



## טיפול שטח כימי - ציפוי מגן – אנודיז

### - Anodizing

עדכון אחרון: אפריל 2019

### תוכן עניינים

2.....	מבוא
2.....	הגדרות
2.....	אנודיז
3.....	שיטות
3.....	טמפרטורת התהליך
4.....	אלקטרוליט
4.....	תוספים
4.....	משימות עיקריות בביצוע תהליך
5.....	הכנה לציפוי (ניקוי)
5.....	ציפוי אנודיז
5.....	צביעה
5.....	טיפול בחומרי אטום
5.....	שטיפות
5.....	סיכונים בטיחותיים
5.....	פגיעת עור, עיניים, מערכת הנשימה או מערכת העיכול מחומרים מאכלים (קורוזיביים)
6.....	סיכוני פגיעה מחשמל
6.....	סיכונים גהותיים
6.....	חשיפה לחומרים כימיים
7.....	חשיפה לרעש מזיק
7.....	מניעת מפגעים (נוהג טוב)
8.....	ביבליוגרפיה

ציפוי מתכת וסגסוגת הוא אחד האמצעים הנפוצים ביותר בהגנה מפני קורוזיה. עם זאת, הציפוי מספק למתכות גם תכונות אחרות - מכניות, פיזיות ואסתטיות.

אחת הדוגמאות של שימוש בציפוי מתכות הינו ציפוי אנודיזי של אלומיניום, כאשר קונסטרוקציות האלומיניום עם סוג ציפוי זה נמצאים בשימוש רחב בבנייה כרכיבים חזקים, עמידים ומאפשרים לייצר למבנה בעל מראה יפה ומודרני, כמו, לדוגמה, בית האופרה בקופנהגן [1].



בית האופרה בקופנהגן עם חזית מאלומיניום עם ציפוי אנודיזי (anodized aluminium). המקור: Wikipedia, התמונה של Julian Herzog.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Copenhagen\\_Opera\\_House\\_2014\\_04.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Copenhagen_Opera_House_2014_04.jpg)

## הגדרות

ציפוי המרה כימית (Chemical Conversion Coating) הינו תהליך שבו שכבת חומר ציפוי נוצרת על פני השטח של חלק מתכתי עקב תגובה כימית שבין משטח המתכת לבין חומר כימי חיצוני. הציפוי ממיר את השכבה החיצונית של מתכת ומשולב במלואו עם המצע, לכן הוא אינו משנה את מידותיו של החלק המעובד.

### פסיבציה

מונח "פסיבציה" (Passivation) מתייחס לתהליך שבו שטח הפנים של החלק המתכתי הופך ללא פעיל (passive) מבחינה כימית ומגן על החלק מפני חשיפות כימיות חיצוניות, קודם כול – חמצון.

מבחינת ההגדרה, כל השיטות של ציפוי המרה כימית הן פסיבציה.

### אנודיז

אנודיז (Anodize or Anodizing) הוא גם ציפוי המרה, אך השיטה היא אלקטרוכימית. בתהליך זה החלק המעובד (אלומיניום או מתכת אחרת) נמצא באלקטרוליט והמרת שכבה בשטח הפנים של החלק מתבצעת בעזרת זרם חשמלי. באנודיז החלק המעובד משמש אנודה (מכאן השם של השיטה) והוא משליח יונים לתמיסת אלקטרוליט כאשר הציפוי נוצר עקב חמצון של שטח פניו.

להבדיל מאנודיז, בתהליך ציפוי אלקטרוכימי רגיל החלק המעובד משמש קתודה ועליו נוצרת שכבת ציפוי מהחומר שבתמיסה אלקטרוליטית.

קיימים מספר סוגים של אנודיז. הנפוצים שביניהם: סוג I – אנודיז עם חומצה כרומית (Type I-Chromic Acid Anodize), סוג II – אנודיז עם חומצה גופרתית (Type II-Sulfuric Acid Anodize) וסוג III – ציפוי אנודיז קשה (Type III - Hard Anodize or Hardcoat) שגם הוא מתבצע עם חומצה גופרתית.

