

סיכום - מבוא להנדסת חומרים - 314535

חלק ב'

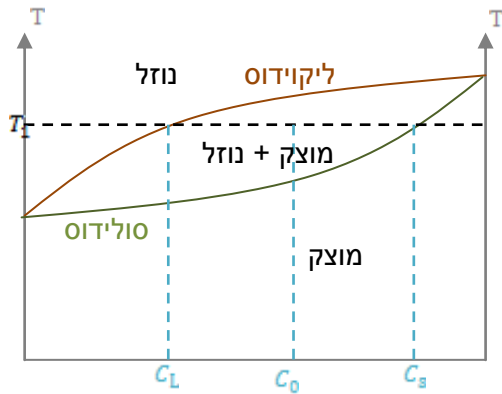
אביב 07

Or.Tzafrir@Gmail.com

תוכן עניינים

עמוד	נושא
2	דיאגרמת הסיגר
3	דיאגרמה אוטקטית
4 – 5	דיאגרמת ברזל – פחמן
6 – 7	דיאגרמת TTT
8 – 9	קשיות
10 – 11	זיקון
12 – 14	חומרים קרמים
15 – 18	פולימרים

דיאגרמת הסיגר



מושגים:

- קו הליקוידוס – התחלת הופעת הנוזל.
- קו הסולידוס – נגמר הנוזל.
- C_0 - ריכוז הממוצע של x בדגם.
- W_s - השבר המשקלי של המוצק.
- C_s - הריכוז הממוצע של x במוצק.
- W_L - השבר המשקלי של הנוזל.
- C_L - הריכוז הממוצע של x בנוזל.

נוסחאות:

$$W_c + W_s = 1$$

$$W_s C_s + W_L C_L = C_0$$

$$W_L = \frac{C_s - C_0}{C_s - C_L}$$

$$W_s = \frac{C_0 - C_L}{C_s - C_L}$$

$$F = C - P + 2$$

- F מספר דרגות החופש.
- C מספר היסודות המרכיבים את המערכת.
- P מספר הפאזות במערכת.

$$C_i = \frac{G_i}{\sum_i G_i}$$

- C_i - ריכוז משקלי של היסוד i .
- G_i - המשקל של היסוד i .

$$n_i = \frac{C_i}{M_i}$$

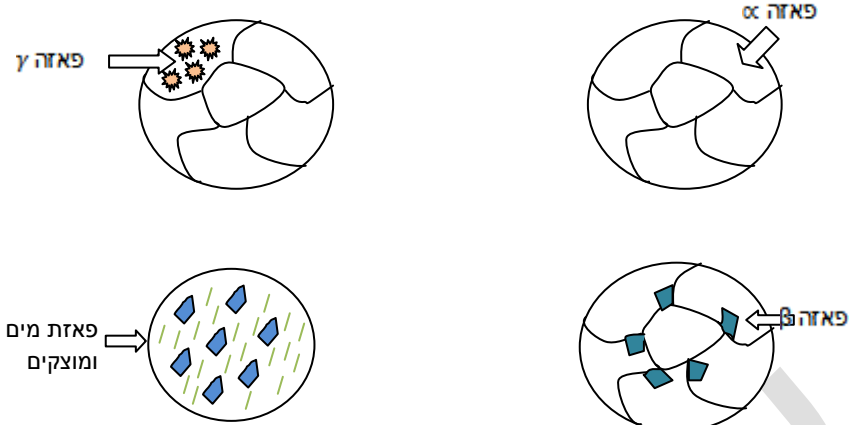
- M משקל אטומי.
- n_i - מספר אטומים של יסוד i .

$$x_i = \frac{n_i}{\sum_i n_i} = \frac{M_i}{\sum_i \frac{C_i}{M_i}}$$

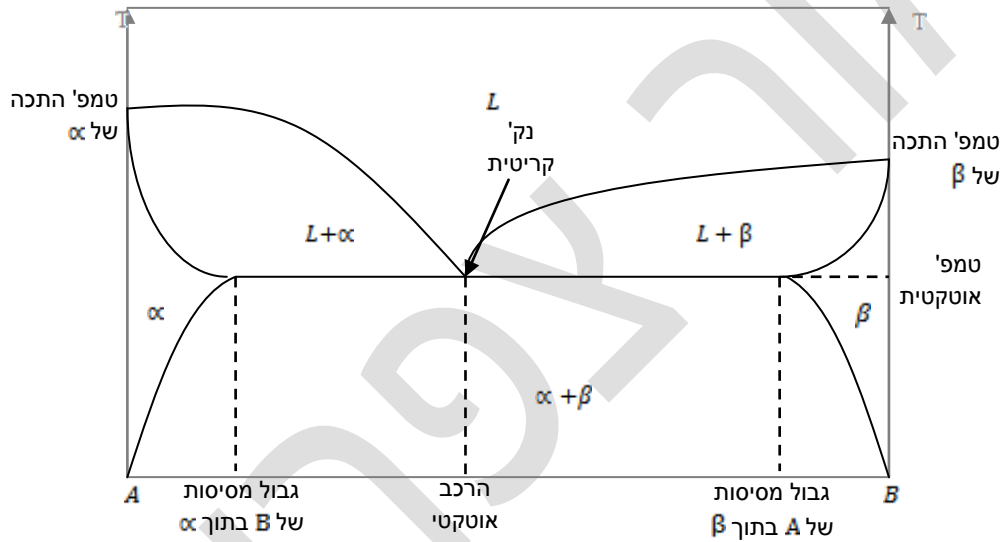
- x_i - ריכוז אטומי של היסוד i .

