך

חום נוצר במהלך תהליך ניקוי אלקטרוליטי בשל חימום התנגדותי (resistive heating או Joule heating) שמקורו באינטראקציה בין הזרם החשמלי לבין ההתנגדות של המערכת. מוליכות המערכת עולה עם העלייה בטמפרטורה עד להופעת בועות שהן לא מעבירות זרם חשמלי. לכן בתהליך ניקוי אלקטרוכימי נדרשת בקרה על טמפרטורה כדי שהיא לא תרד מתחת ל- 40°C (לשמור על מוליכות טובה של אלקטרוליט) ולא תגיע ל- 100°C – טמפרטורת הרתחה והופעת בועות באלקטרוליט [3].

אלקטרוליט

החומרים שבהם משתמשים להכנת תמיסות לניקוי אלקטרוכימי הם חומצות ובסיסים, אך, כאמור, בניקוי אלקטרוכימי אין צורך בחומצות או בסיסים חזקים במיוחד.

החומרים הם:

- א. חומצה גופרתית
- ב. חומצה זרחתית
- ג. נתרן פחמתי (סודיום קרבונט)
- ד. נתרן הידרוקסיד

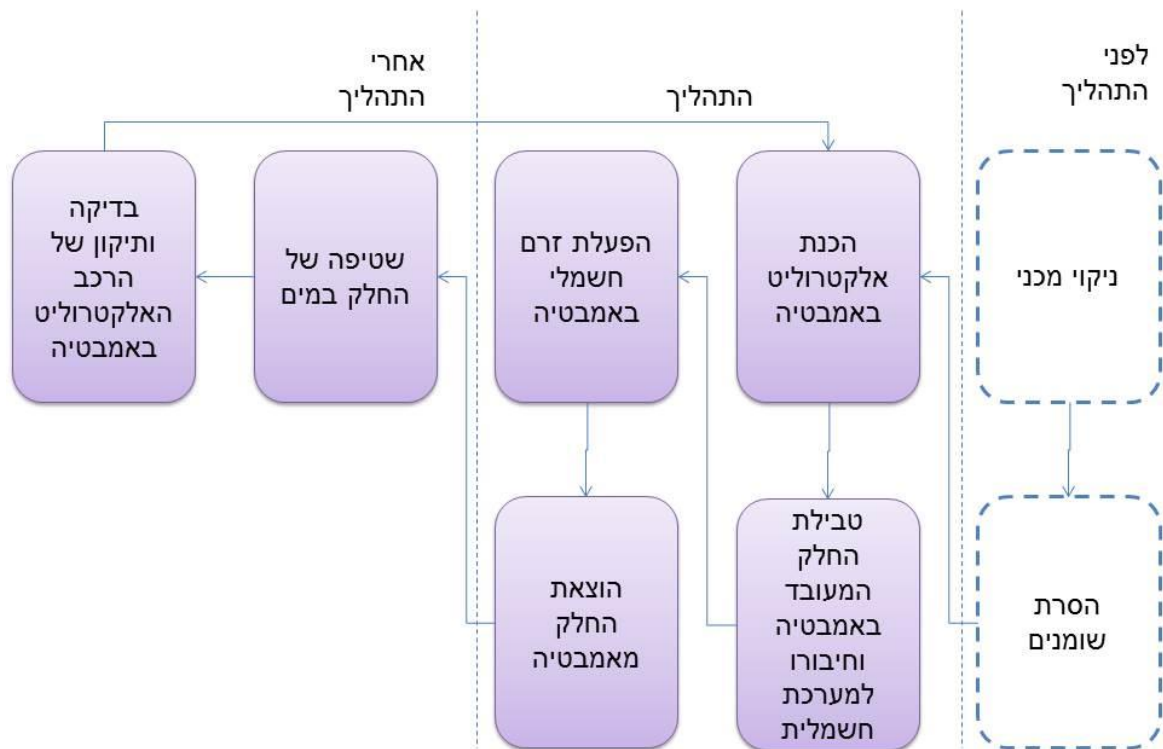
תוספים

על מנת להוריד את המתח של שטח הפנים (surface tension) של אלקטרוליט ולהקל על בועות להשתחרר מהתמיסה, מוסיפים לאלקטרוליט סורפקטנטים עם הקצפה נמוכה (low-foaming surfactants). חומרים אלה פועלים טוב גם להמסת שומנים, לכן, כדי למקד את פעילות התמיסה נגד חלודה ולכלוך אחר שאינו שומני, מומלץ לבצע הסרת שומנים לפני ניקוי אלקטרוכימי [Peterson]. כמו כן, לתמיסות לניקוי אלקטרוכימי מוסיפים חומרים להגברת מוליכות, מעכבי קורוזיה (סיליקטים), מרכיבי מים (פוספטים) ותוספים אחרים.

משימות עיקריות בביצוע תהליך

תהליך של ניקוי אלקטרוכימי מבצעים כשרשרת משימות שביניהן תהליכי הכנה לניקוי, ניקוי ונטרול, שטיפת החלק אחרי הניקוי. להלן דוגמה סכמתית של תהליך כזה.

ניקוי אלקטרוכימי – טבילה, שרשרת משימות



תהליכי ניקוי (טיפול שטח) מכאני והסרת שומנים מתבצעים בד"כ לפני ניקוי אלקטרוכימי.

הכנת אלקטרוליט

אלקטרוליטים לניקוי אלקטרוכימי מיוצרים בכמה צורות שמתאימות שיטת הניקוי. להלן הדוגמה לחומרים באריזות שונות.



