

בדיקות על-ידי צבעים חודרים וחלקיקים מגנטיים לאיתור פגמים הפתוחים אל פני השטח

ירון רוזנברג



בדיקת צבעים חודרים היא שיטה הנמצאת בשימוש על-מנת לגלות נזקים השוברים את פני המשטח (סדקים הפתוחים אל פני המשטח). הטכניקה מבוססת על יכולתו של נוזל לחדור לסדק בעקבות כוח הנימיות (משיכה קפילארית). בבדיקה משתמשים בצבע המנוגד לפני השטח או בצבע זוהר, צבעים המבליטים את הנראות של הסדק.

איתור סדקים ע"י חומר חודר מבוצע בערך מאמצע המאה ה-19. אז השתמשו בפחם או בחימר מזוגג לאיתור סדקים בברזל. אח"כ עברו לשימוש בתערובת של דלקים כחומר חודר. לאחר שניקו את העודפים יישמו גיר מעורבב באלכוהול ל"הלבנת" המשטח והצגת הסדקים.



בשנות ה-40 של המאה ה-20 החלו בשימוש בבדיקת חלקיקים מגנטיים בבדיקת משטחים עשויים מחומרים פרו-מגנטיים.

בעזרת צבעים חודרים ניתן לאתר סדקים בחומרים רבים, מתכות ואל-מתכות, מגנטיים ולא-מגנטיים, מוליכים ולא מוליכים:

□ מתכות (אלומיניום, נחושת, פלדה, טיטניום ועוד)

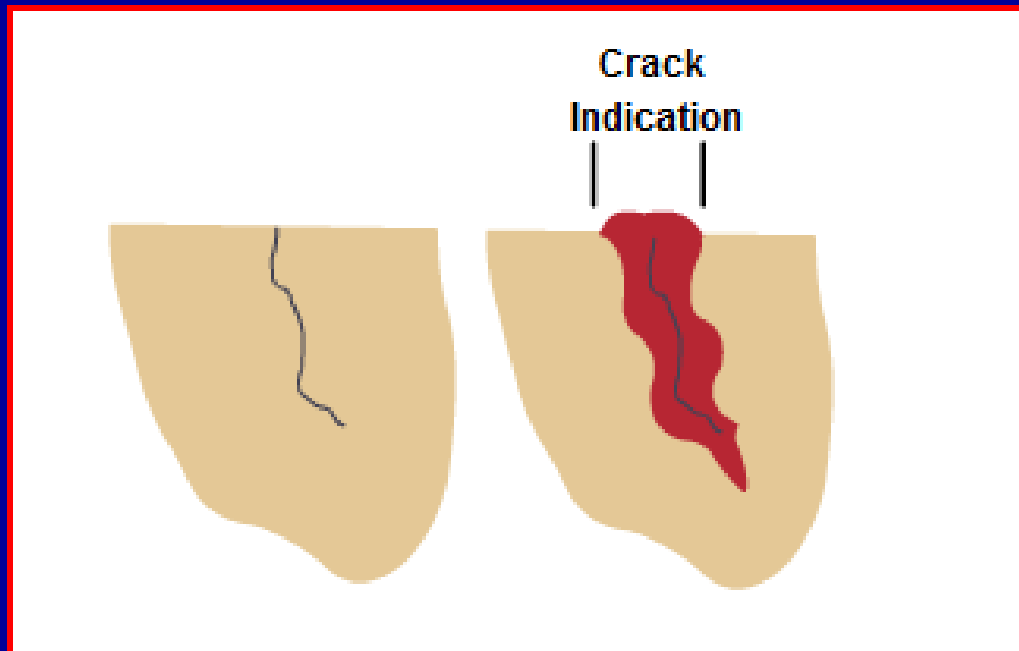
□ זכוכית

□ סוגים שונים של

חומרים קרמיים

□ גומי

□ פלסטיק



תהליך ביצוע הבדיקה: 1- ניקוי

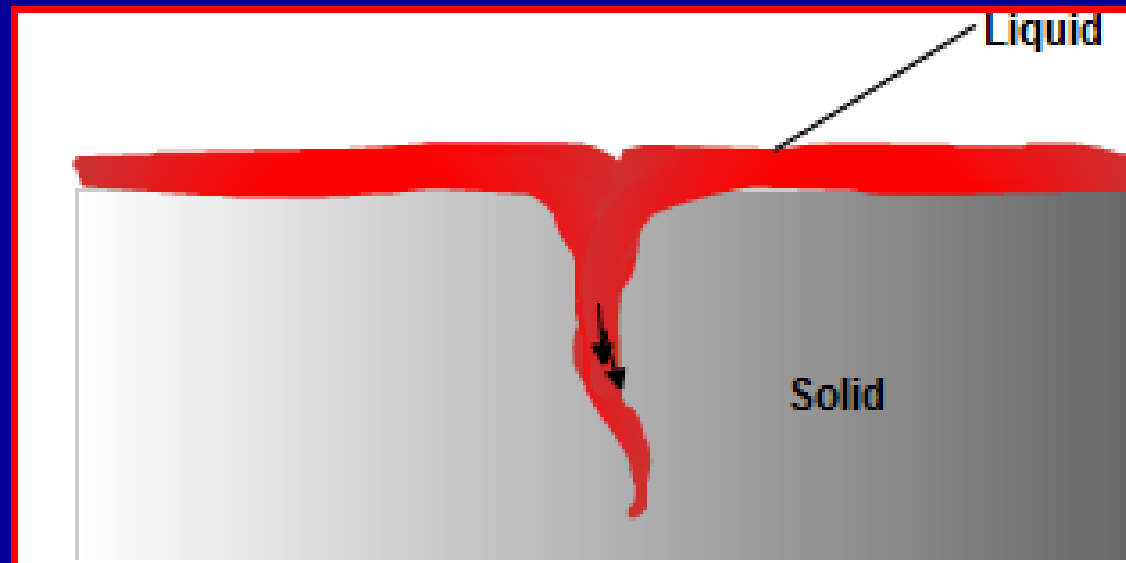
ניקוי המשטח הנבדק וייבושו. המשטח חייב להיות נקי מכל חומר שומני שהוא או מים או כל חומר אחר שיכול למנוע מהחומר החודר לחדור לסדקים. ניקוי החלק הנבדק משמנים, לכלוך וכדומה, ובעיקר הסרת ציפויים וצבעים.

