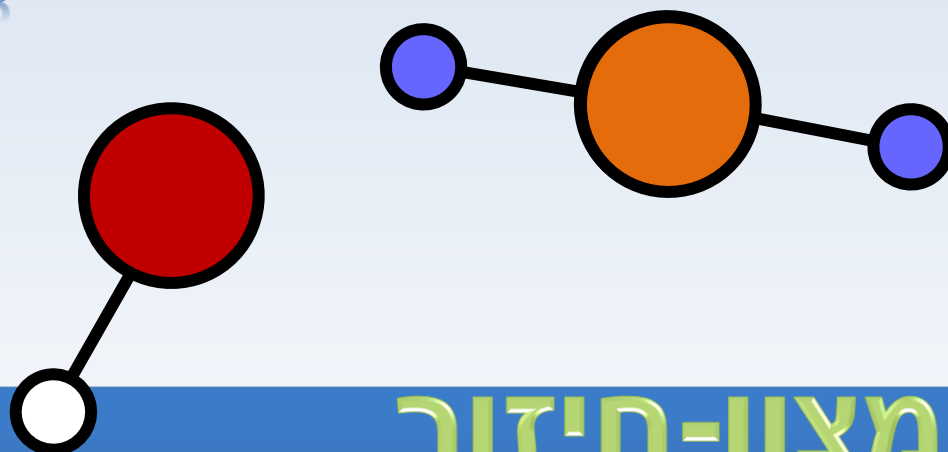
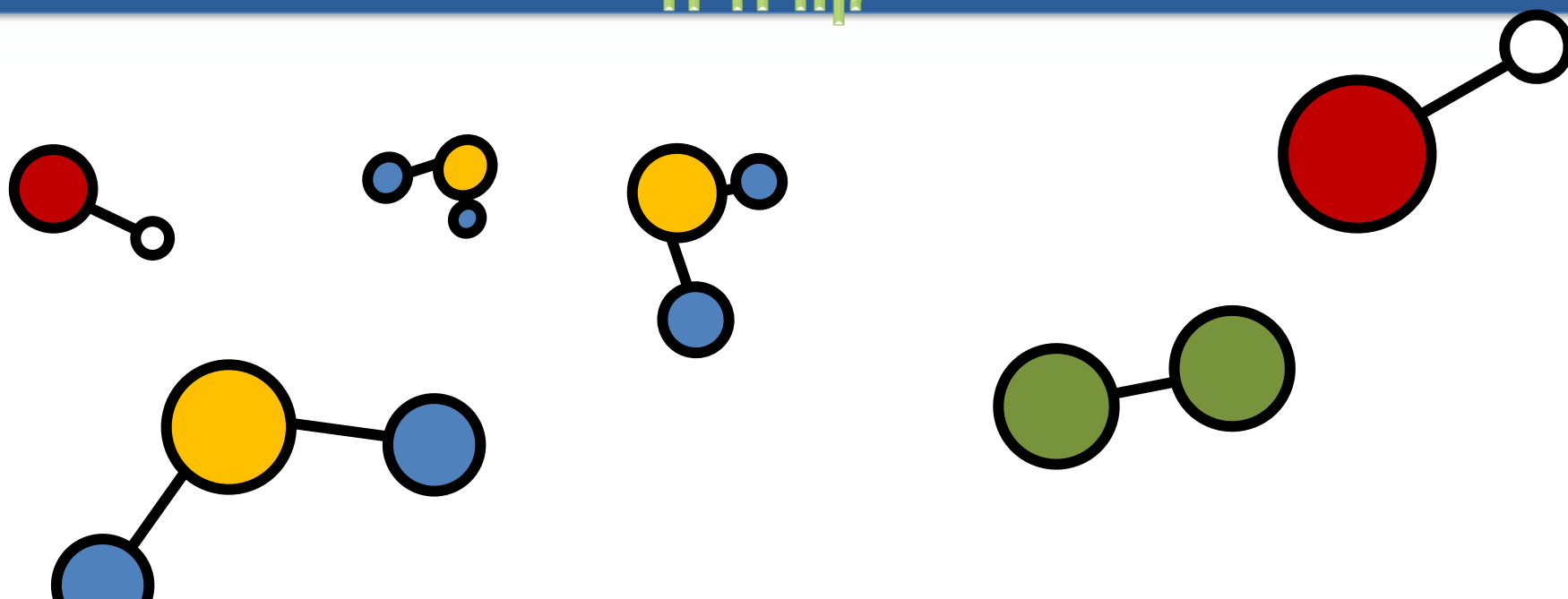




חמצון-חיזור

קורזיה



מהי קורוזיה? 

