

מודול האלסטיות

קשרים תוך אטומיים הם אלו שמחזיקים את האטומים יחדיו, לייצור זרימת חומר (עיצוב) מתכת נדרש לשבור את הקשרים האטומיים הללו. במהלך תהליך ההטבעה (Stamping) כאשר המקב בא במגע עם הפריסה ולפני שבירת הקשר האטומי מתפתחים כוחות שגורמים לאטומים לזוז ממצבם הטבעי ומתחילים לעצב את הפריסה. ברמת האטומים, הכוח המיושם גורם למאמצים אלסטיים בסופה דפורמציה הידועה כמתח אלסטי. הכוחות במארג האטומי מאד חזקים ונפח גבוהה של מאמץ אלסטי גורם רק למעט מתח אלסטי. הסרת הכוח שגרם רק למתח אלסטי מאפשר לאטומים לחזור למבנה המקורי שלהם, ללא דפורמציה פלסטית קבועה. המאמץ המתח חוזרים לאפס.

Figure 1

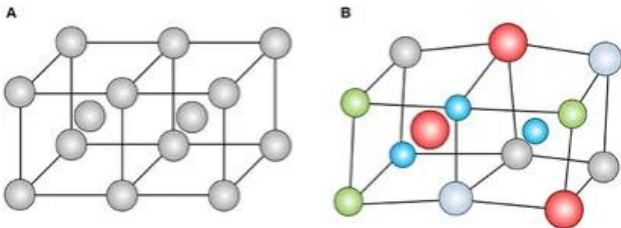
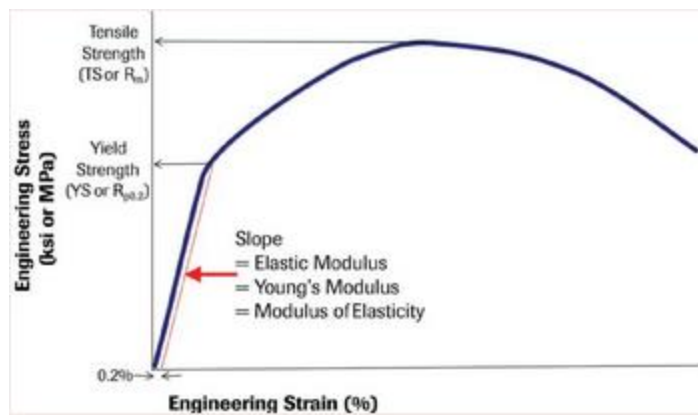
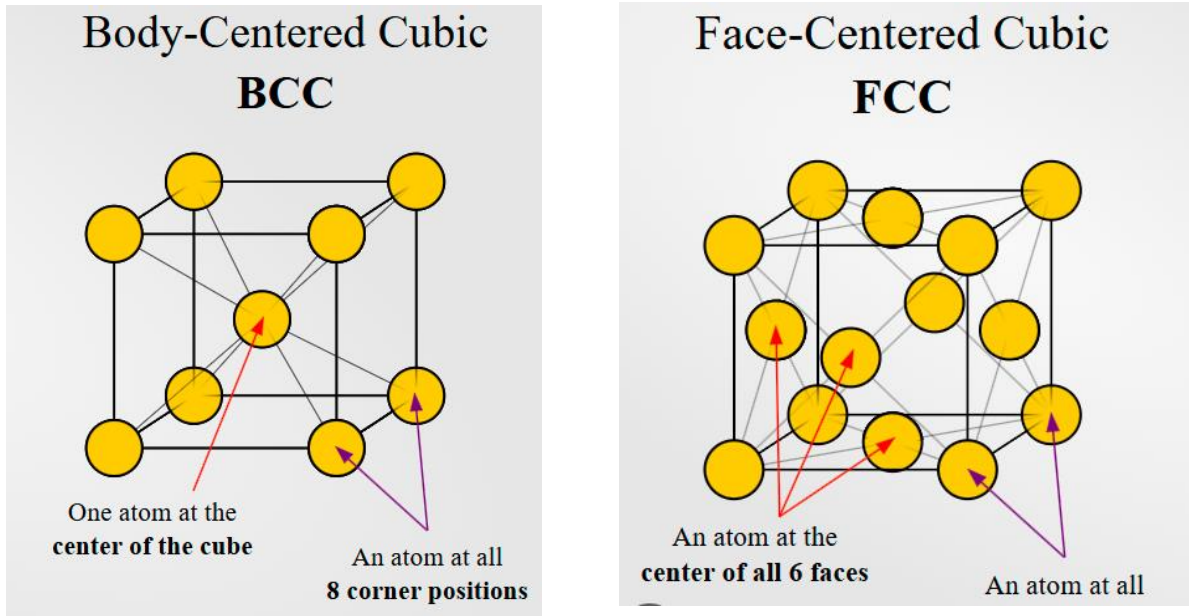


Figure 1. The illustrations of (A) a perfect BCC lattice in pure metals and (B) a distorted BCC lattice in multicomponent alloys.

