

חומרים

קבוע הגזים R

יחידות Pa:
 $100 \text{ atm} = \text{kg/mm}^2$
 $Pa = \left[\frac{N}{m^2} \right]$
 $kPa = Pa \cdot 10^3 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$
 $MPa = Pa \cdot 10^6 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
 $GPa = Pa \cdot 10^9 \left[\frac{kN}{mm^2} \right]$

$\frac{\text{liter} \cdot \text{mmHG}}{\text{mole} \cdot \text{k}}$	$\frac{\text{Joule}}{\text{mole} \cdot \text{k}}$	$\frac{\text{kal}}{\text{mole} \cdot \text{k}}$	$\frac{\text{erg}}{\text{mole} \cdot \text{k}}$	$\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{atm}}{\text{mole} \cdot \text{k}}$	$\frac{\text{liter} \cdot \text{atm}}{\text{mole} \cdot \text{k}}$
62.33	8.313	1.98	$8.31 \cdot 10^7$	82.1	0.082

גדלים במטרים/סנטימטרים

mili	micro	nano	pico	kilo	\AA
10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{+3}	10^{-10}
10^{-1}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-10}	10^{+5}	10^{-8}

צפיפויות של חומרים

$$\rho_{\text{water}} = 1 [\text{gr} / \text{cm}^3]$$

$$\rho_{\text{magnesium}} = 1.7$$

$$\rho_{\text{aluminum}} = 2.8$$

$$\rho_{\text{titanium}} = 4.5$$

$$\rho_{\text{steel}} = 7.8$$

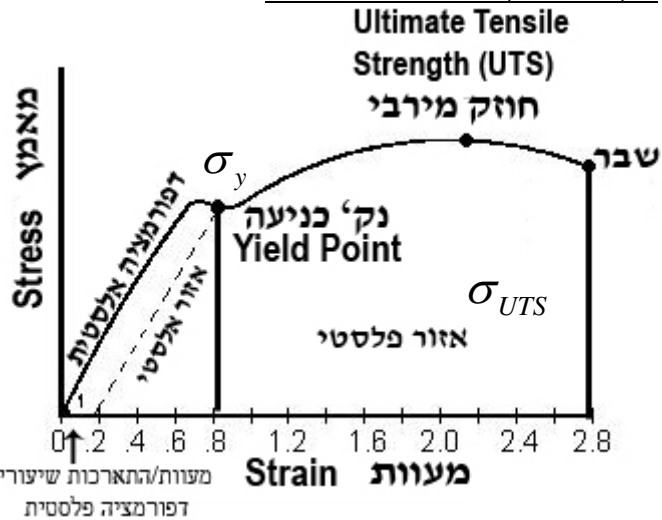
השימוש באחריות
 המשתמש בלבד !!
 נעה רגב

המרת יחידות

	1J	1erg	1eV	1kcal/mol
1J	1	10^7	$6.24 \cdot 10^{18}$	$1.44 \cdot 10^{20}$
1erg	10^{-7}	1	$6.24 \cdot 10^{11}$	$1.44 \cdot 10^{13}$
1eV	$1.6 \cdot 10^{-19}$	$1.6 \cdot 10^{-12}$	1	23.06
1kcal/mol	$6.95 \cdot 10^{-21}$	$6.95 \cdot 10^{-14}$	$4.34 \cdot 10^{-2}$	1

CGS	MKS	סימון	הקבוע
$3 \cdot 10^{10} \text{cm/sec}$	$3 \cdot 10^8 \text{m/sec}$	C	מהירות האור
$4.8 \cdot 10^{-10} \text{e.s.u}$	$1.6 \cdot 10^{-19} \text{c}$	e/q	מטען אלקטרון
$9.1 \cdot 10^{-28} \text{g}$	$9.11 \cdot 10^{-31} \text{kg}$	m_e	מסת אלקטרון
$1.66 \cdot 10^{-24} \text{g}$	$1.66 \cdot 10^{-27} \text{kg}$	n_p/m_n	מסת פרוטון/ניוטון
$6.63 \cdot 10^{-27} \text{erg} \cdot \text{sec}$	$6.626 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{sec}$	h	קבוע פלאנק
$2.18 \cdot 10^{-11} \text{erg}$	$13.6 \text{eV}, 2.18 \cdot 10^{-18} \text{J}$	r_H	קבוע רידברג
	$6.022 \cdot 10^{23} \text{1/mole} N_A$	N_A	מספר אבוגדרו
14.4eV	$8.89 \cdot 10^9 \text{Nm}^2/\text{c}^2$	k	לחישוב משיכהאלקטרוסטטית
	$R/N_A = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$	K_B	קבוע בולצמן

עקום מאמץ-מעוות (הנדסי):



$$\sigma_y = \sigma_{yield}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{UTS}$$

$$\sigma_{elastic} = E \cdot \epsilon$$

$$\sigma_{plastic} = k \cdot \epsilon^n$$

E - מודול יאנג / מודול האלסטיות. מייצג את השיפוע באזור האלסטי. מקיים את חוק הוק II - מקדם הקשיית המעוותים.