מה הגורמים המשפיעים על קורוזיה 

כיצד ניתן להגן על החומר מפני קורוזיה 

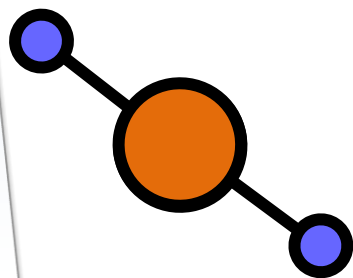
מה אנחנו צריכים כבר לדעת?

הטבלה המחזורית והטורים בטבלה המחזורית 

מתכות ואל-מתכות 

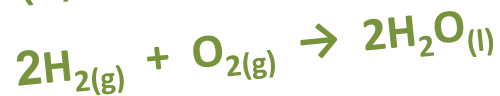
אלקטרושליליות 

ד"ח של אטומים בתרכובות, טווח ד"ח, 



זיהוי תגובות חמצון-חיזור ורישום חצאי תגובות

לדוגמא: $(0) \quad (0) \quad (1+)(2-)$



השורה האלקטרוכימית של המתכות 

לדוגמא: מתכות לא פעילות / מתכות פעילות

קורוזיה

קורוזיה (בעברית: שתוף) הוא תהליך כימי
הרסני בחומר, הנובע מחשיפה לסביבה - מגע
בחומר אחר (חמצן, למשל) (ויקיפדיה)

תהליך הקורוזיה הוא תהליך חמצון-חיזור של
חומרים שונים, לרוב מתכות.

קורוזיה היא תגובת חמצון-חיזור איטית של חומרים, בעיקר של מתכות וסגסוגות, עם חומרים מהסביבה:



כאשר מתכת עוברת קורוזיה, על שטח הפנים שלה נוצר חומר יוני בעל מבנה ותכונות שונים משל המתכת (M).
תוצרי התגובה לדוגמה:

תחמוצות - תרכובות עם חמצן MO

סולפידים - תרכובות עם גופרית MS

ועוד...

תזכורת: השורה האלקטרוכימית של המתכות

השורה האלקטרוכימית:

דירוג המתכות על פי כושרן לשמש כמחזרות
בכיוון ההפוך, הוא דירוג יוני המתכות לשמש כמחמצנות.



מחמצנים חלשים יותר



מחזרים חזקים יותר

נצפה בסרטון



תגובה של מתכות עם חומצה (HCl)

https://youtu.be/Na_6j9y9ke8

החלק הרלוונטי בסרטון 0:00-1:30

פעילות של מתכות

Li > K > Sr > Ca > Na > Mg > Al > Zn > Cr > Fe > Cd > Co > Ni > Sn > Pb > **H** > Cu > Ag > Hg > Pt > Au

התגובה בחומצה מהולה	התגובה במים	התגובה חימום באוויר	סדר פעילות
מתפוצץ	תוסס, משחרר מימן, יוצר תמיסות בסיסיות	בוער חזק יוצר תחמוצות	אשלגן (K) נתרן (Na) ליתיום (Li) סידן (Ca)
תוסס ומשחרר מימן	מגיב עם קיטור, משחרר מימן, יוצר תחמוצות מתכתיות		מגנזיום (Mg) אלומיניום (Al) אבץ (Zn) ברזל (Fe)

פעילות של מתכות

Li > K > Sr > Ca > Na > Mg > Al > Zn > Cr > Fe > Cd > Co > Ni > Sn > Pb > **H** > **Cu** > **Ag** > **Hg** > **Pt** > **Au**

סדר פעילות	התגובה חימום באוויר	התגובה במים	התגובה בחומצה מהולה
אשלגן (K) נתרן (Na) ליתיום (Li) סידן (Ca)	בוער חזק יוצר תחמוצת	תוסס, משחרר מימן, יוצר תמיסות בסיסיות	מתפוצץ
מגנזיום (Mg) אלומיניום (Al) אבץ (Zn) ברזל (Fe)		מגיב עם קיטור, משחרר מימן, יוצר תחמוצות מתכתיות	תוסס ומשחרר מימן
בדיל (Sn) עופרת (Pb)	נוצרת שכבת תחמוצת, אין בעירה	תגובה קלושה עם קיטור,	תגובה איטית עם חומצה חמה
נחושת (Cu) כסף (Ag) זהב (Au) פלטינה (Pt)		אין תגובה עם מים או קיטור	אין תגובה

מימן בשורה האלקטרוכימית

מימן איננו מתכת אבל נהוג להשוות את יכולתו לשמש כמחזר שלו למתכות.