חוק הוק (Hook's Law) מאפיין את היחסים הישירים בין מאמץ למתח ומתאר את מצב האטומים בעיוות מול מצבם הטבעי. הקטע הישר של עקומת המאמץ מעוות מראה את היחסים הפרופורציונליים. השיפוע באזור זה נקרא מודול האלסטיות או מודול יאנג (מצויין ע"י האות E). מעבר לאזור הלינארי, המתח הופך ללא פרופורציונלי עם התחלה של דפורמציה פלסטית או קבועה.



המבנה האטומי של המתכת משפיע על שיפוע קו המודול. לרוב הפלדות המבנה האטומי הוא BCC (Body cubic center) אטום אחד בכל פינה של הקובייה, ואטום אחד במרכז. טיפוסית המודול האלסטי פלדות הוא 210 Gpa. לאלומיניום ולמתכות לא ברזליות אחרות המבנה הוא FCC (Face cubic center).



לרוב סגסוגות האלומיניום מודול האלסטיות עומד על 70 Gpa.

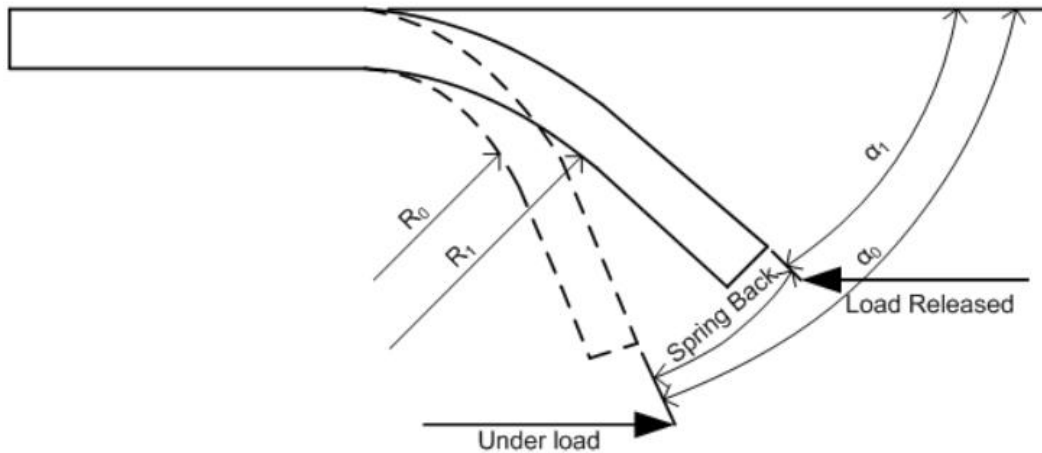
קפיציות חוזרת

צורת החלק תחת לחץ מלא במכש משלבת מאמצים אלסטיים, פלסטיים ומעוות. כאשר מוציאים את החלק מהמכש משולבים בחלק הדפורמציה הקבועה על הפריסה, כאשר שיחרור בלחץ והמתח האלסטי הם גורם השורש לקפיציות חוזרת. ההבדל במבנה האטומי של פלדה מסגסוגת אלומיניום, וההבדל הנלווה במודול האלסטי מהווים בסיס לתגובה בשונה לקפיציות בין פחי המתכות הללו. החלק ותהליך התכנון עשוי למנוע את ביטול כל הלחצים האלסטיים בעת הסרת החלק המיוצב מהמכש. המתח האלסטי שנותר בחלק המוטבע נקרא מתח שיורי או מתח לכוד. כל שינוי נוסף בחלק כמו חיתוך, ניקוב חורים או ריתוך מקנים

מודול האלסטיות

דפורמציה פלסטית נוספת שיכולה לשנות את כמות התרומה של מאמצים שיריים, לפיכך פוטנציאלית משתנה הצורה והממדים של החלק.

כמות הקפיציות החוזרת עומדת ביחס הפוך למודול האלסטיות של החומר. לכן לאותה נקודת כניעה לפלדה (עם מודול פי שלושה מודול האלומיניום) תהיה כמות הקפיציות החוזרת תהיה כשליש.