אריזות אלקטרוליט לניקוי אלקטרוכימי של חברת Walter. המקור: Amazon. <https://www.amazon.com/Walter-54A067-Surfox-G-Cleaning-Electrolyte/dp/B00GNK6ZSM>

בניקוי מקומי משתמשים בחומרים מוכנים. במקרה שהניקוי מתבצע בטבילה, אלקטרוליט מוסיפים לאמבטיה.

כאשר משתמשים באותו האלקטרוליט מספר פעמים, נדרשת כל הזמן בקרה על הרכבו של החומר ותיקונו על ידי הוספת אלקטרוליט לאמבטיה.

במשימות האלה העובדים נמצאים במגע עם חומרים כימיים שבאלקטרוליט.

ניקוי אלקטרוכימי

בעת ביצוע ניקוי באמבטיה מבצעים העברת חלקים לתוך האמבטיה והוצאת חלקים ממנה. במשימה זאת משתמשים בד"כ באמצעי הרמה חשמליים.

במהלך הניקוי מכל הסוגים, מקומי ובטבילה, העובדים נמצאים במגע עם חומרים שמשחררים מהאלקטרוליט בעת הניקוי.

נטרול חלקים ושטיפתם במים לאחר הניקוי

לאחר הניקוי אלקטרוכימי מקומי חומצי מבצעים נטרול של שטח הפנים על ידי חומר בסיסי.

לאחר מכן מבצעים שטפת החלק במים ויבוש.

במהלך הוצאת חלקים מאמבטיה, ביצוע נטרול וגם בשטיפה, במיוחד בשלבים ראשוניים כשהחלק מצופה באלקטרוליט, קיים מגע של עובדים עם החומרים הכימיים בהם בוצע הניקוי.

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 סלסלות או מגשים;
- 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 בצידוד חשמלי לא תקין בשעת ביצוע עבודות ניקוי מקומי במכשיר הניקוי או באמבט.

מכת חשמל (שוק) הנה תוצאה של מעבר זרם דרך הגוף בעוצמה הגורמת לתופעות פיסיוולוגיות שליליות. חומרת המכה תלויה בכמות הזרם, משך ההופעה ומסלולו.

בקרה:

- א. לצורך מניעת פגיעה עקב התחשמלות: בכל שיטות הניקוי האלקטרוכימי יש להשתמש בצידוד חשמלי תקני, תקין ונבדק 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.

חשיפה לחומרים כימיים**זיהוי:**

חשיפת דרכי הנשימה והעור לאדים וטיפות של חומצות ובסיסים שבאלקטרוליט, שמכילות בתוכן תוספים שונים וגם שאריות של לכלוך.