דיאגרמה אוטקטית

ציורי הפאזות השונות



הדיאגרמה:

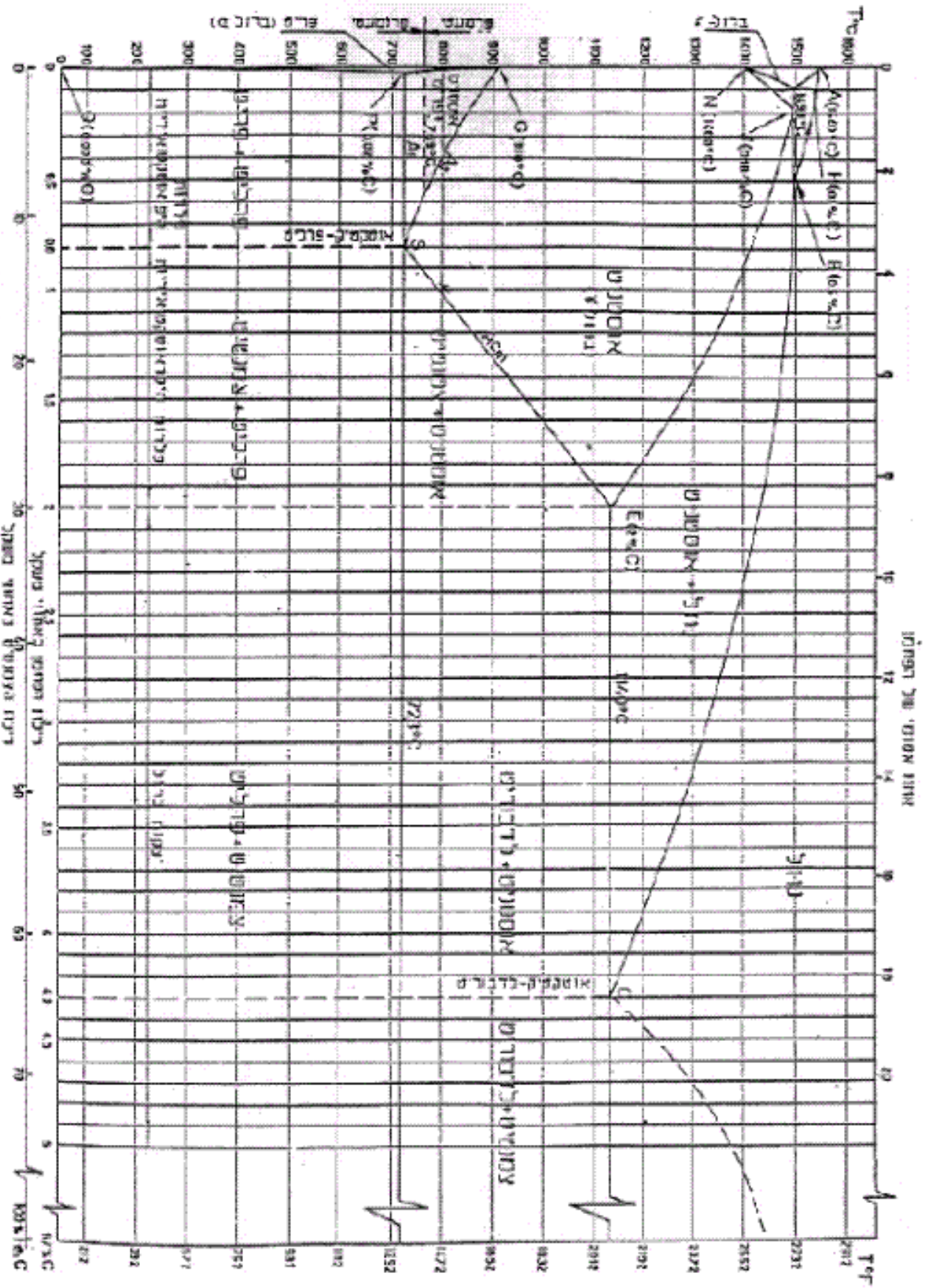


α לדג' היא תמיסה מוצקה של כמות מוגבלת של אטומי B בתוך סריג של אטומי A.

המבנה הקריסטלוגרפי של α זהה למבנה היסוד הטהור – A.

בנק' הקריטית (הרכב האוטקטי) יש מעבר ישיר מנוזל למוצק במעבר מתחת לטמפ' האוטקטית.

דיאגרמת ברזל - פחמן



דיאגרמת ברזל-פחמן

<u>מבנים למלריים</u>	<u>פאזות של Fe</u>
<ul style="list-style-type: none"> פרליט $\text{Fe}_3\text{C} + \alpha$ לדבוריט $\text{Fe}_3\text{C} + \gamma$ 	<ul style="list-style-type: none"> α - פריט (BCC) Fe_3C - צמנטיט γ - אוסטיניט δ - דלתה

הגדרות ע"פ אחוזי פחמן

- 0.02% ÷ 2% : פלדה.
- 2% ÷ 6.67% : ברזלי יציקה, פחות חזק מפלדה.
- 0.8% : פלדה אוטקטואידית.
- 0.8% < wtc% : פלדה היפואוטקטואידית.
- 0.8% > wtc% : פלדה היפראוטקטואידית.

ברזל נקי - α - פריט

ברזל עם מעט מאוד פחמן. פחמן אשר הומס כמעט בצורה מלאה בטמפ' החדש, הוא במבנה BCC.

חימום ↓

ברזל γ - אוסטיניט

כאשר מחממים את הפלדה מעבר לטמפ' המעבר אנחנו נקבל אוסטיניט (FCC). עכשיו הפלדה הפסיקה להיות מגנטית.

טרנספורמציה מרטנסיטית

חיזוק החומר

מה שקובע את חוזק החומר הוא התחום הפלסטי בעקומת מאמץ - מעוות. ושם מתבצעת תנועה של נקעים, אז המטרה היא לגרום להפרעה של תנועת נקעים.