אזור אלסטי - אם נשחרר את הדגם ממתיחה הוא יתכווץ חזרה לגודלו המקורי. σ_y מסמל את סוף האזור האלסטי ולא כמו בגרף!!!!

אזור פלסטי - אם נשחרר את הדגם ממתיחה הוא יתכווץ חזרה אך לא יחזור לאורכו ההתחלתי. מודול יאנג לא משתנה (הקו המקווקו). לאחר מכן במתיחה חוזק הכניעה של החומר גדל. n גדל - הקשיית מעוותים. הירידה בגרף הפרבולה נוצרת בגלל ששטח החתך קטן (הפחתת שטח החתך), אבל חוזקו של החומר לא משתנה. מנק' σ_{UTS} ההתארכות מתרכזת רק בצוואר (Necking). עד לנק' קיים שימור נפח. במתכות בהן נק' הכניעה אינה ברורה (כדוגמת אלומיניום). מגדירים אותה בשיעור של 0.2% והיא נקראת מעוות קבוע.

חוזק: $\epsilon = \text{Strain}$ $\sigma = \text{Stress}$

המאמץ מוגדר ככוח F ליח' שטח A. הכוח מופעל בניצב לשטח החתך. (מחלקים ב-A- ע"מ לנטרל את ההשפעה שיש לגדול של הדגם על הכוח - מנרמלים את השפעת המימדים). **המעוות** (משיכות החומר) מוגדר כאורך הדגם ביחס לאורכו ההתחלתי (כאשר שוב מנרמלים את השפעת המימדים).

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1$$

$$\frac{l}{l_0} = \epsilon + 1$$

$$[\epsilon] = \text{קסר} - \pi'$$

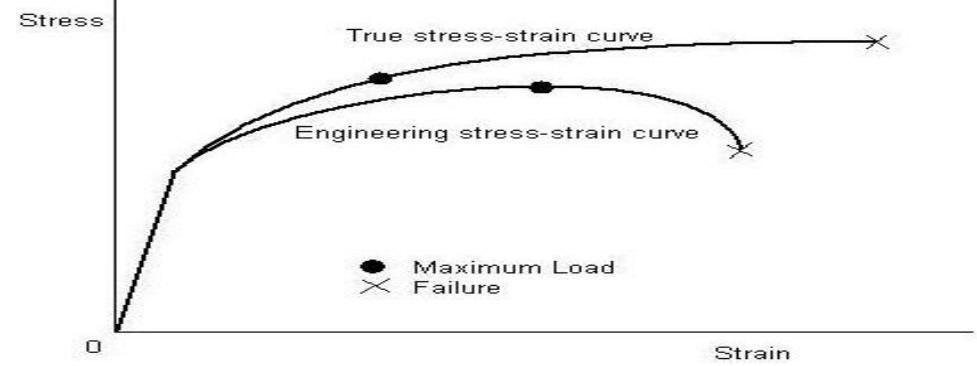
$$\sigma = \frac{F}{A_0}, \sigma_{real} = \frac{F}{A}$$

$$[\sigma] = \frac{N}{m^2} = \text{Pascal}$$

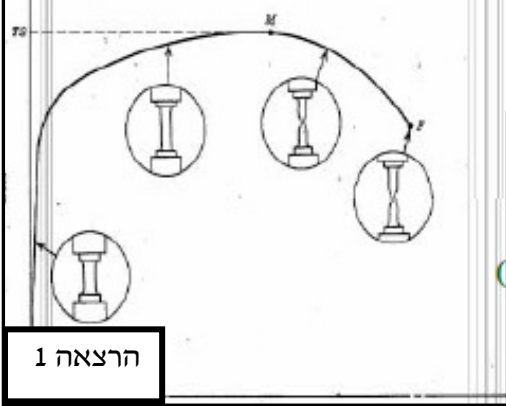
$$\%RA = \frac{D_0^2 - D_f^2}{D_0^2} \cdot 100$$

הפחתת שטח החתך (Reduction of Area) היא היצרות שטח החתך בדגם ביחס לשטחו המקורי באזור השבר.