הסוגים שפחות נפוצים הם אנודיז עם חומצה זרחתית (Phosphoric Acid Anodize) ואנודיז עם טיטניום (Titanium Anodize).

מכיוון שבאנודיז עם חומצה כרומית משתחרר כרום שש ערכי (כרום עם דרגת חמצון +6, chromium hexavalent) הידוע כמסרטן וודאי, ציפוי זה נשאר כיום בעיקר בתעשיות ביטחוניות. בענפי תעשייה אחרים השימוש בו הוקטן או הופסק.

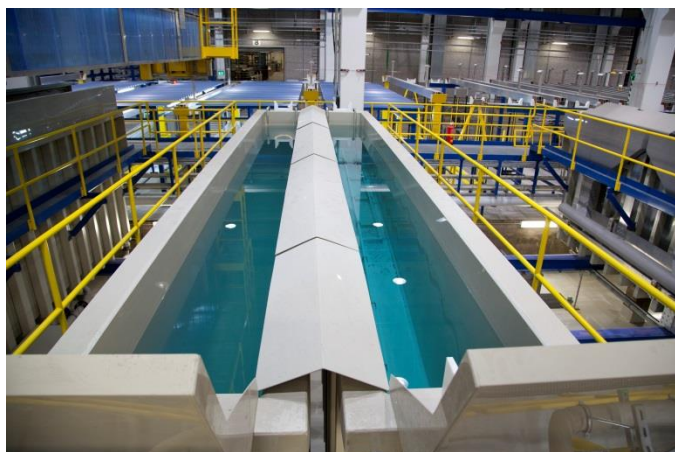
כחלופה לאנודיז עם חומצה כרומית פותחה שיטה לאנודיז עם חומצה בורית וחומצה גופרתית (Boric-Sulfuric Acid Anodize (BSAA) [2].

ההבדל בין השיטות הינו בעובי, בחוזק ובמאפיינים אחרים של השכבת ההגנה שנוצרת בתהליך.

## שיטות

הציוד לביצוע אנודיז יכול להיות שונה מאוד – ממפעלי אנודיז גדולים ועד ציוד לביצוע התהליך בתנאי בית. עם זאת, התהליך מתבצע בשיטה אחת – ניקוי ושטיפה של החלק לפני אנודיז, אנודיז בתמיסה אלקטרוליטית נוזלית ושטיפה לאחר התהליך.

להלן התמונות להמחשת כלים בהם משתמשים לביצוע התהליך.



ערכת אנודיז של חברת Caswell. המקור: Caswell. Anodizing Kits. <https://www.caswellplating.com/anodizing-products/anodizing-kits/standard-anodizing-kit.html>

מפעל לאנודיז אלומיניום. המקור: Galvatek. Anodizing Plants. Aluminum anodizing plant with cascade rinse steps. [https://www.galvatek.eu/process-plants/aluminium-anodizing-plants/?gclid=EAlalQobChMI7dnhjozm4QIVC8KyC\\_h0C\\_QYVEAMYASAAEgJ9tPD\\_BwE](https://www.galvatek.eu/process-plants/aluminium-anodizing-plants/?gclid=EAlalQobChMI7dnhjozm4QIVC8KyC_h0C_QYVEAMYASAAEgJ9tPD_BwE)

## טמפרטורת התהליך

טמפרטורת התהליך באנודיז שונה בהתאם לסוג התהליך.

באנודיז סוג II עם חומצה גופרתית הטמפרטורה היא קרובה לטמפרטורת הסביבה ( $20^{\circ}\text{C}$ ).

באנודיז סוג III מורידים את טמפרטורה ל- $0^{\circ}\text{C}$ .