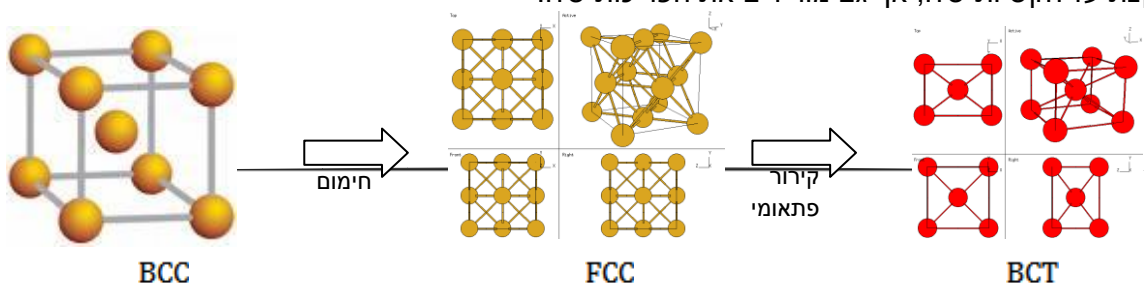
ברזל נקי ב-920°C במבנה FCC (γ) יהפוך ל-BCC (α) גם בקרור מהיר / פתאומי.

המעבר ב-723°C : $\alpha (BCC) \rightleftharpoons \gamma (FCC)$

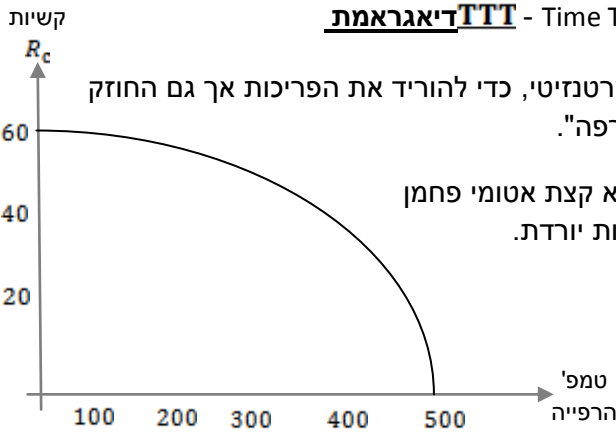
המודל של בין - טרנספורמציה של מעוות / דפורמציה

בחימום הפלדה מעבר לטמפ' האוטקטית מתקיים $\alpha (BCC) \rightarrow \gamma (FCC)$, ואז יוצר מרווח שאליו יחדור אטום פחמן (אטום חדירה). אם נקרר את הפלדה במהירות, לא יספיק אטום הפחמן לצאת מאתר החדירה, ואז יוצר עיוות $\gamma (FCC) \rightarrow \alpha (BCT)$.

המבנה שמתקבל הוא המבנה המרטנסיטי. המבנה עדין, ונראה כאוסף של גרעינים דמויי מחטים. מבנה זה מאוד פריך, ולכן מסוכן ואסור להשתמש בו. מבצעים לחומר הנ"ל הרפייה שבה מוותרים קצת על הקשיות שלו, אך גם מורידים את הפריכות שלו.



TTT - Time Temp Transformation דיאגראמת

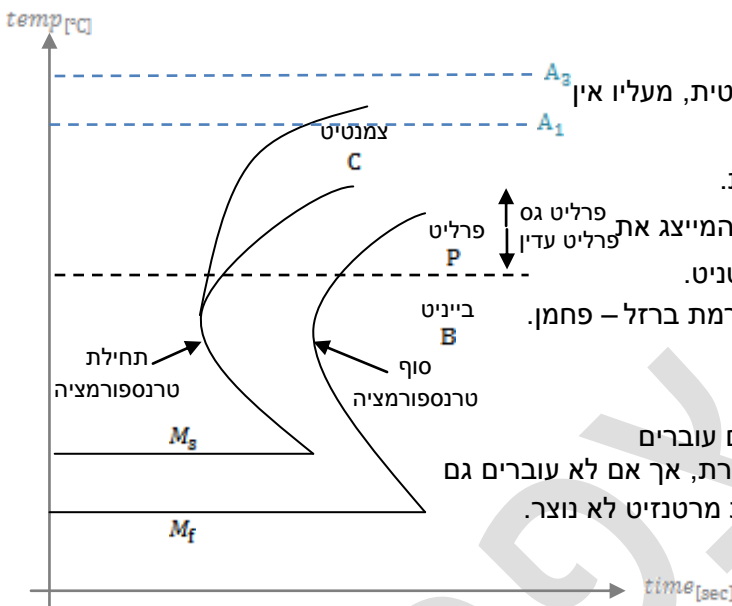


מחממים עוד קצת את הפלדה בעלת המבנה המרטנזיטי, כדי להוריד את הפריכות אך גם החוזק יורד במקצת. המבנה הנוצר נקרא "מרטנזיטי מורפה".

בעקבות האנרגיה שמכניסים, אז מצליחים להוציא קצת אטומי פחמן מהסריג, אז החוזק יורד קצת אבל בעיקר הפריכות יורדת.

ככל שנשאר יותר פחמן, כך הפלדה חזקה יותר.

מושגים מדיאגראמת ה-TTT



- M_s - תחילת טרנספורמציה מרטנזיטית, מעליו אין בכלל מרטנזיט.
- M_f - סוף טרנספורמציה מרטנזיטית.
- A_3 - הקו בדיאגראמת שיווי משקל המייצג את תחילת ההתבדלות של פריט מאוסטניט.
- A_1 - הטמפ' האוטקטואידית בדיאגראמת ברזל - פחמן.

המטרה בחיסום היא לא לחתוך הברך.