עקומת מאמץ-מעוות אמיתי ביחס להנדסי



מאמץ אמיתי - העומס המופעל על הדגם מחולק בשטח המשתנה בזמן



בהפסקת המאמץ לאחר מעבר של σ_y רק אנרגיה אלסטית משתחררת

חוזק:

$$\nu = \frac{-\epsilon_x}{\epsilon_y}$$

$$0.2 < \nu < 0.5$$

קבועים אלסטיים - מודול הגזירה

מקדם פואסון (x) עיבור בניצב לכיוון המתיחה חלקי (y) העיבור בכיוון המתיחה.

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

$$\epsilon_{tot} = \epsilon_{pl} + \epsilon_{el}$$

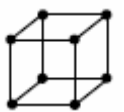
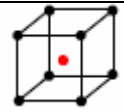
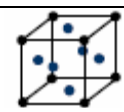
K - מודול אלסטי נפחי האנרגיה לשבר של חומרים (השטח שמתחת לגרף) בתחום האלסטי -

$$W_{pl} = \int_{\epsilon_y}^{\epsilon_{fy}} k \epsilon^n d\epsilon = \int_{\epsilon_y}^{\epsilon_{fy}} \sigma_p d\epsilon$$

$$W_{el} = \int_0^{\epsilon_y} \sigma d\epsilon = \frac{\sigma_y^2}{2E}$$

הרצאה 1

קריסטלוגרפיה:

צורה	%חללים	נפח החלל	נפח תפוס	אורך אלכסון	רדיוס	מס' אט'י	שם	
	47.6%	$V = a^3(1 - \frac{\pi}{6})$	$V = \frac{\pi a^3}{6}$	$a\sqrt{3}$	$r = \frac{a}{2}$	1	פשוט	SC
	31.98%	$V = a^3 - \frac{\pi\sqrt{3}}{8} \cdot a^3$	$V = \frac{8}{3}\pi r^3$	$a\sqrt{3}$	$r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$	2	ממרכז גוף	BCC
	25.95%	$V = 16r^3(\sqrt{2} - \frac{\pi}{3})$	$V = \frac{16}{3}\pi r^3$	$a\sqrt{2}$	$r = \frac{a}{\sqrt{8}}$	4	ממרכז פאה	FCC

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\text{cellWeight}}{a^3} = \frac{n \cdot Mw}{N_A \cdot a^3}$$

$$n = \frac{\text{cellWeight}}{Aw} = \frac{\text{cellWeight}}{Mw} = \frac{\text{atomNum}}{N_A}$$

הגדרה: חומר בעל מוטיב מרחבי, תא מסודר שחוזר על עצמו בכל הכיוונים. $N_i = n_i + 0.5n_f + 0.125n_c$.
צפיפות אטומית: כמה אטומים ממלאים קוביה אן מס' נקי סריג לתא יחידה. $I - \text{inside}, F - \text{face}, C - \text{corner}$.
 מבנה סטנדרטי של מתכת הוא BCC. המרווח בין אטומים גדל במעבר מ-BCC ל-FCC. כשהמרווח גדל יכול להיכנס אטום פחמן ובכך המבנה מתחזק.
F מקדם אריזה: הנפח האטומי היחסי התפוס ע"י אטומי תא היחיד, מלמד על המשקל הסגולי של החומר. דפורמציה פלסטית מתחרשת ע"פ המישורים הצפופים בחומר.

כיוונים ומישורים קריסטלוגרפיים:

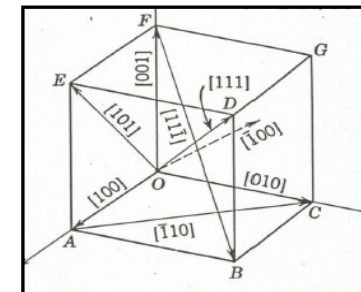
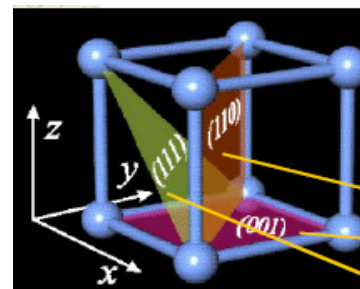
הכיוונים תמיד מסומנים במספרים שלמים.

