

תדריך מעבדה הקשיה ע"י התבדלות

חלק: הקשיה ע"י התבדלות

1. מטרת הניסוי

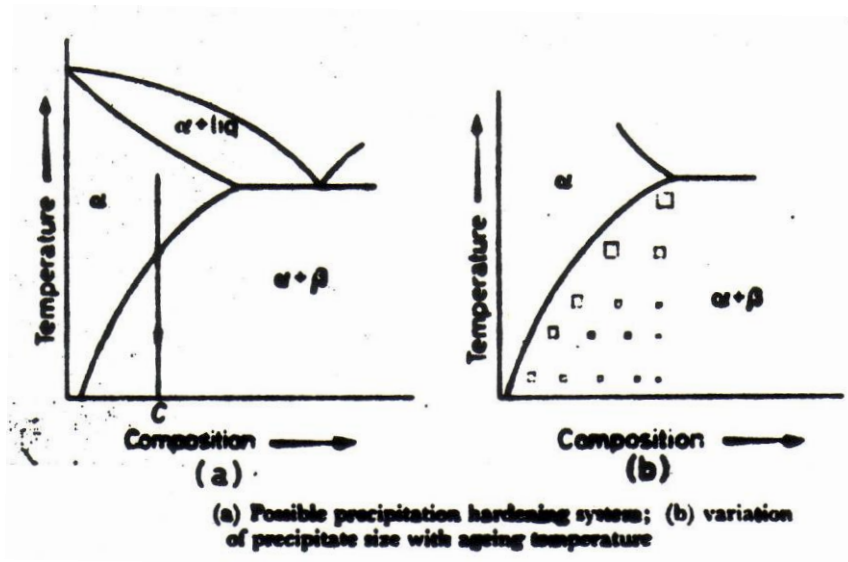
- הכרת מנגנון הקשיה מתכות ע"י התבדלות.
- הכרת המנגנון המשולב של הקשיה מתכות ע"י זיקון ועיבוד בקור.
- טיפול בנתכים שימושיים בתעשייה שמוקשים ע"י התבדלות.

2. רקע תיאורטי

2.1 הקשיה ע"י זיקון

א. התופעה

התהליך הזיקון (Ageing), חשוב קודם כל בשל יכולתו לשפר את התכונות המכאניות של נתכים מסוימים וזאת ע"י התבדלות של פאזה מישנית. התהליך תלוי בזמן ובטמפרטורה. לצורך הדוגמה נבחן דיאגרמות פאזות אופיינית של מערכת בינארית מתאימה (איור 1).



איור 1: עקרונות מנגנון התבדלות

לפי דיאגרמה זאת, למומס מסיסות מוגבלת בפאזה α והיא יורדת עם הקטנת הטמפרטורה (מערכת Cu-Be, Al-Zn, Al-Cu וכדומה). עבור ריכוז מסוים C בתחום טמפרטורות גבוהות יש המסה גמורה ומתקבלת תמיסה מוצקה (α). בטמפרטורות נמוכות יותר נקבל התבדלות של פאזה β כאשר הכמויות היחסיות נקבעות לפי חוק

המנוף. לעומת זאת, אם מבצעים קירור מהיר (חיסום) נקבל פאזה α רווית יתר שאיננה סטבילית. מצב זה נקרא SSSS (Super Saturated Solid Solution). אם נותנים לאטומים אנרגית אקטיבציה מספקת (ע"י העלאת הטמפרטורה) הם יתחילו לנוע במטרה להגיע למצב סטבילי, כלומר התבדלות של פאזה β וזהו למעשה תהליך הזיקון.

ב. תהליך הזיקון

בתהליך הזיקון מבחינים בשלבים השונים. בתחילה מתבדלת פאזה עוברית מהמערכת החומרית המטסטבילית שהתקבלה לאחר טיפול ההמסה. במידה ותהליך הזיקון מתארך במיוחד מתקבלת בסופו של דבר פאזה משנית יציבה האופינית לתנאי שיווי משקל. היווצרותה של הפאזה המשנית היציבה מוגדרת כזיקון ייתר המלווה בירידה בחוזק.