למעשה, מימן משמש כנקודת ייחוס:

מצידו האחד נמצאות מתכות פעילות ומצידו השני מתכות יציבות ("מתכות אצילות")



מתכות פעילות שעוברות חמצון
בקלות. מופיעות כתרכובות
בטבע



"מתכות אצילות" שאינן עוברות
חמצון בקלות (מחזרות לא טובות)
ולכן משמשות ליצירת כלים,
תכשיטים ומטבעות

כאמור, תהליך הקורוזיה הוא תהליך חמצון-חיזור של חומרים שונים, לרוב מתכות.

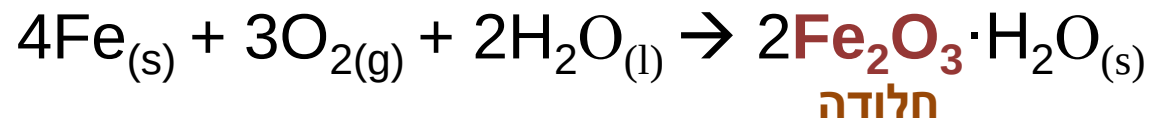
מתכות אשר להן נטייה גבוהה לעבור חימצון (מחזרות טובות) בשורה האלקטרוכימית - עוברות תהליכי קורוזיה:





חלודה – מגוון תחמוצות של ברזל
הנוצרות בתגובה של הברזל עם חמצן
ומים*.

לדוגמה:



השחרה של כלי כסף

היא תוצאה של תגובת חמצון-חיזור בין
כסף לבין תרכובות גופרית שונות שנמצאות
באוויר, למשל, SO_2 . התוצר הוא $\text{Ag}_2\text{S}_{(s)}$



*יצירת חלודה הינה תהליך רב שלבי הכולל מספר תגובות

פאטינה – תוצר שיתוך של נחושת, מופיע בשתי צורות

שצבעם **ירוק**. CuCO_3 - $\text{Cu}(\text{OH})_2$

שצבעם **כחול**. CuSO_4 - $\text{Cu}(\text{OH})_2$



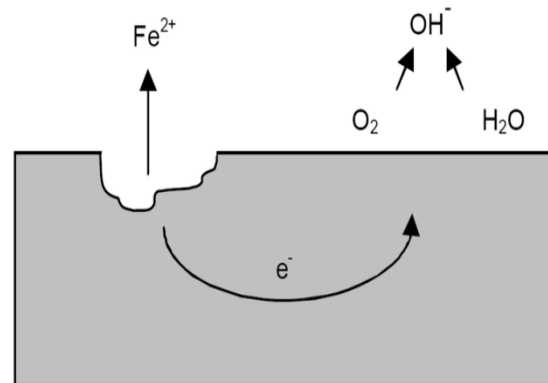
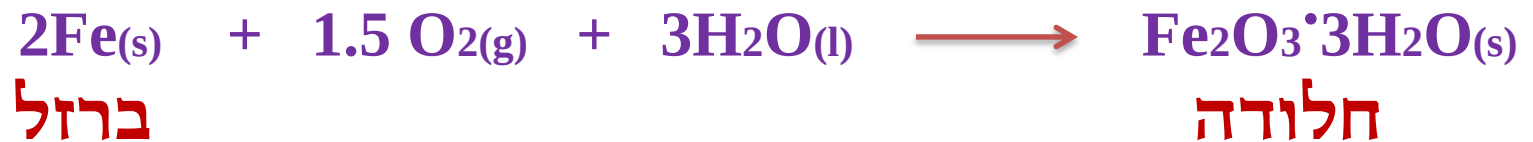


פסל החירות העומד בפתחו של נמל ניו-
יורק מאז שנת 1876 נבנה בצרפת וניתן
לארה"ב כמתנה לכבוד שנת ה- 100
לעצמאותה. הפסל בנוי מעמודי ברזל
ועליהם מעוצבת "גברת החירות" מלוחות
נחושת, Cu.