מצייני כיוון - $P[x y z]$

משפחת כיוונים - $P\langle x y z \rangle$ (הקומבינציה של כל הכיוונים).
 מצייני מילר ל**מישור** - $(h k l)$. נמצא אותם ע"י מכפלה וקטורית בין שני וקטורים הנוצרים מ-3 נקי נתונות, לאחר מכן נעשה אחד חלקי התוצאה.

$$d_{(hkl)} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

משפחת מישורים - $\{h k l\}$
מרחק בין מישורים -



מציאת כיוונים ומישורים:

1. קטור כיוון: 1. קביעת מערכת צירים באחת מהפינות.
2. מנרמלים את הוקטור לפי המצוין הגבוה ביותר $[120] \rightarrow [1/2 \ 1 \ 0]$
3. מוצאים את הקואורדינטה בתא ומחברים לראשית לקבלת וקטור הכיוון.
- אינדקסי כיוון: 1. מציאת נקי סוף והתחלה והחסרה ביניהם.
2. הכפלת הערכים למציאת מספרים שלמים.
- מישור**: 1. קביעת ראשית הצירים.
2. חישוב ההופכי של המציינים לקבלת נקי חיתוך עם הצירים $(112) \rightarrow (1 \ 1 \ 1/2)$.
- אינדקסי מישור: 1. מציאת נקי חיתוך המישור עם הצירים.
2. חישוב ההופכי לקואורדינטות. **אן** מציאת 2 כיוונים וביצוע מכפלה וקטורית, לאחר מכן נחשב את ההופכי לקואורדינטות

פגמים במבנה הגבישי:

פגמים משטחיים/גבולות גרעיניים

אי סדר אטומי שנוצר עקב התמצקות גרעיניים בעלי אותו מבנה קריסטלוגרפיה אך בעלי אוריינטציה (סיבוב) שונה, אקראית.
גבולות בין אוריינטציות נקראים גבולות גרעין – שם יש אי סדר גדול (מצב אנרגטי נמוך).

מסקנות

1. קירור מהיר של החומר "מקפיא" את המצב שלו. בעוד שקירור איטי מאפשר הגעה לש"מ חדש.
2. בטמפ' גבוהות כמות ההיעדרויות גדולה יותר מבטמפ' נמוכות.
3. היעדרויות מפריעות לתנועת אלקטרונים בחומר כי הן פוגעות במחזוריות הגביש ולכן מוליכות פחות טוב

↓

בקירור מהיר של החומר הנפח יהיה גדול מזה של אותו החומר בקירור איטי (כי יש הקפאת המצב של מס' היעדרויות רב) ועל כן צפיפותו תרד.

עיבוד חומר (CW) גורר עלייה בצפיפות הנקעים.

מאמץ כניעה	יכולת לעבור דפורמציה	מודול האלסטיות	לא משתנה	גודל גרעיניים
-	+	לא משתנה רק בכמויות גדולות עקב שינוי תכונות החומר	גודל גרעיניים	גודל גרעיניים
+	-	משתנה רק בכמויות גדולות עקב שינוי תכונות החומר	כמות זיהומים	כמות זיהומים
-	+	משתנה	צפיפות נקעים	צפיפות נקעים

פגמים קווים/נקעים

פגם שמתבטא בשורת אטומים חסרה \bar{a} קו הגבול שמבדיל בין אזור שעבר החלקה, לאזור שעוד לא עבר החלקה (נסמן קו זה כ- t).
הנקעים נוצרים ע"י הפעלת מאמץ ומבטיחים קיום **דפורמציה פלסטית במתכות**. נוכחות הנקעים משפיעה על חוזק החומר ועל משיכותו. זהו בעצם מקדם בטחון כי צריך להשקיע יותר אנרגיה ע"מ לשבור את החומר, לפי עקומת מאמץ-מעוות.
תנועת ההחלקה בין מישורים נעשית בהדרגה, אתר אחרי אתר.

בורגר וקטור $(\bar{t} \parallel \bar{b})$: הוקטור המשלים הנחוץ להשלמת

הסיבוב מסיביב לקו הנקע. (בדיקה ע"י $\bar{b} \cdot \bar{t} = 0$)

נקע קצה $(\bar{t} \perp \bar{b})$: נקע שבו קו הנקע t ניצב לבורגר

וקטור ולכוון ההחלקה. (בדיקה ע"י $\bar{b} \times \bar{t} = 0$)

נקע בורגי: נקע שבו קו הנקע וכוון ההחלקה מקבילים לבורגר וקטור. בנקע זה מישור ההחלקה אינו מוגדר כיוון שהנקע מטפס ממישור למישור.

בטבע רוב הנקעים הם מעורבים ואז לא מתקיימים התנאים של זה או זה.

סימון נקעים בגביש: מאחר ואנרגיית הנקע יחסית לגודל ה-b בריבוע הם ישאפו להיות הוקטורים הקצרים ביותר בסריג.

מערכות החלקה: תנועת נקעים מתרחשת על מישורי החלקה, והיא נעשית על המישורים הצפופים ביותר בכיווני ההחלקה הצפופים ביותר (יותר קל ב-FCC מאשר ב-BCC). הצירוף של מישורי וכיווני החלקה (נקרא **מערכות החלקה**) צפופים מאפשר Easy Glide.