אפשר לחשב את הקפיציות החוזרת באמצעות טבלאות מוכנות בדיוק די גבוהה מצ"ב לינק לאתר, צריך רק למלא את הנתונים :

<https://www.custompartnet.com/calculator/bending-springback>

Bending Springback Calculator

After a bending operation, residual stresses will cause the sheet metal to spring back slightly. Due to this elastic recovery, it is necessary to over-bend the sheet a precise amount to achieve the desired bend radius and bend angle. The final bend radius and bend angle can be approximated from the sheet thickness, K-factor, material yield strength and modulus of elasticity, and the initial bend angle and bend radius. The final bend radius will be greater than initially formed and the final bend angle will be smaller. The springback factor, K_s , will show the ratio of the final bend angle to the initial bend angle. [Learn more about Bending.](#)

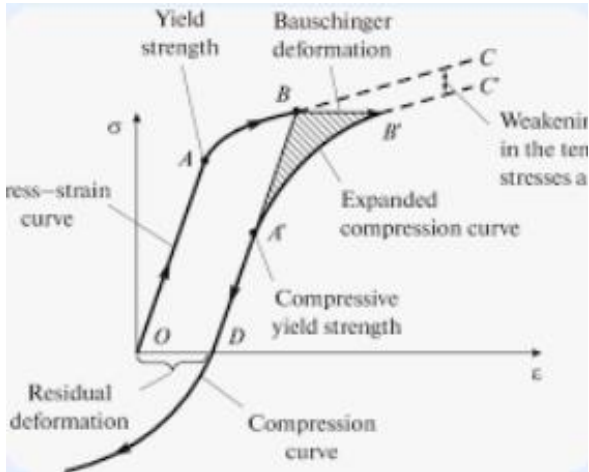
Bending Springback Calculator	
Sheet thickness (in):	0.080
K-factor:	0.33
Yield strength (psi):	80000
Modulus of elasticity (ksi):	10000
Initial bend radius (in):	.25
Initial bend angle (°):	88
Final bend radius (in):	0.270
Final bend angle (°):	81.99
Springback factor K_s :	0.93

The angle to which the sheet has been bent, measured between the bent position and the original position, or as the included angle between perpendicular lines drawn from the bend lines.

העיצוב משנה את מודול האלסטיות

הדמייה ואנליזה של עיצוב מתייחסות באופן שגוי למודול האלסטי כאל משהו קבוע. בעוד שהערכים הידועים 210 ו 70 Gpa מהווים ערך הגיוני ממוצע לנתכים גנריים של פלדה ואלומיניום, המודולים יכולים לסטות עד 10% לנתכים שונים כתלות בכיוון הסיבים ובסוג החומר. גודל השונות ביחס לכיוון הסיבים אינו קבוע בין כל המתכות וזה קצת מסבך את העניין.

רצף הכיפוף כאשר הפח עובר דרך הטבע (Draw beads), ורדיוס המבלט מובילים לאפקט באושינגר (Bauschinger). האפקט הזה מפחית את מודול האלסטיות כל פעם שהפח עובר מתיחה – דחיסה שהם חלק מכל עיצוב. בנוסף



עליה במעוות כתוצאה מזרימת חומר תתרחש כאשר החלק מגיע לצורה המתוכננת ומוריד עוד יותר את מודול האלסטיות.

במבחן המתיחה ההשוואה בין המודולים הנמדדים במהלך טעינת עומס לעומת פריקתו משקפת את ההבדלים הללו. מחקר מסוים על פלדה דו פאזית עם

חוזק מתיחה של 780 Mpa הראה כי אזורים מסויימים חוו ירידה של 28% במודול האלסטיות. (איור). הדמיית קפיציות מדוייקת דורשת לכידת ואריציה במודול האלסטי.

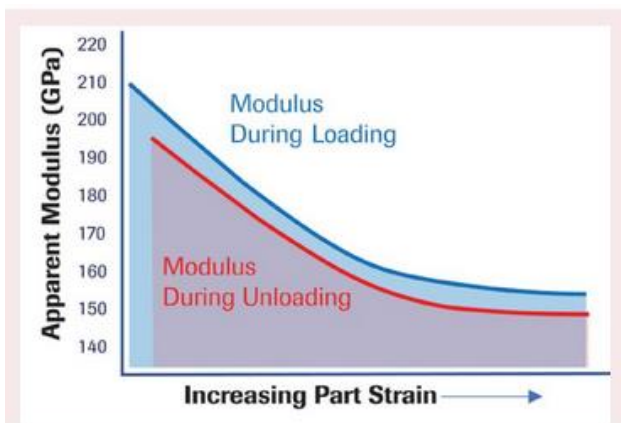


Fig. 2—The elastic modulus decreases with increasing strain and material movement through draw beads and die radii. Values shown illustrate the potential magnitude of the decrease for some steel grades.