כאמור, החומרים שמשמשים להכנת תמיסות של אלקטרוליט הם חומצות (כרומית, גופרתית, זרחנית ועוד).

**תוספים**

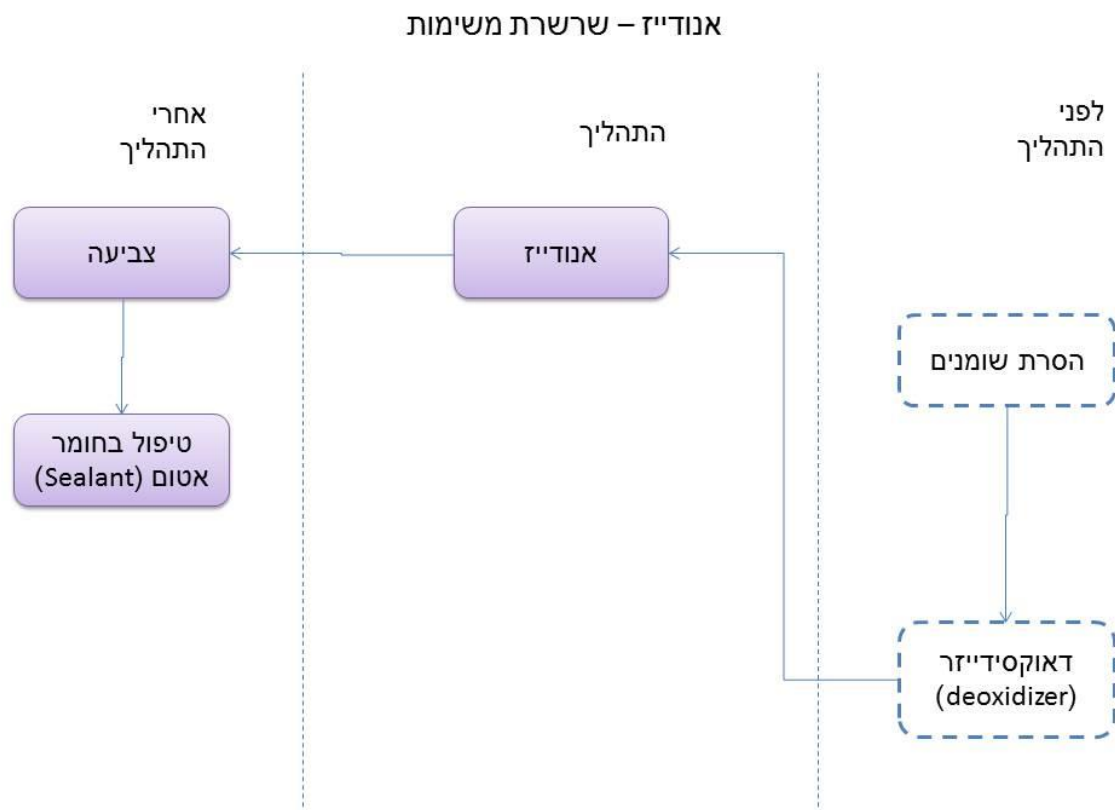
כאשר סגסוגות אלומיניום מכילות נחושת או סיליקון, יעילות האנודיז יורדת. על מנת לתקנה מוסיפים לאלקטרוליט חומצה גליקולית וחומרים אחרים [3].

לעיתים קרובות למטרות דקורטיביות באנודיז משתמשים בצבעים שונים, אשר יכולים להכיל כל מיני חומרים, כמו תרכובות כרום ומתכות כבדות נוספות [4].

בסוף תהליך האנודיז משתמשים בד"כ בחומרי איטום (sealants) שהם גם מכילים חומרים כדוגמת ניקל [5].

**משימות עיקריות בביצוע תהליך**

תהליך ציפוי אנודיז מבצעים כשרשרת משימות שביניהן תהליכי הכנה (ניקוי), ציפוי ושטיפת החלק. להלן דוגמה סכמתית של אחד מהתהליכים [6].