ל-FCC 12 מערכות החלקה (4 מישורים 3×3 כיוונים).

ל-BCC 48 מערכות החלקה

פגמים נקודתיים

היעדרויות / אטומי החלפה / זיהומי חדירה (באופן טבעי) / אטומי חדירה (מוכנס ביוזמתנו).

$$N = N_{at} + N_v$$

$$N_v \ll N_{at} \Rightarrow N = N_{at}$$

$$N = \frac{n}{a^3} \Rightarrow N = \frac{\rho \cdot N_A}{Aw}$$

$$N_v = N \cdot e^{-\frac{Q}{k_B T}}$$

$Q[eV/Atom]$ – אנרגיית

אקטיבציה, האנרגיה הדרושה למעבר למצב אנרגטי נמוך יותר

יש רעידות של אטומים אשר מתגברות ככל שהטמפ' עולה, ייתכן ומהרעידות יוצר נתק ועל כן יותר היעדרויות.

במבנה BCC – מתי יוצר עיוות?

מיקום	החלפה	חדירה
אמצע צלע	--	$r_1 + r_2 > \frac{a}{2}$
אמצע פאה	--	$r_1 + r_2 > \frac{a\sqrt{2}}{2}$
אמצע אלכסון	$r_1 + r_2 > \frac{a\sqrt{3}}{2}$	--
קודקוד	$r_1 + r_2 > \frac{a}{2}$	--

במבנה FCC – מתי יוצר עיוות?

מיקום	החלפה	חדירה
אמצע צלע	--	$r_1 + r_2 > \frac{a}{2}$
אמצע פאה	$r_1 + r_2 > \frac{a\sqrt{2}}{2}$	--
אמצע אלכסון	--	$r_1 + r_2 > \frac{a\sqrt{2}}{2}$
קודקוד	$r_1 + r_2 > \frac{a}{2}$	--

המישורים הצפופים:

במערכת BCC – מישור 110

במערכת FCC – מישור 111

$$\%CW = \frac{A_0 - A}{A_0} \cdot 100$$

A_0 – שטח חתך התחלתי

שבר – פריכות ומשיכות

שלבי התפתחות השבר - היווצרות פגם - התקדמות השבר (בהשפעת מאמץ המופעל). המשיכות היא פוני של הטמפי, קצב המעוות ומצב המאמצים.

שבר משיך	שבר פריך (שבר בין גרעיני)	
יכולת החומר לעבור דפורמציה פלסטית. לפי תווי השבר (המשיכים).	כמות האנרגיה הנבלעת בנגיפה / לפי תווי השבר (הפריכים) / לפי K_{IC} (ערך חסינות לשבר).	נמדד לפי...
'עם אזוהרה' רבה	ללא אזוהרה	שבירה
אפסית (ישר נשבר)		דפורמציה פלסטית
איטית	מהירה מאוד	קצב התקדמות השבר
קיימת (אם נפסיק את המאמץ השבר יעצר)	לא קיימת (הסדק לא יציב ובלתי ניתן לעצירה)	שליטה על הסדק
גומות	ביקוע / שבר בין גרעיני	תווי השבר
אנרגיה גדולה (שטח גדול מתחת לגרף)	אנרגיה קטנה (שטח מתחת לגרף יותר קטן)	תצורות אנרגיה

קיימים מצבים בהם חומר משיך יתנהג בצורה פריכה.

בדיקת חוזק לנגיפה Impact Strength – מכינים דגם לנגיפה (קוביה בגודל $10 \times 10 \text{mm}^2$ עם חריץ) ובודקים את האנרגיה לשבר במכשיר נגיפה (שיטת CVN). **השוואה לבדיקות חוזק** – בדיקת נגיפה היא דינמית וקורית מהר, נקבל מספר שלא נוכל לתכנן איתו ומספק נתונים השוואתיים בלבד. בדיקת חוזק היא סטטית ונקבל מספר חוזק שבעזרתו נוכל לתכנן את הגוף.

Ductile versus Brittle Fracture

Classification:

Fracture behavior:	Very Ductile	Moderately Ductile	Brittle
--------------------	--------------	--------------------	---------

Fig. 8.10 Callister

משך - Ductile
פריך - Brittle

%AR or %EL: Large Moderate Brittle

Ductile fracture is desirable!