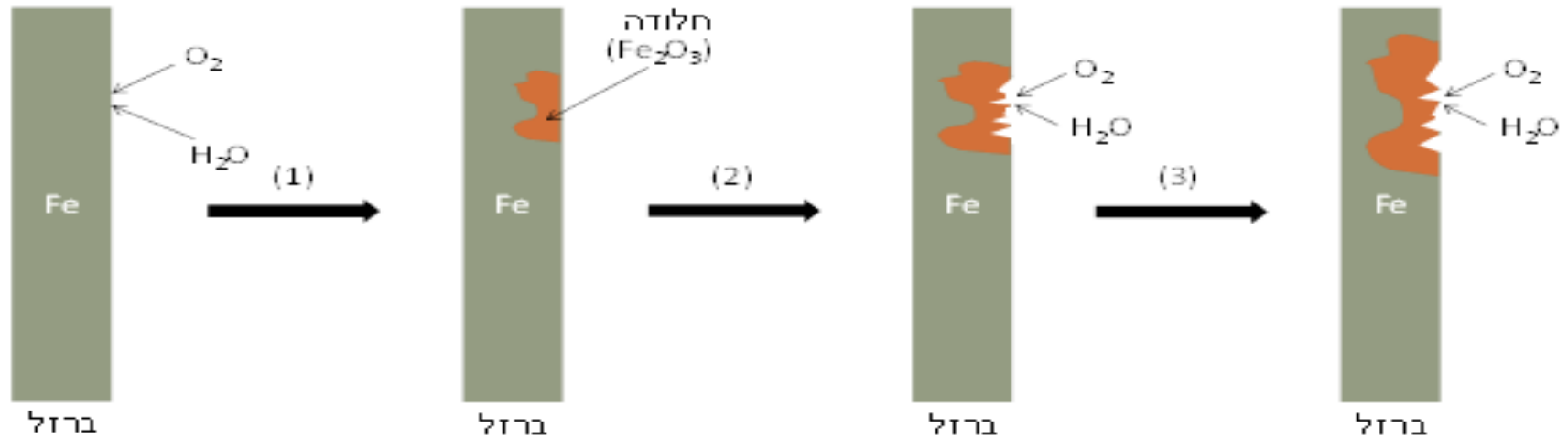
תהליכי קורוזיה פוגעים הן בלוחות הנחושת
והן בשלד הברזל. במשך 100 שנים אבדו
עמודי הברזל כמחצית ממשקלם המקורי
ולוחות הנחושת כוסו בפאטינה ירוקה .

ממיינים את המתכות שעוברות קורוזיה לשני סוגים עיקריים, על פי רוב, לפי אופי התוצר הנוצר:

1. מתכות שעוברות קורוזיה ותוצר הקורוזיה הנוצר הינו בעל **מבנה גבישי שונה** מהמתכת – דבר הגורם לתוצר הקורוזיה להתפורר והמתכת נחשפת לקורוזיה נוספת.
לדוגמה: ברזל:



החלדה של ברזל- צעד אחר צעד:



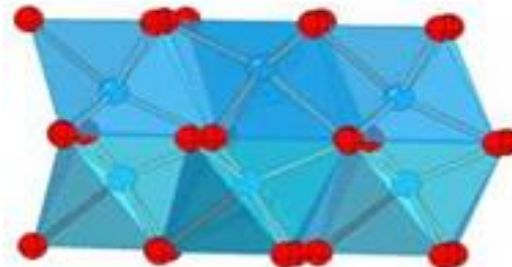
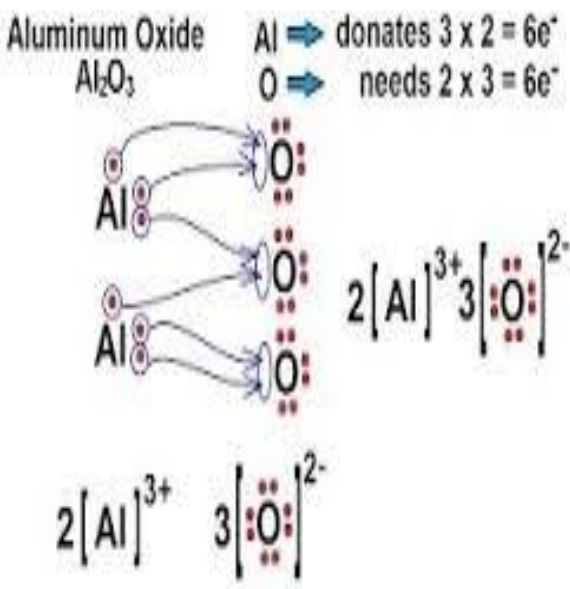
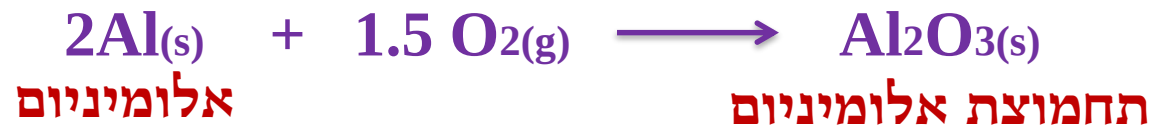
תהליך יצירת החלודה מורכב לפיכך משלושה שלבים עיקריים:

1. חמצן ומים מהאוויר מתחילים לחמצן את הברזל בפני השטח החשופים שלו ונוצרת חלודה Fe₂O₃.
2. החלודה הפריכה מתקלפת וחושפת את הברזל מתחתיה לחמצן ומים מהאוויר.
3. חמצן ומים מגיעים לאזורים החשופים, חלודה ממשיכה להיווצר ולהתפשט עד שכולו עבר חמצון.

