



חידה בלשית "שרלוק הולמס בעקבות האופנוע הפריך"

נועה קריגר ואינגה משולם
העברה לשדה החינוכי קורס "חומרים ופני שטח"
בהנחיית ד"ר רון בלונדר

קישור לחומר בקורס:
אפקט חדירה של אטומים לסריגים, נקעים וזיהומים בחומר.

היה זה בוקר סגרירי כשהטלפון צלצל בביתו של שרלוק הולמס. מצידו השני של הקו היה חברו פיליפ, מהסקוטלנד יארד "צר לי להפריע לך בשעת בוקר מוקדמת זו אך אני צריך את עזרתך בפתרון תעלומה." "כולי אוזן" ענה הולמס. "ובכן, לפנות בוקר נמצא בחור מחוסר הכרה בצד הדרך. לאחר שפונה לבית החולים חזרה הכרתו, אך הוא טען בעקביות ונחישות שרכב על אופנועו ומאז אינו זוכר מה ארע".



"פיליפ, האם אוכל לשוחח עם הבחור?
ברצוני להציג בפניו מספר שאלות."
"כמובן, אין כל בעיה".

"האם אתה יכול לתאר לי את האופנוע עליו רכבת ולספר לי כל פרט על מהלך הנסיעה שלך? " ביקש הולמס.
"זה מוזר מאוד שלא מצאו את האופנוע בסביבה, זהו אופנוע חדיש שרכשתי רק לפני מספר ימים, שלדת האופנוע מורכבת ברובה מפלדה, הוא בעל תא דלק המבוסס על גז וכפי שהוסבר לי תוצרי שריפת הדלק שלו אינם מזהמים את הסביבה" תיאר הבחור.
שרלוק הולמס חייך ונראה היה שמצא את הפתרון לתעלומה.
"אני צריך לגשת למעבדה שלי לערוך מספר ניסויים, נעדכן אותך בהמשך".

מהו פתרון התעלומה?

- לאן נעלם האופנוע?
- מה הקשר בין מבנה האופנוע לסיפור של הבחור?
- האם הבחור דובר אמת?

לפתרון התעלומה ניתן להיעזר ברמזים הבאים:



תמונה 1: צינור פלדה מפורק

רמז 1: המשטרה לא מצאה שום אופנוע בסביבת האירוע חוץ מחלקי מתכת במצב מפורר.

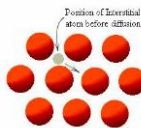
רמז 2: כאמור האופנוע היה עשוי מפלדה חזקה. האופנוע היה חדיש עם תא דלק "סביבתי" המכיל גז מימן.

רמז 3: סרטון

<http://www.youtube.com/watch?v=M-9X7QWjkg>

רמז 4: דף מידע לתלמיד

פריכות מימנית - Hydrogen embrittlement, הוא תהליך שבו מתכות שונות, (בעיקר פלדה בעלת חוזק גבוהה) הופכות לפריכות ושבריות כאשר הן נחשפות למימן. המנגנון מתחיל עם חדירת אטומי מימן בודדים דרך המתכת. כאשר אטומי מימן חודרים לחללים הזעירים בסריג המתכתי, כדי ליצור מולקולות מימן, הם יוצרים לחץ בתוך החללים הפנימיים וגורמים לניפוח המתכת, ישנה ירידה ברמת הגבישיות וחוזק מתיחה עד לנקודה שבה נוצרים סדקים פתוחים. סגסוגת של פלדה נמוכה, ניקל, ברזל וסגסוגות טיטניום הם הרגישים ביותר. בדיקות הראו כי פלדות אל חלד אלומיניום (כולל סגסוגות), נחושת (לרבות סגסוגות, למשל בריליום נחושת) ופלטינה אינם רגישים לפריכות מימנית. פריכות מימנית יכולה להתרחש במהלך תהליכי הייצור השונים של מתכות וסגסוגות או בתהליכים שבהם המתכת באה במגע עם מימן אטומי או מולקולארי.