השפעת קצב המעוות על החוזק

ככל שקצב המעוות עולה (מהירות המתיחה) גם החוזק עולה. בגלל שבקצב מעוות מהיר קשה יותר לנקעים להגיב. לכן נצטרך להפעיל כוחות גדולים יותר.

$$\sigma = C \cdot \dot{\epsilon}^m$$

m – מקדם רגישות "קצב המעוות"
C – קבוע
 $\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt}$ – קצב המעוות

חיזוק ע"י יצירת ופיזור מתבדלים (זיקון)

חומרים ננו-מטריים המפוזרים בצורה "חכמה" בחומר ומהווים מחסומים לתנועת הנקעים. הנקעים נתקלים באזורים בהם קיים אי-סדר קרסטולוגרפי, נעצרים שם ומתקשטים. במצב זה ידרשו כוחות גדולים יותר שיגרמו להם לחתוך את המתבדלים ולהמשיך בתנועתם. לדוגמא ניתן לחזק אלומיניום ב-50%.

הרצאה 4

תכונות מכניות

קשיות

התנגדותו של חומר לחדירתו של חומר אחר לוכו. שיטות לבדיקת קשיות: יתרונות פשוט זול ומהיר חסרונות מספקת רק נתונים השוואתיים.

ויקס - DPH	רוקוול - Ra, Rc	ברינל - BHN	
פירמידת יהלום ומכשיר קושי	חרוט יהלום/ פלדה	כדור פלדה	חודרן
היחס בין העומס לאורך הממוצע של אלכסוני בסיס הפירמידה.	עומק החדירה. פחות חדירה החומר יותר קשה	קוטר העקבה d. ככל שיותר קטן החומר יותר קשה.	בדיקה
עד 10,000DPH עד 67Rc=800DPH	עד 67Rc		יח' מידה

אם החודרן קשה מידי – העקבה קטנה מידי וקשה למדוד אותה, אם הוא גדול מידי – הוא מודד תחום גדול מידי ולא מאפשר מדידה של פאזה מסויימת.

הרצאה 5

השפעת המבנה על תכונות החוזק

ע"י הורדת מוביליות הנקעים, החוזק המכני עולה, כי ידרשו כוחות חזקים יותר לגרום לכניעה ולדפורמציה פלסטית. ככל שתנועת הנקעים קלה יותר החומר חלש משיך ורך יותר.

חיזוק באמצעות הקשיית מעוותים

ניתן לחזק את החומרים באמצעות עיבודם הפלסטי: נכנסים במהלך עיוות החומר לתחום הפלסטי. החוזק מתבטא בהגדלת חוזק הכניעה. מודול האלסטיות לא משתנה. הקשיית המעוותים נוצרת ע"י התרבות הנקעים, הסתבכותם אלה באלה ועינתם.

$$\sigma_p = k\epsilon^n$$

n מבטא את שיפוע הפרבולה ונמצא אותו באמצעות גרף מאמץ-מעוות לוגריתמי לינארי מהצורה כאשר $\ln k$ מבטא את החיתוך עם ציר ה-y.

$$\sigma_1 = k\epsilon_1^n, \sigma_2 = k\epsilon_2^n$$

$$\ln \sigma = \ln k + n \ln \epsilon$$

$$n = \frac{\ln \sigma_2 - \ln \sigma_1}{\ln \epsilon_2 - \ln \epsilon_1}$$

השפעת גודל הגרעין על החוזק

לגודל הגרעין השפעה על החוזק בהתאם ל"יחס patch". $\sigma_y = \sigma_0 + k_y \times D_y$ D הוא גודל גרעין ממוצע, והשוויון הוא החיזוק המושג.

ככל שיש יותר גבולות גרעיניים יש יותר מחסומים לתנועת הנקעים – מה שמקשה ומחזק את החומר.