כאשר מבצעים קירור של פלדה מסויימת, אם עוברים בקו ההתחלה של פאזה מסויימת אז היא נוצרת, אך אם לא עוברים גם בקו הסיום שלה אז נוצר גם מרטנזיט, אחרת מרטנזיט לא נוצר.

סוגי הפרליט

1. **פרליט עדין** - מבנה למלרי עדין של שכבות צמנטיט ופריט. מורכב מהרבה גרעיני פרליט קטנים עם מבנה שכבות דק.
2. **פרליט גס** - מבנה למלרי גס של שכבות צמנטיט ופריט. בנוי מגרעיני פרליט גדולים יחסית. הפרליט העדין קשה יותר מפרליט גס. קבלת מבנה גס או עדין תלוי בטמפ' בה מתרחש מעבר הפאזות למבנה פרליט. בטמפ' הקרובה לטמפ' האוטקטית מתקבל מבנה עבה יותר ופרליט גס. הסיבה היא שבטמפ' גבוהה הדיפוזיה מהירה יחסית, דבר המאפשר היווצרות של שכבות עבות. לעומת זאת, בטמפ' נמוך יותר מתרחשת דיפוזיה איטית יותר שמאפשרת סידור בשכבות דקות.

- **באיניט** – מבנה המורכב מחלקי צמנטיט מאורכים בתוך פאזה של פריט. נוצר ע"י קירור מהיר אל מתחת ל"ברך" בדיאגראמה הנ"ל והשהייה עד לסיום הטרנספורמציה. בגלל הטמפ' הנמוכה שאינה מאפשרת דיפוזיה למרחקים ארוכים. המיקרו מבנה של הבאיניט הוא נוצתי – מבנה מאוד עדין וחזק, אך לא פריך מאוד.
 - **מרטנזיט** – פאזה המתקבלת מקירור מהיר מאוד של סגסוגת ברזל פחמן בעלת מבנה אוסטיט. מאחר ואין מדובר בש"מ, הפחמנים אינם יוצאים ומתבדלים למבנה פריט, אלא נשארים בתוך שריג הברזל ומעוותים אותו. מתקבל מבנה BCT. מרטנזיט קשה, חזק ופריך. על מנת שיווצר מבנה מרטנזיטי על קצב הקירור להיות מהיר מספיק כך שלא נכנס "לברך".
- קיימת בעיה איך לקרר חומר גדול, כי אם אני מקרר מהשפה אז יקח הרבה זמן עד שהקירור יגיע לחלקים הפנימיים, אז נחתוך את הברך. הפיתרון הוא להזיז את הברך, ואז לא נחתוך את הברך. בשביל להזיז את העקומה ימינה צריך אלמנטי סיגסוג. כל אלמנטי הסיגסוג (חוץ מקובל) אפשריים. הם כמעט ולא משפיעים על הקושי ועל החוזק כי רק הפחמן משפיע על הגורמים הנ"ל.

משפחות פלדות

1. **פלדות פחמן – SAE 1XXX**
 - **XXX** - מייצג את אחוז הפחמן.
 - אחוזי פחמן: $0.2\% \div 0.3\%$, אם הפלדה מכילה יותר פחמן אז קשה יותר לרתך אותה.
 - יתרונות:
 - מאוד זולה.
 - קל מאוד לרתך אותה.
2. **פלדות דלות נתך – 4XXX**

מכיל עד 5% אלמנטי סיגסוג.
3. **פלדות נתך**

אלו פלדות שמכילות יותר אחוזים של אלמנטי סיגסוג (כמו פלדות בלתי מחלידוח).

קשיות

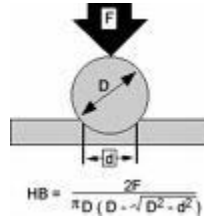
הגדרה:

התנגדות החומר לדפורמציה פלסטית לוקלית.

טכניקות לבדיקות קשיות

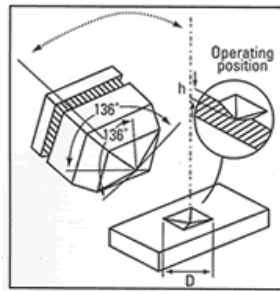
1. **Brinell**

משתמשים בכדור בעל קוטר D , שמשאיר בחומר עיקבה בעומס $F_{[kg]}$, $d_{[mm]}$.



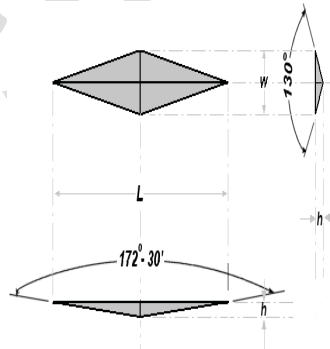
2. **Vickers** - $HV = 1.854P/d_1^2$

משתמשים ביהלום פירמידלי בעל 4 פאות, שמשאיר פאה ריבועית בעלת אלכסון ממוצע d_1 .



3. **Knoop** - $HK = 14.2P/\ell^2$

פרמידה בעלת מימד אחד יותר ארוך. ופה מודדים רק את האלכסון הערוך ℓ .

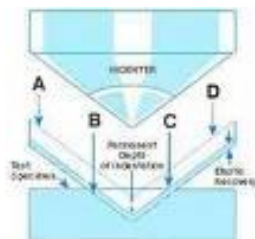


4. **Rockwell**

תחתית קונית שמותירה בחומר עיקבה כדורית, ופה מודדים את עומק החדירה בעומס קבוע.

ברקוול יש מספר סקלות שנבדלות בעומס על החומר.

ברגע שעוברים ברוקוול את 100 או יורדים מ-20, אז עוברים לסקלה אחרת.