שלבי הביניים להתפתחות פאזה משנית יציבה הם:

- התפתחות אזורים מסוג - Guinier Preston Zone או GP. לאזורים אלו אין גבול מוגדר עם הסביבה והם למעשה ממשיכים את הרציפות המחזוריות של הסריג המקורי וע"י כך משמרים קוהרנטיות מלאה איתו. את השלב הזה ניתן לחלק לשני תת שלבים: GP1 - אזור עשיר באטומי המומס אבל בלי סדר פנימי. GP2 - מתחיל להיות סדר פנימי בין אטומי הממיס והמומס. הקוהרנטיות גורמת לעיוות של כל האזור, ולכן מהווה מכשול רציני לתנועת הנקעים ובשלב זה מקבלים חוזק מקסימאלי.

- מתבדלי ביניים - עם גידול ה-GP2 האזור מתחיל להינתק מהסביבה (בתחילה באופן חלקי) ונוצר גבול באזור ההתנתקות עם מעוותים על השטח המתבדל, ולכן יתכן שבשלב זה החוזק יתחיל לרדת.

- המתבדל הסופי - כאשר הגרעינים מספיק גדולים מקבלים את פאזה β היציבה (למשל CuBe או CuAl₂). כאן מקבלים הרפיה כי פאזה β מחולקת למעט גרעינים גדולים. מצב זה מוגדר כזיקון יתר (overageing).

ג. השפעת הטמפרטורה

הזיקון הוא תהליך של נוקלאציה וגידול מתבדלים. בטמפרטורה גבוהה התהליך מהיר ולכן יתכן שלא נוכל להבחין בשלבים הראשונים של התבדלות ונעבור די מהר לשלב זיקון היתר.

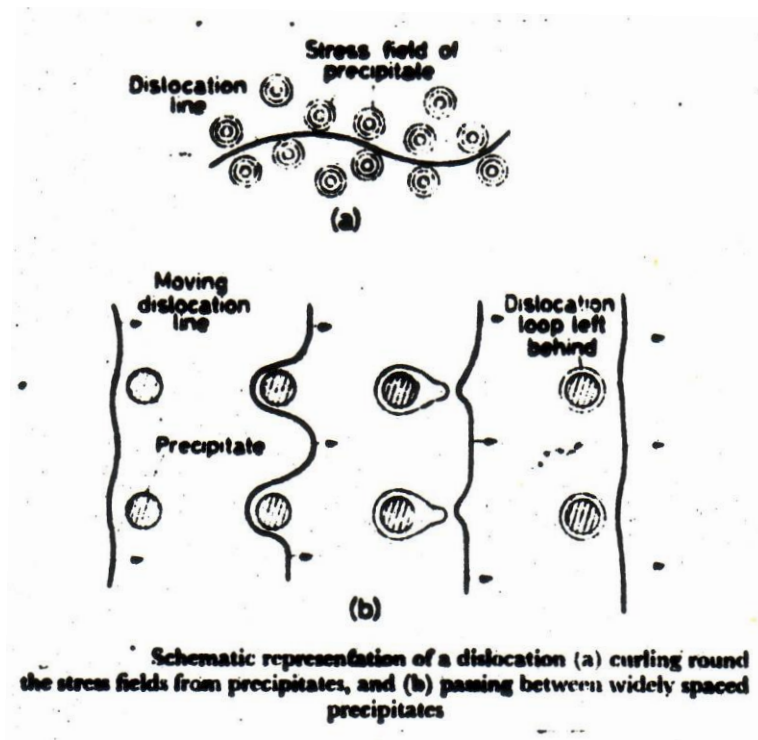
בטמפרטורות נמוכות נוכל להבחין גם בשלבים הראשוניים בהם המתבדלים קטנים וצפופים ומתקבל חוזק גבוה.

ד. תהליך ההקשיה

החוזק (או קושי) של נתך העובר זיקון נשלט ע"י הפעולה ההדדית שבין תנועת הנקעים, המתבדל עצמו ואיזור המעוות (מסביב או בפנים).
Mott and Nabarro הסבירו את מנגנון תנועת הנקעים במקרה זה ואת הקשר שבינו ובין חוזק המתכת.