הערכה:

הריכוזים המרביים המותרים של החומרים שנפלטים לאוויר בסביבת העבודה תוך ביצוע ניקוי אלקטרוכימי הוגדרו בתקנות הבטיחות בעבודה ובחבורת ערכים עליונים מותרים של ACGIH.

בקרה:

- א. ביצוע תהליכי ניקוי אלקטרוכימי באופן סגור ואוטומטי.
- ב. הפעלת אוורור מאולץ מסוג יניקה מקומית בעמדות עבודה של ניקוי 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 ניקוי אלקטרוכימי 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. הכרת הסיכונים בגליונות בטיחות לתמיסות ומשחות ניקוי, מתכות וחומרים אחרים המשמשים בתהליך ניקוי אלקטרוכימי.
- ח. הסרת בגדי עבודה במקום עבודה, כיבוסם באופן מרוכז על ידי מקום העבודה.

חשיפה לרעש מזיק**זיהוי:**

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

הרעש המזיק היינו רעש בעל יכולת לגרום לפגיעה בשמיעה.

לפי תקנות בטיחות בעבודה הרעש שמפלסו המשוקלל על פני הזמן עולה על 85 dB(A) לחשיפה במשך 8 שעות היינו רעש מזיק [4].

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 בצוע 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 החובה בשימוש בצידוד מגן אישי (בהתאם לתוצאות ניטור הרעש);
- ו. בצוע הדרכות לגבי היבטי הסיכונים בחשיפה לרעש;
- ז. ביצוע בדיקות רפואיות לעובדים אשר חשופים לרעש מזיק בהתאם לתוצאות ניטור הרעש.

מניעת מפגעים (נוהג טוב)

ניהול היבטי הבטיחות והגהות תהליך ניקוי 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 ניקוי אלקטרוכימי, אמצעי הפחתת סיכונים לרבות אמצעי מיגון אישי, התנהגות בעת אירוע חריג לרבות תאונה וכמעט תאונה [5].
- ב. שילוט הסיכונים באזור העבודה, לרבות סיכונים גהותיים ובטיחותיים. שילוט בדבר הצורך בשימוש בצידוד מגן אישי. שילוט בדבר איסור אכילה, שתיה ועישון כולל אחסון מוצרי 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 שרוולים ארוכים, מכנסיים ארוכים.
- ג. הרכבת משקפי מגן.

3. סיכוני פגיעה מחשמל

- א. שימוש בצידוד חשמלי תיקני, תקין ובדוק.
- ב. בדיקה תקופתית של הצידוד 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 מרעיש וכן החובה בשימוש בצידוד מגן אישי (בהתאם לתוצאות ניטור הרעש);
- ו. הקפדה על שימוש בצידוד מגן אישי בהתאם לתוצאות ניטור הרעש.

5. חשיפה לחומרים כימיים

- א. ביצוע תהליכי ניקוי אלקטרוכימי באופן סגור ואוטומטי.

- ב. ציוד עמדות העבודה של ניקוי אלקטרוכימי באזורור מאולץ 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 ניקוי אלקטרוכימי.
- ח. הסרת בגדי עבודה במקום עבודה, כיבוסם באופן מרוכז על ידי מקום העבודה.

ביבליוגרפיה

1. Swain J.: Pickling – The State Of The Art 2007. ANOPOL.
https://www.bssa.org.uk/cms/File/Summary_of_Pickling_Practice.pdf.
2. Peterson D. S.: Electrolytic Cleaning. PF Product Finishing.
<https://www.pfonline.com/articles/electrolytic-cleaning>.
3. Engeneering 360. Electrolytic Cleaning Equipment Information.
https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/cleaning_surface_preparation/electrolytic_cleaning_equipment
4. תקנות בטיחות בעבודה (גהות תעסוקתית ובריאות העובדים ברעש), התשמ"ד-1984
5. תקנות ארגון הפיקוח על העבודה (מסירת מידע והדרכת עובדים), תשנ"ט-1999.