σ_y הוא גם מבט התנגדות לדפורמציה פלסטית, ולכן יש יחס ישר בין הקשיות ל- σ_y גם הפרמטר

יתרונות בדיקת קשיות:

- אין צורך להכין דגם מיוחד.
- בדיקה לא הרסנית.

אור אפריז

זיקון – מנגנון הקשיית מתבדלים

התנאים הנדרשים לתהליך

- לפחות 2 מרכיבים בסגסוגת.
- כושר המסה יורד עם הטמפ'.
- כושר המסה גדול מאחוז המומס.
- קיום תמיסה רווית יתר.
- פאזות בלתי יציבות בחימום חוזר.

שלבי התהליך

1. **המסה** – חימום לטמפ' המסה (-) גורם להחלפה (-) מפריע לתנועה נקעים) – במצב מוצק, וצינון מהיר, מאוד רך.
2. **זיקון** – חימום איטי וממושך (בטמפ' נמוכה. חיזוק של מאות אחוזים).

סוגי זיקון

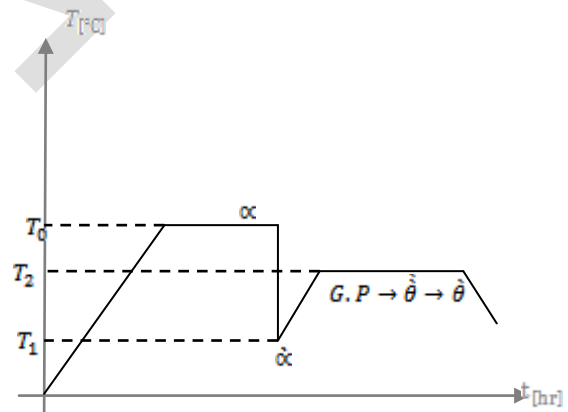
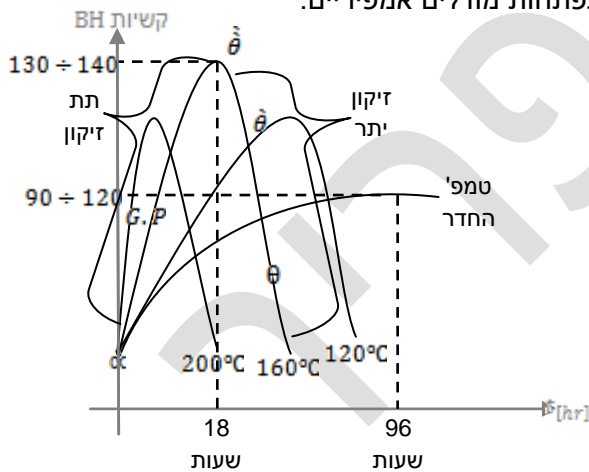
1. **זיקון טבעי** – בטמפ' החדר, 96 שעות (4 ימים).
2. **זיקון מלאכותי** - 160°C במשך 18 שעות.

יתרונות זיקון מלאכותי:

- מגיעים לאופטימיזציה מבחינת פיזור המתבדלים, ז"א כמות החוזק.
- פחות זמן לחכות.

עקרונות מנגנון החיזוק

המתבדלים – מהווים מחסומים לתנועת נקעים ע"י התפתחות מודלים אמפיריים.



<p>α</p> <p>תמיסה רווית יתר. מתבדלים אטומים בודדים של נחושת.</p>	<p>GP zone</p> <p>→ מתבדלים של נחושת בעובי אטומי.</p>	<p>θ</p> <p>מתבדלים (קצת יותר גדולים) קוהרנטים – בעלי מבנה מותאם למטריצה יוצרים שדה מעוותים.</p>
<p>θ</p> <p>מתבדלים חצי קוהרנטים – מבנה גבישי שונה מהמטריצה, ומותאים ע"י נקעים.</p>	<p>θ</p> <p>מתבדלים בלתי קוהרנטים – מבנה גבישי שונה מהמטריצה, ולא מותאים אליה – נמצאים בגבולות גרעינים ונקעים.</p>	

עליות בקשיות נובעת מ-

מתבדלים קוהרנטיים וחצי קוהרנטיים שיוצרים שדה מעוותים סביבם.

יריד בקשיות נובעת מ-

- איבודים קוהרנטיות.
- מתבדלים גדולים ומעטים.

ההבדל בין הקשיית מתבדלים לבין הקשיית אטומי המסה

מנגנון שבו מתבדלים מהווים מכשול לתנועת נקעים - הנקע שמגיע למתבדל יכול להיתקע בו או לעקוץ / לעבור דרכו. אם המתבדל קטן מידי, אז הנקע לא יתחשב בו, ואם המתבדל גדול מידי אז הוא יהיה מפוזר מידי. ולכן המתבדלים הטובים הם בגודל בינוני (θ).

הקשיית אטומי המסה – ההקשייה הנובעת מאטומים בודדים המהווים מכשול לתנועת נקעים. המנגנון שעוצר את הנקעים הוא לא האטום, אלא שדה המאמצים סביבו. הוא פחות יעיל מהקשיית מתבדלים. נובע מתמיסה רווית יתר (α).

חומרים קרמים

הגדרה

מתכת אשר קשורה לאל-מתכת.

סוג

נעשה ע"פ האל – מתכתי: תחמוצות, קרבידים וניטרידים.

קשרים

קיימים קשרים יונים וקוולנטים.

בתחמוצות: קשרים יונים.

בקרבידים וניטרידים: קשרים קוולנטים.

הקשרים נקבעים לפי ההפרש באלקטרו-נגטיביות שבין היונים.