1. מתבדלים צפופים (איור 2b)

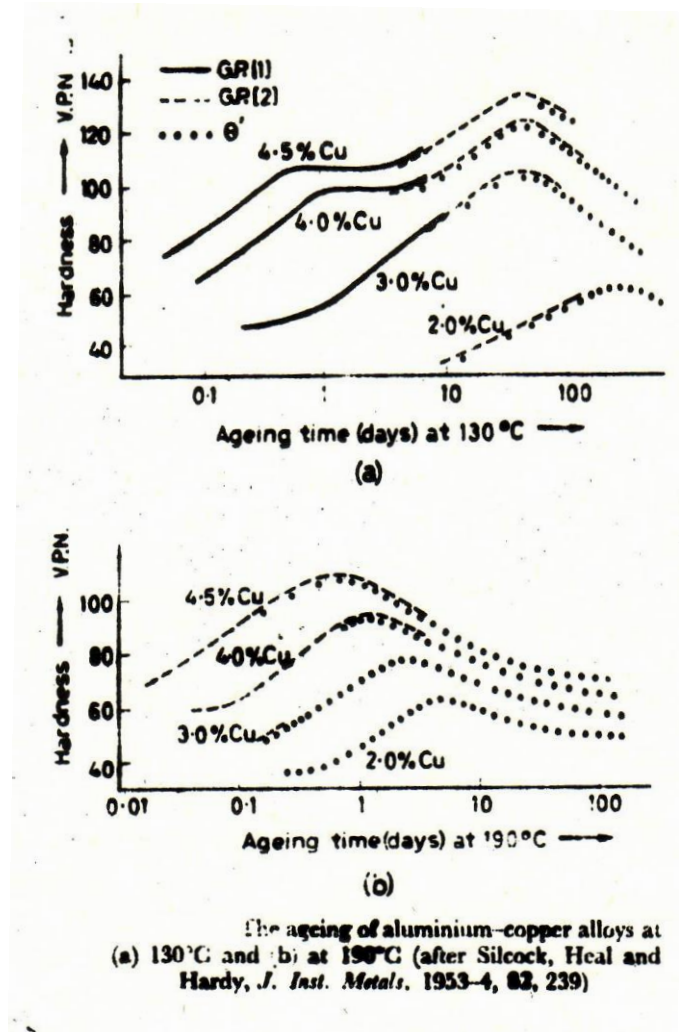
המתבדל מהווה מכשול לתנועת הנקע. הנקע יכול להתקדם רק כשהוא מותיר טבעת נקעים מסביב למתבדל. מכאן, כדי ליצור את רדיוס העקמומיות דרוש מאמץ גדול יותר. היות והנקעים דוחים זה את זה, כל טבעת נקעים נוספת מגדילה את אזור ההפרעה המיועד למעבר נקעים (דפורמציה). ככל שהפאזה המתבדלת מתרכזת בחלקיקים גדולים, במספר קטן יחסית, ההקשיה קטנה יותר.



איור 2: מנגנוני הקשיה נתכים ע"י מתבדלים

2. אזור מתבדלים צפופים (איור 2a)

במקרה זה הדיסלוקציה נעה בשדה המאמצים של המתבדלים ומנגנון ההקשיה מתקבל עקב העיוות של הסריג.



איור 3: הקשיית נתכים של Al עם אחוזי Cu שונים כתלות בטמפרטורה

2.2 הקשיה ע"י עיבוד בקור וזיקון

שיפור נוסף בתכונות המכאניות ניתן לקבל ע"י שילוב של עיבוד בקור וזיקון.

מעוות פלסטי מתאפשר בגלל ריבוי נקעים, אבל ככל שמספרם גדל, תנועתם קשה יותר וכמו כן קשה ליצור נקעים חדשים. מכאן, העיבוד בקור מעלה את החוזק במתכות. במתכת שעברה עיבוד בקור וזיקון, החוזק הוא שילוב של שתי התרומות - הקשיה ע"י התבדלות והקשיה ע"י הקשית מעוותים.

בדרך כלל עיבוד בקור משפיע על תהליך הזיקון בכך שהוא מקטין את קצב היווצרות המתבדלים הראשונים, כי הנקעים גורמים להעלמם של ההעדירויות המשתתפות בתהליך התווית החלקיקים.

2.3 הזיקון - אמצעי להשבחת חומרים בתעשייה

השימושים של דור- אלומיניום (Al – Cu) בתעשיית המטוסים, ידועים זה מכבר. נתך זה משלב את התכונות של משקל סגולי נמוך עם חוזק גבוה יחסית (עד 40Kg/mm^2). המגרעת של סגסוגת זאת היא שהזיקון נמשך גם בטמפרטורות נמוכות יותר ולכן לחלקים יש זמן חיים מוגבל.

נתכי נחושת בריליום (Cu-Br) מוצאים שימוש במקום שצריך לשלב את התכונות של הנחושת (פרט למוליכות) עם החוזק (טמפרטורות נמוכות - חלקים לא מגנטיים). החוזק עובר מ- 45Kg/mm^2 לפני הזיקון לחוזק של 125Kg/mm^2 אחרי טיפול מתאים. ע"י שילוב של הקשיית מעוותים עם זיקון החוזק הסופי גדל לכ- 180Kg/mm^2 .