- הניקוי חייב להתבצע באמצעים ידניים או כימיים שלא פוגמים בחלק למשל: אין לבצע שיוף של החלק הנבדק לצורך ניקוי משיתוך).
- פגיעות מכאניות בחלק יוצגו בעת הבדיקה כפגם (חיווי שווא), או יסתירו פגמים אמיתיים.
- יש לבצע צריבה למתכות שעברו עיבוד שבבי או נפגעו מכאנית.

תהליך ביצוע הבדיקה: 2- יישום, 3- המתנה

יישום הצבע החודר: על-ידי הברשה, ריסוס או טבילה בחומר. צורת היישום מתחלקת גם לשיטה יבשה (שבה לא מבוצעת שטיפה של החלק לאחר יישום הנוזל) ושיטה רטובה (שבה נשטף הנוזל החודר כשלב מקדים ליישום המפתח).

המתנה: הצבע החודר מושאר זמן מסוים כדי לאפשר לנוזל לחדור לתוך אי הרציפויות שבחומר. זמן ההמתנה נע בין 5-60 דקות, לפי האפליקציה, סוג הצבע החודר, צורת המשטח וסוג הסדקים אותם מחפשים.



זמן ההמתנה

MINIMUM PENETRANT DWELL TIMES FOR DEFECTS IN TITANIUM AS DETERMINED BY LORD AND HOLLOWAY.

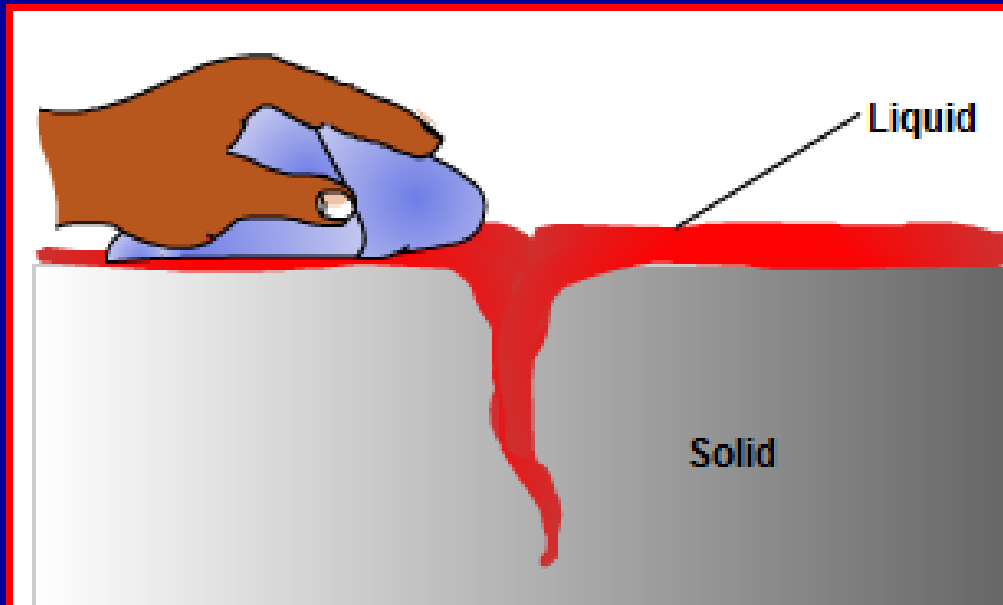
Developer	Post-Emulsifiable Penetrant			Water Washable Penetrant		
	Fatigue Crack	Porosity	Stress Corrosion Crack	Fatigue Crack	Porosity	Stress Corrosion Crack
None	20	20	20	5	10	20
Nonaqueous Wet	10	20	20	5	10	5
Dry	5	20	20	5	10	5
Aqueous Wet	5	10	20	5	20	*

....*Few indications were produced

-- Lord, R. J. and Holloway, J. A., Choice of Penetrant Parameters for Inspecting Titanium, Materials Evaluation, October 1975, pp. 249-256.