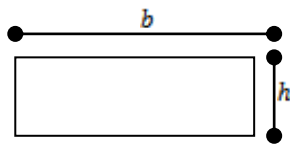
המבנה הגבישי של היונים

האריזה הצפופה של היונים

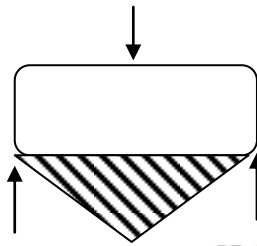
- האניונים מסודרים באריזה צפופה של FCC או CPH (משושה) (קשרים יונים, חשמליים וקוולנטים).
- קטיונים משמשים כ"אתרי חדירה" לתוך המבנה לאניונים באופן מסודר, הם חודרים לאתרים הטרהדרלים או האוקטהדרלים באופן חלקי או מלא, אבל תמיד בצורה מחזורית.
- פגמים בחומרים קרמים מקנים תכנות הולכה יונית ומשמשים בתעשייה האלקטרוניקה לייצור "מוליכים למחצה" (Semi Conductors).

תכונות מכניות של חומרים קרמים

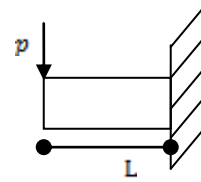
- קשיות של החומרים הקרמים – E גדולה בהרבה משל מתכות.
- בגלל הקשיחות הגבוהה קשה יותר לגרום לדפורמציה אלסטית.
- חוסר האפשרות לדפורמציה פלסטית בטמפ' החדר והקושי להזיז נקעים.
- מיעוט מערכות החלקה בחומרים קרמים, ולכן הקושי לדפורמציה פלסטית בטמפ' החדר. רק הטמפ' גבוהות יותר מתקיימות מערכות נוספות של תנועת נקעים שדורשות הרבה אנרגיה.
- בטמפ' החדר לפני שנגרום לדפורמציה פלסטית הוא ישבר.
- בדיקת החוזק מתבצעת בכפיפה. כאן יש להתחשב במימדי החלק אותו מכופפים.
- בחומרים קרמים נוצרים מאמצים תרמים עקב מוליכות חום גרועה של החומר הקרמי; החלק החיצוני שנחשף לשינוי הטמפ' מתכווץ בעוד שהחלק הפנימי נשאר בטמפ' הקודמת. נוצר מעוות שיכול לגרום לסדק.
- ככל שהעובי של הדגם דק יותר, כך המאמצים פחות משמעותיים, מפני שההפרש בטמפ' קטן יותר.



3 point bending



3 point bending: $\sigma_f = \frac{3F_f L}{2bh^2}$



$$w = \frac{bh^2}{\gamma}$$

$$M = \sigma * \frac{L}{2}$$

הערכת קשיות של חומר מהנקבוביות שלו

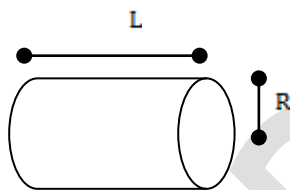
עלייה באחוז הנקבוביות מוריד את החוזק, מודול האלסטיות, המוליכות החשמלית והמוליכות התרמית.

$$\sigma_{max} = \sigma_0 * e^{-n * p}$$

p - (porosity) - אחוז / שבר נפחי של הנקבוביות.

n, σ_0 - קבועי החומר.

בדיקת חוזק כפיפה לדגם גילי



$$C_f = \frac{F * L}{\pi * R^3}$$

C_f - חוזק כפיפה לדגם בעל חתך גילי.

F - עומס.

L - אורך בין סמכים.

R - רדיוס.

התוצאה שמקבלים אינה בטחה ב-100%, מפני שבחומרים קרמים יש שונות מסויימת עקב נוכחות

פגמים וסדקים.

בדיקת חוזק כפיפה לדגם מלבני

$$C_f = \frac{3FL}{2ba^2}$$

חישוב מקדם התפשטות תרמית - α

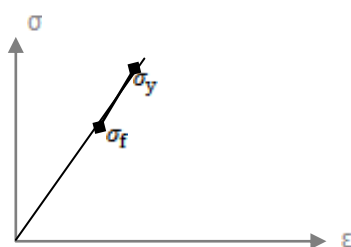
$$\Delta l = l_0 * \alpha * \Delta T$$

בחומרים קרמים אנחנו בתוך התחום האלסטי, ולכן ניתן לכתוב

$$\sigma = \epsilon E = E * \frac{\Delta l}{l_0} = E * \alpha * \Delta T$$

עקומת מאמץ - מעוות בחומרים קרמים

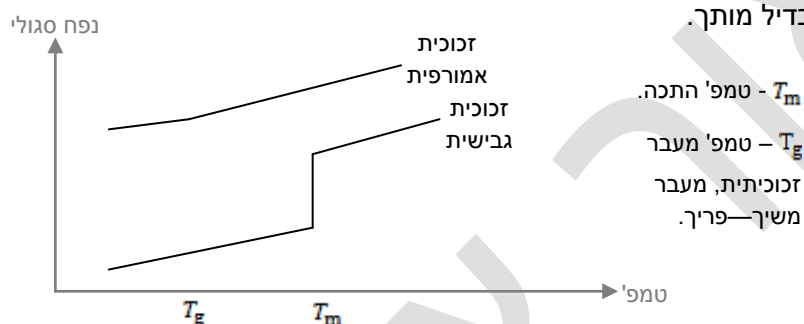
בחומרים קרמים מגיעים לשבר (σ_f) לפני σ_y בחלק האלסטי.