[איור מאת ד"ר: רן טבעוני, אתר מכון דוידסון](#)

2. מתכות שעוברות קורוזיה אשר בעקבותיה נוצרת שכבת מגן. תוצר החמצון הנוצר הינו בעל **מבנה גבישי הדומה** למבנה הגבישי של המתכת. התוצאה: התוצר נדבק לשטח הפנים של המתכת ומונע (על ידי בידוד) חמצון נוסף.

לדוגמה: אלומיניום, כרום, טיטניום



המתכות: אלומיניום, כרום וטיטניום עוברות קורוזיה כזו בתגובה עם חמצן שבאוויר.

שתלים רפואיים
עשויים לרוב מטיטניום



עקב עמידות לקורוזיה,
אלומיניום משמש כחומר
עיקרי למסגרות חלונות

וגם לייצור פחיות שתייה

בתהליך קורוזיה של מסגרת
המשקפיים העשויות טיטניום
נוצרת שכבת הגנה (TiO_2)
המונעת המשך קורוזיה



גורמים המשפיעים על קורוזיה



ככל ששיעור החמצן והלחות
עולים כך יגדל קצב הקורוזיה

כמות החמצן

אחוזי לחות

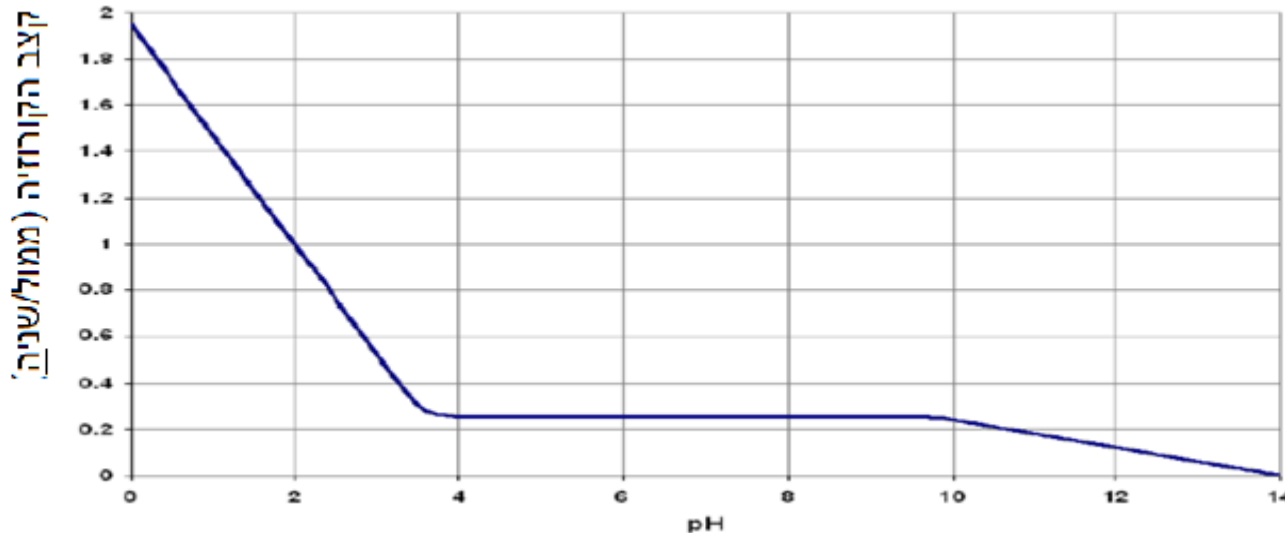
ככל שהטמפרטורה וריכוז היונים בתמיסה
יהיו גבוהים יותר כך יגדל קצב הקורוזיה

טמפרטורה

ריכוז יונים בתמיסה

pH חומציות

ככל שה-pH יהיה
נמוך יותר כך יגדל
קצב הקורוזיה



בידוד המתכת (צביעה) 

טיפול בסביבה (יובש, הקטנת ריכוז החמצן) 

הגנה קתודית (או הקרבה אנודית...) 