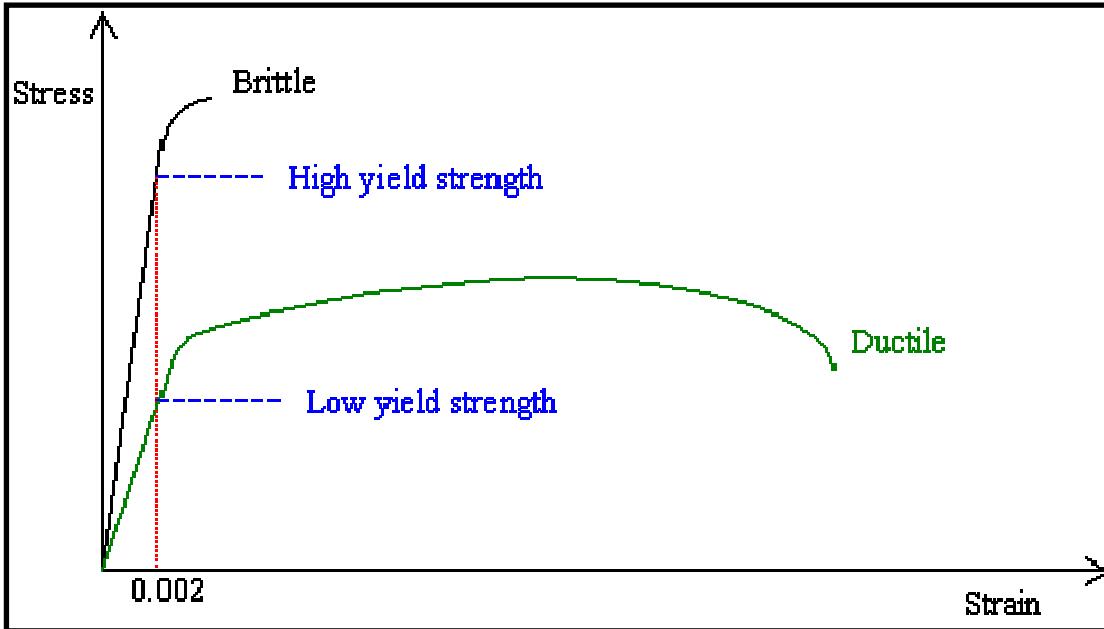
השפעת הטמפי' על החוזק

החוזק של מרבית החומרים יורד כתוצאה מהפעלת עומס בטמפי' גבוהות (חוזק יורד ומשיכות עולה). כי יש ירידה בכוחות המשיכה בין האטומים ולכן יש הקטנת התנגדות תנועת הנקעים, מה שמאפשר easy glide.

חיזוק ע"י יצירת תמיסה מוצקה

(השפעה קטנה יותר מהמתבדלים)

גרים ע"י יצירת תמיסה מוצקה. כי אטומים זרים, שונים בגודלם מאטומי המטריצה גורמים לעיוות השריג, וע"י כך גורמים להפרעה לתנועת הנקעים. מוכר גם כ"זיהום החומר".



מסקנות

1. ככל שהטמפי עולה לאטומים יש יותר אנרגיה, הם רוטטים יותר, מה שמקל על תנועת הנקעים. מאמץ הכניעה יורד והחומר נעשה משיך ובעל אחוזי עיבור גבוהים לכשל.
2. ככל שקצב העיבור מהיר התגובה של הנקעים ומערכת ההחלקה איטית יותר (הם לא מספיקים להגיב), מאמץ הכניעה עולה והחומר מתנהג בצורה יותר פריכה ובעל אחוזי עיבור נמוכים לכשל.
3. נוכחות נקעים (בגלל עיבור פלסטי קודם) גורמת לחומר להתנהג בצורה יותר פריכה.

חסינות לשבר

במצב זה אין תנועת נקעים ומנגנון הכשל נובע מסדקים בחומר. קושרת בין המאמץ שפועל על הדגם לאורך הסדק הקריטי, מעליו הסדק יתפתח ספונטנית ללא עליה במאמץ. החומר נכשל עקב התקדמות לא יציבה של סדק קריטי תחת מאמץ.

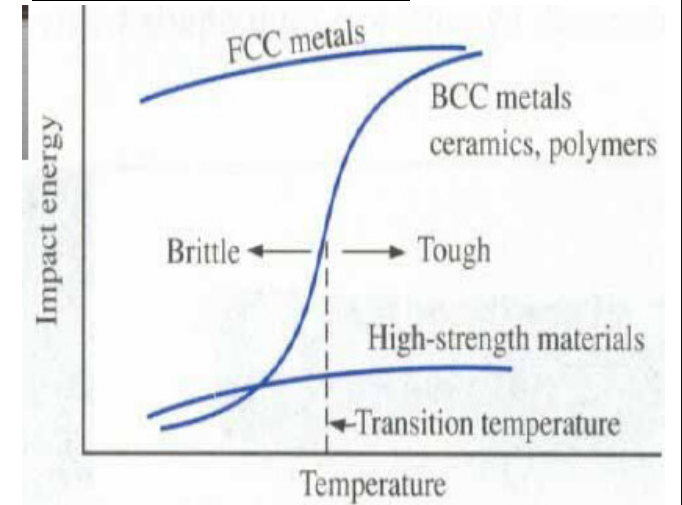
$$K_{IC} = \sigma_{\infty} \sqrt{\pi \cdot a_c}$$

a_c – גודל הסדק הקריטי (מעליו)
 סדק חיצוני - a_c סדק פנימי - $0.5 a_c$
 K_{IC} – חסינות החומר לשבר

σ_{∞} – המאמץ לשבר (להתקדמות לא יציבה של הסדק). מהווה גם מדד ל"מקדם ריכוז המאמצים" (תכונה של חומרים חזקים ופריכים).

אם נפעיל מאמץ גדול מ- σ_y ניכנס לתחום הפלסטי ואז הנוסחא לא תקפה.