התהליך יכול להיות הרבה יותר ארוך ולהכיל מספר רב של משימות, כמו בדוגמה הבאה:

**Clean-Rinse-Etch-Rinse-Desmut-Rinse-Anodize-Rinse-Neutralize-Rinse-Dye-Rinse-Seal-Rinse** [Finishing.com].

## הכנה לציפוי (ניקוי)

כפי שניתן לראות מהדוגמה, לפני הציפוי אנודיז מבצעים ניקוי החלק (הסרת שומנים) וכמו כן, טיפול בחומר שמעלה עמידות נגד חמצון (דאוקסידייזר - deoxidizer).

בתור דאוקסידייזר יכולים לשמש חומרים שונים. לדוגמה, דאוקסידייזר Deoxalume של חברת Henkel מכיל גופרית של ברזל, חומצה גופרתית וחומרים נוספים.

## ציפוי אנודיז

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

במהלך התהליך העובדים נמצאים במגע עם אדים של חומרים שמשחררים בעת הציפוי.

## צביעה

את המשימה מבצעים באמבטיה. לתמיסה מוסיפים צבעים. כאמור, חלק מהם מכילים חומרים מסוכנים כמו כרום או מתכות כבדות אחרות.

## טיפול בחומרי אטום

חומרי האטום יכולים להכיל חומרים שונים, לעיתים משתמשים בחומרי אטום המכילים ניקל.

## שטיפות

גם לפני וגם אחרי הציפוי מבצעים שטיפות של החלק.

במהלך הוצאת חלקים מאמבטיות והעברתם למכלים שבקו הציפוי קיים מגע של עובדים עם החומרים הכימיים שבשימוש.

## סיכונים בטיחותיים

### פגיעות בעור, בעיניים, במערכת הנשימה או במערכת העיכול מחומרים מאכלים (קורוזיביים)

#### זיהוי:

מגע של העור או הריריות (עיניים, שפתיים, דרכי הנשימה העליונות או מערכת העיכול) עם חומרים מאכלים (חומצות, בסיסים, אדים וגזים מסוימים וחומרים אחרים) גורם לפגיעה ברקמה של העור או הריריות החל מגירוי ועד לכוויות קשות. חומרת הפגיעה הינה בהתאם לטיבו של החומר, ריכוזו בתמיסה, זמן המגע ושטח העור הנחשף או כמות החומר שנשאף או נבלע.

#### בקרה:

על מנת למנוע פגיעה מחומרים מאכלים יש לפעול למניעת המגע הישיר עם החומרים הללו ולהורדת ריכוזיהם באוויר:

- א. יש להדריך את העובדים בנושא סיכונים בשימוש בחומרים כימיים מאכלים ועזרה ראשונה לנפגעים בחומרים האלה טרם תחילת העבודה;
- ב. עבודות בהם משתמשים בחומרים מאכלים, כולל הכנת תערובות, מילוי מכלים או אמבטיות, אחסון וכו' יש לבצע במקום מאוורר ומצויד במערכת אוורור מאולצת;
- ג. חובה על העובדים להשתמש בצווד מגן אישי מתאים: משקפי מגן או מסכה, כפפות מתאימות, סינר ובגדים מיוחדים וכו'.

- ד. כל המכלים, השקים ואריזות אחרות עם חומרים מסוכנים חייבים להיות מסופקים עם תוויות מתאימות המציינות את השם ואת הריכוז החומרים בהתאם לדרישות תקנות הבטיחות בעבודה (גיליון בטיחות, סיווג, אריזה, תיווי וסימון של אריזות), תשנ"ח-1998. במהלך אחסון, העברה ושימוש בחומרים יש להבטיח שהתוויות על אריזות יהיו תמיד נראות לעין ויהיו במצב שלא ניתן להסירן;
- ה. יש לצייד את מקום העבודה במתקנים לשטיפת עיניים ובמתקני רחיצה.