א. **בידוד המתכת מן הסביבה:** מצפים את המתכת בחומר המבודד אותה מהסביבה כך שלא מתאפשר מגע בין חמצן, אדי מים ותרכובות מחמצנות אחרות לבין שטח הפנים של המתכת



- צביעה
- ציפוי פלסטיק, קרמיקה, זפת...
- ציפוי במתכת אחרת, פחות פעילה (זהב, פלטינה)

ב. **טיפול בסביבה:** סילוק חמצן מהסביבה (מהאוויר או מסביבה מימית), ייבוש של האוויר יגרמו לירידה בקצב הקורוזיה



[יואב זיתון, ynet](http://ynet.com)

ריכוז החמצן בים המלח מאוד נמוך ולכן מטמון נשקים גרמני מימי מלחמת העולם הראשונה השתמר במי ים המלח במצב כמעט מושלם

ג. **הגנה קתודית:** מצפים/מצמידים למתכת שרוצים להגן אליה,

מתכת שהיא מחזרת טובה יותר. המתכת הפעילה יותר תעבור

חמצון (קורוזיה) במקום המתכת שעליה רוצים להגן.

בגופים גדולים יוצרים מעגל חשמלי שבו מתכת האבץ מחזרת

כתוצאה מתהליך חמצון ובאמצעות מעגל חשמלי

היא מקבלת אלקטרונים כך שהיא ממשיכה לספק

את ההגנה הדרושה.

שיטה זו נקראת לעיתים: הקרבה אנודית.



סר האמפרי דייווי
1778-1829 כימאי בריטי

ניסויים ראשונים בשימוש בהגנה קתודית נעשו על ידי סר האמפרי דייווי בשנת 1824.

לדוגמא הגנה על גוף האוניה העשוי ברזל על ידי ציפוי במגנזיום או אבץ. לחילופין, חיבור גוש ממתכת העוברת חמצון טוב יותר מאשר הברזל מתחת לגוף האוניה ובכך נמנעת החלדת הברזל.

מוטות אלומיניום אשר משמשים הגנה קתודית על שלד פלדה באסדת קידוח



[Chetan](#) | [Wikipedia](#) | [CC-by-SA 2.5](#)

פלטת אבץ המשמשת כהגנה קתודית בתחתית של סירה



[Rémi Kaupp](#) | [Wikimedia](#) | [CC-by-SA 3.0](#)

ד. **ציפוי במתכת פעילה:** ציפוי המתכת עליה רוצים להגן במתכת פעילה היוצרת שכבת הגנה.



ברזל מגולוון – ברזל מצופה באבץ.

האבץ מחזר טוב יותר ולכן עובר קורוזיה במקום הברזל. בנוסף תוצר הקורוזיה של אבץ (ZnO) אינו מתפורר אלא נדבק לפני שטח הברזל ויוצר שכבת הגנה המבודדת את הברזל מן הסביבה. אם נוצרת שריטה בציפוי נחשפת שכבת אבץ חדשה אשר תעבור חמצון לפני הברזל.



פלדת אל-חלד (נירוסטה) – סגסוגת של ברזל, פחמן והמתכות כרום וניקל. תוצרי החמצון של מתכות אלה יוצרים שכבה מבודדת על פני המתכת כמו למשל: $Cr_2O_{3(s)}$ המונעת מחמצן ומים להגיב עם הברזל בתהליכי קורוזיה. במידה והסיר נשרט - נוצרת שכבת בידוד חדשה במהירות, על ידי חימצון הכרום, שהוא מחזר טוב מהברזל.

הגנה בפני קורוזיה

הגנה קתודית המתבססת על השורה האלקטרוכימית

ציפוי המתכת במתכת שיוצרת שכבת הגנה בתהליך הקורוזיה שלה.

חיבור המתכת למתכת מחזרת טובה יותר על פי השורה האלקטרוכימית (אבץ, מגנזיום, אלומיניום)

גלוון (איבוק)
ציפוי הברזל באבץ.
האבץ עובר תהליך קורוזיה נוצרת שכבה מגנה אם תחשף שכבה זו ייחשף אבץ לחמצון נוסף הברזל לא ייחשף לקורוזיה

המתכת הנוספת עוברת חמצון במקום המתכת עליה רוצים להגן

טיפול בסביבה

סילוק חמצן
ייבוש האוויר
שימוש במעכבי חמצון
הקטנת ריכוז החמצן במים (ים המלח)

האמת קצב הקורוזיה

בידוד המתכת מהסביבה

ציפוי המתכת בשכבה דקה של חומר מבודד (זפת, צבע, קרמיקה, חומרים פולימרים)

אין מגע בין המתכת למים ו/או לאוויר

מניעת קורוזיה

ניתן למנוע מהמתכת אבץ $Zn(s)$ לעבור חימצון על ידי:

- א. ציפוי האבץ בחוט פלסטיק
- ב. צביעת האבץ בצבע מבודד מהסביבה
- ג. ציפוי בזפת
- ד. כל האפשרויות טובות כדי למנוע התחמצנות של האבץ

ניתן למנוע מהמתכת אבץ $Zn(s)$ לעבור חימצון על ידי:

א. ציפוי האבץ בחוט פלסטיק

ב. צביעת האבץ בצבע מבודד מהסביבה

ג. ציפוי בזפת

ד. כל האפשרויות טובות כדי למנוע התחמצנות של האבץ

ברזל מגלון הוא ברזל המצופה באבץ, $Zn_{(s)}$. האבץ עובר חמצון ונוצרת שכבת הגנה (פסיבציה) על הברזל. הוא משמש כהקרבה אנודית לברזל.