תהליכי עיבוד וייצור של חומרים קרמים

קרמיקות גבישיות וזכויות אמורפיות

- עיבוד פלסטי של אבקה ביחד עם תוספים פולימרים.
- הזרקה לתבנית (slip casting) – לוקחים תבנית של חומר ושופכים אליו זכוכית נוזלית.
- הזכוכית מתגבשת למצוק, ואז מקבלים את הזכוכית בצורה שרצינו.
- כבישה איזו סטטית חמה – לחיצה מכל הכיוונים בטמפ' גבוהה. מקבלים אחוז נקבוביות / אחוז מילוי של החומר גבוהה יותר, ואז תכונות מכניות חזקות יותר.
- גידול גבישים מהיתוך או מפאזה גזית.
- ניפוח זכוכית – הזכוכית מטפטפת פנימה, סוגרים את הכלי ו"מנפחים" עם אוויר. מכניסים לתבנית נוספת ומנפחים שוב עם אוויר כדי להגיע לצורה הסופית.
- זכוכית אמורפית – עיבוד פלסטי ע"ע זרימה ויסקוזית בטמפ' גבוהות: הצפת זכוכית נוזלית ע"ג אמבט בדיל מותר.



זכוכית משוריינת

חימום וקירור הזכוכית במהירות באוויר או בשמן וקבלת מאמצי לחיצה שיורים ע"פ השטח החיצוניים.

תכונות הזכוכית בהשוואה לקרמיקה / זכוכית גבישית

- T_g בזכוכית אמורפית בהשוואה ל- T_m בגבישית.
- קצב קירור איטי ועלייה בצפיפות הזכוכית.
- עיבוד הזכוכית בטמפ' גבוהה באמצעות עיבוד פלסטי.

בחירה ושימוש של חומרים קרמים

תומכי בידוד חשמלי ולעומתם "מוליכי על"

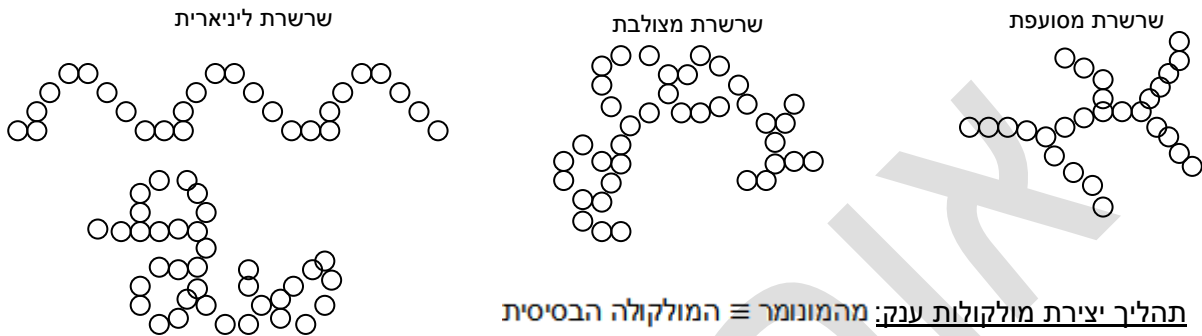
- כשארין אלקטרוניים חופשיים - בידוד חשמלי.
- קרמיקה אחרת $Y - Ba - Cu$: "מוליכי על".

פולימרים

המבנה

חומרים הפלסטיים בנויים בעיקרם מחומרים סינתטיים אשר מתקבלים בתהליכי פילמור של תרכובות אורגניות פשוטות למולקולות ארוכות מאוד. החומר הפלסטי מורכב משרשראות שמשקלן המולקולארי נע בגבולות של $5,000 \div 10,000,000$.

סוגי השרשראות



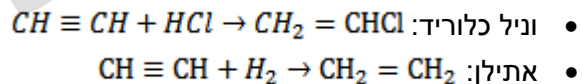
תהליך יצירת מולקולות ענק: מהמונומר \equiv המולקולה הבסיסית

קיימים 2 תהליכים פילמור:

1. פילמור שרשרתי (רציף).
2. פילמור בשלבים.

שרשראות המסתעפות מרחיקות את השרשראות אחת מהשנייה כתוצאה מכך הצפיפות קטנה כך גם הקשיחות ושאר התכונות המכניות.

לדג':



סיווג חומרים פלסטיים

את החומרים הפלסטיים ניתן לסווג לפי 2 שיטות:

1. **לפי הרכב כימי** – צורת הסיווג הפשוטה והיעילה ביותר. למשל פוליאתילן, הוא פולימר שנוצר ע"י פילמור של אתילן. פולימרים רבים מוכרים בשמות כללים אשר מרמזים על אופי הקבוצה. לפעמים שם מסחרי נכנס לתודעת הציבור.
לפי אופן השימוש
2. 1.2. פלסטומרים – משמשים כחומרי מבנה יציבים.
2.2. אלסטומרים – חומרים דמויי גמוי.
3.2. סיבים – פולימרים שניתן למשוך לחוטים.
4.2. ציפויים וצבעים – פולימרים שהם המרכיב העיקרי בצבע.
5.2. דבקים – פולמרים המהווים בסיס ליצירת דבקים סינתטיים.

הפולימרים התרמו-פלסטיים ותרמו-סטטיים

סיווג לפי תכונות העיבוד של הפולימר.

תרמו-פלסטיים – כשמחממים אותם הם הופכים להיות פלסטיים, כמו פלסטלינה. חימום הפולימר גורם להיתוך החומר -> שרשראות מתיישרות -> מתאפשרת תנועת החלקה בינהן.

- תרמו פלסטי אמורפי – שרשראות לא מסודרות, ז"א מסועפת. כמה שהפולימר יותר אמורפי כך הוא יותר חזק, מפני שהוא יותר מצולב.
- תרמו פלסטי גבישי – שרשראות מסודרות, ז"א ליניאריות. וכמה שהפולימר יותר גבישי כך טמפ' ההיתוך עולה.

תרמו-סטטיים – חומרים שבהשפעת החום הקשרים שלהם מתחזקים יותר ממה שהיו מיקודם, בהוספת לחץ וחומרי זירוז גורמים להקשיותו עוד יותר. חימום לא יהפוך אותו לנוזל, אלא יגרום להתפוררות שלו. אלה שרשראות מצולבות.