### **מגע עם עצמים חמים**

#### **זיהוי:**

מגע עם אדים חמים או נוזל חם. אומנם הטמפרטורה בתהליך אנודיזי הינה טמפרטורת הסביבה או נמוכה מהסביבה, הפגיעה עלולה להתרחש כאשר מבצעים משימות הכנה לתהליך עם שימוש בטמפרטורה גבוהה.

#### **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 בציוד חשמלי לא תקין בשעת ביצוע עבודות אנודיזי.

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 השלבים של תהליך אנודיזי 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 והעור לאדים וטיפות של חומצות ובסיסים בהם משתמשים בתהליך.

#### **הערכה:**

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

#### **בקרה:**

- א. ביצוע תהליכי אנודיזי באופן סגור ובאופן אוטומטי.

- ב. הפעלת אוורור מאולץ מסוג יניקה מקומית בעמדות עבודה של אנודיז. 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 אנודיז 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 בגיליונות בטיחות לתמיסות ליטוש, מתכות וחומרים אחרים המשמשים בתהליך אנודיז.
- ח. הסרת בגדי עבודה במקום עבודה, כיבוסם באופן מרוכז על ידי מקום העבודה.

## חשיפה לרעש מזיק

### זיהוי:

- רעש הינו צלילים בלתי רצויים. תהליך ציפוי אנודיז אינו גורם לרעש 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 רעש שמפלסו המשוקלל על פני הזמן עולה על 85 dB(A) לחשיפה במשך 8 שעות היינו רעש מזיק [7].

### בקרה:

- א. בהתאם לתוצאות הניטור, ביצוע פעולות להקטנת הרעש במקור;
- ב. כאשר פעולות כאלה לא צלחו, יש להקפיד על שימוש בציוד מגן אישי בהתאם לתקנות הבטיחות בעבודה (ציוד 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 מרעיש וכן החובה בשימוש בציוד מגן אישי (בהתאם לתוצאות ניטור הרעש);
- ו. ביצוע 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 בתהליך אנודיז 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 העובד יש לדאוג לביצוע הדרכה ביחס לסיכונים בעבודות אנודייז, אמצעים להפחתת הסיכונים לרבות אמצעי מיגון אישי, התנהגות בעת אירוע חריג לרבות תאונה וכמעט תאונה [8].
- 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 שרוולים ארוכים, מכנסיים ארוכים.
- ג. הרכבת משקפי מגן.

## 3. סיכוני פגיעה מחשמל

- א. שימוש בצידוד חשמלי תקני, 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 אנודייז באופן סגור ואוטומטי.
- ב. ציוד עמדות העבודה של אנודייז באזור מאלוץ 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 בגליונות בטיחות למתכות, חומרים מינרליים ואחרים הנמצאים בשימוש בתהליכי אנודייז.
- ח. הסרת בגדי עבודה במקום עבודה, כיבוסם באופן מרוכז על ידי מקום העבודה.

## ביבליוגרפיה

1. Runge J. M.: The Metallurgy of Anodizing Aluminum: Connecting Science to Practice. Springer International Publishing, 2018.



- 
2. Anoplate. Anodizing. <https://www.anoplate.com/finishes/anodizing/>.
  3. Finishing.com. Anodizing of Aluminium. <https://www.finishing.com/anodizing.shtml>.
  4. Kingscote Chemicals. Bright Dyes® Black E Powder. [https://anodizingdyes.com/wp-content/uploads/2018/05/sds\\_505140.pdf](https://anodizingdyes.com/wp-content/uploads/2018/05/sds_505140.pdf).
  5. Henkel. Broderit M-ED Seal 9000 SDS. <https://pim.henkelgroup.net/henkel/msdspdf?matnr=594037&country=US&language=EN>.
  6. Caswell. Anodizing Kits. <https://www.caswellplating.com/anodizing-products/anodizing-kits.html>.

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

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