מהנתונים ניתן להסיק שההיגד הנכון הוא :

- א. ברזל הוא מחזר חזק יותר לעומת האבץ.
- ב. ברזל הוא מחזר חלש יותר לעומת האבץ.
- ג. במהלך הקורוזיה האבץ מתפורר.
- ד. לשכבת ההגנה הנוצרת על האבץ, מוליכות חשמלית גבוהה במצב המוצק.

ברזל מגלון הוא ברזל המצופה באבץ, $Zn_{(s)}$. האבץ עובר חמצון ונוצרת שכבת הגנה (פסיבציה) על הברזל. הוא משמש כהקרבה אנודית לברזל.

מהנתונים ניתן להסיק שההיגד הנכון הוא :

א. ברזל הוא מחזר חזק יותר לעומת האבץ.

ב. ברזל הוא מחזר חלש יותר לעומת האבץ.

ג. במהלך הקורוזיה האבץ מתפורר.

ד. לשכבת ההגנה הנוצרת על האבץ, מוליכות חשמלית גבוהה

במצב המוצק.

תחמוצת ברזל, $\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)}$, היא המרכיב העיקרי של חלודה.
 החלודה, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_{(s)}$, היא תוצר של תהליך הקורוזיה של ברזל, $\text{Fe}_{(s)}$.
 החלודה נוצרת בתהליך חמצון-חיזור שבו הברזל מגיב עם חמצן ומים,
 על פי תגובה



א. קבעו עבור כל אחד מההיגדים האם הוא נכון או לא נכון. נמקו
 א. דרגת החמצון של ברזל בתחמוצת Fe_2O_3 היא (+6).

ב. לא נכון

א. נכון

תחמוצת ברזל, $\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)}$, היא המרכיב העיקרי של חלודה.
 החלודה, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_{(s)}$, היא תוצר של תהליך הקורוזיה של ברזל, $\text{Fe}_{(s)}$.
 החלודה נוצרת בתהליך חמצון-חיזור שבו הברזל מגיב עם חמצן ומים,
 על פי תגובה



א. קבעו עבור כל אחד מההיגדים האם הוא נכון או לא נכון. נמקו
 א. דרגת החמצון של ברזל בתחמוצת Fe_2O_3 היא (+6).

לא נכון – ליוני החמצן ד"ח (-2) ולפיכך ד"ח של הברזל (+3)

תחמוצת ברזל, $\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)}$, היא המרכיב העיקרי של חלודה.
 החלודה, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_{(s)}$, היא תוצר של תהליך הקורוזיה של ברזל, $\text{Fe}_{(s)}$.

החלודה נוצרת בתהליך חמצון-חיזור שבו הברזל מגיב עם חמצן ומים,
 על פי תגובה



א. קבעו עבור כל אחד מההיגדים האם הוא נכון או לא נכון. נמקו

ו. בתגובה ברזל עובר חמצון

א. נכון

ב. לא נכון

תחמוצת ברזל, $\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)}$, היא המרכיב העיקרי של חלודה.
 החלודה, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_{(s)}$, היא תוצר של תהליך הקורוזיה של ברזל, $\text{Fe}_{(s)}$.
 החלודה נוצרת בתהליך חמצון-חיזור שבו הברזל מגיב עם חמצן ומים,
 על פי תגובה



א. קבעו עבור כל אחד מההיגדים האם הוא נכון או לא נכון. נמקו
 ||. בתגובה ברזל עובר חמצון

נכון – בתגובה הברזל מאבד אלקטרונים (ד"ח עולה מ(0)
 ל(+3)) כל הברזל מחזר ועובר חימצון.

תחמוצת ברזל, $\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)}$, היא המרכיב העיקרי של חלודה.
 החלודה, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_{(s)}$, היא תוצר של תהליך הקורוזיה של ברזל, $\text{Fe}_{(s)}$.

החלודה נוצרת בתהליך חמצון-חיזור שבו הברזל מגיב עם חמצן ומים,
 על פי תגובה



ב. טבלו לוחיות ברזל בשני כלים.