תהליך ביצוע הבדיקה: 4- ניקוי

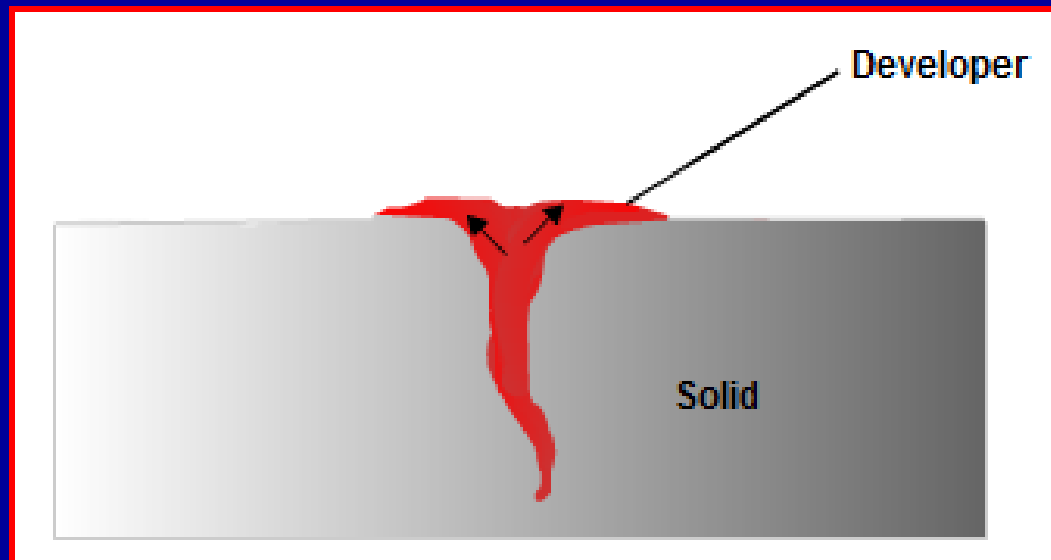
לאחר ההמתנה מנקים את הנוזל מעל פני השטח.
את הניקוי מבצעים בעזרת חומר ניקוי (כגון אצטון או חומר ניקוי ייעודי), בעזרת שטיפה במים, ולפעמים גם בחומר מתחלב [אמולסיפייר]. נוזל שיושם על-ידי טבילה באמבט עובר ייבוש בתנור.



ניקוי טוב של החלק יאפשר
למפתח להציג בצורה ברורה
וחדה את אי הרציפויות בחומר,
במידה וישנן.

תהליך ביצוע הבדיקה: 5- יישום חומר מפתח

מיישמים חומר "מפתח" – developer – שתפקידו לספוח אליו את נוזל הבדיקה מתוך אי הרציפויות על-פני המשטח. המפתח יוצר רקע בהיר וקונטרסטי לנוזל החודר שיצא החוצה מתוך אי הרציפויות. חומר מפתח יכול להיות אבקתי ("יבש"), ספריי או חומר לטבילה. החומר מושאר מספיק זמן כדי שיספיק "לעבוד", בדר"כ כ-10 דקות.



תהליך ביצוע הבדיקה:

6- בדיקה ופיענוח, 7- ניקוי

בדיקה ופיענוח ממצאים

במידה ונעשה שימוש במפתח, יוצגו על פני השטח חיוויים שונים, אותם נדרש לפענח ולסווג. לצורך כך יש לנקות את פני השטח ידנית בעזרת ספוגית/צמר גפן טבול בחומר ממיס (לרוב אצטון). אי-רציפות מתגלה לרוב כפס מזוגזג ודק של נוזל זוהר המופיע בחזרה מיד לאחר ניגוב פני השטח. אי-רציפויות גדולות הפתוחות אל פני השטח יוצגו גם ללא מפתח, אך על פי התקנים הבינלאומיים והוראות היצרנים השימוש במפתח הוא חובה.

ניקוי שלאחר הבדיקה

לאחר הבדיקה ובחינת תוצאותיה, יש לנקות את משטח הבדיקה על מנת למנוע פגימה בחומר ויצירת נזקי שיתוך עקב הילכדות נוזל חודר וחומרי בדיקה רטובים אחרים בתוך חללים בחומר.

ולסיכום הפעולה:



1. יישום צבע חודר
-הצבע חודר לסדק

2. ניקוי ויישום
חומר מפתח

3. הסדק הצבוע
והניכר לעין

סוגי החומרים בבדיקת צבעים חודרים

הצבעים החודרים:

TYPE I - נוזל בעל פיגמנטים של צבע פלואורסנטי.

הצבע הפלואורסנטי עולה בסדר גודל אחד לפחות על הצבע הנראה לעין מבחינת רגישות הבדיקה (יכולת גילוי פגמים קטנים) אך דורש תנאי בדיקה מיוחדים - חושך ומנורת אור אולטרה סגול.

TYPE II - נוזל בעל פיגמנטים של צבע נראה לעין - לרוב אדום (מכונה "נוזל חודר צבעוני" או "צבע חודר").

הצבע החודר מתאים יותר לעבודות שטח כגון בדיקת ריתוכים, אך הוא אסור לשימושים תעופתיים.

סוגים של החומרים הפלואורוסנטיים

החומרים הפלואורוסנטיים מחולקים לפי רמת הרגישות שלהם מ-0.5 עד 4:

0.5 - רמת רגישות נמוכה מאד
4 - רמת רגישות גבוהה מאד.

גם בבחירת רמת הרגישות של החומר השיקולים הם חשיבות החלק וחספוס פני השטח שלו. לדוגמה:

- חלקי מנוע המטוס יבדקו ברמת רגישות 3 או 4
- חלקי מבנה יבדקו ברמת רגישות 2

רוב החלקים המיוצרים בתהליך יציקה יבדקו ברמת רגישות 2 או פחות.

הסתכלות על צבעים פלואורוסנטיים

מנורות UV הנבדלות ביניהן ב:

- גודל הפנס
- קוטר האלומה
- המרחק מהמשטח הנבדק
- הזנה- רשת או סוללה.



סיווג לפי צורת ההסרה

החומר צריך להתאים לאופן בו יוסר:

METHOD A - צבע חודר הנשטף במים

METHOD B - צבע חודר המוסר על ידי מתחלב ליפופילי (על בסיס שמן).