חלל חדירה (Interstitial void):

חלל מובנה שמתקבל במרחב הפנימי של המבנה הגבישי כתוצאה מהעובדה שהאריזה של האטומים איננה ממלאת בצורה מושלמת את כל המרחב. החשיבות של חללים אלו נוגעת לאפשרויות של אטומי המומס להתמקם ולנוע במרחב הסריגי של הממס ובכך להשפיע על התכונות הפיזיקליות

לדוגמא: להמסה של אטומי פחמן בעלי רדיוס של 0.7 \AA (וכן להמסה של אטומי מימן חמצן וחנקן) באתרי החדירה של הסריג המתכתי של אטומי ברזל ברדיוס של

1.24 \AA יש השפעה מכרעת על התכונות המכניות.

! הערה: כיום לא משתמשים בדלק מימני בכלי תחבורה בשל היותו דליק ונפיץ, במעבורות חלל שצריכות להגיע לטמפרטורות גבוהות, משתמשים בדלק מימני ומשום כך הן עשויות מפלטינה- מתכת עמידה למימן.
טיפים למורה:

מיפוי הנושאים המתאימים בתוכנית הלימודים:

היבט כימי:

- מבנה וקישור של מתכות.
- השפעת מבנה על תכונות החומר.
- קורוזיה של מתכות.

היבט חברתי/ סביבתי:

- השפעת חומרים שונים על חוזק חומרים ושימושיהם השונים ל: בניין, פיסול, כלי מטבח ועוד.

מטרת הפעילות ההוראתית:

- תרגול קריאת מאמר מדעי ושימוש במיומנויות שונות נלוות לקריאת מאמר המהוות סיכום והעשרה.
- רלוונטיות לחיי התלמיד.
- העשרה בנושאים שאינם בתוכנית הלימודים.

מיפוי ידע מוקדם הנדרש לתלמידים:

- הכרת מבנה ותכונות של מתכות.
- סגסוגות.
- קורוזיה.(בעיקר למאמר המורחב).

*** אוכלוסיית התלמידים:**

- חידה +שאלות כתה י'
- מאמר מדעי י"א –י"ב

קטע מידע מורחב:

פריכות מימנית - Hydrogen embrittlement, הוא תהליך שבו מתכות שונות, (בעיקר פלדה בעלת חוזק גבוהה) הופכות לפריכות ושבריות כאשר הן נחשפות למימן. המנגנון מתחיל עם חדירת אטומי מימן בודדים דרך המתכת. כאשר אטומי מימן חודרים לחללים הזעירים בסריג המתכתי כדי ליצור מולקולות מימן, הם יוצרים לחץ בתוך החללים הפנימיים וגורמים לניפוח המתכת, ישנה ירידה במשיכות וחוזק מתיחה עד לנקודה שבה נוצרים סדקים פתוחים. (כפי שניתן לראות באיורים 3 ו-5) סגסוגת של פלדה נמוכה, ניקל וסגסוגות טיטניום הם הרגישים ביותר. בדיקות הראו כי פלדות אל חלד אלומיניום (כולל סגסוגות), נחושת (לרבות סגסוגות, למשל בריליום נחושת) פלטינה אינם רגישים לפריכות מימנית (בחלל בשל הטמפרטורות הגבוהות בעיקר בזמן ההמראה והנחיתה משתמשים במעבורות בדלק מימני ולכן הן עשויות מפלטינה). פריכות מימנית יכולה להתרחש במהלך תהליכי הייצור השונים של מתכות וסגסוגות או בתהליכים שבהם המתכת באה במגע עם מימן אטומי או מולקולארי (כמו בתהליכים של הגנה קתודית, ריתוך ואלקטרוליזה). במידה והמתכת עדיין לא התחילה להיסדק, המצב יכול להיות הפיך על ידי הסרת מקור המימן וגורמים המנטרלים מימן החוצה מתוך המתכת, כנראה בטמפרטורות גבוהות.