מלאנים

- חומרים מלכדים.
- חומרי מילוי.
- מרככים.
- מאיצים.
- גיוון.

סוגי מלאנים

- שיפור תכונות החומר.
- הגדלת גמישות אלסטית והקטנת הקושי.
- מייצבים למניעת התיישנות בהשפעת חמצן, אור וחום.
- מאיצים – לזירוז תהליך התקשות.
- חומרים הגנה בפני: אש, חשמל סטטי וחימצון.
- חומרים מונעי הידבקות.
- חומרי סיכה – להקלת זרימה.
- חומרי פעלי שטח – להרטבה בצביעה וציפוי.
- פגמנטים לגיוון.

מבנה גבישי בפולימרים

לוקחים את השרשרת של אמורפים בשכבות (למלרים), ולשכבות הללו מתייחסים כאל מבנה גבישי.

אין פולימר שכולו גבישי, אלא רק אחוז מסויים:

$$\text{דרגת הגבישיות} = \frac{\text{משקל האזורים הגבישיים}}{\text{משקל כללי}}$$

דרגת גבישיות גבוהה מעלה את נק' ההיתוך, מקשיחה ומעלה חוזק מכני.

חישוב אחוז גבישיות (c):

$$c = \frac{\rho_c(\rho_s - \rho_a)}{\rho_s(\rho_c - \rho_a)}$$

ρ_B - צפיפות הפולימר (הדגם).

ρ_C - צפיפות הפאזה הגבישית.

ρ_A - צפיפות הפאזה האמורפית.

באמצעות 2 משוואות עם 2 נעלמים מקבלים:

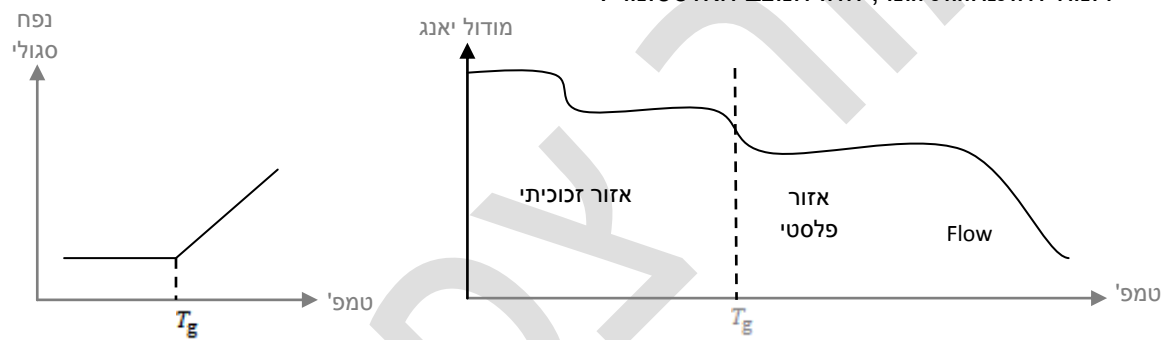
$$\rho_a = \frac{\rho_{B_1} \rho_{B_2} (c_1 - c_2)}{c_1 \rho_{B_1} - c_2 \rho_{B_2}}$$

מצב זכוכיתי ואלסטומרי

מצב זכוכיתי – מצב בו שרשראות הפולימר אינן יכולות לנוע בקלות, והן נמצאות במצב קפוא. במצב זה החומר קשיח ובמידה מה שביר.

מצב זה קיים בכל החומרים הפלסטיים בטמפ' נמוכה מטמפ' המעבר הזכוכיתי (T_g).

מצב אלסטומרי – בטמפ' גבוהה מ- T_g שרשראות הפולימר יכולות לנוע בקלות רבה עד שהפולימר דומה להתנהגות גומי, וזהו המצב האלסטומרי.



תכונות אופטיות

- שקיפות
- ברק – אפשר להגיע עד ל-92% מהארת האור הנראה.
- עכירות – זוהי מידה לפיזור אור.

תכונות כימיות ועמידות אקלימית

- עמידות ממים – ספיחת לחות.
- עמידות במסיסות – לחומרים תרמו-פלסטיים קיימת נטייה להתמוסס במס' מסיסים סלקטיבים לכל פולימר.
- Stress cracking – היסדקות פני השטח תחת עומס בנוכחות דטרגנטים או ממיסים.
- עמידות אקלימית – שמש (UV), טמפ' לחות ומיי ים.

תגובות ויסקו-אלסטיות

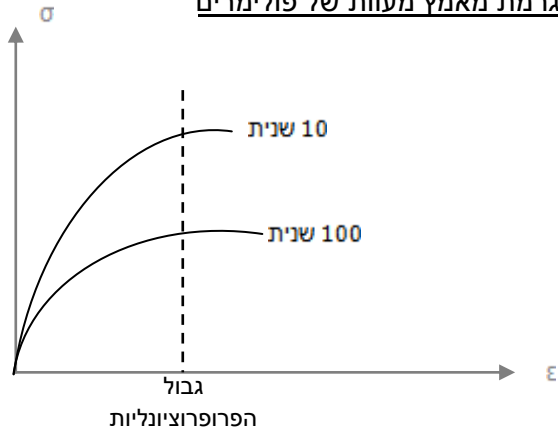
מוצק אלסטי מוגדר ע"י קפיץ:

$$\sigma = E * \gamma$$

γ - גזירה.

חומרים פלסטיים מגיבים בצורה מסובבת.

דיאגרמת מאמץ מעוות של פולימרים



בפולימר לא נקבל קו ישר.

תלות של מודול האלסטיות בטמפ' עבור סוגי הפולימרים