METHOD C - צבע חודר המוסר על ידי ממיס (אצטון, לדוגמה).

METHOD D - צבע חודר המוסר על ידי מתחלב הידרופילי (מהול במים).

שיטה C מתאימה בעיקר לבדיקה מקומית כגון בדיקת ריתוכים, בדיקות בתחזוקת מבנה המטוס וכדומה, והיא הנפוצה ביותר בבדיקות שטח כי ניתן ליישמה בקלות מחומרים בתרסיסים.

שיטה D היא שיטה ישנה אשר כמעט ואינה בשימוש והוחלפה על ידי שיטת B.

בתעשייה השימוש הוא בשיטות A או D.

הבחירה בין השיטות היא בהתאם לחשיבות החלק הנבדק וחספוס פני השטח שלו. לשיטה D ישנו יתרון בבקרה טובה יותר למניעת שטיפת יתר של הנוזל (הוצאתו מהפגם) אך בדרך כלל הצבע יהיה קשה יותר להסרה מפני השטח.

החומר המפתח

ישנם 3 סוגי מפתחים המחולקים לפי צורת היישום:

1. מפתח אבקתי, שמפוזר באמצעות אמבט אוורור מיוחד המפזר את האבקה בצורה אחידה על כל פני החלק.

2. מפתח רטוב בתרסיס.

3. מפתח רטוב המשולב בנוזל השטיפה או באמבט מיוחד, שנדרש לייבש בתנור לאחר יישומו.



דוגמאות לסיווג בדיקה

: TYPE I METHOD A LEVEL 2

צבע פלואורסנטי, שטיף במים, ברגישות בינונית.

: TYPE I METHOD D LEVEL 3

צבע פלואורסנטי המוסר באמצעות מתחלב - הידרופילי ברמת רגישות גבוהה.

:TYPE II METHOD C

צבע חודר אדום המוסר על ידי ממש (אין חלוקה לרמות רגישות).

כיצד נבחר את חומרי הבדיקה?

לפי:

- רמת רגישות הבדיקה הנדרשת
- עלות החומרים
- מספר החלקים שיש לבדקם
- גודל השטח הנבדק
- יכולת ניידות של החומר הנבדק

סוגי סדקים הניתנים לאיתור על-ידי צבעים חודרים:

- ❑ Fatigue cracks
- ❑ Quench cracks
- ❑ Grinding cracks
- ❑ Overload and impact fractures
- ❑ Porosity
- ❑ Laps
- ❑ Seams
- ❑ Pin holes in welds
- ❑ Lack of fusion or braising along the edge of the bond line

יתרונות בדיקת צבעים חודרים

- שיטת אל-הרס
- קלה ופשוטה ליישום
- קלה לפיענוח
- מהירה לביצוע ולקבלת תוצאות
- זולה יחסית, גם למשטחים גדולים
- מתאימה לרוב החומרים
- ניתנת לביצוע גם על חלקים בעלי צורה לא רגולרית.

חסרונות בדיקת צבעים חודרים

- ניתן לבדוק רק סדקים הפתוחים אל פני-השטח
- ניתן לבדוק רק חומרים לא נקבוביים יחסית
- בדיקה איכותית בלבד: לא ניתן להעריך בבדיקה את עומקו של הסדק וזווית הנטייה שלו
- צריכה להיות גישה ישירה למשטח הנבדק
- הכנת המשטח לבדיקה היא קריטית מבחינת תוצאות הבדיקה
- יש לסלק לפני ביצוע הבדיקה שאריות מתכת כתוצאה מטיפול מכני, שחיקה, גריסה וכד'
- מידת החספוס של המשטח וההחלקה שלו יכולים להשפיע על רגישות הבדיקה
- יש לבצע כל שלב בצורה מדויקת ומבוקרת
- יש לבצע ניקוי של החלק הנבדק גם לאחר הבדיקה
- יש לטפל בצורה נכונה בחומרים הכימיים שבשימוש לצורך הבדיקה, כולל סילוקם.

תקנים ומפרטי עבודה

- ❑ MIL MIL-HDBK-728/3 - liquid Penetrant Testing
- ❑ SAE J426 - Liquid Penetrant Test Methods
- ❑ ASTM E1417-05e1 - Standard Practice for Liquid Penetrant Testing
- ❑ ISO/SS-EN 3452 - Non-destructive testing - Penetrant testing

בדיקת חלקיקים מגנטיים

משמשת גם היא לאיתור פגמים הפתוחים אל פני החומר.

כאן משתמשים בשדה מגנטי ובחלקיקים מגנטיים קטנטנים לאיתור הפגם.

בדיקת חלקיקים מגנטיים

גם שיטה זו מיועדת לאיתור פגמים הפתוחים אל פני החומר. כאן משתמשים בשדה מגנטי ובחלקיקים מגנטיים קטנטנים (חלקיקי ברזל).