כלי 1 הכיל שמן

כלי 2 הכיל מי ברז

לאחר כמה שעות הופיעו כתמי חלודה על אחת משתי הלוחיות.

באיזה כלי הופיעו כתמי החלודה?

ב. כלי 2

א. כלי 1

תחמוצת ברזל, $\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)}$, היא המרכיב העיקרי של חלודה.

החלודה, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_{(s)}$, היא תוצר של תהליך הקורוזיה של ברזל, $\text{Fe}_{(s)}$.

החלודה נוצרת בתהליך חמצון-חיזור שבו הברזל מגיב עם חמצן ומים,



ב. טבלו לוחיות ברזל בשני כלים.

כלי 1 הכיל שמן

כלי 2 הכיל מי ברז

לאחר כמה שעות הופיעו כתמי חלודה על אחת משתי הלוחיות.

באיזה כלי הופיעו כתמי החלודה. נמק.

בכלי 2 לוחית הברזל טבולה במי ברז. המים הם מגיב בתהליך הקורוזיה.

תחמוצת ברזל, $\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)}$, היא המרכיב העיקרי של חלודה.
 החלודה, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_{(s)}$, היא תוצר של תהליך הקורוזיה של ברזל, $\text{Fe}_{(s)}$.

החלודה נוצרת בתהליך חמצון-חיזור שבו הברזל מגיב עם חמצן ומים,



ג. טבלו לוחיות ברזל בשני כלים.

כלי 1 הכיל מי ברז שלתוכם הוזרם חמצן $\text{O}_{2(g)}$

כלי 2 הכיל מי ברז שלתוכם הוזרם פד"ח $\text{CO}_{2(g)}$

לאחר כמה שעות הופיעו כתמי חלודה על אחת משתי הלוחיות.

באיזה כלי הופיעו כתמי החלודה?

ב. כלי 2

א. כלי 1

תחמוצת ברזל, $\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)}$, היא המרכיב העיקרי של חלודה.
 החלודה, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_{(s)}$, היא תוצר של תהליך הקורוזיה של ברזל, $\text{Fe}_{(s)}$.

החלודה נוצרת בתהליך חמצון-חיזור שבו הברזל מגיב עם חמצן ומים,



ג. טבלו לוחיות ברזל בשני כלים.

כלי 1 הכיל מי ברז שלתוכם הוזרם חמצן $\text{O}_{2(g)}$

כלי 2 הכיל מי ברז שלתוכם הוזרם פד"ח $\text{CO}_{2(g)}$

לאחר כמה שעות הופיעו כתמי חלודה על אחת משתי הלוחיות.

באיזה כלי הופיעו כתמי החלודה?

בכלי 1 מזרימים חמצן שהוא מגיב בתהליך הקורוזיה.

ד. בימינו מגנים על הברזל מפני קורוזיה בשיטות שונות. כדי להגן על צינור ברזל מפני קורוזיה מחברים אליו לוח עשוי מתכת אחרת. לפניך נוסחאות של שלוש מתכות המדורגות על פי הכושר היחסי של המתכת לחזר:



באיזו מתכת - אבץ, $\text{Zn}_{(s)}$, או נחושת, $\text{Cu}_{(s)}$ - יש להשתמש כדי להגן על צינור הברזל מפני קורוזיה? נמק.

ב. נחושת Cu

א. אבץ Zn

ד. בימינו מגנים על הברזל מפני קורוזיה בשיטות שונות. כדי להגן על צינור ברזל מפני קורוזיה מחברים אליו לוח עשוי מתכת אחרת. לפניך נוסחאות של שלוש מתכות המדורגות על פי הכושר היחסי של המתכת לחזר:



באיזו מתכת - אבץ, $\text{Zn}_{(s)}$, או נחושת, $\text{Cu}_{(s)}$ - יש להשתמש כדי להגן על צינור הברזל מפני קורוזיה? נמק.

יש להשתמש בלוח אבץ.

אבץ הוא מחזר טוב מברזל, ולכן האבץ יעבור חמצון במקום הברזל וכך האבץ משמש כהגנה קתודית לצינור הברזל.

חומר חדש שמשתלב
במבנה המתכת



חומר חדש שלא משתלב
במבנה המתכת ומתפורר



יוצרת

קורוזיה

הגנה מקורוזיה על ידי

הגנה קתודית
(הקרבה אנודית)



בידוד מהסביבה



טיפול בסביבה

נזכרנו בשורה האלקטרוכימית 

למדנו מהי קורוזיה 

הכרנו את הגורמים המשפיעים על קורוזיה 

ראינו כיצד ניתן להגן על מתכות מפני קורוזיה 