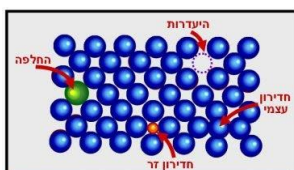
במקרה של ריתוך, בדרך כלל לפני ואחרי חימום המתכת, מנטרלים את המימן לפני שיוכל לגרום נזק כלשהו. זה נעשה באופן ספציפי, כגון כרום עם פלדות שהן בעלות חוזק גבוהה, סגסוגות מוליבדנום וונדיום. במידה והפלדה חשופה למימן בטמפרטורות גבוהות, מימן יהיה מפוזר לתוך הנתך להתרכבות עם פחמן ליצירת כיסים זעירים של מתאן על משטחים פנימיים בחללים. מתאן זה אינו מפוזר מתוך המתכת, ואוסף של חללים בלחץ גבוה גורם לסדקים בפלדה. תהליך זה ידוע בשם התקפת מימן המוביל לדקרבוקסילציה הגורם לפלדה לאבד את חוזקה. (איור 4) סגסוגות נחושת המכילות חמצן הופכות לפריכות במידה ונחשפו למימן לוהט. מימן מתפזר דרך הנחושת ומגיב עם תחמוצות של Cu_2O ליצירת H_2O (מים), היוצרים בועות לחץ על גבולות גרעינים (גרעינים: אזורי התמצקות עם כיוונים שונים בגביש). ולתהליך התרחקות של הגרעינים זה מזה. תהליך זה ידוע גם בשם- פריכות אדים (בגלל האדים המיוצרים ולא מפני חשיפה לאדים). ישנם שני סטנדרטים לבדיקות פריכות בשל גז מימן. 1. בדיקה לקביעת הרגישות של מתכות לפריכות בסביבה של מימן בלחץ גבוה, בטמפרטורה גבוהה, או שניהם. 2. בדיקה כמותית לסף פריכות בלחץ מימן למחשבים בציפויים מתכתיים ולפלדה על ידי טכניקה של עומס יתר.

שימוש במימן כמקור לדלק בכלי תחבורה.

- בפועל בגלל הראקטיביות שתוארה של גז מימן. כלי תחבורה אינם מכילים בתא הדלק מימן מולקולרי אלא בטכנולוגיה מורכבת יותר בהן מעורבות שורה של תגובות שבהן נוצר מימן המשמש מיידיית כדלק.
- כלי תחבורה שבהן יש שימוש בדלק מימני הן מעבורות החלל כפי שהוזכר כנ"ל.

סוגי פגמים נקודתיים בסריג גבישי

הערה! ממחיש מהי חדירה ומראה פגמים נוספים להרחבה למורה

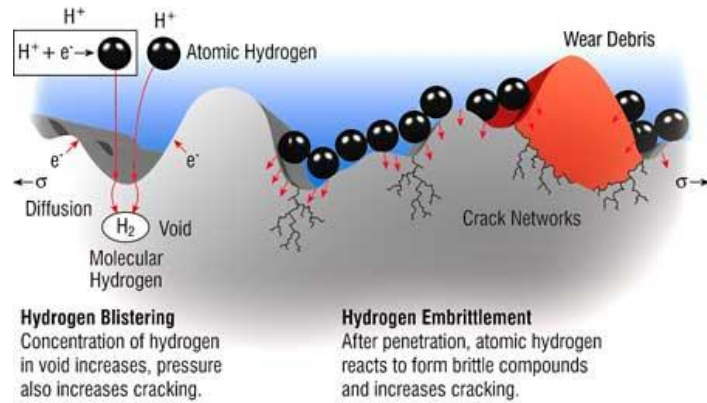


סוגי פגמים נקודתיים בסריג גבישי: היעדרות, חריץ עצמי, חריץ זר והחלפה (עם אטום זר).
2007 Dr. Dana Ashkenazi

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וכלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

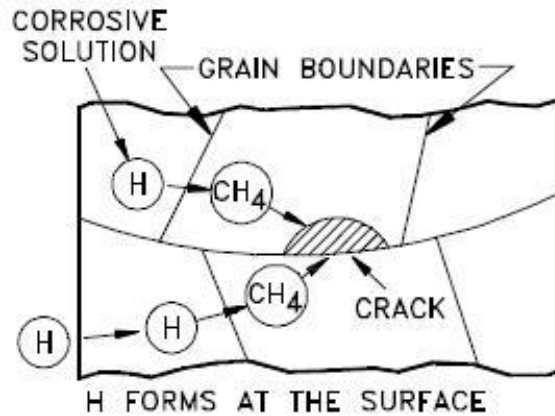
איור 2: סוגי פגמים נקודתיים

- כאשר מתכת נמצאת בסביבת מימן או מולקולרי אוטומרי או מולקולרי אוטומי המימן מבצעים חדירה בין אוטומי המתכת ומפוררים את המבנה הגבישי האופייני למתכת.