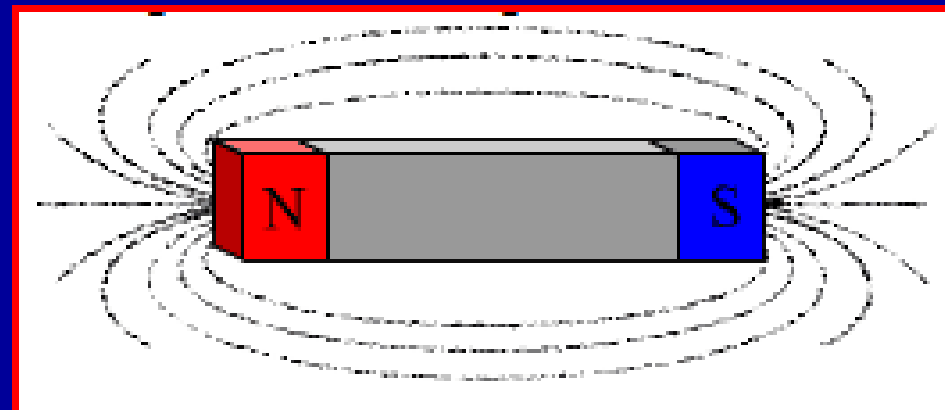
התנאי היחיד כאן הוא שהחומר הנבדק יהיה עשוי מחומר פרו-מגנטי כגון ברזל, ניקל או קובלט או כל סגסוגת אחרת שלהם.

השימוש בשיטה נעשה לצורך בדיקת ריתוכים, חישולים, ויציקות. השיטה נמצאת בשימוש במגוון תעשיות כגון מבני פלדה, מנועים, התעשייה הפטרוכימית, תעשיית התעופה, וכן בבדיקות המבוצעות תחת המים מבנים תת-מימיים וצנרת תת-מימית.

עקרונות השיטה

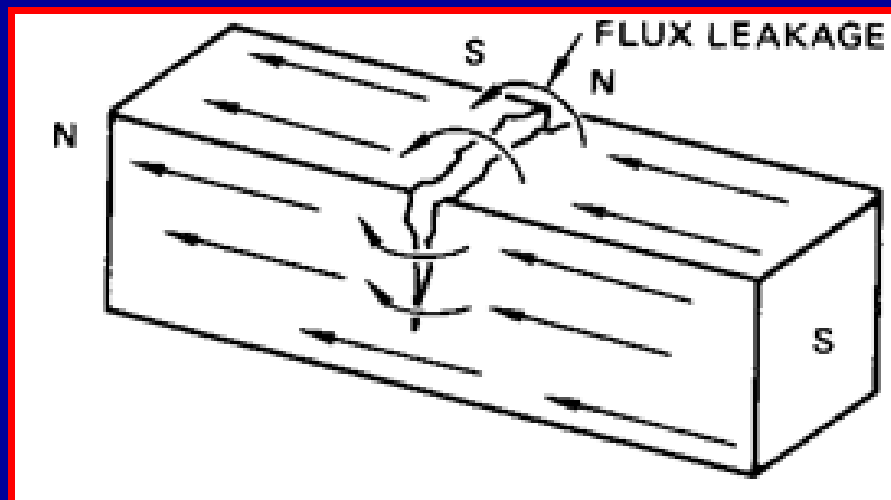
השיטה משלבת 2 שיטת אל-הרס:
בדיקת הפרעה בשטף מגנטי ובדיקת הסתכלות

קוטב צפוני:
יציאת כוחות
מגנטיים

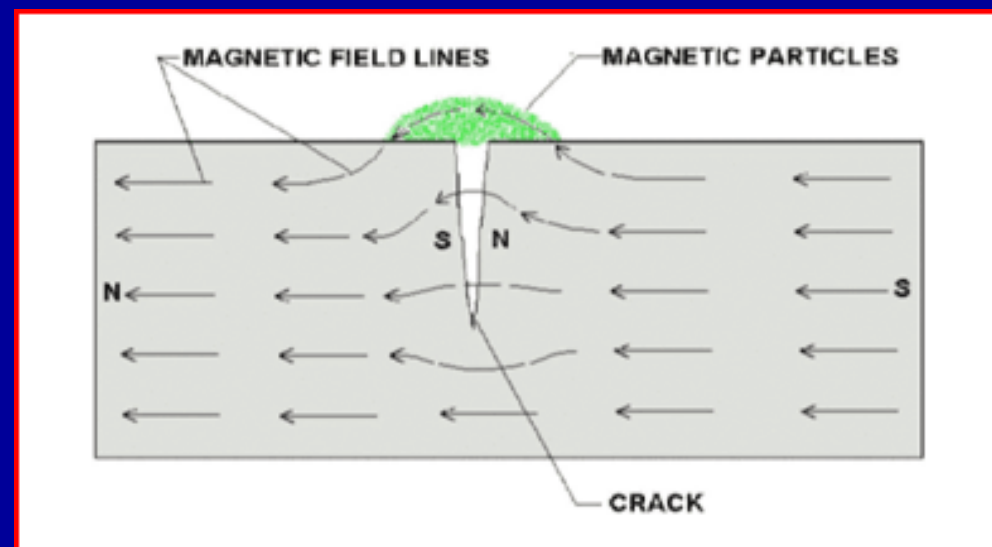


קוטב דרומי:
כניסת כוחות
מגנטיים

אם יש סדק במוט המגנטי, נוצרים למעשה 2 מגנטיים, כאשר לכל אחד קוטב דרומי וקוטב צפוני משלו. השדה המגנטי מתפשט החוצה כאשר הוא נלכד במרווח המלא באוויר שנוצר בסדק. הוא מתפשט מאחר שהאוויר לא יכול לתמוך בשדה מגנטי יחסית ליחידת נפח, כפי שמגנט מסוגל. כאשר השדה מתפשט החוצה זה נראה כמו דליפה החוצה מהחומר ולכן מצב זה קרוי "דליפה בשטף השדה".