3. שאלות לדו"ח מכין

3.1 השווה את יעילות מנגנוני החיזוק הבאים: גרעינים קטנים, עיבוד בקור, המסה, התבדלות ופאזה שנייה לפני המאפיינים של הטבלה הבאה:

מאפיין	גרעינים קטנים	עיבוד בקור	המסה	התבדלות	פאזה שנייה
תהליך		ט.מכני		ט.תרמי	
תכונות המסגסגים וכמותם					
הפיכות החיזוק *					
גבול עליון של טמפרטורת שירות					
יעילות חיזוקים **					

* אם וכיצד ניתן לחזק וגם לרכך חומר נתון.

** כלומר מהו החוזק שניתן להשגה. העזר בטבלה 3 בתדריך "מי מפחד מנקעים".

3.2 על פי דיאגרמות הפאזות המתאימות זהה את הפאזות המתבדלות בנתכים הבאים:

Cu-Be

Cu-Sn

Ni- Al (Ti-Cr-Co)

Fe - Al (Cr-Ni)

Fe -Cu (Cr-Ni)

Al -Zn (Cu-Mg)

Mg - Al (Zn)

האם אתה מכיר את הנתכים המרומזים (בסוגריים מופיעים מסגסגים נוספים בנתך שאינם משתתפים בהתבדלות).

3.3 מצא ב- Metal Handbook Vol. 2 את ההרכב המלא של נתך האלומיניום 2024. קבע מהו תפקידו של כל מסגסג בנתך ומצא בספר את התנאים להמסה וזיקון של הנתך וכן את התכונות המכאניות במצבים T6, T4, T351, O.

3.4 שרטט את השתנות החוזק והמשיכות במהלך זיקון עד שלב של זיקון- יתר. הוסף לשרטוט ציורים של המיקרומבנה שיסבירו את הקשר בין התכונות המכאניות למיקרומבנה. כיצד ישתנו המבנה והתכונות במידה ולפני הזיקון תעשה מתיחה פלסטית בשיעור 1% (מצב T351 בנתכי אלומיניום).

4. מהלך הניסוי

- 4.1 הניסוי יתבצע על דגמים בצורת גלילים ובצורת פחים (מעובדים לדגמי מתיחה) מנתך האלומיניום 2024.
- 4.2 הכנס את כל הדגמים לטיפול המסה בתנור בטמפרטורה $500^{\circ}C$ למשך חצי שעה.
- 4.3 הוצא את הדגמים וקרר במהירות במים.
- 4.4 העבר את הדגמים (כולם מלבד דגם מתיחה אחד ומוט אחד) לתנור זיקון שנמצא בטמפרטורה של $220^{\circ}C$. הוצא זוג ראשון של דגמים לאחר 15 דקות, זוג שני לאחר 30 דקות, והמשך להוציא דגמים בזמנים 60 ו-120 דקות.
- 4.5 מתח עד לשבר את כל דגמי המתיחה, ערוך רישום של המידות ההתחלתיות והסופיות.
- 4.6 בצע בדיקות קושי בשיטת וירקס 10 ק"ג לדגמים הגלילים.

5. הנחיות לדו"ח המסכם

- 5.1 תאר את מהלך הניסוי.
- 5.2 שרטט את תכונות החוזק: מאמץ כניעה, מאמץ גבולי וקושי כתלות בזמן הזיקון.
- 5.3 שרטט את תכונות המשיכות: התארכות לשבר והפחתת שטח החתך בתלות בזמן הזיקון.
- 5.4 השווה את התוצאות שקיבלת בניסוי לנתונים בספרות על הנתך Al-2024. האם התכונות הצפויות הושגו?

5.5 איזו השפעה יכולה להיות לדעתך לקירור איטי מדי של הדגמים בתום טיפול ההמסה על התכונות המכאניות של הנתך ועל התנהגותו בסביבת מי מלח ?

מקורות

1. J.D Verhoeven, Fundamentals of Physical Metallurgy, chp.11 J. Wiley.
2. D. A. Porter and K. Easterling, Phase Transformations in Metals and Alloys, Van Nostrand 1981.
3. R.E Smallman and R.J Bishop "Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering"- Heinemann a division of Reed educational and professional publishing Ltd, Sixth edition (1999).