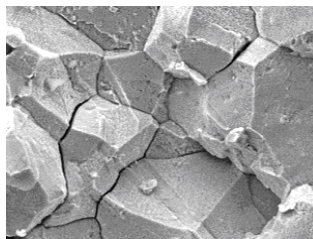
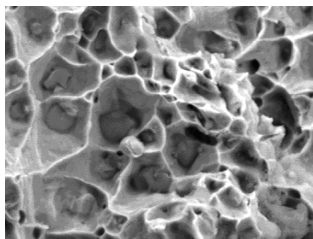
איור 3: פריכות מימנית

דקרבוקסילציה של פלדה



איור 4: פריכות מימנית של פלדה

עוות פלסטי בפלדה כתוצאה מפריכות מימנית

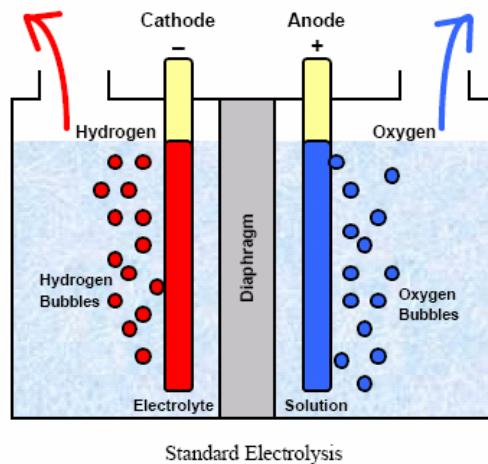


קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

איור 5: SEM - scanning electron microscopy

ניסוי "פריכות מימנית"

אלקטרוליזה לתמיסת KOH בריכוז 10%-15% (עוצמת זרם 10 mA)
אלקטרודת עופרת Pb באנודה וקפיץ ברזל Fe בקתודה.



איור 6: אלקטרוליזה סטנדרטית

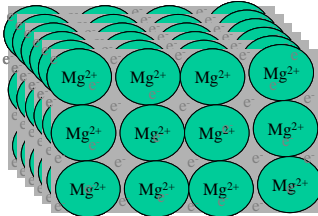
**ניתן לראות שמשחרר גז מימן בתהליך האלקטרוליטי
החודר לברזל וגורם להתנפחות והתפוררות הקפיץ.**

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

דף עבודה לתלמיד המלווה את החידה:

1. במהלך לימודך למדת על קורוזיה של מתכות בעיקר החלדה של ברזל לקבלת Fe_2O_3 . על פי קטע המידע על "פריכות מימנית" הסבר את ההבדל בין שני התהליכים: קורוזיה ופריכות מימנית.

2. תלמיד ביצע סדרת ניסויים לבדיקת פריכות של קפיץ ברזל Fe ע"י הזרמת גזים שונים (מימן H_2 , חנקן N_2 , פחמן דו חמצני CO_2 ואמוניה NH_3). הגז שגרם לברזל להתפורר במהירות, תוך 20 דקות היה גז מימן. הצע השערה שתוכל להסביר תופעה זו.



3. לפניך מודל של סריג המתכת מגנזיום. במידה ונתון לך שהמגנזיום עובר בנוכחות מימן "פריכות מימנית" הסבר ברמה במיקרוסקופית את השינוי שחל.

4. בעקבות פתרון התעלומה מפעל לייצור אופנועים מחפש חלקי חילוף לאופנוע העשויים מחומרים יעילים יותר. אלו חומרים תציע לו (יש לקחת בחשבון גם עלויות). נמק.

5. במעבורות החלל משתמשים בדלק מימני מאחר והן מגיעות לטמפרטורות גבוהות במהלך הזינוק והטיסה. חלקי המעבורת עשויים פלטינה אף על פי שמתכת זו יקרה מאד. הסבר.

פעילות נוספת לתלמידים:

- ❖ שלב א - תלמידי הכיתה קוראים את קטע המידע המורחב ומכינים תקציר.
- ❖ שלב ב - התלמידים עונים על השאלות המצורפות לקטע. ניתן להשתמש בשאלות הנוספות בהמשך.
- ❖ שלב ג - כל תלמיד כותב דעה אישית לגבי קטע המידע. האם עניין אותך? מה חידש לך? האם היית ממליץ לעיין בקטע מידע?
- ❖ שלב ד - הערכת התלמידים על פי מחוון.