אם מפזרים חלקיקי ברזל על פני המגנט הסדוק, החלקיקים יימשכו וילכדו לא רק לקוטבי המגנט, אלא גם לקטבים שנוצרו בקצות הסדק. הרבה יותר קל לראות חלקיקים אלה מאשר את הסדק עצמו, ועל-כך מבוססת השיטה.

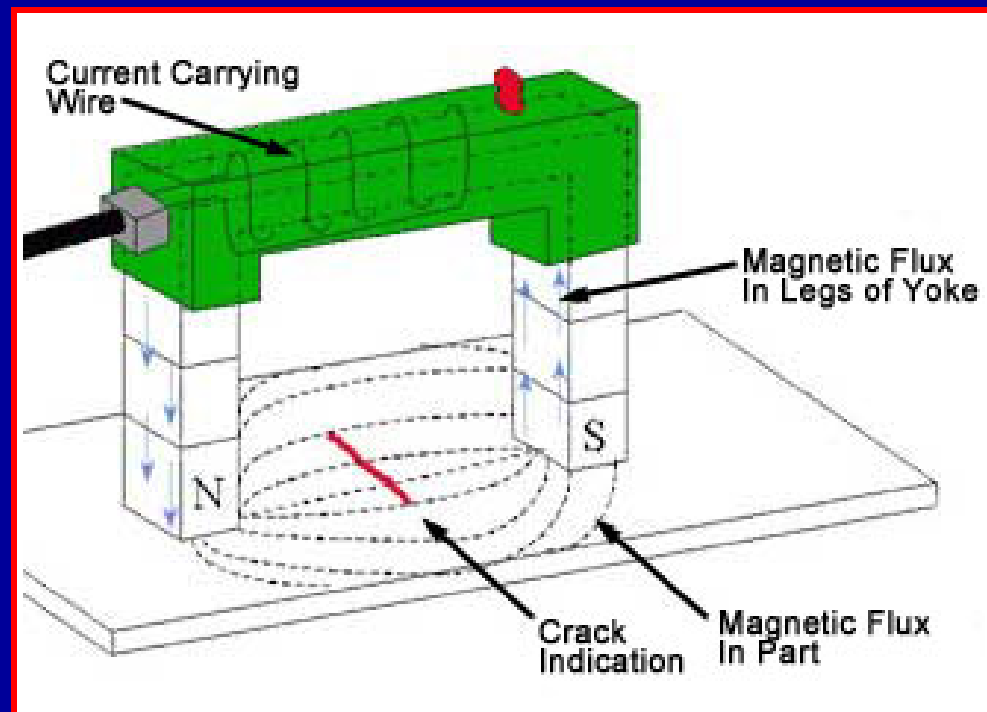


תהליך הבדיקה

1. טרם ביצוע הבדיקה, יש לבדוק את המגנטיות השיוורית של הפריט הנבדק. לא ניתן לבדוק חלק מגנטי.
2. נקוי פני השטח באמצעות סולבנט.
3. ישום חלקיקי ברזל באמצעות התזת תמיסה המכילה חלקיקי ברזל או באמצעות איבוק או מריחת חלקיקי ברזל על החומר.

4. מיגנוט החלק הנבדק:

בשלב ראשון יש למגנט את הפריט הנבדק, כדי לעורר את הקטבים. אם יש פגם בפני-השטח של הפריט הנבדק או קרוב להם, תהיה דליפה של שדה מגנטי מפגם זה.



המשך תהליך הבדיקה:

5. חלקיקי הברזל יימשכו ויילכדו במקום בו יש דליפה בשטף המגנטי וכך יצרו אזור בו מרוכזים חלקיקים לאורך הסדק.

6. הארת המשטח באמצעות נורת UV וצפיה בפגמים.



השימוש בבדיקת חלקיקים מגנטיים:

- לבדוק חלקים בזמן תהליך ייצורם
- ל לבדוק שאין נזקים בחלק המוגמר לפני התקנתו במערכת
- בדיקת חלקים שהיו תחת עומס רב
- לבדיקת שלמות של ריתוכים במבנים כמו גשרים, מיכלי אחסון ופריטים קריטיים אחרים

השיטה נמצאת בשימוש מאז תחילת שנות ה-30, אז החליפה את שיטת oil & whitening שהיתה נהוגה עד כה לבדיקת גלגלים, דוודים וקרונות במערכת הרכבות.