שבר – עקומת מעבר משיך-פריך



משיך – Ductile,
 פריך – Brittle.
 ככל המעבר החומר טובה יותר למעופה.

שבר – עקומת מעבר משיך-פריך

בקני"מ מיקרו' אין אחידות במאמץ בגלל שבפגמי החומר נוצרים מיקרו ריכוזי-מאמצים.

בחומרים רכים (רמת חוזק $> E/300$), החומר עובר דפורמציה פלסטית מקומית באזור קצה הפגם – והמאמץ הגבוה דועך.

בחומרים חזקים (רמת חוזק $< E/150$) אין לחומר יכולת לעבור דפורמציה פלסטית, ואין דעיכה של מאמצים.

התוצאה שברים במאמצי מאקרו' נמוכים הם פריכים

המאמץ המירבי σ_m המתפתח בקצה הסדק מוגבר עקב המאמץ המופעל על הדגם (רחוק מהסדק) בערך של σ_0 . הסדק בעל רדיוס קצה ρ_i ואורך $0.5a$

(פנימי) ו- a (חיצוני)

מקדם ריכוז המאמצים: $k = \frac{\sigma_m}{\sigma_0}$ משקף את התנגדות החומר לעיבור. ככל שיותר גבוה יש להשקיע יותר

המאמץ המירבי: $\sigma_m = 2\sigma_0 \left(\frac{a}{\rho_i}\right)^{1/2}$

מאמץ לקבלת דפורמציה פלסטי. נבחר חומר עם k נמוך להימנע מהקשיית מעוותים.

ככל שאורך הסדק החיצונית גדל, גם המאמץ המירבי גדל עד לערך מקסי' בו השבר מתפתח באופן ספונטני.

בחומר רך שעבר דפורמציה פלסטית רדיוס הקצה מתרחב ומקטין את המאמץ.

חסינות לשבר המשך...

מאמצים טנגנטיאליים גדולים פי 2 ממאמצי האורך, כלומר מאמצים שנפעיל בהשקה לחפץ יהיו יותר משמעותיים מאשר המאמצים שנפעיל לאורך החפץ. זהו המאמץ המקסי' שיתפתח במרחב. (שם החפץ יתקבע קודם). אם נרצה להימנע מתפר אורך נחשב לפי מאמץ האורך.

D – קוטר, t – אורך הסדק, P – לחץ

בדיקת חסינות לשבר: נכין דגם בעובי B ונפעיל עליו כעשירית

מהמאמץ שאנחנו רוצים שהוא יעמוד בו ומתחילים לגרום להתעייפות הדגם ויצירת סדקים. את הסדר שנוצר נראה ע"י טפטוף דיו לתוכו, ונמדוד את אורכו ואת המאמץ ששבר אותו וכך נגלה את ה- K_{IC} .

ההבדל בין K_C ל- K_{IC} הוא עובי החומר.

K_C – לחומרים דקים שמופעלים עליהם מאמצים מישוריים. החל מעובי

מסוים נשתמש ב- K_{IC} , יש התנהגות קבועה של מעוותים מישוריים.

למטה ניתן לראות את שלושת המודים מבחינת מאמצים.

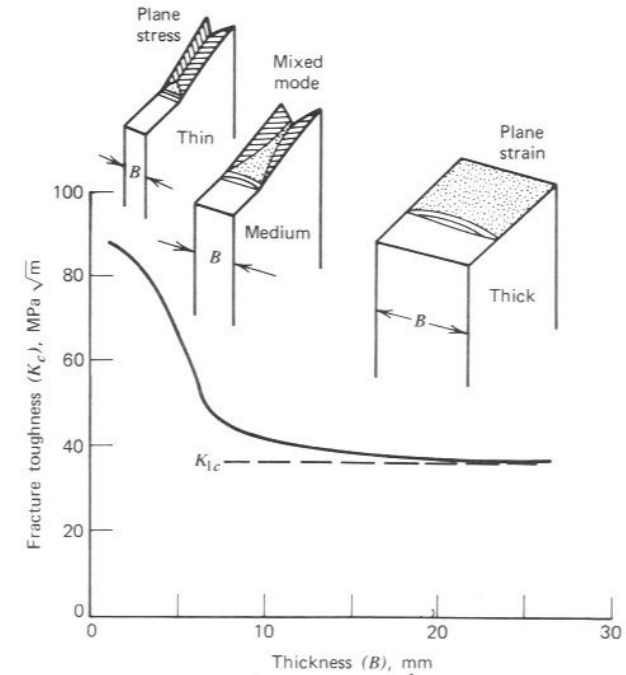


FIGURE 4.8 Effect of specimen thickness on fracture toughness.