שאלות נוספות

1. הסבר מהו תהליך דקרבוקסילציה של פלדה?
2. סגסוגות נחושת המכילות חמצן הופכות לפריכות במידה ונחשפו למימן לוחט. מימן מתפזר דרך נחושת ומגיב עם תחמוצות של Cu_2O ליצירת מים ונחושת. נסח את התהליך המתרחש.

רפלקציה:

הנושא של חדירת אטומים לסריג אינו מופיע בתוכנית הלימודים. בכל זאת נראה לנו שאפשר להביאו כהעשרה לתלמידי תיכון. כדי להתאים לתלמידי תיכון, השתמשנו בתבנית של חידה בלשית והכנסנו גיבור ידוע – שרלוק הלמוס המוכר לתלמידים. כמו כן הבאנו דוגמאות המוכרות לתלמידים מחיי היומיום. באפשרויות ההרחבה והמטלות הבאנו דוגמאות וקונוטציות מתוכנית הלימודים. וכן השתדלנו ללוות את הסבירנו בתרשימים ואיורים, אנימציות וסרטון המפשטים ומסבירים את התופעה.

קשיים שנתקלנו במהלך העבודה היו מלבד ההתאמה לתלמידים גם העובדה שהתופעה נושקת ומוסברת על ידי תופעות נוספות שבתחילה לא רצינו להיכנס אליהם. מה גם שעובדה זו מגבילה אותנו מבחינת קהל היעד / גיל התלמידים. הפתרון שמצאנו לכך היה הסבר והתאמת המטלות בשתי רמות. רמה בסיסית : בה הסברנו את התופעה באופן פשוטני והתלמיד נדרש רק לפתור את החידה הבלשית. מתאים לתלמידים בכתה י'.

רמה מורחבת: בה הרחבנו את ההסבר לתהליכים ותופעות צמודים וכן הוספנו הרחבנו וגיוונו את המטלות. מתאים לתלמידי מגמה -"ב.

אנו חושבות ומקוות שבסופו של דבר יצא דבר מתוקן תחת ידינו שיועיל ויגוון את הוראת הכימיה.

בפרק טיפים למורה הבאנו את ההקשר לתוכנית הלימודים והראנו כיצד לשלב את החידה בתוכנית הלימודים.

בפתרון החידה התלמיד נעזר ברמזים מדורגים, התלבטנו עד כמה לתת מקום לחשיבה המקורית והיצירתית של התלמיד מחד ועד כמה להתחשב מאידך, בעובדה שכדי לפתור את התעלומה הוא צריך להשתמש בידע שלא פגש מעולם.

הפשרה שמצאנו לכך – נתינת רמזים באופן מדורג. המורה יכול להחליט שבין שלב לשלב לתת לתלמידים לבטא מה הם חושבים שהפתרון. (בע"פ או בכתב).

בכל אופן לדעתנו גם לאחר שהתלמיד מקבל את קטע המידע, נשאר לו להתמודד עם קטע מדעי חדש וליישמו על החידה הבלשית. אם הבאנו אותו לכך וגרמנו לו להתעניין

בכך –דיינו!

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורים למתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת, ובכלל זה: שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או חלק ממנו.

מקורות:

1. פרופ' איגור לובומירסקי . קורס "חומרים ופני שטח". מכון ויצמן למדע 2010.
2. <http://www.abovetopsecret.com/forum/thread363093/pg14>
3. <http://www.youtube.com/watch?v=M-9X7QWjkcg>
4. <http://www.corrosion-doctors.org/Forms-HIC/embrittlement.htm>
5. http://gperinic.web.cern.ch/gperinic/kryokurs/EN/kryok_21.htm תמונה 1
6. דנה אשכנזי, "חקר כישלונות חומרים – האם ניתן היה למנוע את אסונות הטיטאניק והצ'לנג'ר?" גליליאו – כתב עת למדע ולמחשבה, גיליון 103, מרץ 2007, עמודים 20-34. איור 2
7. <http://www.machinerylubrication.com/Read/573/moisture-contamination-targets> איור 3
8. http://www.corrosionist.com/hydrogen_embrittlement_stainless_steels.htm איור 4
9. <http://www.mtalabs.com/SEM.html> איור 5
10. <http://viewzone2.com/verichipx.html> איור 6