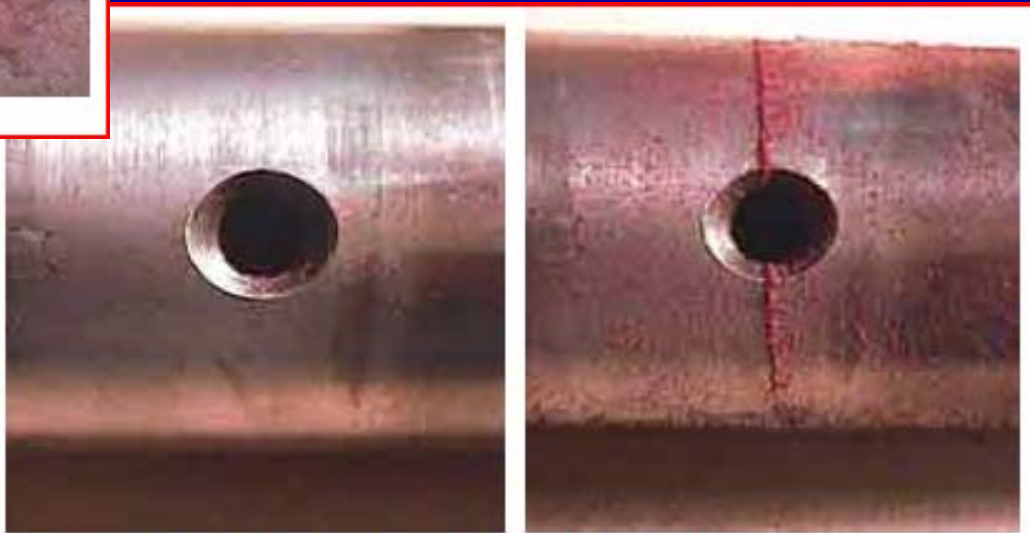
Indication of a crack in a saw blade



Indication of cracks running between attachment holes in a hinge

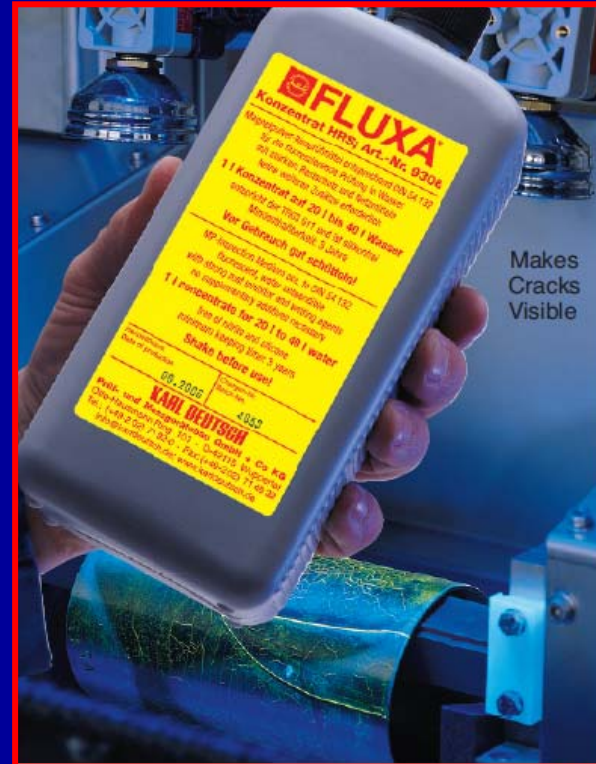
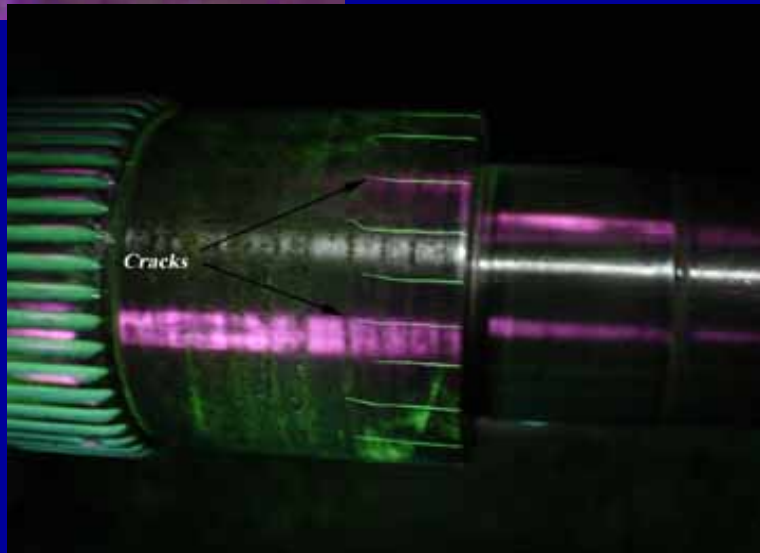
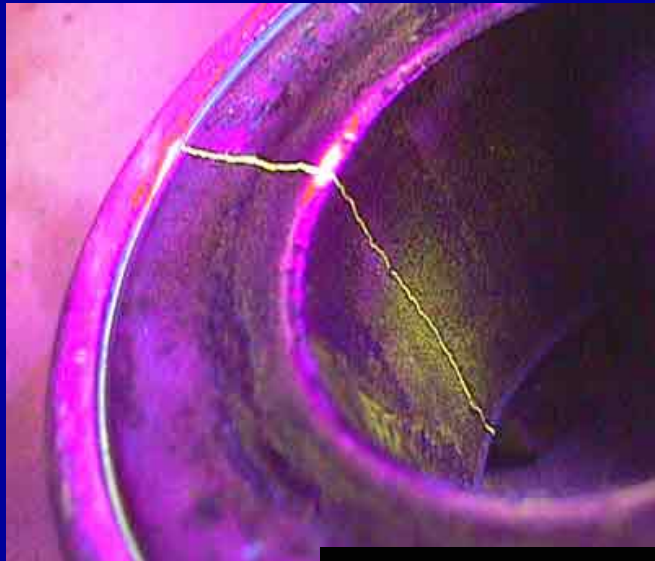


Indication of cracks originating at a fastener hole



Before and after inspection pictures of cracks emanating from a hole

שימוש בחלקיקים מגנטיים- חומר פלוארוסנטי רטוב



בחינה וקבלת החלטות

-בשית צבעים חודרים ובשית חלקיקים מגנטיים אנו יודעים את מיקום הסדק, אך איננו יודעים:

1. מה עומק הסדק ?

2. איך מתנהג הסדק - האם הוא מאונך לפני השטח או זוויתי.

לכן יש צורך בבדיקות משלימות:

תמונת X-RAY של סדק



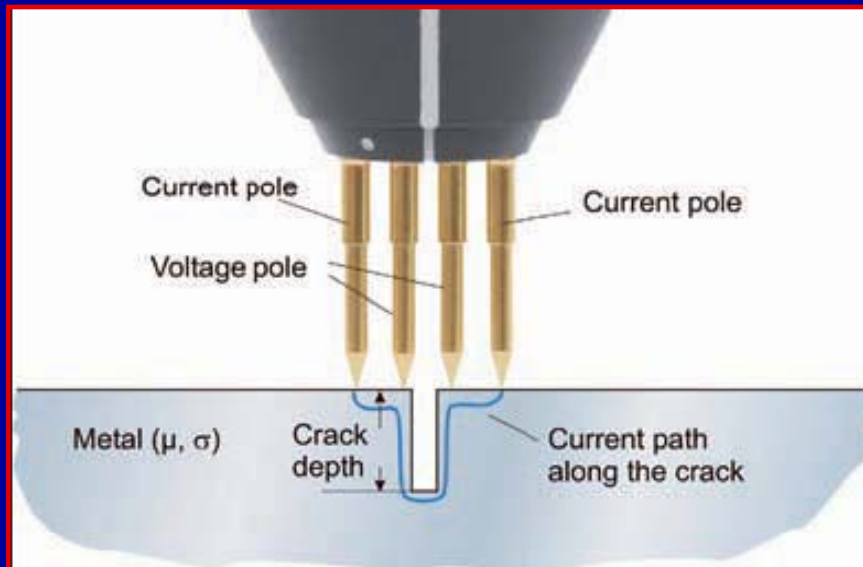
מכשיר לבדיקת עומק סדקים



STATWIN 2002 with PC cable
and probe RMSQ 0°

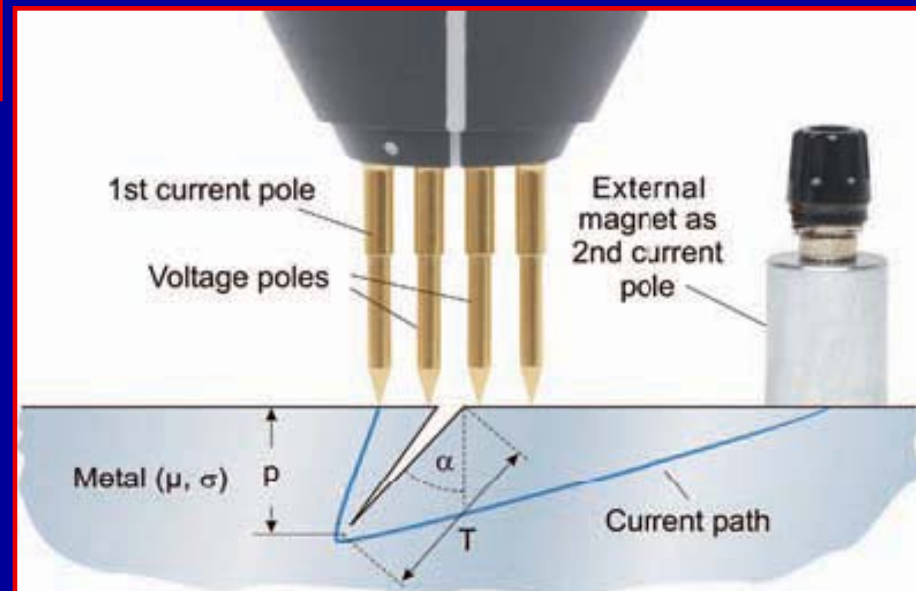


מיכשור למדידת זווית סדק ועומקו



מדידת עומק סדק בסדק נורמאלי

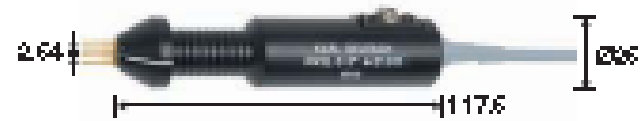
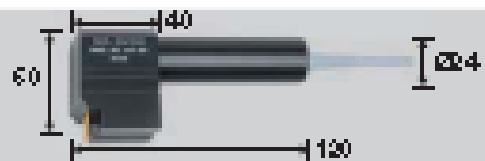
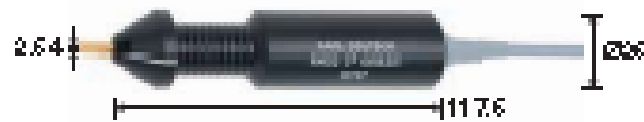
קביעת זווית ועומק של סדק נוטה



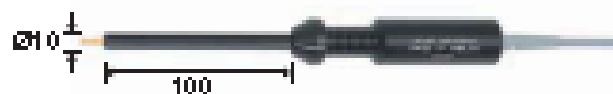
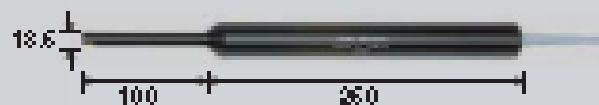
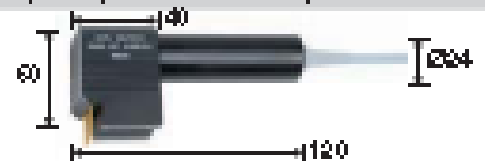
פרובים שונים למדידת עומק סדקים

A solution for every problem:

Standard probes (all dimensions in mm)



Special probes (all dimensions in mm)



- לאזורים בעלי נגישות שונה
- לשטחים גדולים
- לסדקים נורמאליים ונוטים

תודה!

